

**Interlinkages of Land Degradation, Marginality and
Land Use Cover Change in Kenya**
**Development of an interdisciplinary framework using
remote sensing and GIS**

Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades (Dr. rer. nat.)

der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

vorgelegt von

VALERIE ANNEMARIE MARTINE GRAW

aus Siegen

Bonn 2015

Zusammenfassung

Land Degradation (LD) ist ein globales Problem, welches das sozio-ökologische System auf der globalen Skala beeinflusst und durch dieses beeinflusst wird. Die vorliegende Arbeit untersucht basierend auf Methoden der Fernerkundung und der Nutzung von geographischen Informationssystemen (GIS) das Zusammenspiel von LD, Marginalität und Landnutzungswandel (land use cover change (LUCC)) in Kenia. Die Entwicklung eines interdisziplinären Forschungsrahmens basiert auf einer Analyse, die auf zwei verschiedenen Skalen stattfindet: Die nationale Skala wird durch Kenia repräsentiert, während auf der lokalen Skala ein detaillierteres Gebiet im Westen Kenias untersucht wird. LD ist durch den Verlust von Bodenfruchtbarkeit charakterisiert und somit direkt mit der Produktivität des Bodens verbunden. Durch die Kombination von biophysikalischen und sozio-ökonomischen Daten kann ein tieferes Verständnis von internen Dynamiken generiert und vermittelt werden, welches insbesondere im Hinblick auf gekoppelte Mensch-Umwelt-Systeme (Human-Environment-System (HES)) von Bedeutung ist. Zusätzlich werden q-squared Methoden angewandt. Sie beschreiben den simultanen Einsatz von quantitativen und qualitativen Methoden und geben damit Einblicke in verschiedene Disziplinen der Landsystemforschung.

Marginalität wird als Grundursache für Armut definiert und ist somit eng mit der Messung dieser verbunden. Jedoch geht das Verständnis von Marginalität über die einfache Perspektive eines monetären Wertes hinaus. Angelehnt an die Initiative des Global Land Programmes (GLP), das in den 1990er Jahren etabliert wurde, bezieht sich auch die Untersuchung von LUCC auf interdisziplinäre Konzepte. Die Landbedeckung (land cover) bezieht sich auf die biophysikalischen Aspekte und kann mit Methoden der Fernerkundung analysiert werden. Auf der anderen Seite beinhaltet Landnutzung (land use) eine aktive Komponente und wird definiert als die Inwertsetzung des Landes durch menschliche Aktivitäten. Die Frage, wie Land bspw. durch Landwirtschaft genutzt wird, kann durch Einblicke in sozio-ökonomische Strukturen, hier insbesondere Informationen über landwirtschaftliche Aktivitäten, beantwortet werden.

Die nationale Studie in Kenia untersucht alle 47 Counties des Landes. Unter Einbezug von Zensusdaten sowie Haushaltsinformationen kann die sozio-ökonomische Perspektive abgebildet werden. Die Untersuchung der biophysikalischen Parameter, welche LD und LUCC repräsentieren, wird mit Hilfe von Fernerkundungsdaten durchgeführt. Eine Zeitreihenanalyse mit MODIS Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Daten mit einer räumlichen Auflösung von 500m wurde genutzt, um Produktivitätstrends in den Jahren 2001 bis 2011 zu berechnen. Bei der Untersuchung der Trends von LD und Armut in Kenia konnte festgestellt werden, dass es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen diesen beiden Prozessen gibt. Neben einem gleichzeitigen Anstieg von Armut und der Verminderung von Produktivität in West-Kenia konnte ein genau gegenläufiger Zusammenhang dieser Prozesse im Nordwesten sowie im Süden des Landes festgestellt werden. Basierend auf fünf Indikatorengruppen wurden verschiedene Dimensionen von Marginalität wie Gesundheit, Bildung, Zugang zu Infrastruktur

und Information sowie Ökonomie untersucht. Indikatorengruppen, die Zugang zu Infrastruktur oder Information repräsentierten, zeigten eine höhere Korrelation mit Armut als jede andere Indikatorengruppe. Durch Exploratory Regression und Ordinary Least Square Regression (OLS) konnte schließlich ein Set von acht Indikatoren ermittelt werden, welches Produktivitätstrends erklärt. Hierzu zählen: Armutsrate, Bevölkerungsdichte, Prozentanteil der Bevölkerung mit Grundbildung, Prozentanteil der Bevölkerung, die höhere Bildung in Anspruch nimmt, Local Authority Transfer Funds (LATF), Prozentanteil der Haushalte mit Zugang zu einer Fernleitung, sowie der Prozentanteil der Bevölkerung, der Düngemittel einsetzt. Die Untersuchung bezog alle 47 Counties mit ein. Die Analyse von LUCC wurde ebenfalls mit Fernerkundungsdaten von MODIS Land Cover Produkt (MCD12Q1) mit einer räumlichen Auflösung von 500m und jährlicher Bereitstellung durchgeführt. Mit diesen Daten konnten Anbauflächen identifiziert werden, welche zwischen 2001 und 2011 von LD betroffen waren. Auf diese Weise wurde ein Untersuchungsgebiet mit Bezug zur Thematik der Ernährungssicherung für die lokale Studie ausgewählt, welches sieben Counties im Westen Kenias umfasst: Trans Nzoia, Bungoma, Uasin Gishu, Kakamega, Siaya, Vihiga und Kisumu.

