

## RAUMZEITLICHE ANALYSE UND BEWERTUNG VON HUMANITÄREN KRISEN VERANSCHAULICHT AM BEISPIEL DES DARFURKONFLIKTS

Katja Buchta, Hannes Römer, Andreas Printz

**Zusammenfassung:** Der Darfurkonflikt ist eine der folgenschwersten humanitären Krisen der Gegenwart. Umweltveränderungen, sozio-ökonomische Veränderungen sowie (schlechte) Regierungsführung sind sowohl Ursachen als auch Folgen des Konflikts. In der vorliegenden Studie soll mittels Fernerkundungs- und GIS-Anwendungen eine raumzeitliche Analyse im Kontext des Darfurkonflikts durchgeführt werden. Dazu wird zum einen der allgemeine Zusammenhang zwischen Konfliktdynamik und geographischen Einflussfaktoren analysiert. Zum anderen wird anhand der Zonalstatistik untersucht, welche Möglichkeiten und Grenzen von Fernerkundungs- und GIS-Anwendungen sich im genannten Beispiel ergeben. Die Untersuchung zeigt, dass nicht alle geographischen Einflussfaktoren, die sich aus der Literatur ableiten lassen, eindeutig in Beziehung und Wechselwirkung mit Konfliktereignissen stehen. Bei einem Vergleich der Dynamik der landwirtschaftlichen Anbaufläche in Konfliktgebieten und in nicht-angegriffenen Gebieten lassen sich nur begrenzt Unterschiede feststellen. Dies ist hauptsächlich auf die räumliche und zeitliche Auflösung der zugrunde liegenden Landnutzungsdaten (MCD12Q1) zurückzuführen. Ein klarer räumlicher Zusammenhang besteht dagegen zwischen Konfliktereignissen und der Charakteristik der Infrastruktur: Dörfer werden offenbar vorwiegend nur in unmittelbarer räumlicher Nachbarschaft zu Straßen angegriffen, wobei 67 % aller angegriffenen Dörfer sich in einer Distanz von bis zu drei Kilometern zur nächstliegenden Straße befinden. Die Studie hat deutlich gemacht, dass sich der Darfurkonflikt in seiner Komplexität nur bedingt durch die verwendeten frei verfügbaren räumlichen Daten mittels Fernerkundungs- und GIS-Anwendungen abbilden lässt. Die räumliche Erfassung der Dimension und Ausprägung des Konflikts anhand von Geoinformationen kann jedoch zu einem umfassenderen Verständnis beitragen.

**Schlüsselwörter:** Raumzeitliche Analyse, geographische Einflussfaktoren, Zonalstatistik, humanitäre Krise, Darfurkonflikt

## SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS AND ASSESSMENT OF HUMANITARIAN CRISES EXEMPLIFIED BY THE DARFUR CONFLICT

**Abstract:** The Darfur conflict is regarded to be one of the worst humanitarian crises in the world today. Environmental changes, socio-economic changes and poor governance have not only significantly contributed to the conflict in Darfur, but were also partly intensified by the crisis. The study at hand aims to conduct a spatio-temporal analysis in the context of the Darfur conflict by means for remote sensing (RS) and GIS applications. For this purpose, the general relationship between the dynamics of the conflict and its geographical influencing factors is examined. Furthermore, the potential and limits of RS and GIS applications in this context is analysed by means of zonal statistics. The study shows, that not all geographical influencing factors, which can be derived from literature correlate with conflict events. Comparing the dynamics in cropland changes in attacked and non-attacked areas, only limited differences can be noted. This is mainly ascribed to the spatial and temporal resolution of the underlying land use data set (MCD12Q1). However, a clear spatial correlation is found with conflict events and the characteristic of infrastructure: apparently, mainly villages in close proximity to roads are attacked; 67% of all attacked villages are located in a distance of up to 3 km from the nearest road. The study made clear, that the Darfur conflict and its complexity can only be represented to a limited extent by means of RS and GIS applications using freely available spatial data. The spatial assessment of the dimensions and characteristics of the conflict based on geo-information can, however, contribute to a broader understanding.

**Keywords:** Spatio-temporal analysis, geographical influencing factors, zonal statistics, humanitarian crisis, Darfur conflict

**Autoren**

M. Sc. Katja Buchta  
 Dipl.-Ing. Andreas Printz  
 Technische Universität München  
 Lehrstuhl für Strategie und Management der Landschaftsentwicklung  
 Emil-Ramann-Straße 6  
 D-85350 Freising  
 E: buchta@wzw.tum.de  
 printz@wzw.tum.de

Dr. Hannes Römer  
 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt  
 Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum  
 Münchener Straße 20  
 D-82234 Weßling  
 E: hannes.roemer@dlr.de

**1 EINLEITUNG**

Humanitäre Krisen und Naturkatastrophen treffen jährlich mehrere Millionen Menschen. Beispielsweise waren 2011 mehr als zwölf Millionen Menschen von der Nahrungsmittelkrise am Horn von Afrika betroffen (United Nations University 2011); im Dezember 2010 waren weltweit 27,5 Millionen Menschen auf der Flucht vor Krieg und Gewalt (IDMC 2011).

Die Masterarbeit, welche diesem Aufsatz zugrunde liegt, entstand in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Oberpfaffenhofen. Fernerkundungs- und GIS-basierte Techniken im Kontext von Naturkatastrophen kommen dort bereits operationell zum Einsatz: So werden beispielsweise am Zentrum für Satellitengestützte Kriseninformation ([www.zki.dlr.de](http://www.zki.dlr.de)), eine Einrichtung des DLR, Schäden infolge von Naturkatastrophen (zum Beispiel Erdbeben oder Hochwasser) erfasst. Humanitäre Krisen ergeben sich dagegen aus einem komplexen Zusammenspiel von natürlichen und anthropogenen Faktoren und sind daher auch schwerer durch Fernerkundungs- und GIS-Anwendungen erfassbar. Zudem ist der Zugang zu Daten in Konfliktgebieten oftmals stark eingeschränkt.

Diese Arbeit will dazu beitragen zu erfassen, inwieweit über raumzeitliche Analysen humanitäre Krisen erfasst werden können. Dazu wurde mittels Fernerkundungs- und GIS-Anwendungen im Kontext des Darfurkonflikts der räumliche Zusammenhang zwischen Konfliktodynamik und geographischen Einflussfaktoren untersucht.

Die Herausforderung der Untersuchung bestand darin, dass es sich beim Darfurkonflikt um eine sehr komplexe Krise handelt. Dabei begründet sich die Komplexität

vor allem aus dem Zusammenwirken verschiedener Einflussfaktoren (Umwelt, Sozio-Ökonomie, Politik) mit ihrer jeweiligen raumzeitlichen Komponente. Eine Vielzahl von Faktoren, die im Zusammenhang mit dem Darfurkonflikt stehen, ließ sich ableiten und wurde auf verschiedenen räumlichen Skalen untersucht.

Basierend auf einem ausführlichen Literaturstudium zum Darfurkonflikt wurden zunächst Faktoren identifiziert, welche sich anhand von Geoinformationen ableiten ließen. Diese Faktoren umfassen folglich all jene Objekte und Merkmale, welche sich kartographisch erfassen und abbilden lassen. Die zentrale Fragestellung lautete: Gibt es eine Beziehung zwischen diesen Faktoren und Konfliktereignissen? Auf welcher Maßstabsebene ist eine Erfassung der Beziehung möglich?

Vor dem Hintergrund der begrenzten Datenverfügbarkeit von Krisengebieten griff die Untersuchung weitgehend auf frei verfügbare Daten zurück, wodurch sich gewisse Einschränkungen in der räumlichen und zeitlichen Auflösung ergaben.

