

## ABSTRACT

The Volta Basin in West Africa drains about 400,000km<sup>2</sup> area of land, including 70% of mainland Ghana. Low rainfall reliability, high population growth rate and macroeconomic transformations in the last few decades have had a profound influence on the livelihood strategies of the largely rural populace. Therefore, many parts of the basin are *hotspots* of land-use / land-cover change (LUCC). The determinants of LUCC in a 5,400km<sup>2</sup> area within the Volta Basin of Ghana were identified using multiscale, spatial statistical analyses and household surveys. Land-cover change trajectories were defined using multitemporal Landsat TM images acquired in 1984, 1992 and 1999. Training signatures for land-cover classification using maximum likelihood algorithm were developed based on PCA, tasseled cap and NDVI transforms, whereas ground truth data were obtained from aerial photo interpretation and field surveys. Change detection was based on synergy between image-differencing and post classification comparison techniques. Statistical relationships between land-cover and selected proxy driving factors of change were determined using two modeling techniques. The first technique answered the question: *what are the factors that determine the conversion of a location to cropland?* It involved the use of logistic regression to determine the relationships between cropland change and selected variables at different cell resolutions ranging from 30m (household level) to 5100m (village level). The second technique using linear multiple regression was used to answer the question: *given the socioeconomic characteristics of households within a locality, how much land will be cleared for agriculture for domestic and commercial purposes?*

The results of the study show that the dominant land-cover change process was conversion of natural vegetation to cropland, which occurred at an annual rate of 5% between 1984 and 1999. A higher increase in woody biomass in 10% and a simultaneous decrease in 9% of the landscape indicates a certain level of rainfall-induced resilience in the savannah ecosystem. A study of the association between land-cover change and soil properties indicated that correlation between organic C, an index of agricultural sustainability and selected soil fertility indices - ECEC, N and P - declined as cultivation persisted. There is evidence of nutrient mining in about 12% of the land area continuously cultivated between 1984 and 1999.

Logistic regression results show the time and scale-dependency of LUCC patterns in the study area. Between 1984 and 1992, the main drivers of change were altitude, distance from roads, distance from the main market and localities, initial population density and change in population density. In the second period (1992-1999), land suitability index, distance from villages and localities, change in population density, and rainfall zone were the main drivers of cropland change. Linear multiple regression identified increase in household size, frequency of tractor use, proportion of rice marketed, child dependency ratio, labor availability, and distance from localities to the main market as the major factors determining the amount of land a household cleared for agriculture. This suggests the coexistent processes of agricultural intensification and extensification in the land-use strategies of the populace.

The choice of an appropriate scale for LUCC models to support land-use planning requires a trade-off between spatial detail and extent. At the scale of individuals, households and commercial farmers (30m-1050m), land-use change processes are highly heterogeneous, requiring a large amount of data for characterization. The variograms of standardized logit residuals suggest that the size of land change processes at the village ranged from 3km to 7km. Future land change models should therefore be based on these spatial scales.

Policy suggestions for sustainable land management include coercive environmental protection, integration of livestock and crops in the production systems, research to improve the quality of soil organic matter, and institutional arrangement to promote agricultural commercialization.

# Modellierung von Landnutzungsänderungen im ghanaischen Teil des Volta Beckens

## KURZFASSUNG

Das Volta Becken ist ein Einzugsgebiet in Westafrika mit einer Größe von ca. 400.000 km<sup>2</sup>, und umfasst damit 70% der Fläche von Ghana. Hohe Niederschlagsvariabilität, hohe Bevölkerungswachstumsraten und makro-ökonomischer Wandel in den letzten Jahrzehnten haben sich tiefgreifend auf die Lebensunterhaltsstrategien der überwiegend ländlichen Bevölkerung ausgewirkt. Viele Bereiche des Beckens sind daher Schwerpunkte (*'hotspots'*) von Landnutzungs-/Landbedeckungsänderungen (LUCC). Die bestimmenden Faktoren von LUCC in einer 5.400km<sup>2</sup> großen Fläche innerhalb des Volta Beckens in Ghana wurden durch räumlich-statistische Analysen auf verschiedenen Maßstäben und durch Haushaltsbefragungen ermittelt. Die Tendenzen der Landbedeckungsänderungen wurden mithilfe multitemporaler Landsat TM Satellitenbilder aus den Jahren 1984, 1992 und 1999 ermittelt. Trainingssignaturen für die Landbedeckungsklassifizierung mit dem „größte Wahrscheinlichkeit“-Algorithmus wurden auf der Grundlage von PCA, ‚tasseled cap‘ und NDVI Transformationen entwickelt, während Bodenverifikationsdaten aus Luftbildern und Felduntersuchungen ermittelt wurden. Die Veränderungen wurden auf der Grundlage der Synergie zwischen den Methoden der Bilddifferenzierung und des nachträglichen Klassifizierungsvergleichs bestimmt. Statistische Beziehungen zwischen Landbedeckung und ausgewählten Veränderungsfaktoren wurden durch zwei Modellierungsmethoden ermittelt. Die erste gab Antwort auf die Frage: *welche Faktoren bestimmen die Umwandlung eines Standortes in eine landwirtschaftliche Anbaufläche?* Hier wurde die logistische Regression zur Bestimmung der Beziehungen zwischen dieser Umwandlung und ausgewählten Variablen bei unterschiedlichen Zellenauflösungen von 30m (Haushaltsebene) bis 5100m (Dorfebene) eingesetzt. Die zweite Methode verwendete die lineare multiple Regression zur Beantwortung der Frage: *bei gegebenen sozioökonomischen Merkmalen der Haushalte innerhalb eines Bereiches, wie viel Land wird für die landwirtschaftliche Nutzung für private und wirtschaftliche Zwecke gerodet?*

