

ABSTRACT

Land use and land cover information constitutes key environmental information for many scientific, resource management and policy purposes, as well as for a range of human activities. It is so important that it has become a major focus for the International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP) and the International Human Dimensions Programme (IHDP) at global, regional and local levels. Land use and land cover information is currently not available for many areas of the Volta Basin, which is currently undergoing rapid and wide-ranging changes in land use and vegetation due to the practice of slash-and-burn or shifting cultivation. The study of these conversions necessitates the use of remote sensing because it provides data at synoptic scales and facilitates the discerning of large-scale ecosystem patterns. Although remote sensing technology has been used for mapping in Ghana for sometime now, attempts to use unsupervised and supervised classification methods for LANDSAT images for large areas have so far yielded unsatisfactory results. Yet unsupervised and supervised classification have advantages over manual classification.

Therefore, this study was formulated as a component of the GLOWA Volta Project, the main theme of which is “*Sustainable water use under changing land use, rainfall reliability and water demands in the Volta Basin*”. The project is to generate data for the development of a decision support system. This study sought to find a suitable unsupervised or supervised method of land use and land cover mapping by remote sensing, to determine land use and land cover changes and to assess the relationships, if any, between land use and land cover change on the one hand and rainfall, soil fertility and population on the other.

The objectives of the study, therefore, involved (i) the adaptation of an unsupervised or supervised classification method for land use and land cover mapping in the Volta Basin, (ii) production of land use and land cover maps of the Upper West Region, (iii) land use and land cover change assessment for the region for the periods of 1986 to 1991, 1991 to 2000 and 1986 to 2000, (iii) evaluation of the fertility status of the soils under the various land cover categories for crop production, (iv) evaluation of the rainfall regime for crop production, (v) assessment of changes in the population of the region between 1984 and 2000 and (vi) determination of the extent to which changes in soil fertility and population under rainfall variability have effects on land use and land cover change of the region during the 15-year period.

The Upper West Region was selected for this study because, being the most recently created administrative region of Ghana, it is undergoing rapid biophysical and socio-economic transformations. Situated in the north-western corner of Ghana, it covers 1,850 km² and falls into the Guinea savannah vegetation zone. The total population of the region in 2000 was 576,583, with a density of 31.2 km⁻² and a growth rate of 1.7% (the relatively low growth rate being due to emigration to the south of the country).

The methodology used for image classification involved the stratification of different geocorrected LANDSAT-satellite images (1986, 1991 and 2000) and the classification of the various strata, using a classification scheme derived from the *Ghana Land Use and Land Cover Classification Scheme* (Agyepong *et al.*, 1996). The stratification procedure scaled down the complex vegetation patterns on the images and therefore improved the classification accuracy. The classified image strata were mosaicked to form a map, and the statistics of the various land use and land cover categories were generated. Prior to this, detailed analyses were made to compare visual/manual and unsupervised classification of the satellite data for land use and land cover. The results showed that visual interpretation cannot be compared with supervised and unsupervised classifications, because some of their mapping units are different. Unsupervised classification could not discriminate between water bodies and shaded closed savannah woodland and wet or dark dry riverbeds. However, unsupervised clustering was used to generate training samples, which were then used together with those collected in the field for a final maximum likelihood supervised classification. Change detection was done by comparing

the area of each land cover class over the various periods. The changes were related to soil fertility, rainfall and population of the region. Thus, the fertility of the soils under the various land cover types was evaluated for the traditional crops being grown in the region. The mean annual rainfall and mean farming-season rainfall from 1980 to 2000 were also evaluated for these crops. The change in population over the study period was also determined.

Six broad land use and land cover classes were mapped for 1986, 1991 and 2000, namely: (i) *Farmland/bare land or constructed surface*, (ii) *Closed savannah woodland or riparian vegetation*, (iii) *Open savannah woodland with shrubs and grasses*, (iv) *Mixture of grasses and shrubs with scattered trees*, (v) *Reserved woodland*, and (vi) *Water body*. The overall accuracy of the classification was 92 %. The results of the analyses showed that in 1986 and 1991, the respective extent of the various land cover categories was *Open savannah woodland with shrubs and grasses* (60% and 58.8%), *Mixture of grasses and shrubs with scattered trees* (16.8% and 17.7%), *Reserved woodland* (8.9% for both dates), *Closed savannah woodland/riparian vegetation* (7.33 and 7.32), *Farmland/bare land or constructed surface* (6.98% and 7.2%) and *Water body* (0.021% and 0.047%). In 2000, the extent of the land cover categories were *Open savannah woodland with shrubs and grasses* (58.1%), *Mixture of grasses and shrubs with scattered trees* (19%), *Reserved woodland* (8.9%), *Farmland/bare land or constructed surface* (7.6%) *Closed savannah woodland/riparian vegetation* (6.3%) and *Water body* (0.054%). Thus, while *Closed savannah woodland/riparian vegetation* and *Open savannah woodland with shrubs and grasses* decreased in extent from 1986 to 2000, *Farmland/bare land or constructed surface*, *Mixture of grasses and shrubs with scattered trees* and *Water body* increased spatially. Reserved savannah woodland was assumed to not have changed. Based on information collected from the interview of farmers, agricultural extension workers and foresters working in the region, the dynamics of land use and land cover conversions and inter-conversions in the region were determined.

