



MINISTERIUM
FÜR EIN
LEBENSWEERTES
ÖSTERREICH

HBLFA RAUMBERG - GUMPENSTEIN
LANDWIRTSCHAFT



20. ALPENLÄNDISCHES EXPERTENFORUM

BEDEUTUNG UND FUNKTIONEN DES PFLANZENBESTANDES IM GRÜNLAND

Gemäß Fortbildungsplan des Bundes

1. - 2. Oktober 2015

HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Seminarraum Gumpenstein

raumberg-gumpenstein.at



BERICHT

über das

20. Alpenländische Expertenforum

zum Thema

Bedeutung und Funktionen des Pflanzenbestandes im Grünland

1. - 2. Oktober 2015

HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Organisation

Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein (HBLFA)

Beratungsabteilung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

Österreichische Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau (ÖAG)



Impressum

Herausgeber

Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft
Raumberg-Gumpenstein, A-8952 Irnding-Donnersbachtal
des Bundesministeriums für Land- und
Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

Direktor

HR Mag. Dr. Anton HAUSLEITNER

Für den Inhalt verantwortlich

die Autoren

Redaktion

Univ. Doz. Dr. Erich M. PÖTSCH

Layout und Satz

Viktoria SCHWEIGER und Brigitte MAROLD

Druck, Verlag und © 2015

Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft
Raumberg-Gumpenstein, A-8952 Irnding-Donnersbachtal

ISBN-13: 978-3-902849-29-8

ISSN: 1818-7722

Dieser Band wird wie folgt zitiert:

20. Alpenländisches Expertenforum, 1.-2. Oktober 2015, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein 2015

Vorwort

Der Pflanzenbestand unserer Wiesen und Weiden stellt nicht nur die zentrale Grundlage einer erfolgreichen, nachhaltigen Grünland- und Milchwirtschaft dar sondern leistet zugleich auch einen wichtigen Beitrag zur Erhaltung einer artenreichen Flora. Etwa 1/10 des österreichischen Artenbestandes von insgesamt 2.873 Farn- und Blütenpflanzen hängt unmittelbar mit dem Grünland und dessen Bewirtschaftung zusammen. Für die Grünlandwirte steht der Pflanzenbestand im Grünland vor allem hinsichtlich des Ertragsniveaus sowie der Grundfutterqualität im Blickpunkt des Interesses. Hinter all diesen Leistungen stehen spezifische Merkmale, Eigenschaften und Funktionen einzelner Pflanzenarten, die in komplexer Art und Weise zusammenwirken und damit wesentlich zur Multifunktionalität des Grünlandes beitragen.

Im Rahmen des 20. Alpenländischen Expertenforums werden in zahlreichen Beiträgen die vielfältige Bedeutung und Funktionen des Pflanzenbestandes im Grünland beleuchtet. Der thematische Bogen spannt sich dabei von den funktionalen Eigenschaften von Pflanzen, den traditionellen und modernen Erhebungsmethoden von Pflanzenbeständen, der Bedeutung von Zeigerpflanzen sowie der floristischen Artenvielfalt bis hin zur Futterqualität. Ein weiterer Schwerpunkt gilt der Rolle und Bedeutung von Langzeitversuchen im Dauergrünland, die durch die Verfügbarkeit neuer Analysemethoden aber auch angesichts des fortschreitenden Klimawandels von zunehmendem Interesse sind. Schließlich bieten jeweils ein Beitrag zur Vegetations- und Agrargeschichte von Grünland sowie zur Futterpflanzenzüchtung und Generhaltung einen weiten zeitlichen Horizont, von der Vergangenheit bis in die nahe Zukunft.

Traditioneller Weise bringen auch diesmal wieder KollegInnen aus mehreren Nachbarländern/-regionen ihre hochgeschätzte, fachliche Expertise ein und beleben dadurch über die Grenzen hinweg den Dialog zwischen Wissenschaft, Beratung, Lehre und Praxis.

Sämtliche Beiträge stehen den Tagungsteilnehmern in bewährter Weise bereits zum Zeitpunkt des Expertenforums in schriftlicher Form zur Verfügung. An dieser Stelle sei allen ReferentInnen herzlich für die termingerechte Bereitstellung ihrer Manuskripte gedankt – ein besonderer Dank gilt vor allem Frau Brigitte Marold, Frau Mag. Elke Rüscher und Frau Viktoria Schweiger für die sorgfältige redaktionelle Bearbeitung und Layoutierung der Beiträge! Dank und Anerkennung sei auch all jenen MitarbeiterInnen der HBLFA Raumberg-Gumpenstein ausgesprochen, die an der Planung, Organisation und erfolgreichen Durchführung des 20. Alpenländischen Expertenforums 2015 mitgewirkt haben.

HR Mag. Dr. Anton HAUSLEITNER
Direktor der
HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Univ.-Doz. Dr. Erich M. PÖTSCH
Abteilung Grünlandmanagement und Kulturlandschaft,
HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Inhalt

20 Jahre Alpenländisches Expertenforum.	7
Erich M. Pötsch	
Merkmale und Funktionen von Pflanzen – Multifunktionalität von Dauergrünland anders betrachtet.	9
Jürgen Schellberg	
Erhebungsmethoden des Pflanzenbestandes im Grünland	15
Giovanni Peratoner und Erich M. Pötsch	
Spektrometrie – moderne, nicht-invasive Erfassungstechnik von Pflanzenbeständen	23
Andreas Schaumberger, Jürgen Schellberg und Jens Hollberg	
Biodiversität als zentrales Schutzgut im Programm zur ländlichen Entwicklung	33
Erich M. Pötsch und Elisabeth Schwaiger	
Zur Bedeutung von Zeigerpflanzen im Grünland	39
Andreas Bohner	
Biodiversitätsmonitoring mit LandwirtInnen	45
Daniel Bogner und Wolfgang Ressi	
Grünlandnutzung aus der Sicht der Bienen	49
Peter Frühwirth	
Einfluss der unterschiedlichen Nutzungsformen im Grünland auf das Ernährungspotential für die Honigbiene (Apis mellifera)	57
Luana Lang	
Einfluss unterschiedlicher Grünlandnutzung auf das Nahrungsangebot für die Honigbiene und andere Insekten	59
David Moser	
Der Pflanzenbestand als Basis hoher Futterqualität im Grünland	61
Reinhard Resch, Giovanni Peratoner, Giuseppe Romano, Hans-Peter Piepho, Andreas Schaumberger, Arnold Bodner, Karl Buchgraber und Erich M. Pötsch	
Langzeitversuche im Grünland – mehr als nur ressourcenzehrende Nostalgie?	77
Erich M. Pötsch, Jürgen Schellberg und Michael Hejcman	
Archäobotanik - Rekonstruktion der Vegetations- und Agrargeschichte von Grünland	85
Michael Hejcman	
Änderungen in der Grünlandvegetation durch den Klimawandel	87
Albin Blaschka	
Futterpflanzenzüchtung und Generhaltung – was braucht und was bietet das Grünland?	91
Bernhard Krautzer und Wilhelm Graiss	

20 Jahre Alpenländisches Expertenforum

Erich M. Pötsch^{1*}

1995 wurde diese Veranstaltungsserie als Diskussionsplattform für aktuelle Fragen aus dem Bereich der Alpenländischen Landwirtschaft ins Leben gerufen und zählt mittlerweile neben der Wintertagung, der Lysimetertagung und der Viehwirtschaftlichen Fachtagung zu den bereits traditionellen Fachveranstaltungen der HBLFA Raumberg-Gumpenstein. Eine wesentliche Zielsetzung dieses Forums war und ist es, unterschiedliche Problem- und Fragestellungen aus den Bereichen der Grünlandwirtschaft und des Feldfutterbaus aufzugreifen und im Kreise von Wissenschaft, Beratung, Lehre und Praxis zu präsentieren und kritisch zu diskutieren.

Insgesamt wurden in den bisherigen Expertenforen die in *Übersicht 1* angeführten Themen und Problemstellungen behandelt und an Hand von rund 270 Vorträgen intensiv bearbeitet. Knapp drei Viertel aller Vorträge wurden den Tagungsteilnehmern von FachkollegInnen aus österreichischen Forschungs- und Beratungseinrichtungen präsentiert, ein Viertel der Beiträge stammen von Wissenschaftlern aus Deutschland, Schweiz, Slowenien, Südtirol, Tschechien und Ungarn.

Drei Viertel aller Vorträge entstammen Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen, etwa 20 % wurden aus der landwirtschaftlichen Beratung, von Behörden und diversen Verbänden beigesteuert (*Übersicht 2*). Etwas selbstkritisch angemerkt sei, dass die landwirtschaftliche

Praxis bisher nicht in Form von Vorträgen oder schriftlichen Beiträgen sondern ausschließlich und auch hier leider nur marginal über den Diskussionsprozess eingebunden war. Andererseits werden aber seitens der Beratung sehr viele der dargestellten Ergebnisse eingesetzt und ein Blick auf die Download- und Zugriffsstatistik der bisherigen Expertenforen bestätigt das rege Interesse an den Themen und den zur Verfügung gestellten Beiträgen und Präsentationen. Dabei ist aber ganz klar erkennbar, dass produktionstechnische Themen deutlich stärker nachgefragt werden als etwa naturschutz- oder biodiversitätsrelevante Themenbereiche. Bisheriger Spitzenreiter in der Zugriffsstatistik ist jedenfalls das 7. Alpenländische Expertenforum im Jahr 2001, das sich mit der „Bestandesführung und Unkrautregulierung im Grünland – Schwerpunkt Ampfer“ befasst hat. Erwähnenswert erscheint, dass sich damals ein Beitrag auch sehr intensiv mit den Konkurrenzverhältnissen und dem Konkurrenzverhalten von Pflanzen im Dauergrünland beschäftigt hat und damit einen fachlichen Bogen zur diesjährigen Tagung spannt.

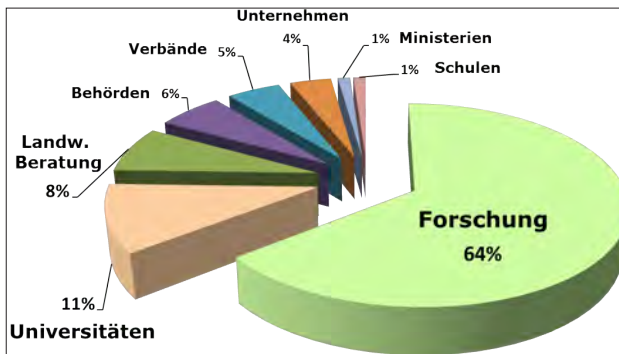
Retrospektiv betrachtet zeigt sich jedenfalls ganz deutlich, dass für einzelne, bereits behandelte Themen nach wie vor nicht nur gewisse Forschungsdefizite bestehen, sondern durch die sich ständig verändernden Rahmenbedingungen (z.B. Auflagen und Bestimmungen des Agrarumweltprogramms, Novellierung von einschlägigen Landes- und

Übersicht 1: Themenstellungen der Alpenländischen Expertenforen 1995-2015.

Jahr	Titel/Themenstellung des Expertenforums
1995	Düngung im Alpenländischen Grünland
1996	Erhaltung und Förderung der Grasnarbe
1997	Grundfutterqualität und Grundfutterbewertung
1998	Zeitgemäße Almbewirtschaftung sowie Bewertung von Almflächen und Waldweiden
1999	Zeitgemäße Weidewirtschaft
2000	Kompostanwendung in der Landwirtschaft
2001	Bestandesführung und Unkrautregulierung im Grünland – Schwerpunkt Ampfer
2002	Zeitgemäße Futterkonservierung
2003	Das österreichische Berggrünland – ein aktueller Situationsbericht mit Blick in die Zukunft
2004	Biogasproduktion – alternative Biomassenutzung und Energiegewinnung in der Landwirtschaft
2005	Züchtung, Wertprüfung und Vermehrung von Futterpflanzen für die Alpenländische Landwirtschaft
2006	Neuerungen und Herausforderungen in der Düngung von Grünland und Feldfutter
2007	Milch und Fleisch vom Alpenländischen Grünland
2008	Anlage, Erneuerung und Verbesserung von Grünland
2009	Grundfutterqualität – aktuelle Ergebnisse und zukünftige Entwicklungen
2010	Biodiversität im Grünland
2012	Bedeutung und Nutzung von Extensivgrünland
2013	Phosphor im Grünlandbetrieb – Bedeutung und aktuelle Problembereiche
2014	Futterkonservierung – Aktuelle Entwicklungen in der Silage- und Heuproduktion
2015	Bedeutung und Funktionen des Pflanzenbestandes im Grünland

¹ Abteilung Grünlandmanagement und Kulturlandschaft, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg 38, A-8952 IRDNING-DONNERSBACHTAL

* Ansprechpartner: Univ.-Doz. Dr. Erich M. PÖTSCH, erich.poetsch@raumberg-gumpenstein.at



Übersicht 2: Herkunft der Vortragenden bei den Alpenländischen Expertenforen 1995-2015.

Bundesgesetzen) immer wieder auch ein entsprechender Anpassungsbedarf herrscht.

So haben sich knapp 20 Jahre nach dem 1. Expertenforum zum Thema „Düngung im Alpenländischen Grünland“ insbesondere bedingt durch den EU-Beitritt Österreichs im Jahr 1995 und den seither zu übernehmenden Richtlinien und Normen, für viele Bereiche in der Grünlandwirtschaft eine völlig neue Situation ergeben. Das österreichische Aktionsprogramm zur Umsetzung der Europäischen Nitratrichtlinie wurde und wird wohl auch zukünftig immer wieder den aktuellen Erfordernissen angepasst und beeinflusst(e) damit sehr stark die Düngungspraxis. Dies gilt im Besonderen auch für die Richtlinien für die sachgerechte Düngung des BMLFUW, deren 7. Auflage zurzeit intensiv in den zuständigen Arbeitsgruppen des Fachbeirates für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz diskutiert und bearbeitet wird.

Auch im Zusammenhang mit der in Österreich derzeit noch hohen Akzeptanz des Agrarumweltprogramms und dessen unterschiedlichsten Maßnahmen, ergeben sich ständig neue Fragestellungen, die einer soliden wissenschaftlichen Bearbeitung und einer kritischen, offenen Diskussion bedürfen. Durch den Wegfall des Milchquotensystems wird sich in den kommenden Jahren vor allem in den Gunstlagen des Alpenländischen Raumes parallel auch eine intensivere Produktionsschiene etablieren, die sich weitgehend losgelöst von Förderungen aus dem österreichischen Umweltprogramm entwickeln wird. Die Optimierung dieser Produktion unter bestmöglicher Nutzung betriebseigener Ressourcen und dem nachhaltigen Schutz von Boden, Wasser und Atmosphäre stellt eine zunehmende Herausforderung dar.

Nach wie vor besteht eine starke Nachfrage nach praktikablen Lösungen zur nichtchemischen Bestandesführung und nachhaltigen Unkrautregulierung im Grünland. Maßnahmen zur Verbesserung und Erneuerung von verunkrauteten sowie durch Trockenheit und tierische Schädlinge zerstörten Grasnarben und Grünlandflächen bedürfen einer ständigen Neuausrichtung und Anpassung.

In vielen Fachbereichen beträgt die Halbwertszeit des Wissensstandes nur mehr wenige Jahre und unterliegt einem ständigen Zuwachs. Auch in der vielfach traditionellen, mitunter konservativen Agrarwissenschaft halten biotechnologische und (geo)technische Erneuerungen mehr und mehr Einzug und bedingen eine ständige Weiterentwicklung. Eine große Herausforderung – sowohl für die Praxis als auch für die Forschung und Beratung – stellen zweifelsohne der fortschreitende Klimawandel und die sich damit verändernden Anbau- und Wachstumsverhältnisse dar. Hier leistet die HBLFA Raumberg-Gumpenstein mit der Planung/Etablierung und dem Betrieb eines weltweit einzigartigen Freilandexperimentes (ClimGrassEco) einen elementaren Beitrag zur Klimafolgenforschung im Grünland. Die in den kommenden Jahren zu erwartenden Ergebnisse aus diesem gemeinsam mit den Universitäten Innsbruck, Wien und der Universität für Bodenkultur durchgeführten Forschungsprojekt, werden hoffentlich auch Thema eines zukünftigen Expertenforums sein.

Sowohl Präsentation, Diskussion als auch die rasche Umsetzung von Forschungsergebnissen in der landwirtschaftlichen Praxis bedürfen selbst in Zeiten der weltweiten Nutzung moderner Informationstechnologien entsprechender Plattformen, die noch eine unmittelbare, persönliche Kommunikation und den direkten Wissenstransfer an die entsprechenden Multiplikatoren gewährleisten. Die HBLFA Raumberg-Gumpenstein bietet dazu in enger Kooperation mit der Beratungsabteilung des Ministeriums für ein lebenswertes Österreich (BMLFUW) sowie der Hochschule für Agrar- und Umweltpädagogik seit nunmehr 20 Jahren das Alpenländische Expertenforum als eine solche Plattform an und sorgt damit für eine entsprechende Umsetzung und Verbreitung des Fachwissens. Alle bisherigen Tagungsbände sind auf Anfrage an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein erhältlich, ab dem 6. Expertenforum im Jahr 2000 sind die einzelnen Beiträge bzw. in weiterer Folge auch die Präsentationen als pdf-files über die Homepage (www.raumberg-gumpenstein.at) verfügbar.

Merkmale und Funktionen von Pflanzen – Multifunktionalität von Dauergrünland anders betrachtet

Jürgen Schellberg^{1*}

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 Grünlandhabitats 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

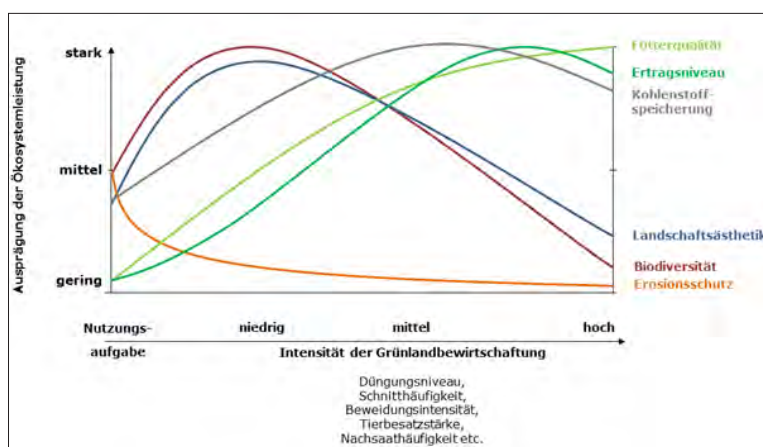


Abbildung 1: Beitrag von Ökosystemdienstleistungen auf Grünland entlang eines Gradienten der Bewirtschaftungsintensität (Kombination von Düngungsintensität, Häufigkeit der Schnitt- und Weidenutzung, Besatzdichte und Nachsaathäufigkeit). Nach Schellberg und Pötsch, 2014, verändert.

¹ 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 CO₂ 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

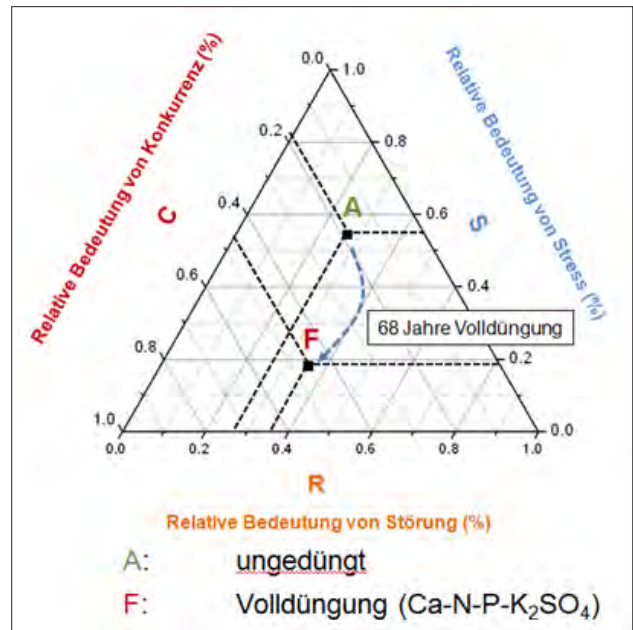


Abbildung 2: CSR-Diagramm von zwei Düngestufen im Dauerdüngungsversuch Rengen.

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		++	-

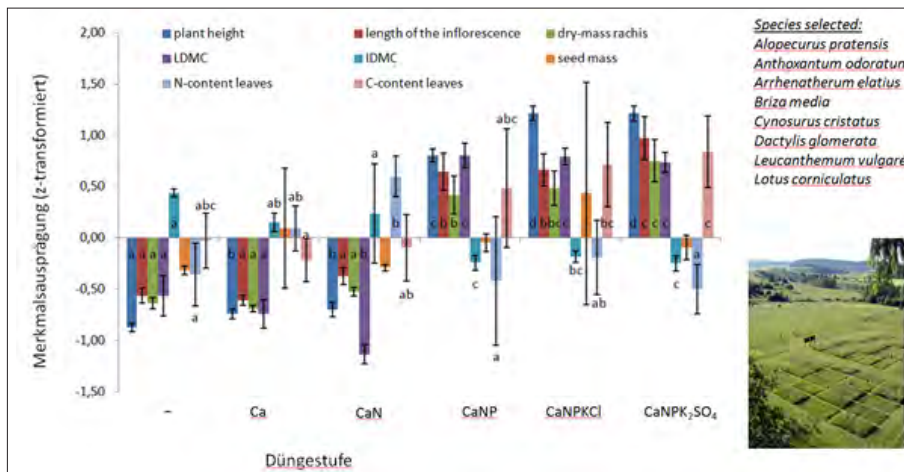


Abbildung 3: Ausprägung numerischer funktionaler Merkmale im Rengener Dauerversuch (Brühne und Schellberg, 2012, unveröffentlicht).

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.

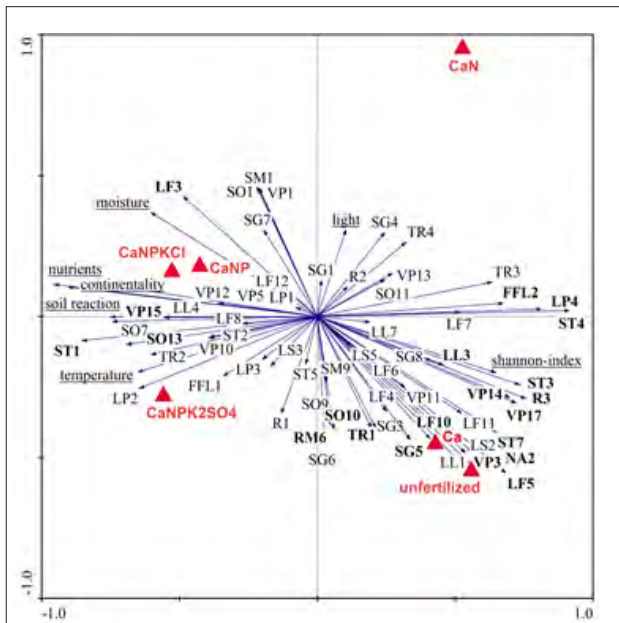


Abbildung 4: Ordinationsdiagramm einer Redundanzanalyse für funktionale Merkmale in Abhängigkeit von Eigenschaften des Standort und der Bewirtschaftung. Die Abkürzungen FFL1 to VP17 stehen für kategorische funktionale Merkmale (siehe BIOLFLOR and LEDA Datenbank) im Rengener Dauerdüngungsversuch (Brühne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

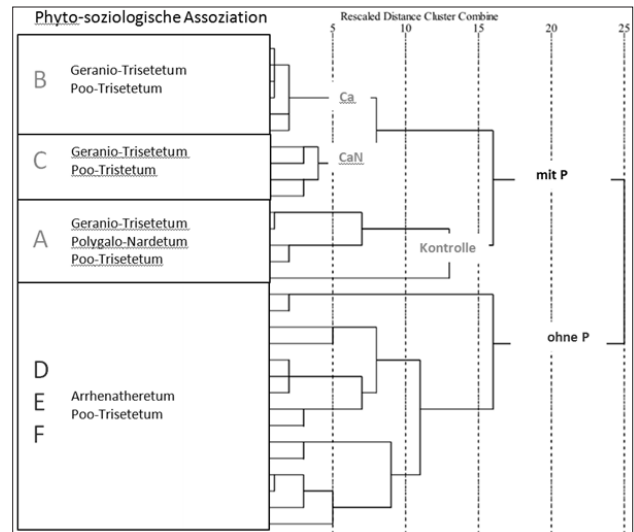


Abbildung 5: Dendrogramm der Versuchsvarianten im Rengener Dauerversuch – Cluster der phyto-soziologischen Assoziationen basierend auf der Kombination der kategorischen Merkmale von Pflanzen (Mittelwerte der Jahre 2005–2008, jeweils erster Aufwuchs).

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. Hejcman, 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.

Erhebungsmethoden des Pflanzenbestandes im Grünland

Giovanni Peratoner^{1*} und Erich M. Pötsch²

Zusammenfassung

Die Charakterisierung des Pflanzenbestandes hinsichtlich der botanischen Zusammensetzung kann durch die Erhebung verschiedener Parameter (Pflanzendichte, Deckungsgrad, Frequenz oder Ertragsanteile) erfolgen. Jeder Parameter beschreibt unterschiedliche Aspekte, die unter bestimmten Bedingungen zu einem gewissen Maß korreliert, aber nicht äquivalent sind. Die Auswahl des zu erhebenden Parameters leitet sich daher in erster Linie aus dem spezifischen Ziel der Untersuchung ab. Für die Erhebung selbst stehen zahlreiche Methoden zur Verfügung, die sich hinsichtlich der Objektivität, Genauigkeit, Aufwand und Notwendigkeit einer entsprechenden Ausrüstung unterscheiden. Die Auswahl der Erhebungsmethode hängt im Gegensatz zur Auswahl des Parameters von der zu erzielenden Genauigkeit sowie vom vertretbaren Aufwand für die Durchführung und von den verfügbaren Ressourcen ab.

Schlagwörter: Pflanzenbestand; botanische Zusammensetzung; Pflanzendichte; Deckungsgrad; Frequenz; Ertragsanteile; Erhebungsmethoden

Summary

In terms of botanical composition, the plant stand can be described by means of different parameters (plant density, cover, frequency or yield proportion). Each parameter describes different features of the vegetation, which under certain circumstances may be correlated to some extent, but are not equivalent one to each other. The choice of the parameter to be assessed depends therefore in first instance on the specific aim of the investigation. For the assessment many methods are available. They differ one from each other in terms of subjectivity, precision, effort and requirement for technical equipment. The selection of the method also depends on the required precision, the affordable effort and on the available resources.

Keywords: plant stand; botanical composition; plant density; cover; frequency; yield share; methods

Einleitung

Unter Pflanzenbestand versteht man jeden Pflanzenaufwuchs, der eine Fläche bedeckt (Voigtländer und Voss, 1979). In der Grünlandforschung ist die Charakterisierung des Pflanzenbestandes hinsichtlich der botanischen Zusammensetzung einer der wichtigsten Aspekte. Die botanische Zusammensetzung der Grünlandvegetation ist das Ergebnis zahlreicher Standort- und Bewirtschaftungsfaktoren, deren Veränderung sich wiederum auf den Pflanzenbestand auswirken. Dieser beeinflusst im Grünland ganz wesentlich den Futterertrag als auch dessen Qualität. Änderungen der botanischen Zusammensetzung über die Zeit liefern außerdem wichtige Hinweise auf die Auswirkungen von Umwelt und Bewirtschaftung auf die Vegetation. Da ein guter Teil der Grünlandvegetation einen mehrjährigen oder sogar einen dauerhaften Charakter hat, ist die Vegetationsdynamik wichtig, um mittel- und langfristige Effekte zu erkennen.

