

# Bewirtschaftung, biologische Vielfalt und Ökosystemfunktionen im Grünland – Erkenntnisse aus zwei Langzeitexperimenten

W. W. Weisser, S.T. Meyer und das Jena Experiment Konsortium

Technische Universität München, Lehrstuhl für Terrestrische Ökologie, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2, 85354 Freising,  
wolfgang.weisser@tum.de

## Einleitung und Problemstellung

Menschliche Landnutzung ist der Haupttreiber für den weltweiten Verlust an biologischer Vielfalt (Maxwell *et al.*, 2016). Da die Arten in einem ökologischen System auch die Treiber vieler Funktionen im Ökosystem sind, wurde ab den 1990er Jahren verstärkt die Vermutung untersucht, dass ein Verlust der biologischen Vielfalt auch die Funktionsfähigkeit eines Ökosystems beeinträchtigt (Schulze and Mooney, 1992). Weil damit auch diejenigen Leistungen des Ökosystems beeinträchtigt sein könnten, die direkt vom Menschen genutzt werden (auch aus Ökosystemleistungen bezeichnet (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), oder nun „Nature’s benefit to people“), war eine zugrundeliegende Motivation dieser Untersuchungen, Argumente für ein nachhaltiges Management von Ökosystemen zu finden. Daneben gab es auch ein starkes grundlagenwissenschaftliches Interesse, den Zusammenhang zwischen Artenvielfalt und dem Funktionieren von Ökosystemen („biodiversity-ecosystem functioning (BEF) relationships“) besser zu verstehen.

Der wichtigste Ansatz zur Untersuchung der kausalen Auswirkungen von Biodiversität auf Ökosystemprozesse ist die direkte Manipulation der Biodiversität als unabhängige Variable (Weisser *et al.*, 2017). Solche Biodiversitätsexperimente ermöglichen eine Entkopplung von Pflanzenvielfalt und Umweltfaktoren (z.B. Standortfruchtbarkeit), die in der Natur oft korreliert sind. Grünland ist ein besonders geeignetes Modellsystem für solche Experimente, da sehr viel über die einzelnen Arten bekannt ist. Das sogenannte „Jena Experiment“ ([www.the-jena-experiment.de](http://www.the-jena-experiment.de)) ist ein solches Grünland-Biodiversitätsexperiment, in dem der Einfluss von Artenvielfalt auf Ökosystemprozesse seit 2002 systematisch untersucht wird (Weisser *et al.*, 2017). Das Experiment ist eines der größten und am längsten laufenden Grünland-Biodiversitätsexperimente weltweit.

Biodiversitätsexperimente sind „künstlich“, weil die Artenzahl in den Modellökosystemen durch direkten Eingriff (Jäten) konstant gehalten wird. Sie dienen der Untersuchung fundamentaler Zusammenhänge. Gleichzeitig helfen sie jedoch, Eigenschaften des Modellökosystems besser zu verstehen. Eine direkte Anwendung auf in der realen Welt vorkommende Ökosysteme wie etwa bewirtschaftetes Grünland erfordert jedoch weitere Untersuchungen, um die Bedeutung der im Experiment gefundenen Prinzipien im Freiland nachzuweisen. Ein solches Projekt sind die „Biodiversitäts-Exploratorien“ ([www.biodiversity-exploratories.de](http://www.biodiversity-exploratories.de)), in denen bewirtschaftete Grünländer in drei Regionen Deutschlands untersucht werden (Fischer *et al.*, 2010). Ergebnisse aus den Exploratorien werden im Vortrag vorgestellt. In diesem Manuskript fokussieren wir uns auf Ergebnisse des Jena-Experimentes. Eine ausführliche Zusammenfassung der Ergebnisse des Jena-Experimentes findet sich in Weisser *et al.* (2017)

## Material und Methoden

Das Jena-Experiment befindet sich auf einer 10 ha großen Fläche in der Saaleaue in Jena (50° 57' 3.06" N, 11° 37' 29.98" E, 130 m ü.d.M.) mit Jahresmitteltemperaturen von 9,9°C und Niederschlägen von 610 mm. Das Gelände wurde vor der Gründung des Experiments im Jahr 2002 als befruchtetes Ackerland genutzt (Roscher *et al.*, 2004). Sechzig Pflanzenarten, die für

