

Der Beitrag Satelliten-basierter Bodenfeuchte-Information für ausgewählte Anwendungen im Risiko- und Naturgefahrenmanagement

Christoph AUBRECHT, Stefan KIENBERGER, Markus FLEISS,
Klaus STEINNOCHER und Peter ZEIL

Überblick

In diesem Artikel wird der Einsatz von Satelliten-basierten Bodenfeuchtedaten für ausgewählte Anwendungen im Risikomanagement diskutiert. Die Analyse potenzieller Einwirkungen von Naturgefahren auf soziale Systeme und deren Vulnerabilität wird als essenzieller Faktor für Risikoabschätzungen dargestellt. Zwei Fallstudien zur Analyse von Ereignissen mit exzessivem bzw. mangelndem Wasservorkommen werden vorgestellt, einerseits eine Modellierung und Folgenabschätzung der Flutkatastrophe in Pakistan im Jahr 2010, andererseits eine Integration von Trockenheitsinformation im Kontext von Feuermonitoring in Afrika für das Jahr 2009.

1 Vulnerabilität und gesellschaftliche Aspekte

Damit ein Naturereignis zu einer Naturkatastrophe wird, muss der Faktor Mensch, oder vielmehr die Gesellschaft oder ein soziales System mit all seinen Facetten, signifikant negativ beeinträchtigt sein. *Risikoanalyse* betrifft die Abschätzung der potenziellen Einwirkung einer *Naturgefahr* auf ein dieser Gefahr ausgesetztes soziales System und seiner Komponenten. Hierfür muss einerseits das Ereignis an sich modelliert werden, sowohl hinsichtlich seiner Eintrittswahrscheinlichkeit, Häufigkeit und Magnitude, als auch bezüglich räumlicher und zeitlicher Abläufe. Dem gegenüber steht die Analyse des betroffenen sozialen Systems hinsichtlich seiner generellen Struktur (räumliche Verteilung von Bevölkerung und Infrastruktur), sowie seiner Anpassungs- und Reaktionsfähigkeit bzw. deren Defizite, welche zusammenfassend als *Vulnerabilität* bezeichnet werden.

Um einen integrativen Zugang zur Analyse der unterschiedlichen Risiko-Einflussfaktoren zu ermöglichen und den sozioökonomischen Komponenten im Naturgefahrenmanagement stärker Rechnung zu tragen, wurde in letzter Zeit ein verstärktes Augenmerk auf das Konzept der Vulnerabilität gesetzt. Es handelt sich hierbei um einen stark interdisziplinär geprägten multi-dimensionalen Forschungsansatz, der sich seitens des betroffenen sozialen Systems u. a. mit sozialen, wirtschaftlichen, kulturellen und institutionellen Komponenten auseinandersetzt. Ein zentrales Ziel einer Betroffenheitsanalyse und in weitere Folge Vulnerabilitätsabschätzung ist es, Hinweise zu liefern, wo, wie, warum, und in welchem Ausmaß Menschen einer bestimmten Gefahr ausgesetzt sind. In einem weiteren Schritt sollten dann politischen Entscheidungsträgern unterstützende Informationen zur Verfügung gestellt werden, um sowohl Maßnahmen zur Prävention und Frühwarnung als auch Reaktionen im Katastrophenfall zielgerichtet planen und steuern zu können.

2 Fallstudien zur Analyse von Naturgefahren mittels Satelliten-basierten Bodenfeuchtedaten

Risikoabschätzung im Zusammenhang mit Wasservorkommen beinhaltet nicht nur die Bestimmung und Überwachung gewisser Umweltbedingungen, sondern befasst sich auch in starkem Ausmaß mit Einwirkungen auf Bevölkerung, Infrastruktur, und die Gesellschaft im Allgemeinen. *Wasserüberschuss* oder *Wassermangel* kann ein soziales System in vielen Facetten beeinträchtigen.

Übermäßiger Niederschlag oder schnell einsetzende Schneeschmelze können in kürzester Zeit den Boden in einem Einzugsgebiet in einen Wasser-gesättigten Zustand versetzen, was wiederum v.a. zu erhöhtem Oberflächenabfluss und letztendlich zu Überflutungen führen kann. Wenn der Zustand über einen längeren Zeitraum anhält, kann Wasserüberschuss Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum haben und die Verbreitung von Wasser-gebundenen Krankheiten fördern. Anhaltender Wassermangel andererseits führt zu einer Erschöpfung des Bodenwasserspeichers. Anschließende Dürreperioden beeinflussen in hohem Maße die landwirtschaftliche Produktivität, limitieren die Verfügbarkeit von Frischwasser sowohl für die Bevölkerung als auch für die Industrie, und erhöhen nicht zuletzt signifikant die Wahrscheinlichkeit von Waldbränden und Buschfeuern. Mehrjährige Dürreperioden können zu nachhaltiger Zerstörung der Kulturlandschaft und letztendlich Verstepfung führen.

