

**Effectiveness of soil and water conservation measures for land
restoration in the Wello area, northern Ethiopian highlands**

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des Grades
Doktor der Agrarwissenschaften
(Dr. agr.)

der Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät
der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Bonn

vorgelegt am 12. Juli 2012

von
SHIMELES DAMENE SHIENE
aus
SHINO, ETHIOPIA

ABSTRACT

Soil-erosion-induced land degradation is a great challenge in the Ethiopian highlands. Consequently, the government has invested in soil and water conservation (SWC) measures, mainly farmland terracing and enclosure of degraded lands. This study analyzed the effectiveness of those measures to tackle land degradation in the North and South Wello zones of the Amhara region (Ethiopia). The study analyzed land use/cover (LULC) and inter-annual normalized difference vegetation index (NDVI) changes based on moderate resolution imaging spectrometer (MODIS) image and NDVI data composited at 8-day and 2-monthly intervals, respectively. The analysis was based on data from 2000 to 2010 covering 300,000 km². The LULC showed remarkable changes, where large decrease in degraded woody vegetation and increases in grassland/woody grassland. Similarly, NDVI showed considerable changes over time where the area covered by NDVI values >0.4 and 0.3 to 0.4 increased by 12.5%, and 2.3%, respectively, which indicate vegetation restoration. Areas along highways, showed a positive NDVI trend, which indicates restoration, while the other parts were identified as degradation hotspots, which could be due to differences in SWC policy implementation. The study also assessed farmland terrace soil fertility and crop yield as well as soil fertility change in enclosures at micro-watershed scale.

Soil fertility change in enclosure was analyzed using soil samples from three age categories (open sites, 10- and 27-year-old enclosures), two agro-ecological zones (*Weyna-Dega/mild* and *Dega/cool*) and three terrain positions (lower, middle and upper). The samples were analyzed for selected physico-chemical properties, and statistically tested with analysis of variance (ANOVA). The results reveal that the enclosure soils showed significantly higher organic carbon (9 g/kg) and total nitrogen (1.2 g/kg) content than those on open sites. However, differences between the 10- and 27-year-old enclosures were non-significant, indicating a decline in fertility restoration rate with age. Enclosures in the *Weyna-Dega* zone showed significantly better soil fertility restoration than those in the *Dega* zone. This might be due to the effect of micro-climate on biomass production, vegetation types and organic matter mineralization. The soil physico-chemical properties neither had significant differences nor followed a regular trend across the terrain of the enclosure, which could be due to mechanical SWC measures. Therefore, enclosure planning should consider soil fertility restoration variation with age, agro-ecology and management.

The farmland terrace soil fertility analysis used composite topsoil (0-20 cm) samples collected from plots representing 4 terrain slope ranges (3-5%, 5-8%, 8-15% and 15-30%) at 3 positions within a terrace and compared with 1983 survey data. The samples were analyzed for selected soil physico-chemical properties and statistically tested using ANOVA. Yield data (grain and biomass) of selected crops monitored between 1995 and 2009 from 40 fixed plots on three terrace positions (low-, mid- and up) were statistically tested by a mixed linear model in SAS. The analysis revealed that farmland terracing helped to maintain soil fertility and crop yield. Crop yields and most soil properties except pH, exchangeable bases and clay content did not show significant differences across the terrain. Unlike in other studies, all topsoil properties except bulk density showed insignificant differences within a terrace, while yields of most crops significantly decreased from low- towards up- terrace position. Gradual bench terrace formation might reduce topsoil fertility gradients within a terrace, but this does not avoid soil depth and crop yield gradients. Soil fertility and crop yield also showed only slight changes (stable yield) across terrace age which indicates that terracing reduced soil and nutrient loss due to water erosion. However, terracing alone does not improve soil fertility and thereby crop productivity. Thus, terracing should be supplemented by soil fertility amendments by considering site-specific conditions. Although SWC measures have limitations, generally they played a significant role in maintaining and/or restoring soil fertility, maintaining agricultural production, restoring vegetation cover, and mitigating anthropogenic land degradation.

Die Wirksamkeit von Boden- und Wasserschutzmaßnahmen bei der Rekultivierung von degradiertem Land am Beispiel des äthiopischen Wello-Hochlands

