

Bernhard Höfle & Katharina Anders

Aktuelle Methoden zur 3D-Erdbeobachtung der raumzeitlichen Variabilität geomorphologischer Prozesse stehen im Fokus der Forschung im Projekt Auto3Dscapes. Hochdynamische geomorphologische Veränderungsprozesse charakterisieren die Topographie der Erdoberfläche und beeinflussen permanent unsere natürliche sowie menschliche Umwelt. Dabei erfolgen die Veränderungen der Landschaft mit unterschiedlicher Magnitude, Häufigkeit und Geschwindigkeit. Für die Beobachtung und Analyse von topographischen Änderungen auf verschiedenen räumlichen und zeitlichen Skalen können durch permanentes Terrestrisches Laserscanning (TLS) Zeitserien von 3D-Punktwolken erzeugt werden. Solch kontinuierliche geomorphologische Beobachtung durch TLS erfolgte in vergangenen Jahren beispielsweise für Felsstürze (WILLIAMS et al. 2018), voranschreitende Hangrutschungen (HÖFLE et al. 2016) oder Erosion unterworfenen Küsten (Vos et al. 2017, O'DEA et al. 2019). Eine große Herausforderung für die 3D-Erdbeobachtung ist es die räumlich und zeitlich variablen Änderungen aus diesen sehr umfangreichen ($> 10^8$ Punkte/Aufnahme) Datensätzen zu extrahieren. Dies erfordert die Entwicklung neuer, geeigneter computergestützter Methoden der Geoinformatik.

Die Bedeutung einer TLS-basierten Analyse in hoher zeitlicher Auflösung und über lange Perioden (stündlich über mehrere Monate) gegenüber herkömmlichen Vorgehensweisen der Änderungsanalyse aus wenigen, einzelnen Aufnahmezeitpunkten wurde anhand des Beispiels eines Sandstrands untersucht (ANDERS et al. 2019). Hier zeigte sich die hohe Relevanz der häufigen Aufnahmen, da sonst nur ein kurzer zeitlicher Schnappschuss der Topographie erfasst wird, der die Dynamik und zeitliche Evolution eines Änderungsprozesses nicht abbildet (Abb. 1). Des Weiteren impliziert eine niedrigere zeitliche Auflösung, dass gewisse Änderungen nicht erfasst werden. Dies kann vorkommen wenn sich Prozesse überlagern und Änderungen aufgehoben werden, zum Beispiel ein Sturm, der eine Sandakkumulation verweht. Eine Analyse der Beziehung zwischen Aufnahmeintervall und der absoluten beobachteten Volumenänderung zeigt, dass auf einer Fläche von 100 m² ein Volumen von mehr als zehn Lkw-Ladungen Sand nicht erfasst wird, wenn die Beobachtung wöchentlich statt täglich erfolgt.

Somit ermöglicht das permanente 3D-Beobachtungssystem eine verbesserte Analyse des geomorphologischen Systems hinsichtlich der Quantifizierung des Volumenbudgets über die Zeit. Darauf aufbauend sind neue Rückschlüsse auf die einzelnen Faktoren und Prozesse möglich, welche individuelle Volumenänderungen bewirken und zur Genese geomorphologischer Formen beitragen. Dies betrifft beispielsweise die Unterscheidung von Sandverlagerungen durch Wind, Wellen und den Gezeiteneinfluss – eine Fragestellung, die im CoastScan-Projekt der niederländischen TU Delft eingeordnet ist (Vos et al. 2017).

