

Estimating grass productivity under different clipping frequencies and rainfall amount: implications for rangeland responses to climate change

Samuel Tuffa Kawo



**Institute of Agricultural Sciences in the Tropics
(Hans-Ruthenberg-Institute)**

Field: Agroecology in the Tropics and Subtropics

PD. Dr. Anna C. Treydte



**Estimating Grass Productivity under Different Clipping Frequencies and
Rainfall Amount: Implications for Rangeland Responses to Climate Change**

A Dissertation

Submitted to the Faculty of Agricultural Sciences in fulfillment of the regulations
to acquire the academic degree “Doctor of Agricultural Sciences - doctor
scientiarum agriculturae” (Dr. sc. agr. /Ph.D. in Agricultural Sciences)

Presented by

Samuel Tuffa Kawo, M.Sc.

Born in Asella, Ethiopia

Stuttgart, 2017

Summary

Resilience and sustainable use of rangelands depend on pre- and post-degradation management. A sustainable rangeland use can be achieved by maintaining its productivity in the long run. Herbivory and drought are the two main stressors reducing the primary production of rangelands and, hence, related ecosystem functions and services as well as livestock production. In semiarid rangelands, herbivore populations can be kept at its varying carrying capacity through encouraging animal harvesting when forage production decreases to avoid rangeland degradation. Degraded areas can also be restored through reseeding with appropriate local species to enhance rangeland resilience, particularly given the current and projected impacts of climate change to cope with the rapid disappearance of species and ecosystem services. However, it is unclear how grass species currently used in the reseeding respond to combined effects of herbivory and drought and how grazing cattle populations change under the current and the predicted increasing drought frequency.

The Borana rangeland, Ethiopia, had been highly productive and an important forage resource for livestock. However, its productivity has been reducing as a result of degradation, mainly caused by recurrent drought, land use change, livestock overgrazing and bush encroachment. Reseeding as a management strategy for the restoration of degraded rangelands and their ecosystem services has been urgently recommended. This is particularly urgent as in the face of human population increase a high demand for meat as a protein source is expected and mitigation strategies to capture CO₂ from the atmosphere in the face of climate change is needed. Rangeland restoration through reseeding of palatable grass species can improve both structural and functional vegetation characteristics, which will also enhance food security. The main rangeland ecosystem services include, amongst others, provision of animal feeds (biomass and nutrients) and carbon (C) storage to capture CO₂ from the atmosphere. However, the post reseeding rangeland management is still lacking knowledge on grass biomass allocation, nutrient and C storage under the influence of herbivory and drought. In addition, the belowground biomass and C storage of grasses have been rarely studied in grasslands, and in this study, we quantified these two variables under the two major grass stressors, clipping and irrigation (simulated herbivory and rainfall regime, respectively). This dissertation aimed at filling this knowledge gap of pre- and post-reseeding rangeland management in order to inform policy makers for devising an appropriate strategy for a sustainable use of rangeland resources. Responses of two dominant perennial grass species (*Cenchrus ciliaris* and *Chloris gayana*) frequently used in reseeding to simulated herbivory and rainfall regimes were assessed in pot and field plot experiments on young grasses. Further, we addressed how herbivory influences biomass allocation, nutritive values and C storage in mature tufts of these two native grasses under ambient rainfall conditions.

The responses of biomass and C storage showed contrasting results across grass age as well as species. Generally, the clipping/grazing strongly triggered the belowground biomass allocation and enhanced C storage of *C. ciliaris* tufts while *C. gayana* tufts differed only slightly. In both mature grasses, however, clipping highly reduced aboveground biomass and C storage. In contrast, for the young grass seedlings, moderate and light clipping triggered regrowth and, hence, biomass and C storage in both above- and belowground parts. Meanwhile, reduced irrigation showed the same effect on biomass allocation and C storage in both study grasses. Lower irrigation highly reduced biomass and C in both above- and belowground parts.