Im Einzelnen wurde in der Arbeit folgenden Fragen nachgegangen:

- ▶ Welche Geoinformationen und Faktoren eignen sich, um Wechselwirkungen mit dem Darfurkonflikt darzustellen?
- ▶ Welcher Maßstab/welche Skala eignet sich dafür?
- ▶ Welche Geo-Muster heben sich in Konfliktgebieten heraus?

**2 UNTERSUCHUNGS- GEGENSTAND DARFURKONFLIKT**

Der Darfurkonflikt gilt als eine der folgenschwersten humanitären Krisen der Gegenwart. Zwischen 2003 und 2008 forderte der Konflikt schätzungsweise 300.000

Menschenleben, wobei insgesamt 4,7 Millionen Menschen betroffen waren (Jaspars 2008, United Nations Sudan Information Gateway 2009). Der Höhepunkt der Gewalt wurde laut Olsson (2010) in den Jahren 2003 und 2004 erreicht.

Als Ursachen gelten mehrere miteinander verflochtene Faktoren. Zu den drei Hauptfaktoren, welche sowohl Ursachen als auch Folgen des Konflikts sind, zählen: Umweltveränderungen, sozio-ökonomische Veränderungen und schlechte Regierungsführung (United Nations Sudan 2010). Umweltfaktoren gelten als bedeutende, wenn auch nicht alleinige Einflussfaktoren des Darfurkonflikts. Besonders Dürre und Desertifikation und der damit einhergehende Verlust von landwirtschaftlichen Nutzflächen zählen hierzu. Zu den sozio-ökonomischen Veränderungen zählen vor allem Bevölkerungswachstum, Intensivierung der Land- und Viehwirtschaft sowie nationale und internationale Migrationsbewegungen. Zusammen mit den oben genannten Umweltveränderungen verstärkten diese sozio-ökonomischen Veränderungen den Druck auf die natürlichen Ressourcen und damit auch die Konkurrenz um diese. Zusätzlich kommt auch der sudanesischen Regierung eine wichtige Rolle als Einflussfaktor des Konflikts zu: Seit der Unabhängigkeit des Landes 1956 erfuhr Darfur nur begrenzt Entwicklungsbemühungen. Bei vielen Bewohnern Darfurs manifestierte sich deswegen der Eindruck, von der nationalen Regierung vernachlässigt worden zu sein. Zudem wurden nicht nur traditionelle Konfliktlösungsstrategien zunehmend untergraben, sondern vonseiten der Regierung zwischen einzelnen Konfliktparteien polarisiert und Partei ergriffen (Ahmed 2007, Babiker 2007).

### 3 DATEN UND METHODISCHES VORGEHEN

Um die Frage zu beantworten, welche räumlichen Muster in konfliktbetroffenen Gebieten erkennbar sind, wurden geographische Einflussfaktoren mit Konfliktdaten verknüpft. Aufgrund der zahlreichen Fluchtbewegungen sowie durch eingeschränkte Bewegungsmöglichkeiten im Zuge des Konflikts wurde ein Zusammenhang zwischen Konfliktbetroffenheit und dem Faktor „Landnutzung“ angenommen. Olsson (2010) und Young (2006) belegen an einigen Dörfern Darfurs beispielhaft die Veränderung von Bevölkerungsmuster und Landnutzung im Kontext des Konflikts. Young (2006) beschreibt unter anderem, wie in einem Dorf der Anteil der Landwirtschaft des gesamten Lebenshaltungssystems von 40 % (September 2003) auf 0 % (September 2004) sank. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde ein Fokus auf die Dynamik der Anbauflächen gelegt, da insbesondere die Verfügbarkeit von Land eine entscheidende Lebensgrundlage darstellt. Folglich wurde die Hypothese untersucht, dass sich raumzeitliche Veränderungen der Anbaufläche in Konfliktgebieten im Vergleich mit den Veränderungen in nicht-angegriffenen Gebieten unterscheiden. Darüber hinaus wurden auch die Veränderungen der Waldfläche sowie der Grasland-, Buschland- und Savannenfläche untersucht.

Zur Analyse der Beziehung und Wechselwirkung zwischen geographischen Einflussfaktoren und Konflikt wurde der Fokus auf den Konfliktzeitraum 2003 bis 2010 gelegt. Der methodische Ansatz basierte dabei vor allem auf deskriptiver und induktiver Statistik.

Auf Basis der Literaturrecherche und der drei Hauptkomponenten des Konflikts (Sozio-Ökonomie, Regierungsführung, Um-

welt) wurde ein Set von räumlichen Einflussfaktoren ermittelt (Tabelle 1).

Die zugrunde liegenden Daten, Faktoren und Konfliktinformationen lagen in unterschiedlichen räumlichen Dimensionen vor. Auf der Suche nach einer geeigneten Skala, um herauszuarbeiten, mit welcher Raumskala und damit Datengrundlage man Konfliktprozesse in Zukunft analysieren muss, wurde die Beziehung zwischen den Faktoren und dem Konflikt auf drei unterschiedlichen Skalen ausgewertet. Der Fokus lag dabei auf der Untersuchung großräumiger Muster. Zur Überprüfung dieser, wurden zusätzlich beispielhaft kleinräumige Betrachtungen durchgeführt. Folgende drei Skalen wurden getestet:

- ▶ Makroskala: Distrikte innerhalb der Bundesstaaten;
- ▶ Mesoskala: Gridzellen von je 25 km x 25 km;
- ▶ Mikroskala: Dörfer (Punktinformation) mit 2 km Pufferzone.

Für die Faktoren der Konfliktkomponente Regierungsführung wurden Einschulungsrate und Kindersterblichkeit der sudanesischen Bundesstaaten miteinander verglichen sowie die Anzahl an Ministerposten den einzelnen Regionen gegenübergestellt. Als geeignete Methodik zur Analyse der Veränderung der Landnutzung erwies sich der Vergleich verschiedener statistischer Berechnungen zwischen definierten Gebieten, den sogenannten Zonen. Dabei wurden für jede Zone die zu untersuchenden Faktoren ermittelt, zum Beispiel die landwirtschaftliche Anbaufläche je Gridzelle. Als geeignetes Werkzeug zur räumlichen Analyse wurde das Esri-Werkzeug der Zonalstatistik gewählt. Bei diesem Tool werden verschiedene geographische (Raster-)Daten mit unterschiedlichen räumlichen Auflösungen auf eine einheitliche Raumska-

la (Zonen-Layer) transformiert. Bei diesem Vorgang können auch zonale Statistiken für jede Zone aus dem jeweiligen Rasterlayer berechnet werden. Die Zonengröße ist dabei beliebig wählbar. Dieser Ansatz erlaubte einen einfachen visuellen und statistischen Vergleich zwischen den einzelnen Zonen beziehungsweise der Muster, die sich auf den verschiedenen Skalen abzeichnen.

Auf der Mesoskala wurde die Flächenveränderung dieser Landnutzungs-/Landbedeckungsklassen je Gridzelle im Vergleich zum Folgejahr berechnet (1) und abgebildet.

