

FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES

Institute of Tropical Agricultural Sciences (Hans–Ruthenberg–Institute)

University of Hohenheim

Field: Agronomy in the Tropics and Subtropics

Prof. Dr. Georg Cadisch (Supervisor)



**UNIVERSITY OF
HOHENHEIM**

**Benefits and trade–offs of legume–led crop
rotations on crop performance and soil
erosion at various scales in SW Kenya**

Dissertation

Submitted in fulfilment of the requirements for the degree

“Doktor der Agrarwissenschaften”

(Dr. sc. Agr. / Ph.D. in Agricultural Sciences)

to the

Faculty of Agricultural Sciences

Presented by

Eric Koomson

Accra, Ghana

2021

Summary

Soil erosion and land fragmentation threaten agricultural production in large parts of the Western Kenyan Highlands. In Rongo watershed, maize–common bean intercropping systems, which dominate the agricultural landscape, are vulnerable to soil degradation, especially on long slope lengths where ground and canopy cover provision fail to protect the soil from the disruptive impact of raindrops. The inclusion of soil conservation measures like hedgerows, cover crops or mulch can reduce soil erosion, but compete with crops for space and labour. Knowledge of critical slope length can minimise interventions and trade–offs. Hence, we evaluated maize–common bean intercrop (MzBn) regarding runoff, erosion and crop yield in a slope length trial on 20, 60 and 84 m plot lengths, replicated twice on three farms during one rainy season in Rongo, Migori County. Additionally, we investigated systems of MzBn (farmers’ practice), MzBn with 5 Mg ha⁻¹ *Calliandra calothyrsus* mulch (Mul), *Arachis hypogaea* (Gnt), *Lablab purpureus* (Lab) and *Mucuna pruriens* (Muc), regarding their impact on infiltration, runoff, soil loss, soil C and N loss during three rainy seasons (long and short rains, LR and SR, 2016, and LR 2017). Measured field data on soil, crop, spatial maps and meteorology were used as input datasets to parameterize and calibrate the LUCIA model. The calibrated and validated model was then used to simulate agronomic management scenarios related to planting date (planting with first rain vs baseline) and vegetation cultivar (short duration crop) to mitigate water stress.

Based on the measurements, groundcover was most influential over rainfall intensity (EI₃₀) and plant canopy cover in predicting soil loss. Dense groundcover of Mul at the beginning of the rainy seasons was decisive to significantly ($p < 0.05$) lowering overall seasonal average runoff by 88, 87 and 84% over MzBn, Lab and Gnt, respectively, whereas, soil loss under Mul was reduced by 66 and 65% over Gnt and Lab, respectively. The high proportion of

large soil aggregates (> 5mm) in the topsoil under Mul at the end of SR 2016 significantly ($p < 0.05$) increased infiltration rates (420 mm hr^{-1}) in LR 2017 compared to Lab (200 mm hr^{-1}) and Gnt (240 mm hr^{-1}). Average C and N concentrations in eroded sediments were significantly reduced under Mul ($0.74 \text{ kg C ha}^{-1}$, $0.07 \text{ kg N ha}^{-1}$) during the LR 2016 as compared to MzBn ($3.20 \text{ kg C ha}^{-1}$, $0.28 \text{ kg N ha}^{-1}$) and Gnt ($2.54 \text{ kg C ha}^{-1}$, $0.23 \text{ kg N ha}^{-1}$). Likewise, in SR 2016 Mul showed significantly lowered C and N losses of $3.26 \text{ kg C ha}^{-1}$ and $0.27 \text{ kg N ha}^{-1}$, respectively, over Lab ($9.82 \text{ kg C ha}^{-1}$, $0.89 \text{ kg N ha}^{-1}$).