The results presented in this dissertation highlight that the effects of herbivory and rainfall variability, as well as grass maturity, should be incorporated into the management of rangelands. Our experiments established the first interactive effect of herbivory and rainfall on the biomass allocation and C storage of mature and young grasses in the semiarid Borana rangelands, Ethiopia. Knowledge of these interacting factors is deemed essential for policy makers to develop a sound rangeland management policy that can enhance the C storage potential of degraded rangelands under climate change and, hence, the mitigation and adaptation strategies through improved post restoration of degraded areas.

We also modeled cattle population dynamics under a varying carrying capacity and stochastic environmental conditions, which has never been done before in the semi-arid Borana rangeland ecosystem. Modeling cattle population dynamics is essential for capturing changes in population responses to climate change in a variable social and ecological environment at a large temporal scale. We developed and evaluated a novel Boran cattle population trajectory model under different drought frequency events, using differences in vital rates among age- and sex-classes as well as a varying carrying capacity. Stochasticity was built into the model by allowing droughts to occur randomly within model runs in Berkeley Madonna software, with different long-term average drought frequencies characterizing the individual four model scenarios. The model result indicated that reduction in rainfall, i.e., increasing drought frequency - as predicted for Borana - leads to a high loss in cattle populations. The overall population size was highly sensitive to the sale of juvenile as well as mature female cattle when drought hit the system. The stochastic population modeling under varying carrying capacity in the face of increasing drought scenarios indicated the livelihood challenges ahead for the pastoral community. Cattle populations must be limited timely and grass productivity must be enhanced in a sustainable way in the face of climate change. Therefore, this dissertation aimed at rangeland pre- and post-degradation management suggestions by modeling cattle populations and through grass experiments, respectively.

Management should focus on lowering cattle herd crashes through increasing sale of mature males that increases feed availability to females during drought years in the Borana Rangelands as well

as enhancing the resilience capacity of rangelands through maintaining healthy conditions and restoring degraded areas. Further, drought early-warning systems and market information must be strengthened so that pre-planned selling can be realized for the fair and sustainable use of the animal resource. Pastoralists would benefit from this approach as they could sell their animals before drought wipes out their cattle in huge numbers.

German Summary /Zusammenfassung/

Die Widerstandsfähigkeit und Nachhaltigkeit von Weideland hängt von dem Management vor und nach Degradierungen ab. Eine nachhaltige Nutzung von Weideland impliziert den langfristigen Erhalt der Produktivität. Beweidung und Dürren sind zwei der Haupt-Stressfaktoren, welche die Primärproduktion von Weideland reduzieren und damit sowohl zugehörige Ökosystemfunktionen und –dienstleistungen als auch die Tierproduktion beeinträchtigen. Semiaride Weideländer mit variierender Tragfähigkeit können zur Weidetierhaltung genutzt werden, indem die Herdengröße bei nachlassender Futterproduktion verringert wird. Eine Schädigung des Weidelandes kann so vermieden werden. Bereits degradierte Flächen können durch das Wiederaussäen geeigneter lokaler Arten wiederhergestellt werden um die Widerstandsfähigkeit des Weidelandes zu verbessern. Angesichts der Folgen des derzeitigen und vorhergesagten Klimawandels ist dies von besonderer Bedeutung um dem rasanten Verschwinden von Arten und Ökosystemdienstleistungen entgegen zu wirken. Dennoch ist unklar wie die derzeit zur Aussaat verwendeten Grasarten auf die kombinierten Effekte von Beweidung und Dürre reagieren und wie sich grasende Rinderherden unter der derzeitigen Dürre und den vorhergesagten zunehmenden Trockenheitsperioden verändern werden.