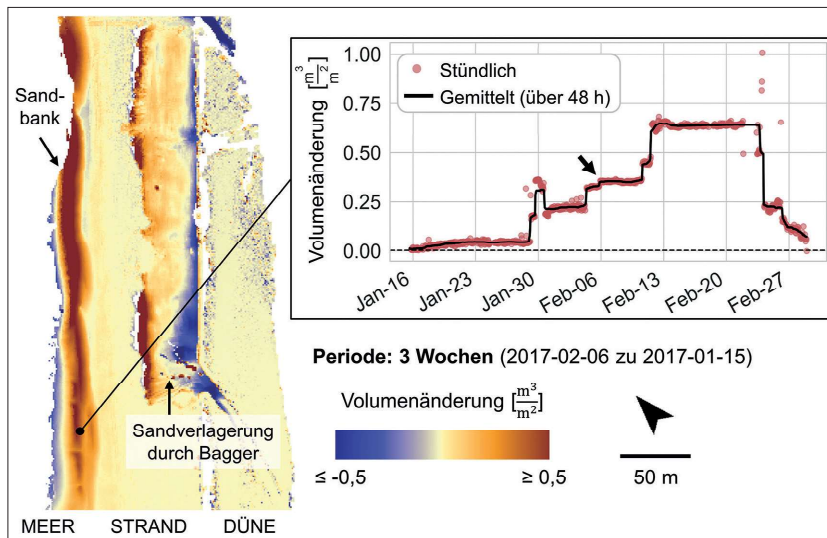


Abb. 1: Volumenänderung für einen Sandstrand über eine Periode von drei Wochen und zeitlicher Verlauf der Volumenänderung an einer Stelle abgeleitet aus stündlichen Terrestrischen Laserscanning-Daten. Referenz der Änderungswerte ist die erste Aufnahme der verwendeten Zeitserie (2017-01-15). Verändert nach ANDERS et al. (2019)

Um aus der Analyse der 3D-Zeitserie bessere Aussagen über den Prozessverlauf im geomorphologischen System treffen zu können, wird im Auto3Dscapes-Projekt eine Methode entwickelt, welche die zeitliche Korrelation über mehrere Aufnahmezeitpunkte berücksichtigt. Bisherige Methoden beziehen nur jeweils zwei Zeitpunkte in die Analyse ein. Die neue Methode verwendet ein statistisches Modell, welches sowohl Messunsicherheiten des Laserscanners wie auch die raumzeitliche Autokorrelation der Messdaten berücksichtigt (EBERLEIN et al. 2019).

Diese Methodenentwicklung wird für den Anwendungsfall des Schneedecken-Monitorings durchgeführt. Dazu wurde im April 2018 über sechs Tage das schneebedeckte Gelände unterhalb der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus an der Zugspitze stündlich mit einem terrestrischen Laserscanner aufgenommen (Abb. 2a). Außergewöhnlich hohe Tagestemperaturen und Strahlungswerte im Aufnahmezeitraum bewirkten vor allem ein Absacken und Verdichten der Schneedecke sowie vereinzelte Lawinenabgänge. Beim zeitlichen Vergleich der erfassten Oberflächendaten treten diese Prozesse vorwiegend als negative Höhenänderungen hervor (Abb. 2b). Gleichzeitig ergibt sich im Ablagerungsbereich der Schneelawinen eine (abrupte) positive Höhenänderung.

Durch die Zeitserien-basierte Analyse der Oberflächendaten können besonders feine Veränderungen detektiert und deren Dynamik beschrieben werden. Dies ist für ein exemplarisches Ergebnis in Abb. 2c dargestellt. Während des Tagesverlaufs sind in den Daten Höhenänderungen durch überlappende Prozesse der Ablation, Verdichtung und Lawinen enthalten, während sich die gemessenen Höhen nachts kaum verändern.

Die vollständige Analyse der Zeitserie wird die Schneedeckendynamik in unterschiedlichen Bereichen des Gebiets und zu verschiedenen Zeitpunkten in beispiellosem zeitlichem Detail abbilden können.

