

# Merkmale und Funktionen von Pflanzen – Multifunktionalität von Dauergrünland anders betrachtet

Jürgen Schellberg<sup>1\*</sup>

## Einleitung

Seit ca. zwei Jahrzehnten wird der Begriff „Multifunktionalität“ in der Landwirtschaftlichen Forschung verwendet. Er wurde eingeführt, um ein ordnendes Prinzip zu entwickeln, mit dem die wechselseitigen Beziehungen zwischen Standortbedingungen und Management einerseits und den Ökosystemfunktionen (Ecosystem Functions, EF) sowie den produktiven und nicht-produktiven Ökosystemdienstleistungen (Ecosystem Services, ES) andererseits erklärt werden können. Es steht wohl außer Frage, dass das Grünland zahlreiche ES erfüllt und hinsichtlich der Vielfalt dieser Funktionen anderen Agrarökosystemen mindestens ebenbürtig ist. Andererseits ist die Bereitstellung von ES im Grünland – ebenso wie in anderen Agrarökosystemen – durch menschliche Tätigkeiten und Klimaveränderung zunehmend gefährdet. Einen wesentlichen Einfluss auf die ES hat die Grünlandbewirtschaftung selbst. So gibt es zahlreiche Belege dafür, dass die zunehmende Intensivierung zwar die Futterqualität und Produktivität gesteigert hat, aber dem ästhetischen Wert und der Biodiversität abträglich war.

Unter „Multifunktionalität“ wird häufig die Vielfalt der Funktionen verstanden, die das Grünland übernimmt: Erholungsfunktion, Verhinderung von Erosion, Habitat für Flora und Fauna u.v.a. mehr. Tatsächlich sind dies aber keine Funktionen im Sinne der FAO (Millennium Assessment, 2005) sondern ES. Also müsste man eigentlich von „Multidienstleistungen“ statt von „Multifunktionalität“ sprechen. Um zu verstehen, welche ES Grünlandhabitate übernehmen können, muss man wissen auf welchen funktionalen Merkmalen und Eigenschaften die jeweiligen Dienstleistungen beruhen. Zum Beispiel: wertvolle Futtergräser zeichnen sich durch hohe Energie- und Proteingehalte, hohen Blattanteil und niedrigen Stängelanteil aus; sie wachsen rasch und stellen hohe Ansprüche an die Nährstoff- und Wasserversorgung. Bestände die reich an solchen Gräsern sind leisten andererseits aber kaum einen Beitrag zum Biotop- und Artenschutz.

Der Begriff der „Multifunktionalität“ wird also unterschiedlich verwendet. Während die Grünlandforschung in der Regel mit „Multifunktionalität“ die ES von Agrarökosystemen auf größerer Skala meint, konzentriert sich die

Ökologie auf die Funktionalitäten von Pflanzen, die an deren morphologische, phänologische und physiologische Merkmale gekoppelt sind. Ziel der vorliegenden Studie ist es, die „Multifunktionalität“ des Grünlands aus der Sicht der funktionalen Ökologie zu erklären und außerdem darzustellen, wie anhand funktionaler Merkmale von Pflanzen die Funktionen und Prozesse in Grünlandbeständen in Bezug zur „Multifunktionalität“ im herkömmlichen Sinne stehen.

## Funktionale Merkmale und Funktionen von Pflanzen des Grünlands

Die wechselseitigen Abhängigkeiten zwischen Management und Standortbedingungen einerseits sowie EF und ES andererseits werden in der Regel auf Basis der floristischen Zusammensetzung von Pflanzenbeständen empirisch untersucht. Die Merkmale, Standortansprüche und Nutzungsreaktionen von Pflanzenarten des Grünlands, werden dabei deskriptiv dargestellt und anhand von Kennzahlen quantifiziert. Darüber hinaus basiert die phyto-soziologische Klassifizierung von Pflanzenarten und -gemeinschaften vorrangig auf dem taxonomischen System und weniger auf den funktionalen Beziehungen der Pflanzen untereinander oder zu ihrer Umwelt. Letztere sind aber entscheidend für ein Verständnis der Etablierung, Entwicklung, Reproduktion, Persistenz und Konkurrenzfähigkeit von Pflanzen