Soil loss over 84 m slope length was overall significantly higher by magnitudes of 250 and 710% than on 60 and 20 m long plots, respectively, which did not differ significantly among each other ($p < 0.05$). For runoff, 84 m plot length differed significantly from 60 and 20 m, but in the opposite trend as for soil loss. Across all three farms, slope gradient and slope length were the variables with highest explanatory power to predict soil loss. At the individual farm level, under homogeneous slope and texture, slope length and profile curvature were most influential. Considering results of slope length experiments, plot lengths less than 50 m appear to be preferential considering soil loss, sediment load, and soil loss to yield ratio under the given rainfall, soil and slope conditions. Our results call for integrating slope length options and cropping systems for effective soil conservation. We recommend planting *Mucuna* and *Calliandra*–hedgerows as buffer strips below the critical slope length, and legume cash crops and maize uphill. Such approaches are critical in the backdrop of land fragmentation and labour limitation in the region to sustainably maximise land area.

In the modelling exercise, crops planted one and three weeks after the baseline planting date increased Maize and Muc grain yield over the baseline during the three cropping seasons, the three weeks treatment in particular. This could be due to more favourable weather conditions during the shifted vegetation period. Increased grain yield corresponded to high water use efficiency (WUE). The short duration crop planted three weeks after the baseline planting

date (PD3WL+SDC10) showed the highest grain yield after PD3WL (three weeks late planting with BL variety). The use of cultivars with short growth cycle offers the flexibility of planting again where crops failed due to crop water stress or where the rains delay, ensuring completion of the growth cycle before the season ends. Given that short growth duration crops produce less grain yield compared to their counterpart full season crops, due to the length of their cycles, breeding programs must prioritize traits that can enhance the size of the grain-filling sink. At the plot level, management systems that reduce evaporation and retain soil moisture, e.g. mulching, application of farmyard manure etc., must be promoted to reduce evapotranspiration.

Zusammenfassung

Bodenerosion und Kleinteiligkeit von Betriebsflächen bedrohen die landwirtschaftliche Produktion in weiten Teilen des westkenianischen Hochlands. Im untersuchten Wassereinzugsgebiet von Rongo sind die weit verbreiteten Mais-Bohne-Mischkultursysteme gefährdet durch Bodendegradierung. Dies ist vor allem auf langen Hängen und dort der Fall, wo der Oberboden nicht durch entsprechende Bodenbedeckung vor Schlagregen geschützt ist. Bodenschutzmaßnahmen wie Hecken, Bodendecker oder Mulch können das Ausmaß von Bodenerosion verringern, konkurrieren aber oft mit der Hauptkultur um Raum bzw. Arbeitskraft. Der gezielte Einsatz solcher Interventionen ausschliesslich in Bereichen kritischer Hangpositionen kann solcherlei Aufwand und Konkurrenzeffekte minimieren. In diesem Zusammenhang wurden in der hier vorgestellten Studie Mais-Bohne-Mischkulturen (MzBn) während einer Anbausaison auf drei unterschiedlichen Hanglängen (20, 60 und 84 m) mit jeweils zwei Wiederholungen auf drei Betrieben in Rongo, Migori County, hinsichtlich Oberflächenabfluss, Erosion und Ertrag verglichen. Zudem wurden MzBn, MzBn mit 5 Mg ha⁻¹ *Calliandra calothyrsus* Mulch (Mul), *Arachis hypogaea* (Gnt), *Lablab purpureus* (Lab) und *Mucuna pruriens* (Muc) hinsichtlich Infiltration, Oberflächenabfluss, Erosion, organischem Boden-C und Gesamt-Boden-N während dreier Anbauperioden (lange und kurze Regenzeit 2016 und lange Regenzeit 2017) verglichen. Gemessene Boden- und Pflanzenparameter sowie Boden-, Landnutzungskarten und ein digitales Höhenmodell wurden nebst tagesgenauen Wetterdaten als Eingaben für das Lucia (Land Use Change Impact Assessment)-Modell verwendet. Mit dem kalibrierten und validierten Modell wurden dann Szenarien zum Wasserstressmanagement mit Fokus auf Aussaatzeitpunkten und Sortenwahl (verschiedene Vegetationsdauer) getestet.

