

Institute of Plant production and Agroecology in the Tropics and Subtropics

University of Hohenheim

Agroecology in the Tropics and Subtropics

PD.Dr. Anna Treydte

The influence of land use and cover changes on the pastoral rangeland systems of southern Ethiopia - How much woody cover is enough?

Dissertation

Submitted in fulfillment of the requirements for the degree

“Doktor der Agrarwissenschaften” (Dr.sc.agr.)

To the Faculty of Agricultural Sciences.

Presented by

Hasen Yusuf Mohammed, MSc.

Stuttgart 2013

6 Summary

The Borana rangelands in southern Ethiopia are facing deterioration caused by intensification of grazing and woody plant encroachment, resulting in marked reductions in pastoral production. This process affects the food security and livelihoods of the Borana pastoral people negatively. Woody plant encroachment might result in an increase in carbon (C) storage in these rangelands, which represents an important aspect for climate change mitigation potentials. However, it is unclear how much C is currently stored in the above- and belowground vegetation biomass and in the soils of these rangeland ecosystems and how grazing intensity and woody cover influence soil or ecosystem C-stocks.

The research work presented in this thesis aimed at developing tools to estimate the aboveground woody biomass C stocks. It describes the structure of semiarid savanna vegetation in different grazing regimes at various levels of woody encroachment, examines changes in woody plant encroachment, and provides field-based quantification methods and tools to derive site-based estimates of above- and belowground C pools. The thesis also aimed at assessing the influence of grazing on herbaceous above- and belowground biomass C stocks, soil organic carbon (SOC) and total soil nitrogen (TSN) to estimate possible increases in ecosystem C stocks by long term reduction of grazing intensity (e.g., low livestock density and seasonal grazing) at various levels of woody plant encroachment.

A long-term temporal satellite imagery over the last 37 years and GIS mapping aided by ground truthing was used to investigate vegetation cover changes. In the field, data was collected to analyze vegetation attributes such as composition and structure under different grazing regimes and woody encroachment sites. Herbaceous species were destructively harvested to quantify the biomass and C stocks in the herbaceous vegetation community. Allometric tree biomass models were developed by destructively harvesting eight woody species to indirectly quantify the woody biomass and C stocks. Total soil nitrogen and SOC stocks in the different grazing management systems and woody encroachment levels were assessed from soil cores collected within 0- 40 cm soil depth.

The performance of allometric biomass models as expressed as a goodness of fit ($adj\ r^2$) depended on the species and biomass components estimated. The allometric models were highly accurate for large woody species such as *A. mellifera*, *A. bussei*, and *A. etabaica*. The most important single models predictor variable identified was stem basal circumference for tall shrubs with more or less open canopy structure. Meanwhile, for tall shrubs with closed and umbrella-like canopy structures, pairs of canopy volume and stem basal circumferences

were more reliable predictors. It was further shown that, by using canopy volume as a stand-alone predictor variable, biomass can still be accurately predicted for shrubs whose growth form comprise discrete canopy clumps with multiple stems (e.g., *A. oerfota*).

Vegetation cover analysis using temporal Landsat imageries from 1976 to 2012 revealed that areas covered by shrub and tree savanna (open savanna types) in the 1970s declined from 45% to 9%, while heavily encroached areas (bushland thickets and bushed savanna) increased from 22% to 61% during this time interval. The abundance of total and the regenerative woody plants (< 1 m height) were high in lower woody encroachment sites but significantly reduced at heavily woody encroachment sites. At all levels of woody encroachment enclosures significantly increased total woody plant density, especially the proportion of woody plants in < 1 m height size class compared to the open rangelands.

Estimated total aboveground biomass C stocks varied significantly between woody encroachments levels, with total aboveground biomass C stocks ranging from 2 Mg ha⁻¹ in the low encroachment site to 9 Mg ha⁻¹ in heavy encroachment sites. Enclosures significantly raised the herbaceous biomass C stocks, with enclosures containing 50% more herbaceous aboveground biomass C stocks than openly grazed land. However, the response of herbaceous aboveground biomass C stocks to grazing was also strongly influenced by the woody encroachment characteristics including woody density, canopy cover, species composition and other specific traits of woody species.

