

Projektwebseite mit weiteren Informationen:

<https://uni-heidelberg.de/auto3Dscapes>

Referenzen:

- ANDERS, K., LINDENBERGH, R., VOS, S., MARA, H., DE VRIES, S. & HÖFLE, B. (2019): High-Frequency 3D Geomorphic Observation using Hourly Terrestrial Laser Scanning Data of a Sandy Beach. In: ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, IV-2/W5, S. 317–324. DOI: 10.5194/isprs-annals-IV-2-W5-317-2019
- EBERLEIN, S., ANDERS, K. & HÖFLE, B. (2019): Kontinuierliches Schneedecken-Monitoring mittels Zeitserien von 3D-Punktwolken aus Automatischem Terrestrischem Laserscanning. In: Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (Hrsg.): Wissenschaftliche Resultate 2017/2018 (Nummer 5).
- HERZOG, M., ANDERS, K., HÖFLE, B. & BUBENZER, O. (2019): Multi-method investigation of star dunes in Morocco (Erg Chebbi): topography, stratigraphy and implications for OSL-sampling. In: Geophysical Research Abstracts, 21 (EGU2019-6950), S. 1.
- HÖFLE, B., CANLI, E., SCHMITZ, E., CROMMELINCK, S., HOFFMEISTER, D. & GLADE, T. (2016): 4D near real-time environmental monitoring using highly temporal LiDAR. In: EGU General Assembly Conference Abstracts, 18 (EGU2016-11295-2), S. 1.
- O'DEA, A., BRODIE, K. L. & HARTZELL, P. (2019): Continuous Coastal Monitoring with an Automated Terrestrial Lidar Scanner. In: Journal of Marine Science and Engineering, 7 (2), S. 37.
- VOS, S., LINDENBERGH, R. & DE VRIES, S. (2017): CoastScan: Continuous Monitoring of Coastal Change using Terrestrial Laser Scanning. In: Proceedings of Coastal Dynamics 2017, 233, S. 1518–1528.
- WILLIAMS, J. G., ROSSER, N. J., HARDY, R. J., BRAIN, M. J. & AFANA, A. A. (2018). Optimising 4-D surface change detection: an approach for capturing rockfall magnitude–frequency. In: Earth Surface Dynamics, 6 (1), S. 101–119. DOI: 10.5194/esurf-6-101-2018

## PermaSAR – Entwicklung einer Methode zur Detektion von Subsidence in Permafrostgebieten mit D-InSAR

**Bernhard Höfle, Katharina Anders, Sofia Antonova, Julia Boike & Sabrina Marx**

Große Teile der Landfläche in der nördlichen Hemisphäre sind von Permafrost, dauerhaft gefrorenem Boden, unterlagert. Der obere Boden stellt dabei eine Auftauschicht dar, die in den Sommermonaten taut und im Winter wieder gefriert. Wo Eis im Boden vorhanden ist, verringert sich das Bodenvolumen durch das Tauen und die Landoberfläche senkt sich ab. Durch die starke Erwärmung des arktischen Klimas degradiert Permafrost in vielen Gebieten und die Größenordnung der sommerlichen Absenkung der Bodenoberfläche übersteigt die winterliche Hebung im Zuge des Wiedergefrierens. Diese Nettosenkung bezeichnet man als Subsidenz.

Die Beobachtung und vor allem Quantifizierung der Subsidenz in der arktischen Tundra stellt eine große Herausforderung dar, da die Absenkung des Bodens typischerweise wenige Millimeter bis Zentimeter pro Jahr beträgt und oftmals keine stabilen Landschaftselemente als Referenz für die Messung vorhanden sind. Zudem sind Tundraland-

schaften fast flächendeckend von einer Moos- und Flechtenschicht bedeckt, sodass diese organische Schicht an der Oberfläche fließend in den unterliegenden Boden übergeht und die einheitliche Feststellung der Bodenoberfläche für wiederholte Messungen der Geländehöhe schwierig macht. Aufgrund der niedrigen Vitalität der Vegetation in diesen Regionen kann man davon ausgehen, dass sich die Dicke der organischen Schicht im Laufe eines Jahres kaum ändert. Somit wird die Bodenoberfläche inklusive Moos und Flechten als Oberfläche für wiederholte Messungen zur Feststellung von Subsidenz definiert (MARX et al. 2018).