Aus all diesen Gründen spielt die Erfassung der botanischen Zusammensetzung der Wiesen und Weiden in der Grünlandforschung traditionell eine zentrale Rolle und ist wichtiger Bestandteil des Erhebungs- und Untersuchungsspektrums in Exaktversuchen und Feldstudien. Die Erfassung der

Grünlandvegetation kann auf sehr unterschiedlichen Skalierungsebenen erfolgen – von der globalen Sichtweise mittels Fernerkundung bis hin zur kleinflächigen Aufnahme mit unterschiedlichsten Methoden. Zwischen diesen Ebenen kann auch gewechselt werden, wobei sich aber die Aggregation von Detaildaten zur globalen Betrachtung deutlich einfacher darstellt als der umgekehrte Weg (Burrough, 1986; Whalley and Hardy, 2000).

Im vorliegenden Beitrag werden verschiedene Aspekte der Untersuchungen am Pflanzenbestand mit Bezug auf die botanische Zusammensetzung behandelt. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit liegt das Ziel dieses Beitrags darin, eine Übersicht und Orientierung über die wichtigsten Erhebungsparameter und -methoden zu geben, mit besonderem Fokus auf der Eignung der einzelnen Methoden in Abhängigkeit von den Zielen der Untersuchung.

Parameter zur Beschreibung der botanischen Zusammensetzung des Pflanzenbestandes

Ein erster wichtiger Aspekt ist die Auswahl eines geeigneten Parameters, der die botanische Zusammensetzung zwecksgemäß beschreibt.

¹ Sektion Berglandwirtschaft, Land- und Forstwirtschaftliches Versuchszentrum Laimburg, Laimburg 6, I-39040 BOZEN

² Abteilung Grünlandmanagement und Kulturlandschaft, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg 38, A-8952 IRDNING-DONNERSBACHTAL

* Ansprechpartner: Dr. Giovanni PERATONER, giovanni.peratoner@provinz.bz.it

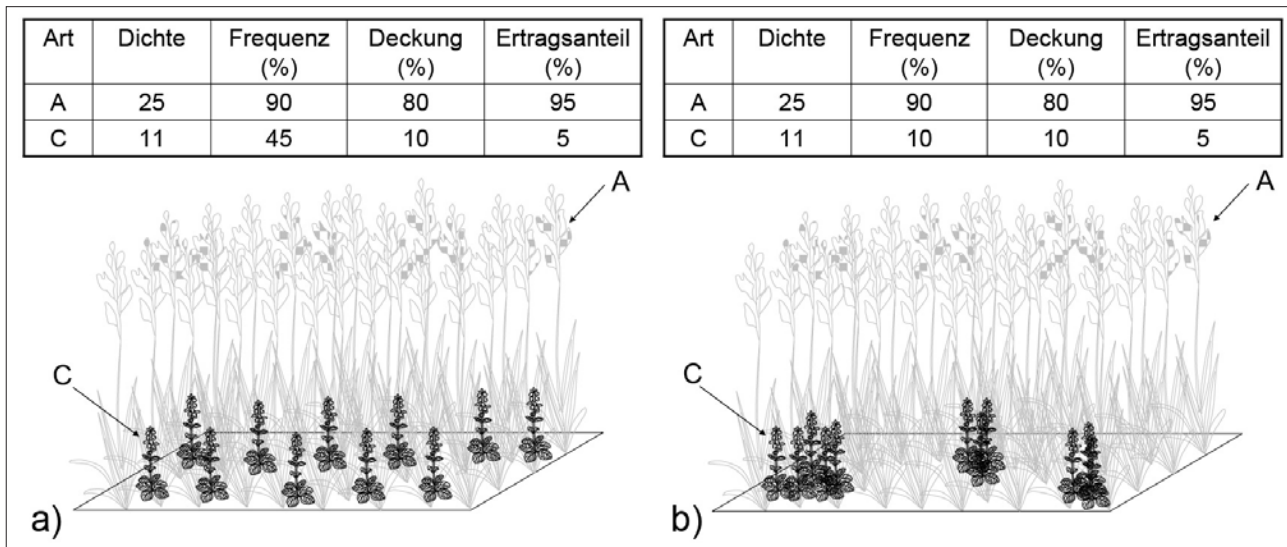


Abbildung 1: Ausprägung verschiedener Parameter in Abhängigkeit der Verteilung der Pflanzen im Bestand.

In der Regel ist die rein qualitativ beschriebene Zusammensetzung des Pflanzenbestandes – also eine Auflistung der vorkommenden Arten – unzureichend, um daraus direkt oder indirekt landwirtschaftlich relevante Information zu gewinnen. Wesentlich größere Aussagekraft besitzen hingegen in der Grünlandforschung die quantitativen Parameter, von denen die nachfolgend beschriebenen am bedeutsamsten sind:

Die **Dichte** ist die Anzahl der Individuen pro Flächeneinheit. Diese Messungen sind vor allem nützlich, um quantitative Effekte von Bestandeslenkungs- oder Bekämpfungsmaßnahmen auf die Anzahl der Pflanzen oder Pflanzenteile einer bestimmten Unkrautart zu erfassen. In der praktischen Umsetzung stellt die schwierige Erkennung der einzelnen Individuen eine besondere Herausforderung bei jenen Arten dar, die sich über Ausläufer vermehren, oder bei hoher Dichte von mehrstängeligen Pflanzen. Die Dichte kann jedoch auch in solchen Fällen erhoben werden, wenn eine Standard-Zähleinheit definiert werden kann (Bonham, 2013). Unter bestimmten Umständen ist wiederum beispielsweise die Triebdichte relevanter als die Anzahl der Individuen (Müller-Dombois und Ellenberg, 1974).

Unter dem **Deckungsgrad** versteht man jenen Anteil der Aufnahmeffläche, der bei senkrechter Projektion der oberirdischen Pflanzenteile aller Arten bedeckt wird. Bei vertikaler Betrachtung eines Pflanzenbestandes lässt sich meist feststellen, dass dieser nicht überall geschlossen ist, sondern auch vegetationsfreie Lücken bestehen, deren Flächenausmaß zur Bestimmung der projektiven Deckung von der gesamten Aufnahmeffläche abgezogen wird.

Ein vollflächig entwickelter Pflanzenbestand weist somit eine projektive Deckung von 100 % auf.

Wenn bei der vertikalen Überlappung mehrerer Pflanzenteile nur der oberste Pflanzenteil berücksichtigt wird, kann die Gesamtdeckung 100 % nicht übersteigen und man spricht von projektiver Deckung (Engl. *top cover* nach Greig-Smith, 1983). Andere Definitionen des Deckungsgrades beziehen sich wiederum auf den Flächenanteil des nackten, offenen Bodens, also eigentlich auf die Lückigkeit der Grasnarbe. Dieser Zustand, der unterschiedliche Ursachen haben kann

(Aktivität von Wühlmaus, Maulwurf, Engerlinge, Tritt- und Spurschäden etc.) lässt sich am besten unmittelbar nach dem Schnitt oder nach einer Beweidung erheben.

In bestimmten Fällen wird der Deckungsgrad (oder Flächenprozentenschätzung) jeder Art inklusiv der Pflanzenteile, die von anderen darüberliegenden Pflanzenteilen abgeschirmt werden, berücksichtigt. In solchen Fällen kann der Gesamtdeckungsgrad auch höher als 100 % sein (Whalley und Hardy, 2000; Kirmer, 2004).

In der englischen Literatur wird auch zwischen *basal cover* und *canopy cover* unterschieden. Im ersten Fall wird nur die Basis der Pflanzen, im zweiten Fall hingegen werden alle oberirdischen Pflanzenteile berücksichtigt (Whalley und Hardy, 2000).

Der Deckungsgrad wird am häufigsten in vegetationsökologischen und pflanzensoziologischen Studien verwendet. Die projektive Deckung (*top cover*) hat große Relevanz in der Bewertung des Erosionsschutzes seitens der Vegetation, da es einen relativ engen Zusammenhang zwischen Vegetationsdeckungsgrad und Bodenabtrag gibt (Copeland, 1965; Linse *et al.*, 2001).

Die **Frequenz** ist der Prozent der Fälle, an denen eine bestimmte Art an einer bestimmten Anzahl von Beobachtungsstellen (Flächen oder Punkten) vorkommt. Die Frequenz liefert eher einen Hinweis auf die Uniformität der Verteilung als auf die Abundanz von Individuen, da Pflanzen oft fleckenweise auftreten (Müller-Dombois und Ellenberg, 1974; Greig-Smith, 1983). Dieser Parameter eignet sich besonders gut für Untersuchungen der Vegetationsdynamik, wenn Beobachtungsflächen über die Zeit wiederholt untersucht werden (Bonham, 2013). Nach der Methode von Daget und Poissonet (1971) werden aus den Frequenzwerten die spezifischen Anteile (Fr.: *contributions spécifiques*) als Quotient zwischen der Frequenz einer Art und der Summe der Frequenz aller Arten abgeleitet.

Der **Ertragsanteil** ist der prozentuelle Anteil (Gewichtsprozent) der erntbaren oberirdischen Pflanzenteile einer Art oder einer Artengruppe im Bezug auf den gesamten Trockenmasse-Ertrag (Klapp, 1930; zit. in Voigtländer und

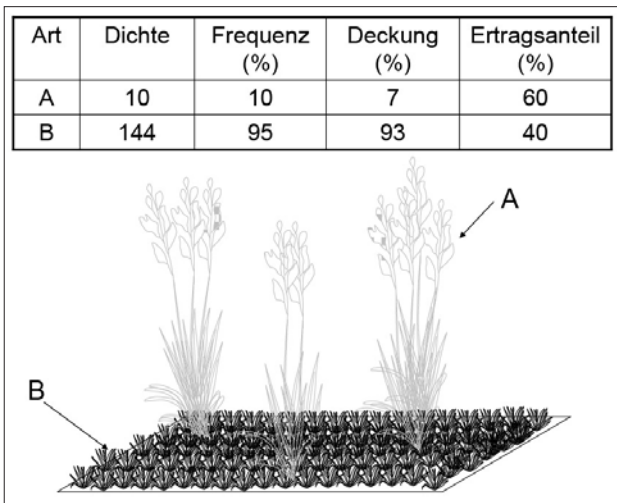


Abbildung 2: Unterschiedliche Ausprägung von Deckung und Ertragsanteil.

Voss, 1979). Dieser Parameter eignet sich besonders gut für agronomische Studien, bei denen die Futterproduktion und insbesondere die Futterqualität im Vordergrund stehen.

Je nach untersuchtem Parameter ändert sich die Bedeutung und Aussagekraft der gelieferten Information. So würde zum Beispiel eine Pflanzenart mit sehr kleinen Individuen, die gleichmäßig in einem wüchsigen Pflanzenbestand verteilt sind, zwar eine hohe Frequenz und Pflanzendichte aufweisen, aber einen niedrigen Deckungsgrad und Ertragsanteil haben (Abbildung 1a). Wenn dieselbe Art aber nesterweise aufträte, bliebe die Pflanzendichte hoch, während hingegen die Frequenz niedrig wäre (Abbildung 1b).

Sowohl die Ertragsanteile als auch der Deckungsgrad liefern Information bezüglich des quantitativen Vorkommens der Arten. Obwohl sie eigentlich zwei verschiedene Parameter der Vegetation beschreiben, wird oft davon ausgegangen, dass ähnliche Ausprägungen über die Schätzung von Deckungsgrad oder Ertragsanteilen zu erhalten sind. Relevante Unterschiede sind allerdings vor allem zu erwarten, wenn fleckenweise verteilte, große Pflanzen mit einer eher niedrigwüchsigen, ertragsarmen Pflanzendecke kombiniert sind (Abbildung 2).

Am nachfolgenden Anschauungsbeispiel demonstriert Weinzierl (1902) die unterschiedlichen Beurteilungsergebnisse hinsichtlich der vorliegenden Pflanzengesellschaft auf Basis einer Gewichtsprozentenerhebung bzw. einer Flächenprozentenschätzung (Tabelle 1). Der unmittelbare Vergleich der jeweiligen Arten zeigt dabei aber den starken Unterschied in Abhängigkeit des aufgenommenen Parameters.

Tabelle 1: Charakterisierung der Pflanzengesellschaft aufgrund unterschiedlicher Erhebungsmethoden des Pflanzenbestandes (Weinzierl, 1902).

Heuanalyse - Gewichtsprozent		Heuanalyse - Flächenprozent	
Phragmites communis	25	Phragmites communis	5
Phalaris arundinacea	20	Phalaris arundinacea	5
Festuca arundinacea	18	Festuca arundinacea	10
Agrostis vulgaris	17	Agrostis vulgaris	65
15 andere Species	20	15 andere Species	15
= Rohrwiese (Phragmitetum)	100	= Strausgraswiese (Agrostis)	100

Weinzierl (1902) schließt aus dieser Gegenüberstellung, dass „eine botanische Analyse, welche nur den Gewichtsanteil einer Species angibt [sic], nicht geeignet ist, den botanischen Charakter der Mischung oder eines Wiesenbestandes richtig zum Ausdruck zu bringen“.

Zeitpunkt der Aufnahmen

Die Pflanzenbestandsaufnahmen sollten bei Wiesen unmittelbar vor dem Schnitt des ersten Aufwuchses erfolgen, wobei auch das jeweilige Vegetationsstadium zumindest der Hauptbestandbildner erhoben werden sollte. Die Artenliste sollte im Idealfall bei den folgenden Aufwüchsen noch ergänzt und kontrolliert werden, weil manche Arten nämlich beim ersten Aufwuchs leicht übersehen werden (z. B.: Herbstlöwenzahn) oder sich erst später entwickeln. Bei den weiteren Aufwüchsen erscheint jedenfalls eine Gewichtsprozentenschätzung der Artengruppen Gräser, Kräuter, Leguminosen sinnvoll, um auch Veränderungen zwischen den einzelnen Aufwüchsen zu dokumentieren.

Auswahl einer geeigneten Skala für Schätzungen

In der Pflanzensoziologie werden oft für Schätzungen Skalen verwendet, welche auf Intervalle von Werten basieren. Sehr oft wird die von Braun-Blanquet (1964) vorgeschlagene siebenteilige Skala verwendet, bei der die Variationsbreite bei einzelnen Klassen 20 % (2) bzw. 25 % (3, 4 und 5) beträgt. Es handelt sich um eine sogenannte Abundanz/Dominanz-Skala zur Schätzung der Artmächtigkeit, weil bei niedrigen Deckungsgrad-Werten auch die Pflanzendichte berücksichtigt wird (Voigtländer und Voss, 1979). Mehrere Skalen, die sogenannten ordinalen Skalen, besitzen ungleich breite Intervalle: bei niedrigen Deckungsgrad- oder Ertragsanteil-Werten werden engere Intervalle und bei hohen breitere Intervalle verwendet (siehe zum Beispiel Van Der Maarel, 1979; Gauch, 1982; Dietl, 1995). Sie entsprechen daher eher einer logarithmischen Skala (Abbildung 3). Diese Skalen berücksichtigen die Tatsache, dass es leichter ist, kleine Unterschiede bei niedrigen Werten relativ zuverlässig zu beurteilen (z.B. ein Unterschied zwischen 3 und 5 %), während es nahezu unmöglich ist, denselben Unterschied bei hohen Werten objektiv zu erfassen (z.B. zwischen 45 und 47 %). Sehr hohe Werte können hingegen durch Abzug der schwach vertretenden, genauer schätzbaren Arten relativ genau erfasst werden (Traxler, 1997). Diese Skalen sind daher dem menschlichen Wahrnehmungsvermögen besser angepasst als die Prozentskala und vermeiden die Vortäuschung übermäßiger Genauigkeit. Allgemeine Nachteile

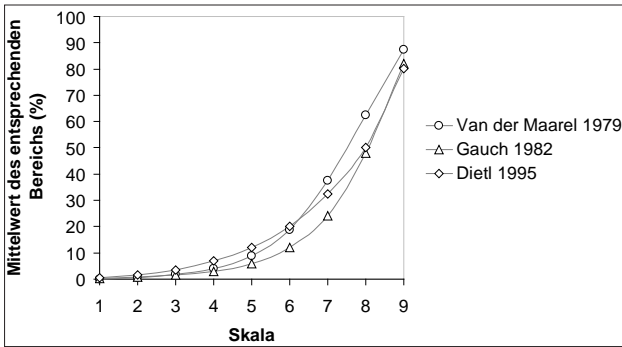


Abbildung 3: Vergleich verschiedener neunstufiger logarithmus-ähnlicher Skalen. Die Mittelpunkte der jeweiligen Intervalle werden dargestellt.

sind allerdings der Verzicht auf einen Teil der Information bei einem unbekanntem Schätzungsvermögen des jeweiligen Beobachters sowie die Unmöglichkeit einer iterativen Anpassung der Schätzgenauigkeit über das Addieren aller geschätzten Prozentanteile, die 100 % ergeben sollen. Sie sind allerdings für Ordinationsverfahren und multivariate Statistik, die in der Vegetationsökologie häufig verwendet werden, einsetzbar (Gusmeroli, 2012).

Zu erwähnen sind auch weitere Skalen, wie etwa jene nach Pfadenhauer *et al.* (1986) mit 8 Klassen, Londo (1976) mit 12 Klassen oder die nach Zacharias (1996) modifizierte Londo-Skala mit 20 Klassen. Zusätzliche Schätzskalen existieren weiters noch von Schmidt (1974, zitiert in Pfadenhauer *et al.*, 1986), Dierschke (1994), Wilmanns (1989) und Bornkamm und Hennig (1982).

Klapp (Klapp, 1930; zit. in Voigtländer und Voss, 1979) hat, bezogen auf die Ertragsanteilschätzung einzelner Arten, die Skalen der Pflanzensoziologie als zu weit gefasst erachtet und für Grünlandstudien eine Unterteilung der Masse auf Prozente eingefordert. Grobe Skalen können keine feinen Veränderungen aufzeigen, umgekehrt zwingen fein abgestufte Skalen zur genaueren Schätzung, die aber eine maximale Schätzgenauigkeit nicht überschreiten kann. Ein wesentlicher Vorteil der Verwendung einer prozentuellen Skala besteht in einer Verbesserung der Verrechnungsmöglichkeiten in Feldversuchen. So können damit für einzelne

Arten oder Artengruppen auch entsprechende Mittelwerte für die im Versuchswesen ganz besonders wichtigen Wiederholungen gebildet werden. Prozentuelle Werte können außerdem jederzeit mit den bereits genannten mehrstufigen Skalen transformiert werden.

Erhebungsmethoden

Weltweit wurden im vergangenen Jahrhundert unterschiedlichste Erfassungsmethoden für Pflanzenbestände im Grünland entwickelt und angewandt (Hanson, 1934; Braun-Blanquet, 1951; Johnston, 1957; Schechtner, 1958). Zahlreiche Autoren befasst(en) sich mit der Verlässlichkeit und Reproduzierbarkeit oder auch mit der Vergleichbarkeit unterschiedlicher Erhebungsmethoden (Goodall, 1952; Tüxen, 1972; Greig-Smith, 1983; Everson *et al.*, 1990; Leps, 1992; Traxler, 1997). Vor allem bei Untersuchungen, welche Bezug auf die Pflanzensoziologie und auf die Beurteilung der Artenvielfalt haben, stellt die Auswahl der Aufnahmefläche, unabhängig von der verwendeten Methodik der Erhebung, einen wichtigen Aspekt dar. Im Wirtschaftsgrünland sollte die möglichst homogene Aufnahmefläche nicht kleiner als 50 m² sein, ideal erscheint eine Größe von 100 m². Manche diagnostisch relevante Arten wachsen nämlich zerstreut und werden bei einer zu kleinen Aufnahmefläche nicht erfasst (Bohner und Sobotik, 2000). Jedenfalls sollte sich die Anzahl der Erhebungen sowie die Größe der Aufnahmefläche nach der Homogenität des Standortes bzw. auch nach der Erhebungsmethode orientieren. Die Größe der jeweils optimalen Aufnahmefläche kann auch empirisch durch die Erstellung eines Artenanzahl-Flächendiagramms erhoben werden. Dazu wird ausgehend von einer bestimmten Erhebungsgröße (z.B. 0,5 x 0,5 m) die darin vorkommende Artenzahl erhoben und dann die Fläche durch Umklappen des Rahmens so lange vergrößert bis die akkumulierte Artenanzahl nicht mehr weiter ansteigt. Fläche und Artenanzahl werden gegeneinander im Diagramm aufgetragen und jene Flächengröße für die Erhebungen ausgewählt, ab welcher der Zuwachs der Artenanzahl abnimmt (Whalley and Hardy, 2000). Wenn wie bei Feldversuchen die Größe der Aufnahmefläche durch die Parzellengröße vorgegeben ist, ist es wichtig für die Pflanzenbestandsaufnahme nur den zentralen homogenen Bereich der Parzelle heranzuziehen,

Tabelle 2: Eignung ausgewählter Erhebungsmethoden für Pflanzenbestände im Grünland sowie deren spezifische Eigenschaften.

Methode	Erfassbare Parameter				Eigenschaften				
	Dichte	Deckungsgrad	Ertragsanteile	Frequenz	Genauigkeit/Wiederholbarkeit	Subjektivität	Zeitaufwand	Notwendigkeit spezieller Geräte	Abhängigkeit von der Witterung
Visuelle Schätzung		x	x		+	++++	+++	-	+
Zählrahmen	x				+++	+	+	+	+
Frequenzrahmen				x	++	+	++	+	+
Lineare Analyse nach Daget & Poissonet			x	x	++	+	+++	+	+
Punkt-Quadrat-Rahmen		x	x	x	++	+	+++	++	++
Manuelle Trennung von Arten(gruppen)			x		+++	-	++++	+	-
Spektrometrie	x	x	x		+++	-	+	++++	++++

Legende: - keine, + niedrig, ++ mittel, +++ hoch, ++++ sehr hoch

* hängt stark vom Schätzungsvermögen und Erfahrung des einzelnen Beobachters ab; bei guter Genauigkeit des einzelnen Beobachters kann die Wiederholbarkeit über die Zeit gut sein

** wenn intervallbasierte Skalen verwendet werden, reduziert sich der Zeitaufwand noch stärker

um allfällige Randeffekte wie auch bei den Ertragsmessungen auszuschalten.

Die geläufigsten Erhebungsmethoden werden in der Folge beschrieben. Dabei wird der Schwerpunkt eher auf die operativen Aspekte der Methoden, was eine Gruppierung in relativ wenigen Kategorien ermöglicht. Eine Übersicht der Eigenschaften der Methoden ist in *Tabelle 2* zu finden.

Visuelle Schätzung: Der Hauptvorteil dieser Methode liegt in der Unabhängigkeit von Geräten zur Durchführung der Aufnahme und in der niedrigen Zeitaufwand für die Durchführung. Voigtländer und Voss (1979) sowie Dethier *et al.* (1993) verweisen darauf, dass visuelle Schätzungen unter günstigen Umständen der Genauigkeit von objektiven Methoden nicht nachstehen. Die Schätzgenauigkeit hängt allerdings von zahlreichen Aspekten ab, wie:

- Flächengröße (je kleiner umso genauer);
- Verteilungsmuster der Art (kompakte Flecken sind besser schätzbar als verteilte Einzelindividuen oder durchwachsene Bestände);
- Wuchsform der Art (Horststrukturen und Rosetten sind einfacher zu schätzen als beispielsweise Gräser);
- Visuelle Unterscheidbarkeit der Arten;
- Schichtigkeit des Bestandes (Grünland gilt diesbezüglich als besonders schwierig einzuschätzen);
- Blühaspekt (blühende Pflanzen werden gerne überschätzt);
- Möglichkeit des Betretens der ganzen Beobachtungsfläche: In Versuchen, bei denen die agronomischen Aspekte im Vordergrund stehen und der Pflanzenbestand auch nach den botanischen Erhebungen einwandfrei geerntet werden soll, erfolgt die Schätzung meistens von den Seiten der Parzelle aus, was im Fall der Erhebung des Deckungsgrades keine gute Voraussetzung für die Beurteilung der projektiven Deckung darstellt.

Dazu kommt natürlich auch noch die subjektive Verfassung, Ausbildungsstand, Erfahrung und Routine des Bearbeiters/der Bearbeiterin. So sind zum Beispiel die Beobachtungen am Ende eines langen Arbeitstages in der Regel weniger genau als diejenigen zu Beginn des Tages. Außerdem ermöglichen Vorkenntnisse zur erhebenden Vegetation seitens des Beobachters eine gezielte Suche nach Arten, die im Pflanzenbestand erwartet werden. Im Idealfall sollten Flächen möglichst langfristig von denselben Personen erhoben werden – selbst wenn auch dabei ein gewisser subjektiver Schätzfehler auftritt, so können mit derartigen Erhebungen sehr gute und verlässliche Vergleiche zwischen unterschiedlichsten Behandlungen erfolgen. Die Visuelle Schätzung eignet sich für die Erhebung sowohl des Deckungsgrades als auch der Ertragsanteile.

Nach der Klapp/Stählin-Methode (Klapp, 1930; zit. in Voigtländer und Voss, 1979) wird der Gewichtsprozentanteil der einzelnen Arten bezogen auf die Gesamtheit (= 100 %) der erntbaren Biomasse mittels einer Schätzung erhoben, die von erfahrenen Personen sehr rasch durchgeführt werden kann. In der Regel wird vorerst eine Liste aller vorkommenden Arten angefertigt. Dann werden vorerst die Ertragsanteile der drei Gruppen Gräser (inklusive der grasartigen Arten: Sauergräser und Binsengewächse),

Kräuter und Leguminosen geschätzt. Diese Anteile werden anschließend zwischen den einzelnen Arten unterteilt. Die Schätzung der einzelnen Arten fängt üblicherweise mit den am schwächsten vertretenen Arten an, die genauer geschätzt werden können.

Nach Traxler (1997) ist die visuelle Deckungsschätzung sicher die häufigste Methode im vegetationsökologischen Monitoring, weil sie einfach und schnell durchgeführt werden und zusätzlich auch genau sein kann. Die an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein verwendete Form der Aufnahme des Deckungsgrades (Flächenprozentenschätzung) für die pflanzensoziologische Aufnahme von Grünlandbeständen basiert auf der von Braun-Blanquet (1951) entwickelten Methode, die von Schechtner (1958) modifiziert wurde. Im Gegensatz zu den in der Pflanzensoziologie und Botanik häufig verwendeten fünf- bis neunteiligen ordinalen Skalen wird nach der Methode von Schechtner eine prozentuelle Schätzung der Einzelarten vorgenommen, die allerdings sehr viel Erfahrung, Routine und auch Zeit bei der Durchführung der Aufnahmen erfordert. Zur praktischen Durchführung der Aufnahme werden zunächst alle vorkommenden Arten der Erhebungsfläche notiert und folgenden Gruppen zugeteilt: Ober- und Mittelgräser, Untergräser, Grasartige (Sauergräser und Binsengewächse), Leguminosen, Kräuter. Anschließend wird die Deckung der einzelnen Arten direkt in Flächenprozent geschätzt. Zur Darstellung von sehr geringen Deckungsgraden werden zusätzlich nachfolgende Symbole verwendet:

- ++ = „selten“ (=0,66 Fl.-%),
- + = „sehr selten“ (=0,33 Fl.-%),
- r = für „rar“, wenn nur einzelne (1-2) Individuen vorkommen.