$y_x$ : Jahr X  
 $y_{x-1}$ : Vorjahr von Jahr X  
 $Sum_{y_x}$ : Summe der Ackerlandfläche in einem bestimmten Gebiet (Zone) im Jahr X.  
 Relative Veränderung der Ackerlandfläche:

$$\Delta y_x - y_{x-1} = \frac{(Sum_{y_x} - Sum_{y_{x-1}})}{Sum_{y_{x-1}}} * 100 \tag{1}$$

Die konfliktbetroffenen Zellen wurden dabei nach dem Schweregrad und dem Zeitraum der Zerstörung in fünf Gruppen unterteilt. Als Kontrollgruppe dienten konfliktfreie Gebiete. Mittels Streudiagrammen wurde die visuelle Verteilung der Daten dargestellt. Für die Analyse auf Mikroskala wurden die Dörfer bezüglich ihrer unterschiedlichen Landnutzungsklassen und dem Jahr des Angriffs unterteilt. Unterschiede in der Veränderung landwirtschaftlicher Flächennutzungen in angegriffenen und nicht-angegriffenen Dörfern wurden mittels eines T-Tests für unabhängige Stichproben auf Signifikanz getestet.

Untersucht wurde auch die Beziehung zwischen dem Faktor Infrastruktur und den Konfliktdaten. In einem Beispiel von Olsson (2010) griffen die arabischen Milizen dort jedes Dorf entlang einer Straße an; darun-

Konfliktkomponente	Räumlicher Einflussfaktor
Sozio-Ökonomie	Veränderungen in der Landnutzung (vor allem Anbaufläche)
	Bevölkerungsveränderungen
	Infrastruktur
Regierungsführung	Gesundheits- und Bildungsstatus im Vergleich zu anderen Regionen des Landes
	Politische Repräsentation (Ministerposten) im Vergleich zu anderen Regionen des Landes
Umwelt	Niederschlagsverhältnisse

**Tabelle 1:** Räumliche Einflussfaktoren im Darfurkonflikt (Abduljalil (2007), Ahmed (2007, 2009), Babiker (2007), El-Zain (2009), Fadul (2004), Gebresenbet (2009), Kevane & Gray (2008), Mohammed & Badri (2005), UNEP (2007), United Nations Sudan (2010), University for Peace (2004), Young et al. (2005))

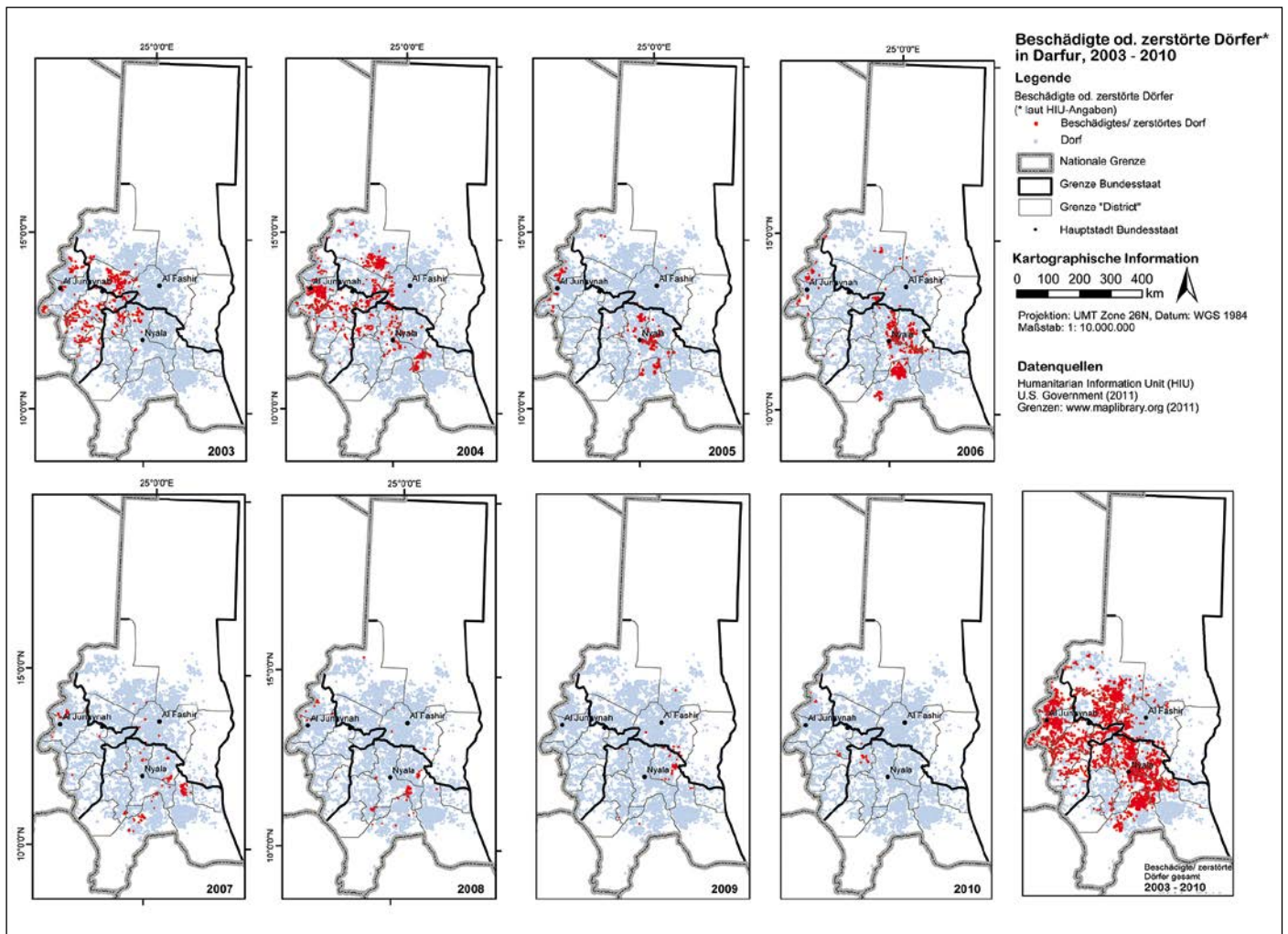


Abbildung 1: Beschädigte oder zerstörte Dörfer in Darfur zwischen 2003 und 2010

ter auch jene, in welchem Bewohner einer nicht-rebellischen Volksgruppe wohnten. Es wurde angenommen, dass der Aspekt der Erreichbarkeit eines Dorfs einen wesentlichen Einfluss auf dessen Konfliktbetroffenheit hat. Folglich wurde getestet, ob es einen Zusammenhang zwischen der Entfernung eines Dorfs zur nächsten Straße und der Konfliktbetroffenheit gibt. Für diese Analyse wurde für jedes Dorf (Punkt) die kürzeste Distanz zur nächsten Straße (Polyline) berechnet. Den gewonnenen Daten wurden Distanzklassen zugeordnet und Häufigkeiten berechnet. Der Datensatz bot hierbei für die Region Darfur jedoch keine Unterscheidung der Straßentypen, sodass diesbezüglich keine Unterscheidung möglich war.

Zusätzlich zu den flächendeckenden Analysen für die gesamte Darfurregion wurden vier Gebiete, zu welchen genauere Konfliktinformationen vorhanden waren, auf einer lokalen Ebene untersucht: Auf Basis von Hintergrundinformation aus

der Literatur wurde überprüft, ob diese Information (z. B. genaue Daten zu Fluchtbewegungen und Veränderungen in der Anbaufläche) rekonstruiert werden kann und ob sich mittels Fernerkundungs- und GIS-Anwendungen zusätzliche Informationen gewinnen lassen.