Der Westen Kenias ist durch eine hohe landwirtschaftliche Produktivität gekennzeichnet. Insbesondere Mais wird in dieser Region angebaut. Geostatistische Ansätze, wie sie auch in der nationalen Studie verwendet wurden, wurden auch in der lokalen Studie eingesetzt. Sozio-ökonomische Daten basieren hier auf Haushaltsinformationen und wurden vom Tegemeo Institut in vier Zeitabschnitten erhoben: 2000, 2004, 2007 und 2010. Durch die Verknüpfung der Haushaltsdaten mit den GPS-Lokationen der jeweiligen Dörfer konnten Haushaltsdynamiken in Aktionsradien von 10km um das jeweilige Dorf in Hinblick auf LD-Trends analysiert werden. Da in Gebieten mit hoher Biomasseproduktion NDVI Daten schlechtere Ergebnisse lieferten als der Enhanced Vegetation Index (EVI) wurde letzterer für die lokale Studie gewählt. Vegetationstrends wurden aus der jährlichen Summe des EVI berechnet. Begünstigt durch stabile Niederschläge und klimatische Grundvoraussetzungen wird Landwirtschaft das ganze Jahr hindurch in dieser Region betrieben. Insgesamt wurden 42 Dörfer in der lokalen Studie untersucht. Bei der Analyse von negativen Produktivitätstrends wurden ebenfalls qualitative Informationen hinzugezogen, um explizit stark negative Trends im Jahr 2009 genauer zu untersuchen. Die Unruhen in Kenia nach den Wahlen 2007 und 2008, sowie die Weltwirtschaftskrise im Jahr 2008 hatten einen signifikanten Einfluss auf die Nahrungsmittelproduktion in dieser Region, der nicht allein durch verringerte Niederschläge in diesem Zeitraum zu erklären ist. Darüber hinaus ließ sich durch räumliche Autokorrelation eine bipolare Raumstruktur in der lokalen Studie feststellen. Im nördlichen Teil liegen die hochproduktiven Maiszonen (HPMZ), während weiter südlich die weniger produktiven Maiszonen (nHPMZ) lokalisiert sind. Beide weisen unterschiedlich erklärende Variablen für sinkende Produktivität auf. Während die Produktivität in HPMZ eher durch Faktoren wie Zugang zu Transport und Information gesteuert wird, begründet sich diese in nHPMZ eher durch biophysikalische Voraussetzungen wie bspw. Niederschlag und Topographie.

Insgesamt haben sowohl die nationale als auch die lokale Studie gezeigt, dass Variablen, die sinkende und stabile Produktivitätstrends auf der jeweiligen Skala beeinflussen, in einer engen Beziehung zueinander stehen. Demgegenüber werden steigende Produktivitätstrends von anderen Variablen beeinflusst, die nicht notwendigerweise mit LD in Verbindung stehen. Mit Bezug auf das Konzept der LD Neutralität (land degradation neutrality) wird die Untersuchung von stabilen Trends für die zukünftige Forschung in den Fokus gesetzt. Die Identifizierung von beeinflussenden biophysikalischen und sozio-ökonomischen Variablen auf Produktivitätstrends trägt zu einem besseren Verständnis von gekoppelten HES bei und hilft Anknüpfungspunkte für politische Interventionen zu finden. Der interdisziplinäre Ansatz dieses Forschungsprojektes ist wegweisend für die Entwicklung von Strategien zur Ernährungssicherung auf politischer Ebene. Durch eine Validierung der Ergebnisse auf der jeweiligen räumlichen Ebene können Gebiete identifiziert werden, in welchen Handlungsbedarf erforderlich ist, um weitere Produktivitätsminderung zu verhindern und letztendlich Produktivität zu stabilisieren.