Nach der Erfassung aller einzelnen Arten werden zunächst die Flächenprozentanteile innerhalb der Gruppen summiert. Die Gesamtdeckung der Aufnahmefläche, die man durch Addition der Deckungsprozentanteile der Gruppen bzw. aller einzelnen Bestandestypen erhält, kann in gut wüchsigen, geschlossenen Beständen bei 130 bis 140 Fl.-% liegen, bei sehr schlecht wüchsigen, mageren Beständen können die Werte auch unter 100 % absinken. Eine Kontrolle der geschätzten Flächenprozentanteile kann auf verschiedene Weise erfolgen. Durch Überprüfung und den visuellen Vergleich der Gesamtdeckung mit anderen Erhebungsflächen kann festgestellt werden, ob in Summe zu hoch oder zu niedrig geschätzt wurde. Eine weitere Kontrolle erhält man durch die Überprüfung des Verhältnisses der Deckungsgrade ausgewählter Arten oder Artengruppen zueinander.

Schätzrahmen (Frequenzrahmen, Zählrahmen): Die Verwendung von Rahmen ermöglicht eine präzise Definition der Flächen, innerhalb deren die Erhebung erfolgt. Ein kritischer Aspekt bei der Verwendung dieser Methode ist die Entscheidung, ob Pflanzen, deren Teile sich nicht vollständig innerhalb der eingegrenzten Fläche befinden, als vorhanden oder nicht vorhanden zu betrachten sind. Die Bewurzelung innerhalb des Rahmens wird in der Regel als Kriterium für diese Entscheidung herangezogen. Trotzdem behält sie einen gewissen Grad der Subjektivität für Pflanzen, die an den Rändern des Rahmens wurzeln. Aus diesem Grund spielt die Größe des Rahmens eine wichtige Rolle: Je kleiner die



Abbildung 4: Abloten mit Frequenzrahmen (Quelle: E.M. Pötsch).

Fläche des Rahmens, desto größer werden der Randanteil im Bezug auf die Aufnahme­fläche sowie die Häufigkeit unsicherer Entscheidungen (Müller-Dombois und Ellenberg, 1974). In der Grünlandforschung werden Quadraten von 0,5 x 0,5 m oder 1 x 1 m sehr häufig verwendet (Whalley und Hardy, 2000). Rahmen können für die Beurteilung des Deckungsgrades, der Pflanzendichte oder auch der Frequenz herangezogen werden.

Für Frequenzmessungen werden üblicherweise quadratische Rahmen in 100 Quadraten unterteilt. In jedem Quadrat wird das Vorkommen jeder einzelnen Art erhoben. Die Anzahl aller Quadrate, bei denen die Art vorkommt, ergibt ihre Frequenz. Runde Rahmen mit einer Fläche von 0,1 m² können nach Raunkiaer (1934) für eine zufällige Auswahl der Beobachtungsstellen verwendet werden, an denen das



Abbildung 5: Abloten mittels Frequenzgestell (Quelle: G. Peratoner).

Vorkommen der Arten untersucht wird, indem der Rahmen wiederholt geworfen wird.

Punkt-Quadrat-Methode: Bei dieser Methode, unter verschiedenen Namen und Varianten bekannt (Punkt-Berühr-Methode, Point intercept method, Point Quadrat method, Point intercept method, Point frame method), wird das Vorkommen einer Art nicht innerhalb einer Fläche, sondern an einem Punkt erhoben (Levy und Madden, 1933; Goodall, 1952; Goodall, 1953). Dafür wird in der Regel ein Gestell oder ein Rahmen verwendet, mit deren Hilfe Stäbe oder Drähte mit einer dünnen Spitze vertikal abgesenkt werden (Abbildung 4 und 5). Die Kontakte zwischen Vegetation und Spitze definieren das Vorkommen einer Art. In französischen und italienischen Weideuntersuchungen wird oft eine vom Punkt-Quadrat abgeleitete Methode, die lineare Analyse nach Daget und Poissonet eingesetzt. Dabei wird ein Bajonett oder ein Metallstab in regelmäßigem Abstand entlang eines gespannten Maßbandes in den Boden gesteckt und die Kontakte zwischen Bajonett/Metallstab und den Pflanzen werden erhoben (Daget und Poissonet, 1971; Ostermann, 1991).

Die Punkt-Quadrat-Methode eignet sich sowohl für die Erhebung des Deckungsgrades (Top Cover) wenn nur der erste Kontakt notiert wird, als auch für Frequenzmessungen, wenn alle betroffenen Arten pro Beobachtungspunkt notiert werden. Wenn alle Kontakte pro Punkt (inklusive der wiederholten Kontakte derselben Art beim selben Punkt) notiert werden, können die daraus abgeleiteten spezifischen Anteile als relativer Ausdruck der Phytomasse angesehen werden (Goodall, 1952; Ostermann, 1991). Die Erhebung des Deckungsgrads kann auch über Teleskoprohre erfolgen, bei denen die Funktion der Drähte bzw. der Stäbe durch ein Fadenkreuz ersetzt wird (Traxler, 1997).

Die Punkt-Quadrat-Methode bietet gute Objektivität und Genauigkeit bei Untersuchungen der Vegetationsdynamik (Stampfli, 1991). Seine Nachteile bestehen vor allem im hohen Zeitaufwand sowie in der schwierigen oder unmöglichen Durchführung bei windigen Verhältnissen und bei hohen Pflanzenbeständen. Auch die Notwendigkeit einer sehr hohen Anzahl von Wiederholungen für die Erfassung der selten vorkommenden Arten wird als Nachteil erwähnt (Traxler, 1997). Für praktische Zwecke scheinen allerdings die Vervollständigung der Artenliste durch die vorhandenen aber nicht getroffenen Arten sowie die Vergabe einer Frequenz unter 1% ein annehmbarer Kompromiss bei den Untersuchungen in Versuchspartelle (Peratoner, 2003).

Manuelle Separierung des Erntegutes: Theoretisch kann die exakte Erfassung sowohl auf Arten- als auch Artengruppenebene durch das händische Separieren von Erntegut erfolgen, wobei der dafür erforderliche Arbeitsaufwand allerdings als sehr hoch zu bezeichnen ist. Eine Separierung wird daher meist nur an definierten Teilproben nach den drei im Grünland unterschiedenen Artengruppen Gräser, Leguminosen und Kräuter durchgeführt, um etwa deren spezifische Eigenschaften zu untersuchen bzw. deren Einfluss auf bestimmte Kennwerte zu berücksichtigen (Pötsch und Resch, 2007; Weichselbaum, 2015).

Spektrometrie: Diese zerstörungsfreie Erhebungsmethode ermöglicht die Analyse von biologischen Systemen hin-

sichtlich ihrer Komponenten, Strukturen und molekularer Wirkungsweisen. Zur Charakterisierung von Pflanzenbeständen und deren Entwicklungsdynamik können mittels der Spektrometrie zahlreiche Indices ermittelt und diese in Beziehung zu referenzierten Erhebungen gesetzt werden. Es bestehen aber auch Ansätze, diverse Unkräuter mittels spektrometrischer Verfahren zu detektieren (z.B. Glenn *et al.*, 2005). Zurzeit ist die Anwendung dieser modernen Erhebungstechnik allerdings noch der Forschung vorbehalten, zukünftig ist aber mit einem stärkeren Einsatz etwa im Bereich der Fernerkundung zu rechnen (Schaumberger u.a., 2015).

Schlussfolgerungen

Die Auswahl einer geeigneten Methode für die botanische Charakterisierung des Pflanzenbestandes soll sich nach mehreren Kriterien orientieren. Das Ziel der Untersuchung bestimmt in erster Linie die Auswahl des zu erhebenden Parameters. So ist zum Beispiel ein direkter Bezug zur Phytomasse durch die Erfassung von Ertragsanteilen empfehlenswert, wenn der Fokus der Untersuchung eher auf der Futterqualität liegt. Wenn jedoch die Verteilung der Arten im Bestand von Interesse ist, kann dies durch die Untersuchung der Frequenz am besten beschrieben werden. Nicht zu vergessen ist die geplante Nutzung der Ergebnisse in Kombination mit unterschiedlichen Indikatoren. Während ökologische Zeigerwerte in der Regel in der Vegetationsökologie in Kombination mit Deckungsgraddaten oder Ertragsanteilen verwendet werden (Spatz *et al.*, 1979; Briemle, 1997; Böhner, 2015), scheint die Verwendung von agronomisch bezogenen Indikatoren (Briemle *et al.*, 2002; Peeters, 2015) vor allem in Kombination mit Ertragsanteilen sinnvoll.

Die Auswahl der Methode für die Erhebung des ausgewählten Parameters hängt schließlich auch von der erwarteten respektive zu erzielenden Genauigkeit sowie vom vertretbaren Aufwand für die Durchführung und den verfügbaren Ressourcen ab.

Literatur

- Böhner, A. (2015): Bedeutung und Aktualität von Zeigerpflanzen im Grünland. Bericht zum 20. Alpenländischen Expertenforum „Bedeutung und Funktionen des Pflanzenbestandes im Grünland“, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, S 39.
- Böhner, A. und M. Sobotik (2000): Das Wirtschaftsgrünland im Mittleren Ennstal aus vegetationsökologischer Sicht. In: MAB-Forschungsbericht. Landschaft und Landwirtschaft im Wandel. Das Grünland im Berggebiet Österreichs. 22.-23. September 2000, Wien. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein. 195 S.
- Bonham, C.D. (2013): Measurements for terrestrial vegetation. 2. Edition. Wiley, Hoboken. 246 S.
- Bornkamm, R. und U. Hennig (1982): Experimentell-ökologische Untersuchungen zur Sukzession von ruderalen Pflanzengesellschaften auf unterschiedlichem Boden. I. Zusammensetzung der Vegetation. Flora (Jena), 172: 267-316.
- Briemle, G. (1997): Zur Anwendbarkeit ökologischer Wertzahlen im Grünland. Angewandte Botanik 71, 219–228.
- Briemle, G., S. Nitsche und L. Nitsche (2002): Nutzungswertzahlen für Gefäßpflanzen des Grünlandes. Schriftenreihe für Vegetationskunde 38: 203-225.
- Braun-Blanquet, J. (1951): Pflanzensoziologische Grundzüge der Vegetationskunde. 2. umgearbeitete und vermehrte Auflage, Springer-Verlag, Wien, 631 S.
- Burrough, P.A. (1986): Principles of Geographic Information Systems for Land Resource Assessments. Oxford University Press, Oxford, 193 pp.
- Copeland, O.L. (1965): Land use and ecological factors in relation to sediment yields. Proceedings of the Federal Inter-Agency Sedimentation Conference 2, 72–84.
- Daget, P., and J. Poissonet (1971): Une méthode d'analyse phytologique des prairies. Critères d'application. Annales Agronomique 22, 5–41.
- Dethier, M.N., E.S. Graham, S. Cohen and L.M. Tear (1993): Visual versus random-point percent cover estimations: 'objective' is not always better. Marine Ecology Progress Series, 96: 93-100.
- Dierschke, H. (1994): Pflanzensoziologie. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 683 S.
- Dietl, W. (1995): Wandel der Wiesenvegetation im Schweizer Mittelland. Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz 4: 239–249.
- Everson, T.M., G.P.Y. Clarke and C.S. Everson (1990): Precision in monitoring plant species composition in montane grasslands. Vegetatio 88: pp. 135-141.
- Gauch, H.G. (1982): Multivariate analysis in community ecology. Cambridge studies in ecology, 1. Cambridge University Press, Cambridge, 298 S.
- Glenn, N.F., J.T. Mundt, K.T. Weber, T.S. Prather, L.W. Lass and J. Pettingill (2005): Hyperspectral data processing for repeat detection of small infestations of leafy spurge. Remote Sensing of Environment, 95(3), 399-412.
- Goodall, D.W. (1952): Some considerations in the use of point quadrats for the analysis of vegetation. Australian Journal of Scientific Research 5: 1–41.
- Goodall, D.W. (1953): Point quadrat methods for the analysis of vegetation. The treatment of data for tussock grasses. Australian Journal of Botany 1: 457–461.
- Greig-Smith, P. (1983): Quantitative plant ecology. Third edition, University of California Press, Berkeley, Los Angeles, 360 S.
- Gusmeroli, F. (2012): Prati, pascoli e paesaggio alpino. SoZooAlp, San Michele all'Adige, 264 S.
- Hanson, H.C. (1934): A comparison of methods of botanical analysis of the native prairie in western North Dakota. J. Agr. Res 49 (9): 815-842.
- Kirmer, A. (2004): Methodische Grundlagen und Ergebnisse initiiert Vegetationsentwicklung auf xerothermen Extremstandorten des ehemaligen Braunkohletagebaus in Sachsen-Anhalt. Dissertationes Botanicae, 385. Cramer, Berlin, Stuttgart, 167 S.
- Klapp, E. (1930): Zum Ausbau der Graslandbestandsaufnahme zu wissenschaftlichen Zwecken. Pflanzenbau 6: 197-210.
- Johnston, A. (1957): A comparison of the line interception, vertical point quadrat, and loop methods as used in measuring basal area of grassland vegetation. Canadian Journal of Plant Science 37 (1): 34-42.
- Leps, J. and V. Hadincová (1992): How reliable are our vegetation analyses? Journal of Vegetation Science 3 (1): 119-124.
- Levy, F.B. and E.A. Madden (1933): The point method of pasture analysis. New Zealand Journal of Experimental Agriculture 46: 267–279.
- Linse, S.J., D.E. Mergen, J.L. Smith and M.J. Trlica (2001): Upland erosion under a simulated most damaging storm. Journal of Range Management 54: 356–361.
- Londo, G. (1976): The decimal scale for relevés of permanent quadrats. Vegetatio, 33: 61-64.
- Müller-Dombois D. and H. Ellenberg (1974): Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley and Sons, New York, Sydney, London, Toronto, 547 S.
- Ostermann, O. (1991): Der Einfluß der Schafweide auf die Vegetationsdynamik der subalpinen Hakenkiefernbestände (*Pinus uncinata*

- Mill. ex Mirbel). Methoden und Ergebnisse im Vercors, Frankreich. Dissertation, Georg-August-Universität zu Göttingen.
- Peeters, A. (2015): Synthesis of systems of European grassland typologies at plot, farm and region levels. *Grassland Science in Europe*, Vol. 20. "Grassland and forages in high output dairy farming systems", 116-118.
- Peratoner, G. (2003): Organic seed propagation of alpine species and their use in ecological restoration of ski runs in mountain regions. Kassel University Press, Kassel, 240 S.
- Pfadenhauer J., P. Poschlod und R. Buchwald (1986): Überlegungen zu einem Konzept geobotanischer Dauerbeobachtungsflächen für Bayern. Teil I. Methodik der Anlage und Aufnahme. *Ber. ANL* 10, 41-60.
- Pötsch, E.M. und R. Resch (2007): In-vitro digestibility and energy concentration of different legumes - results from the COST 852 experiment in Austria. Quality legume- based forage systems for contrasting environments, edited by Aslaug Helgadottir and Erich M. Poetsch, 145-148.
- Raunkiaer, C. (1934): The life forms of plants and statistical plant geography. Clarendon Univ. Press, xviii + 450 pp.
- Schaumberger, A. und J. Schellberg (2015): Spektrometrie – moderne, nicht invasive Erfassungstechnik von Pflanzenbeständen. Bericht zum 20. Alpenländischen Expertenforum „Bedeutung und Funktionen des Pflanzenbestandes im Grünland“, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, S 23.
- Schechtner, G. (1958): Grünlandsoziologische Bestandsaufnahme mittels "Flächenprozentschätzung". *Z. Acker- und Pflanzenbau* 105: 33-43.
- Spatz, G., L. Pletl und A. Mangstl (1979): Programm OEKSYN zur ökologischen und synsystematischen Auswertung von Pflanzenbestandsaufnahmen. In: H. Ellenberg (Hg.): *Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas*. 2. verbesserte und erweiterte Auflage. Göttingen (Scripta geobotanica, 9), S. 29–36.
- Stampfli, A. (1991): Accurate determination of vegetational change in meadows by successive point quadrat analysis. *Vegetatio* 96: 185–194.
- Traxler, A. (1997): Handbuch des vegetationsökologischen Monitorings. Methoden, Praxis, angewandte Projekte. Teil A: Methoden. Monographien, 89A Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Wien, 397 S.
- Tüxen, R. (1972): Kritische Bemerkungen zur Interpretation pflanzensoziologischer Tabellen. In: van der Maarel, E. & Tüxen, R. (eds.), *Grundfragen und Methoden der Pflanzensoziologie*, pp. 168-182, Den Haag.
- Van Der Maarel, E. (1979): Transformation of cover-abundance values in phytosociology and its effect on community similarity. *Vegetatio* 39: 97–114.
- Voigtländer, G. und N. Voss (1979): Methoden der Grünlanduntersuchung und -bewertung. Grünland - Feldfutter - Rasen. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 207 S.
- Weichselbaum, F. (2015): Auswirkung unterschiedlicher Düngungsniveaus im Dauergrünland auf die Proteinfractionierung im Grundfutter. Masterarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien, 86 S.
- Weinzierl, T. (1902): Alpine Futterbauversuche, zugleich II. Bericht über die im alpinen Versuchsgarten auf der Sandlingalpe durchgeführten wissenschaftlich-praktischen Untersuchungen in den Jahren 1890-1900. Verlag W. Frick, k.k. Hofbuchhandlung, Wien, 276 S.
- Whalley R.D.B. and M.B. Hardy (2000): Measuring botanical composition of grasslands. In: *Field laboratory methods for grassland and animal production research*, edited by L. t. Manette and R.M. Jones, CABI Publishing, ISBN 0 85199 351 6, 447 pp.
- Wilmanns, O. (1989): *Ökologische Pflanzensoziologie*. 4. Aufl., UTB 269, Quelle & Meyer, Heidelberg, 382 S.
- Zacharias, D. (1996): Vegetationskundliche Dauerbeobachtung: Konzepte und Beispiele aus der Praxis Niedersachsens. In: Umweltbundesamt (ed.), *Tagungsmappe zum Seminar on Monitoring for Nature*.

Spektrometrie – moderne, nicht-invasive Erfassungstechnik von Pflanzenbeständen

Andreas Schaumberger^{1*}, Jürgen Schellberg² und Jens Hollberg²

Zusammenfassung

Die Entwicklungsdynamik von Pflanzenbeständen wird von zahlreichen Bewirtschaftungs- und Standortfaktoren beeinflusst. Die laufende Beobachtung dieser Dynamik setzt voraus, dass der Bestand nach jeder Datenerhebung unbeeinträchtigt und ohne Beeinträchtigung sein Wachstum fortsetzen kann. Mit der Spektrometrie als berührungslose Erfassungsmethode kann eine sehr hohe Dichte an Informationen über den Zustand von Pflanzen gewonnen werden, die weit über die Möglichkeiten hinausgehen, die eine klassische Pflanzenbonitur oder Wuchshöhenbestimmung bieten können. Die Messung der vom Pflanzenbestand reflektierten elektromagnetischen Strahlung liefert eine Spektralsignatur über die Wellenbereiche des sichtbaren Lichts, des nahen Infrarots bis hin zu Bereichen des kurzwelligen Infrarots. Wellenlängenspezifische Auswertungen können Auskunft über Pigmentkonzentrationen (z. B. Chlorophyll), Nährstoffversorgung der Pflanzen, Wassergehalt, Biomasse, Stressindikatoren, usw. geben. Die Feldspektroskopie findet unter natürlichen Bedingungen am Feld statt. Die Intensität der Strahlung (Wolkenbedeckung) sowie die von der Tages- und Jahreszeit abhängige Geometrie zwischen Strahlungsquelle (Sonne), Pflanzenbestand und Spektroskopensensor hat erheblichen Einfluss auf die Messung. Als Reaktion auf wechselnde atmosphärische Bedingungen ist daher eine laufende Kalibrierung die Voraussetzung für korrekte Daten. Um zwischen Spektren und (bio)physikalischen Parametern kausale Zusammenhänge herstellen zu können, sind neben Spektralmessungen umfangreiche Beprobungen des Pflanzenbestandes durchzuführen. Der große Datenumfang bedarf eines soliden Datenmanagements und einer effizienten Datenaufbereitung. Softwaretools mit Datenbankschnittstellen sind unverzichtbarer Bestandteil und die Voraussetzung für eine gut organisierte spektrale Datenanalyse. Diese ist letztlich das Instrument zur Gewinnung von Informationen über den Zusammenhang zwischen der Entwicklungsdynamik von Pflanzenbeständen und ihrer Einflussfaktoren.

Summary

Dynamics of vegetation development depend on many management and site factors. Monitoring of these dynamics needs to be operated without any effect and disturbance on plant growth. Spectroscopy is a contact-free method to collect a high density of information about the status of plants and extends the possibilities of classical plant surveys and crop height determination considerably. The output of electro-magnetic radiation reflectance of plants are spectral signatures over the wavebands of visible light, near infrared up to the short-wave infrared region. Waveband analysis provides information about pigment concentration (e. g. chlorophyll), nutrition supply of plants, water content, biomass, stress, etc. Field spectroscopy takes place on the field under natural conditions with several variable natural factors. The quality of results strongly depends on a very careful handling. Radiation intensity (cloud cover) as well as daily and seasonally dependent radiation geometry between sun as the source of radiation, plants and sensor significantly affects the spectral measurements. In response of permanent changes of the atmosphere, repeated calibration and reference measurements are an important precondition of accurate data. Many plant samples as well as a substantial number of spectral data are necessary to correlate spectral data and (bio)physical plant parameters. All these data, especially the spectral ones, need to be managed properly and processed efficiently. Software tools with interface to database management systems are essential components and the precondition for a well-organized spectral data analysis. These analyses are finally the key for gaining information about the correlation of vegetation development dynamics and their influencing factors.

Einleitung

Die Entwicklung von Grünlandbeständen wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst, die sowohl von der Bewirtschaftung als auch von Standorteigenschaften bestimmt werden. Im Gegensatz zum Ackerbau mit homogenen Pflanzenbe-

ständen stellt das Grünland mit seinen unterschiedlichen Arten und damit auch unterschiedlichen Ansprüchen eine besondere Herausforderung dar.

Im Grünland wirken die verschiedenen Einflüsse direkt und indirekt auf die Zusammensetzung des Pflanzenbestandes

¹ Abteilung für Grünlandmanagement: Geoinformation, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg 38, A-8952 IRDNING-DONNERSBACHTAL

² Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz/Agrar- und Produktionsökologie, Universität Bonn, Katzenburgweg 5, D-53115 BONN

* Ansprechpartner: Mag. Dr. Andreas SCHAUMBERGER, MSc, andreas.schaumberger@raumberg-gumpenstein.at

und bestimmen so den Ertrag und die Qualität des Futters. Standortfaktoren wie Klima, Boden und Topografie bilden die natürlichen Rahmenbedingungen für den Pflanzenbau, dessen Potenzial erst durch eine an den jeweiligen Standort angepasste Bewirtschaftung effizient und auch ökologisch sinnvoll genutzt werden kann (Pötsch, 2009).

Um die Wirkung von Einflussfaktoren wie Standort und Bewirtschaftung auf die Leistungsfähigkeit eines Grünlandbestandes bestimmen zu können, werden seit Jahrzehnten wissenschaftliche Experimente durchgeführt. Viele der daraus gewonnenen Erkenntnisse fließen in die landwirtschaftliche Praxis ein und tragen zu einer laufenden Optimierung der Bewirtschaftung bei. Im pflanzenbaulichen Versuchswesen wird dazu das Pflanzenmaterial eingehend analysiert und mittels statistischer Methoden in Beziehung zu verschiedenen Einflussfaktoren gestellt. Für die österreichische Grünlandwirtschaft können auf diese Weise Aussagen über den Zusammenhang zwischen Höhenstufen und Futterertrag (Buchgraber und Pötsch, 1999), Schnittzeitpunkt und Futterinhaltsstoffe (Buchgraber, 1997), Bewirtschaftungsintensität und Stickstoffkreislauf, Bewirtschaftungssysteme und Futterqualität (Pötsch *et al.*, 2006) sowie Düngung und Futterinhaltsstoffe (Pötsch, 1995) getroffen werden, um einige Beispiele zu nennen.

Die Gewinnung von Daten zum Pflanzenbestand ist, von wenigen Ausnahmen abgesehen, (z. B. Pflanzenbestandsaufnahmen, Beobachtung phänologischer Phasen) mit der Entnahme eines Teils oder der Ernte des gesamten Bestandes verbunden. Diese destruktiven Maßnahmen setzen der oberirdischen Biomasseentwicklung ein abruptes Ende, bieten aber die Möglichkeit, das Pflanzenmaterial einer genauen Laboranalyse unterziehen zu können. Ertrags- und Qualitätskennwerte sind damit exakt bestimmbar, allerdings stellen diese immer das Endergebnis eines Entwicklungsprozesses dar. Zum Zeitpunkt der Entnahme bzw. der Ernte kann somit lediglich die Gesamtwirkung aller ertragsbestimmenden Faktoren während eines Aufwuchses den Parametern des Erntegutes gegenübergestellt werden. Steht jedoch die Entwicklungsdynamik des Bestandes selbst im Fokus einer wissenschaftlichen Untersuchung, ist die Beobachtung auf Methoden beschränkt, die keine bzw. nur minimale Eingriffe in den Pflanzenbestand erforderlich machen. Auf diese Weise bleibt nach jeder Messung ein unbeeinflusstes, kontinuierliches Wachstum des Bestandes gewährleistet.

Um die einzelnen Entwicklungsschritte eines Pflanzenbestandes differenzieren und sie nach Möglichkeit mit Umwelteffekten, wie z. B. der Witterung, in Beziehung setzen zu können, ist eine Beobachtung in kurzen Zeitabständen notwendig. Wird auch die räumliche Variabilität eines Pflanzenbestandes erfasst, müssen innerhalb der beobachteten Fläche Messungen an möglichst vielen Positionen durchgeführt werden. Die Bewerkstellung einer hohen zeitlichen und räumlichen Beobachtungsdichte ist vielfach nur mit Methoden möglich, die eine effiziente Datenerfassung mit relativ geringem Aufwand unterstützen. Nicht-invasive Techniken sind dafür besonders gut geeignet, da sie mit Sensoren durchgeführt werden können, welche meist berührungslos und schnell arbeiten.

Eine herausragende Rolle spielt die Fernerkundung, mit der Daten durch die Messung elektromagnetischer Strahlung,

welche von Objekten reflektiert oder emittiert wird, gewonnen werden. Die Plattformen für Fernerkundungssysteme und die darauf basierenden Anwendungen sind aufgrund des hohen Informationsgehaltes in Spektren vielfältig und durchdringen beinahe alle Lebensbereiche. Auf globaler Skala liefern satellitengestützte spektrale Aufnahmesysteme detaillierte Daten über Erdoberfläche und Atmosphäre. Sensorplattformen auf Flugzeugen oder Drohnen, ausgestattet mit Multi- und Hyperspektralkameras, werden zur gezielten Beobachtung von Phänomenen im regionalen Maßstab eingesetzt. Ein besonders breites Feld für Anwendungen der Spektroskopie, insbesondere der Infrarot-Spektroskopie, findet sich in den vielen Laboren der unterschiedlichsten Fachbereiche.

Interessant für die angewandte Agrarforschung, sowie in ersten Anfängen auch für die landwirtschaftliche Praxis sind handliche Geräte, welche die Messung von Spektren am Feld erlauben. Damit ist es möglich, fernkundliche Methoden zur Beobachtung des „lebenden“ Pflanzenbestands einzusetzen und wissenschaftlich auszuwerten. Die unkomplizierte Handhabung und sofortige Verfügbarkeit der Ergebnisse ist auch die Voraussetzung für die Verwendung derartiger Systeme im *Precision Farming*, wo Ertragsituation, Nährstoffversorgung, Schädlingsbefall, Krankheiten, usw. am Feld erkannt werden und unmittelbar darauf teilflächenspezifische Bewirtschaftungsmaßnahmen, wie z. B. gezielte Düngung oder Pestizideinsatz, erfolgen können.