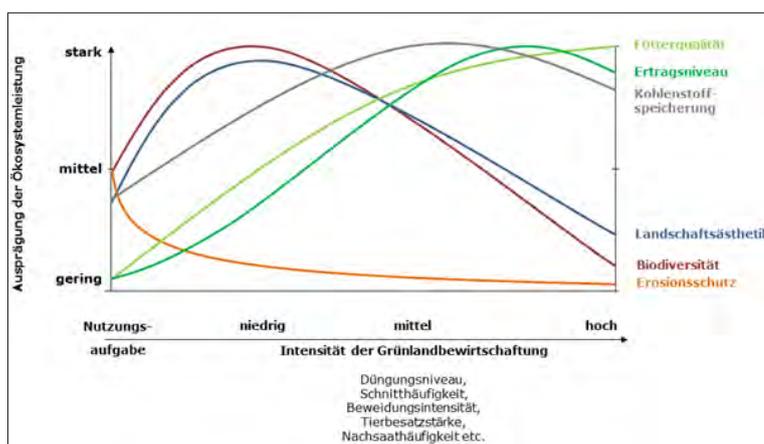


Abbildung 1: Beitrag von Ökosystemdienstleistungen auf Grünland entlang eines Gradienten der Bewirtschaftungsintensität (Kombination von Düngungsintensität, Häufigkeit der Schnitt- und Weidenutzung, Besatzdichte und Nachsaathäufigkeit). Nach Schellberg und Pötsch, 2014, verändert.

<sup>1</sup> Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz/Agrar- und Produktionsökologie, Universität Bonn, Katzenburgweg 5, D-53115 BONN

\* Ansprechpartner: Dr. Jürgen SCHELLBERG, ulp10c@uni-bonn.de



unter gegebenen Umweltbedingungen und vorherrschender Bewirtschaftung. Die damit verbundenen Prozesse stehen in engem Zusammenhang mit der „Multifunktionalität“ des Grünlands. Sie sind also gekoppelt an Merkmale und Funktionen von Pflanzen, die bestimmte Prozesse beeinflussen. So ist zum Beispiel die Kohlenstoffspeicherung im Boden ein Ergebnis der CO<sub>2</sub> Assimilation der oberirdischen Organe, und diese ist wiederum unter anderem abhängig von der Blattfläche, dem Stickstoffgehalt im Blatt, dessen spezifischer Blattfläche und der Blattlebensdauer. Die Ausprägung dieser Merkmale entscheidet gleichzeitig über den Beitrag des Grünlandbestands zur Ökosystemdienstleistung „Bereitstellung von qualitativ hochwertigem Futter“, und zwar in Abhängigkeit von der Intensität der Bewirtschaftung (Abbildung 1).

Im gemischten Pflanzenbestand ist die assimilatorische Leistung und die Produktivität das Ergebnis aller Prozesse der dort versammelten Pflanzen und ihrer funktionalen Merkmale, die unter gleichen Bedingungen langfristig zwar gleichgerichtet sind aber durchaus divers sein können. An dieser Stelle ist ein Vergleich angebracht. Für einen Gräser-Reinbestand kann man sich vorstellen, dass z.B. Düngung, Häufigkeit und Art der Entblätterung, Bodennährstoffgehalte und Niederschläge die Lebensbedingungen und damit auch die Ertragsbildung von Individuen beeinflussen. Die intraspezifische Konkurrenz ist in so einer Situation gleichgerichtet für alle Individuen, da diese im Reinbestand die gleiche ökologische Nische besetzen.