Im Rahmen des PermaSAR-Projekts wurden verschiedene Methoden zur Quantifizierung von Subsidenz untersucht: (1) eine konventionelle, manuelle Methode an fest installierten Referenzstäben im Feld (Abb. 1), deren Länge relativ zur sich absenkenden Bodenoberfläche wiederholt gemessen wird und (2) 3D-Punktwolken-basierte Methoden auf Basis von Daten, die mit Terrestrischem Laserscanning (TLS) erfasst wurden.

Die Erfassung der multitemporalen Daten erfolgte in drei Feldkampagnen (Juni und August 2015, sowie August 2016) für zwei Versuchsfelder (ca. 40 m x 50 m) in der arktischen Tundra im Westen Kanadas (Trail Valley Creek Research Basin, 68° 44' 25" N 133° 29' 36" W). Die Daten sind mit detaillierten Informationen zur Erfassung und Prozessierung frei zugänglich veröffentlicht (ANDERS et al. 2018a). Außerdem wurde die gesamte Region des Untersuchungsgebiets im September 2016 durch luftgestütztes Laserscanning mit dem Forschungsflugzeug POLAR 5 des Alfred-Wegener-Instituts erfasst. Auch diese Punktwolke und daraus abgeleitete Gelände- und Vegetationshöhenraster sind mit detaillierten Metadaten frei verfügbar (ANDERS et al. 2018b).

Für die Subsidenzquantifizierung zeigte der Vergleich der digitalen Methoden mit manuellen in-situ Messungen, dass die Genauigkeit durch einen neu entwickelten TLS-basierten Ansatz verbessert werden kann. So kann die Subsidenz an den Referenzstäben in den TLS-Punktwolken mit Millimeter-Genauigkeit ( $0,2 \pm 0,5$  cm) automatisch quantifiziert werden. Die Genauigkeit der manuellen in-situ Messungen ist variabler ( $0,4 \pm 1,5$  cm) und impliziert damit eine höhere Unsicherheit, die insbesondere hinsichtlich der tatsächlich gemessenen Subsidenz in Höhe von 1,4 cm (Median aller Subsidenzwerte an 24 Stangen in zwei Versuchsfeldern) relevant ist.

Fehler bei der automatischen Quantifizierung kommen in Bereichen dichter, bodennaher Strauchbedeckung in den Versuchsfeldern vor. Diese schwierigen Fälle können durch eine expertenbasierte Methode ergänzt werden, bei der Beitragende die automatische Analyse in einem webbasierten Tool unterstützen (HERFORT et al. 2017), indem sie die Bodenoberfläche in den 3D-Punktwolken bestimmen (Abb. 1c). Der Quellcode dieses expertenbasierten Tools ist frei verfügbar im Coderepositorium der Abteilung für Geoinformatik (HERFORT & ANDERS 2017a) und das Projekt zur Bearbeitung durch die Experten online zugänglich (HERFORT & ANDERS 2017b).

