

# Einfluss der zeitlichen Auflösung auf die raumzeitliche Segmentierung geomorphologischer Änderungsprozesse in 3D-Punktwolken

KATHARINA ANDERS<sup>1,2</sup>, LUKAS WINIWARTER<sup>1</sup>, HUBERT MARA<sup>2</sup>,  
RODERIK LINDENBERGH<sup>3</sup>, SANDER E. VOS<sup>4</sup> & BERNHARD HÖFLE<sup>1,2</sup>

*Zusammenfassung: Zeitserien von 3D-Punktwolken werden zunehmend für die Beobachtung geomorphologischer Phänomene genutzt. Dieser Beitrag untersucht, wie eine veränderte zeitliche Auflösung die raumzeitliche Abgrenzung von Oberflächenprozessen beeinflusst. Dazu wird eine Zeitserien-basierte Region Growing Segmentierung verwendet. Die Untersuchung erfolgt am Beispiel einer Sandbank an einem Strand in den Niederlanden, der über fünf Monate stündlich mit terrestrischem Laserscanning erfasst wurde. Die Ergebnisse zeigen, dass die zeitliche Prozessabgrenzung maßgeblich vom gewählten Zeitintervall abhängt. Auf Basis dieser Prozessabgrenzung kann die anschließende raumzeitliche Segmentierung auf ausgedünnten Zeitserien und somit mit reduziertem Berechnungsaufwand erfolgen.*

## 1 Motivation und Ziel

Geomorphologische Prozesse unterschiedlicher Magnitude, Häufigkeit und Geschwindigkeit charakterisieren die Topographie einer Landschaft. Für die Analyse von Oberflächenänderungen auf verschiedenen räumlichen und zeitlichen Skalen können Zeitserien von 3D-Punktwolken durch permanentes terrestrisches Laserscanning (TLS) erfasst werden (EITEL et al. 2016). Die zeitliche Auflösung der Datenaufnahme (z.B. stündlich, wöchentlich, jährlich) wird derzeit vor allem hinsichtlich der Bewegungsraten der erwarteten Prozesse gewählt (z.B. KROMER et al. 2017). Oftmals wird diese dabei hinsichtlich i) der praktischen Durchführbarkeit einzelner Messkampagnen oder ii) des minimalen zeitlichen Abstandes einzelner aufeinanderfolgender Aufnahmen höchstmöglich gesetzt. Anhand des Beispiels eines stündlich über mehrere Monate aufgenommenen Sandstrands wurde die Relevanz einer TLS-basierten Beobachtungsserie in hoher zeitlicher Auflösung und über lange Perioden gegenüber weniger, einzelner Aufnahmezeitpunkte in Bezug auf eine Änderungsanalyse gezeigt (ANDERS et al. 2019).

In diesem Beitrag untersuchen wir den Einfluss einer veränderten zeitlichen Auflösung auf die räumliche und zeitliche Abgrenzung eines Änderungsprozesses. Dazu verwenden wir eine neue Methode der raumzeitlichen Segmentierung (ANDERS et al. 2020) für das Beispiel einer Sandbank

---

<sup>1</sup> Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, 3DGeo Research Group, Im Neuenheimer Feld 368, D-69120 Heidelberg, E-Mail: [katharina.anders, lukas.winiwarter, hoefle]@uni-heidelberg.de

<sup>2</sup> Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Interdisziplinäres Zentrum für Wissenschaftliches Rechnen, Im Neuenheimer Feld 205, D-69120 Heidelberg, E-Mail: hubert.mara@iwr.uni-heidelberg.de

<sup>3</sup> Delft University of Technology, Department of Geoscience & Remote Sensing, Niederlande, E-Mail: R.C.Lindenbergh@tudelft.nl

<sup>4</sup> Delft University of Technology, Department of Hydraulic Engineering, Niederlande, E-Mail: S.E.Vos@tudelft.nl

als typisches Änderungsobjekt an einem Strand. Dieser wurde in stündlicher Auflösung mit terrestrischen Laserscanning erfasst. Die zeitliche Auflösung der Daten wird für die Analyse systematisch reduziert.

## 2 Methode

### 2.1 Datengrundlage

Als Datengrundlage dient eine TLS-Zeitserie eines Sandstrands mit Datensätzen in stündlicher Auflösung, die über einen Zeitraum von fünf Monaten in Kijkduin, in den Niederlanden, aufgenommen wurde (VOS et al. 2017). Die Vorprozessierung der Daten erfolgte nach der Beschreibung in ANDERS et al. (2019). Die Oberflächenänderung wurde für jede Epoche als vertikale Punktwolkendistanz der Geländeoberfläche zur ersten Punktwolke der Zeitserie berechnet. Die Berechnung erfolgt für Punkte in einem regulären 2D-Gitter mit einem Abstand von 0.5 m. Damit ergibt sich als Eingangsdatensatz für die Änderungsanalyse ein 3D-Tensor, in dem jeder Zeitschnitt die Änderungswerte der Szene an allen räumlichen Positionen repräsentiert. Messungenauigkeiten werden durch Anwendung eines gleitenden Median in der temporalen Domäne mit einem Zeitfenster von einer Woche verringert.