Das Borana Weideland in Äthiopien war einst eine hoch produktive und bedeutende Futterquelle für Weidevieh. In Folge wiederkehrender Dürren, Landnutzungswandel, Überweidung und Verbuschung hat diese Produktivität jedoch stetig abgenommen. Das Wiederaussäen geeigneter lokaler Arten wurde als Managementmaßnahme dringend empfohlen, um das degradierte Weideland und dessen Ökosystemdienstleistungen wieder aufzuwerten. Dies ist von besonderer Wichtigkeit, da angesichts des Bevölkerungswachstums eine zunehmende Nachfrage nach Fleisch als Proteinquelle erwartet wird und im Hinblick auf den Klimawandel schadensmindernde Maßnahmen ergriffen werden müssen um CO₂ aus der Atmosphäre zu filtern. Weidelandrestaurierung durch Aussäen von schmackhaften Grasarten kann sowohl die strukturellen als auch die funktionalen Vegetationseigenschaften verbessern, was zudem zu einer Förderung der Ernährungssicherheit beiträgt. Zu den wichtigsten Ökosystemdienstleistungen von Weideland gehören unter anderem die Bereitstellung von Tierfutter (Biomasse und Nährstoffe) und die Kohlenstoffspeicherung (C) um CO₂ aus der Atmosphäre zu filtern. Allerdings mangelt es an Wissen über die Verteilung der Biomasse in den Gräsern, sowie deren Nährstoff- und Kohlenstoffspeicherung unter dem Einfluss von Beweidung und Dürre nach der Aussaat. Hinzu kommt, dass die unterirdische Biomasse- und Kohlenstoffspeicherung von Gräsern bisher kaum untersucht wurde. In dieser Studie quantifizierten wir diese zwei Variablen unter den zwei Haupt-Stressfaktoren für Gräser, Schnitt und Bewässerung (entsprechend eines simulierten Beweidungs-

und Niederschlagsregimes). Ziel dieser Dissertation war es, die Wissenslücken im Vor- und Nachbehandlungsmanagement von Aussaaten auf Weideflächen zu schließen und Entscheidungsträger darüber zu informieren wie angemessene Strategien für eine nachhaltige Nutzung von Weideland entwickelt werden können. Die Reaktionen auf simulierte Beweidungs- und Niederschlagsintensitäten von zwei dominanten mehrjährigen Grasarten (*Cenchrus ciliaris* und *Chloris gayana*), welche oftmals bei den Aussaaten verwendet werden, wurden an jungen Gräsern in Topf- und Feldversuchen untersucht. Zudem analysierten wir, wie sich die Beweidung unter natürlichen Niederschlagsbedingungen auf die Verteilung von Biomasse, Nährwerten und Kohlenstoffspeicherungen in ausgewachsenen Grasbüscheln dieser zwei einheimischen Grasarten auswirkt. Die Ergebnisse zeigten gegensätzliche Reaktionen der Biomasse- und Kohlenstoffspeicherung, abhängig von Alterskategorie und Grasart. Generell löste der Schnitt bzw. die Beweidung eine starke Umverteilung auf die unterirdische Biomasse aus und förderte die Kohlenstoffspeicherung von *C. ciliaris* Büscheln, während *C. gayana* Büschel nur geringfügige Abweichungen zeigte. Bei beiden ausgewachsenen Gräsern reduzierte der Schnitt jedoch die überirdische Biomasse und Kohlenstoffspeicherung stark. Im Gegensatz dazu förderte ein moderater und leichter Schnitt bei jungen Gräsern erneutes Wachstum und damit auch die Biomasse- und Kohlenstoffspeicherung sowohl in über- als auch unterirdischen Pflanzenteilen. Derweil zeigte eine reduzierte Bewässerung den gleichen Effekt auf die Biomasseverteilung und Kohlenstoffspeicherung in beiden untersuchten Grasarten. Geringere Bewässerung reduzierte die Biomasse und den Kohlenstoff in unter- und oberirdischen Pflanzenteilen stark.

