

Zeitreihen zur Abschätzung von Vegetationsdynamiken: Eine fernerkundliche Analyse am Beispiel des Langtang-Tals, Nepal

Dagmar Brombierstäudl

Schlagworte: Nepal, Hochgebirge, Fernerkundung, BFAST, NDVI

Einleitung

Fernerkundliche Zeitreihenuntersuchungen spielen seit einigen Jahren eine zunehmend wichtige Rolle in der Untersuchung von Landoberflächendynamiken. Während anthropogen ausgelöste Veränderungen zur Degradation natürlicher Ökosysteme beitragen, spielen natürliche ökologische Störungen eine essentielle Rolle für den Erhalt der Biodiversität der Erde (Battisti et al. 2016). Die wachsende Verfügbarkeit raumzeitlich gut aufgelöster Daten sowie immer leistungsfähigerer Computersysteme trägt zur vermehrten Anwendung von Zeitreihenstudien auf verschiedenste Fragestellungen bei (Kuenzer et al. 2015).

In diesem Zusammenhang stellt der hochdynamische Hochgebirgsraum jedoch bislang eine vernachlässigte Untersuchungsregion dar. Am Beispiel des Tals Langtang (Nepal) wird die Applikation einer vegetationsdynamischen Zeitreihenuntersuchung, basierend auf Landsat-Daten, zur Detektion gravitativer Massenbewegungen sowie anschließender Vegetationsentwicklung auf den gestörten Flächen vorgestellt.

Langtang-Tal

Das Untersuchungsgebiet befindet sich nördlich von Kathmandu in der Himalaya-Hauptkette. Es ist Teil des Langtang-Nationalparks und aufgrund seiner landschaftlichen Diversität eine beliebte Trekkingdestination (Flörchinger et al. 2013; Sulzer 2007).

Infolge des Gorkha-Erdbebens am 25. April 2015 wurden im Tal zahlreiche Rutschungen ausgelöst. Die verheerendste gravitative Massenbewegung, eine Eis-Schuttlawine, ging von den Hängegletschern des Langtang Lirung (7227m ü. NN) aus und verschüttete beinahe das gesamte Dorf Langtang (Abb. 1). Durch Geschwindigkeit und Volumen wurde zusätzlich eine enorme Druckwelle mit Geschwindigkeiten von mehr als 300 km/h ausgelöst, welche nicht nur zwei weitere nahegelegene Siedlungen, sondern ebenfalls die Nadelwaldvegetation des gegenüberliegenden Hangs komplett zerstörte. Durch die Katastrophe starben in Langtang schätzungsweise 350 Menschen (Collins & Jibson 2015; Lacroix 2016).



Abb. 1: Blick auf das neue Dorf Langtang (a) und den Schuttkörper (b) (Foto: D. Brombierstäudl 2017)

Methodik

Die Untersuchung basiert auf frei verfügbaren Landsat 7 ETM+ und 8 OLI *Surface Reflectance* Daten, welche einen Zeitraum von fünf Jahren, 2013 – 2018, abdecken. Da fernerkundlich gestützte vegetationsdynamische Untersuchungen in der Regel auf Basis von Vegetationsindizes durchgeführt werden, wurde der *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) (Rouse et al. 1973) abgeleitet, welcher einen der populärsten und zugleich robustesten Indizes darstellt. Er nutzt das Verhältnis aus den von Vegetation reflektierten Spektralanteilen im roten und nahinfraroten Wellenlängenbereich, und ist daher gut geeignet um als Proxy die *greenness* eines Pixels zu beschreiben.