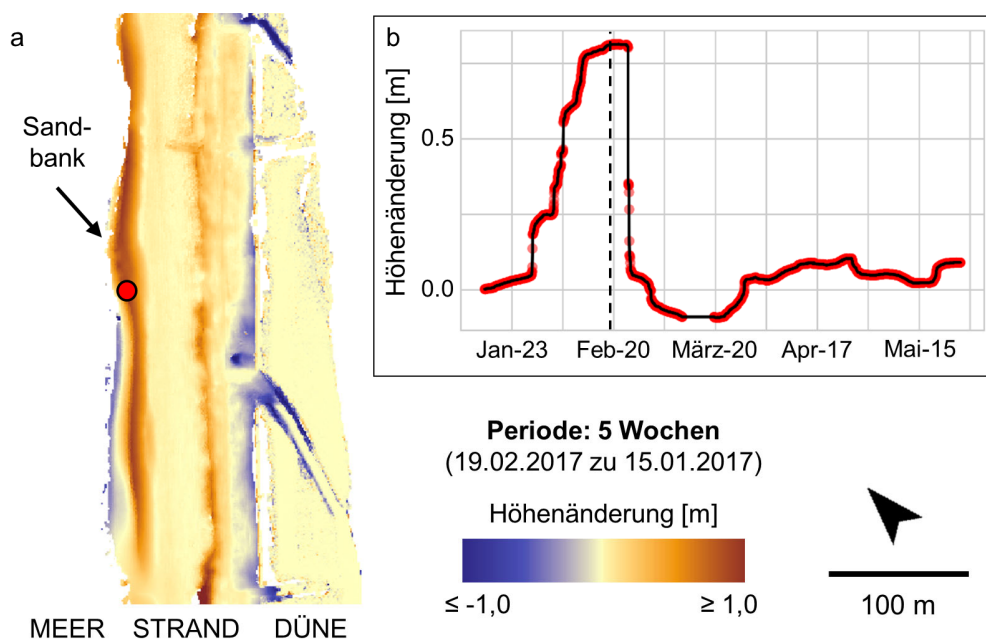


Abb. 1: (a) Höhenänderung des Sandstrands über eine Periode von fünf Wochen und (b) Verlauf der Höhenänderung an einer Position auf der Sandbank (roter Punkt in a). Die gestrichelte Linie markiert den Zeitpunkt der dargestellten Höhenänderungskarte. Höhenänderungen beziehen sich auf die erste Aufnahme der Zeitserie.

Als Beispiel wählen wir in diesem Beitrag eine Sandbank, die sich über mehrere Wochen am Strand bildet und dann abrupt zerstört wird. Abb. 1 zeigt die Höhenänderungen der Strandszene

zu einem Zeitpunkt maximaler Ausprägung der Sandbank und die komplette Zeitserie einer zentralen Position in der Sandbank. Diese Position wird als Ausgangspunkt für die raumzeitliche Segmentierung verwendet.

## 2.2 Raumzeitliche Segmentierung von Änderungsprozessen

Zur Detektion und räumlichen Abgrenzung verwenden wir eine Zeitserien-basierte Methode der Änderungsanalyse von Oberflächenprozessen (ANDERS et al. 2020). Die Methode berücksichtigt die komplette Historie der Oberflächenänderung durch eine *Region Growing* Segmentierung basierend auf der Ähnlichkeit benachbarter Zeitserien der Höhenänderungen. Dadurch ist im Unterschied zu bisherigen Methoden keine festgelegte Auswahl der Analyseperiode notwendig.

Die Methode detektiert Änderungen zunächst in der zeitlichen Domäne einer 2D-Position als Verschiebungen im Median der Werteverteilung in einem gleitenden Zeitfenster (TRUONG et al. 2019). Danach werden abgeschlossene Prozesse, bei denen die ursprüngliche Oberflächenhöhe wiederhergestellt wurde, zeitlich abgegrenzt. Ausgehend von einem detektierten Änderungspunkt als Startzeitpunkt wird dazu das normalisierte Volumen der Änderungswerte entlang der Zeitserie maximiert (in Anlehnung an PILTZ et al. 2016). Die daraus abgeleitete Periode des zeitlichen Änderungsprozesses an der gewählten initialen Position dient als Ausgangspunkt für das *Region Growing*. *Dynamic Time Warping* (DTW)-Distanzen (BERNDT & CLIFFORD 1994) als Ähnlichkeitsmetrik zwischen Zeitserien werden als Homogenitätskriterium für die Segmentierung verwendet. Die Berechnung der DTW-Distanzen erfolgt mittels des *Fast DTW* (SALVADOR & CHAN 2007). Diese Weiterentwicklung reduziert den Berechnungsaufwand des ursprünglichen Algorithmus von quadratischer zu linearer Komplexität. Der Schwellenwert für die Segmentierung eines Objekts wird als Mittelwert der DTW-Distanzen zur Zeitserie an der initialen Position in einer Nachbarschaft von 10 x 10 m ermittelt (ANDERS et al. 2020).