In der vorliegenden Arbeit wird die Feldspektroskopie im Kontext der Grünlandforschung thematisiert, wobei in erster Linie auf methodische Grundlagen eingegangen wird, die durch Anwendungsbeispiele illustriert werden.

Grundlagen der Feldspektroskopie

Mit Hilfe der Spektroskopie können auf vergleichsweise einfache und berührungslose Weise biologische Systeme hinsichtlich ihrer Komponenten, Strukturen und molekularer Wirkungsweisen analysiert werden. Dazu erfassen geeignete Sensoren die Interaktion der elektromagnetischen Strahlung mit Materie, welche je nach Wellenlänge auf unterschiedlichem Energieniveau erfolgt. Das Spektrum reicht von hoch energetischen, kurzwelligen Gammastrahlen über die Wellenlängen des sichtbaren Lichts bis hin zu den langwelligen und energiearmen Radiowellen (Hammes, 2005). Das Ergebnis einer spektroskopischen Messung ist eine spektrale Signatur, die den Anteil der absorbierten, transmittierten und reflektierten elektromagnetischen Strahlung über einen bestimmten Wellenbereich ausweist. In der Infrarot-Spektroskopie werden Spektren üblicherweise in prozentuellem Anteil transmittierter Strahlung dargestellt (Jespersen, 2006). In der Reflexionsspektroskopie, zu der auch die Feldspektroskopie gehört, wird die Relation der reflektierten elektromagnetischer Strahlung aufgezeichnet und ausgewertet. *Abbildung 1* zeigt Beispiele von Reflexionsspektren für unterschiedliche Oberflächen, aufgenommen von einem Feldspektrometer.

Feldspektrometer, ausgestattet mit Hyperspektralsensoren, bieten die Möglichkeit, kontinuierliche Signalkurven über zusammenhängende Bereiche des Spektrums zu generieren. Für konkrete Anwendungen ist es sinnvoll, den Messbereich

auf dafür relevante Wellenbereiche abzustimmen. So ist es beispielsweise bei einer Beobachtung der Vegetation erforderlich, sowohl den Bereich des sichtbaren Lichtes (400 bis 700 nm) als auch die Signatur im nahen (700 bis 1400 nm) und fallweise im kurzwelligen (1400 bis 3000 nm) Infrarotbereich (NIR bzw. IR-A und SWIR bzw. IR-B) zu untersuchen. Neben Feldspektrometern mit drei Sensoren und einer vollständigen Abdeckung bis 2500 nm werden bei pflanzenbaulichen Experimenten aus Kostengründen oft auch Zwei-Sensor-Instrumente eingesetzt, welche bis zu Wellenlängen von 1700 nm arbeiten und damit jenen Teil des Spektrums abdecken, der die größte Informationsdichte hinsichtlich Vegetationsparametern enthält.

Mit den Sensortypen des verwendeten Spektrometers wird nicht nur die Breite des spektralen Messbereichs festgelegt, sondern auch die spektrale Auflösung. In einem Gerät weisen die verschiedenen Sensoren meist unterschiedliche Auflösungen auf. Das HandySpec Field VIS/NIR 1.7 der Firma tec5 bietet beispielsweise für den ersten der beiden verbauten Sensoren (360 bis 1100 nm) eine Auflösung von 10 nm und für den zweiten Sensor (1000 bis 1690 nm) 5 nm. Mit höheren Auflösungen können mehr Informationen aus den Spektren ausgelesen werden, indem einzelne Elemente mit individuellen Reflexions- und Absorptionseigenschaften besser differenzierbar sind (Govender *et al.*, 2007). Die Ausgabe der Spektralsignatur erfolgt nach einem Resampling meist einheitlich in Ein-Nanometer-Schritten, d. h. geringere Auflösungen werden interpoliert und ergeben damit eine mehr oder weniger starke Glättung der Signatur.

Feldspektrometer unterscheiden sich von Laborspektrometern in erster Linie dadurch, dass keine künstliche Strahlungsquelle zur Verfügung steht, sondern eine passive Messung der reflektierten natürlichen Sonnenstrahlung erfolgt. Da die Umwelt bei Felderhebungen nicht standardisiert und vollständig kontrolliert werden kann, wirkt eine Vielzahl von Einflüssen auf die Messergebnisse. So spielen beispielsweise Schatten im Pflanzenbestand, Wind, Regen- oder Taunässe, ja sogar die Kleidung der messenden Personen eine große Rolle (Mac Arthur, 2011; Milton, 1987). Äußerst sorgfältige Arbeit und die Beachtung einiger wichtiger Regeln ist daher die wichtigste Voraussetzung, um Daten vergleichbar und mit möglichst hoher Wiederholgenauigkeit generieren zu können.

Der Zustand der Atmosphäre und die damit verbundene Strahlungsintensität der Sonne kann sich innerhalb kürzester Zeit verändern. Dabei verschiebt sich in Abhängigkeit des Wolkentyps auch das Verhältnis von direkter und diffuser Sonnenstrahlung mit erheblichen Auswirkungen auf die vom Pflanzenbestand reflektierte Strahlung (Perbandt *et al.*, 2009). Sowohl zarte, lichtdurchlässige Cirruswolken bei fast wolkenlosen Bedingungen als auch Veränderungen innerhalb einer vollständig geschlossenen Wolkendecke können einen signifikanten Einfluss auf die Strahlungsintensität haben und verzerren das Messergebnis (Mac Arthur, 2011). Zudem sind die bestrahlten Zielobjekte meist nicht in der Lage, vollständig diffus zu reflektieren und damit hängt die reflektierte Strahlungsenergie, sehr stark vom Einstrahlungswinkel der Sonne ab. Dies gilt besonders dann, wenn der Anteil direkter Strahlung an der Gesamtstrahlung hoch ist (Milton, 1987).

Unter Berücksichtigung der Atmosphäre (Wolkenbedeckungsgrad, Aerosolkonzentration) ist deshalb die Geometrie von bestrahlter Oberfläche, Strahlungsquelle (Sonne) und Sensorposition für Spektralmessungen von großer Bedeutung. Eine ständige Kalibration mittels neutraler Referenzoberfläche (vgl. Rollin *et al.*, 2000) ist erforderlich, um die wechselnden Bedingungen bei möglichst gleichartiger Strahlungsgeometrie im Messergebnis berücksichtigen zu können. Optimal wäre es, zwei Sensoren gleichzeitig zu verwenden, damit Pflanzenbestand und Referenzfläche unter exakt gleichen Strahlungsbedingungen gemessen werden könnten (Milton *et al.*, 2009). In der Regel scheidet dies an den hohen Sensorkosten. Deshalb wird versucht, Referenz- und Zieloberfläche möglichst zeitnah hintereinander zu messen, um beim Einsatz nur eines Sensors mögliche Fehler so gering wie möglich zu halten (Mac Arthur, 2011). Alternativ dazu kann die Einstrahlung während der Reflexionsmessung durch einen nach oben gerichteten Spektralsensor mit Cosinus-Korrektor erfasst werden, womit ein Referenzsignal erzeugt wird, das einer perfekten diffusen Reflexion einer Weißreferenzoberfläche entspricht (Milton, 1987). Die Firma tec5 hat im HandySpec ein derartiges Zwei-Kanal-System implementiert. Bei jeder Messung des Pflanzenbestandes wird gleichzeitig eine Referenzmessung der Himmelsstrahlung durchgeführt und daraus das Reflexionssignal errechnet. Dies erleichtert die Handhabung und ermöglicht auch zügige Messungen unter „ungünstigen“ Bedingungen. Dennoch sollten bei der praktischen Arbeit Messungen nach Möglichkeit unter wolkenlosen Bedingungen und bei möglichst hohem Sonnenstand, also um die Mittagszeit, erfolgen (vgl. Fricke und Wachendorf, 2013).

Möglichkeiten der Feldspektroskopie

Ziel der berührungsfreien Sensorik mit Feldspektrometern ist die kleinräumige Erfassung von Zuständen eines Pflanzenbestandes. Dazu zählen unter anderem Bodendeckung, Blattflächenindex, Chlorophyllgehalt, Stickstoffgehalt, Wassergehalt und Biomasse. Die Anwendung der Feldspektroskopie in der Landwirtschaft ist im Wesentlichen noch der Forschung vorbehalten. Da moderne Fernerkundungssatelliten sehr viel größere Areale mit hoher spektraler und zeitlicher Auflösung abdecken können, lohnt sich die Feldspektroskopie nur im kleinen Maßstab. Jedoch ist deren Potenzial nicht zu unterschätzen, denn nur in Feldexperimenten können die kausalen Zusammenhänge zwischen spektraler Signatur und Zuständen der Grünlandbestände ermittelt werden, da eine zeitgleiche Beprobung des Pflanzenbestandes aus dem Sichtfeld des Sensors dafür unerlässlich ist.

Der typische Verlauf der spektralen Signatur von Pflanzenbeständen ist im Wesentlichen geprägt von der Absorption der Blattpigmente im sichtbaren Bereich des Spektrums (400–700 nm) und von Zellstruktur, Blattdicke und Blattfläche im Nahinfrarot (700–1100 nm). Jegliche Veränderung im Zustand des Pflanzenmaterials, verursacht zum Beispiel durch Stress oder Nährstoffmangel, kann anhand der Signatur identifiziert werden. Es lassen sich aus Änderungen der Signatur in schmalen Spektralbändern aber auch weitere, für die Pflanzenphysiologie und Morphologie wichtige Variable wie beispielsweise Mineralstoffgehalte, Toxine,

oder Neutrale-Detergenz-Faser, ableiten. Zusammenstellungen möglicher Anwendungen finden sich bei Govender *et al.* (2007), Schellberg *et al.* (2008) oder Thenkabail *et al.* (2014).

Die mittels Feldspektrometer gemessenen Zustände einer Oberfläche werden in Abhängigkeit der spektralen Auflösung als Reflexionswerte entlang eines beobachteten Wellenbereiches aufgetragen. *Abbildung 1* zeigt Beispiele von Spektralsignaturen für unterschiedliche Oberflächen. Gemessen wurden Reinbestände von Weißklee und Englisch Raygras sowie eine Fläche offenen Bodens. Die Reflektanz im sichtbaren Licht ist im Vergleich zu jener im Infrarotbereich vergleichsweise gering. Im Gegensatz zum offenen Boden kann bei den Pflanzensignaturen ein signifikanter Anstieg im Red-Edge-Band beobachtet werden. Dieser für Vegetation typische Verlauf kann beispielsweise dafür genutzt werden, den Ernährungszustand von Pflanzen zu interpretieren (vergleiche Anwendungsbeispiel).

Die dargestellten Signaturen zeigen in den Wellenbereichen um 970, 1150 und besonders stark um 1400 nm abnehmende Reflexionswerte. Der Grund dafür liegt in der durch Wasser bewirkten selektiven Absorption der Strahlung. Im Wellenbereich um 1400 nm führt die von der atmosphärischen Wasserdampfkonzentration abhängige Absorption der Sonnenstrahlung zu einem starken Rauschen der Messung, da in diesem Band eine zu geringe Strahlungsenergie auf den Sensor gelangt. Der Wellenbereich zwischen 1350 und 1450 nm ist aus diesem Grund für Auswertungen nicht nutzbar. (Für die Darstellung in *Abbildung 1* wurden die Signaturen

geglättet und daher ist das Signalrauschen hier nicht zu sehen.) Im Gegensatz dazu sind die weniger stark absorbierenden Wasserbande um 970 und 1150 nm, wie sie bei den Vegetationssignaturen in *Abbildung 1* deutlich zu sehen sind, für Auswertungen von feuchtigkeitssensitiven Vegetationsparametern sehr gut geeignet (Sims und Gamon, 2003).

Ein Grünlandmischbestand zeigt im Lauf der Aufwuchsperiode entwicklungs-dynamische Veränderungen, die mit Hilfe der Spektroskopie erfasst und in weiterer Folge entsprechend interpretiert werden können. *Abbildung 2* zeigt am Beispiel ausgewählter Zeitpunkte innerhalb des zweiten Aufwuchses einer Dreischnittfläche die Verläufe von Spektralsignaturen in Abhängigkeit des Entwicklungszustandes. Die Signatur der ersten Woche hat beispielsweise viel Ähnlichkeit mit jener des offenen Bodens in *Abbildung 1*. Je stärker sich die Pflanzen zu einem geschlossenen Bestand hin entwickeln, desto mehr nimmt der Kurvenverlauf eine für „lebende“ Vegetation typische Form an.

Hoch aufgelöste Spektren aus Hyperspektralsensoren sind durch eine extrem hohe Informationsdichte gekennzeichnet. Damit die in den Signaturen verborgenen Informationen auch für bestimmte Anwendungen genutzt werden können, müssen geeignete Methoden der spektralen Datenanalyse angewendet werden. Diese Analysen können direkt auf Basis der Rohdaten vorgenommen werden, oder aber auch mit aufbereiteten Datenbeständen erfolgen. Ziel dabei ist, nicht-redundante Information zu identifizieren und sie von redundanten Datenelementen zu trennen. Beispiele dafür sind die Auswertung von Ableitungen (Tsai und Philpot,

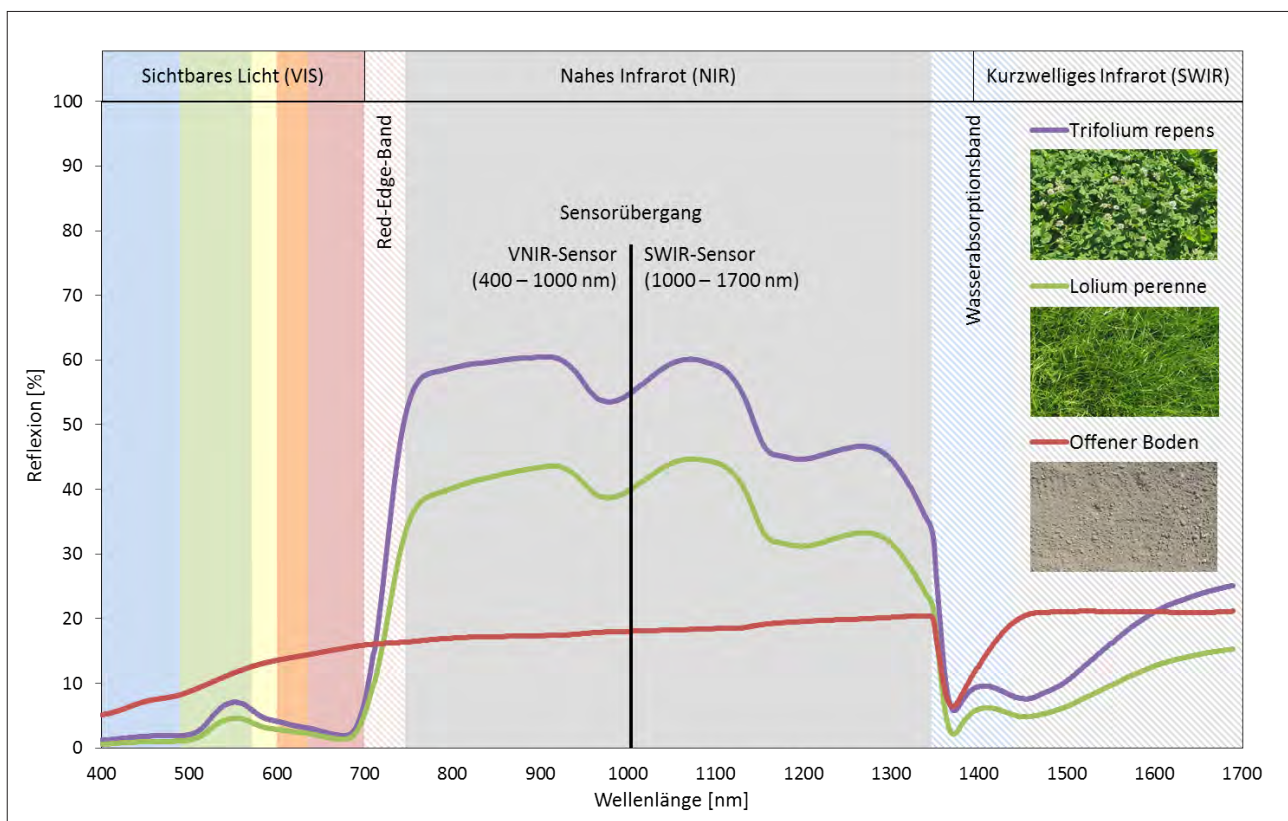


Abbildung 1: Beispiele von Reflexionsspektren unterschiedlicher Oberflächen mit einer Darstellung der wichtigsten Wellenbereiche im Spektrum zwischen 400 und 1700 nm.

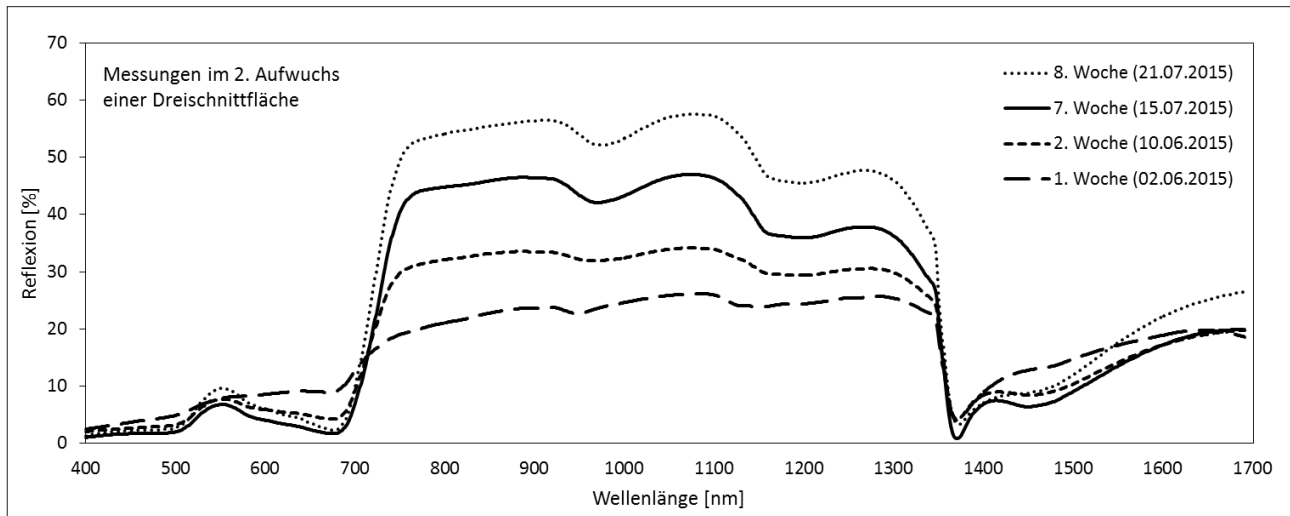


Abbildung 2: Ausgewählte Spektralsignaturen eines Dauergrünlandbestandes in Abhängigkeit der Entwicklungsphasen während des zweiten Aufwuchses.

1998) oder auch der Einsatz der Hauptkomponentenanalyse (PCA) (vgl. Thenkabail *et al.*, 2004).

Die mit Abstand wichtigste Form der Nutzung spektraler Daten sind Auswertungen auf Basis von Indizes. In der Literatur findet sich eine Vielzahl von Arbeiten, welche sich mit der Optimierung und Evaluierung von Indizes für verschiedenste Anwendungen befassen. Mittlerweile gibt es umfangreiche Sammlungen, die unter anderem sehr übersichtlich auf <http://www.indexdatabase.de> zusammengefasst sind. Indizes können hier nach verschiedenen Kriterien selektiert und zusammen mit Formel und Referenzliteratur angezeigt werden. Grundsätzlich werden bei ihrer Berechnung Reflexionswerte bestimmter Wellenlängen gemäß entsprechender Definition miteinander kombiniert. Zahlreiche Untersuchungen zeigen signifikante physikalische Zusammenhänge in den Spektralsignaturen einzelner Wellenlängen- bzw. Frequenzbereiche, welche für die Bildung von Indizes im Rahmen der Vegetationsanalyse genutzt werden können. *Tabelle 1* fasst dafür eine Übersicht nach Thenkabail *et al.* (2014) zusammen.

Meist werden aus den Spektren Vegetations-, Chlorophyll- und Wasserindizes gebildet, die auf Kulturarten und Auswertungsschwerpunkte (Biomasseschätzung, Entwicklungsdynamik, Qualitätsparameter, usw.) angepasst sind. In der Regel werden diese mittels Differenzierung von Reflexionswerten aus unterschiedlichen Bereichen des Spektrums mit anschließender Normierung gebildet. Der Blatt-Chlorophyll-Index (Leaf Chlorophyll Index, LCI)

wird beispielsweise aus der Differenz eines NIR-Bandes und dem für den Chlorophyllgehalt maßgeblichen Red-Edge-Band gebildet und anschließend normiert: $LCI = \lambda_{850} - \lambda_{710} / \lambda_{850} + \lambda_{710}$ (Dorigo, 2008). In *Abbildung 3* ist die Auswertung dieses Index für den Verlauf von drei Aufwüchsen eines Dauergrünlandbestandes dargestellt. Die Entwicklung des LCI verhält sich bei jedem Aufwuchs ähnlich und zeigt damit klar, dass es eine Abhängigkeit zwischen Entwicklungsstadium und Index gibt. Um daraus in weiterer Folge ein Modell, d. h. einen allgemein gültigen Zusammenhang ableiten zu können, müssen den Indexwerten weitere Beprobungen und Laboranalysen, wie z. B. Futterinhaltsstoffe, Biomasse, Bestandeshöhen, Artenzusammensetzung, usw. gegenübergestellt und statistisch ausgewertet werden. Erst dadurch können die Ergebnisse dieser LCI-Auswertung einer sinnvollen Interpretation zugeführt werden.

Praktische Umsetzung von Spektralmessungen am Versuchsfeld

Um die Entwicklungsdynamik eines Pflanzenbestandes erfassen zu können, ist es notwendig, wiederholte Messungen in relativ kurzen Zeitabständen durchzuführen. Ein wöchentlicher Rhythmus hat sich dabei als praktikabel erwiesen. Da die Spektroskopie in hohem Maße vom Wetter bzw. der Wolkenbedeckung abhängig ist (vgl. Abschnitt 2), kann ein regelmäßiges Messintervall ohnehin nur angestrebt

Tabelle 1: Spektralbereiche und eine Auswahl ableitbarer Informationen für die Vegetationsanalyse (nach Thenkabail *et al.*, 2014).

Frequenzbereich	Bedeutung für die Untersuchung von Pflanzenbeständen
Sichtbares Licht: Blau	Stickstoff, Seneszenz, Carotinoide, Lichtnutzungseffizienz, Vegetationsstress
Sichtbares Licht: Grün	Pigmente (Carotinoide, Chlorophyll, Anthocyane), Stickstoff, Vitalität, Licht-nutzungseffizienz, Vegetationsstress, Schädlinge und Krankheiten
Sichtbares Licht: Rot	Blattflächenindex (LAI), Biomasse, Bestandeshöhe, Kulturart
Red-Edge-Band	Stickstoffstress, Chlorophyll, Seneszenz, Trockenstress
NIR (850-970 nm)	LAI, Biomasse, Bestandeshöhe, Kulturart, Feuchtegehalt, Protein
NIR (1070 -1250 nm)	LAI, Biomasse, Bestandeshöhe, Kulturart, Pigmente, Wassersensitivität
SWIR (1450 – 1650 nm)	Vegetationsklassifikation, Feuchtigkeitsgehalt, Feuchtigkeitssensitivität

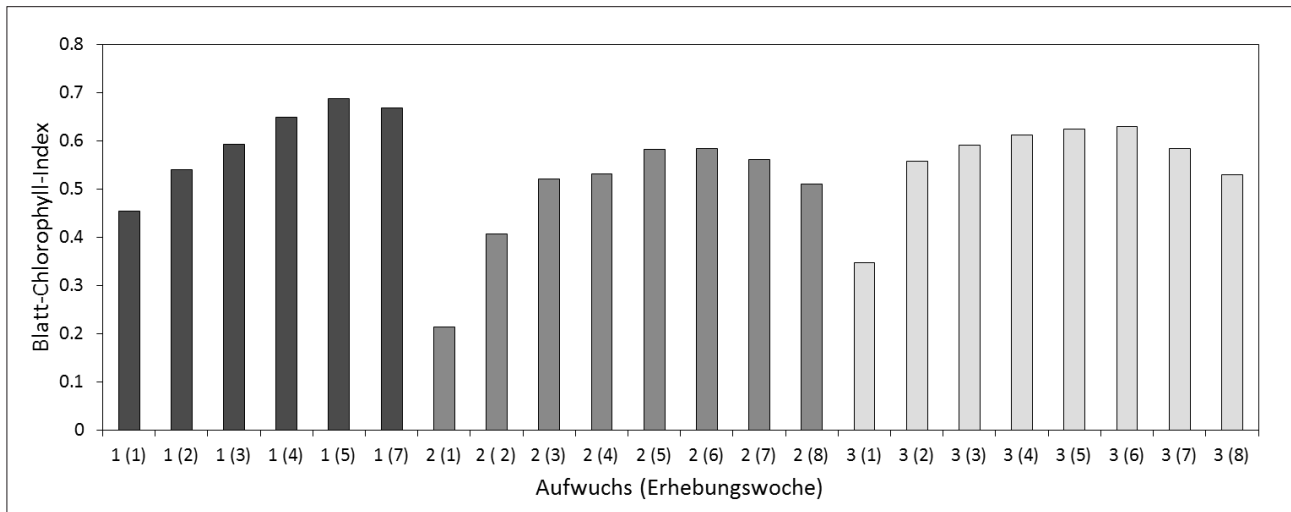


Abbildung 3: Verlauf des Blatt-Chlorophyll-Index für einen Dauergrünlandbestand mit drei Aufwüchsen (Auswertung von Spektren mit dreifacher Wiederholung).

werden. An der HBLFA Raumberg-Gumpenstein wird das Feldspektrometer HandySpec Field VIS/NIR 1.7 (tec5) eingesetzt, mit dem auch Beobachtungen unter suboptimalen atmosphärischen Bedingungen dank der integrierten Referenzmessung einigermaßen effizient erledigt werden können. Eine Kalibrierung mittels Graureferenzadapter ist in der Regel nur zu Beginn einer Messkampagne vorzunehmen. Das HandySpec erfasst zunächst die Reflektanz des Pflanzenbestandes und unmittelbar darauf mit dem nach oben gerichteten Cosinus-Korrektor die Umgebungsstrahlung. Verändert sich allerdings während dieses kurzen Zeitraums von wenigen Sekunden die Strahlungsintensität, beispielsweise indem sich Wolken oder leichte Dunstschleier vor die Sonne schieben, führt dies zu unbrauchbaren Ergebnissen. Solange die Strahlungsbedingungen während des kurzen Zeitabstandes zwischen den beiden zusammengehörenden Messungen stabil sind, können korrekte Messungen erwartet werden, auch wenn sich die Atmosphäre während der Messkampagne insgesamt verändert. Dies ist ein entscheidender Vorteil gegenüber Systemen, die vor und nach einigen Messungen eine explizite Kalibrierung erfordern. Bei einem direkten Vergleich mit anderen Feldspektrometern oder einer geräteunabhängigen Kalibrierung ist dies allerdings auch ein Nachteil, da in diesem Fall eine standardisierte Referenzmessung (z. B. mittels Spectralon-Medium) nötig sein würde (Jung *et al.*, 2009).

Die besten Ergebnisse sind dann zu erwarten, wenn konstant hohe Strahlungsintensitäten, also wolkenlose Bedingungen, über den gesamten Messzeitraum bestehen. Aufgrund der Tatsache, dass die direkte Strahlung in Abhängigkeit des Sonnenstandes einen erheblichen Einfluss auf die Schattenbildung innerhalb des Bestandes und damit die Reflektanz hat, sollte bei den Messungen darauf geachtet werden, dass die Azimutwinkel von einfallender und reflektierter Strahlung möglichst gering sind (Milton, 1987). Messungen am Feld sind deshalb vorzugsweise um die Tagesmitte vorzunehmen.