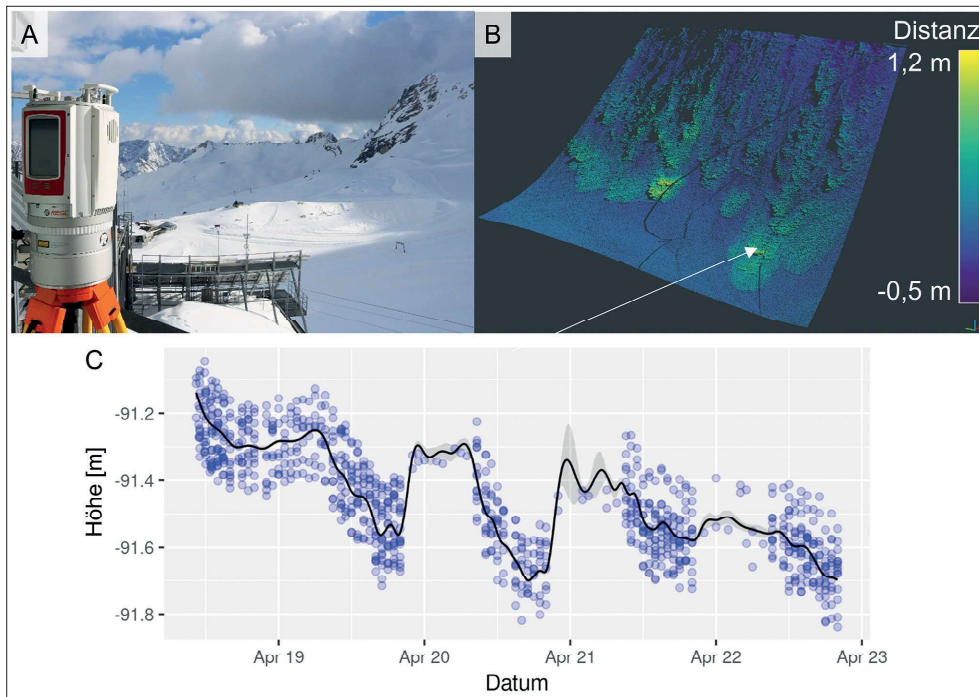


Abb. 2: a) Terrestrisches Laserscanning der Schneedecke an der Umweltforschungsstation Schneeferner, Zugspitze. b) Höhenänderung an einem schneebedeckten Hang abgeleitet aus der Punktwolkendistanz zweier Aufnahmezeitpunkte. c) Zeitlicher Verlauf der Oberflächenhöhe (relativ zum Messinstrument oberhalb des Hangs) in der lokalen räumlichen Nachbarschaft an einer Stelle der Schneedecke (weißer Pfeil). Verändert nach EBERLEIN et al. (2019)

Die entwickelte Methodik trägt einen wichtigen Teil zu dem neuen Ansatz des Auto3Dscapes-Projekts für die autonome Langzeit-Beobachtung von topographischen Veränderungen bei. Sie ist dann auf verschiedenste geomorphologisch dynamische Anwendungsfälle übertragbar, wie Sandstrände oder die eingangs beispielhaft genannten Hangrutschungen. Ein weiteres Untersuchungsgebiet sind Dünen in ariden Gebieten, wie der marokkanische Erg Chebbi. Hier wurde im Oktober 2018 gemeinsam mit der Abteilung Physiogeographie eine Sterndüne durch TLS erfasst und insbesondere eine Wiederholung der TLS-Aufnahmen kann ermöglichen, mehr über die Dynamik und letztendlich Genese dieser Megaformen herauszufinden (HERZOG et al. 2019).

Auto3Dscapes ist ein Forschungsprojekt der Arbeitsgruppe 3DGeo in Zusammenarbeit mit Dr. Hubert Mara (Interdisziplinäres Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen, IWR) und Prof. Dr. Roderik Lindenbergh von der TU Delft. Die Finanzierung des Projekts erfolgt teilweise von der Heidelberger Graduiertenschule der mathematischen und computergestützten Methoden für die Wissenschaften (HGS MathComp) am IWR, gegründet im Rahmen der Exzellenzinitiative (DFG: GSC 220).

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-