halbnatürliche, artenreiche, mesophile Graslandschaften typisch sind, bilden den Artenpool. Alle experimentellen Pflanzengemeinschaften wurden mit konstanter Gesamtdichte und gleichem Anteil aller Arten in den Mischungen gesät. Das Hauptexperiment wurde auf 82 Versuchspartzellen (20 x 20 m) durchgeführt. In den Pflanzengemeinschaften werden einerseits die Artenzahl und andererseits die funktionale Vielfalt der Pflanzen manipuliert. Der Diversitätsgradient wurde durch die Aussaat von Pflanzengemeinschaften mit zufälligen Teilmengen des Artenpools und einem definierten Artenreichtum auf einer logarithmischen Skala (1, 2, 4, 8, 16 und 60) erzeugt. Die funktionale Vielfalt wurde manipuliert, indem die Anzahl der in einer Gemeinschaft vorhandenen funktionellen Gruppen (Gräser, Leguminosen, „kleine Kräuter“ und „große Kräuter“) variiert wurde (Roscher *et al.*, 2004). Der Biodiversitätsgradient wurde durch Jäten im Frühjahr, Sommer und Herbst erhalten. Im Laufe der Jahre wurde eine Vielzahl verschiedener Ökosystemfunktionen gemessen, insgesamt über 80.000 Variablen (Weisser *et al.*, 2017).

Die Parzellen werden zweimal im Jahr gemäht; dabei wird jedes Mal die gesamte Biomasse entfernt. Eine Düngung findet nicht statt. Um zu testen, ob die Ergebnisse dieser Art der Bewirtschaftung, die weniger intensiv ist als in den meisten bewirtschafteten Grünländern, auf stärker bewirtschaftete Flächen hochgerechnet werden können, wurde in einem Telexperiment auch die Bewirtschaftungsintensität manipuliert (Weigelt *et al.*, 2009). Dazu wurde in jeder Versuchspartzelle fünf Unterpartzellen angelegt. In diesen variierte das Management in Bezug auf das Mahdregime (1, 2 oder 4 Schnitte pro Jahr) und die NPK-Düngung (kein Dünger oder 100 oder 200 kg N ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>). Alle Daten wurden im Allgemeinen in R mit linearen Mixed-Effekt-Modellen analysiert.

### Ergebnisse und Diskussion

Die Graslandproduktivität (geerntete pflanzliche Biomasse) stieg mit dem Artenreichtum der Pflanzen an (Weisser *et al.*, 2017). Die Futterqualität, die über sechs Futterqualitätsindikatoren gemessen wurde (organic matter, crude protein, usable raw protein, raw fat, neutral detergent fibre, metabolisable energy) war unabhängig vom mittleren Pflanzenartenreichtum (Scherer-Lorenzen *et al.*, unpubl.). In dem Bewirtschaftungs-Telexperiment führte eine Erhöhung der Artenzahl zu einer Erhöhung der Produktivität (durchschnittlicher Unterschied zwischen Monokulturen und 16-Arten-Mischungen) um 449 g m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>, während der Effekt der Intensivierung (durchschnittliche Differenz zwischen der extensiven (1 Mahd, keine Düngung) und der intensivsten (4 Mahden, 200 kg N m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>) Bewirtschaftung 315 g m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup> betrug (Weigelt *et al.*, 2009). Insbesondere wurden auch positive Auswirkungen des Artenreichtums auf die Biomasseproduktion unter intensivem Management über zwei Jahre beobachtet. Längerfristig wird dabei die Intensivierung den Reichtum an Pflanzenarten verringern. Um den diversitätsabhängigen Produktivitätsvorteil bei hoher Intensität zu nutzen, wäre daher ein gezieltes Management erforderlich, um den hohen Pflanzenartenreichtum zu erhalten. Dies ist unter Realbedingungen schwer möglich; das Experiment zeigt jedoch, dass der Einfluss von Biodiversität auf die Produktivität nicht so unbedeutend ist wie vielfach angenommen.

Das Jena-Experiment quantifizierte auch den Einfluss der Pflanzenartenzahl auf die Diversität anderer Organismen und auf den Elementzyklus und den Wasserhaushalt. Höherer Pflanzenartenreichtum erhöhte auch die Vielfalt einer Fülle verschiedener Organismengruppen (Scherber *et al.*, 2010; Weisser *et al.*, 2017). In Bezug auf die Elementkreisläufe fanden detaillierte Untersuchungen in den einzelnen Kompartimenten des Ökosystems und separat für den Eintrag, den Austrag und die Speicherung bzw. den Turnover der Elemente statt (Abb. 1 zeigt dies am Beispiel des N-Kreislaufes). So nahm etwa die Kohlenstoffspeicherung im Boden und die Wasserinfiltration mit zunehmendem Pflanzenreichtum zu (Weisser *et al.*, 2017).