Die Datengrundlage bestand aus folgenden Komponenten:

- ▶ Humanitarian Information Unit (HIU) Datensatz Darfur [2010]: Dorfgenaue Information bezüglich Status (keine Zerstörung/beschädigt/zerstört), Zerstörungsgrad und -zeitraum zwischen Februar 2003 und Dezember 2010 (<https://hiu.state.gov/data>);
- ▶ MODIS Land Cover Type Yearly L3 Global 500 m SIN Grid (MCD12Q1): Landbedeckungsklassifizierung über den Zeitraum eines Jahres, 2001 – 2009 (<https://verb.echo.nasa.gov>);
- ▶ Rainfall Estimate (RFE) des Famine Early Warning Systems Network (FEWS-NET): Niederschlagsschätzungen in

Zeitschritten von zehn Tagen, mit einer Auflösung von 8 km für den Zeitraum 1995 – 2010 (<https://earlywarning.usgs.gov/fews>);

- ▶ LandScan™ Datensatz: Bevölkerungsdichte mit 1 km Auflösung, 2002, 2004, 2008, 2009, 2010 (Datenzugang durch DLR);
- ▶ UNICEF Bevölkerungszensus und Projektion für Nord-Sudan [2009]: Bevölkerungszahlen und Informationen zum Lebenshaltungssystem für 2006, 2010, 2015 auf Bundesstaatenebene (Norddarfur, Süddarfur, Westdarfur) (Interner Report);
- ▶ Sudan Household Health Survey [2006]: Information zu Bildung und Gesundheit auf Bundesstaatenebene für 2006 (<http://www.fmoh.gov.sd/sho/household/household.php>);
- ▶ FEWSNET Karte zu Lebenshaltungssystemen in Nordsudan [2011] ([http://www.fews.net/docs/publications/sudan\\_OL\\_2011\\_04\\_final.pdf](http://www.fews.net/docs/publications/sudan_OL_2011_04_final.pdf));

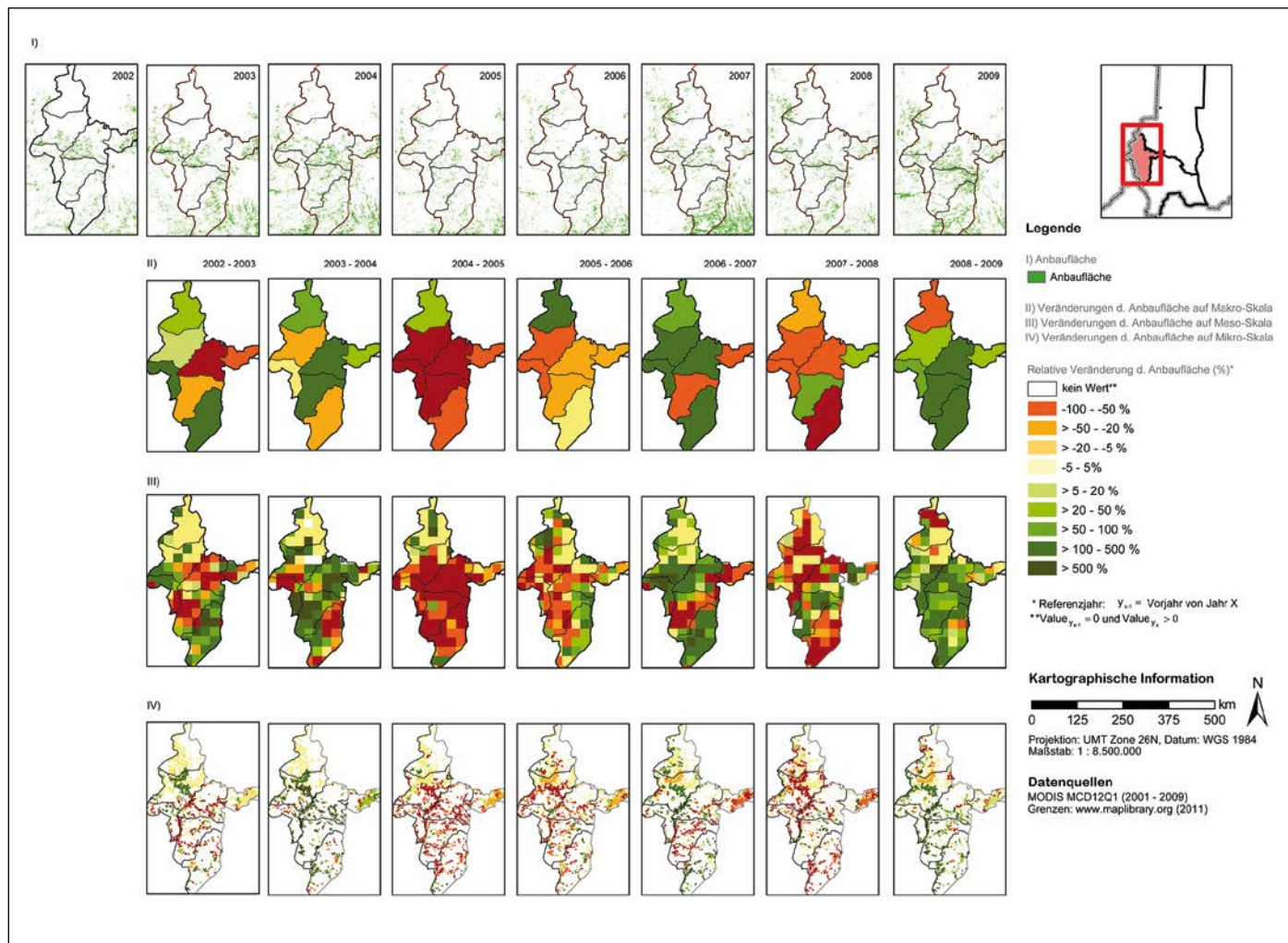


Abbildung 2: Vergleich der Veränderung der Anbaufläche in Westdarfur auf verschiedenen räumlichen Skalen

- ▶ Transportation Networks des UN Sudan Information Gateway: Straßennetz (<http://www.unitar.org/unosat/sudan>);
- ▶ The Black Book – Imbalance of Power and Wealth in Sudan [2000, 2002]: Information zu Politik und Governance in Nordsudan (Osman el-Tom (2004)).

## 4 ERGEBNISSE

### 4.1 RAUMZEITLICHE DIMENSION DES KONFLIKTS SOWIE BEVÖLKERUNGSVERÄNDERUNGEN

Abbildung 1 zeigt die vom Konflikt betroffenen Dörfer (rote Punkte) innerhalb der besiedelten Gebiete (blaue Punkte) zwischen 2003 und 2010. Insgesamt werden im HIU-Datensatz 9.183 Dörfer aufgeführt, wovon 3.536 Dörfer entweder als beschädigt (516) oder als zerstört (3.020) klassifiziert sind. Die angegriffenen Dörfer wurden entsprechend des Angriffsjahrs – sofern bekannt – abgebildet.

Die Zeitreihe zeigt deutlich die Konzentration der Angriffe in den westlichen Gebieten während der Jahre 2003 und 2004, wie dies auch Olsson (2010) beschrieb. In den Jahren 2005 und 2006 wurden Angriffe vor allem in Süddarfur in der Nähe von Nyala, der Bundeshauptstadt Süddarfurs, erfasst.

Die Analyse der Bevölkerungsveränderungen innerhalb von Darfur über einen längeren Vergleichszeitraum (2002 – 2010) zeigt eine starke Abnahme der Bevölkerungsdichte in Westdarfur, während in Nord- und Süddarfur Zunahmen zu erkennen sind. Es gilt jedoch zu berücksichtigen, dass der verwendete LandScan™-Datensatz „keine saisonalen Migrationen, Binnenflüchtlinge oder Flüchtlingsbewegungen seit dem letzten offiziellen Zensus widerspiegelt“ (LandScan ohne Jahr). Es ist somit nicht eindeutig erkennbar, inwiefern Nomaden und Flüchtlinge eingeschlossen sind. Zudem ist die Bevölkerungsdichte in weiten Teilen Darfurs sehr niedrig. Bei der

Darstellung von relativen Veränderungen werden somit bereits geringe Zu-/Abnahmen stark gewichtet.