Im gemischten Bestand hingegen besetzen verschiedene Arten aufgrund ihrer unterschiedlichen Ausprägung funktionaler Merkmale und ihrer Wachstums- und Entwicklungsstrategie meist verschiedene ökologische Nischen. Deshalb muss die direkte Nachbarschaft einer Pflanze nicht zwingend zu Ressourcenknappheit und Unterdrückung einer anderen führen. Pflanzen können sich also hinsichtlich der Nutzung aller verfügbaren Ressourcen ergänzen. Entscheidend ist dabei, dass Umweltbedingungen dabei wie Filter auf die funktionalen Merkmale von Pflanzen wirken. Sie verändern das Angebot jener Ressourcen auf die die Pflanzen

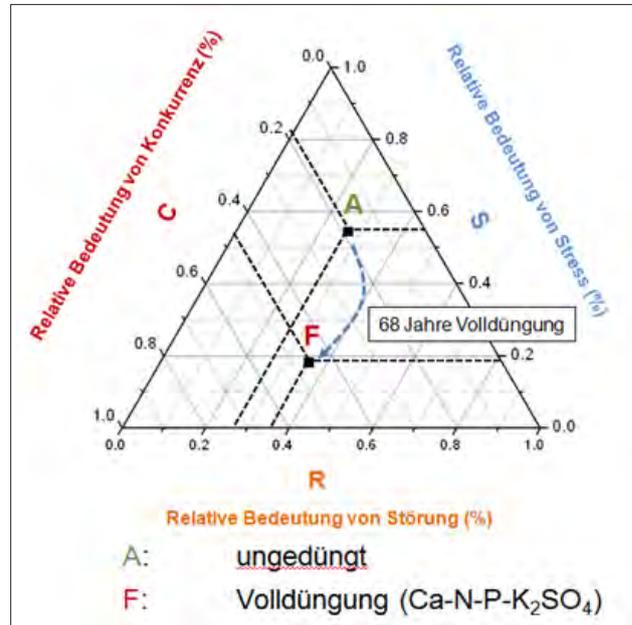


Abbildung 2: CSR-Diagramm von zwei Dünge­stufen im Dauer­düngungsversuch Rengen.

reagieren. Sie verschieben zugleich die funktionale Zusammensetzung des Pflanzenbestandes und damit auch seine ES.

Um die Pflanze-Umweltbeziehungen zu erfassen ist es nicht erforderlich, alle funktionalen Merkmale der vorherrschenden Pflanzen im Detail zu erfassen. Eine Alternative bietet das CSR-Modell (Grime, 1977). Für jede Pflanzenart werden Strategiekomponenten einer Datenbank entnommen, namentlich Konkurrenzfähigkeit („C-Komponente“), Toleranz gegenüber Stress („S-Komponente“) und Verhalten gegenüber Störung (meist auf Ruderalstandorten) („R-Komponente“) und je nach Anteil der Arten im Bestand gewichtet. So ergibt sich eine C-S-R-Signatur des Grünlandbestandes. In *Abbildung 2* ist die Veränderung der Signatur des Rengener Dauerversuchs nach 68 Jahren unterschiedlicher Düngung gezeigt.

Tabelle 1: Ausprägung funktionaler Merkmale in Pflanzen unterschiedlicher Wachstumsstrategie entsprechend dem C-S-R Modell nach Grime (1977).

Funktionales Merkmal	C-Typ	S-Typ	R-Typ
relative Wachstumsrate	+++	-	+
Bodenbedeckung	+++		
Blattflächenentwicklung	+++		
Blattform	laminar		
Blatthaltung	prostrat		
spezifische Blattfläche	++		++
Blatt-N-Konzentration	+++		++
Photosyntheserate pro Einheit Blattfläche	++		+++
Translokationsrate von Syntheseprodukten in neue Gewebe	+++		++
dichtes flaches Wurzelwerk	++		
anhaltende Stoffproduktion auch bei geringem Nährstoffangebot	-	+	
effizientes internes Recycling von Syntheseprodukten	-	+	
Investition in strukturelle Blattmasse	-	+	
Blattlebensdauer	-	+	
Keimlingsentwicklung aus Samen	-	+	++
Monokarpie			+++
Polykarpie		++	-