Spektromessungen werden in der Regel nur bis wenige Meter über der Bestandesoberfläche durchgeführt, entweder mit Geräten, die von Hand geführt werden (*Handheld Mode*)

oder die an einem Kran oder Hubsteiger befestigt sind. Seitdem Flugdrohnen die Entwicklungsreife für den Feldeinsatz erlangt haben und das Gewicht einfacher Spektrometer deutlich reduziert wurde, können Spektrolsignaturen auch aus größerer Höhe gewonnen werden. Damit vergrößert sich die Abdeckung der Aufnahmefläche bei deutlich reduziertem Zeitaufwand.

Die regelmäßige Beobachtung eines Pflanzenbestandes sollte nach Möglichkeit immer an genau definierten Positionen erfolgen, um einen Verschiebungseffekt durch unterschiedliche Pflanzenindividuen bei der Erfassung ausschließen zu können. Der Sensor des HandySpec hat einen Öffnungswinkel (*Field-of-View*) von 25°. Mit dem Abstand zum Boden wird damit die Größe der Messfläche definiert. Die Sensorhöhe spielt vor allem bei Ackerkulturen mit Reihenanbau aufgrund des Verhältnisses von Vegetation und Boden eine besonders wichtige Rolle (Daughtry *et al.*, 1982). Beim Grünland handelt es sich in den meisten Fällen um einen geschlossenen Bestand, allerdings ist bei Messreihen auch hier neben der Position die Höhe des Sensors über Grund möglichst konstant zu halten, um von Woche zu Woche dieselben Oberflächen zu erfassen. Um dies bei einer Vielzahl von Versuchspartellen auch praktisch realisieren zu können, wurde an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein ein mobiler Messwagen konstruiert. Mit diesem Wagen und dem darauf befindlichen Feldspektrometer inklusive Bedienungs-Notebook wird jede Parzelle an exakt gleicher Stelle angefahren. Für die Messung selbst nimmt eine Halterung den Messkopf an definierten Positionen und in einer Höhe von 120 cm über Grund auf (vgl. Milton *et al.*, 2009). Zusätzlich werden in Anlehnung an Fricke und Wachendorf (2013) auf dieser mobilen Einheit Ultraschallsensoren zur Messung der Bestandeshöhe (Fricke *et al.*, 2011) mitgeführt.

Ein Grünlandbestand muss nicht zwangsläufig eine homogene Oberfläche mit gleicher Artenzusammensetzung bilden, im Gegenteil. Aus diesem Grund ist eine mehrfache Messwiederholung an verschiedenen Positionen innerhalb einer Parzelle durchzuführen, um eine für den jeweiligen Pflanzenbestand repräsentative Spektrolsignature durch Mittelwertbildung der Einzelspektren zu erhalten. Der von

uns konstruierte Messwagen erlaubt die Arretierung des Spektrometer-Messkopfs an vier verschiedenen Positionen, welche unter Berücksichtigung der Sensorhöhe die Messung einer zusammenhängenden Fläche von einem Quadratmeter ermöglicht. Die mobile Halterung gewährleistet dabei, dass bei den wöchentlichen Messwiederholungen immer dieselbe Bestandesoberfläche betrachtet wird. Die Spektralsignatur einer Parzelle wird generell aus vier Wiederholungen gebildet.

Um die Identifikation von unerklärlichen Abweichungen in den Spektren bei der späteren Datenanalyse zu erleichtern, empfiehlt sich die fotografische Aufnahme der gemessenen Oberfläche (Mac Arthur, 2011). Zu diesem Zweck ist auf dem mobilen Messwagen neben Spektrometer, Notebook und Ultraschallsensoren auch eine kleine Kamera (GoPro) installiert, mit der prinzipiell vor jeder Spektralmessung ein Foto erstellt wird. Zu Beginn und Ende der Messkampagne erfolgt noch zusätzlich eine Aufnahme des Himmels, um bei Bedarf die atmosphärischen Verhältnisse im Zuge der Spektrenauswertung beurteilen zu können.

Management und Aufbereitung von Spektraldaten

Eine mit dem HandySpec Field VIS/NIR 1.7 gespeicherte Spektralsignatur umfasst 1291 Einzelwerte (Wellenbereich zwischen 400 und 1690 nm). Innerhalb eines Jahres wurden an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein insgesamt etwa 50 Parzellen mit knapp 1700 Spektralsignaturen (bestehend aus jeweils vier Einzelspektren und Mittelwertspektrum) meist wöchentlich beobachtet; das entspricht einem Rohdatenbestand von 11 Millionen Einzelwerten. Dazu kommen noch Metadaten, verschiedene Aufbereitungen und Auswertungen, welche knapp eine Verdoppelung auf etwa 20 Millionen

Datensätze ergeben. Mit diesen Zahlen soll gezeigt werden, dass eine ernsthafte Auseinandersetzung mit der Spektroskopie sehr schnell zu großen Datenbeständen führt, welche auf geeignete Weise administriert werden wollen. Vielfach wird eine einfache, dateibasierte Ablage vorgenommen, bei der jedoch Aufbereitung und Auswertung von Daten schwierig und zeitaufwendig sind. Um eine beliebige Anzahl von Spektren verwalten und verarbeiten zu können, wurde eine eigene Software (SpectroAnalyst) programmiert und mit einer Datenbankschnittstelle ausgestattet. In *Abbildung 4* zeigt ein Screenshot den grafischen Aufbau des SpectroAnalyst mit den Bereichen Spektralselektion (links), Foto der selektierten Beobachtung (unten links), dynamische Visualisierung (rechts oben), Verwaltung, Korrektur und Glättung von Spektren sowie Metadatenverwaltung (unten).

Die Software bietet die Möglichkeit, Spektren aus gerätespezifischen Formaten (z. B. HandySpec-Textformat) zu importieren, mit dazugehörigen Fotoaufnahmen zu verlinken, die Rohspektren zu verwalten, Mittelwertspektren zu generieren, Korrekturen und diverse Glättungen vorzunehmen sowie Metadaten einzugeben und zu verwalten. In weiterer Folge können beliebige Spektren zu Varianten zusammengefasst und daraus wieder Mittelwertspektren erstellt werden. Aus mehreren Varianten ist es möglich, Analyse-Datensätze zu erstellen, für die eine umfangreiche deskriptive Statistik erstellt werden kann. Originale Spektralsignaturen können weiterverarbeitet werden, indem die Spektren dem Statistikpaket R mit dem dafür verfügbaren Paket PROSPEKTR (Stevens und Lopez, 2014) übergeben werden. Als Ergebnis gelangen verschiedene Spektralkurven wie Glättungen, Ableitungen, Trendbereinigungen usw. zum SpectroAnalyst zurück, werden in der Datenbank gespeichert und bei Bedarf visualisiert. Für alle im System verfügbaren Spektren (Originale und davon abgeleitete Da-

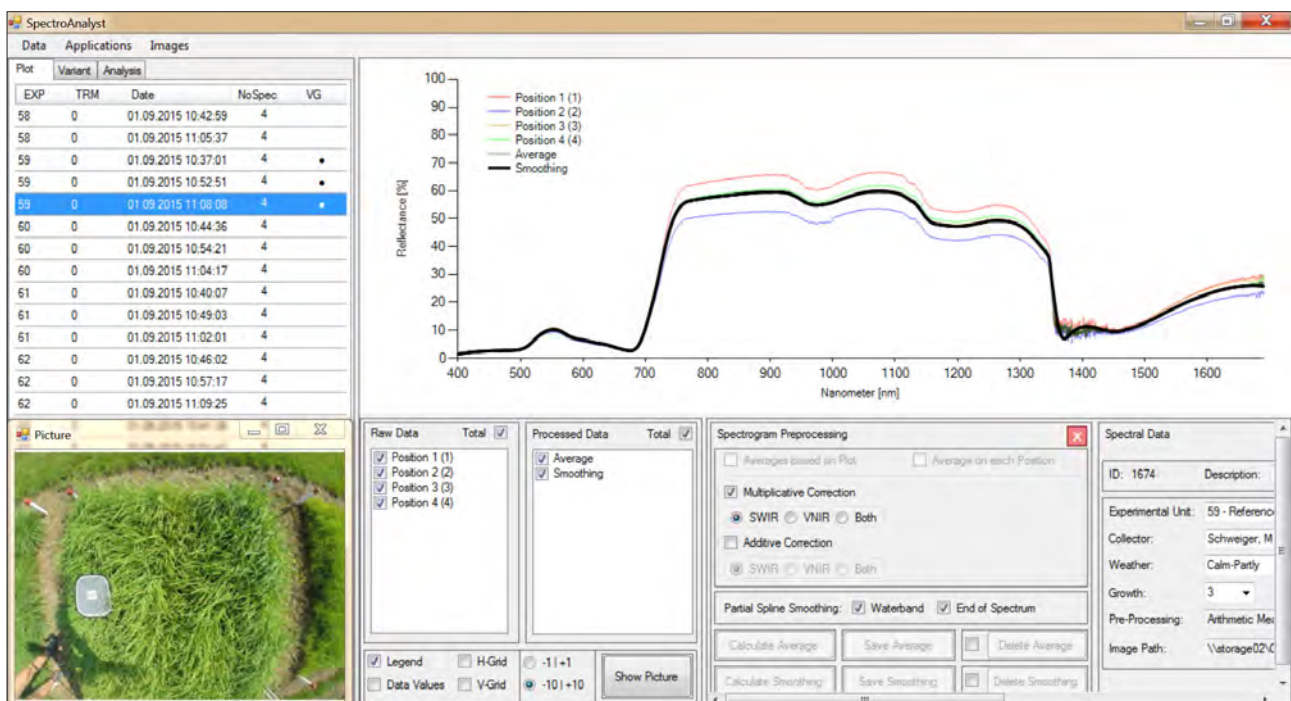


Abbildung 4: SpectroAnalyst – Software zur Verwaltung, Visualisierung, Aufbereitung und Auswertung von Spektren.

tensätze) können beliebige Indizes berechnet und ebenfalls in die Datenbank gespeichert werden.

Mit dem SpektrAnalyst ist es möglich, die häufig auftretende Verschiebung (*Sensor Shift*) der Kurve im Sensorübergangsbereich (im Fall des HandySpec Field VIS/NIR 1.7 befindet sich dieser bei 1000 nm – siehe *Abbildung 1*) entweder multiplikativ oder additiv zu korrigieren (Aasen *et al.*, 2014; Dorigo, 2008; Dorigo *et al.*, 2006; Mac Arthur *et al.*, 2012; Milton *et al.*, 2009). Um das an verschiedenen Stellen auftretende Rauschen in der Spektralsignatur weitgehend zu eliminieren, werden alle gespeicherten Spektren einer Glättung nach Savitzky-Golay (Savitzky und Golay, 1964) unterzogen. Dabei wird nicht die gesamte Signatur gleich behandelt, sondern die Glättung mit Hilfe eines „*Adaptive-Degree Polynomial Filter*“ nach Barak (1995) an den Kurvenverlauf angepasst.

Die wichtigste Funktionalität des SpektrAnalyst liegt darin, dass sämtliche Daten in einer SQLServer-Datenbank abgespeichert werden. Metadaten, Rohspektren, abgeleitete Spektren, alle vorgenommenen Korrekturen, die Zusammenfassung zu Varianten und Analyse-Sets, die Definitionen der diversen Vegetationsindizes, die Verweise auf Fotos und vieles mehr sind in einem relationalen Datenschema abgelegt und können bei Bedarf in den SpektrAnalyst zur Visualisierung oder weiteren Verarbeitung geladen werden. Die Daten können ebenfalls in beliebige Formate exportiert werden (beispielsweise als CSV-Dateien), um sie in Excel oder Spezialprogrammen wie GRAMS weiterzuverarbeiten. Die Verwendung einer Datenbank bietet hinsichtlich Datenmanagement, Datensicherheit und Skalierbarkeit erhebliche Vorteile. So kann der Datenbestand beispielsweise ohne Performanceverlust beliebig und nahezu unbegrenzt erweitert werden. Ein weiterer Vorteil für die praktische Arbeit liegt darin, dass mit dem SpektrAnalyst eine große Zahl von Spektren nicht nur einzeln, sondern gesammelt einer beliebigen Verarbeitungsfunktion wie z. B. einer Glättung oder der Berechnung von Vegetationsindizes zugeführt werden kann.

Um aus den Spektraldaten fachliche Erkenntnisse gewinnen und kausale Zusammenhänge zu Bewirtschaftungs- und Umweltfaktoren herstellen zu können, müssen neben den Spektren möglichst viele Parameter erfasst werden, welche den jeweiligen Spektren bzw. den davon abgeleiteten Informationen (z. B. Vegetationsindizes) direkt zugeordnet werden können. Um beispielsweise mit Hilfe von Spektren den Biomasseertrag schätzen zu können, braucht es für jede erhobene Spektralsignatur das exakte Gewicht der Biomasse. Es ist also in diesem Fall zu jeder Spektralmessung auch eine Ernte mit der Wiegung des Erntegutes oder der Trockenmassebestimmung notwendig. Ist die Anzahl an Ernteproben und dazugehörigen Spektren in für die statistische Analyse ausreichendem Maße vorhanden, kann mit der Bildung eines Modells (z. B. eine lineare Regressionsanalyse) begonnen werden. Je mehr Spektren und Erhebungsparameter mit starkem Zusammenhang einander zugeordnet werden können, desto stabiler wird das Modell. Eine wichtige Maßnahme im Zuge der Modellbildung ist die Reduktion der Spektraldaten auf jene Wellenlängen, welche hoch signifikante Zusammenhänge zu (bio)physikalischen Parametern aufweisen. Dazu gehört die Selektion von ein-

zelnen Bändern mit Hilfe von Korrelationsmatrizen, die Entfernung von irrelevanter Hintergrund-Reflektanz (*Continuum Removal*), schrittweise Regression, PCA (*Principal Components Analysis*) PLSR (*Partial Least Squares Regression*), derivative Spektralanalyse, usw. (Mac Arthur, 2011).

Ausgewählte Anwendungsbeispiele der Feldspektroskopie

Im Folgenden soll anhand von Anwendungsbeispielen erläutert werden, wie die Spektroskopie in Feldversuchen eingesetzt wird und welche Erkenntnisse für die Zustandsbeschreibung von Grünlandbeständen daraus abgeleitet werden können. Für die angewandte Grünlandforschung sind dabei vor allem solche Verfahren von Interesse, die eine technische Umsetzung in die Praxis des Grünlandmanagements ermöglichen.

Ableitung des Stickstoffernährungszustandes

Die Stickstoffbelastung von Grünlandstandorten zwingt vielerorts Landwirte und Berater zur Reduzierung des Düngeraufwandes, ohne dass sie über zuverlässige Daten des Versorgungsgrades der Pflanzen verfügen. Die Bestimmung des N-Gehaltes ist in der Regel mit aufwändiger Analytik verbunden. Hinzu kommt, dass sich mit fortschreitendem Wachstum der N-Bedarf ändert und wiederholte Beprobungen und Messungen nötig wären. Es ist wohl bekannt, dass Chlorophyllgehalt, photosynthetische Leistung des Pflanzenbestandes und N-Gehalt eng korreliert sind, und dass Gehaltsänderungen die spektrale Signatur in gesetzmäßiger Weise verändern. Als Folge einer höheren Chlorophyllkonzentration sinkt die Reflexion im roten Wellenlängenbereich, während sie im Bereich des nahen Infrarots ansteigt. Zwischen beiden Spektralbereichen steigt die prozentuale Reflexion sprunghaft an. Die dabei entstehende Flanke (*Red-Edge*) und dessen Wendepunkt (*Red Edge Inflection Point*, REIP) verschieben sich mit jeder Änderung im roten und infraroten Kanal.

Mistele und Schmidhalter (2008) haben an Weizen gezeigt, dass die Position dieser Flanke eng mit dem N-Ernährungsindex (*Nitrogen Nutrition Index*, NNI) des Bestandes korreliert (Lemaire *et al.*, 2008). Eigene Untersuchungen bestätigen diesen Zusammenhang auch für artenreiche Grünlandbestände (*Abbildung 5*). Damit ist es theoretisch möglich, den N-Versorgungszustand von Grünland mittels Spektrometrie zu schätzen. Diese Vorgehensweise setzt allerdings die Kenntnis der kritischen Stickstoffkonzentration voraus, also die Mindestkonzentration an Stickstoff in der oberirdischen Biomasse, die für eine maximale Trockenmasseakkumulation erforderlich ist und die über einen Stickstoffsteigerungsversuch ermittelt wird (Justes *et al.*, 1994).

Im nächsten Schritt wäre nun zu prüfen, wie robust die Schätzgleichung der Kritischen Stickstoffkonzentration ist, ob also eine oder wenige Schätzgleichungen genügen, um den NNI mittels Spektrometrie über unbekanntem Grünlandflächen hinreichend genau zu schätzen. Gleichzeitig wäre zu prüfen, ob die Beziehung zwischen REIP und NNI, wie in *Abbildung 5* gezeigt, zwischen mehreren Aufwüchsen und Standorten variiert, denn immerhin ist wohl dokumentiert,

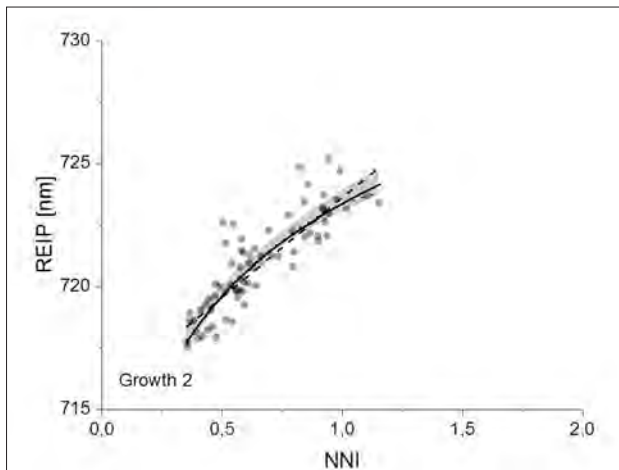


Abbildung 5: Vergleich des N-Ernährungsindex (NNI) mit dem Wendepunkt der Rot-Infrarot-Flanke (REIP) der spektralen Signatur. Daten aus einem N-Steigerungsversuch auf Grünland, INRES, Universität Bonn, Standort Klein-Altendorf. (Voelzke, 2014, unveröffentlicht).

dass die floristische Zusammensetzung einen Einfluss auf die spektrale Signatur hat (Gitelson und Merzlyak, 1996).

Detektion von Entwicklungsstadien/ Phenometrics

Spektrale Signaturen von Pflanzenbeständen zeigen typische Veränderungen während der Vegetationsperiode. Allerdings ist es in gemischten Pflanzenbeständen schwierig, diese anhand der Phänologie individueller Arten zu erfassen. Ersatzweise kann die Dynamik des Wachstums, die mit der phänologischen Entwicklung einhergeht, und die anhand von Änderungen der Biomasse, der Wuchshöhe, der Blattflächenentwicklung und der Bodendeckung erkennbar ist, mittels Spektroskopie verfolgt werden. Dazu werden die zeitlichen Änderungen von Vegetationsindizes, also Verhältniszahlen oder normalisierte Differenzen der Reflektanz in ausgewählten Kanälen, berechnet und in einer Zeitreihe dargestellt. Schließlich können aus diesen Verlaufskurven phänometrische Variablen abgeleitet werden, nämlich z.B. Beginn und Ende des Wachstums, Dauer der Vegetationsperiode, Zeitpunkt maximaler Biomasse (Abbildung 6).

Je nach Standorteigenschaften, Klima, Vegetationstyp und Bewirtschaftung fallen diese Verlaufskurven sehr unterschiedlich aus. Es kommt nach einer Nutzung und vollständigen Entblätterung des Grünlandbestandes naturgemäß zu einem Einbruch des NDVI. Dieser kann detektiert und für das Monitoring von Grünlandflächen verwendet werden.

Schließlich ist mit Fernerkundungssensoren die Detektion der phänometrischen Daten möglich, und zwar am Boden, getrennt für jedes Pixel. Extrahiert man pixelweise innerhalb einer Grünlandfläche die in *Abbildung 6* gezeigte Phänometrie, so werden Heterogenitäten erkennbar, die Rückschlüsse auf Bodeneigenschaften zulassen. In Kombination mit der Detektion des N-Ernährungsindex ermöglicht diese Technik eine recht genaue Beschreibung des Zustands im Grünland, die für die teilschlagspezifische Bewirtschaftung (z.B. teilschlagspezifische Gülledüngung; Schellberg und Lock

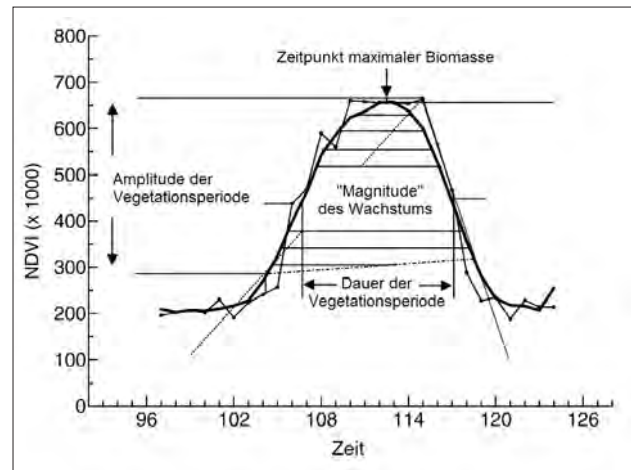


Abbildung 6: Ableitung phänometrischer Daten aus dem zeitlichen Verlauf des Vegetationsindex (NDVI) nach Reed et al. (1994).

(2009)) erforderlich ist. Für die großräumige und langjährige Kartierung der Phänometrie (Phänokartierung – Phenomapping) ergeben sich weiterreichende Anwendungen, nämlich z. B. in der Dokumentation von Bewirtschaftungsintensität und Klimavariabilität.

Perspektiven der Feldspektroskopie in der Grünlandforschung

Die nicht-invasive Beobachtung von Grünlandbeständen hat unter anderem das Ziel, Entwicklungsdynamiken und deren Abhängigkeit von Bewirtschaftungs- und Umwelteffekten zu beschreiben. Die mittels Feldspektroskopie laufend erfassten Spektラルsignaturen von Pflanzenbeständen können beispielsweise mit dem jeweiligen Witterungsverlauf in Beziehung gebracht werden. Aus dem Zusammenhang zwischen Entwicklungsphasen und Wetter, insbesondere Wetterextremen, lassen sich möglicherweise Modelle ableiten, die das Wachstum und letztlich den Ertrag unter veränderten Klimabedingungen abschätzen können. Gelingt es, ein derartiges Modell mit den Daten eines Klimaszenarios anzutreiben, ist eine konkrete Anwendung zur Abschätzung der Klimafolgen für die Grünlandwirtschaft umsetzbar.

Der Schwerpunkt in der Feldspektroskopie verlagert sich mehr und mehr zu bildgebenden Verfahren. Damit wird pro Messfläche nicht nur eine (mittlere) Signatur erfasst, sondern für jeden einzelnen Pixel innerhalb des Messbereiches jeweils eigene Spektraldaten. Gerade im Grünland, das sich aus verschiedenen Arten zusammensetzt, ist eine optische Trennung von großem Vorteil, um einzelne Effekte gesondert betrachten zu können (Stichwort: *Spectral Unmixing*). Hier besteht auch eine wichtige Querverbindung zur klassischen Fernerkundung, wo multi- und hyperspektrale Daten für große Teile der Erdoberfläche in mittlerweile hoher Auflösung gesammelt werden. Die präzisen Ergebnisse aus der Feldspektroskopie lassen sich sehr gut dafür verwenden, einerseits satellitengestützte Daten zu kalibrieren und zu evaluieren und andererseits aus Felddaten entwickelte Modelle in großem Maßstab, nämlich unter Einbeziehung von Satellitenaufnahmen, anzuwenden.

