

Tigist Araya Gessesse

**Above- and belowground carbon stocks
in semi-arid land-use systems under
integrated watershed management
in Gergera watershed, Ethiopia**



Zentrum für Entwicklungsforschung
Center for Development Research
University of Bonn

ZEF Bonn

ABSTRACT

Enhanced carbon stocks help to improve the productivity and resilience of farming systems, especially in smallholder communities relying on subsistent agriculture. This study investigated the total terrestrial stock of organic carbon and its controlling factors in prevalent land-use systems in the Gergera watershed, northern Ethiopia, as part of the impact assessment of the integrated watershed management (IWM) program introduced in the region.

Land-use and land-cover change (LULC) over 20 years (1994-2014) were analyzed using Landsat remote sensing imagery and a random forest algorithm. Above- and belowground biomass and soil were sampled from four major land-use systems, i.e. exclosures, croplands, rangelands and bare land. The soil samples collected at four slope positions, i.e. ridge, backslope, footslope and valley bottom and from four depth intervals (0-15, 15-30, 30-60 and 60-100 cm) were analyzed for organic carbon (SOC), bulk density, rock fragment, and other physical and chemical parameters. Soil cesium-137 (^{137}Cs) was analyzed to trace the pattern of SOC distribution in the watershed.

The LULC change analysis indicates an improved vegetation cover since the adoption of IWM due to conversion from cropland to forest land and from bare land to rangeland on 3.3% and 6.3 % of the watershed area, respectively. Reduced vegetation cover is also observed due to changes of cropland to bare land and forest land to rangeland on 3.5% 5.7% of the area.

The field survey revealed significantly higher aboveground carbon stock in the plant biomass of exclosures ($9.08(\pm 1.44)$ Mg C ha⁻¹) followed by croplands and rangelands with $3.16(\pm 0.24)$ Mg ha⁻¹ and $1.49(\pm 0.18)$ Mg ha⁻¹, respectively. The belowground biomass carbon content is particularly low in the croplands ($0.76(\pm 0.09)$ Mg ha⁻¹), exceeded by that in the exclosures and rangelands where values average $3.67(\pm 0.06)$ Mg ha⁻¹ and $3.16 (\pm 0.39)$ Mg ha⁻¹, respectively. The total terrestrial carbon stocks differ according to the land use systems in the ranked order of exclosures ($55.6.11(\pm 4.89)$ Mg ha⁻¹) \approx rangelands ($53.77(\pm 4.4)$ Mg ha⁻¹) > croplands ($31.69(\pm 3.99)$ Mg ha⁻¹) \approx and bare land ($35.52(\pm 6.47)$ Mg ha⁻¹). Besides the land use type, the SOC stock in the examined land-use systems is found negatively related to the content of coarse fragments and bulk density of the soil, which both measured the highest values in croplands and exclosures. Topsoils had greater SOC in all land-use systems but the deeper soils (30-100cm) still contained 36 % of the SOC stock.

The pattern of ^{137}Cs distribution in the watershed generally indicates the presence of erosion, mostly on backslopes of exclosures and rangelands. However, the positive significant correlation between ^{137}Cs and SOC distribution in exclosures points at a build-up of SOC.

The overall results of the study highlight that more efforts in application of improved soil management practices are still required to enhance the current status of the SOC pool, particularly in the croplands, and thereby sustain the land productivity.

Ober- und unterirdischer Kohlenstoffbestand in halbtrockenen Landnutzungssystemen bei integriertem Management im Wassereinzugsgebiet Gergera, Äthiopien

Kurzfassung

Erhöhte Kohlenstoffbestände verbessern die Produktivität und Belastbarkeit der landwirtschaftlichen Systeme insbesondere in kleinbäuerliche Gemeinschaften, die von der Subsistenzwirtschaft abhängen. Diese Studie untersucht den terrestrischen Gesamtkohlenstoffbestand und die beeinflussenden Faktoren in den vorherrschenden Landnutzungssystemen im Wassereinzugsgebiet Gergera, Nordäthiopien als Teil einer Bewertung der Effektivität des in der Region eingeführten integrierten Managementprogramms (IWM).