Die anschließende Zeitreihenuntersuchung wurde in der freien Programmiersprache *R* mit dem Paket *Breaks for Additive Season and Trend* (BFAST) (Verbesselt et al. 2010) durchgeführt. Dieser Algorithmus kombiniert eine Veränderungsdetektion mit der additiv, iterativen Zerlegung einer Datenreihe in ihre drei Komponenten: Saison-, Trend- und Restkomponente. Dabei ermöglichen zusätzliche Funktionen die Detektion von abrupten Bruchpunkten (*breaks*) aber auch graduellen Veränderungen der Vegetation in Saison- und Trendkomponente. Für jede dieser potentiellen Veränderungen werden ein Wahrscheinlichkeitsintervall und die Magnitude plus Richtung angegeben (Abb. 2). Da sich die Reaktion von Vegetation mathematisch mittels linearer

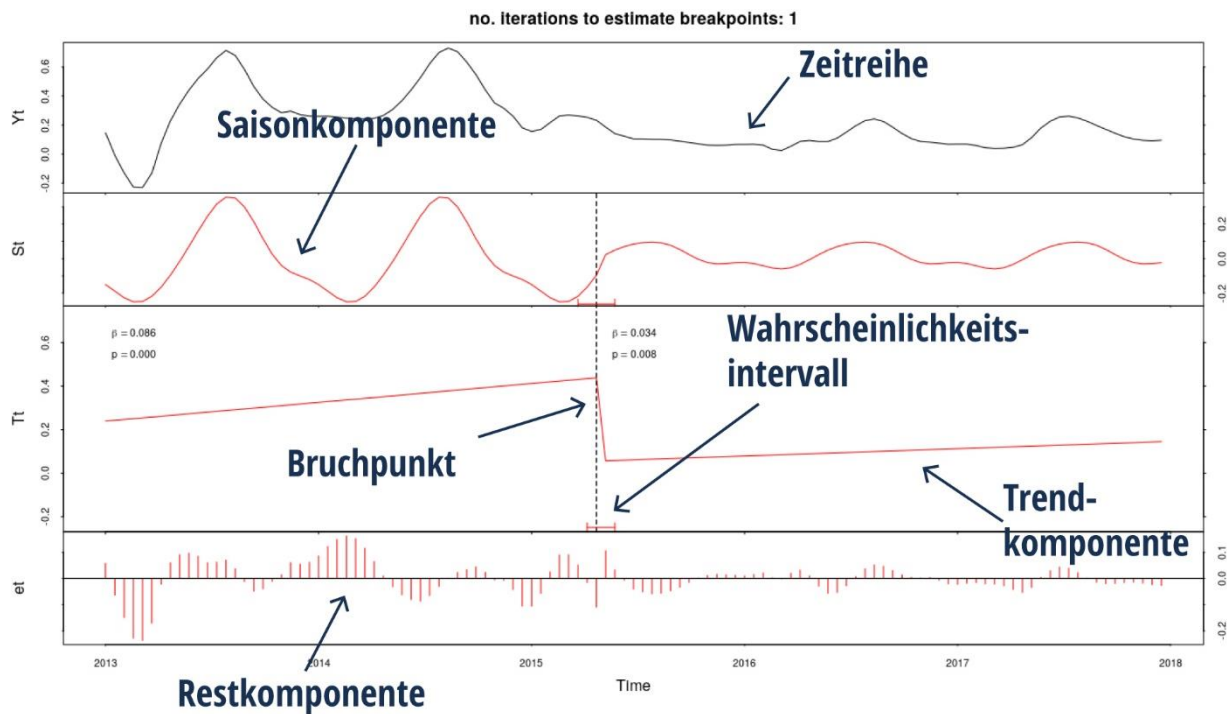


Abb. 2: Beispiel eines BFAST-Outputs für ein Pixel der Eis-Schuttlawine (eigene Darstellung)

Funktionen beschreiben lässt, kann mit jener Methodik, im Gegensatz zur bi-temporalen Veränderungsdetektion, die Entwicklung von Vegetation infolge einer Störung adäquat beschrieben werden (Coppin et al. 2004, Kennedy et al. 2014).

Die Kartierung der Eis-Schuttlawine sowie des von der Druckwelle betroffenen Hangs folgt der Hypothese, dass diese Ereignisse Störungen der Vegetationsentwicklung darstellen und sich als abrupte Veränderungen innerhalb der Trendkomponente widerspiegeln. Anschließende Sukzession bzw. Regeneration der Vegetation zeigt sich in einer steigenden Trendkomponente.