Die Auswertung der Feldversuche zeigte, dass der Grad der Bodenbedeckung (durch Biomasse, Mulch und Streu) stärkeren Einfluss auf Bodenabtrag hatte als Regenintensität (EI_{30}) und Bodenbedeckung des Blätterdachs allein. Die dichte Bodenbedeckung durch Calliandramulch in Mul zu Beginn der Saison war dabei entscheidend für signifikant geringeren Oberflächenabfluss (88, 87 und 84% niedriger als in MzBn, Lab und Gnt) und Bodenabtrag (66 und 65% niedriger als in Gnt und Lab). Der hohe Anteil großer Bodenaggregate $> 5\text{mm}$ im Oberboden zum Ende der kurzen Regenzeit (SR) 2016 stand in Zusammenhang mit im Vergleich zu Lab (200 mm hr^{-1}) and Gnt (240 mm hr^{-1}) signifikant erhöhten Infiltrationsraten unter Mul (420mm h^{-1}) in der langen Regenzeit (LR) 2017.

Durchschnittliche C- und N-Konzentrationen in Sedimenten waren in der LR 2016 unter Mul (0.74 kg C ha^{-1} , 0.07 kg N ha^{-1}) signifikant niedriger als unter MzBn (3.20 kg C ha^{-1} , 0.28 kg N ha^{-1}) und Gnt (2.54 kg C ha^{-1} , 0.23 kg N ha^{-1}). Ebenso waren in der SR 2016 C- und N-Verluste deutlich geringer als unter Lab (3.26 kg C ha^{-1} und 0.27 kg N ha^{-1} im Vergleich zu 9.82 kg C ha^{-1} und 0.89 kg N ha^{-1}).

Bodenabtrag bei 84 m Hanglänge war 250 bzw. 710% höher als auf den 60 und 20 m Anlagen, wobei sich letztere statistisch ($p < 0.05$) nicht unterschieden. Hinsichtlich Oberflächenabfluss unterschieden sich die Hanglängen ebenfalls statistisch, aber in entgegengesetzter Richtung. Im Vergleich der Flächen auf allen drei Betrieben waren Hangneigung und -länge die statistisch einflussreichsten Faktoren bezüglich Bodenabtrag. Auf den einzelnen Betrieben, d.h. bei gleich Hangneigung und Bodenart, waren Hanglänge und Hangform ausschlaggebend. Als Ergebnis der Hanglängenversuche erwies sich eine Länge von 50 m unter den gegebenen Wetter-, Boden- und Geländebedingungen als kritisch bzgl. Erosion, Sedimentmengen und dem Verhältnis von Erosion zu Ertrag.

Die Ergebnisse dieser Studie legen nahe, dass effektiver Bodenschutz vor allem durch die Integration von Hanglänge und Anbausystem (Pflanzenwahl) erreicht werden kann. Es wird empfohlen *Calliandra*-Hecken mit *Mucuna*-Unterpflanzung als Pufferzonen in Streifen unterhalb der kritischen Hanglänge anzulegen sowie Körnerleguminosen und Mais als cash crops oberhalb. Durch diesen Ansatz kann vor dem Hintergrund der Landfragmentierung und Knappheit an Arbeitskraft in der Untersuchungsregion die nutzbare Landfläche nachhaltig optimiert werden.

Der Modellierungsteil dieser Studie zeigte, dass Erträge bei einer und besonders bei drei Wochen späterem Aussaatzeitpunkt im Vergleich zum lokal üblichen Termin während aller drei Anbauperioden zu höheren Kornträgen führte. Grund hierfür könnten günstigere Wetterbedingungen während der somit verschobenen Vegetationsperiode sein. Die höheren Erträge gingen einher mit effizienterer Wassernutzung der Pflanzen. Eine Sorte mit verkürzter Vegetationsperiode, drei Wochen nach dem üblichen Termin gepflanzt (PD3WL+SDC10), erzielte die höchsten Erträge.

Sorten kürzerer Vegetationsdauer bieten allgemein höhere Flexibilität in Fällen spät einsetzender Regenfälle oder von Pflanzenmortalität, da auch bei wiederholter Aussaat die Regenzeit noch hinreichend genutzt werden kann. Angesichts der niedrigeren Ertragbildung während verkürzter Vegetationsdauer sollte ein höherer Kornanteil prioritäres Zuchtziel für zukünftige Sorten sein. Auf der Seite der Landwirte bedeutet dies, dass vermehrt Anbausysteme, die Evaporation verringern und Bodenfeuchte konservieren (z.B. Mulchen, Mistgaben), zur Anwendung kommen sollten.