KURZFASSUNG

Erosionsbedingte Bodendegradation im äthiopischen Hochland stellt eine große Herausforderung an das Landmanagement dar. Daher hat die Regierung in Boden- und Wasserschutzmaßnahmen (SWC) investiert, insbesondere in Terrassierung landwirtschaftlicher Flächen und Nutzungsausschluss (Exclosures) von degradiertem Land. Jedoch gibt es keine Studien, die die Auswirkungen dieser Maßnahmen umfassend bewerten. Die vorliegende Studie konzentrierte sich daher auf die Untersuchung der Effektivität der oben genannten Maßnahmen bei der Bekämpfung der Bodendegradation in den North und South Wello Zonen der Amhara Region (Äthiopien). Analysiert wurden Veränderungen der Landnutzung/Landbedeckung (LULC) und inter-annuell Veränderungen des normalisierten differenzierten Vegetationsindex (NDVI) anhand von mittelaufgelösten MODIS-Daten sowie NDVI-Daten, in 8 Tages- und 2 Monatsintervallen zusammengefasst. Die Daten decken den Zeitraum 2000 bis 2010 und eine Fläche von ca. 30.000 km² ab. Die LULC- Werte zeigten große Abnahme der Bedeckung in der Landbedeckung, vor allem in degradiertes Gehölz-/Strauchvegetation und Zunahme in Grasland/Strauchvegetation. Auch die NDVI-Werte deuten auf eine zeitliche Vegetationsveränderung hin; Flächen mit einem NDVI >0.4 und 0.3-0.4 nahmen um 12.5% bzw 2.3% zu. Flächen entlang der Straßen zeigten einen positiven NDVI Trend, was auf eine Wiederherstellung der Vegetation hindeutet, während andere Bereiche degradierten. Dies könnte die Folge unterschiedlicher Umsetzung der SWC Maßnahmen sein. Desweiteren wurden Bodenfruchtbarkeit und Fruchterträge auf terrasierten Flächen sowie Bodenfruchtbarkeitsveränderung in den von Landnutzung ausgeschlossenen Gebieten untersucht.

In den Exclosures wurden Bodenproben aus drei Alterskategorien (offene Flächen, 10 and 27 Jahre alte Exclosures), aus zwei agro-ökologischen Zonen (*Weyna-Dega*/mild, *Dega*/kühl) sowie aus drei Hangpositionen (untere, mittlere, obere) physikalisch und chemisch untersucht und anhand von Varianzanalysen (ANOVA) statistisch analysiert. Die Ergebnisse zeigten einen signifikant höheren Anteil an organischem Kohlenstoff (9 g/kg) und Gesamtstickstoff (1.2 g/kg) in den Böden der Exclosures als auf offenen Flächen. Die Unterschiede zwischen den 10 bzw. 27 Jahre alten Exclosures waren jedoch nicht signifikant; dies zeigt, dass die Bodenfruchtbarkeit sich mit dem Alter der Exclosures stabilisierte. Die Böden der Exclosures in der *Weyna-Dega*-Zone zeigten eine signifikant bessere Regeneration als die in der *Dega*-Zone, möglicherweise die Wirkung von Mikroklima auf Biomasseproduktion, Vegetationstyp und Mineralisierung des organischen Materials. Es konnten weder signifikante Unterschiede noch bestimmte Trends in Bodeneigenschaften über die Fläche der Exclosures festgestellt werden, vermutlich eine Folge der mechanischen SWC-Maßnahmen. Bei der Planung von Exclosures sollte daher die Variation in der Bodenfruchtbarkeitswiederherstellung über Alter, Agroökologie sowie Management berücksichtigt werden.

Für die Bodenfruchtbarkeitsanalyse der Terrassen wurden Mischproben (0-20 cm) von Flächen mit vier verschiedenen Hangneigungen (3-5%, 5-8%, 8-15% und 15-30%) von drei Positionen innerhalb einer Terrasse mit Daten aus dem Jahr 1983 verglichen. Der Boden wurde auf ausgewählte bodenphysikalisch-chemische Eigenschaften analysiert und statistisch mit ANOVA überprüft. Ertragsdaten (Körner und Biomasse) aus dem Zeitraum von 1995 bis 2009 von 40 permanenten Versuchsflächen lokalisiert auf den drei o.g. Hangpositionen wurden mit einem gemischten linearen Regressionsmodell in SAS getestet. Die Ergebnisse zeigten, dass Terrassierung zu einer Stabilisierung der Bodenfruchtbarkeit und Erträge führt. Weder die Erträge noch die Bodeneigenschaften, ausser Boden-pH, austauschbare Basen und Lehmgehalt,

zeigten signifikante Unterschiede. Im Gegensatz zu anderen Studien zeigten die Bodeneigenschaften, außer Bodendichte, keine signifikanten Unterschiede innerhalb einer Terrasse, während die Erträge der meisten Kulturen von den unteren Terrassenstufen zu den oberen signifikant abnahmen. Die allmähliche Bildung von Stufenterrassen könnte demzufolge die Fruchtbarkeitsgradienten des Oberbodens innerhalb einer Terrasse reduzieren, sie vermeidet jedoch nicht Gradienten in der Bodentiefe und in Fruchtserträgen. Bodenfruchtbarkeit und Erträge zeigten sehr geringe Unterschiede. Dies deutet daraufhin, dass Terrassierung zu einer Abnahme der Bodenerosion sowie Nährstoffverlagerung über die Fläche führt. Trotzdem reicht Terrassierung als alleinige Maßnahme nicht zur Verbesserung von Bodenfruchtbarkeit und damit von Erträgen aus. Zusätzlich sollten standortspezifische Bodenverbesserungsmaßnahmen durchgeführt werden. Trotz der aufgezeigten Einschränkungen spielen SWC-Maßnahmen eine signifikante Rolle bei der Erhaltung und/oder Wiederherstellung der Bodenfruchtbarkeit, Verbesserung der landwirtschaftlichen Produktivität, Wiederherstellung der Vegetationsbedeckung sowie Verminderung der anthropogenen Landdegradation.