

Diss ETH No. 17650

Impact of fire, large herbivores and N₂-fixation on nutrient cycling in humid savanna, Tanzania

A dissertation submitted to the

SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

For the degree of
DOCTOR OF SCIENCES
presented by

PATRICK GEORGES CECH

MSc Biology I, University of Basel
born April 28th, 1976
citizen of Basel, BS

accepted on the recommendation of

Prof. Peter J. Edwards, examiner
Dr. Harry Olde Venterink, co-examiner
Dr. Michael Scherer-Lorenzen, co-examiner

2008

Summary

African savannas contain the world's largest diversity of wild ungulates, and also constitute an important resource for a growing human population. These fragile ecosystems are at risk of being overexploited for livestock production, and perhaps in the future for biofuel production, leading to a loss of ecosystem services and biodiversity. This thesis aimed at providing a more profound understanding of nitrogen and phosphorus cycling in savannas by quantifying and testing the impact of large herbivores, fire and N_2 -fixation upon short-term and long-term availabilities of these nutrients. The results of this research can be used to evaluate the consequences of different types of land-use, fire management and nutrient enrichment in savannas. The study area was the coastal savanna of Saadani National Park, which includes an abandoned cattle ranch and a former game reserve with high densities of wild herbivores.

The effects of fire, large herbivores and N_2 -fixation on the type of nutrient limitation and N pools in savanna ecosystems were to a large extent predictable from theoretical considerations. The grass productivity at three kinds of site – frequently burnt, intensively grazed by wild herbivores, and open *Acacia* woodland – were all co-limited by N and P, indicating a very low availability of both nutrients. An area that previously received large amounts of excreta from livestock was limited by N. Nitrogen pools in soil were low at sites where fires were frequent, and higher in *Acacia* woodland and sites with high herbivore excretion.

Cattle ranching has led to a spatial re-distribution of large quantities of nutrients, with local accumulation being stronger and more persistent for P than for N. At the scale of the former cattle ranch, local depletion of nutrients by cattle grazing may have been compensated for by atmospheric inputs. Lawn patches intensively grazed by wild herbivores tended to have elevated availabilities of N and P, but because rates of nutrient removal through consumption were higher than those of return in excreta, the nutrient balances were in both cases negative. N_2 -fixation by dense stands of *Acacia* trees increased N availability and caused a net annual N input, whereas the N contribution of herbaceous legumes was negligible. Fire was the major cause for nutrient losses from tallgrass savanna. N inputs from the atmosphere and symbiotic N_2 -fixation as well as P input from the atmosphere were not sufficient to compensate for these losses. Thus, the common assumption that N and P budgets in annually burned savanna are balanced, appears to be incorrect, and the use of fire as a management tool has to be evaluated more carefully.

Summary

Assuming that N_2 -fixing plants have a competitive advantage in ecosystems with low availability of N, the very low abundance of herbaceous legumes in savannas is puzzling and often attributed to low P availability. Results of a pot experiment with a common leguminous herb and a common C_4 grass of humid African savannas, however, showed that the low abundance of herbaceous legumes in savannas is due not to low soil P availability but to a greater ability of C_4 grasses to compete for both N and P, and to their higher nutrient use efficiency.

In vegetation altered by long-term cattle ranching, the simulation of the effects of grazing by experimental clipping with and without fertilization produced a rapid positive feedback on the quality of grazed areas. Clipping and fertilization increased productivity and favoured certain preferred fodder species of wild ungulates. This suggests that savanna restoration and the attraction of wild herbivores through facilitation may be successful, provided that the nutrients are returned to the grazed areas and that the numbers of animals are sufficient to maintain the facilitated areas.

Zusammenfassung

Afrikanische Savannen beherbergen die weltweit höchste Vielfalt an wilden Huftieren und stellen ausserdem eine wichtige natürliche Ressource für eine wachsende Anzahl Menschen dar. Es besteht die Gefahr, dass diese sensiblen Ökosysteme für die Viehzucht und vielleicht auch zur Produktion von Biotreibstoff übernutzt werden, was zu einem Verlust von Biodiversität und Ökosystemfunktionen führen könnte. Das Ziel dieser Arbeit ist es, durch die Untersuchung der Auswirkungen von grossen Herbivoren, Feuer und N_2 -Fixierung auf die kurz- und langfristigen Verfügbarkeiten dieser Nährstoffe, ein verbessertes Verständnis der Stickstoff- und Phosphorkreisläufe in Savannen zu erlangen. Die Ergebnisse dieser Arbeit können auch eingesetzt werden, um die Auswirkungen von verschiedenen Arten der Landnutzung, des Einsatzes von Feuer als Bewirtschaftungsinstrument und von erhöhten Nährstoffeinträgen auf Savannenökosysteme einzuschätzen. Das Untersuchungsgebiet an der Pazifikküste von Tansania liegt im Saadani Nationalpark, der sich unter anderem aus einer ehemaligen Rinderfarm und einem ehemaligen Jagdreservat mit einer hohen Dichte von wilden Herbivoren zusammensetzt.