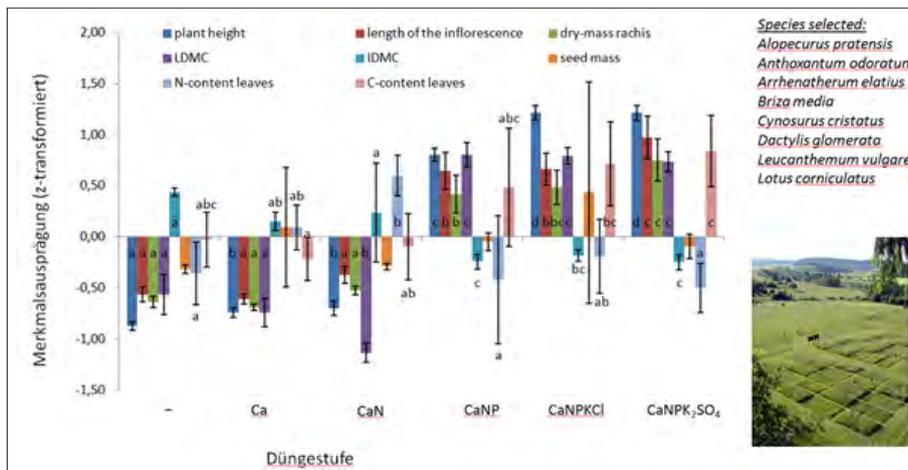


Abbildung 3: Ausprägung numerischer funktionaler Merkmale im Rengener Dauerversuch (Brühne und Schellberg, 2012, unveröffentlicht).

Entscheidend ist, dass die Zuordnung der C-S-R-Komponenten durch funktionale Merkmale begründet ist. In *Tabelle 1* ist gezeigt, welche Merkmalsausprägung die C-, S-, und R- Strategie der Pflanzen begründet.

Pflanzen verfolgen also sehr unterschiedliche Strategien, die mit der Ausstattung ihrer funktionalen Merkmalen in direkter Beziehung stehen. Die Bedeutung dieser funktionalen Merkmale für die Strategien lässt sich an einem Beispiel des Blattwachstums verdeutlichen. Unterzieht man den Aufbau von Blattmasse von Pflanzen einer Kosten-Nutzen-Analyse, dann muss man 2 Phasen unterscheiden, (i) die des Aufbaus der Blattmasse, in der die wachsenden Gewebe einen „Sink“ für C, N, P und andere Elemente darstellen, und (ii) die Phase der Produktion und des Exports von Elementen aus diesem Blatt heraus, also die Phase in der ein Gewebe als „Source“ dient. Die Konstruktionskosten und der Netto-C-Gewinn in dieser „Sourcephase“ lassen sich auf Basis der aufgewandten Energie berechnen. Die photosynthetische Aktivität in der „Sourcephase“ ist von zahlreichen Faktoren abhängig, vor allem vom Proteingehalt (RuBisCO). Je geringer die Konstruktionskosten, je länger die Lebensdauer des Blattes und je höher die Assimilationsrate je Zeiteinheit, desto höher ist der Netto-Energiegewinn für die Pflanze.

Dabei ist zu beachten, dass auch der Energieaufwand für die konstruktiven Elemente des Blattes, also vor allem die Zellwandbestandteile die nach der Seneszenz des Blattes ungenutzt verbleibt, an die Pflanze zurückgezahlt werden muss. Hierbei handelt es sich oft um hochmolekulare Verbindungen deren Synthese eines hohen Energieaufwands bedarf. Pflanzen in denen die Investition in Blattmasse die Rückzahlung derselben Blätter dauerhaft übersteigt, sind aufgrund negativer Energiebilanz nicht überlebensfähig. Nicht alle Pflanzenarten verfolgen in dieser Hinsicht die gleiche Strategie (siehe auch Schellberg und Pontes, 2012).