The soils under *Closed savannah woodland* were more fertile than those under *Open savannah woodland*, which, in turn, were more fertile than those under *Mixture of grasses and shrubs with scattered trees*. The *Farmland* soils were the lowest in fertility. The soils of the region are generally low in fertility and *marginally suitable to suitable* for millet, sorghum, groundnut, rice, legumes, maize and cotton. The rainfall pattern is erratic, variable and unreliable, sometimes causing reduction in yield or total crop failure and imposing restriction on the choice of crops. The rainfall is *moderately suitable to suitable* for these crops. About 75% of the economically active population are farmers. The population increased from 1984 to 2000 by 32%. Obviously, given that such a high proportion of the population is in agriculture, an increase of 32% in population has serious implication for the degradation of the woodland, which is known to be more fertile. Declining soil fertility in the farmlands and increasing population, therefore, cause pressure on land, which leads to land degradation. This, in turn, causes the farmers to move to other areas to farm. This practice results in the progressive loss of woodland.

The study shows that (i) supervised classification can be applied to derive accurate land use and land cover maps for the savannah ecosystem in the Volta Basin of Ghana, (ii) generally, supervised maximum likelihood classification of LANDSAT images for a large area can be done successfully with a high level of accuracy and, more important, (iii) this is the first time it has been carried out for a large area in the complex savannah ecosystem in Ghana, (iv) land use and land cover of the region have changed over the past 15 years, and (v) changes in land use and land cover in the Upper West Region are related to the driving forces of declining soil fertility and increasing population under rainfall variability.

Landnutzung und Landbedeckung im Savannenökosystem der Upper West Region (Ghana) unter Verwendung von Fernerkundung

KURZFASSUNG

Informationen zu Landnutzung und Landbedeckung bilden die entscheidenden Umweltinformationen für zahlreiche Zwecke der Wissenschaft, des Ressourcenmanagements und der Politik sowie für einige menschliche Aktivitäten. Diese Informationen sind so wichtig, dass sie zu einem Schwerpunkt des Internationalen Geosphären-Biosphären-Programms (IGBP) und des International Human Dimensions Programme (IHDP) auf globaler, regionaler und lokaler Ebene geworden sind. Informationen zu Landnutzung und Landbedeckung sind z.Zt. für viele Gebiete des Volta Beckens nicht verfügbar. Das Volta Becken erlebt gegenwärtig schnelle und weit reichende Veränderungen in der Landnutzung und der Vegetationszusammensetzung als Folge des Brandrodungsfeldbaus. Die Untersuchung dieser Veränderungen macht die Anwendung der Fernerkundung erforderlich, da diese Daten in synoptischen Maßstäben geliefert werden können und sie die Erkennung von großräumigen Ökosystemmustern erleichtern. Obwohl die Fernerkundungstechnologie in Ghana seit einiger Zeit zur Kartierung eingesetzt worden ist, haben Versuche, rechnergestützte Klassifizierungsmethoden für LANDSAT-Bilder von großen Gebieten zu nutzen zu unbefriedigenden Ergebnissen geführt. Die rechnergestützte Klassifizierung hat jedoch Vorteile gegenüber der manuellen Klassifizierung.

Diese Studie wurde daher als Teil des GLOWA-Volta Projektes *„Nachhaltige Wassernutzung bei Veränderungen in Landnutzung, Niederschlagsbeständigkeit und Wassernachfrage im Volta Becken“* durchgeführt. Dieses Projekt wurde konzipiert, um Daten für die Entwicklung eines „decision support system“ zu entwickeln. Die vorliegende Studie sucht nach einer geeigneten rechnergestützten Methode zur Kartierung der Landnutzung und -bedeckung und zur Bewertung der Beziehungen, wenn vorhanden, zwischen Änderungen der Landnutzung und Landbedeckung auf der einen Seite und Niederschlag, Bodenfruchtbarkeit und Bevölkerung auf der anderen.