Hierzu wurden die Veränderungen der Landnutzung und Landbedeckung (LULC) über 20 Jahre (1994-2014) mit Hilfe von Landsat Satellitenaufnahmen und eines Random Forest Algorithmus analysiert. Über- und unterirdische Biomassen- sowie Bodenproben wurden in den vier wichtigsten Landnutzungssystemen genommen, d.h. in von Landnutzung ausgeschlossenen Flächen (exclosures), auf landwirtschaftlichen Anbauflächen (cropland), offenen Weideflächen (rangelands) und vegetationsfreiem Land (bare land) an jeweils vier Hangpositionen, d.h. Berg Rücken (ridge), Mittelhang (backslope), Hangfuß (footslope) und Talboden in jeweils vier Bodentiefen (0-15, 15-30, 30-60 und 60-100 cm). Die Bodenproben wurden auf organischem Kohlenstoff (SOC), Bodendichte, Mengen an groben Bestandteilen und weiterer Parameter analysiert. Außerdem wurde in einer Boden-Cäsium-137 (¹³⁷Cs)-Analyse die Verteilung des SOC im Einzugsgebiet bestimmt.

Die LULC-Analyse identifiziert eine Verbesserung in der Vegetationsbedeckung seit der Anwendung des IWM Programms durch Umwandlung von Anbauflächen in Waldflächen bzw. vegetationsfreie Flächen in offene Weideflächen auf 3.3% bzw. 6.3% des Einzugsgebiets. Eine Abnahme der Vegetationsbedeckung von Anbauflächen zu vegetationsfreien Flächen auf 3.5% sowie von Forstflächen zu offenen Weideflächen auf 5.7% des Einzugsgebietes wurde außerdem beobachtet.

Die statistische Analyse zeigte einen signifikant höheren oberirdischen Kohlenstoffbestand in den Exclosures ($9.08(\pm 1.44) \text{ Mg C ha}^{-1}$) gefolgt von Anbauflächen ($3.16(\pm 0.24) \text{ Mg ha}^{-1}$) und offenen Weideflächen ($1.49(\pm 0.18) \text{ Mg ha}^{-1}$). Der Kohlenstoffbestand in der unterirdischen Biomasse in den Anbauflächen war besonders niedrig ($0.76(\pm 0.09) \text{ Mg ha}^{-1}$). Die durchschnittlichen Werte waren höher in den Exclosures ($3.67(\pm 0.06) \text{ Mg ha}^{-1}$) bzw. offenen Weideflächen ($3.16 (\pm 0.39) \text{ Mg ha}^{-1}$). Der Gesamtkohlenstoffbestand unterschied sich abhängig von Landnutzung in der Reihenfolge Exclosures ($55.6. 11(\pm 4.89) \text{ Mg ha}^{-1}$) \approx Weideflächen ($53.77(\pm 4.4) \text{ Mg ha}^{-1}$) \approx vegetationsfreie Flächen ($35.04(\pm 6.47) \text{ Mg ha}^{-1}$) $>$ Anbauflächen $31.69(\pm 3.99) \text{ Mg ha}^{-1}$. Neben Landnutzung besteht ein Zusammenhang zwischen SOC-Bestand und groben Bestandteilen bzw. Bodendichte. Beide Werte waren am höchsten in den Anbauflächen und Exclosures. Der SOC-Bestand korrelierte negativ mit der Menge an groben Bestandteilen. Der Oberboden wies höhere SOC-Werte in allen Landnutzungssystemen aus aber die tieferen Schichten (30-100 cm) enthielten immer noch 36% des SOC.

Das Muster der ¹³⁷Cs-Verteilung weist im Allgemeinen darauf hin, dass das Einzugsgebiet von Erosion betroffen ist, meistens auf dem Mittelhang der Exclosures und offenen Weideflächen. Jedoch ist die Korrelation zwischen ¹³⁷Cs-Verteilung in den Exclosures ein Hinweis auf SOC-Aufbau.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass größere Anstrengungen bei der Umsetzung von Bodenmanagementmaßnahmen erforderlich sind, um den aktuellen Status des SOC-Pools zu verbessern, insbesondere auf den Anbauflächen, und dadurch die Flächenproduktivität aufrecht zu erhalten.