## Einfluss von Standort und Bewirtschaftung auf die funktionale Zusammensetzung

### Numerische funktionale Merkmale

Um den Einfluss von Standort und Bewirtschaftung zu klären, nehmen wir einen einfachen Fall an, nämlich einen

Gradienten der Nährstoffversorgung, wie wir ihn in zahlreichen Grünlandversuchen oder zum Beispiel entlang von Feuchte- oder Höhenstufen finden. Entlang solcher Gradienten verändern sich i.d.R. die numerischen funktionalen Merkmale, also z.B. Wuchshöhe, Blatt-Stängel-Verhältnis, Spross-Wurzel-Verhältnis oder spezifisches Blattgewicht. Für ausgewählte Pflanzenarten im Rengener Dauerversuch ist die Veränderung ausgewählter numerischer Merkmale beispielhaft in *Abbildung 3* gezeigt.

Die Bestimmung numerischer funktionaler Merkmale ist in artenreichen Grünlandbeständen

insofern schwierig, da der Messaufwand bei der Vielzahl der Arten kaum zu bewältigen ist. Deswegen werden häufig nur die Merkmale ausgewählter (dominanter) Arten erfasst und dabei unterstellt, dass diese im Wesentlichen die Merkmalsausprägung des Bestandes angemessen repräsentieren. Alternativ kann „taxon free sampling“ angewandt werden (s.u.).

### Kategorische funktionale Merkmale

Analog zu den numerischen funktionalen Merkmalen beobachtet man mit veränderter Nährstoffversorgung meist auch eine Veränderung kategorischer Merkmale. Allerdings können wir nur die Häufigkeit ihres Vorkommens – gewichtet nach dem prozentualen Anteil oder Deckungsgrad der Arten – darstellen. Das Maximum der Verteilungskurven der kategorischen Merkmale entlang des Gradienten repräsentiert dabei das ökologische Optimum des jeweiligen funktionalen Merkmals, welches optimales Wachstum, Reproduktion und Überleben der Art garantiert.

Die Bewirtschaftung führt, wie oben erwähnt, zu einer „Umschichtung“ der floristischen Zusammensetzung und dadurch auch der kategorischen funktionalen Merkmale. Dies ist die natürliche Reaktion der Pflanzen auf sich ändernde Umweltbedingungen, die durch die Bewirtschaftung verursacht wird. So ändern sich mit der Düngung auch die Ökosystemfunktionen (EF) und die Ökosystemdienstleistungen (ES) des Pflanzenbestandes, weil sich dessen funktionale Zusammensetzung ändert.

Interessant dabei ist, dass eine Gruppierung kategorischer funktionaler Merkmale mittels „Cluster-Analyse“ die funktionale Zusammensetzung von Düngestufen widerspiegeln kann, wie z.B. im Rengener Dauerversuch (Schellberg *et al.*, 1999; Chytrý *et al.*, 2009). In diesem Fall entspricht sogar die funktionale Zusammensetzung den in der klassischen Pflanzensoziologie definierten Assoziationen. Das Cluster-Diagramm in *Abbildung 5* zeigt auch, dass die Bodenkonzentrationen an pflanzenverfügbarem Phosphor – als Folge über 70-jähriger unterschiedlicher Düngung – die Parzellen im Rengener Dauerversuch sehr viel deutlicher trennt als dies bei Stickstoff oder Kalium der Fall ist.