### 4.2 VERGLEICH DER RÄUMLICHEN SKALEN

Wie unterschiedlich sich einzelne Geo-Muster in Abhängigkeit der räumlichen Skala herausbilden können, ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Abbildung zeigt denselben Faktor (Veränderung der Anbaufläche) auf allen drei Maßstabsebenen. Die erste Reihe bildet die Basisdaten des MCD12Q1-Produkts, als Ackerfläche klassifizierte Gebiete, ab.

Die Darstellung der Veränderung der Anbaufläche auf der Makroskala verdeutlicht das Problem der Überbewertung einzelner Pixel sowie die Ausgleichung entgegengesetzter Richtungen (Zu- und Abnahme von Anbaufläche innerhalb eines Distrikts), was sich vor allem durch die Abhängigkeit von Lage und Form der administrativen Einheiten ergibt. Es sprechen mehrere Gründe

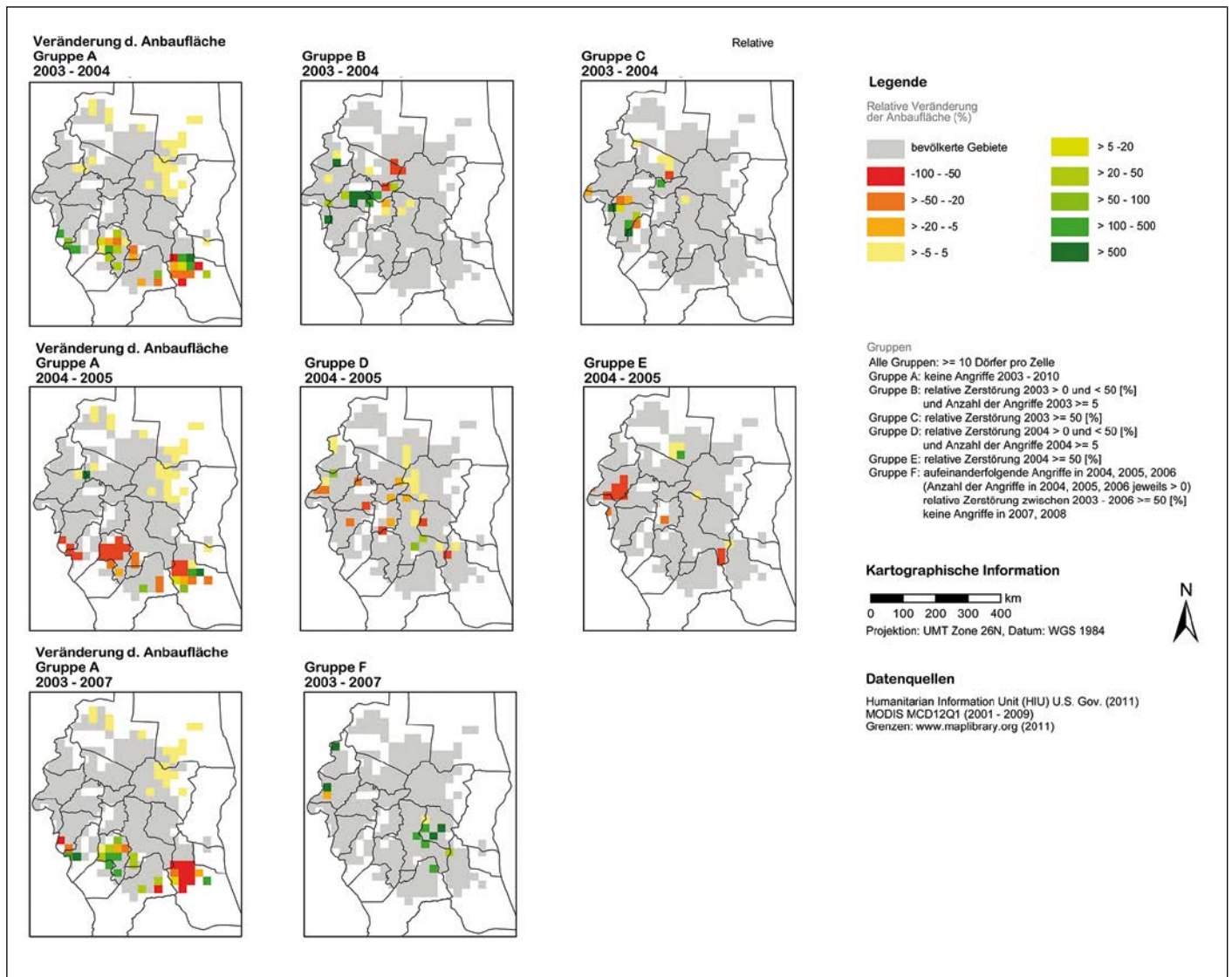


Abbildung 3: Veränderung der Anbaufläche in verschiedenen Gruppen – unterteilt nach Zeitraum und Schweregrad der Angriffe

dafür, dass die Makroskala für räumliche Analysen zur Untersuchung der Beziehung zwischen Konflikt und Veränderungen der Anbaufläche nicht geeignet ist: Zum einen ist anzunehmen, dass sich Flüchtlinge in Darfur vor allem in Gebiete zurückziehen, welche zu Fuß erreichbar sind. Auch wenn dies mehrtägige Fußmärsche einschließt, sind Migrationen innerhalb der Distrikte wahrscheinlicher als zwischen ihnen, wie dies auch aus den Beispielen bei Young (2006) hervorgeht. Darüber hinaus ist die ethnische Zusammensetzung der einzelnen Distrikte vielfältig, sodass keine allgemeine Aussage über die Landnutzung getroffen werden kann. Wird außerdem berücksichtigt, dass weite Teile der Region nur dünn besiedelt sind, ist nicht davon auszugehen, dass ein gesamter Distrikt in gleichem Ausmaß von Konflikten betroffen ist. Zudem gilt es den ökologischen Fehlschluss zu

berücksichtigen, welcher vor allem dann auftritt, wenn die räumliche Dimension des betrachteten Phänomens deutlich kleiner ist als die räumliche Untersuchungsskala (Robinson 1950).

Auf der Mesoskala zeichnet sich bereits ein detaillierteres Bild ab; auch kleinere Muster sind erkennbar. Für die Analyse der Verbindung zwischen Veränderung der Anbaufläche und Konflikt scheint diese Maßstabsebene besser geeignet: Sie passt sich besser an Fluchtdistanzen an sowie Distanzen, welche zurückgelegt werden, um das Lebenshaltungssystem (außer Nomadismus) weiterzuführen.

Die Mikroskala bildet die Basisdaten am getreuesten ab. In der Literatur (Olsson 2010, Young 2006) finden sich einige Beispiele mit genauen Angaben zu Veränderungen der Bevölkerungszahlen und/oder den Lebenshaltungssystemen einzel-

ner Dörfer. In solch einem Fall erfasst die Mikroskala die Auswirkungen des Konflikts am besten. Da jedoch die Basisdaten nur eine Auflösung von 500 m x 500 m besitzen, sind Ungenauigkeiten auf dieser Maßstabsebene wahrscheinlicher als auf der Mesoskala. Darüber hinaus gestaltet sich die visuelle Interpretation auf dieser Ebene als äußerst schwierig.