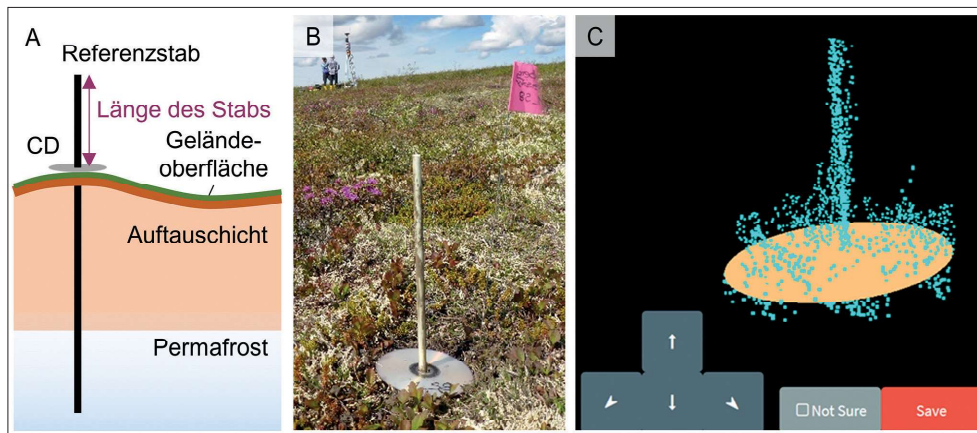


Abb. 1: a) Schematische Darstellung der Methode zur Beobachtung von Subsidenz an Referenzstäben, die durch Verankerung im Permafrost von Hebungs- und Senkungsprozessen in der Auftauschicht isoliert sind (Abb.: K. Anders). b) Referenzstab im Untersuchungsgebiet mit CD, die während der Messung am Stab angebracht wird, um eine einheitlichere Feststellung der Bodenoberfläche durch verschiedene messende Personen herzustellen (Foto: M. Langer). c) Ausschnitt der Terrestrischen Laserscanning Punktwolke um einen Referenzstab in einem web-basierten Tool, das zur Bestimmung der Bodenoberfläche (Referenzebene mit gleichem Radius wie die CD im Feld) durch Experten verwendet wird. (Abb.: K. Anders)

Über die Verbesserung der Messgenauigkeit sowie eine erhöhte Transparenz der Methoden hinaus bietet die Erfassung von Beobachtungsflächen durch TLS-Punktwolken die Möglichkeit, das Phänomen der Subsidenz flächenhaft zu beobachten, mit über 100 000 Punktmessungen pro Quadratmeter, statt wie bisher nur an den einzelnen Positionen der verankerten Referenzstäbe. Dies eröffnet neue Möglichkeiten für die Untersuchung der Verbindung zwischen Oberflächen- und Untergrundgegebenheiten in Abhängigkeit der kleinräumig variablen Mikrotopographie und Vegetationsstruktur, die zu einem besseren Verständnis der physischen Prozesse in Zusammenhang mit Permafrostdegradation beitragen kann.

Neben der Subsidenz war die arktische Baumgrenze ein weiterer Untersuchungsgegenstand im PermaSAR-Projekt als wichtiger Aspekt im Kontext andauernder atmosphärischer Erwärmung und des damit einhergehenden Tauens von Permafrost. Bislang ist wenig bekannt über die Prozesse, die das Timing und das räumliche Muster der Vegetationsreaktion auf die Erwärmung in der Arktis bestimmen. Die einzigartige Konstellation der TanDEM-X Radarsatelliten mit ihrem bistatischen Modus und der sehr hohen räumlichen Auflösung bietet außergewöhnliche Möglichkeiten für die Überwachung der Wald-Tundra-Übergangszone. Die dazu verwendeten interferometrischen Parameter (bistatische Kohärenz und interferometrische Höhe) besitzen eine hohe Sensitivität gegenüber der Vegetationshöhe und der Vegetationsdichte. Während der TanDEM-X Science Phase wurden mehrere bistatische TanDEM-X Aufnahmen speziell für das PermaSAR-Projekt aufgenommen. Diese Aufnahmen wurden verwendet um