Die Ziele dieser Studie umfassten daher (i) die Entwicklung einer geeigneten rechnergestützten Methode zur Klassifizierung der Landnutzung und Landbedeckung der Savanne des Volta Beckens in Ghana, (ii) Erstellung von Karten über Landnutzung und Landbedeckung im Maßstab 1:250,000 (iii) Bewertung der Veränderungen in der Landnutzung/Landbedeckung in der Upper West Region für die Jahre 1986, 1991 und 2000, (iii) Bewertung des Fruchtbarkeitsstatus der Böden unter den verschiedenen Landbedeckungskategorien für die Produktion der angebauten Kulturpflanzen, (iv) Bewertung des Niederschlagsregimes in Beziehung zur Produktion der angebauten Kulturpflanzen, (v) Bewertung der Bevölkerungsveränderungen zwischen 1984 und 2000 und (vi) Bewertung der Veränderungen in der Bodenfruchtbarkeit und Bevölkerung unter Berücksichtigung der Niederschlagsvariabilität; dabei wird untersucht, ob diese Auswirkungen auf die Landnutzung/Landbedeckung der Region während in den letzten 15 Jahre hatten.

Die Upper West Region wurde für die Studie ausgewählt, da sie erst vor Kurzem als Verwaltungsregion definiert wurde und einer sehr schnellen biophysikalischen und ökonomischen Wandlung erfährt. Die Upper West Region umfasst ca. 1.850 km² und liegt in der nordwestlichen Ecke von Ghana in der Vegetationszone Guinea-Savanne. Die Gesamtbevölkerung der Region beträgt 576.583 (2000 Zensus) mit einer Dichte von 31,2 Personen km⁻² und einer jährlichen Zunahme von 1,7% (die relativ geringe Wachstumsrate ist die Folge der Emigration der Menschen in den Süden des Landes).

Die Methode umfasst die Interpretation von geometrisch korrigierten LANDSAT-Satellitenbilder (1986, 1991 und 2000) und die Klassifizierung der verschiedenen Schichten auf der Grundlage des *Ghana Klassifizierungsschema für Landnutzung und Landbedeckung*.

Im Stratifizierungsverfahren wurden die komplexen Vegetationsmuster in den Bildern zur Verbesserung der Klassifizierungsgenauigkeit reduziert. Die einzelnen Schichten wurden dann in Mosaiken überführt, Statistiken wurden generiert und Karten entwickelt. In einem zweiten Schritt wurden detaillierte Analysen durchgeführt, um die visuelle/manuelle und nicht-bewachte Klassifizierung der Satellitendaten für die Landnutzung und Landbedeckung zu vergleichen. Die Ergebnisse zeigen, dass die visuelle Interpretation aufgrund der Unterschiede in einigen der Landnutzungs-/Landbedeckungseinheiten nicht mit der der nicht-bewachten bzw. bewachten Klassifizierung verglichen werden können, da sich einige der Karteneinheiten unterscheiden. Die nicht-überwachte Klassifizierung war nicht in der Lage, zwischen Gewässer, beschattetem, geschlossenem Savannenwald und nassen bzw. dunklen trockenen Flussbetten zu unterscheiden. Jedoch wurde die nicht-bewachte Klassifizierung eingesetzt, um Trainingsgebiete zu bestimmen, die dann zusammen mit den Felddaten zur abschließenden „größte Wahrscheinlichkeit“-Klassifizierung eingesetzt wurden. Die Ermittlung von Veränderungen wurde durch einen Vergleich der räumlichen Statistiken der verschiedenen Landbedeckungsklassen über die einzelnen Zeiträume in bezug auf Bodenfruchtbarkeit, Niederschlag und Bevölkerung durchgeführt. Die Fruchtbarkeit der Böden bei den verschiedenen Landbedeckungstypen wurde außerdem für die traditionellen Kulturpflanzen in der Region bestimmt. Der mittlere Jahresniederschlag und mittlere Niederschlag der Anbausaison von 1980 bis 2000 wurden hinsichtlich der dort angebauten Kulturpflanzen bestimmt.