## 2.3 Untersuchung des Einflusses der zeitlichen Auflösung auf die Objektsegmentierung

Der Einfluss der zeitlichen Auflösung auf die Segmentierung eines raumzeitlichen Objekts wird untersucht, indem der Datensatz in zunehmend größere Zeitintervalle ausgedünnt wird. Dazu wird nur jede  $n$ -te Szene des 3D-Tensor mit stündlichen Oberflächenänderungen verwendet, mit  $n$  als Vielfaches von 2 bis 168 h. Daraus ergeben sich insgesamt 84 Varianten einer reduzierten zeitlichen Auflösung. Als Zielmetrik unserer Untersuchung dienen die Dauer des detektierten Änderungsprozesses und die Fläche des segmentierten Objekts. Als Referenz wird das Ergebnis der stündlichen Auflösung verwendet, in der Annahme, dass der Prozess im höchsten zeitlichen Detailgrad am besten abgebildet ist.

## 3 Ergebnis

Die zeitliche Abgrenzung der Sandbank hängt davon ab, zu welchem Zeitpunkt der Beginn des Prozesses als Änderungspunkt detektiert wird. Bei einzelnen Zeitintervallen wird die Höhenzunahme der Sandbank nicht detektiert (Abb. 2a). In diesen Fällen wäre eine an das Zeitintervall

angepasste Parametrisierung der Detektion von Änderungspunkten erforderlich. Tendenziell erfolgt die Detektion des Prozessbeginns bei niedrigerer zeitlicher Auflösung an einem späteren Zeitpunkt in der Zeitserie. Dadurch wird die Gesamtdauer des Prozesses zunehmend unterschätzt.

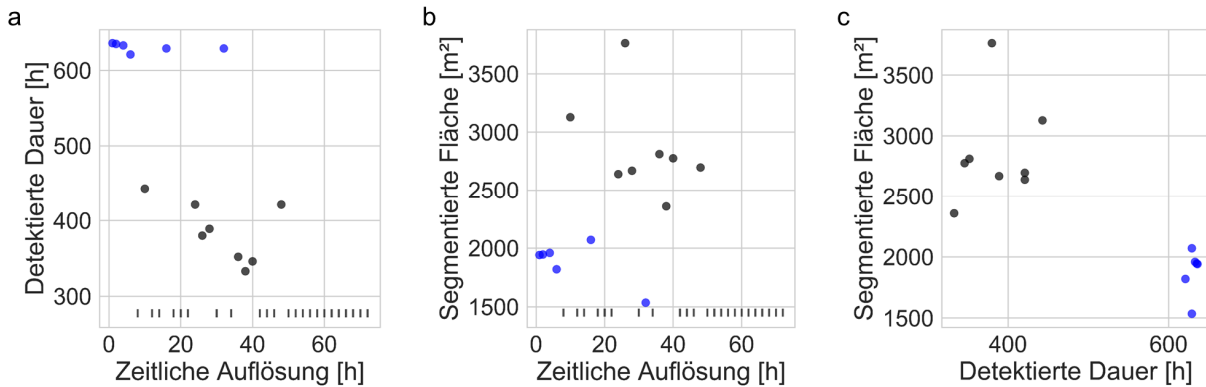


Abb. 2: Einfluss der zeitlichen Auflösung auf die (a) detektierte Dauer und (b) segmentierte Fläche einer Sandbank, sowie (c) Zusammenhang zwischen detektierter Dauer und segmentierter Fläche. Werte in blau haben eine hohe Übereinstimmung mit der Referenz. Strichmarken kennzeichnen zeitliche Auflösungen, bei denen keine Änderungspunkte detektiert wurden

Da die räumliche Auflösung der Daten und die initiale Position für die Segmentierung für alle zeitlichen Auflösungen gleich sind, ist die räumliche Abgrenzung in dieser Untersuchung einzig davon abhängig, wie der Prozess in den Zeitserien der Eingangsdaten, also dem 3D-Tensor des jeweiligen Intervalls, repräsentiert ist. Die Übereinstimmung der segmentierten Fläche mit der Referenz nimmt mit niedrigerer zeitlicher Auflösung nicht konstant ab (Abb. 2b). Vielmehr zeigt sich ein Zusammenhang mit der detektierten Dauer des Prozesses (Abb. 2c). Dies deutet darauf hin, dass die Übereinstimmung der raumzeitlichen Segmentierung mit der Referenz bei unterschiedlichen Auflösungen maßgeblich von der Prozessabgrenzung in der Zeitserie abhängt, nicht jedoch von der Dichte der Zeitserie. Je geringer demnach die Abdeckung der Prozessdauer, desto stärkere Abweichungen ergeben sich in der segmentierten Fläche des Änderungsobjekts zur Referenz.