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass Landbedeckungsänderungen hauptsächlich aus der Umwandlung von natürlicher Vegetation hin zu Anbauflächen bestanden, mit einer jährlichen Rate von 5% zwischen 1984 und 1999. Eine höhere Zunahme der Holzbiomasse in 10% und einer gleichzeitigen Abnahme in 9% der Landschaft weist auf eine gewisse durch Niederschlag verursachte Widerstandsfähigkeit des Savannenökosystems hin. Die Untersuchung der Beziehung zwischen Landbedeckungsveränderungen und Bodenmerkmale zeigt, dass die Korrelation zwischen organischem C, ein Index der landwirtschaftlichen Nachhaltigkeit und ausgewählten Bodenfruchtbarkeitsindices - ECEC, N und P bei andauernder Bewirtschaftung abnahm. Es gibt Hinweise auf den Abbau von Nährstoffen in ca. 12% des zwischen 1984 und 1999 ständig bewirtschafteten Landes.

Die Ergebnisse der logistischen Regression zeigen eine Zeit- und Maßstabsabhängigkeit der LUCC-Muster im Untersuchungsgebiet. Zwischen 1984 und 1992 waren die wichtigsten Faktoren Höhe, Entfernung von Straßen, Entfernung von den wichtigsten Märkten und Orten, und ursprüngliche Bevölkerungsdichte sowie Veränderungen dieser. Im zweiten Zeitraum (1992-1999) waren diese Merkmale Landeignungsindex, Entfernung von Dörfern und Orten, Veränderung in der Bevölkerungsdichte, und Niederschlagszone. Die lineare multiple Regression ergab eine Zunahme der Haushaltsgröße, der Häufigkeit der Nutzung von Traktoren, des Anteils des vermarkten Reises, des Kindabhängigkeitsverhältnisses, der Verfügbarkeit von Arbeitskräften sowie die Entfernung zum wichtigsten Markt als die Hauptfaktoren, die die Größe der Fläche bestimmten, die ein Haushalt für die landwirtschaftliche Nutzung rodete. Dies deutet auf die gleichzeitigen Prozesse der landwirtschaftlichen Intensivierung und räumlichen Ausdehnung in den Landnutzungsstrategien der örtlichen Bevölkerung hin.

Die Auswahl eines geeigneten Maßstabs für LUCC-Modelle zur Unterstützung von Landnutzungsplanung erfordert einen Kompromiss zwischen räumlicher Genauigkeit und Ausdehnung. Im Maßstab von Einzelpersonen, Haushalten und gewerblichen Farmern (30m-1050m) sind die Landnutzungsveränderungsprozesse sehr heterogen und erfordern zur Charakterisierung große Datenmengen. Die Variogramme der standardisierten Logit-Restgrößen deuten darauf hin, dass der Umfang der Veränderungen der Landnutzungsprozesse auf der Dorfebene zwischen 3km bis 7km lag. Zukünftige Modelle zur Ermittlung von Landnutzungsveränderungen sollten daher auf diesen räumlichen Maßstäben aufgebaut sein. Empfehlungen für nachhaltige Landwirtschaft umfassen zwingenden Umweltschutz, Integration von Tierhaltung und Kulturpflanzen in die Produktionssysteme, Forschung zur Verbesserung der Qualität von organischem Material, sowie institutionelle Regelungen zur Förderung der landwirtschaftlichen Kommerzialisierung.