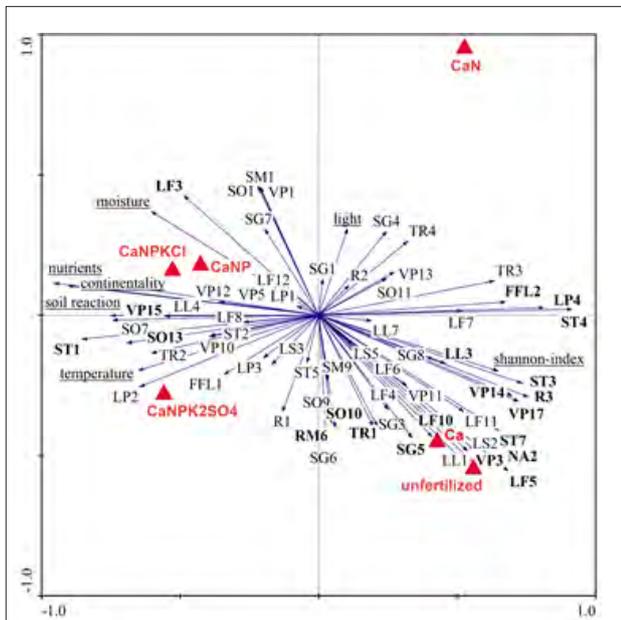


Abbildung 4: Ordinationsdiagramm einer Redundanzanalyse für funktionale Merkmale in Abhängigkeit von Eigenschaften des Standort und der Bewirtschaftung. Die Abkürzungen FFL1 to VP17 stehen für kategorische funktionale Merkmale (siehe BIOLFLOR and LEDA Datenbank) im Rengener Dauerdüngungsversuch (Brühne und Schellberg, 2012, unveröffentlicht).

### Plastizität funktionaler Merkmale

Erfasst man numerische funktionale Merkmale im Gelände, wird man mindestens zwei Phänomene beobachten, nämlich (i) die mittlere Ausprägung eines Merkmals, die sich aus den an Individuen gemessenen numerischen funktionalen Merkmalen als Mittelwert ergibt, und (ii) die Variabilität oder Plastizität dieses Merkmals. Um Standort- und Bewirtschaftungseinflüsse ansprechen zu können, betrachten wir in der Regel die mittlere Ausprägung eines Merkmals an dominierenden Pflanzenarten. Die ES von Grünlandbeständen wird daran bemessen, wie zum Beispiel das Ertragspotential und die Futterqualität hochwachsender (Merkmal Wuchshöhe), blattreicher (Merkmal Blattfläche), hochverdaulicher (Merkmal Energiegehalt, Proteingehalt) Gräser ist.

Allerdings variieren numerische Merkmale natürlicherweise innerhalb gewisser Grenzen. Wie vorher gezeigt, ist die Variabilität der Ausprägung von funktionalen Merkmalen – besser: Plastizität – abhängig vom Merkmal, von der Art und von den Umweltbedingungen. Anders ausgedrückt: Plastizität erlaubt Pflanzen, sich an veränderte Bedingungen anzupassen. Es ergibt sich daraus, dass mit der Plastizität sich EF und ES verändern können. Plastizität ist im übrigen Voraussetzung für die Konkurrenzfähigkeit in Pflanzenbeständen und der Schlüssel zur Fitness.

Studien zur Funktionalen Ökologie kommen zu dem Schluss, dass die Plastizität der Merkmalausprägung aller im Bestand vorkommenden Arten gleichermaßen entscheidend ist für die Reaktion des gesamten Bestandes auf Änderungen der Bewirtschaftung, also zum Beispiel der Nährstoffversorgung. Arten, deren Verteilung funktionaler Merkmale nahe beieinander liegen, konkurrieren um dieselbe ökologische

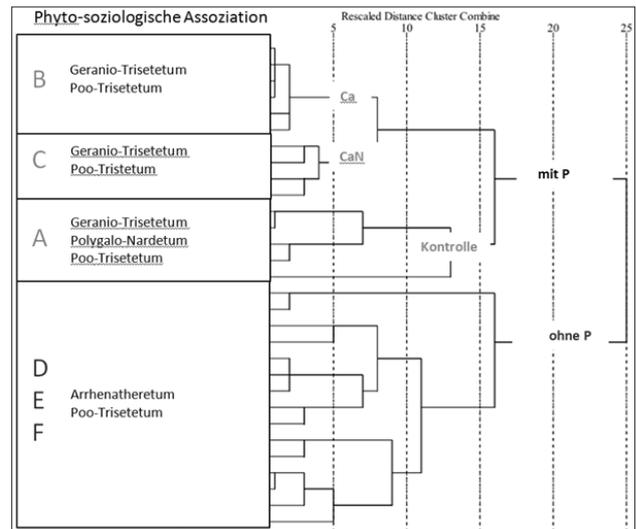


Abbildung 5: Dendrogramm der Versuchsvarianten im Rengener Dauerversuch – Cluster der phyto-soziologischen Assoziationen basierend auf der Kombination der kategorischen Merkmale von Pflanzen (Mittelwerte der Jahre 2005–2008, jeweils erster Aufwuchs).