Durch die Integration von Satellitenbasierter Bodenfeuchteinformation auf regionaler Ebene werden potenzielle Zusammenhänge zwischen anomalen Bodenbedingungen und der erhöhten Eintrittswahrscheinlichkeit für diverse Naturgefahren wie Überflutungen und Dürreereignisse erforscht, wobei letztere oft direkt verknüpft sind mit Waldbränden (AUBRECHT et al. 2010). Daten zur Bodenfeuchte werden aus Messungen des METOP-ASCAT Sensors abgeleitet. Der Advanced Scatterometer (ASCAT) ist ein C-Band Scatterometer an Bord von EUMETSATs Meteorological Operational Satellite (METOP) Serie und liefert Daten mit einer räumlichen Auflösung von 25-34 km. In den in diesem Beitrag diskutierten Studien wurden *Soil Water Index (SWI)* Daten analysiert. Mehr Information zur SWI-Berechnung und Algorithmus-Entwicklung ist in WAGNER et al. (1999) zu finden.

Wasserüberschuss: Überflutungsmodellierung Pakistan 2010

Die *Hochwasserereignisse* im Sommer 2010 erreichten in Pakistan – sowie im globalen Vergleich – ein noch nicht erreichtes Ausmaß. Laut offiziellen Angaben (NDMA) waren 20,2 Millionen Menschen vom diesem Ereignis betroffen, von denen 1.985 getötet und 2.946 verletzt wurden. Mithilfe von global und frei verfügbaren sozioökonomischen Daten und verschiedener satellitendatengestützter Überschwemmungsmasken (z. B. MODIS, Landsat, etc.) wurde eine Abschätzung der möglichen Auswirkungen durchgeführt (Abb.1). Diese bezieht sich einerseits auf Bevölkerungsdaten (LandScan), aber auch auf Infrastruktur (z. B. OpenStreetMap Data) und Landnutzungstypen (Globcover). Mithilfe dieser frei verfügbaren Informationen wurde beurteilt, inwiefern solche national/global verfügbaren Daten eine erste, rasche Schadensabschätzung ermöglichen. Zusätzlich wurde mithilfe der Flutmasken eine zeitliche Ausbreitung der Überschwemmungsflächen visualisiert und die exponierte Bevölkerung quantifiziert. Unter Verwendung von aufbereiteten SWI-Daten wurde evaluiert, inwiefern sich diese als Werkzeug für Frühwarnung eignen (Abb. 1).