Ergebnisse & Diskussion

Mit der Zeitreihenanalyse können die Kontur, Fläche und der Zeitpunkt der Eis-Schuttlawine eindeutig erfasst werden (Abb. 3). Anhand der Störungsmagnitude lässt sich ebenfalls differierender Vegetationsbewuchs innerhalb der betroffenen Fläche ableiten. Je höher der NDVI eines Pixels zum Störungszeitpunkt ist, desto höher fällt auch die zugehörige Störungsmagnitude aus (Verbesselt et al. 2010).

Hinsichtlich der Vegetationsentwicklung ist zu beobachten, dass zweieinhalb Jahre nach dem Störungsereignis sowohl am östlichen als auch westlichen Rand der Schutthalde Vegetationswachstum detektiert werden kann. Wie Lawrence & Ripple (2000) und Teltcher & Fassnacht (2018) in ihren Untersuchungen am Mount St. Helens gezeigt haben, haben Mächtigkeit und Materialeigenschaften

der Schutthalde eine bedeutende Rolle hinsichtlich der Regenerationsfähigkeit und -zeit der Vegetation. Da die höchsten Steigungsraten der Trendkomponente an den Rändern zu finden sind, kann geschlossen werden, dass die Rutschung dort wahrscheinlich eine geringmächtigere Schuttbedeckung aufwies, wodurch eine schnelle Regeneration möglich war.

Bezüglich der Zerstörungen durch die Druckwelle offenbart die Analyse, dass die Druckwelle entlang des gesamten nordexponierten Hangs gewirkt hat (Abb. 3). Dabei lässt die räumliche Verteilung auf eine talabwärts gerichtete Ausbreitung schließen. Anhand des Verlaufs der Störungsmagnitude kann weiterhin angenommen werden, dass die Intensität sowohl mit vertikaler als auch horizontaler Distanz abgenommen hat. Die differierenden Muster lassen zusätzlich Rückschlüsse auf die Zerstörungsart zu. Während die hohen Werte in den direkt der Schuttlawine gegenüberliegenden Bereichen auf Windwurf und Zerstörung der Vegetation bis in die unteren Schichten schließen lassen, ist in Arealen mit niedrigeren Werten lediglich von einer temporären, teilweisen Entnadelung auszugehen. Hinsichtlich der Vegetationsentwicklung seit dem Störungsereignis sind die höchsten signifikant positiven Trends in den Bereichen höchster Störungsmagnituden zu beobachten. Durch die Funktionsweise des linearen Trendmodells wird die Steigung der Trendgeraden umso steiler, je größer die Differenz zwischen dem minimalen Wert zu Beginn und dem maximalen Wert am Ende des Trendsegments ist.