Mean total SOC stock in the 0 - 40 cm soil depth ranged from 30 Mg ha⁻¹ in the openly grazed soils at the high woody encroachment site to 81 Mg ha⁻¹ in the enclosure soils at the low encroachment site ha⁻¹. Soil OC and TSN did not differ in the enclosure at heavily encroached sites but were two times as high in enclosures compared to openly grazed soils at low encroached sites. Soil OC was positively related to TSN and soil cation exchange capacity (CEC), but negatively to sand content. Contrary to expectations, SOC stocks did not uniformly follow the pattern of increasing aboveground biomass C stocks with increasing woody encroachment. Rather, it seemed to be influenced by variations in soil characteristics across the Borana rangelands.

The study highlights the influence of woody encroachment and reduction of grazing pressure on ecosystem C stocks. The allometric models developed by this study can serve as a tool for future biomass and C sequestration studies in semiarid regions of east Africa. The information presented on the ecosystem C stocks by this thesis could help integrate the effects of grazing

and vegetation cover dynamics on the rangeland C storage. An understanding of these interactions are deemed necessary to develop a sound rangeland management policy that can link the C storage potential of the rangelands to global climate change mitigation and adaptation strategies through establishing a viable mechanism of payment for ecosystem services.

Einfluss von Änderungen in der Landnutzung und -bedeckung auf Weideland in Südäthiopien – Wie viel Waldbedeckung ist genug?

7 Zusammenfassung

Das Borana Weideland in Südäthiopien steht vor einer Verschlechterung, die durch intensivierte Beweidung und die Ausbreitung von Gehölzpflanzen verursacht wird. Dies führt zu einer deutlichen Abnahme der pastoralen Produktion und hat auch einen negativen Einfluss auf die Nahrungssicherheit und den Lebensunterhalt der Borana Bevölkerung. Auf der anderen Seite resultiert die Ausbreitung von Gehölzpflanzen möglicherweise in einer erhöhten Kohlenstoffspeicherung, ein wichtiger Aspekt bezüglich des Potentials zur Abmilderung des Klimawandels. Jedoch ist unklar wie viel Kohlenstoff (C) tatsächlich in der ober- und unterirdischen Biomasse und im Boden dieses Weidelandes gespeichert ist und wie Beweidungsintensität und die zunehmende Bedeckung von Gehölzpflanzen die Kohlenstoffvorräte des Ökosystems beeinflussen.

Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, Methoden zur Schätzung der oberirdischen Gehölzbiomasse bzw. der C-Vorräte zu entwickeln. Sie beschreibt die Struktur der semi-ariden Savannenvegetation unter verschiedenen Beweidungsformen, unter zunehmendem Deckungsgrad an Gehölzpflanzen und präsentiert feldbasierte Methoden zur Quantifizierung und standort-basierten Schätzung der ober- und unterirdischen C-Vorräte. Außerdem bezweckt diese Arbeit, den Einfluss von Beweidung auf die ober- und unterirdischen Biomasse bzw. C-Vorräte des Unterwuchses (Krautschicht) zu bewerten sowie den Effekt auf Bodenkohlenstoff (Soil organic carbon – SOC) und Gesamtstickstoff (total soil nitrogen – TSN) abzuschätzen. So kann eine mögliche Zunahme des Ökosystemkohlenstoffvorrats durch langfristige Reduktion der Beweidung (z.B. niedrigere Viehdichte und saisonale Beweidung) unter variierender Gehölzbedeckung eingeschätzt werden.

Mittels Satellitenbildern der letzten 37 Jahre, eines Geoinformationssystems (GIS) und Kartierung wurden langfristige und groß-skalige Änderungen der Vegetationsbedeckung untersucht. Im Feld wurden Daten gesammelt, um Vegetationseigenschaften wie Artzusammensetzung und -struktur in Abhängigkeit von Beweidung und Bedeckung zu analysieren. Krautige Arten wurden destruktiv geerntet, um die Biomasse und C-Vorräte zu quantifizieren. Durch destruktives Ernten von acht Baumarten wurden allometrische Modelle entwickelt, um indirekt die hölzerne Biomasse und C-Vorräte zu quantifizieren.

Gesamtstickstoff des Bodens und organischer Kohlenstoff (SOC) wurden mittels Bohrkernen von 0-40 cm Tiefe untersucht.