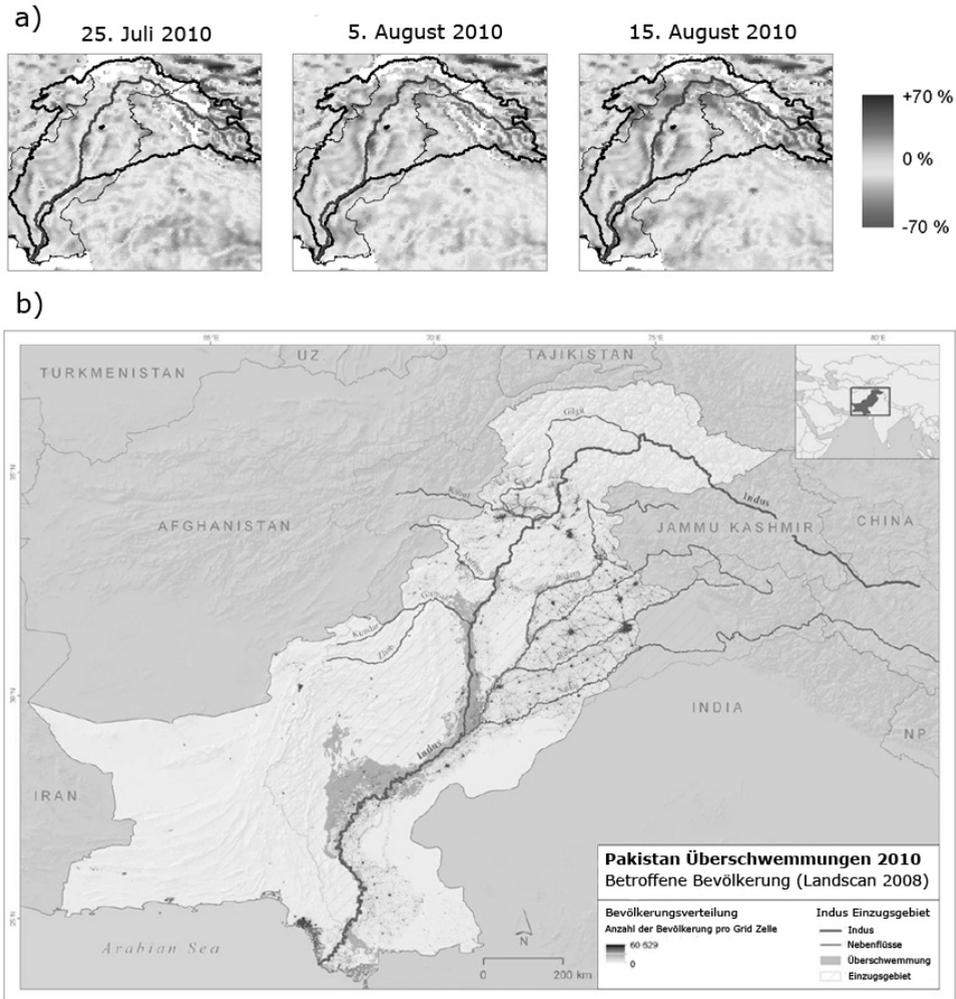


Abb. 1: Darstellung der SWI Anomalie (a) vor, zu Beginn, und während des Überschwemmungsereignisses und (b) Darstellung der betroffenen Bevölkerung mithilfe der Einbindung von LandScan Daten (aus FLEISS et al. 2011)

Darüber hinaus wurde eine Modellierung des Oberflächenabflusses für den Zeitraum während der Überschwemmungsereignisse durchgeführt (FLEISS 2011). Die Bodenfeuchtedaten (SWI) waren dabei von zentraler Bedeutung, da mit ihrer Hilfe die aktuelle Infiltrationsrate bzw. der Sättigungszustand des Bodens modelliert wurde. Wichtigste Eingangsdaten, neben den Bodenfeuchtedaten, waren 3-Stunden-Regendaten, anhand derer der Niederschlag für den Zeitraum von einem Monat simuliert wurde. Zudem flossen Höhen-, Vegetations- und Bodendaten in die Modellierung ein.

Zwei unterschiedliche Modellansätze wurden verfolgt: (1) ein eigenständig entwickeltes Abflussmodell, das den Oberflächenabfluss als Restwassermenge nach Interzeption, Infil-

tration und Muldenrückhalt konzipiert; und (2) mit der USDA SCS-Methode ein bereits bestehendes Verfahren, mit dem Ziel ein angepasstes Modell zu bauen und damit den Abfluss während der Pakistanflut 2010 zu simulieren (Abb. 2). Mittels beider Ansätze wurden Hydrographen für mehrere Messstationen entlang des Flusses Indus erstellt und mit der realen Abflussganglinie verglichen bzw. eine Bewertung der Einbindung von Bodenfeuchtedaten in diesem Kontext durchgeführt (FLEISS et al. 2011).

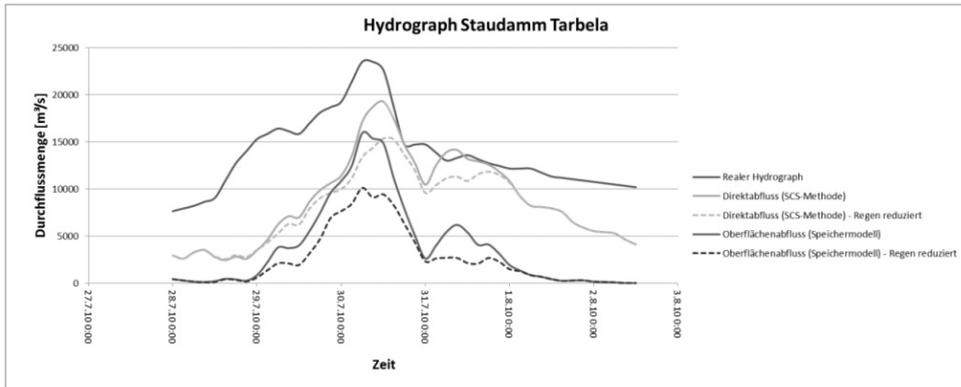


Abb. 2: Hydrograph am Staudamm Tarbela im Vergleich mit modelliertem Abfluss nach SCS-Methode und Speichermodell. Bei beiden Modellierungen kamen SWI Daten zum Einsatz.