### 4.3 VERÄNDERUNG DER ANBAUFLÄCHE

Abbildung 3 zeigt den Ansatz der visuellen statistischen Analyse zur Untersuchung der Beziehung zwischen der Veränderung der Anbaufläche und der Konfliktbetroffenheit auf der Mesoebene. Der gruppenbasierte Vergleich der Veränderung der Anbaufläche zwischen Gebieten mit unterschiedlichen Konfliktzeiträumen und Schweregraden untereinander sowie der Vergleich mit

konfliktfreien Gebieten zeigt kein eindeutiges Bild. In allen Gruppen sind sowohl Zu- als auch Abnahmen der Anbaufläche oder keine Veränderungen zu erkennen.

Auch die statistische Analyse auf der Mesoskala lässt keinen eindeutigen Zusammenhang erkennen. Die Veränderungen in den konfliktfreien Gebieten fallen allerdings moderater aus. In Gebieten, welche im Jahr 2003 angegriffen wurden, nimmt im Jahr 2004 im Vergleich zum Vorjahr die Anbaufläche zu. Für das Folgejahr (das heißt Angriff im Jahr 2004, Vergleich der Anbaufläche 2005 zu 2004) ergibt sich für Konfliktgebiete eine leichte Abnahme der Anbaufläche. Allerdings wiesen die Vergleichsgruppen eine unterschiedliche Anzahl von Fällen auf.

Die statistische Analyse auf der Mikroskala ergibt ebenfalls keinen eindeutigen Trend: Beispielhaft werden an dieser Stelle die Ergebnisse für die Livelihoodzone „Rainfed Sorghum Belt“ dargestellt. Bezüglich der Veränderung der Anbaufläche 2004 – 2003, zeigt sich in Dörfern, welche im Jahr 2003 angegriffen wurden, eine stärkere Zunahme (+566 %) als in nicht-angegriffenen Dörfern (+182 %). Der Signifikanzwert berechnet sich dabei auf 0,060 (Vergleich der Anbaufläche 2004 – 2003 zwischen nichtangegriffenen und 2003 angegriffenen Dörfern). Dies bedeutet, dass für Dörfer mit Angriffsjahr 2003 der Signifikanzwert leicht über dem Schwellenwert von 0,05 liegt und somit kein eindeutig signifikanter Unterschied bezüglich der Veränderung der Anbaufläche (2004 – 2003) zwischen den beiden Vergleichsgruppen erkennbar ist.

Betrachtet man die Veränderung 2005 – 2004, zeigt sich in Gebieten, welche im Jahr 2004 angegriffen wurden, eine Abnahme (-57 %). In nicht-angegriffenen Gebieten ist hingegen keine Veränderung (+3 %) zu erkennen. Bei diesem Vergleich liegt der Signifikanzwert bei 0,000, was einen signifikanten Unterschied bezüglich der Veränderung der Anbaufläche zwischen 2005 und 2004 bedeutet.

Anhand dieser Ergebnisse lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass über die (visuelle) statistische Analyse keine Beziehung zwischen der Veränderung der Anbaufläche und der Konfliktbetroffenheit eines Gebiets erfasst werden kann. Die zu untersuchende Hypothese, dass sich die räumliche und zeitliche Veränderung der Anbau-

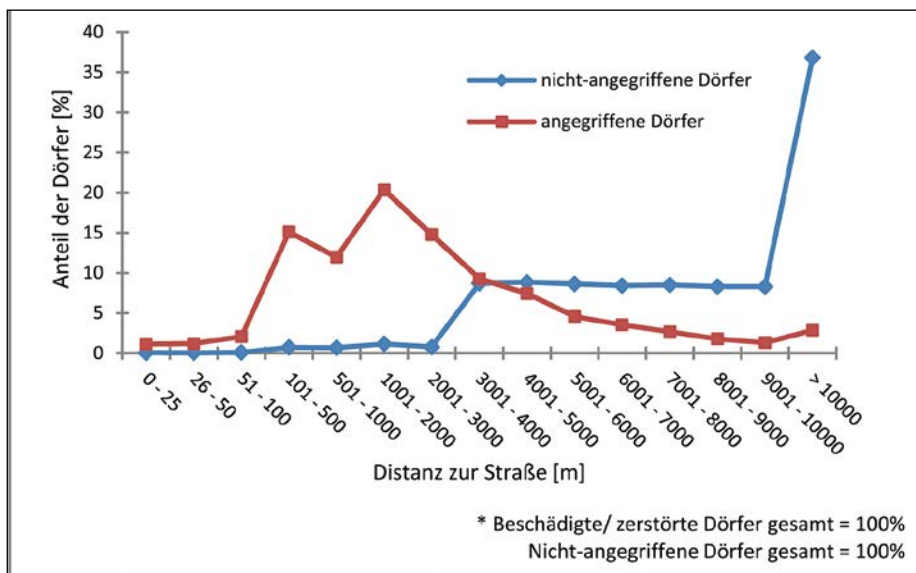


Abbildung 4: Vergleich zwischen angegriffenen und nichtangegriffenen Dörfern und die jeweilige Distanz zur nächstliegenden Straße

fläche in Konfliktgebieten im Vergleich mit den Veränderungen in nicht-angegriffenen Gebieten unterscheidet, kann folglich mittels der verwendeten Daten und Methodik nicht bestätigt werden.

#### 4.4 DISTANZ ZUR STRASSE ALS EINFLUSSFAKTOR FÜR KONFLIKTBETROFFENHEIT

Ein klarer räumlicher Zusammenhang zeigt sich zwischen dem Faktor Infrastruktur und dem Konflikt, also der Distanz eines Dorfs zur nächsten Straße und seiner Konfliktbetroffenheit (siehe Abb. 4). Die rote Linie zeigt die Entwicklung der Anzahl der Dörfer, welche zwischen 2003 und 2010 beschädigt oder zerstört wurden, die blaue Linie bezieht sich auf nichtangegriffene Dörfer.

Bei der Interpretation muss berücksichtigt werden, dass es sich bei den verwendeten Daten um Punktdaten handelt, welche die Dorfmittelpunkte darstellen. Ein Dorf mit 2 km Entfernung zur Straße liegt unter Umständen direkt an der Straße – nur sein Mittelpunkt nicht.

Die Grafik zeigt, dass nur wenige Dörfer in 100 m oder geringerer Entfernung zur Straße liegen; von Dörfern in dieser Distanz wurden die meisten angegriffen (155 von 165). Die Grafik zeigt auch, dass die Mehrzahl der angegriffenen Dörfer (bzw. der Dorfmittelpunkte) in einer Entfernung von bis zu 3 km zur nächsten Straße liegen: 67 % aller angegriffenen Dörfer befinden sich in dieser Reichweite. Zwischen Kilometer 3 und 4 schneiden

sich die beiden Linien. Dies bedeutet, dass Dörfer, welche weiter entfernt liegen, weniger oft angegriffen wurden. 97 % aller nicht-angegriffenen Dörfer sind weiter als 3 km von der nächsten Straße entfernt.

Diese Ergebnisse lassen die Schlussfolgerung zu, dass nicht allein die politischen und ethnischen Hintergründe den Angriff auf ein Dorf erklären. Ein wichtiger Aspekt, wie er auch in der Literatur (Olsson 2010) erwähnt wird, ist mitunter die Erreichbarkeit eines Dorfs.