Literatur

- Aasen, H., M.L.Gnyp, Y. Miao and G. Bareth (2014): Automated Hyperspectral Vegetation Index Retrieval from Multiple Correlation Matrices with HyperCor. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 80 (8), 785-795.
- Barak, P. (1995): Smoothing and Differentiation by an Adaptive-Degree Polynomial Filter. *Analytical Chemistry* 67 (17), 2758-2762.
- Buchgraber, K. (1997): Der Einfluss des Schnittzeitpunktes auf den Mineralstoffgehalt des Grünlandfutters. Conference on nutrition of domestic animals „Zadavec-Erjavec-Days“, Radenci, Zivinorejsko-Veterinarski zavod za Pomurje Murska Sobota, 27.-28. Oktober 1997, 57-62.
- Buchgraber, K. und E.M. Pötsch (1999): Einfluss der Höhenstufen auf Futterertrag, Futterqualität, Tierbesatz und Milchleistung: Landkalendar 2000, 63. Jahrgang, Leopold Stocker Verlag, Graz, 133-138.
- Daughtry, C.S.T., V.C. Vanderbilt and V.J. Pollara (1982): Variability of Reflectance Measurements with Sensor Altitude and Canopy Type. *Agronomy Journal* 74 (4), 744-751.
- Dorigo, W.A. (2008): Retrieving canopy variables by radiative transfer model inversion - a regional approach for imaging spectrometer data. Dissertation, Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, 230 S.
- Dorigo, W.A., M.Bachmann and W. Heldens (2006): AS Toolbox & Processing of field spectra, User's manual, German Aerospace Center (DLR), Oberpfaffenhofen, 31 S.
- Fricke, T. and M. Wachendorf (2013): Combining ultrasonic sward height and spectral signatures to assess the biomass of legume-grass swards. *Computers and Electronics in Agriculture* 99 (0), 236-247.
- Fricke, T., F. Richter and M. Wachendorf (2011): Assessment of forage mass from grassland swards by height measurement using an ultrasonic sensor. *Computers and Electronics in Agriculture* 79 (2), 142-152.
- Gitelson, A.A. und Merzlyak, M.N. (1996): Signature Analysis of Leaf Reflectance Spectra: Algorithm Development for Remote Sensing of Chlorophyll. *Journal of Plant Physiology* 148 (3-4), 494-500.
- Govender, M., K. Chetty and H. Bulcock (2007): A review of hyperspectral remote sensing and its application in vegetation and water resource studies. *Water SA* 33 (2), 145-152.
- Hammes, G.G. (2005): Fundamentals of Spectroscopy: Spectroscopy for the Biological Sciences, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 1-15.
- Jespersen, N. (2006): Chapter 5 General principles of spectroscopy and spectroscopic analysis. In Ahuja and Jespersen (Eds.): *Comprehensive Analytical Chemistry*, Volume 47, Elsevier, 111-155.
- Jung, A., C. Götze and C. Gläßer (2009): A Comparison of four Spectrometers and their Effect on the Similarity of Spectral Libraries. 6th EARSeL SIG IS Workshop, Tel-Aviv University, European Association of Remote Sensing Laboratories, March 16-19, 2009, 6.
- Justes, E., B. Mary, J.-M. Meynard, J.-M. Machet and L. Thelier-Huche (1994): Determination of a Critical Nitrogen Dilution Curve for Winter Wheat Crops. *Annals of Botany* 74 (4), 397-407.
- Lemaire, G., M.-H. Jeuffroy and F. Gastal (2008): Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage: Theory and practices for crop N management. *European Journal of Agronomy* 28 (4), 614-624.
- MacArthur, A. (2011): Introduction to Field Spectroscopy, NERC Field Spectroscopy Facility, Monte Bondone, Italy, Course Handbook - COST Action ES0903, 63 S.
- MacArthur, A., C.J. MacLellan and T. Malthus (2012): The Fields of View and Directional Response Functions of Two Field Spectroradiometers. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 50 (10), 3892-3907.
- Milton, E.J. (1987): Principles of field spectroscopy. *International Journal of Remote Sensing* 8 (12), 1807-1827.
- Milton, E.J., M.E. Schaepman, K. Anderson, M. Kneubühler and N. Fox (2009): Progress in field spectroscopy. *Remote Sensing of Environment* 113 (Supplement 1), S92-S109.
- Mistele, B. and U. Schmidhalter (2008): Estimating the nitrogen nutrition index using spectral canopy reflectance measurements. *European Journal of Agronomy* 29 (4), 184-190.
- Perbandt, D., T. Fricke und M. Wachendorf (2009): Der Einfluss des Bewölkungsgrades auf hyperspektrale Messungen im Feld am Beispiel eines Klee-Gras-Bestandes. 52. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Halle/Saale, Band 21, September 1-3, 2009, 51-52.
- Pötsch, E.M. (1995): Einfluss der Düngung und Nutzung des Grünlandes auf den Gehalt an Futterinhaltsstoffen. Conference on nutrition of domestic animals „Zadavec-Erjavec-Days“, Radenci, Zivinorejsko-Veterinarski zavod za Pomurje Murska Sobota, 26.-27. Oktober 1995, 85-95.
- Pötsch, E.M. (2009): Einflussfaktoren auf Ertrag und Qualität von Grünlandfutter. Fortbildungsveranstaltung „Tierärztliche Bestandsbetreuung von Milchviehbetrieben in Österreich“, Gumpenstein, LFZ Raumberg-Gumpenstein, 4.-6. Juni 2009, 5-13.
- Pötsch, E.M., R. Resch, A. Schaumberger and K. Buchgraber (2006): Effect of different management systems on quality parameters of forage from mountainous grassland. 21st EGF General Meeting "Sustainable Grassland productivity", Badajoz, Spain, Grassland Science in Europe, 11, April 3-6, 2006, 484-486.
- Reed, B.C., J.F. Brown, D. VanderZee, T.R. Loveland, J.W. Merchant and D.O. Ohlen (1994): Measuring phenological variability from satellite imagery. *Journal of Vegetation Science* 5 (5), 703-714.
- Rollin, E.M., E.J. Milton and D.R. Emery (2000): Reference panel anisotropy and diffuse radiation - some implications for field spectroscopy. *International Journal of Remote Sensing* 21 (15), 2799-2810.
- Savitzky, A. and M.J.E. Golay (1964): Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures. *Analytical Chemistry* 36 (8), 1627-1639.
- Schellberg, J. and R. Lock (2009): A site-specific slurry application technique on grassland and on arable crops. *Bioresource Technology* 100 (1), 280-286.
- Schellberg, J., M.J. Hill, R. Gerhards, M. Rothmund and M. Braun (2008): Precision agriculture on grassland: Applications, perspectives and constraints. *European Journal of Agronomy* 29 (2-3), 59-71.
- Sims, D.A. and J.A. Gamon (2003): Estimation of vegetation water content and photosynthetic tissue area from spectral reflectance: a comparison of indices based on liquid water and chlorophyll absorption features. *Remote Sensing of Environment* 84 (4), 526-537.
- Stevens, A. and L.R. Lopez (2014): An introduction to the prospectr package, 22 S., <http://antoinestevens.github.io/prospectr/>, (07.09.2015).
- Thenkabail, P.S., E.A. Enclona, M.S. Ashton and B. Van Der Meer (2004): Accuracy assessments of hyperspectral waveband performance for vegetation analysis applications. *Remote Sensing of Environment* 91 (3-4), 354-376.
- Thenkabail, P.S., M.K. Gumma, P. Teluguntla and I.A. Mohammed (2014): Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation and Agricultural Crops. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 80 (8), 697-709.
- Tsai, F. and W. Philpot (1998): Derivative Analysis of Hyperspectral Data. *Remote Sensing of Environment* 66 (1), 41-51.

Biodiversität als zentrales Schutzgut im Programm zur ländlichen Entwicklung

Erich M. Pötsch ^{1*} und Elisabeth Schwaiger ²

Zusammenfassung

Dem weltweit beobachteten Rückgang der Biodiversität wird mittels zahlreicher Strategien auf unterschiedlichen Ebenen gegengesteuert. Der Initiative der Europäischen Union zur Verbesserung der biologischen Vielfalt folgend, haben mittlerweile zahlreiche Europäische Staaten nationale Biodiversitätsstrategien verabschiedet.

Eine wichtige Rolle spielt die Biodiversität als zentrales Schutzgut in den Programmen zur ländlichen Entwicklung als Kernelement der Europäischen Agrarpolitik. Zahlreiche Maßnahmen zielen auf die Erhaltung und Förderung der Biodiversität ab, wobei insbesondere die für die Landwirtschaft wichtigen Agrarumweltprogramme im Blickfeld des öffentlichen Interesses stehen. Auch in der verpflichtenden Evaluierung des Gesamtprogramms gilt dem Schutzgut Biodiversität besondere Aufmerksamkeit. Zahlreiche Evaluierungsstudien zu biodiversitätsrelevanten Aspekten leisten einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Wirksamkeit der angebotenen Maßnahmen und damit zur Erhaltung/Verbesserung der Biodiversität.

Summary

Various strategies have been launched to countersteer the worldwide observed decline of biodiversity. Following the European Union's initiative to improve biodiversity, several European states have passed national biodiversity strategies, meanwhile.

Being a central subject of protection, biodiversity is playing a major role in the rural development programs, which are the key element of the common European agricultural policy. Numerous measures aim at the maintenance and enhancement of biodiversity, whereat agri-environmental programs which are of great importance for agriculture, are in the main focus of public interest.

Special attention on biodiversity is also paid in terms of the compulsory evaluation of the entire program. Many evaluation studies, dealing with relevant aspects of biodiversity, significantly contribute to improve the efficiency of the provided measures and therefore maintain/enhance biodiversity.

Biodiversitätsinitiativen auf internationaler und Europäischer Ebene

Nach dem internationalen Übereinkommen über die biologische Vielfalt (CBD, 1992) versteht man unter Biodiversität die Variabilität der lebenden Organismen unterschiedlichster Land-, Meeres- und sonstiger aquatischer Ökosysteme. Diese Variabilität umfasst dabei sowohl die Vielfalt innerhalb der Arten (genetische Vielfalt), zwischen den Arten (Artenvielfalt) als auch der Ökosysteme (Lebensraumvielfalt) selbst. Mit 196 Vertragspartnern (168 Staaten haben die Konvention bisher unterzeichnet) gilt die Ende 1993 in Kraft getretene Biodiversitäts-Konvention zwar als eines der erfolgreichsten internationalen Vertragswerke, hat aber mit vielen praktischen Schwierigkeiten zu kämpfen. Die Vertragsstaaten haben sich zwar völkerrechtlich zur Umsetzung der Konvention verpflichtet, können dazu aber nicht gezwungen werden. Mit dem im Jahr 2000 beschlossenen und 2003 in Kraft getretenen Cartagena-Protokoll sowie dem 2010 verabschiedeten und 2014 in Kraft getretenen Nagoya-Protokoll existieren mittlerweile zwei völkerrechtlich verbindliche Abkommen, mit denen nun die Ziele der Biodiversitäts-Konvention umgesetzt werden

sollen. Einer Empfehlung der 10. Vertragsstaatenkonferenz der Konvention im japanischen Nagoya folgend, haben die Vereinten Nationen die Jahre 2011 bis 2020 zur UN-Dekade der Biodiversität erklärt und haben dazu 2012 einen Weltbiodiversitätsrat (IPBES) installiert, dessen Sekretariat in Bonn beheimatet ist.

Die Europäische Union hat 2011 in einer Mitteilung der Kommission „Biologische Vielfalt – Naturkapital und Lebensversicherung: EU-Strategie zum Schutz der Biodiversität bis 2020“ eine Strategie zum Schutz und zur Verbesserung der biologischen Vielfalt in Europa im kommenden Jahrzehnt verabschiedet (Europäische Kommission, 2011; Europäische Union, 2011). Diese Strategie enthält sechs Ziele, welche die wichtigsten Faktoren für den Verlust an biologischer Vielfalt abdecken und die es ermöglichen sollen, die größten Belastungen der Natur zu verringern.

Nationale Biodiversitätsstrategien

Eine Reihe von Staaten haben mittlerweile auch eigene Biodiversitätsstrategien erarbeitet, um auf nationaler Ebene mit konkreten Maßnahmen die Biodiversität zu erhalten, den Verlust an Arten, genetischer Vielfalt und Lebensräumen

¹ Abteilung Grünlandmanagement und Kulturlandschaft, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg 38, A-8952 IRDNING-DONNERSBACHTAL

² Abteilung Landnutzung & Biologische Sicherheit, Umweltbundesamt Wien, Spittelauer Lände 5, A-1090 WIEN

* Ansprechpartner: Univ.-Doz. Dr. Erich M. PÖTSCH, erich.poetsch@raumberg-gumpenstein.at

sowie deren Verschlechterung einzubremsen. Beispielhaft sind jene Nationen angeführt, die beim diesjährigen Alpenländischen Expertenforum in Form von Beiträgen bzw. mit Teilnehmern vertreten sind:

- Tschechien (Ministry of the Environment of the Czech Republic, 2005) – National Biodiversity Strategy of the Czech Republic
- Deutschland (BMU, 2007) – Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt
- Italien (MATTM, 2010) – Italian National Biodiversity Strategy
- Schweiz (Schweizer Bundesrat, 2012) – Strategie Biodiversität Schweiz
- Österreich (BMLFUW, 2014a) – Biodiversitätsstrategie Österreich 2020+

Die Erarbeitung der Österreichischen Biodiversitätsstrategie erfolgte in einem partizipativen Prozess unter Einbindung von Stakeholdern und Entscheidungsträgern auf unterschiedlichsten Ebenen (Ministerien, Bundesländer, Sozialpartner, Interessensvertretungen, Wissenschaft, Experten, Grundbesitzer, NGOs etc.). Letztlich hat die Nationale Biodiversitätskommission dem vom Umweltbundesamt vorgelegten Strategieentwurf zugestimmt und diese dem BM für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft empfohlen. Die österreichische Biodiversitätsstrategie legt in fünf Handlungsfeldern und zwölf Zielen jene Schwerpunkte fest, an denen sich nun alle relevanten Akteure (Bund, Länder, Gemeinden, NGOs) zur Erhaltung der Biodiversität und ihren Ökosystemleistungen orientieren sollen. Für jedes der fünf Handlungsfelder sind spezifische Ziele, Maßnahmen, Evaluierungsparameter sowie die relevanten Akteure dargestellt.

Handlungsfeld – Biodiversität kennen und anerkennen

Verantwortung für die Erhaltung/Förderung der Biodiversität wird nur dann entsprechend wahrgenommen werden, wenn ein ausreichender Wissensstand über die komplexe Thematik und Problematik vorhanden ist. Es braucht dazu eine Verstärkung in den Bereichen Information, Bildung, Wissenstransfer und Bewusstseinsbildung auf unterschiedlichsten Ebenen. Dies betrifft zugleich aber auch die Forcierung der Biodiversitätsforschung zum besseren Verständnis der komplexen Zusammenhänge und den Ausbau des Monitorings zur kontinuierlichen Erfassung von Zustandsveränderungen

Handlungsfeld – Biodiversitätsbelastungen reduzieren

Hier geht es unter anderem darum, Zielkonflikte der Umwelt-, Energie- und Biodiversitätspolitik zu vermeiden und positive Synergien sicherzustellen. Konkret werden etwa der Einfluss von Wasserkraftwerken auf Gewässerökosysteme, von Windkraftanlagen auf das Landschaftsbild bzw.

die Vogelwelt und Fledermäuse, des Biomasseanbaus und dessen Konfliktpotenzial mit dem Lebens- und Futtermittelanbau sowie die Auswirkungen nächtlicher Beleuchtung auf die Tierwelt angesprochen. Als weitere Ziele sind in diesem Handlungsfeld die Reduktion von Schadstoffeinträgen (Pestizide, Arzneimittel, Kunststoffpartikel etc.) insbesondere in Oberflächengewässer und Grundwasser sowie die Reduktion negativer Auswirkungen invasiver, gebietsfremder Arten genannt.

Handlungsfeld – Biodiversität erhalten und entwickeln

Die Erhaltung von Arten und Lebensräumen sowie die Verbesserung des Erhaltungszustandes von Schutzgütern gelten als zentrale Aufgaben des Naturschutzes. Daten zum Gefährdungszustand von Arten/Lebensräumen belegen, dass die bisherigen Maßnahmen nicht ausreichend sind und es die Kombination einer ökologisch verträglichen Nutzung mit gezielten Schutzaktivitäten für ausgewählte Gebiete und Arten braucht. Besonders im Zusammenhang mit dem Klimawandel steigt die Bedeutung von intakten Ökosystemen, welche mit ihrem gesamten Spektrum an Arten und genetischer Vielfalt eine höhere Widerstandsfähigkeit gegenüber Veränderungen besitzen. In diesem Handlungsfeld wird auch eine (stärkere) Berücksichtigung der Biodiversität und Ökosystemleistungen in den Bereichen Raumordnung (z.B. Flächenversiegelung, Umweltverträglichkeit von Baumaßnahmen) sowie Verkehr und Mobilität (z.B. Zerschneidung von Lebensräumen, Schadstoffemissionen, Verbreitung von Neobiota) eingefordert

Handlungsfeld – Biodiversität weltweit sichern

Die nationale Biodiversitätsstrategie soll selbstverständlich auch einen wichtigen Beitrag zur Bewältigung der globalen Biodiversitätskrise leisten. Dazu gehören Maßnahmen wie etwa bewusstseinsbildende Information der Öffentlichkeit über die Auswirkungen unseres Konsumverhaltens auf die globale Biodiversität und Armut, Prüfung von internationalen Projekten mit österreichischer Beteiligung hinsichtlich deren Auswirkung auf Biodiversität oder auch die verstärkte Mitarbeit österreichischer Akteure im Bereich des globalen Biodiversitätsschutzes.

Handlungsfeld – Biodiversität nachhaltig nutzen

Neben der Anpassung des Wildtier- und Fischbestandes an die naturräumlichen Verhältnisse (Fortsetzung des Forst-Jagd-Dialoges) sowie der Abstimmung der Tourismus- und Freizeitaktivitäten mit Biodiversitätszielen gilt die Hauptzielsetzung in diesem Handlungsfeld dem Beitrag der Land- und Forstwirtschaft zur Erhaltung und zur Verbesserung der Biodiversität. Dazu werden unter anderem ganz konkret eine Erhöhung des Flächenausmaßes mit biodiversitätsrelevanten Agrarumweltmaßnahmen, eine Verbesserung des Erhaltungszustandes von Arten und Lebensräumen, die von der Land- oder Forstwirtschaft abhängen/beeinflusst werden

bzw. eine Verbesserung der Entwicklung des Farmland Bird Index und eine Erhöhung des Gesamtbestandes seltener Nutztierassen angesprochen.

Programm zur Ländlichen Entwicklung (LE 2020)

Zur Umsetzung dieser Ziele wird ein sehr umfassender Maßnahmenkatalog vorgeschlagen, der immer wieder auf die Bedeutung und Rolle des Programms zur ländlichen Entwicklung verweist. Das Programm zur ländlichen Entwicklung gilt als zentrales Element der europäischen aber auch der österreichischen Agrarpolitik und umfasst eine große Angebotspalette unterschiedlichster Fördermaßnahmen für die Bereiche Wettbewerbsfähigkeit, Umwelt und Landschaft, Lebensqualität und Diversifizierung sowie LEADER (Liaison entre actions de développement rural = Verbindungen zwischen Aktionen zur ländlichen Entwicklung). Das Gesamtprogramm unterstützt nicht nur eine moderne, effizient und nachhaltig produzierende Landwirtschaft, sondern auch die regionale Wirtschaft sowie die Gemeinden und setzt zudem soziale Akzente. Bis 2020 stehen dazu in der laufenden Programmperiode jährlich 1,1 Milliarden Euro zur Verfügung, mehr als die Hälfte davon wird von der EU finanziert. Die Maßnahmen des aktuellen Programms LE 2020 bauen gemäß Art. 5 der ELER-Verordnung (EU) Nr.1305/2013 auf sechs EU-Prioritäten auf:

1. Wissenstransfer und Innovation
2. Lebensfähigkeit und Wettbewerbsfähigkeit der landwirtschaftlichen Betriebe
3. Organisation der Nahrungsmittelkette, Verarbeitung und Vermarktung, Tierschutz und Risikomanagement
4. Wiederherstellung, Erhaltung und Verbesserung der mit der Land- und Forstwirtschaft verbundenen Ökosysteme
5. Ressourceneffizienz und Unterstützung des Agrar-, Ernährungs- und Forstsektors beim Übergang zu einer kohlenstoffarmen und klimaresistenten Wirtschaft
6. Soziale Inklusion, Armutsbekämpfung und wirtschaftliche Entwicklung

Agrarumweltmaßnahmen – ÖPUL

Innerhalb des Programms zur Ländlichen Entwicklung nimmt traditioneller Weise das Agrarumweltprogramm ÖPUL in seiner nunmehr bereits fünften Auflage sowohl budgetär als auch fachlich eine ganz zentrale Stellung ein. In allen bisherigen Programmperioden (ÖPUL 95, ÖPUL 98, ÖPUL 2000, ÖPUL 2007) erfreute sich das Agrarumweltprogramm einer hohen Akzeptanz sowohl betreffend das Ausmaß landwirtschaftlicher Flächen als auch die Anzahl landwirtschaftlicher Betriebe.

Die Bewertung der Programme zur Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums ist von der Europäischen Kommission vorgeschrieben und erfolgt in regelmäßigen Abständen (ex Ante-Bewertung, Halbzeitbewertung und ex Post-Bewertung). Die Evaluierung der Ländlichen Entwicklung stellt wichtige Informationen zur Durchführung und Auswirkung der co-finanzierten Programme zur Verfügung. Ihre Ziele sind einerseits, Rechenschaft zu legen und die

Transparenz für die Behörden und die Öffentlichkeit zu verbessern und andererseits, die Durchführung der Programme im Hinblick auf die festgestellten Erfordernisse zu verbessern. Die Evaluierung bewertet die Ergebnisse und Auswirkungen der Programme durch die Abschätzung der Effektivität, Effizienz und Wirkungen der darin enthaltenen Maßnahmen. Als Schlüsselement der Evaluierung gilt die sogenannte Interventionslogik, welche ausgehend von den vorhandenen budgetären Mitteln, über den Output und dem Ergebnis der Maßnahmen zu ihren Wirkungen einen kausalen Zusammenhang herstellt (siehe Beispiel in *Abbildung 1*).

Die bisherigen Programmevaluierungen erfolgten nach unterschiedlichen Kriterien und immer wieder veränderten Vorgaben, wobei aber die Biodiversität neben Boden, Wasser und Atmosphäre als zentrales Schutzgut/Schutzziel stets einen sehr hohen Stellenwert eingenommen hat. ÖPUL 2015 (BMLFUW, 2014b) setzt im Vergleich zur Vorperiode trotz einer Verringerung der budgetären Mittel einen noch stärkeren Fokus auf das Schutzgut Biodiversität mit einer Verbesserung der Qualität und Wirkungsorientierung biodiversitätsrelevanter Auflagen. So waren in die Maßnahmenkonzeption von Beginn an ExpertInnen der Naturschutzabteilungen der Bundesländer, sowie NGO-VertreterInnen eingebunden. Die Weiterentwicklung der Maßnahmenauflagen für das Schutzgut Biodiversität erfolgte auf Grundlage der Ergebnisse zahlreicher wissenschaftlichen Evaluierungsprojekte, die die Biodiversitätswirksamkeit von Maßnahmen des Österreichischen Agrarumweltprogramms 2007 – 2013 untersuchten.

Grünland und Biodiversität

Grünland und ganz besonders Extensivgrünland gelten als wichtige Habitate für eine große Zahl an Pflanzen- und Tierarten (Hopkins and Holz, 2006; Ökoteam, 2012). Nach Grabherr and Reiter (1995) sind ca. 1/10 des gesamten österreichischen Artenbestandes von 2873 Farn- und Blütenpflanzenarten von den Wiesen abhängig. Es besteht

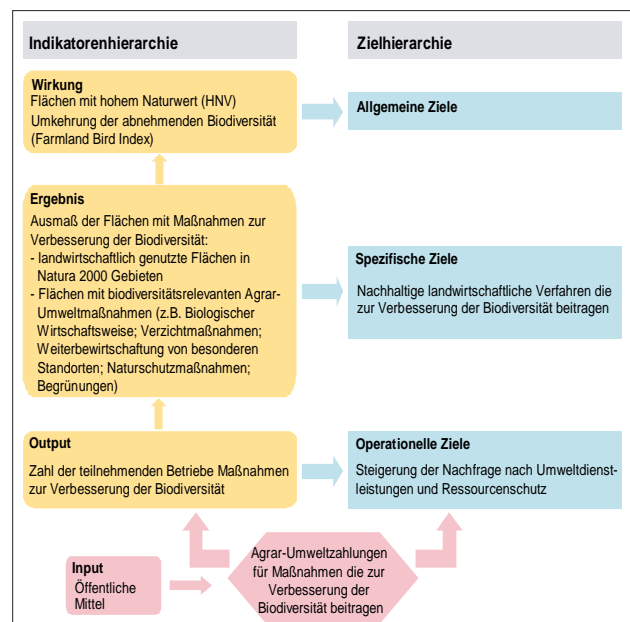


Abbildung 1: Interventionslogik für das Schutzgut Biodiversität.

diesbezüglich ein enger Zusammenhang zwischen den einzelnen Grünlandnutzungstypen und der floristischen Artenvielfalt (α -Diversität). Diese Thematik wurde von der HBLFA Raumberg-Gumpenstein sehr umfassend im von der UNESCO unterstützten Projekt der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (MAB-Projekt 6/21 „Landschaft und Landwirtschaft im Wandel“) untersucht und dargestellt (Bohner, 1999; Pötsch *et al.*, 2000; Bohner und Sobotik, 2000; Bohner *et al.*, 2002).

Die Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH Richtlinie) verpflichtet gemäß Artikel 17 die Mitgliedstaaten, den Erhaltungszustand der jeweiligen Lebensräume und Arten innerhalb ihrer Staatsgrenzen zu überwachen. Die wesentlichsten Ergebnisse dieses Monitorings müssen gemeinsam mit den Informationen über die in den Natura 2000-Gebieten gesetzten Erhaltungsmaßnahmen und deren Auswirkungen alle sechs Jahre in Berichten an die Europäische Kommission vorgelegt werden (= „Artikel 17-Bericht“). Der zweite umfassende Bericht Österreichs für die Periode 2007 – 2012 liegt für 74 Lebensraumtypen sowie 209 Tier- und Pflanzenarten vor. Das Umweltbundesamt hat diesen Bericht, der unter Beteiligung zahlreicher ExpertInnen aus unterschiedlichsten Institutionen ausgearbeitet wurde, für die Bundesländer vorbereitet (Umweltbundesamt, 2013). Wichtige Grundlagen dazu waren u. a. die Biotopkartierungen der Bundesländer, Daten der österreichischen Waldinventur und Daten der Gewässerüberwachung. Insgesamt wurden rund 540.000 Datensätze zum Vorkommen der Schutzgüter berücksichtigt. Die Ergebnisse des Berichtes zeigen, dass sich ein Großteil der Grünlandhabitats in Österreich in einem unzureichenden Erhaltungszustand befindet. Als die größten Beeinträchtigungen für diese Lebensräume werden

Nutzungsaufgabe/Sukzession, Düngung, Aufforstung und intensive Beweidung angegeben.

High Nature Value (HNV) Farmland bezeichnet Landwirtschaftsflächen mit hohem Naturwert und umfasst einerseits naturnahe landwirtschaftliche Flächen mit hoher biologischer Vielfalt (Typ 1) und andererseits landwirtschaftliche Systeme, die sich durch eine hohe strukturelle Vielfalt auszeichnen (Typ 2). Extensive und mittelmittelsintensive Grünlandflächen spielen bei der Ausweisung des HNV Farmlands in Österreich eine wichtige Rolle. Der für 2013 aufgezeigte Rückgang um 11 % gegenüber dem Basisjahr 2007 wird vor allem durch die Flächenabnahme zweimähdiger Wiesen, Hutweiden und Ackerbrachen verursacht (BMLFUW, 2015).

Halbzeitbewertung des bisherigen Agrarumweltprogramms ÖPUL 2007

Die starke Bedeutung des Grünlandes für die Biodiversität zeigt sich auch in den Ergebnissen der Halbzeitbewertung des ÖPUL 2007 (Schwaiger und Pötsch, 2011). So finden die als am stärksten biodiversitätswirksam eingestuften Naturschutzmaßnahmen (ca. 80.000 ha) zum überwiegenden Anteil auf Grünlandflächen statt, dies gilt auch für die derzeit stagnierende Biologische Wirtschaftsweise (insgesamt 406.000 ha Teilnahmefläche, davon sind 325.000 ha Grünland!). Auf weiteren 375.000 ha Grünland werden darüber hinaus keine ertragssteigernden Betriebsmittel eingesetzt – diese Flächen und Betriebe gelten durchaus als potenzielle, zukünftige Biobetriebe.

Zur Evaluierung des Schutzgutes Biodiversität wurden in der vergangenen Programmperiode zahlreiche Forschungs-

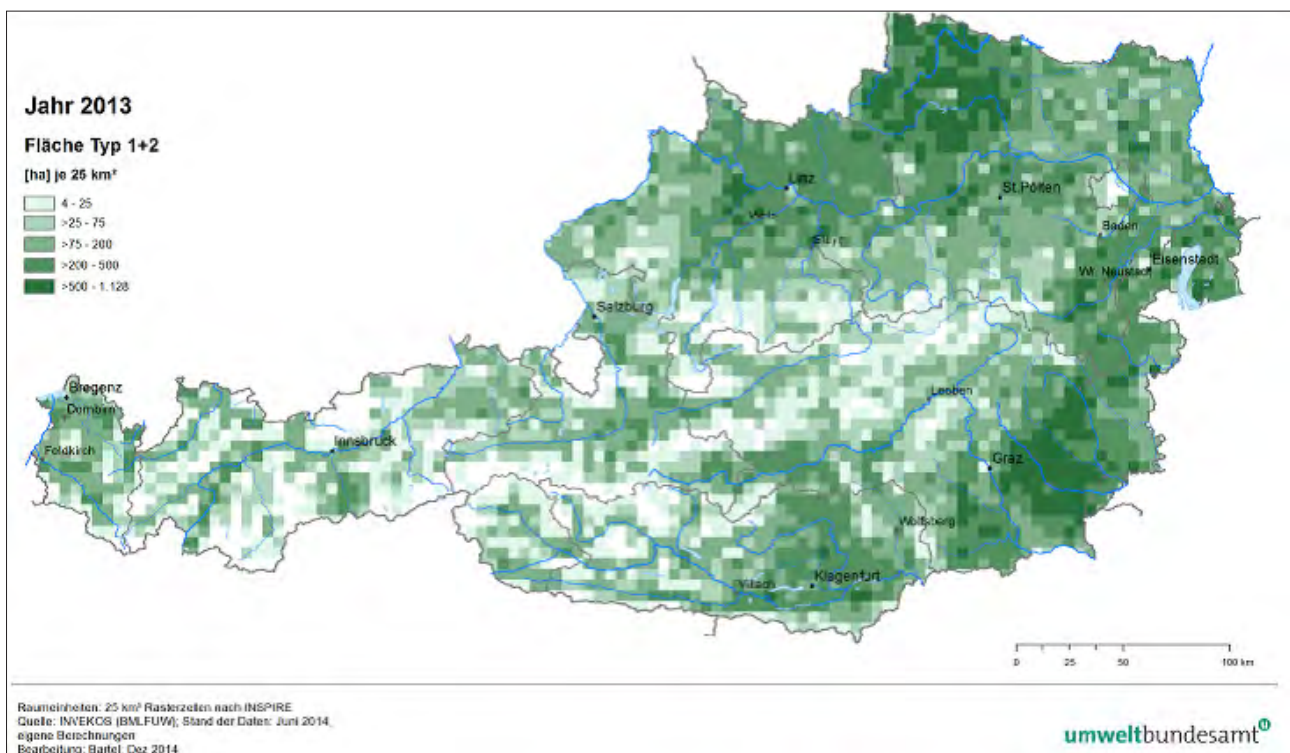


Abbildung 2: Flächen mit hohem Naturschutzwert – HNV Farmland.

projekte vergeben, die sich teilweise spezifisch mit unterschiedlichen Grünlandnutzungstypen befasst haben:

- Tierökologische Bewertung von WF- und Nicht-WF-Flächen
- Gefährdete Wiesenbrüter in Tirol
- Braunkelchenprojekt Lungau
- ÖPUL sichert Landschaftsvielfalt
- Biodiversitätsflächen im Grünland
- Ländliche Entwicklung im Bereich der Almen
- Ökopunkteprogramm Niederösterreich

Die Ergebnisse der Studien und Projekte bzw. die daraus abgeleiteten Empfehlungen für die Halbzeitbewertung wurden bei der Planung des neuen Programms berücksichtigt und zumindest teilweise auch umgesetzt.