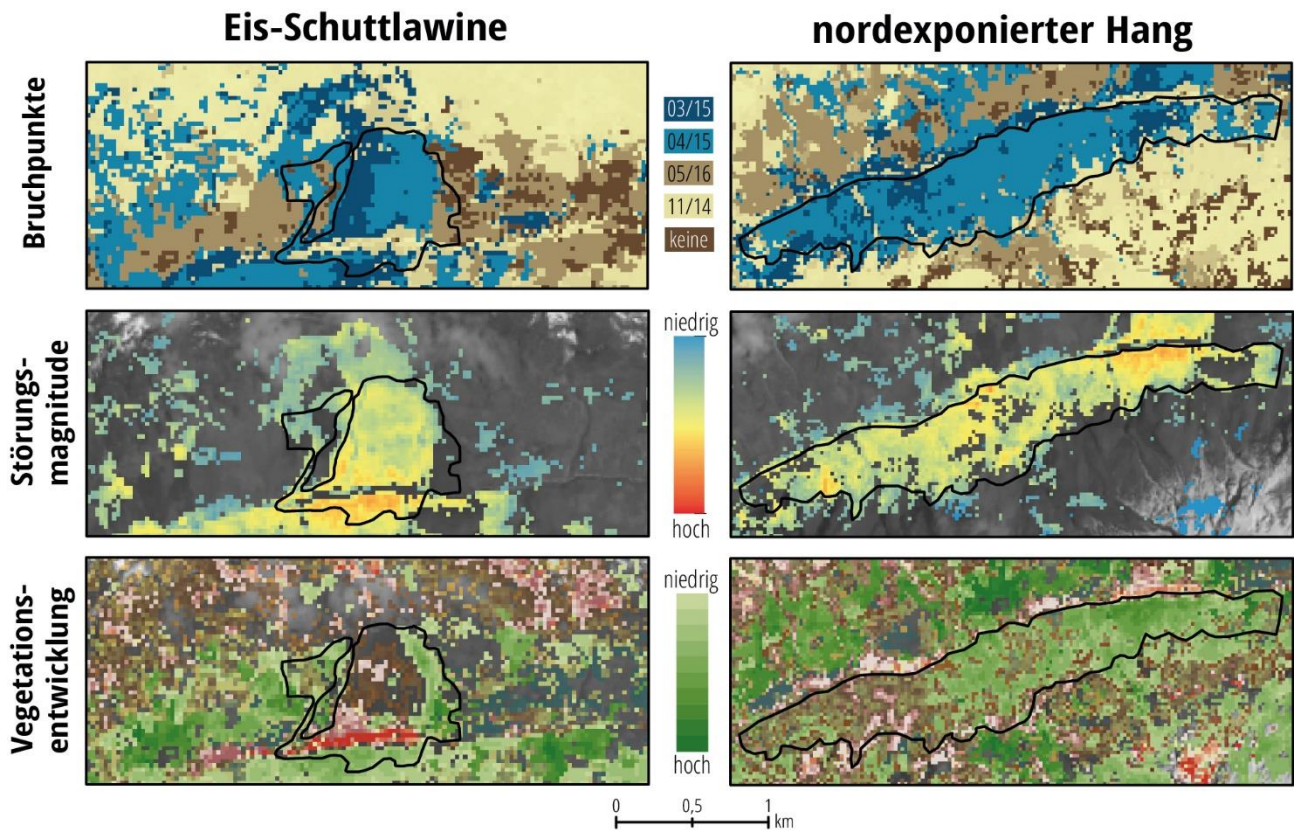


Abb. 3 Ergebnisse der Rasteranalysen (eigene Darstellung)

Dementsprechend liegen an Pixeln mit geringen Störungsmagnituden ebenfalls geringe Steigungen der linearen Trendgeraden vor. Dennoch sind die hohen Werte ebenfalls auf Sukzession zurückzuführen, welche während eines Geländeaufenthalts im Oktober 2017 beobachtet werden konnte. Jedoch kann ohne eine Validierung mit Ground-Truth-Daten keine gesicherte Aussage über den „realen“ Zustand des Waldes und der ablaufenden Sukzession getroffen werden

Fazit & Ausblick

Die Ergebnisse belegen das Potential eines Bruchpunkt-basierten Zeitreihenansatzes zur Detektion von gravitativen Massenbewegungen. Da diese Ereignisse eine abrupte Veränderung der vegetationsdynamischen Prozesse zur Folge haben, können sie gut mittels der in BFAST implementierten Algorithmen auf Grundlage von NDVI-Variabilitäten

detektiert werden. Zusätzlich ließen sich mit Hilfe von Störungsmagnitudo und Vegetationsentwicklung Informationen über die Zerstörungsart ableiten.

Insbesondere im durch die Druckwelle zerstörten Nadelwald wären weiterführende Analysen bezüglich der zukünftigen Vegetationsentwicklung und Sukzessionsstadien anhand saisonaler Kurvenverläufe interessant. Fernerkundlich gestützte Untersuchungen können somit zu einem besseren Verständnis von vegetationsdynamischen Prozessen beitragen, welches beispielsweise in Verbindung mit Dauerbeobachtungsflächen weiter vertieft werden kann. Außerdem ermöglicht diese Art der Veränderungsdetektion eine großflächige und automatisierbare Erkennung von gravitativen Massenbewegungen inklusive des Ereigniszeitpunktes.

