



Doctoral Thesis

Does complementary resource use explain biodiversity-ecosystem functioning relationships in grassland?

Author(s):

Bachmann, Dörte

Publication Date:

2014

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010262543> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 21914

**DOES COMPLEMENTARY RESOURCE USE EXPLAIN BIODIVERSITY-
ECOSYSTEM FUNCTIONING RELATIONSHIPS IN GRASSLAND?**

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

DÖRTE BACHMANN

Dipl.-Biol., Martin Luther University Halle-Wittenberg

born on 21.04.1985

citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Nina Buchmann

Prof. Dr. Ansgar Kahmen

2014

Summary

Increasing awareness of species extinction of the Earth's biota has led to a rise in research analyzing the relationship between biodiversity and ecosystem functions. In many studies, ecosystem properties such as primary productivity were often positively affected by high plant diversity. However, a complete understanding of the underlying mechanisms is still lacking. The theory of niche complementarity often proposed to explain positive effects of high plant diversity on ecosystem functioning assumes that plant species differ in their spatial or temporal resource acquisition. Increased complementary resource acquisition might reduce competition among species, leads to a more complete resource use, and eventually results in increased biomass production in high compared to low diverse mixtures. Although key resources important for plant growth, it has been rarely assessed whether complementarity in water and light acquisition among plant species increases with increasing plant diversity.

This thesis comprises three studies aimed at increasing the knowledge on complementary resource use. All studies presented were carried out in the framework of the Jena Experiment, a large grassland biodiversity experiment located in Jena, Germany, with artificially assembled plant communities varying in species and functional group richness of 60 grassland species classified in grasses, legumes, small herbs and tall herbs.

Chapter 1 describes a study in which spatial and temporal complementary water use was investigated with a tracer experiment. Soil water at two different depths was enriched with two different stable water isotopes in 40 communities of varying species and functional group richness. The experiment was repeated three times during 2011 to assess the temporal variations in water uptake. The main water uptake was from the top soil in each community, regardless of species and functional group richness or functional group identity at each of the three measuring campaigns. Thus, these results did not suggest increased complementary water use with increasing plant diversity as explanation for positive effects of high plant diversity on ecosystem properties in temperate grasslands.

The second study (*Chapter 2*) examined the temporal development of light attenuation within the canopy and whether the adjustment of morphological and physiological leaf traits to changing light conditions increases complementary light use. Measurements of vertical light profiles in the canopy of 40 communities, varying in species and functional

group richness, were repeated five times during the 2011 growing season. These measurements showed that light attenuation was highly variable throughout the growing season and increased along the species richness gradient at peak biomass times, but not at the beginning of the growing season nor during regrowth. Leaf traits related to light acquisition were measured in the same communities. Leaf trait expressions varied temporally, but were not affected by species or functional group richness, except for one of the measured traits. Functional groups displayed differences in leaf trait expressions, which varied also temporally. However, the temporal patterns did not reflect the temporal patterns of light attenuation. The results suggest that functional groups differ in their resource use strategies, but do not support the hypothesis that adjustment of leaf traits to changing light conditions along the diversity gradient enhances complementary light use.

Since the effects of plant diversity on carbon fluxes have also been rarely assessed, in a third study (*Chapter 3*) ecosystem carbon and water fluxes of 12 plant communities, containing either four or 16 plant species inserted in individual closed chambers, were continuously measured. High diverse communities displayed higher carbon uptake, water and nitrogen use efficiency as well as apparent quantum yield. Path analyses, exploring the influence of vegetation characteristics and the functional diversity of leaf traits measured in the community, showed that the functional diversity of leaf nitrogen concentration was an important predictor of the ecosystem carbon fluxes. A higher functional diversity in leaf nitrogen concentration implied an optimized distribution of nitrogen within the canopy to increase carbon gain.

Zusammenfassung

Aufgrund der Erkenntnis, dass eine zunehmende Anzahl an Pflanzenarten vom Aussterben bedroht ist, wurden in den letzten 20 Jahren eine Vielzahl an Untersuchungen durchgeführt, um den Einfluss der Artenzahl eines Ökosystems auf verschiedene Ökosystemprozesse zu untersuchen. Häufig hat sich gezeigt, dass eine hohe Anzahl an Arten in einer Pflanzengemeinschaft positive Auswirkungen auf verschiedene Prozesse wie zum Beispiel die Biomasseproduktion hat. Trotz der Vielzahl an durchgeführten Studien konnte der zugrunde liegende Mechanismus dieser positiven Effekte noch nicht eindeutig geklärt werden. Es wird aber angenommen, dass sich verschiedene Arten in ihrer Ressourcenaufnahme komplementär ergänzen und diese Komplementarität mit steigender Artenzahl zunimmt. D.h., Arten unterscheiden sich zum Beispiel in ihrer Wurzeltiefe und nehmen somit Wasser oder Nährstoffe aus verschiedenen Bodentiefen auf. Diese räumliche Trennung der Ressourcenaufnahme reduziert Konkurrenzeffekte zwischen den Arten, erhöht die Ausnutzung der Ressource im Boden und kann somit zu erhöhter Biomasseproduktion beitragen. Die vorliegende Dissertation hatte zum Ziel, Wissenslücken bezüglich der Frage zu schliessen, ob eine gesteigerte komplementäre Ressourcennutzung verantwortlich für die positiven Effekte erhöhter Biodiversität ist. Dafür wurden drei Studien durchgeführt, die den Einfluss der Anzahl an Arten sowie an funktionellen Gruppen auf die Wasser- und Lichtnutzung als auch Kohlenstoffflüsse untersuchten. Alle Studien wurden im Rahmen eines grossen Biodiversitätsexperimentes in Jena (Deutschland) durchgeführt. Dieses Experiment besteht aus Pflanzengemeinschaften, die sich sowohl in ihrer Anzahl an Arten als auch in funktionellen Gruppen unterscheiden. Die Pflanzengemeinschaften wurden zufällig aus einem Pool von 60 in Zentraleuropa typischen Graslandarten aus vier funktionellen Gruppen (Gräser, Leguminosen, kleine Kräuter und grosse Kräuter) zusammengestellt.