Ex Ante-Bewertung des neuen Agrarumweltprogramms ÖPUL 2015

Gegenüber der vorhergehenden Programmperiode wurde die Anzahl der angebotenen Maßnahmen von 26 auf 19 reduziert. 15 der insgesamt 19 Maßnahmen im Agrarumweltprogramm lassen grundsätzlich einen positiven Beitrag zur Erhaltung bzw. Verbesserung des Schutzzieles Biodiversität erwarten. Die Begründung dafür beruht unter anderem auf den vorgesehenen Auflagen zur Steuerung des Einsatzes ertragssteigernder Betriebsmittel (z.B. Reduktion bzw. Verzicht auf organische/mineralische Düngemittel und Pflanzenschutzmittel) sowie auf unmittelbar biodiversitätsbeeinflussenden Vorgaben wie etwa die Erhaltung von Grünland, Erhaltung und Anlage von Landschaftselementen und Biodiversitätsflächen bzw. Blühflächen. Je nach inhaltlicher Ausrichtung der einzelnen Maßnahmen fällt deren Wirksamkeit auf die Biodiversität unterschiedlich stark aus. Zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten und Evaluierungsstudien belegen die Wirkungszusammenhänge auf vorwiegend qualitativer Ebene und wurden auch bei der Maßnahmenentwicklung berücksichtigt. Der quantitative Wirkungsgrad der einzelnen Maßnahmen hinsichtlich des Schutzgutes Biodiversität lässt sich allerdings nicht exakt bemessen, da hier neben den Schlüsselfaktoren auch externe Faktoren (z.B. Witterung bzw. längerfristig das Klima, Siedlungs-, Verkehrs- und Wirtschaftstätigkeit anderer Sektoren) einen maßgeblichen, weitestgehend nicht vorhersehbaren Einfluss aufweisen. Dies betrifft beispielsweise die Diversität von Vogelarten der Kulturlandschaft, deren Bestandstrends die Basis des Farmland Bird Index darstellen, welcher bereits bisher als wichtiger Basis- und Wirkungsindikator des Programms zur ländlichen Entwicklung galt. Die Komplexität des Schutzgutes Biodiversität lässt eine exakte Vorhersage der Wirkung einzelner Maßnahmen bzw. der diesen zugrundeliegenden Auflagen nicht zu, zumal auch die Ausgangssituation der Diversität von Fauna und Flora weder auf landwirtschaftlicher Betriebs- noch auf Flächenebene bekannt ist.

Dazu kommt der Umstand, dass die Teilnahmedauer an bestimmten Maßnahmen/Auflagen aus Vorperioden sehr unterschiedlich ist und auch Maßnahmenwechsel eine kontinuierliche Betrachtung erschweren. Unbestritten erscheint

hingegen der hohe biodiversitätsfördernde Effekt der Naturschutzmaßnahme. Die vorgesehenen Prämien entsprechen in etwa denen der derzeitigen Periode. Das bedeutet, die gleichbleibenden Ressourcen müssen für die Erfüllung der in den Maßnahmen genannten Ziele, umso zielgerichteter eingesetzt werden. Die Umsetzung von landwirtschaftlichen Maßnahmen in Natura 2000-Gebieten durch die Naturschutzmaßnahme (unter Berücksichtigung vorhandener Natura 2000 Managementpläne) ist ein wichtiger Beitrag, um gefährdete Arten und Habitate (FFH und VSR), die im Zusammenhang mit landwirtschaftlicher Bewirtschaftung stehen, zu erhalten. Hinsichtlich der Erhaltungsmaßnahmen in Natura 2000 Gebieten wäre beispielsweise eine Ausweitung der Naturschutzmaßnahmen für Grünland sinnvoll. Hier ist auch die Mitarbeit der Bundesländer erforderlich. Vielsprechend erscheint in diesem Zusammenhang die Initiative zur Erstellung von ergebnisorientierten Naturschutzplänen in Form eines integrierten Pilotprojektes. Auch von der „Einstiegsmaßnahme“ – Umweltgerechte und biodiversitätsfördernde Bewirtschaftung – ist, aufgrund der Anlage von Biodiversitätsflächen auf Acker und/oder Grünland, eine positive Auswirkung auf die Biodiversität zu erwarten.

Biodiversitätsstrategie & ÖPUL

Ein starker Schwerpunkt wird im neuen Agrarumweltprogramm auch auf die Erhöhung fachlicher Kompetenzen und auf die Umsetzung bewusstseinsbildender Maßnahmen im Bereich Biologische Vielfalt gelegt. Durch umfassende Information und zielgerichtete Weiterbildungsangebote kann die Sinnhaftigkeit und der Effekt von biodiversitätswirksamen ÖPUL-Maßnahmen vermittelt werden. Langfristig sollte dies zu einer höheren Maßnahmenakzeptanz und damit zur Erhaltung und Verbesserung der heimischen Artenvielfalt führen! Diesem Schwerpunkt wird unter anderem mit einer Weiterführung des Biodiversitätsmonitorings Rechnung getragen (Bogner und Mohl, 2010). Einen wichtigen Beitrag sowohl zur Umsetzung der Ziele der österreichischen Biodiversitätsstrategie als auch des Agrarumweltprogramms leisten Veranstaltungen wie das diesjährige Expertenforum. Es unterstreicht einmal mehr die Gesamtbedeutung des Grünlandes, deren Ursprung letztlich im Pflanzenbestand und dessen vielfältigen Funktionen mit den daraus resultierenden Leistungen begründet ist.

Literatur

- BMLFUW (2015): „High Nature Value Farmland“ in Österreich 2007-2013. Bearb. Umweltbundesamt (A. Bartel, B. Schwarzl, E. Süßenbacher). Hrsg.: BMLFUW, Wien.
- BMLFUW (2014a): Biodiversitätsstrategie Österreich 2020+. Wien, 31 S.
- BMLFUW (2014b): Sonderrichtlinie ÖPUL 2015. Sonderrichtlinie des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) für das Österreichische Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft, GZ BMLFUW-LE.1.1.8/0089-II/3/2014, 70 S.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. – URL: http://www.biologischevielfalt.de/einfuehrung_nbs.html.

- Bogner, D. und I. Mohl (2010): Biodiversitätsmonitoring mit Landwirten – Bewusstseinsbildung durch Beobachtung. Bericht zum 16. Alpenländischen Expertenforum „Biodiversität im Grünland“, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, S 19-23.
- Bohner (1999): Soziologie und Ökologie der Weiden – von der Tallage bis in den alpinen Bereich. 5. Alpenländisches Expertenforum „Zeitgemäße Weidewirtschaft“, BAL Gumpenstein, 31-39.
- Bohner, A., M. Sobotik and E.M. Pötsch (2002): The species richness of the Austrian grassland and the importance of grassland management for biodiversity. Proceedings of the 19th general meeting of the European Grassland Federation. Grassland Science in Europe, Volume 7, 766-767.
- Bohner, A. und M. Sobotik, (2000): Das Wirtschaftsgrünland im Mittleren Ennstal aus vegetationsökologischer Sicht. In: MAB-Forschungsbericht. Landschaft und Landwirtschaft im Wandel. Das Grünland im Berggebiet Österreichs. 22.-23. September 2000, Wien. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein. 195 S.
- CBD (1992): Übereinkommen über die biologische Vielfalt. Franz. Originaltext in dt. Übersetzung. URL.: http://www.admin.ch/ch/d/sr/c0_451_43.html bzw. http://www.lebensministerium.at/umwelt/naturartenschutz/biologische_vielfalt/konvention_biodiversitaet/konvention.html.
- Europäische Kommission (2011): http://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/policy/index_en.htm.
- Europäische Union (2011): Die Biodiversitätsstrategie der EU bis 2020. doi. 10.2779/23746, 6S.
- Grabherr, G. und K. Reiter (1995): Die Erhaltung mitteleuropäischer Wiesen aus der Sicht des Naturschutzes. Expertentagung „Landwirtschaft und Naturschutz“, BAL Gumpenstein, 3-7.
- Hopkins A. and B. Holz (2006): Grassland for agriculture and nature conservation. *Agronomy Research*, 4, 3-20.
- MATTM (2010): La Strategia Nazionale per la Biodiversita. Ministero dell' Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Roma, IT, 120 S.
- Ministry of the environment of the Czech Republic (2005): National Biodiversity Strategy of the Czech Republic, Prague. ISBN 80-7212-380-7, 137 S.
- Ökoteam (2012): Tierökologische Bewertung von WF-Rotflächen ein und vier Jahre nach Einstieg in die WF-Maßnahme (ÖPUL-Evaluierung LE 07-10). Unveröffentlichter Projektbericht im Auftrag des BMLFUW, 475 S.
- Pötsch, E.M., K. Buchgraber, A. Bohner, M. Greimel and M. Sobotik (2000): Utilisation and cultivation of grassland in the Upper Enns Valley: Vegetation and ecological classification, aspects of plant production, internal resource flows, socioeconomics and case-studies of utilisation. In: Proceedings EUROMAB-Symposium “Changing agriculture and landscape: ecology, management and biodiversity decline in anthropogenous mountain grassland”. Austrian academy of sciences Vienna – Gumpenstein, 11-14.
- Schwaiger, E. und E.M. Pötsch (2011): Bericht zur Halbzeitbewertung des Österreichischen Programms für die Entwicklung des Ländlichen Raums 2007-2013. Teil B – Evaluierung der Einzelmaßnahmen. Maßnahme 214: Evaluierung des ÖPUL für den Bereich Biodiversität, BMLFUW, Wien. 60 S.
- Schweizer Bundesrat (2012): Strategie Biodiversität Schweiz vom 25. April 2012. BBl 2012: 7239–7342.
- Umweltbundesamt (2013): Österreichischer Bericht gemäß Artikel 17 FFH-Richtlinie. Berichtszeitraum 2007-2012. Kurzfassung, 31 S.

Zur Bedeutung von Zeigerpflanzen im Grünland

Andreas Bohner^{1*}

Zusammenfassung

Viele Pflanzenarten besitzen einen Zeigerwert über die am Standort vorherrschenden Umweltbedingungen. Sie können als Bioindikatoren (Zeigerpflanzen) im Grünland verwendet werden. In dieser Arbeit wird über die praktischen Einsatzmöglichkeiten von Zeigerpflanzen in der Grünlandwirtschaft und über die Bedeutung von Zeigerwertberechnungen für die Wissenschaft und Praxis berichtet. Probleme, Einschränkungen und Fehlermöglichkeiten bei der Durchführung und Interpretation von Zeigerwertberechnungen und bei der Verwendung von Zeigerpflanzen für landwirtschaftliche, naturschutzfachliche und landschaftsplanerische Zwecke werden aufgezeigt.

Schlagwörter: Bioindikatoren, Zeigerwertberechnungen, Standortbonität, Standortveränderungen, Grünlandbewirtschaftung

Summary

Many plant species can be considered as bioindicators. In grassland ecosystems, they are indicator plants of various environmental conditions. In this paper the practical use of indicator plants for grassland management and the importance of indicator values both for science and practice is illustrated. Problems connected with the use of indicator plants and indicator values are discussed.

Keywords: bioindicators, calculations of indicator values, site quality, changing site conditions, grassland management

Einleitung

Das Ziel einer ressourcenschonenden und umweltverträglichen Grünlandbewirtschaftung ist es, Ertrag und Futterqualität zu optimieren, gleichzeitig aber die Umwelt (Atmosphäre, Pedosphäre, Hydrosphäre, Biosphäre) nicht zu belasten. Dies kann nur durch eine standortangepasste Bewirtschaftung erreicht werden. Die einzelnen Grünlandflächen haben aus klimatischen, bodenkundlichen und topografischen Gründen ein unterschiedliches Ertragspotenzial und sie weisen eine unterschiedliche Nutzungseignung auf. Die Art der Bewirtschaftung und die Intensität der Nutzung müssen auf den Standort, den Pflanzenbestand und auf die Witterungsverhältnisse abgestimmt werden. Zeigerpflanzen geben Auskunft über die am Standort vorherrschenden Umweltbedingungen (Ellenberg *et al.*, 2001). Ihr Indikatorwert sollte in der Grünlandwirtschaft genutzt werden. Das primäre Ziel dieser Arbeit ist es daher, über die Einsatzmöglichkeiten von Zeigerpflanzen in der Grünlandwirtschaft und über die Bedeutung von Zeigerwertberechnungen für die Wissenschaft und Praxis zu berichten. Probleme, Einschränkungen und Fehlermöglichkeiten bei der Durchführung und Interpretation von Zeigerwertberechnungen und bei der Verwendung von Zeigerpflanzen für landwirtschaftliche, naturschutzfachliche und landschaftsplanerische Zwecke werden aufgezeigt.

Zeigerpflanzen

Die einzelnen Pflanzenarten kommen im Dauergrünland nicht zufällig nebeneinander vor. Nur Arten mit ähnlichen

Standortansprüchen können miteinander existieren, sie bilden eine Pflanzengesellschaft. Die Artenzusammensetzung der Grünlandvegetation ist von den natürlichen Standorteigenschaften (Klima, Relief, Boden, biotische Faktoren) und den jeweiligen Bewirtschaftungsmaßnahmen (Düngung, Nutzung, Bestandespflege) abhängig. Einige Pflanzenarten sind besonders eng an bestimmte Standorteigenschaften und Bewirtschaftungsmaßnahmen gebunden und sie reagieren äußerst empfindlich gegenüber deren Veränderungen. Diese Pflanzenarten können daher als Bioindikatoren (Zeigerpflanzen) verwendet werden. Zeigerpflanzen sind somit Arten, deren Vorkommen oder Fehlen, Zu- oder Abnahme, Verschwinden oder Neuauftreten in einem Pflanzenbestand Hinweise auf bestimmte Standorteigenschaften, Bewirtschaftungsmaßnahmen und deren Veränderungen geben (Ellenberg, 1981; Bick, 1982; Sukopp *et al.*, 1986; Bohner, 2010). Es gibt Zeigerpflanzen für verschiedene Standorteigenschaften und Bewirtschaftungsfaktoren (Bohner, 2010):

- Nährstoffhaushalt (Nährstoffzeiger, Magerkeitszeiger)
- Säuregrad des Bodens (Säurezeiger, Carbonatzeiger)
- Bodenwasserhaushalt (Trockenheitszeiger, Wechselfeuchte-, Feuchte- und Nässezeiger, Staunässe- und Überschwemmungszeiger)
- Wärmehaushalt (Wärmezeiger, Kältezeiger)
- Bodenstruktur (Bodenverdichtungszeiger)
- Nutzungsintensität (Übernutzungszeiger, Unternutzungszeiger)
- Vegetationsdeckungsgrad (Lückenbüßer).

¹ Abteilung für Umweltökologie, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg 38, A-8952 IRDNING-DONNERSBACHTAL

* Ansprechpartner: Dr. Andreas BOHNER, andreas.bohner@raumberg-gumpenstein.at

Bedeutung für die Praxis

Zeigerpflanzen sind Bioindikatoren, mit deren Hilfe

- die Standortbonität rasch und flächenhaft festgestellt,
- Standortveränderungen, Düngungs- und Bewirtschaftungsfehler frühzeitig erkannt,
- die Notwendigkeit standortspezifischer Düngungs- und Pflegemaßnahmen sowie kulturtechnischer Eingriffe einfach und nachvollziehbar abgeleitet,
- der Erfolg von eingeleiteten Düngungs- und Pflegemaßnahmen sowie kulturtechnischen Eingriffen kontrolliert und
- standortspezifische Intensivierungsgrenzen festgestellt werden können.

Zeigerpflanzen integrieren die Standortfaktoren zumindest über die Vegetationsperiode, meistens sogar über mehrere Jahre (Fischer *et al.*, 2008), sodass jährliche und jahreszeitliche Schwankungen sowie Extremwerte von einzelnen Standortfaktoren erfasst werden. Mit Hilfe von Zeigerpflanzen kann beispielsweise eine Staunässe im Frühjahr auf Grund der Schneeschmelze erkannt werden. Zeigerpflanzen liefern wertvolle Informationen über den Zustand der Böden und die Trends ihrer Entwicklung. Sie repräsentieren – im Gegensatz zu routinemäßigen Bodenuntersuchungen – keine Momentaufnahme („Augenblickszustand“) einzelner Bodenparameter, sondern sie charakterisieren die Bodenverhältnisse an ihrem Wuchsort während der gesamten Vegetationsperiode. Die chemischen Bodenuntersuchungsergebnisse hingegen gelten auf Grund der zeitlichen Variabilität einzelner chemischer Bodenparameter meist nur für den Zeitpunkt der Probenahme. Mit Hilfe von Zeigerpflanzen ist eine flächenhafte Beurteilung und Bewertung des Bodenzustands einer Grünlandfläche möglich. Auch kleinräumige Standortunterschiede und standörtliche Veränderungen können einfach und rasch festgestellt werden. Dadurch wird eine standortangepasste, pflanzenbedarfsgerechtere und somit umwelt- und ressourcenschonendere Düngung möglich. Zeigerpflanzen geben Auskunft über den Nährstoffzustand und Säuregrad des Bodens im Wurzelraum. Mit ihrer Hilfe kann der Dünger- und Kalkbedarf der Grünlandböden eingeschätzt werden. Dies wird durch das Vorkommen oder Fehlen von Zeigerpflanzen (Nährstoffzeiger versus Magerkeitszeiger, Säurezeiger versus Carbonatzeiger) im Pflanzenbestand möglich. Zeigerpflanzen geben auch Auskunft über den Bodenwasserhaushalt während der Vegetationsperiode. Der Einfluss von Grund-, Stau-, Hang- oder Überflutungswasser kann festgestellt werden. Zeigerpflanzen reagieren auf Veränderungen wesentlich früher als der Bodentyp. Somit besteht die Möglichkeit, rechtzeitig geeignete Maßnahmen zu setzen. Der aktuelle Wasserhaushalt von Grünlandböden kann besser beurteilt und bewertet werden, wenn zusätzlich zum Bodentyp auch noch Zeigerpflanzen berücksichtigt werden. Die Grenzen der Intensivierung und die ökologische Nachhaltigkeit der Grünlandbewirtschaftung können mit Hilfe von Zeigerpflanzen festgestellt werden. Nährstoffzeiger, Bodenverdichtungszeiger, Übernutzungszeiger und Lückenbüßer weisen bei häufigem Vorkommen auf besonders nährstoffreiche (überdüngte) Grünlandböden,

eine Oberbodenverdichtung, eine zu intensive Nutzung oder auf Vegetationslücken hin. Wenn diese Zeigerpflanzen mit großer Individuenzahl oder mit hohem Deckungsgrad im Pflanzenbestand vorkommen, dann ist die Grenze der Intensivierung erreicht. Mit Hilfe von Zeigerpflanzen können auch die Auswirkungen des Klimawandels auf das Graslandökosystem frühzeitig erkannt werden. Wärme- oder Trockenheitszeiger eignen sich gut für die Feststellung von Standortveränderungen. Somit besteht die Möglichkeit, rechtzeitig geeignete Anpassungsmaßnahmen einzuleiten. Zeigerpflanzen sind auch eine wertvolle Hilfe bei der naturschutzfachlichen Beurteilung und Bewertung von Pflanzenbeständen und Vegetationstypen.

Die Beurteilung und Bewertung einer Grünlandfläche mit Hilfe von Zeigerpflanzen ist mit einem geringen Arbeitsaufwand verbunden, relativ einfach und rasch während der Vegetationsperiode ohne Messinstrumente oder Geräte flächendeckend durchführbar und verursacht keine Kosten. Die meisten Zeigerarten können an ihrem Wuchsort relativ leicht bestimmt werden.

Aus dem Vorkommen oder Fehlen von Zeigerarten im Pflanzenbestand können Standortmängel flächenhaft festgestellt sowie Düngungs- und Bewirtschaftungsfehler frühzeitig erkannt werden. Allerdings sind Rückschlüsse auf die am Standort herrschenden Umweltbedingungen nur bei stärkerem Auftreten einer Zeigerart (z.B. Stumpfbblatt-Ampfer mit großer Individuenzahl und hohem Deckungsgrad im Pflanzenbestand) oder beim Vorkommen mehrerer bis vieler Arten mit gleichem Zeigerwert (z.B. zahlreiche Magerkeitszeiger mit höherer Individuenzahl im Pflanzenbestand) möglich. Aus der Anwesenheit einer einzigen Zeigerart mit geringer Individuenzahl (z.B. vereinzelt Vorkommen des Gänseblümchens im Pflanzenbestand) kann hingegen keine Aussage über den Standort oder über Bewirtschaftungsmaßnahmen gemacht werden. Auch die Vitalität der Zeigerpflanzen sollte berücksichtigt werden. Hierbei ist zwischen vitalem und kümmerlichem Wuchs der Einzelpflanzen zu unterscheiden. Grundsätzlich sollte nicht nur das Vorkommen, der Vitalitätsgrad, die Individuenzahl und der Deckungsgrad einzelner Zeigerpflanzen oder das Fehlen von Zeigerarten in einem für sie geeignet erscheinenden Lebensraum berücksichtigt werden. Um Fehlinterpretationen weitgehend zu vermeiden, sollten alle Arten eines Pflanzenbestandes, also die floristische Zusammensetzung der Pflanzengesellschaft, betrachtet werden (Dierschke, 1994; Dierschke und Briemle, 2002).

Auf Grund der unterschiedlichen Blühtermine sollte die Grünlandfläche zumindest zweimal während der Vegetationsperiode in Bezug auf Zeigerpflanzen kontrolliert werden. Besonders wichtig ist allerdings eine Begehung vor der ersten Nutzung, denn einige Zeigerpflanzen können nur im Frühling beobachtet werden. Das Knöllchen-Scharbockskraut (*Ficaria verna*) beispielsweise gehört zu den Frühlingsblühern, deren Blätter frühzeitig absterben. Das Vorkommen im Pflanzenbestand kann daher nur beim ersten Aufwuchs festgestellt werden. Der Wiesen-Augentrost (*Euphrasia officinalis*) hingegen blüht erst im Spätsommer. Daher ist eine Begehung der Grünlandflächen auch in dieser Jahreszeit anzuraten.

Zeigerwertberechnungen

Den Pflanzenarten kann eine ökologische Wertzahl (Zeigerwert) zugeordnet werden. In der Literatur (Ellenberg *et al.*, 2001; Landolt, 1977; Landolt *et al.*, 2010; Briemle und Ellenberg, 1994; Dierschke und Briemle, 2002) findet man zahlreiche Wertzahlen (Lichtzahl, Temperaturzahl, Kontinentalitätszahl, Feuchtezahl, Reaktionszahl, Stickstoffzahl, Salzzahl, Humuszahl, Dispersitätszahl, Mahdverträglichkeitszahl, Weide- bzw. Trittvträglichkeitszahl). Die Zeigerwerte liefern Informationen über das ökologische Verhalten der Pflanzenarten in einem Pflanzenbestand. Sie geben allerdings keine Auskunft über die physiologischen Möglichkeiten (Ansprüche) der Arten (Landolt, 1977; Ellenberg *et al.*, 2001).

Berechnungsgrundlage für Zeigerwertberechnungen ist eine Vegetationsaufnahme. Anhand des Vorkommens der Arten in einem Pflanzenbestand wird der mittlere Zeigerwert für einzelne Wertzahlen berechnet. Zur Berechnung von Mittelwerten gibt es zwei Methoden (Kowarik und Seidling, 1989):

- Der Zeigerwert jeder Art geht ohne Gewichtung in die Rechnung ein (Wertung der Präsenz; qualitativ).
- Jede Art wird gemäß ihres mengenmäßigen Vorkommens gewichtet (Bewertung nach Deckungsgrad; quantitativ).

Die quantitative Berechnung der mittleren Zeigerwerte ist aufwendiger. Hierbei werden die nur in geringer Menge vorkommenden Arten, die aber eine hohe Zeigerwertfunktion haben können, weniger berücksichtigt als dominante Arten. Da der Zeigerwert einer schwach vertretenen Art im Pflanzenbestand durchaus ebenso hoch sein kann wie von massenwüchsigen Arten, ist es nach Ellenberg *et al.* (2001) ratsam, den Deckungsgrad bei den Zeigerwertberechnungen nicht zu berücksichtigen. Nur bei sehr artenarmen Beständen ist eine quantitative Berechnung sinnvoll, weil Einzelindividuen oder zufällig im Bestand vorkommende Arten (z.B. Relikte) zu viel Gewicht erlangen könnten. Bei artenreichen Beständen weichen die Ergebnisse beider Berechnungsverfahren meist nur wenig voneinander ab (Dierschke, 1994; Ellenberg *et al.*, 2001). Deshalb wird in der Regel die qualitative Berechnung bevorzugt (Kowarik

und Seidling, 1989). Wenn einzelne Pflanzenbestände oder Pflanzengesellschaften verglichen werden sollen, ist eine qualitative Berechnung notwendig (Briemle, 1988). Auf keinen Fall sollten quantitative Berechnungen zum Vergleich historischer und aktueller Aufnahmen herangezogen werden, wenn die Vegetationsaufnahmen von unterschiedlichen Bearbeitern vorgenommen wurden. Fehlinterpretationen auf Grund subjektiver Schätzfehler sind dann sehr naheliegend (Kowarik und Seidling, 1989). Will man hingegen Sukzessionen bewerten, ist eine quantitative Berechnung in der Regel aussagekräftiger als eine qualitative Berechnung (Briemle, 1988; Dierschke, 1994). Zeigerwertberechnungen dürfen nur für homogene Pflanzenbestände durchgeführt werden. Weitere wichtige Voraussetzungen sind eine vollständige Artenliste und eine genaue Bestimmung der Arten bis zum Artniveau. Alle Arten einer Vegetationsaufnahme müssen in die Berechnungen einbezogen werden. Der Anteil an Arten, der für die Zeigerwertberechnungen aus verschiedenen Gründen nicht berücksichtigt werden konnte, sollte erwähnt werden (Kowarik und Seidling, 1989).

