

# **Assessing land-use dynamics in a Ghanaian cocoa landscape**

**Dissertation**

zur Erlangung des Grades

Doktor der Agrarwissenschaften (Dr. agr.)

der Landwirtschaftlichen Fakultät

der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

von

**Daniel Tutu Benefoh**

aus

Kumasi, Ghana

Bonn 2018

## ABSTRACT

Ghana is one of the two West African nations that produce 60% of the World's annual 4 million tonnes cocoa. The Ghanaian cocoa industry is valued at US\$ 2 billion and offers direct jobs to 800,000 farming families. Despite the positive contributions to the Ghanaian economy and livelihoods, cocoa production is a well-known driver of deforestation and forest degradation due to the unsustainable expansion and intensification practices associated with the way it is cultivated. The concept of "zero-deforestation cocoa supply chain" is top on the agenda of the chocolate industry. This, this research seeks to contribute to the works on sustainable sourcing of cocoa beans from developing countries using a case study in Ghana. The aim is to understand land-use dynamics and the ecological implications for the cocoa landscape. Using remote sensing/GIS, statistics, and geostatistics techniques, major land-use types and their historical transitions were mapped. The ecological implications of the observed land-use changes for distribution of soil properties, nutrients and fertility were examined. Furthermore, the effects of cocoa intensification practices on carbon stocks, shade tree characteristics, and species diversity in cocoa plantations were assessed, and the influence of socio-economic factors on farmers' land-use preferences investigated. Using image-fusion of vegetation indices and a digital elevation model derived from multi-temporal Landsat images, areas of six main land-use types were mapped with high accuracy, i.e. cocoa agroforest, cocoa monocrop, forest, open forest, bush/shrub/food crops and settlement. A post-classification change detection was performed on land-use maps of the years 1986 and 2015. The findings from the mapping corroborate that cocoa expansion is a major driver of the historical land-use changes in the cocoa landscape. The historical land-use transitions were dominated by cocoa expansion into open forest and areas categorized as lands-in-transition. The results also show that the spatial distribution of soil nitrogen, organic carbon and phosphorus were neither controlled by topography nor by land-use type. However, forest soils generally contained more organic carbon than soils under cocoa plantations and were strongly associated with the distribution of clay, total nitrogen, and pH. The type of agroforest practices adopted by the farmers also influenced soil fertility. The results conclusively establish that irrespective of the shade tree species composition, number of shade trees and farm age, soil fertility benefits do not depend on whether the farming system is monoculture and simple or complex agroforest. This research corroborates widely documented findings that forest tends to have higher carbon storage and richer tree biodiversity than agroforest or monoculture cocoa plantations. Shade trees contributed more to carbon stocks in the cocoa plantations than the cocoa trees, and the dendrometric characteristics of the shade trees influenced the carbon stocks and diversity levels. This explains the strong statistical relationship between tree parameters and carbon stocks. Significant differences in how farmer ethnicity or gender influenced land-use choices were not identified. Statistically, some socio-economic factors and the farmers' land-use preferences influenced the decision to convert forest to cocoa or to eliminate shade trees. Ethnic origin, farming years and age had a significant influence on farmers' land-use decisions. This research provides good insights into the land-use dynamics in cocoa landscapes and can be useful in designing REDD+ and climate-smart interventions.

Keywords: Cocoa, land-use change, agroforestry, deforestation, soil fertility, carbon stocks, diversity