Wassermangel: Feuermonitoring Afrika 2009

Fernerkundungsbasiertes *Feuermonitoring* hat seit seinen Anfängen in den 1970er Jahren stark an Bedeutung gewonnen, v.a. im Kontext des Dateninputs für Modelle zur Verringerung sozioökonomischer Risiken. Es gibt eine Reihe von Sensoren und Zugängen Feuermonitoring und -detektion zu betreiben, u. a. wurden dafür Satellitendaten von MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) und DMSP-OLS (Defense Meteorological Satellite Program, Operational Linescan System) herangezogen. Der Zusammenhang der räumlichen Muster von Waldbränden mit Bodenfeuchtigkeitsbedingungen wurde bereits in einigen Studien für verschiedene Regionen der Welt untersucht, so z. B. für Alaska (KASISCHKE et al. 2007) und Sibirien (BARTSCH et al. 2009). In unserer Fallstudie wurde ein Set an monatlich aggregierten Feuerdatensätzen für 2009 für den afrikanischen Kontinent aus nächtlichen DMSP-OLS Satellitenaufnahmen abgeleitet und räumlich mit Mikrowellenfernerkundungs-Bodenfeuchtemuster verglichen (Abb. 3). 2009 war für Afrika statistisch gesehen ein Extremjahr, das von außergewöhnlich niedrigem kumuliertem Niederschlag gekennzeichnet war. Geringe oder ausbleibende saisonale Regenfälle, die normalerweise in den Monaten zwischen März und Juni auftreten, verursachten heftige Trockenperioden, wobei die nördliche Sahelregion und Ostafrika besonders stark betroffen waren.

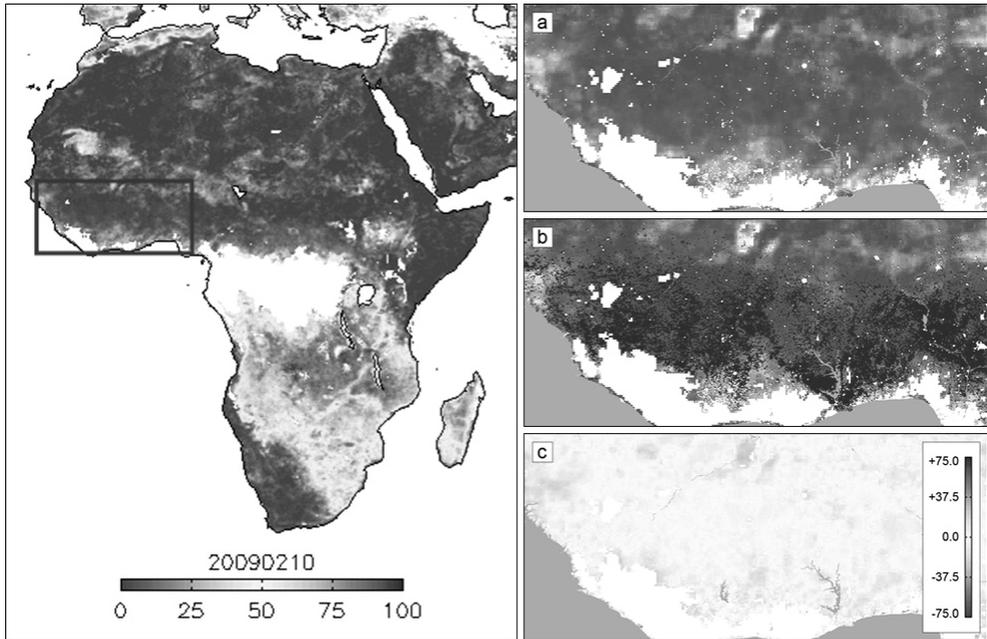


Abb. 3: SWI für Afrika, zeigt den Höhepunkt der Trockensaison in der nördlichen Hemisphäre Mitte Februar (Brauntöne weisen auf trockene Zonen, Blautöne auf feuchte Zonen hin). Detailausschnitt rechts zeigt: [a] SWI, [b] SWI mit überlagerten DMSR-Feuern (in pink), und [c] SWI Anomalien (Brauntöne zeigen ungewöhnlich trockene Bedingungen, im Kontrast zu Blautönen).