Nische (vergleiche auch Pontes *et al.*, 2015). Bei Änderungen der Nährstoffversorgung werden sie gleichermaßen gefördert oder verdrängt. Größere Plastizität und Diversität erlaubt hingegen eine schnellere Anpassung an Änderung dieser Bedingungen.

Die Funktionale Ökologie unterscheidet zwei Arten von Plastizität, nämlich die phänotypische und die genotypische. Der Anteil der genotypischen an der gesamten Plastizität (siehe: Heritabilität) ist in der Regel bei Wildpflanzen nicht bekannt, aber für die multiplen Funktionen von Pflanzen des Grünlands durchaus von Bedeutung. Genetische Vielfalt ist im Sinne des Millenium Assessment (2005) durchaus ein Kriterium für ES und im Übrigen wichtig für die Anpassung von Arten an veränderte Wachstumsbedingungen. Schließlich ist zu vermuten, dass es in Langzeitversuchen zu einer Gendrift in Pflanzen kommen kann, wenn diese dauerhaft einem veränderten Bewirtschaftungsregime unterliegen.

### Funktionale Zusammensetzung in artenreichen Grünlandbeständen

Die Identifizierung von funktionalen Merkmalen und den damit verbundenen Ökosystemdienstleistungen gestaltet sich an einzelnen Pflanzenarten relative einfach. Schwierig ist dagegen die Bestimmung der funktionalen Zusammensetzung eines Pflanzenbestandes, des sogenannten „trait syndrome“. Es ist beinahe unmöglich die numerischen Merkmale aller Pflanzenarten im Bestand zu messen. Als Alternative hat sich das sogenannte „*taxon free sampling*“ durchgesetzt, also die Bestimmung numerischer Merkmale an zufällig ausgewählten Pflanzenarten und ihre zeitliche Variabilität während des Wachstums und der Entwicklung.

Der theoretische Ansatz dazu ist folgender: wenn Pflanzenarten sich aufgrund ihrer funktionalen Merkmale an die Umweltbedingungen anpassen und überleben oder – im

gegenteiligen Fall – durch andere besser angepasste Arten verdrängt werden, dann wird sich langfristig eine typische funktionale Zusammensetzung des Bestandes herausbilden. Dieser Sachverhalt lässt sich sehr gut anhand von Gradienten aufzeigen. In einer Studie von Moreno *et al.* (2014) wurden funktionale Merkmale entlang eines Beweidungsgradienten in Grasland in Südafrika untersucht. Der Befund ist eindeutig und für das „taxon free sampling“ erstaunlich gut: mit zunehmender Beweidungsintensität nahmen in dieser Studie die Wuchshöhe, Triebgewicht, Biomasse und Zellwandgehalt ab, spezifisches Blattgewicht und Proteingehalt nahmen dagegen zu. Dieses Beispiel ist ein Beleg dafür, dass sich Ökosystemdienstleistungen durchaus auf kleinem Raum in der Grünlandfläche verändern können und diese durch die Erfassung funktionaler Merkmale quantifiziert werden können.

## Ausblick

Aufgrund der Vielfalt der Standortbedingungen und der Bewirtschaftung sowie der Formenvielfalt bedient das Grünland sehr unterschiedliche Funktionen und Ökosystemdienstleistungen („Multifunktionalität des Grünlands“ im klassischen Sinne). Die daran gebundenen Prozesse und Funktionalitäten in unterirdischen Organen von Pflanzen („*root traits*“) und im Boden („*the hidden half*“) sind jedoch kaum aufgeklärt. Funktionale Merkmale (numerische und kategorische) ermöglichen die Ansprache und Quantifizierung dieser Funktionen und Prozesse; die Identifizierung „Funktionaler Gruppen“ und die „CSR-Klassifizierung“ vereinfachen das Verfahren. Funktionale Merkmale von Pflanzen geben objektive und nachvollziehbare Auskunft über den Beitrag von Pflanzen zu EF und ES. Ihr besonderer Vorteil besteht auch darin, dass sie sich qualitativ und quantitativ verknüpfen lassen mit dem funktionalen Gefüge des Bodens, das seinerseits über funktionale Merkmale zu definieren ist.