# Bewertung der Landuse Dynamik in einer ghanaischen Kakao Landschaft

## Abstrakt

Ghana ist eine der beiden westafrikanischen Nationen, die 60% des weltweiten jährlichen Kakaos von 4 Millionen Tonnen produzieren. Die ghanaische Kakaoindustrie hat einen Wert von 2 Milliarden US-Dollar und bietet 800.000 Bauernfamilien direkte Arbeitsplätze. Kakao wird in sechs Waldgebieten unter Waldfragmenten angebaut, die eine mehrschichtige Agroforstlandschaft bilden, die sich über 1,6 Millionen Hektar erstreckt. Trotz seines positiven Beitrags zur Wirtschaft und zum Lebensunterhalt ist die Kakaoanbau mit Abholzung und Waldschädigung aufgrund nicht nachhaltiger Expansions- und Intensivierungspraktiken verbunden. Diese landwirtschaftlichen Praktiken bedrohen die zukünftige Versorgung der Kakaobranche mit schwerwiegenden Folgen für die zukünftige Kakaoproduktion, den Lebensunterhalt und die Landschaftsvitalität. In letzter Zeit wurden große Anstrengungen unternommen, um "entwaldungsfreie Kakaoversorgungsketten" zu fördern, um die Abholzung zu bekämpfen und nachhaltige Schokolade zu fördern. Diese Forschungsarbeit soll einen Beitrag zu den Arbeiten zur nachhaltigen Beschaffung von Kakaobohnen aus Entwicklungsländern leisten. Die Forschung zielte darauf ab, die Landnutzungsdynamik und die ökologischen Implikationen für die Kakaolandschaft zu verstehen. Mittels Fernerkundungs- / GIS-, Statistik- und Geostatistiktechniken wurden wichtige Landnutzungsarten und ihre historischen Übergänge abgebildet. Die ökologischen Auswirkungen der beobachteten Landnutzungsänderungen auf die Verteilung von Bodeneigenschaften, Nährstoffen und Fruchtbarkeit wurden untersucht. Darüber hinaus wurden die Auswirkungen von Kakaoverstärkungspraktiken auf Kohlenstoffvorräte, Schattenbaumeigenschaften und Artenvielfalt in Kakaoplantagen untersucht und der Einfluss sozioökonomischer Faktoren auf die Landnutzungspräferenzen der Landwirte untersucht. Unter Verwendung von Bildfusion von Vegetationsindizes und einem digitalen Höhenmodell, abgeleitet von multitemporalen Landsat-Bildern, wurden Bereiche von sechs Hauptlandnutzungstypen mit hoher Genauigkeit kartiert, dh Kakao-Agroforest, Kakaomonocrop, Wald, offener Wald, Busch / Strauch / Nahrungspflanzen und Siedlung. Ein Postklassifizierungsänderungsnachweis wurde auf Landnutzungskarten der Jahre 1986 und 2015 durchgeführt. Die Ergebnisse der Kartierung bestätigen, dass die Kakaoausweitung ein Hauptantrieb für die historischen Landnutzungsänderungen in der Kakaolandschaft ist. Die historischen Landnutzungsübergänge wurden von der Kakaoausweitung in offenen Wald und Gebieten dominiert, die als Land-in-Transition kategorisiert wurden. Die Ergebnisse zeigen auch, dass die räumliche Verteilung von Bodenstickstoff, organischem Kohlenstoff und Phosphor weder von der Topographie noch vom Landnutzungstyp beeinflusst wurde. Jedoch enthielten Waldböden im Allgemeinen mehr organischen Kohlenstoff als Böden unter Kakaoplantagen und waren stark mit der Verteilung von Ton, Gesamtstickstoff und pH assoziiert. Die Art der agroforstlichen Praktiken, die von den Landwirten übernommen wurden, beeinflusste auch die Bodenfruchtbarkeit. Die Ergebnisse legen schlüssig fest, dass ungeachtet der Zusammensetzung der Schattenbaumarten, der Anzahl der Schattenbäume und des Farmalters die Vorteile der Bodenfruchtbarkeit nicht davon abhängen, ob es sich bei dem Bewirtschaftungssystem um Monokultur und einfachen oder komplexen Agroforst handelt. Diese Forschung bestätigt weitreichend dokumentierte Ergebnisse, dass Wald tendenziell eine höhere Kohlenstoffspeicherung und eine reichere Baumbiodiversität aufweist als Agroforst- oder Monokultur-Kakaoplantagen. Schattenbäume trugen mehr zu den Kohlenstoffvorräten in den Kakaoplantagen bei als die

Kakaobäume, und die dendrometrischen Eigenschaften der Schattenbäume beeinflussten die Kohlenstoffvorräte und die Diversitätsniveaus. Dies erklärt die starke statistische Beziehung zwischen Baumparametern und Kohlenstoffvorräten. Große Unterschiede in der Frage, wie die ethnische Herkunft oder das Geschlecht der Landwirte die Landnutzungsentscheidungen beeinflussten, wurden nicht identifiziert. Statistisch gesehen beeinflussten einige sozioökonomische Faktoren und die Landnutzungspräferenzen der Landwirte die Entscheidung, Wald in Kakao umzuwandeln oder Schattenbäume zu beseitigen. Ethnische Herkunft, Landwirtschaftsjahre und Alter hatten einen erheblichen Einfluss auf die Landnutzungsentscheidungen der Landwirte. Diese Forschung liefert gute Einblicke in die Landnutzungsdynamik in Kakaolandschaften und kann bei der Gestaltung von REDD + und klimagerechtem Handeln hilfreich sein.