Primäres Ergebnis der integrativen Analyse war die Feststellung einer generellen (saisonalen) räumlichen Korrelation zwischen Trockengebieten und Bereichen, die von Waldbränden betroffen waren. Eine weiterführende Untersuchung potenzieller Zusammenhänge von Waldbrandereignissen mit Bodenfeuchteanomalien – also selbst für Trockenperioden außergewöhnlich trockenen Ereignissen – wie etwa von JUPP et al. (2006) für sibirische Waldbrände nachgewiesen, ergab zumindest für das Untersuchungsjahr 2009 keine signifikanten Aufschlüsse (AUBRECHT et al. 2011).

3 Diskussion

Die aufgeführten Beispiele zeigen, trotz der noch durchzuführenden Validierung und Verbesserung der Schnittstellen, dass ein globaler, homogener und kontinuierlich-aktualisierter Datensatz wie der Mikrowellenfernerkundungsbasierte SWI einen entscheidenden Faktor für die effektive Beobachtung und Bewertung von Risiko-relevanten Prozessen auf der Erdoberfläche darstellen kann. Hier eröffnet sich die Möglichkeit die Vorgeschichte von extremen Ereignissen (z. B. Fluten, Dürren) zu analysieren, um daraus potenzielle Schwellwerte für Frühwarnung abzuleiten.

Dies kann direkt erfolgen (z. B. Sättigung des Bodens als Konditionsparameter für Überflutungen, Trockenheitsanomalien als Vorläufer von Waldbränden), oder indirekt durch die erhöhte Vulnerabilität im Kontext von Veränderungen im Ökosystem und deren Auswirkung auf die Lebensverhältnisse (*livelihoods*) im Fall von ausbleibenden Regenfällen und nachfolgender Dürre.

Danksagung

Die vorgestellten Arbeiten resultieren zum Teil aus dem Projekt „*GMSM Global Monitoring for Water Hazards Assessment*“, koordiniert durch IPF, TU-Wien, und gefördert von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) im Rahmen des Austrian Space Applications Programme (ASAP).

Literatur

- AUBRECHT, C., KIENBERGER, S., STEINNOCHER, K. & ZEIL, P. (2010), Assessment of vulnerability to water hazards – A concept for broad-scale information integration. GI_Forum'10 Workshop: Spatial assessment and analysis of vulnerability. Salzburg, Austria, July 6-7, 2010.
- AUBRECHT, C., ELVIDGE, C. D., BAUGH, K. & HAHN, S. (2011), Identification of wildfire precursor conditions: Linking satellite based fire and soil moisture data. In: TAVARES, J.M.R.S. & NATAL JORGE, R.M. (Eds.), *Computational Vision and Medical Image Processing: VipIMAGE 2011*. Taylor & Francis, CCR Press, 347-353.
- BARTSCH, A., BALZTER, H. & GEORGE, C. (2009), The influence of regional surface soil moisture anomalies on forest fires in Siberia observed from satellites. In: *Environmental Research Letters*, 4 (4).
- FLEISS, M. (2011), Eine Abflussmodellierung am Beispiel des Pakistanhochwassers 2010. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Zentrum für Geoinformatik und Fachbereich für Geographie und Geologie, Universität Salzburg, 107 S.
- FLEISS, M., KIENBERGER, S., AUBRECHT, C., KIDD, R. & ZEIL, P. (2011), Mapping the 2010 Pakistan floods and its impact on human life: A post-disaster assessment of socio-economic indicators. In: ALTAN, O. et al. (Eds.), *Gi4DM 2011, GeoInformation for Disaster Management. Proceedings*, Antalya, Turkey, May 3-8, 2011.
- JUPP, T. E., TAYLOR, C. M., BALZTER, H. & GEORGE, C. T. (2006), A statistical model linking Siberian forest fire scars with early summer rainfall anomalies. In: *Geophysical Research Letters*, 33, L14701.
- KASISCHKE, E. S., BOURGEOU-CHAVEZ, L. L. & JOHNSTONE, J. F. (2007), Assessing spatial and temporal variations in surface soil moisture in fire-disturbed black spruce forests in Interior Alaska using spaceborne synthetic aperture radar imagery – Implications for post-fire tree recruitment. In: *Remote Sensing of Environment*, 108, 42-58.
- WAGNER, W., LEMOINE, G. & ROTT, H. (1999), A method for estimating soil moisture from ERS scatterometer and soil data. In: *Remote Sensing of Environment*, 70 (2), 191-207.