Die Güte der allometrischen Biomassemodelle ($adj\ r^2$) hing von der geschätzten Baumart und Biomassekomponente ab. Bei Baumarten mit hoher Gesamtbiomasse, z.B. *A. mellifera*, *A. bussei* und *A. etabaica*, trafen die allometrischen Modelle sehr akkurat zu. Die wichtigste Prädiktorvariable der Modelle bei hohen Stüchern mit mehr oder weniger offener Krone war der Basalumfang, während Kronenvolumen und Basalumfang des Stammes die zuverlässigsten Prädiktoren bei Arten mit geschlossener schirmförmiger Kronenstruktur waren. Weiterhin wurde gezeigt, dass die Biomasse von Sträuchern mit büschelartiger Kronenstruktur und mehreren Stämmen (e.g. *A. oerfota*) auch mittels des Kronenvolumens als alleinigem Prädiktor akkurat bestimmt werden konnte.

Die Analyse der Vegetationsbedeckung mittels Landsat Bildern von 1976 bis 2012 zeigte, dass die mit Sträuchern und Baumsavanne bedeckte Fläche seit 1970 von 45% auf 9% abgenommen hat, während die Fläche mit hoher Dichte an Gehölzpflanzen von 22% auf 61% zunahm. Die Häufigkeit von regenerativen Gehölzpflanzen (<1 m Höhe) war hoch in den Gebieten mit niedriger Deckung an Gehölzpflanzen, aber signifikant geringer in Gebieten mit hoher Deckung an Gehölzpflanzen. In eingezäunten Flächen erhöhte sich die Gesamtdichte an Gehölzen im Vergleich zu offenem Weideland unabhängig vom Deckungsgrad, besonders der Anteil an Nachwuchs (<1 m Höhe).

Die oberirdische Biomasse bzw. C-Vorräte unterschieden sich signifikant in den Gebieten mit unterschiedlich starker Gehölzausbreitung, wobei die C-Vorräte von 2 Mg ha⁻¹ in Gebieten mit niedriger Ausbreitung bis zu 9 Mg ha⁻¹ in Gebieten mit hoher Ausbreitung reichten. In den eingezäunten Flächen war der C-Vorrat in der Krautbiomasse um 50% höher als im offenen Weideland. Allerdings war dieser Beweidungseffekt auf die oberirdische Biomasse stark von den Charaktereigenschaften der Gehölzpflanzen beeinflusst, beispielsweise von der Dichte an Gehölzen, deren Kronenbedeckung, Artenzusammensetzung und weiteren Merkmalen.

Der SOC-Vorrat in 0-40 cm Bodentiefe reichte von 30 Mg ha⁻¹ im offenen Weideland und hoher Gehölzausbreitung bis zu 81 Mg ha⁻¹ in eingezäunten Flächen unter niedrigem Ausbreitungsniveau. Soil OC und TSN unterschieden sich nicht im eingezäunten Gebiet bei hoher Gehölzausbreitung, waren aber zwei mal so hoch in eingezäunten Flächen im Vergleich zum offenen Weideland bei geringer Gehölzdichte. Soil OC korrelierte positiv mit TSN sowie der Kationaustauschkapazität (CEC) des Bodens, aber negativ mit dem Sandgehalt. Entgegen der Erwartung folgte der SOC-Vorrat nicht dem Muster ansteigender oberirdischer Biomasse

und zunehmender Gehölzausbreitung sondern schien stattdessen von den variierenden Bodeneigenschaften beeinflusst zu sein.

Diese Studie hebt den Einfluß der Ausbreitung von Gehölzpflanzen und die Abnahme des Beweidungsdrucks auf den Kohlenstoffvorrat des Ökosystems hervor. Die hier entwickelten allometrischen Modelle können als Werkzeug für zukünftige Biomasse und Kohlenstoff-Sequestrierungsstudien in semiariden Regionen Ostafrikas dienen. Die in dieser Arbeit präsentierten Informationen über Ökosystemkohlenstoffvorräte können dabei helfen, Beweidungseffekte und Vegetationsdynamik zu integrieren. Das Verständnis dieser Wechselwirkungen ist notwendig, um ein geeignetes Weidemanagement und eine Politik zu entwickeln, die das C-Speicherpotenzial des Weidelandes als Klimaschutzbeitrag und Anpassungsstrategien bzw. Mechanismen wie „Zahlung für Ökosystemdienstleistungen“ miteinander verknüpfen kann.