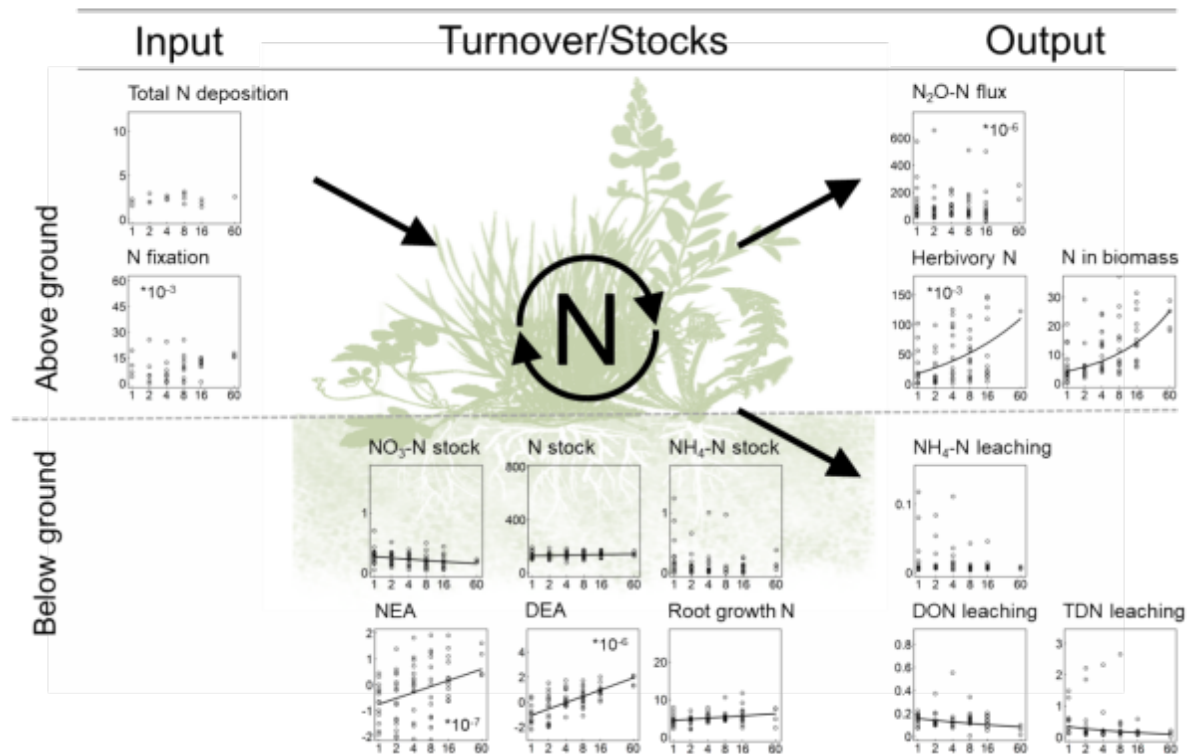


Abb. 1: Auswirkungen des Pflanzenartenreichtums auf verschiedene Komponenten des Stickstoffkreislaufs. Für alle Datensätze wurde das gleiche statistische Modell verwendet: Block wurde zuerst angepasst, dann logarithmisch transformierte Artenvielfalt. Gegebenenfalls wurden abhängige Variablen log-transformiert, wie durch '[log]' in der Legende angegeben. Wenn der Effekt des Artenreichtums in jedem Jahr signifikant war, haben wir das letzte Jahr ausgewählt, für das Daten verfügbar waren, und wenn der Effekt des Artenreichtums nur manchmal signifikant war, haben wir das letzte Jahr ausgewählt, in dem der Effekt signifikant war. Wenn der Effekt des Pflanzenartenreichtums nie signifikant war, haben wir das letzte Jahr ausgewählt, für das Daten verfügbar waren. Eine Trendlinie ist nur eingezeichnet, wenn der Effekt der Diversität signifikant war. Jede Grafik wird durch Division aller Werte durch den Mittelwert der Monokulturen skaliert. Die y-Achse ist auf die maximale Wirkung des Artenreichtums auf einen der in der Abbildung dargestellten Prozesse skaliert, und die Beschriftung der y-Achse liefert die richtigen Absolutwerte. Details in Weisser *et al.* (2017).