Das erste Kapitel dieser Arbeit beschreibt einen Versuch, der durchgeführt wurde, um die komplementäre Wassernutzung in Abhängigkeit der pflanzlichen Diversität zu untersuchen. In einem Tracer-Experiment wurde das Bodenwasser in zwei verschiedenen Tiefen in 40 verschiedenen Pflanzengemeinschaften jeweils mit stabilen Wasserisotopen markiert, um damit die Bodentiefe der pflanzlichen Wasseraufnahme zu identifizieren. Der Versuch wurde dreimal im Laufe des Jahres 2011 wiederholt, um

zusätzlich zu untersuchen, ob sich die komplementäre Wassernutzung zeitlich verändert. Die Ergebnisse dieser Studie konnten zeigen, dass Pflanzen hauptsächlich Wasser aus oberen Bodenschichten aufnehmen. Die Hauptaufnahmetiefe von Wasser hat sich darüber hinaus weder in Abhängigkeit der Anzahl an Arten oder an funktionellen Gruppen in einem Plot verändert, noch wurden Unterschiede zwischen funktionellen Gruppen gefunden. Diese Ergebnisse zeigten, dass eine komplementäre Wassernutzung womöglich keine Rolle für die positiven Effekte einer erhöhten Artenzahl auf Ökosystemprozesse in Grasländern der gemässigten Zone spielt.

Die zweite Studie (Kapitel 2) untersuchte die Änderung der Lichtverfügbarkeit in einem Bestand im Laufe der Vegetationsperiode sowie in Abhängigkeit der Artenzahl. Zusätzlich wurde untersucht, ob sich Blattmerkmale entsprechend der veränderten Lichtbedingungen in einem Bestand anpassen, um so eine bessere bzw. komplementäre Lichtnutzung zu erreichen. Mit Messungen der Lichtintensität konnte gezeigt werden, dass sich die Lichtverfügbarkeit zeitlich stark ändert. Zusätzlich nahm die Lichtverfügbarkeit in Beständen mit hoher Artenzahl stärker ab als mit niedriger. Dieser Effekt wurde nur in Zeiten mit hoher Bestandsbiomasse, jedoch nicht am Anfang der Vegetationsperiode oder während des Wiederaufwuchses nach der Mahd gefunden. Die Ausprägung der gemessenen Blattmerkmale war ebenso zeitlich variabel und änderte sich nicht mit zunehmender Artenzahl (mit Ausnahme eines Merkmals). Funktionelle Pflanzengruppen unterschieden sich stark in der Merkmalsausprägung. Einige Pflanzengruppen zeigten auch eine Änderung in einzelnen Blattmerkmalen entlang des Diversitätsgradienten in den untersuchten Beständen. Dies könnte auf eine Anpassung an eine zunehmende Lichtabschwächung mit steigender Artenzahl hindeuten. Darüber hinaus variierte die Merkmalsausprägung der funktionellen Gruppen im Laufe der Vegetationsperiode sehr stark, entsprach aber nicht der zeitlichen Variation der Lichtverfügbarkeit. Die Ergebnisse dieser Studie konnten nicht eindeutig belegen, dass die Anpassung von Blattmerkmalen an Lichtbedingungen, die sowohl zeitlich als auch entlang des Diversitätsgradienten variierten, dazu beiträgt, dass die Ressource Licht in Beständen mit erhöhter Artenzahl besser ausgenutzt wird.

In einer dritten Studie (Kapitel 3) wurde der Effekt der Artenzahl auf die Kohlenstoffaufnahme eines Bestandes untersucht. In 12 Lysimetern, die aus den Flächen in Jena ausgestochen worden waren und dessen Bestände sich aus vier oder 16 Arten

zusammensetzten, wurden Kohlenstoff- und Wasserflüsse in geschlossenen Kammern gemessen. Die Kohlenstoffaufnahme sowie die Wasser-, Stickstoff- und Lichtnutzungseffizienz war in Beständen mit 16 Arten höher als in Beständen mit vier Arten. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass die Variation bzw. die funktionelle Diversität in der Stickstoffkonzentration der Blätter eine mögliche Erklärung für eine erhöhte Kohlenstoffaufnahme und –nutzungseffizienz ist.