## 4 Fazit & Ausblick

Für die raumzeitliche Analyse topographischer Zeitserien bedeutet das Ergebnis, dass die Prozessdetektion und -abgrenzung in der zeitlichen Domäne mit höchstmöglicher Auflösung erfolgen sollte. Für die anschließende raumzeitliche Segmentierung kann die Zeitserie in der detektierten Periode ausgedünnt werden. So lässt sich der Berechnungsaufwand reduzieren, welcher für die DTW-Distanz mit zunehmender Anzahl an Zeitpunkten linear zunimmt. Für die Interpretation der Änderungsprozesse steht dann wiederum die volle zeitliche Auflösung zur Verfügung. Hierbei ist das geeignete Aufnahmeintervall abhängig von der Bewegungsrate der zu beobachtenden Prozesse.

## 5 Danksagung

Dieser Forschungsbeitrag wurde teilweise von der Heidelberger Graduiertenschule HGS-MathComp finanziert, gegründet im Rahmen der Exzellenzinitiative (DFG: GSC 220). Die Datenaufnahme erfolgte im Projekt CoastScan und wurde vom Europäischen Forschungsrat finanziert (ERC Advanced grant 291206, NEMO).

## 6 Literaturverzeichnis

- ANDERS, K., LINDENBERGH, R. C., VOS, S. E., MARA, H., DE VRIES, S. & HÖFLE, B., 2019: High-Frequency 3D Geomorphic Observation Using Hourly Terrestrial Laser Scanning Data Of A Sandy Beach. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science* **IV-2/W5**, 317-324, doi: 10.5194/isprs-annals-IV-2-W5-317-2019.
- ANDERS, K., WINIWARTER, L., RODERIK, R. C., WILLIAMS, J. G., VOS, S. E. & HÖFLE, B., 2020: 4D Objects-By-Change: Spatiotemporal Segmentation of Geomorphic Surface Change from LiDAR Time Series. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **159**, 352-363, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2019.11.025.
- BERNDT, D. J. & CLIFFORD, J., 1994: Using Dynamic Time Warping to Find Patterns in Time Series. *AAAI-94 Workshop on Knowledge Discovery in Databases* **10(16)**, 359-370.
- EITEL, J. U. H., HÖFLE, B., VIÉRLING, L. A., ABELLÁN, A., ASNER, G. P., DEEMS, J. S., GLENNIE, C. L., JOERG, P. C., LEWINTER, A. L., MAGNEY, T. S., MANDLBURGER, G., MORTON, D. C., MÜLLER, J. & VIÉRLING, K. T., 2016: Beyond 3-D: The new spectrum of lidar applications for earth and ecological sciences. *Remote Sensing of Environment* **186**, 372-392, doi: 10.1016/j.rse.2016.08.018.
- KROMER, R. A., ABELLÁN, A., HUTCHINSON, D. J., LATO, M., CHANUT, M.-A., DUBOIS, L. & JABOYEDOFF, M., 2017: Automated Terrestrial Laser Scanning with Near Real-Time Change Detection - Monitoring of the Séchillenne Landslide. *Earth Surface Dynamics* **5**, 293-310, doi: 10.5194/esurf-5-293-2017.
- PILTZ, B., BAYER, S. & POZNANSKA, A. M., 2016: Volume Based DTM Generation From Very High Resolution Photogrammetric DSMs. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* **XLI-B3**, 83-90, doi: 10.5194/isprs-archives-XLI-B3-83-2016.
- SALVADOR, S. & CHAN, P., 2007: Toward accurate dynamic time warping in linear time and space. *Intelligent Data Analysis* **11(5)**, 561-580, doi: 10.3233/IDA-2007-11508.
- TRUONG, C., OUDRE, L. & VAYATIS, N., 2020: Selective review of offline change point detection methods. *Signal Processing* **167**, doi: 10.1016/j.sigpro.2019.107299.
- VOS, S., LINDENBERGH, R. & DE VRIES, S., 2017: CoastScan: Continuous Monitoring of Coastal Change using Terrestrial Laser Scanning. *Proc. of Coastal Dynamics* **233**, 1518-1528.