Insgesamt wurden etwa 45% der untersuchten Ökosystemprozesse signifikant vom Artenreichtum der Pflanzen beeinflusst (Allan *et al.*, 2013). Die Kombination mehrerer Funktionen zu einem Maß für die Multifunktionalität des Ökosystems zeigte zudem, dass die Funktionsweise als Ganzes mit dem Artenreichtum der Pflanzen zunahm (Meyer *et al.*, 2018). Allerdings gibt es „trade-offs“ zwischen den einzelnen Funktionen, so dass nicht alle gleichzeitig maximiert werden können.

### Schlussfolgerungen

Das Jenaer Experiment zeigt, dass der Artenreichtum der Pflanzen vielfältige Auswirkungen auf die Ökosystemfunktionen im Grünland hat. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass verschiedene Graslandschaften gleichzeitig eine hohe Produktivität und zusätzliche Ökosystemleistungen unterstützen. Die zukünftige Herausforderung wird darin bestehen, dieses Wissen in der nachhaltigen Landnutzung anzuwenden.

Ein Management zur Maximierung eines einzelnen Ökosystemdienstes wird wahrscheinlich die Bereitstellung anderer Ökosystemdienstleistungen verringern, und möglicherweise auch die Multifunktionalität des Systems beeinträchtigen. Es ist jedoch möglich, bestimmte Funk-

tionen, wie z.B. die Biomasseproduktion über eine hohe Diversität zu erhöhen und gleichzeitig andere Funktionen, wie z.B. eine erhöhte Wasser- oder Nährstoffeffizienz, zu favorisieren, was zu geringeren Umweltbelastungen bei gleichzeitiger Nutzung potenzieller wirtschaftlicher Vorteile führt. Im Allgemeinen wird die Erhaltung oder Vermehrung von Pflanzenarten in einem Grünland wahrscheinlich einige Ökosystemfunktionen erhöhen. Wichtig ist jedoch, dass ein Ökosystemmanagement mit dem Ziel einer Maximierung der biologischen Vielfalt nicht unbedingt gleichzeitig gewünschte Funktionen maximiert. Andererseits wird ein Management für ökologische Dienstleistungen nicht unbedingt die biologische Vielfalt erhöhen. Das Ziel, eine hohe Biodiversität zu erhalten kann daher nicht durch das Ziel der Bereitstellung von Ökosystemdienstleistungen ersetzt werden, wenn man eigentlich eine hohe Biodiversität erhalten möchte.

### Danksagung

Wir danken den Gärtnern, Technikern, Studentenhelfern und Leitern des Jenaer Experiments für ihre Arbeit beim Aufbau und der Pflege des Experiments. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (FOR 456 und FOR 1451) sowie der Schweizerische Nationalfonds finanzierten das Jena-Experiment.

### Literatur

- Allan, E., Weisser, W.W. et al. (2013): A comparison of the strength of biodiversity effects across multiple functions. *Oecologia* 173, 223-237.
- Fischer, M. et al. (2010): Implementing large-scale and long-term functional biodiversity research: The Biodiversity Exploratories. *Basic and Applied Ecology* 11, 473-485.
- Maxwell, S., Fuller, R., Brooks, T., Watson, J. (2016): Biodiversity: The ravages of guns, nets and bulldozers. *Nature* 536, 143-145.
- Meyer, S.T. et al. (2018): Biodiversity–multifunctionality relationships depend on identity and number of measured functions. *Nature Ecology & Evolution* 2, 44-49.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005): Millennium Ecosystem Assessment - Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC.
- Roscher, C., Schumacher, J., Baade, J., Wilcke, W., Gleixner, G., Weisser, W.W., Schmid, B., Schulze, E.D. (2004). The role of biodiversity for element cycling and trophic interactions: an experimental approach in a grassland community. *Basic and Applied Ecology* 5, 107-121.
- Scherber, C. et al. (2010): Bottom-up effects of plant diversity on multitrophic interactions in a biodiversity experiment. *Nature* 468, 553-556.
- Schulze, E.D., Mooney, H.A. (Eds.) (1992): Biodiversity and ecosystem function. Springer, Heidelberg.
- Weigelt, A., Weisser, W.W., Buchmann, N., Scherer-Lorenzen, M. (2009): Biodiversity for multifunctional grasslands: equal productivity in high-diversity low-input and low-diversity high-input systems. *Biogeosciences* 6, 1695-1706.
- Weisser, W.W. et al. (2017): Biodiversity effects on ecosystem functioning in a 15-year grassland experiment: patterns, mechanisms, and open questions. *Basic and Applied Ecology* 23, 1-73.