Literaturverzeichnis

Battisti, C., Poeta, G. & Fanelli, G. (2016): The Concept of Disturbance. In: Battisti, C., Poeta, G. & Fanelli, G. (eds.): *An Introduction to Disturbance Ecology: a Road Map for Wildlife Management and Conservation*. Cham, 7-12.

Collins, B. D. & Jibson, R. W. (2015): Assessment of Existing and Potential Landslide Hazards Resulting from the April 25, 2015 Gorkha, Nepal Earthquake Sequence. In: U.S. Geological Survey Open-file Report (August): 50.
<https://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr20151142> (20.08.2018).

Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B. & Lambin, E. (2004): Digital Change Detection Methods in Ecosystem Monitoring: A Review. In: *International Journal of Remote Sensing* 25 (9): 1565–1596.

Flörchinger, V., Marx, S., Müller, L., Schelhorn, S.-J., Schütt, F. & Selgert, U. (2013): Die touristische Entwicklung der Hochgebirgssiedlung Langtang in Nepal. In: Lennartz, T., Butsch, C., Franz, M. & Kroll, M. (Hrsg.): *Aktuelle Forschungsbeiträge zu Südasiens: 3. Jahrestagung des AK Südasiens, 25./26. Januar 2013, Heidelberg, Heidelberg; Berlin: CrossAsia-eBooks, 2016 (2013) (Geographien Südasiens, Band 1), 19–22.*

Kennedy, R. E., Andréfouët, S., Cohen, W. B., Gómez, C., Griffiths, P., Hais, M., Healey, S. P., Helmer, E. H., Hostert, P., Lyons, M. B., Meigs, G. W., Pflugmacher, D., Phinn, S. R., Powell, S. L., Scarth, P., Sen, S., Schroeder, T. A., Schneider, A., Sonnenschein, R., Vogelmann, J. E., Wulder, M. A. & Zhu, Z (2014): Bringing an Ecological View of Change to Landsat-based Remote Sensing. In: *Frontiers in Ecology and the Environment* 12 (6): 339-346.

Kuenzer, C., Dech, S. & Wagner, W. (2015): Remote Sensing Time Series Revealing Land Surface Dynamics: Status quo and the Pathway Ahead. In: Kuenzer, C., Dech, S. und Wagner, W. (Hrsg.): *Remote Sensing Time Series: Revealing Land Surface Dynamics*. Cham, 1–24.

Lacroix, P. (2016): Landslides Triggered by the Gorkha Earthquake in the Langtang Valley, Volumes and Initiation Processes. In: *Earth, Planets and Space* 68: 46.

Lawrence, R. L. & Ripple, W. J (2000): Fifteen Years of Revegetation of Mount St. Helens: a Landscape-Scale Analysis. In: *Ecology* 81 (10): 2742–2752.

Rouse, J.W., Hass, R. H., Schell, J. & Deering, D. (1973): Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. In: *Third Earth Resources Technology Satellite (ERTS) Symposium* 1, 309–317.

Sulzer, W. (2007): Langtang Himal (Nepal) - Veränderungen einer hochalpinen Landschaft. In: *Grazer Mitteilungen der Geographie und Raumforschung* (40): 3–9.

Teltscher, K. & Fassnacht, F. E. (2018): Using multispectral Landsat and Sentinel-2 satellite data to investigate vegetation change at Mount St. Helens since the great volcanic eruption in 1980. In: *Journal of Mountain Science* 15 (9): 1851–1867.

Verbesselt, J., Hyndman R., Newnham, G. & Culvenor, D. (2010): Detecting Trend and Seasonal Changes in Satellite Image Time Series. In: *Remote Sensing of Environment* 114 (1): 106–115.

Kontakt

Dagmar Brombierstäudl (M.Sc.)
Südasiens-Institut, Abteilung Geographie
Universität Heidelberg
Voßstraße 2 / 4310, 69115 Heidelberg
brombierstaeudl@uni-heidelberg.de