Der hier gezeigte Ansatz zur „Multifunktionalität“ des Grünlands muss langfristig auch den Wiederkäuer einschließen, dessen funktionale Merkmale angepasst sind an die der Pflanzen. Untersuchungen zu den wechselseitigen Beziehungen von Pflanze und Wiederkäuer liegen aus der funktionalen Ökologie jedoch kaum vor. Als Merkmale von Wiederkäuern, die die funktionale Zusammensetzung von Grünlandbeständen beeinflussen und verändern, kämen vermutlich u.a. folgende in Frage: Tiergewicht und Huftritt im Bezug zur Narbendichte, Formen des Gebisses im Bezug zur Art der Entblätterung und Wuchsform bzw. -höhe, Exkrementablage im Bezug zur Trophiestufe und zur CSR Signatur der Grasnarbe.

Die Erhebungen zur funktionalen Zusammensetzung von Grünlandbeständen sind zeit- und arbeitsaufwändig. Neuere Arbeiten deuten jedoch darauf hin, dass sie mit Hilfe von Fernerkundungssensoren nicht-destruktiv erfasst werden können. Dies ist deshalb möglich, weil die solare Einstrahlung in typischer und von den funktionalen Merkmalen der Pflanzen abhängigen Weise reflektiert wird (Ustin and Gamin, 2010).

Schließlich sind Simulationsmodelle („Maxent Model“/ „Traitspace Model“) soweit entwickelt worden, dass sie Wahrscheinlichkeitsfunktionen für die floristische und funktionale Zusammensetzung von Grünlandbeständen prognostizieren können. Solche Modelle können u.a. dazu dienen, funktionale Abhängigkeiten von Umwelt, Bewirtschaftung und ES zu testen, und zwar mit einem reduzierten Aufwand an Geländeerhebungen (für eine Zusammenfassung siehe Pontes *et al.*, 2015).

## Literatur

(eine ausführliche Literaturliste findet sich in: da Silveira Pontes *et al.*, 2015)

- Chytrý, M., M. Hejčman, S. Hennekens and J. Schellberg (2009): Changes in vegetation types and Ellenberg indicator values after 65 years of fertilizer application in the Rengen Grassland Experiment, Germany. *Applied Vegetation Science* 12, 167-176.
- Grime, JP (1977): Evidence for existence of 3 primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *Am Nat* 111: 1169 – 1194. doi:10.1086/283244.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005): Ecosystems and human well-being, synthesis. A report of the millennium ecosystem assessment. Washington, DC: Island Press.
- Moreno Garcia, C.A., J. Schellberg, F. Ewert, K. Brüser, P. Canales Prati, A. Linstädter, R.J. Oomen, J.C. Ruppert and S.B. Perelman (2014): Response of community-aggregated plant functional traits along grazing gradients: insights from African semi-arid grasslands. *Appl. Veget. Sci.*, 17, 470-481.
- da Silveira Pontes, L., V. Maire, J. Schellberg and F. Louault (2015): Grass strategies and grassland community responses to environmental drivers: a review. *Agron. Sustain. Dev.* doi: 10.1007/s13593-015-0314-1.
- Schellberg, J., B.M. Möseler, W. Kühbauch and I.F. Rademacher (1999): Long-term effects of fertilizer on soil nutrient concentration, yield, forage quality and floristic composition of a hay meadow in the Eifel mountains, Germany. *Grass Forage Sci.* 54, 195-207.
- Schellberg, J. (2014): Multiple functions of organisms and their interaction – a different approach to multifunctionality of permanent grassland. Tagung der Arbeitsgemeinschaft Grünlandwirtschaft und Futterbau. Arnstadt, 2014.
- Ustin, S. and J.A. Gamin (2010): Remote sensing of plant functional types. *New Phytologist*, 186: 795–816. doi: 10.1111/j.1469-8137.2010.03284.x.