Insgesamt wurden sechs Landnutzungs- und Landbedeckungsklassen für die Jahre 1986, 1991 bzw. 2000 kartiert. Diese waren: (i) *landwirtschaftliche Anbaufläche/bewuchsfreies Land oder bebaute Oberfläche*, (ii) *geschlossener Savannenwald oder Ufervegetation*, (iii) *offener Savannenwald mit Sträuchern und Gräsern*, (iv) *eine Mischung von Gräsern und Sträuchern mit vereinzelt Bäumen*, (v) *geschützte Waldflächen* und (vi) *Gewässer*. Die Gesamtgenauigkeit der Klassifizierung betrug 92 %. Die Ergebnisse der detaillierten Analysen zeigen für die Jahre 1986 bzw. 1991 den Anteil der Landbedeckungskategorien als *offener Savannenwald mit Sträuchern und Gräsern* (60% bzw. 58.84%), *eine Mischung von Gräsern und Sträuchern mit vereinzelt Bäumen* (16.8% bzw. 17.7%), *geschützte Waldflächen* (8.9% für beide Jahre), *geschlossener Savannenwald oder Ufervegetation* (7.33 bzw. 7.32%), *landwirtschaftliche Anbaufläche/bewuchsfreies Land oder bebaute Oberfläche* (6.98% bzw. 7.2%) und *Gewässer* (0.021% bzw. 0.047%). In 2000 betrugen die Anteile *offener Savannenwald mit Sträuchern und Gräsern* 58.13%, *eine Mischung von Gräsern und Sträuchern mit vereinzelt Bäumen* 19%, *geschützte Waldflächen* 8.9%, *landwirtschaftliche Anbaufläche/bewuchsfreies Land oder bebaute Oberfläche* 7.6%, *geschlossener Savannenwald oder Ufervegetation* 6.30% und *Gewässer* 0.054%. Folglich nahm der Anteil *geschlossener Savannenwald oder Ufervegetation* und *offener Savannenwald mit Sträuchern und Gräsern* von 1986 bis 2000 ab, während die Kategorien *landwirtschaftliche Anbaufläche/bewuchsfreies Land oder bebaute Oberfläche*, *eine Mischung von Gräsern und Sträuchern mit vereinzelt Bäumen* und *Gewässer* zunahm. Es wird angenommen, dass sich der Anteil des geschützten Savannenwaldes nicht verändert hat. Auf der Grundlage der Informationen aus den Interviews mit den Farmern, der landwirtschaftlichen Berater und den Förstern aus der Region wurde die Dynamik der Landnutzungs- und Landbedeckungsänderungen bestimmt.

Die Böden unter *closed savannah woodland* waren fruchtbarer als die unter *open savannah woodland*, die wiederum fruchtbarer waren als die unter *mixture of grasses and shrubs with scattered trees*. Das *farmland* zeigte die geringste Fruchtbarkeit. Die Böden in der Region sind im Allgemeinen von geringer Fruchtbarkeit und *geringfügig geeignet* bis *geeignet* für den Anbau von Hirse, Sorghum, Erdnuss, Reis, Hülsenfrüchte, Mais und Baumwolle. Der Niederschlag zeichnet sich durch Unbeständigkeit, Variabilität und Unzuverlässigkeit aus; dies führt oft zu Ertragsminderung oder kompletten Ernteausfällen und beschränkt die Auswahl der Kulturpflanzen. Der Niederschlag ist *mäßig geeignet* bis *geeignet* für diese Pflanzen. Ca. 75% der wirtschaftlich aktiven Bevölkerung sind Bauern. Die Bevölkerung nahm von 1984 bis 2000 um 32% zu. Die nachlassende Bodenfruchtbarkeit und wachsende Bevölkerung führen zu einem

verstärkten Landdruck, der wiederum zur Landdegradation führt. Als Folge ziehen die Farmer in andere Gebiete. Diese Praxis führt zu einem fortschreitenden Verlust von Waldgebieten.

Die Studie zeigt, dass (i) die rechnergestützte bewachte Klassifizierung zur Erstellung von genauen Landnutzungs- und Landbedeckungskarten für die Upper West Region eingesetzt werden kann, (ii) im Allgemeinen kann die bewachte „größte Wahrscheinlichkeit“-Klassifizierung von LANDSAT-Bildern für ein großes Gebiet erfolgreich durchgeführt werden und, noch wichtiger, sogar in einem komplexen Savannenökosystem; dies ist das erste Mal, wo diese Klassifizierungsmethode in einem großen Gebiet in Ghana eingesetzt wurde, (iii) die Landnutzung und Landbedeckung der Region haben sich in den vergangenen 15 Jahre verändert und (iv) Veränderungen in der Landnutzung/Landbedeckung in der Upper West Region hängen mit abnehmender Bodenfruchtbarkeit und zunehmendem Bevölkerungswachstum unter variablen Niederschlagsbedingungen zusammen.