Abstract

Land degradation (LD) is a global problem affecting and being affected by socio-ecological systems. This thesis analyses the interlinkages of LD, marginality and land use cover change (LUCC) in Kenya based on remote sensing and geographic information systems (GIS). An interdisciplinary framework is developed using two different scales – a national scale looking at the country of Kenya and a local scale analyzing a specific area in western Kenya. LD stands for the decrease of soil fertility and, hence, land productivity. By combining biophysical and socio-economic data we obtain a deeper understanding of internal dynamics and their relationship to processes of decreasing productivity within a coupled Human-Environment System (HES). In addition q-squared methods are used which describe the simultaneous use of quantitative and qualitative methods and thereby support insights in different disciplines.

Marginality is defined as the root cause of poverty but goes beyond the solely economic perspective of poverty measurement. LUCC, based on the Global Land Programme (GLP) initiative started in the 1990s, represents another interdisciplinary concept. On the one hand land cover (LC) refers to the land surface and its biophysical determinants which can be detected with remote sensing. On the other hand land use (LU) includes an active component referring to activities on land by human impact. The question how land is e.g. used by agricultural production can be approached by gaining insight in socio-economic structures, especially via information on agricultural activities.

The national study on Kenya focuses on all 47 counties of the country. Insight in the socio-economic perspective was given with census data and household survey information while biophysical assessment on LD and LUCC was conducted via remote sensing imagery. Time series analysis of vegetation, using MODIS Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Terra (MOD13A1) with 500m resolution was included to analyze trends of land productivity from 2001 to 2011. Analyzing trends of LD and poverty in Kenya showed no significant relationship between both processes. While a simultaneous increase of poverty and decrease of productivity was observed in western Kenya, an exact reverse interplay was identified in northwestern and southern Kenya. Based on five indicator groups different dimensions of marginality such as health, education, access to infrastructure and information but also economy could be analyzed. Indicator groups that represent accessibility to infrastructure or information showed significant higher correlation with poverty than any other indicator groups. Finally a set of eight indicators could be detected that explains decreasing productivity trends with the use of exploratory regression and ordinary least square regression (OLS). This includes: poverty rates, population density, percent of population with basic literacy, percent of the population attending higher education, local authority transfer funds (LATF), households with access to a landline, and rates of any fertilizer use. The analysis included data from all 47 counties of Kenya. Analysis of LUCC was also based on remote sensing using MODIS Land Cover Product (MCD12Q1)

also with a spatial resolution of 500m. With this dataset croplands could be detected that were affected by LD. Based on these seven counties in western Kenya were identified also with regard to food security aspects: Trans Nzoia, Bungoma, Uasin Gishu, Kakamega, Siaya, Vihiga and Kisumu.

Western Kenya is characterized by high cropland productivity and represents the grain basket of the country. It is also the area where most of the maize production within the country takes place. The local analysis used the same geostatistical approach as for the national study but refined the methods using more accurate data. Socio-economic information was derived from a household panel survey collected in four waves (2000, 2004, 2007 and 2010) provided by the Tegemeo Institute. Besides demographic data also information on agricultural input is collected on the household level and can be linked to the GPS-location of the respective villages.

Additionally also LD analysis was refined. For the local study MODIS Enhanced Vegetation Index (EVI) with 500m resolution was chosen as this index is reported to perform better compared to the NDVI in areas with high biomass production. Due to favorable preconditions, such as stable rainfall, crop production here takes place throughout the whole year. In total, 42 villages were analyzed with regard to their acting scope which each covered an area of 10km around each village. Explaining decreasing productivity trends on the local level made obvious that also qualitative information is needed to validate and interpret results correctly. For example trigger events such as the post-election violence in 2007 and 2008, and the world economy crisis in 2008 had a significant impact on decreasing productivity trends in 2009 in the local study area. Therefore, the decrease of productivity could not solely be explained by decreasing rainfall within those years. Moreover, bisection within the study area was identified by spatial autocorrelation that classified the area in high-potential maize zones (HPMZ) in the northern part and non-high potential maize zones (nHPMZ) in the southern part. Using exploratory regression and OLS showed that decreasing productivity in the HPMZ is influenced by indicators such as accessibility to transport and information compared to the nHPMZ, where productivity trends rely more on biophysical preconditions such as rainfall and topography.

Taken together, the national and the local study both showed that variables explaining decreasing and stable productivity trends are in close relationship while increasing productivity is influenced by a different set of variables. Therefore, with regard to the concept of land degradation neutrality stable productivity trends need to be taken into account for future research. Identification of biophysical and socio-economic variables influencing productivity trends helps to get a better understanding of coupled HES. This supports the finding of starting points for political intervention. The interdisciplinary approach of this study is path leading for the development of food security strategies. Validation of the here presented results on the respective spatial scale can be used to identify areas where a need for action is required to stop ongoing productivity decrease and finally stabilize yields.