#### 4.5 SCHLECHTE REGIERUNGSFÜHRUNG SCHWER ABBILDBAR

Die Analyse der Aspekte Bildung, Gesundheit und politische Repräsentation verdeutlichen die „Marginalisierung Darfurs“ nur ansatzweise. Es zeigt sich, dass die Bildungs- und Gesundheitssituation in Darfur unzureichend ist: Die Einschulungsrate in West- und Süddarfur liegt bei unter 25 %; die Kindersterblichkeit in Westdarfur bei 138 von 1000 Lebendgeburten. Dies lässt auf einen desolaten Zustand des Bildungs- und Gesundheitssystems in Darfur schließen, im nationalen Vergleich stechen diese Zahlen jedoch nicht besonders hervor. Bezüglich der Ministerposten zeigt sich ein Ungleichgewicht zwischen Bevölkerungsgröße der Regionen und den gestellten Ministerposten. Doch nicht nur in Darfur werden verhältnismäßig wenig Minister gestellt, sondern auch in anderen Regionen. Der Versuch, die schlechte nationale Regierungsführung über die Mar-

ginalisierung, wie sie unter anderem von United Nations Sudan (2010) beschrieben wird, zu erfassen, ist mit den vorliegenden Daten und der verwendeten Methodik nur begrenzt gelungen.

## 5 DISKUSSION UND FAZIT

Im Rahmen der Untersuchung wurde die Komplexität des Darfurkonflikts indirekt deutlich: Soweit möglich, wurden Aspekte der drei Konfliktkomponenten über Fernerkundungs- und GIS-Anwendungen analysiert. Zum einen begrenzte hier jedoch die Datenverfügbarkeit sowie deren räumliche und zeitliche Auflösung die Untersuchung. Zum anderen zeigte es sich, dass bei diesem Konflikt viele Faktoren zusammenspielen, welche sich mitunter nur schwer messen lassen. Im Rahmen dieser Studie konnten folglich nicht alle Faktoren vollständig untersucht werden, wie dies auch die teilweise wenig aussagekräftigen statistischen Ergebnisse verdeutlichen.

Viele Einflussfaktoren des Konflikts erstrecken sich zudem über mehrere Jahrzehnte, wie beispielsweise Bevölkerungswachstum, Umweltdegradation, Veränderungen und Intensität der Landnutzung. Die räumliche Analyse fokussierte sich jedoch auf den Zeitraum 2003 bis 2010, den

offiziellen Konfliktzeitraum. Somit wurden vorangegangene Veränderungen nicht erfasst. Um diesem Problem in der weiteren Forschung zu begegnen, könnte auf Landnutzungsdaten zurückgegriffen werden, welche bis 1972 zurückreichen und ebenfalls frei verfügbar sind. Dies wäre jedoch mit einem hohen Arbeitsaufwand zur Landnutzungsklassifizierung verbunden sowie dem Management großer Datenmengen.

Mittels der gewählten Methodik und der verwendeten Daten konnte die Hypothese, dass Veränderungen der Anbaufläche in Konfliktgebieten im Vergleich zu nicht-angegriffenen Gebieten unterschiedlich ausfallen, wie anfänglich angenommen wurde, nur begrenzt verifiziert werden. Ein Erklärungsansatz hierfür ist der verwendete Datensatz (MCD12Q1), welcher kleinräumige und innerjährliche Veränderungen nicht widerspiegelt. Darüber hinaus sind die Lebenshaltungssysteme in Darfur vielfältig. Auch Viehnomaden betreiben zu einem gewissen Grad Ackerbau und umgekehrt. Durch Konfliktereignisse hervorgerufene Änderungen der Landnutzung können sich also in beide Richtungen vollziehen. In diesem Fall sind Änderungen der Anbaufläche und Konflikt zwar miteinander verbunden, sie konnten jedoch nicht

mittels der gewählten Methodik erfasst werden. Anhand der Distanzanalyse wurde der wesentliche Aspekt der Erreichbarkeit eines Dorfs verdeutlicht, welche für einen Angriff mitunter ausschlaggebend ist.

Es lässt sich abschließend festhalten, dass Fernerkundungs- und GIS-Anwendungen in dieser speziellen Konstellation nur einzelne Teilaspekte des Konflikts erfassen können. Während sich Infrastruktur als wesentlicher Einflussfaktor darstellt, ist hinsichtlich der Landnutzungsänderung noch weiterer Forschungsbedarf mit höher räumlich und zeitlich aufgelösten Daten erforderlich. Eine Annäherung an das Thema mittels multivariater statistischer Verfahren könnte möglicherweise weitere interessante Ergebnisse liefern, sofern auf eine bessere Datenlage zurückgegriffen werden kann. Auch wenn sich der Darfurkonflikt in seiner Komplexität nur bedingt durch die verwendeten frei verfügbaren räumlichen Daten und der verwendeten Methodik in dieser Untersuchung abbilden ließ, konnte die räumliche Erfassung der Dimensionen und Ausprägungen des Konflikts, doch zu einem umfassenderen Verständnis des Konflikts beitragen, welche als Zusatzinformation der Konfliktanalyse herangezogen werden kann.

### Literatur

Abduljalil, M. A. (2007): Land tenure, land use and inter-ethnic conflicts in Darfur. In: Ahmed, A. G. M.; Manger, L. (Eds.): Understanding the crisis in Darfur – Listening to Sudanese voices. BRIC, Bergen, S. 20-32.

Ahmed, A. G. M. (2007): The Darfur crisis: Mapping the root causes. In: Ahmed, A. G. M.; Manger, L. (Eds.): Understanding the crisis in Darfur – Listening to Sudanese voices. BRIC, Bergen, S. 10-19.

Ahmed, A. G. M. (2009): Climate changes as a crucial factor in the Darfur crisis. In: Leroy, M. (Ed.): Environment and conflict in Africa. Reflections on Darfur. University for Peace – Africa programme, Addis Ababa, Ethiopia, S. 89-98. [http://www.africa.upeace.org/documents/environment\\_files.pdf](http://www.africa.upeace.org/documents/environment_files.pdf), Zugriff 04/2013.

Babiker, M. (2007): Conflict and conflict reduc-

tion in Darfur: Some initial thoughts. In: Ahmed, A. G. M.; Manger, L. (Eds.): Understanding the crisis in Darfur – Listening to Sudanese voices. BRIC, Bergen, S. 43-53.

El Zain, M. (2009): The origins of current conflicts: Rural water provision and the reshaping of human settlements and environmental resources in Western Sudan. In: Leroy, M. (Ed.): Environment and conflict in Africa. Reflections on Darfur. University for Peace – Africa programme, Addis Ababa, Ethiopia, 123-159. [http://www.africa.upeace.org/documents/environment\\_files.pdf](http://www.africa.upeace.org/documents/environment_files.pdf), Zugriff 04/2013.

Fadul, A. A. (2004): Natural resources management for sustainable peace in Darfur. In: O'Reilly, F. (Ed.): Environmental degradation as a cause of conflict in Darfur. Conference Proceedings, S. 33-44. [http://www.africa.upeace.org/documents/darfur\\_cp.pdf](http://www.africa.upeace.org/documents/darfur_cp.pdf), Zugriff 04/2013.

Gebresenbet, F. (2009): Climate and vegetation changes in the Sahel. In: Leroy, M. (Ed.): Environment and conflict in Africa. Reflections on Darfur. University for Peace – Africa programme, Addis Ababa, Ethiopia, S. 14-26. [http://www.africa.upeace.org/documents/environment\\_files.pdf](http://www.africa.upeace.org/documents/environment_files.pdf), Zugriff 04/2013.