herauszufinden, ob sich für das Untersuchungsgebiet im Bereich der Übergangszone von Wald und Tundra Vegetationsstrukturklassen aus TanDEM-X-Daten ableiten lassen. Spezifisch wurde untersucht, inwieweit TanDEM-X Rückstreuung und interferometrische bistatische Daten in der Lage sind, die Baumhöhe in der untersuchten Region zu erfassen. Die luftgestützten Laserscanning-Daten unterstützen dabei die Interpretation und Validierung der satellitenbasierten Methode. Die bistatischen TanDEM-X Daten stellten sich dabei als vielversprechend für die Erfassung der Baumhöhen heraus und ermöglichen durch die globale Datenverfügbarkeit erstmals eine zirkumpolare Untersuchung der Baumhöhe entlang der Baumgrenze sowie eine Beobachtung deren Veränderung über die Zeit (ANTONOVA et al. 2019).

Somit tragen die Ergebnisse des PermaSAR-Projekts zu einem besseren Verständnis verschiedener möglicher Messmethoden von Bodenbewegungen in Permafrostgebieten sowie zur Erfassung von hoher Vegetation mit TanDEM-X-Daten entlang der arktischen Baumgrenze bei.

Das PermaSAR-Projekt ist eine Kooperation der Arbeitsgruppe 3DGeo mit der Arbeitsgruppe von PD Dr. Julia Boike aus der Permafrost-Forschungsabteilung am Alfred-Wegener-Institut (Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung). Das Projekt wurde vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert (FKZ: 50EE1418).

Projektwebseite mit weiteren Informationen:

<https://uni-heidelberg.de/permasar>

#### Referenzen:

- ANDERS, K., ANTONOVA, S., BECK, I., BOIKE, J., HÖFLE, B., LANGER, M., MARSH, P. & MARX, S. (2018a): Multisensor ground-based measurements of the permafrost thaw subsidence in the Trail Valley Creek, NWT, Canada, 2015–2016. Alfred Wegener Institute, Helmholtz Center for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA. DOI: 10.1594/PANGAEA.888566
- ANDERS, K., ANTONOVA, S., BOIKE, J., GEHRMANN, M., HARTMANN, J., HELM, V., HÖFLE, B., MARSH, P., MARX, S. & SACHS, T. (2018b): Airborne Laser Scanning (ALS) Point Clouds of Trail Valley Creek, NWT, Canada (2016). Alfred Wegener Institute, Helmholtz Center for Polar and Marine Research, Bremerhaven, PANGAEA. DOI: 10.1594/PANGAEA.894884
- ANTONOVA, S., THIEL, C., HÖFLE, B., ANDERS, K., HELM, V., ZWIEBACK, S., MARX, S. & BOIKE, J. (2019): Estimating tree height from TanDEM-X data at the northwestern Canadian treeline. *Remote Sensing of Environment*, 231. DOI: 10.1016/j.rse.2019.111251
- HERFORD, B. & ANDERS, K. (2017a): 3D-MAPP project: Surface plane for subsidence measurement. <https://pybossa.geog.uni-heidelberg.de/project/substations/> (2018-02-20).
- HERFORD, B. & ANDERS, K. (2017b): 3D-MAPP subsidence station project. GIScience, Heidelberg University. [https://gitlab.gistools.geog.uni-heidelberg.de/giscience/3D-MAPP/3D\\_Substations.git](https://gitlab.gistools.geog.uni-heidelberg.de/giscience/3D-MAPP/3D_Substations.git) (2018-02-20).
- HERFORD, B., HÖFLE, B. & KLONNER, C. (2018): 3D micro-mapping: Towards assessing the quality of crowdsourcing to support 3D point cloud analysis. In: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 137, S. 73–83. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2018.01.009
- MARX, S., ANDERS, K., ANTONOVA, S., BECK, I., BOIKE, J., MARSH, P., LANGER, M. & HÖFLE, B. (2017): Terrestrial laser scanning for quantifying small-scale vertical movements of the ground surface in Arctic permafrost regions. *Earth Surface Dynamics Discussions*, S. 1–31. DOI: 10.5194/esurf-2017-49