Die Auswirkungen von Feuer, grossen Herbivoren und N_2 -Fixierung auf die Art der Nährstofflimitierung konnten aufgrund theoretischer Überlegungen grösstenteils vorausgesagt werden. An drei Standorten – einer häufig brennenden Langgrassavanne, einer von wilden Huftieren intensiv begrasten Fläche und einem Akazienbuschwald – war die Produktivität der Grasdecke durch N und P kolimitiert, was auf eine sehr tiefe Verfügbarkeit beider Nährstoffe hindeutet. Auf einer Fläche, die grössere Einträge von Viehexkrementen erhalten hatte, war das Pflanzenwachstum N-limitiert. Niedrige Stickstoffvorräte im Boden fanden sich in Flächen mit hoher Feuerhäufigkeit, während im Akazienbuschwald und der Fläche mit hohen Dung- und Urineinträgen von Kühen erhöhte Stickstoffvorräte gemessen wurden.

Die Rinderzucht hat zu einer grossflächigen Umverteilung von Nährstoffen geführt, wobei die lokale Anreicherung von P stärker und dauerhafter war, als jene von N. Auf die Gesamtheit des Gebietes der ehemaligen Rinderfarm bezogen, sind die lokalen Verluste von Nährstoffen durch die Beweidung mit Vieh möglicherweise durch Einträge aus der Atmosphäre kompensiert worden. Die Verfügbarkeiten von N und P auf von wilden Tieren intensiv beweideten Flächen waren leicht erhöht, da aber den Flächen durch Beweidung mehr Nährstoffe entzogen als durch Exkremente zurückgeführt wurden, war die Bilanz für beide Nährstoffe negativ.

Während N_2 -Fixierung in dichten Akazienbeständen zu einer erhöhten Verfügbarkeit und einem Nettoeintrag von Stickstoff führte, war der Stickstoffeintrag durch krautige Leguminosen vernachlässigbar. In der Langgrassavanne war Feuer die Hauptursache für Nährstoffverluste. Einträge aus der Atmosphäre oder durch N_2 -Fixierung konnten die Stickstoff- und Phosphorverluste durch Feuer nicht kompensieren. Die übliche Annahme, dass die Nährstoffbilanzen für N und P in Savannen mit jährlich wiederkehrenden Feuern ausgeglichen sind, scheint also nicht korrekt zu sein, weshalb die Nutzung von Feuer zur Bewirtschaftung von Savannengebieten sorgfältig abgeschätzt werden sollte.

Da man vermuten könnte, dass N_2 -fixierende Pflanzen bei tiefer Stickstoffverfügbarkeit anderen Pflanzen gegenüber einen Konkurrenzvorteil haben, erstaunt die sehr geringe Abundanz von krautigen Leguminosen in Savannen und wird oft der tiefen P-Verfügbarkeit zugeschrieben. Die Ergebnisse eines Topfversuchs mit einer Leguminose und einer C_4 -Langgrasart, die beide in vielen afrikanischen Feuchtsavannen vorkommen, haben jedoch gezeigt, dass die geringe Abundanz von krautigen Leguminosen nicht durch die tiefe Phosphorverfügbarkeit im Boden bedingt ist, sondern durch die höhere Konkurrenzfähigkeit der C_4 -Gräser bei der Aufnahme von N und P aus dem Boden, und deren höhere Nährstoffeffizienz.

In Vegetationstypen, die durch die langjährige Viehbeweidung verändert worden waren, konnte mit der Simulation der Auswirkungen von Beweidung durch Mähen mit und ohne Düngung ein rascher positiver Effekt auf die Qualität der begrasteten Fläche erreicht werden. Durch Mähen und Düngen stiegen die Produktivität der Grasdecke und der Anteil einiger von wilden Herbivoren bevorzugten Grasarten. Dies weist darauf hin, dass die Renaturierung von Savannen und der damit bewirkte Anziehungseffekt auf Wildtiere erfolgreich verlaufen kann, wenn Nährstoffe den beweideten Flächen zurückgeführt werden, und es genügend Tiere hat, um die meliorierten Flächen aufrecht zu erhalten.