IDMC (2011): Global internal displacement highest in a decade – report. [http://www.internal-displacement.org/8025708F004BE3B1/%28httpInfoFiles%29/F8E95AADD2079B57C125785C0036B124/\\$file/Global\\_Overview\\_PR\\_2010.pdf](http://www.internal-displacement.org/8025708F004BE3B1/%28httpInfoFiles%29/F8E95AADD2079B57C125785C0036B124/$file/Global_Overview_PR_2010.pdf), Zugriff 11/2012.

Jaspars, S.; O'Callagan, S. (2008): Challenging choices: Protection and livelihoods in Darfur. A review of the Danish refugee council's programme in West Darfur. <http://www.odl.org.uk/sites/odi.org.uk/files/odi-assets/publications-opinion-files/3492.pdf>, Zugriff 11/2012.

Kevane, M.; Gray, L. (2008): Darfur: Rainfall and conflict. In: Environmental Research Letters, 3, S. 1-10. [http://iopscience.iop.org/1748-9326/3/3/034006/pdf/erl8\\_3\\_034006.pdf](http://iopscience.iop.org/1748-9326/3/3/034006/pdf/erl8_3_034006.pdf), Zugriff 04/2013.

LandScan (o. J.): [http://www.ornl.gov/sci/landscan/landscan\\_documentation.shtml](http://www.ornl.gov/sci/landscan/landscan_documentation.shtml), Zugriff 01/2013.

Mohamed, A. A.; Badri, B. Y. (2005): Intercommunal conflict in Sudan. Causes, resolution mechanisms and transformation. A case study of Darfur region.

Olsson, O. (2010): After Janjaweed? Socio-economic impacts of the conflict in Darfur. [https://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/21858/1/gupea\\_2077\\_21858\\_1.pdf](https://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/21858/1/gupea_2077_21858_1.pdf), Zugriff 11/2012.

Osman el-Tom (2004): The Black Book – Imbalance of power and wealth in Sudan. General Translator's Introduction. <http://orientmiedo.files.wordpress.com/2009/10/justice-and-equality-movement-the-black-book.pdf>, Zugriff 04/2013.

Robinson, W. S. (1950): Ecological correlations and the behavior of individuals. In: American Sociological Review, 15, S. 351-357.

UNEP (2007): Sudan. Post-conflict environmental assessment. [http://postconflict.unep.ch/publications/sudan/00\\_fwd.pdf](http://postconflict.unep.ch/publications/sudan/00_fwd.pdf), Zugriff 04/2013.

United Nations Sudan Information Gateway (2009): Darfur Humanitarian Profile No. 34, Situation as of 01 January 2009. [http://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/D85EAF37950F12548525758B006DF908-Full\\_Report.pdf](http://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/D85EAF37950F12548525758B006DF908-Full_Report.pdf), Zugriff 04/2013.

United Nations Sudan (2010): Beyond Emergency Relief. Longer-term trends and priorities for UN agencies in Darfur. [http://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/6AAEE62B2DC5EE8D852577AE0071F8E7-Full\\_Report.pdf](http://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/6AAEE62B2DC5EE8D852577AE0071F8E7-Full_Report.pdf), Zugriff 11/2012.

United Nations University (2011): Aid in a dangerous age. <http://unu.edu/news/aid-in-a-dangerous-age.html>, Zugriff 12/2012.

University for Peace (2004): Preface; Glossary. In: O'Reilly, F. (Ed.): Environmental degradation as a cause of conflict in Darfur. Conference Proceedings, 7-10, S. 96-97. [http://www.africa.ucepeace.org/documents/darfur\\_cp.pdf](http://www.africa.ucepeace.org/documents/darfur_cp.pdf), Zugriff 04/2013.

Young, H.; Asman, A. M.; Aklilu, Y.; Dale, R.; Badrum, B.; Fuddle, A. J. A. (2005): Darfur – Livelihoods under siege. Feinstein International Famine Center. <http://idp-key-resources.org/documents/2005/d04507/000.pdf>, Zugriff 04/2013.

Young, H. (2006): Livelihoods, migration and remittance flows in time of crisis and conflict: case studies for Darfur, Sudan. <http://www.odi.org.uk/sites/odi.org.uk/files/odi-assets/publications-opinion-files/404.pdf>, Zugriff 01/2013.

**IMPRESSUM // PUBLICATION INFORMATION**

gis.SCIENCE – Die Zeitschrift für Geoinformatik ISSN 1869-9391 // Redaktion: Gerold Olbrich, [olbrich@vde-verlag.de](mailto:olbrich@vde-verlag.de), Tel.: +49(0)69-840006-1121 // Hauptschriftleiter: Prof. Dr.-Ing. Ralf Bill, [ralf.bill@uni-rostock.de](mailto:ralf.bill@uni-rostock.de), Tel +49(0)381-498-3200 // Editorial Board: Prof. Dr. Lars Bernard, TU Dresden; Dr. Andreas Donaubauber, TU München; Prof. Dr. Max Egenhofer, University of Maine Orono; Prof. Dr. Manfred Ehlers, Universität Osnabrück; Prof. Dr. Klaus Greve, Universität Bonn; Dr. Stefan Lang, Universität Salzburg; Prof. Dr. Stephan Nebiker, Fachhochschule Nordwestschweiz, Prof. Dr. Matthäus Schilcher, TU München, Prof. Dr. Josef Strobl, Universität Salzburg // Anzeigen: Katja Hanel, VDE VERLAG GMBH, Telefon +49(0)69/840006-1341, [hanel@vde-verlag.de](mailto:hanel@vde-verlag.de) // Abonnement-Service und Adressänderung: Kerstin Grzechnik, +49(0)69/840006-1380, Fax: -1398 // gis.Science erscheint im: Wichmann Verlag im VDE VERLAG GMBH, Bismarckstraße 33, 10625 Berlin, Tel. +49(0)30/34 80 01-0, Fax +49(0)30/34 80 01-9088, [www.wichmann-verlag.de](http://www.wichmann-verlag.de) // Geschäftsführung: Dr.-Ing. Stefan Schlegel, Margret Schneider // Verlagsleiter Zeitschriften: Ronald Heinze // Druck: H. Heenemann GmbH & Co. KG, Berlin // Erscheinungsweise: 12 x jährlich, davon 4 Ausgaben gis.SCIENCE, 8 Ausgaben gis.BUSINESS // Jahresabonnement (12 Hefte): Inland 157,25 EUR inkl. Versandkosten, europäisches Ausland 166 EUR, sonstiges Ausland 178 EUR inkl. Versandkosten, Studenten/Auszubildende 89,00 EUR inkl. Versandkosten, Mitglieder des Deutschen Dachverbandes für Geoinformation e.V. (DDGI) erhalten das Abo im Rahmen ihrer Mitgliedschaft // Bezugszeitraum: Ein Abonnement gilt für mindestens ein Jahr und verlängert sich jeweils um das folgende Kalenderjahr, wenn es nicht bis zum 15. November eines Jahres gekündigt wurde. Bei Nichterscheinen aus technischen Gründen oder höherer Gewalt entsteht kein Anspruch auf Ersatz. // Alle in gis.SCIENCE erscheinenden Beiträge, Abbildungen und Fotos sind urheberrechtlich geschützt. Reproduktion, gleich welcher Art, können nur nach schriftlicher Genehmigung des Verlags erfolgen. // © 2013 VDE VERLAG, Berlin • Offenbach.

Titelbild // Cover image: OSM-3D view of the City of Heidelberg, Germany. A. Zipf, University of Heidelberg, <http://giscience.uni-hd.de>. Courtesy of A. Zipf. Data CC-BY-SA by OpenStreetMap, Map Data: © OpenStreetMap contributors.