Die in dieser Dissertation präsentierten Ergebnisse unterstreichen, dass sowohl die Effekte von Beweidung und variablem Niederschlag als auch das Grasalter im Management von Weideflächen berücksichtigt werden sollte. Unsere Experimente sind der erste Nachweis der interaktiven Effekte von Beweidung und Niederschlag auf die Verteilung von Biomasse und auf die Kohlenstoffspeicherung in alten und jungen Gräsern der semiariden Borana Weideflächen in Äthiopien. Das Wissen um diese interagierenden Faktoren gilt als essentiell für Entscheidungsträger, um ausgewogene Managementstrategien für Weideländer zu entwickeln. So kann das Potenzial zur Kohlenstoffspeicherung in degradierten Weideflächen in Zeiten des Klimawandels verbessert und damit auch schadensmindernde Maßnahmen und Anpassungsstrategien durch verbessertes Nachbehandlungsmanagement von degradierten Flächen unterstützt werden.

Weiterhin modellierten wir die Dynamik von Rinderpopulationen unter variierenden Tragfähigkeits-Kapazitäten und unter stochastischen Umweltbedingungen. Das Modellieren von Dynamiken der Rinderpopulationen wurde noch nie zuvor für das semiaride Borana Weideland

durchgeführt, ist jedoch essenziell um Änderungen von Populationsreaktionen auf den Klimawandel in einer variablen sozialen und ökologischen Umwelt über ein größeres Zeitfenster hinweg registrieren zu können. Wir entwickelten und evaluierten ein neuartiges Boran Rinderpopulationen-Kurvenmodell unter verschiedenen Dürrefrequenz-Vorkommnissen, für welches wir sowohl unterschiedliche Geburten- und Sterberaten innerhalb der Alters- und Geschlechtsklassen als auch variierende Tragfähigkeits-Kapazitäten verwendeten. Die Stochastik wurde berücksichtigt, indem Dürreereignisse zufällig in das Modell eingebunden wurden. Verwendet wurde dafür die Berkeley Madonna Software. Dabei charakterisierten verschiedene langfristige durchschnittliche Dürrefrequenzen die vier individuellen Modellszenarien. Das Ergebnis des Modells deutet darauf hin, dass eine Reduzierung des Niederschlags, zum Beispiel bei zunehmender Dürrefrequenz wie für Borana vorhergesagt, zu einem großen Verlust innerhalb der Rinderpopulationen führt. Die gesamte Populationsgröße reagierte hochsensibel auf den Verkauf sowohl von Jungtieren als auch von erwachsenen weiblichen Rindern, wenn ein Dürreereignis im System stattfand. Das stochastische Populationsmodell mit verschiedenen Tragfähigkeits-Kapazitäten weist angesichts zunehmender Dürreszenarien auf die zukünftigen Herausforderungen für die Lebensgrundlage der auf die Weidewirtschaft angewiesenen Gemeinschaften hin. Rinderherden müssen rechtzeitig verkleinert werden und die Grasproduktivität angesichts des Klimawandels auf nachhaltige Weise gefördert werden. Aus diesem Grund konzentrierte sich diese Dissertation auf Vorschläge zum Vor- und Nachbehandlungsmanagement von degradierten Weideflächen durch Modellierung von Rinderpopulationen und der Durchführung von Grasexperimenten.

Das Management sollte sich darauf konzentrieren, dem Kollaps von Rinderherden vorzubeugen, indem der Verkauf von ausgewachsenen Stieren gesteigert wird. Dadurch werden Futterressourcen für die weiblichen Tiere während Dürrejahre in den Borana Weideländern frei. Gleichzeitig muss die Widerstandsfähigkeit der Weideflächen verbessert werden, indem gesunde Bedingungen beibehalten und degradierte Gebiete restauriert werden. Weiterhin müssen Frühwarnsysteme für Dürren und Marktinformationen gefördert werden, damit im Voraus geplante Verkäufe der Tierressourcen auf faire und nachhaltige Weise realisiert werden können. Dieser Ansatz würde zudem den Viehhaltern Vorteile durch den Verkauf der Tiere bringen, da ein großer Verlust von Rindern in Folge von Dürren vermieden werden könnte.