In der *Tabelle 1* sind die mittleren Zeigerwerte für verschiedene Grünland- und Rasen-Gesellschaften Süddeutschlands geordnet nach der Feuchtezahl angeführt. Mit Hilfe von Zeigerwertberechnungen können Standortverhältnisse und Standortveränderungen auf Grünlandflächen dokumentiert und verschiedene Grünlandstandorte miteinander verglichen werden. Die Umweltbedingungen von Pflanzenbeständen und Pflanzengesellschaften können charakterisiert und Standortunterschiede festgestellt werden. Außerdem kann das ökologische Verhalten der Pflanzenarten auf Grund der Zeigerwerte beurteilt werden. Typische Säurezeiger beispielsweise haben die Reaktionszahl 1 bis 3. Auch für die Auswertung von Dauerflächenversuchen (Langzeitmonitoring) eignen sich Zeigerwertberechnungen sehr gut. Sie ermöglichen eine ökologische Beurteilung und naturschutzfachliche Bewertung von Pflanzenbeständen und Pflanzengesellschaften. Von besonderer Bedeutung sind Zeigerwertberechnungen zur Indikation bzw. Dokumentation von Landschaftsveränderungen (Kowarik und Seidling, 1989). Aus diesen Gründen sollten Zeigerwertberechnungen für agrarische, naturschutzfachliche und landschaftsplane-

Tabelle 1: Mittlere Zeigerwerte für verschiedene Grünland- und Rasen-Gesellschaften Süddeutschlands, geordnet nach der Feuchtezahl. Quelle: Dierschke 1994.

	F	R	N	L	T	K
Carici-Agrostietum caninae	8,2	3,4	2,8	7,2	4,5	3,1
Caricetum davallianae	7,5	6,7	2,4	7,4	4,5	3,7
Filipendulo-Geranium	7,4	6,7	5,5	6,9	5,2	3,7
Crepido-Juncetum acutiflori	7,1	3,8	3,3	7,0	4,7	3,3
Chaerophyllo-Ranunculetum aconitifolii	7,1	5,3	5,2	6,7	4,6	3,5
Nardo-Juncetum squarrosum	6,9	3,4	2,8	7,3	4,2	2,9
Molinietum caeruleae	6,7	7,3	2,9	7,1	5,3	4,0
Polygono-Cirsietum oleracei	6,4	6,4	4,3	6,9	5,0	3,7
Meo-Festucetum	5,1	4,4	4,0	7,0	4,4	3,4
Geranio-Trisetetum	5,1	5,3	4,6	7,0	4,4	3,6
Lolio-Cynosuretum	5,0	5,5	5,0	7,1	5,3	3,5
Polygalo-Nardetum	4,6	3,6	2,6	7,0	5,0	3,4
Arrhenatheretum	4,4	6,9	4,2	7,2	5,4	3,5
Mesobrometum	4,1	7,6	2,7	7,4	5,6	4,2
Xerobrometum	3,7	7,6	2,5	7,6	6,0	4,8

rische Zwecke durchgeführt werden, wenn Messungen und Analysen aus Zeit- oder Kostengründen nicht möglich sind.

Probleme, Einschränkungen und Fehlermöglichkeiten

Auch die Bioindikation mittels Zeigerpflanzen und Zeigerwertberechnungen ist – wie alle Diagnosemethoden – mit einigen Problemen, Einschränkungen und Fehlermöglichkeiten behaftet. Um Fehlinterpretationen möglichst zu vermeiden, müssen die wichtigsten Kritikpunkte genannt werden:

- Zeigerpflanzen für den Säuregrad des Bodens, den Wärme- und Bodenwasserhaushalt kommen vor allem im Extensivgrünland vor. In Feldfutterbeständen, Wechselwiesen oder generell bei langjährig intensiver Bewirtschaftung sind sie meist nur spärlich im Pflanzenbestand vorhanden oder fehlen gänzlich. Je intensiver die Bewirtschaftung erfolgt, desto wichtiger wird daher bei der Standortbeurteilung ihr Vorkommen auf einer Grünlandfläche. Für ihr Fehlen hingegen ist meist die langjährig intensive Bewirtschaftung (Düngung, Nutzung, Trittbelastung) verantwortlich. Im Intensivgrünland sind daher die praktischen Einsatzmöglichkeiten von Zeigerpflanzen eingeschränkt.
- Zeigerpflanzen liefern keine Messdaten. Mit Hilfe der Zeigerpflanzen sind daher quantitative Aussagen über Standortfaktoren nicht möglich. Ob im Boden 10 oder 20 mg Phosphor pro kg Feinboden vorhanden sind, ob der pH-Wert 5.0 oder 6.0 beträgt, kann aus dem Vorkommen oder Fehlen von Zeigerpflanzen nicht geschlossen werden. Nur qualitative Aussagen wie beispielsweise nährstoffarm oder nährstoffreich, carbonatfrei (sauer) oder carbonathaltig (schwach sauer bis alkalisch) sind möglich. Somit können Zeigerpflanzen chemische Bodenanalysen oder Messungen nicht ersetzen, sondern ergänzen.
- Gelegentlich kommen Arten mit sehr unterschiedlichen Zeigerwerten nebeneinander vor. Die Ursache hierfür kann nicht immer festgestellt werden. Die Beurteilung und Bewertung einer Grünlandfläche mit Hilfe von Zeigerpflanzen ist daher manchmal subjektiv.
- Die Pflanzen integrieren über die Standortfaktoren (Fischer, 2003). Deshalb ist es mit Hilfe von Zeigerpflanzen oft nicht möglich, Informationen über die Wirkungsstärke einzelner isolierter Faktoren zu erhalten. Aussagen sind meist nur über bestimmte Faktorenkombinationen möglich. Welches Nährelement beispielsweise für den Überschuss oder Mangel im Boden hauptverantwortlich ist, kann mittels Zeigerpflanzen oft nicht festgestellt werden.
- Bei der Beurteilung und Bewertung von Veränderungen der Standort- oder Bewirtschaftungsfaktoren mittels Zeigerpflanzen müssen immer auch die jahreszeitlichen und witterungsbedingten natürlichen Schwankungen des Deckungsgrades von Zeigerarten berücksichtigt werden. Eine häufige oder länger andauernde kühle, niederschlagreiche Witterung beispielsweise begünstigt Wechselfeuchte- und Feuchtezeiger. Bei diesen Witterungsverhältnissen oder nach einem besonders schneereichen Winter kann sich kurzfristig ihr Deckungsgrad im Pflanzenbestand erhöhen (Fluktuation). Daraus kann aber noch keine tatsächliche längerfristige Veränderung des Bodenwasserhaushaltes abgeleitet werden. Außerdem verändert sich bei einigen Zeigerarten der Deckungsgrad oder Ertragsanteil während der Vegetationsperiode in charakteristischer Weise. Das Gewöhnliche Rispengras (*Poa trivialis*) beispielsweise hat im Wirtschaftsgrünland immer im ersten Aufwuchs ihren höchsten Ertragsanteil. Der Weißklee (*Trifolium repens*) hingegen erreicht oft beim letzten Aufwuchs seinen höchsten Deckungswert im Pflanzenbestand.
- Zeigerpflanzen geben nur Auskunft über den Bodenzustand in ihrem Wurzelraum. Bei der Beurteilung und Bewertung einer Grünlandfläche sollte daher idealerweise auch der Wurzeltiefgang der einzelnen Zeigerpflanzen berücksichtigt werden (Flachwurzler versus Tiefwurzler). Moose informieren nur über die Bodenverhältnisse in der obersten Bodenschicht.
- Der Zeigerwert einiger Arten wird entscheidend vom Wuchsort beeinflusst (Gesetz der relativen Standortskonstanz; Walter und Walter, 1953). Die Trollblume (*Trollius europaeus*) beispielsweise ist nur in den wärmeren Tal- und Beckenlagen ein Feuchtezeiger. Im kühlen, niederschlagreichen Berggebiet hingegen ist sie ein Frischezeiger. Eine Pflanzenart hat im Zentrum ihres Verbreitungsgebietes im Allgemeinen eine größere ökologische Amplitude als an ihrem Rand (Landolt, 1977). Daher ändert sich auch die Nutzungsempfindlichkeit (Mahdverträglichkeit) einiger Arten innerhalb ihres Areals. Der Glatthafer (*Arrhenatherum elatius*) beispielsweise toleriert in kühleren Gebieten (Arealrand) nur ein bis zwei Schnitte pro Jahr und kommt daher in dreischnittigen Mähwiesen in der Regel nicht vor. In wärmeren Naturräumen (Arealzentrum) hingegen erträgt der Glatthafer auf frischen Standorten bis zu drei Schnitte pro Jahr und kann deshalb auch in dreischnittigen Mähwiesen einen hohen Deckungsgrad erreichen. Der Zeigerwert einzelner Arten ist somit oft nur für kleinere Gebiete und bestimmte Höhenstufen gültig (Dierschke, 1994; Fischer, 2003). Daher ist es notwendig, die Zeigerwerte für das jeweilige Untersuchungsgebiet zu überprüfen und gelegentlich auch Korrekturen vorzunehmen (Dierschke, 1994; Glavac, 1996).
- Der Zeigerwert einiger Arten hängt entscheidend von der Art und Menge an vorhandenen Konkurrenten ab (Wilmanns, 1989). Rot-Schlingel (*Festuca rubra* ssp. *rubra*) oder Rot-Straußgras (*Agrostis capillaris*) beispielsweise sind nur in Tal- und Beckenlagen Magerkeitszeiger. Im Berggebiet hingegen wachsen sie wegen des klimatisch bedingten weitgehenden Fehlens von höherwüchsigen Konkurrenten bevorzugt auf nährstoffreichen Böden. Sie gelten ab einer bestimmten Seehöhe als Stickstoffzeiger. Außerdem ist die Flora innerhalb von Österreich nicht überall gleich. Durch den unterschiedlichen Artenpool wechseln die möglichen Konkurrenten regional. Infolge dessen kann sich auch der Zeigerwert einiger Arten regional ändern (Ellenberg *et al.*, 2001).

- Die Zeigerwerte gelten nur unter natürlichen Konkurrenzbedingungen (Ellenberg *et al.*, 2001). An konkurrenzarmen Standorten können Pflanzenarten einen anderen Zeigerwert besitzen als an Standorten mit hohem Konkurrenzdruck (Landolt, 1977). Deshalb ist die Aussagekraft der Zeigerpflanzen im Pionierstadium einer Vegetationsentwicklung (z.B. Neuansaat) eingeschränkt (Vollrath, 1981).
- Manche Pflanzenarten ändern mit zunehmendem Alter ihre ökologischen Ansprüche an einzelne Standortfaktoren. Keimlinge und Jungpflanzen können daher einen anderen Zeigerwert besitzen als Pflanzen in späteren Lebensabschnitten (Ellenberg, 1952).
- Bisher unbekannte Unterarten oder Ökotypen können unterschiedliche Zeigerwerte besitzen (Dierschke, 1994).
- Die häufigsten und am weitesten verbreiteten Grünlandpflanzen sollten sowohl im blühenden als auch im nicht blühenden Zustand sicher erkannt werden. Eine gute Artenkenntnis und ausreichende Erfahrung sind notwendig, um den Deckungsgrad oder die Individuenzahl der Zeigerarten in einem Pflanzenbestand richtig einschätzen und bewerten zu können.
- Da Zeigerwerte ordinale und keine kardinale Größen darstellen, sind Zeigerwertberechnungen (Mittelwertbildung) nach mathematisch-statistischen Kriterien eigentlich nicht zulässig. Die größte praktische Gefahr dürfte allerdings in der Scheingenauigkeit von Berechnungsergebnissen liegen (Kowarik und Seidling, 1989).
- Bei intensiven menschlichen Eingriffen (z.B. Nutzungsintensivierung, Düngung) ist vor allem eine quantitative Zeigerwertberechnung problematisch. Die regelmäßige Düngung einer ursprünglich trockenen oder nassen Magerwiese beispielsweise bewirkt allmählich eine Umschichtung im Pflanzenbestand. Trockenheits- bzw. Nässezeiger werden stark zurückgedrängt und durch mesophilere Nährstoffzeiger ersetzt. In diesem Fall täuschen die Ergebnisse von Zeigerwertberechnungen eine Veränderung des Bodenwasserhaushalts vor; der Standort wird scheinbar weniger trocken bzw. weniger nass.

Schlussfolgerungen

Unter Berücksichtigung der geschilderten Probleme, Einschränkungen und Fehlermöglichkeiten sollten bei der Beurteilung und Bewertung von Grünlandflächen, für die Ableitung von Düngeempfehlungen und kulturtechnischen Maßnahmen sowie für die Festlegung von standortspezifischen Intensivierungsgrenzen immer auch Zeigerpflanzen herangezogen werden. Zeigerpflanzen haben für die Grünlandwirtschaft, vor allem aber für die Düngerberatung

eine große praktische Bedeutung. Mit ihrer Hilfe ist eine Optimierung der Grünlandbewirtschaftung möglich. Zeigerpflanzen und die Ergebnisse von Zeigerwertberechnungen können auch für naturschutzfachliche und landschaftsplanerische Zwecke verwendet werden.

Literatur

- Bick, H. (1982): Bioindikatoren und Umweltschutz. Decheniana-Beihefte 26, 2-5.
- Bohner, A. (2010): Zeigerpflanzen für die Beurteilung des Bodenzustandes im Wirtschaftsgrünland. 2. Umweltökologisches Symposium, 111-120.
- Briemle, G. (1988): Erfolge und Misserfolge bei der Pflege eines Feuchtbiotops – Anwendbarkeit ökologischer Wertzahlen. *Telma* 18, 311-332.
- Briemle, G. und H. Ellenberg (1994): Zur Mahdverträglichkeit von Grünlandpflanzen. Möglichkeiten der praktischen Anwendung von Zeigerwerten. *Natur und Landschaft* 69, 139-147.
- Dierschke, H. (1994): Pflanzensoziologie. Ulmer Verlag, 683 S.
- Dierschke, H. und G. Briemle (2002): Kulturgrasland. Ulmer Verlag, 239 S.
- Ellenberg, H. (1952): Auswirkungen der Grundwassersenkung auf die Wiesengesellschaften am Seitenkanal westlich Braunschweig. *Angew. Pflanzensoz.* 6, 1-46.
- Ellenberg, H. (1981): Was ist ein Bioindikator? Sind Greifvögel Bioindikatoren? *Ökol. Vogel (Ecol. Birds)* 3, Sonderheft, 83-99.
- Ellenberg, H., H.E. Weber, R. Düll, V. Wirth, W. Werner und D. Paulissen (2001): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. 3. Auflage, *Scripta Geobot* 18, 3-258.
- Fischer, A. (2003): Forstliche Vegetationskunde. UTB Ulmer Verlag, 421 S.
- Fischer, M.A., K. Oswald und W. Adler (2008): Exkursionsflora für Österreich, Liechtenstein und Südtirol. 3. Auflage, Biologiezentrum der Oberösterreichischen Landesmuseen, 1391 S.
- Glavac, V. (1996): Vegetationsökologie. Fischer Verlag, 358 S.
- Kowarik, I. und W. Seidling (1989): Zeigerwertberechnungen nach ELLENBERG – Zu Problemen und Einschränkungen einer sinnvollen Methode. *Landschaft + Stadt* 21, 132-143.
- Landolt, E. (1977): Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der ETH Zürich, Stiftung Rübel 64, 1-208.
- Landolt, E. *et al.* (2010): Flora indicativa. Ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen. Haupt Verlag, 376 S.
- Sukopp, H., K. Seidel und R. Böcker (1986): Bausteine zu einem Monitoring für den Naturschutz. *Ber. ANL* 10, 27-39.
- Vollrath, H. (1981): Botanische Methoden der Standortbeurteilung – Anwendung ökologischer Zahlen. *KTBL-Arbeitsblatt*, Lfd.Nr. 3065, 10 S.
- Walter, H. und E. Walter (1953): Das Gesetz der relativen Standortskonstanz; das Wesen der Pflanzengesellschaften. *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* 66, 227-235.
- Wilmanns, O. (1989): Ökologische Pflanzensoziologie. UTB Quelle & Meyer Verlag, 378 S.

Biodiversitätsmonitoring mit LandwirtInnen

Daniel Bogner^{1*} und Wolfgang Ressi¹

Wir schauen auf unsere Wiesen! – Landwirtinnen und Landwirte beobachten Pflanzen und Tiere

Seit 2007 unterstützt das Bildungsprojekt „Wir schauen drauf – LandwirtInnen beobachten Pflanzen und Tiere“ mit praktischer Bewusstseinsbildung die Erhaltung von Magerwiesen und deren Artenvielfalt in Österreich. Das Projektmotto „Wir schauen auf unsere Wiesen!“ steht für das Beobachten bestimmter Zeigerarten und für die Bereitschaft zur Pflege und Erhaltung extensiver Wiesen und Weiden.

Ein Laienmonitoring zur Beobachtung von Biodiversität

Bereits 2003 hat ein interdisziplinäres Team im Forschungsprojekt MOBI-e Konzepte für ein österreichweites Monitoring (MO) der Biodiversität (BI) entwickelt („e“ steht für Entwicklung). Die ExpertInnen haben Indikatoren zur Beobachtung von Biodiversität erarbeitet und unter anderem im Sinne eines Laienmonitorings ein „Artenmonitoring durch Landwirtinnen und Landwirte“ vorgeschlagen. Aufbauend auf diesen Vorschlag und eine Machbarkeitsstudie startete im Jahr 2007 das „Biodiversitätsmonitoring durch LandwirtInnen“ als Pilotprojekt. Zuerst wurden ausschließlich Pflanzen, Indikatorarten für extensives Grünland beobachtet. Durch das hohe Interesse der teilnehmenden Landwirtinnen und Landwirte und die zunehmende Anzahl an TeilnehmerInnen war der naheliegende nächste Schritt, auch Tiere des Extensivgrünlandes in die Liste der Indikatorarten aufzunehmen. Das Beobachtungsnetzwerk ist sukzessive gewachsen, Kooperationen mit Land- und forstwirtschaftlichen Schulen sind entstanden und besonders engagierte TeilnehmerInnen ergänzen mittlerweile als „ProjektvertreterInnen“ das Team, organisieren Exkursionen und sind regionale Anlaufstellen für TeilnehmerInnen. Mittlerweile nehmen rund 700 Landwirtinnen und Landwirte am Biodiversitätsmonitoring teil.

Der Aspekt Bewusstseinsbildung im Biodiversitätsmonitoring

Extensivgrünland bietet nicht nur eine großartige Artenvielfalt an Flora und Fauna, sondern erfüllt auch wichtige Habitatfunktionen von den Tallagen bis hin zu hochgelegenen Bergregionen. Im weltweiten Vergleich gehört extensives Grünland neben dem tropischen Regenwald zu den artenreichsten Biotopen. Wie bei tropischen Regen-

wäldern ist auch beim Extensivgrünland ein wesentlicher Flächenverlust festzustellen. Im Grünen Bericht 2014 wird die Entwicklung des Extensivgrünlandes Österreichs in einer Zeitreihe dargestellt. Ein Vergleich von 1960 bis 2010 zeigt das Ausmaß des Rückganges von extensiven Grünlandflächen in diesem Zeitraum:

- Rückgang Hutweiden von 290.000 auf 72.000 ha (25 % des Flächenanteils von 1960)
- Rückgang einmähdige Wiesen von 280.000 auf 35.000 ha (13 % des Flächenanteils von 1960)
- Rückgang Streuwiesen von 25.000 auf 10.000 ha (40 % des Flächenanteils von 1960).

Ein Blick in die Zukunft zeigt einen ähnlichen Trend: Unterschiedliche Landnutzungsszenarien (EEA 2007) gehen davon aus, dass es bis zum Jahr 2035 zu einer Grünlandreduktion von bis zu 1/3 der Vergleichsfläche im Jahr 2005 kommt („*Great Escape-Szenario*“ = Fokus auf eine intensive, ausschließlich markt- und gewinnorientierte Landwirtschaft).

Mit dem Programm zur Ländlichen Entwicklung wird versucht, die landwirtschaftliche Nutzung von extensiven, biologisch vielfältigen Wiesen und Weiden (auf Steiflächen, im Berggebiet, auf Magerstandorten) aufrecht zu erhalten und die natürlichen Ressourcen des Extensivgrünlandes zu erhalten. Derzeitige Agrarumweltprogramme und Ausgleichszahlungen für benachteiligte Gebiete reichen bisher jedoch nicht aus, um die fortschreitende Nutzungsaufgabe oder Intensivierung dieser artenreichen Grünlandflächen gänzlich aufzuhalten. Bewusstseinsbildung bei LandwirtInnen über die Bedeutung und Notwendigkeit von Biodiversität sowie zu Zusammenhängen mit der Bewirtschaftung kann beitragen, Extensivgrünland zu erhalten. Wenn BetriebsleiterInnen die Tier- und Pflanzenarten auf ihren Wiesen besser kennen und deren Ökologie verstehen, kann nicht nur Freude und Begeisterung für die Natur der eigenen Flächen erzeugt, sondern auch eine höhere Akzeptanz von Bewirtschaftungsaufgaben (WF-Flächen) im ÖPUL erreicht werden. Man könnte den Aspekt Bewusstseinsbildung so zusammenfassen: „*Was ich (er)kenne und was mir etwas bedeutet, das schütze und erhalte ich*“.

Der fachliche Aspekt des Biodiversitätsmonitorings

Das Biodiversitätsmonitoring wurde ursprünglich als Bildungsprojekt konzipiert, die jährliche Meldung der Zählzeiten zielte auf die Bildungswirkung, da sich die Teil-

¹ Umweltbüro GmbH Klagenfurt, Bahnhofstraße 39/2, A-9020 KLAGENFURT

* Ansprechpartner: DI Dr. Daniel BOGNER, daniel.bogner@umweltbuero.at

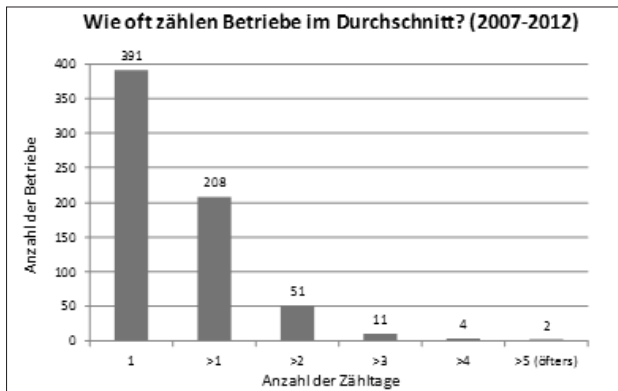


Abbildung 1: Die Grafik zeigt die Häufigkeit, mit der TeilnehmerInnen im Durchschnitt jedes Jahr auf ihren Schlägen beobachten und zählen. Rund die Hälfte beobachtet häufiger als 1 x jährlich. Die Auswertung basiert auf der Angabe des Zähldatums bei den Beobachtungen.

nehmerInnen mindestens einmal pro Jahr mit Biodiversität befassen (Wiederholung) und genauer auf ihre Flächen hinschauen sollten. Erst nachdem einige Jahre Zählzeiten gesammelt wurden und zur Verfügung standen, stellte sich die Frage nach „der Entwicklung der Biodiversität“ auf den Flächen der teilnehmenden Betriebe – oder wie ein Landwirt meinte: „...wie schaut’s denn jetzt aus mit der Biodiversität auf den Wiesen?“

Während Auswertungen zur Bildungswirkung zeigen, dass die LandwirtInnen sehr verlässlich zählen und auch mehrfach im Jahr ihre Indikatorarten beobachten (vgl. *Abbildung 1*), wurde bei den Auswertungen der Zählzeiten rasch klar, dass fachliche Ableitungen zur Entwicklung der Biodiversität kaum möglich sind. Da Bewusstseinsbildung im Focus stand, wurde weder ein einheitliches Beobachtungsdesign zu Grunde gelegt, noch wurden Indikatorarten systematisch ausgewählt. So haben TeilnehmerInnen im Zeitraum 2007 bis 2013 insgesamt 246 unterschiedliche Pflanzenarten beobachtet, allerdings haben viele dieser 236 Arten nur einen oder wenige Beobachter. Erwähnenswert ist jedoch, dass mit den 236 unterschiedlichen Pflanzenarten die TeilnehmerInnen gemeinsam etwa ein Viertel der Arten des Extensivgrünlandes Österreichs (rund 800



Abbildung 2: Die Grafik zeigt, dass sich mindestens 2/3 der TeilnehmerInnen vorstellen können, noch weitere Arten zu beobachten (telefonische Umfrage, n=190 TeilnehmerInnen).

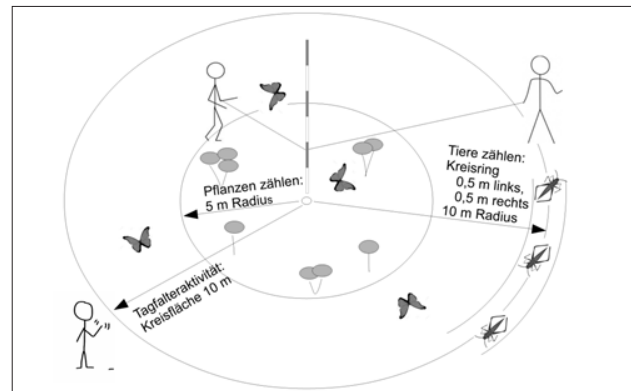


Abbildung 3: Die Grafik zeigt das standardisierte Beobachtungsdesign für das Biodiversitätsmonitoring 2.0. Indikatorpflanzen werden auf einer Kreisfläche mit 5m Radius gezählt, Indikatortiere auf einem 1 m breiten Kreisring mit 10 m Radius, der Indikator Tagfalteraktivität auf einer Kreisfläche von 10 m Radius.

Pflanzenarten) beobachten – eine beachtliche Anzahl für ein „Laienmonitoring“.

Aufgrund steigender Nachfrage nach fachlichen Ergebnissen, sowohl auf Seite der ExpertInnen (BMLFUW, Naturschutzabteilungen der Länder, Universitäten) als auch der TeilnehmerInnen wurde das Beobachtungsdesign 2013 angepasst, damit in Zukunft auch fachliche Aussagen möglich werden – vor allem in Hinblick auf die Wirkung von Bewirtschaftungsauflagen im Vertragsnaturschutz. Eine weitere Motivation für das angepasste Beobachtungsdesign, wir nennen es Biodiversitätsmonitoring 2.0, sind die zahlreichen Rückmeldungen der ÖkologInnen, die im Projekt die Betriebsbesuche und Einschulungen absolvieren und dabei hohes Interesse der LandwirtInnen für die Pflanzen- und Tierwelt auf ihren Wiesen wahrnehmen. Eine telefonische Befragung unter 190 TeilnehmerInnen (vgl. *Abbildung 2*), also rund zwei Drittel, hat ergeben, dass sich die meisten der befragten TeilnehmerInnen vorstellen können, noch weitere Arten zu beobachten.

Standardisiertes Monitoring-Design

Seit 2014 beobachten Landwirtinnen und Landwirte nach einem standardisierten Schema. Die wichtigsten Eckpunkte sind:

- Verortung der Beobachtungsfläche mittels GPS Koordinaten
- Einheitliche Größe der Beobachtungs- und Zählfläche (siehe *Abbildung 3* und *Abbildung 4*)
- Zuordnung der Wiese oder Weide zu einer Pflanzengesellschaft (z.B. Goldhaferwiese)
- Gezielte Auswahl von wenigen Indikatorarten, die der Pflanzengesellschaft entsprechen
- Kombiniertes Beobachten von Pflanzen und Tieren
- Detaillierte Erhebung von Nutzungsparametern
- Subjektive Wahrnehmung und Einschätzung der LandwirtInnen (Witterung, Umwelteinflüsse)



Abbildung 4: LandwirtInnen zählen Indikatorarten auf einer einheitlich großen Fläche. Eine Schnur mit Radius 5 m bzw. 10 m grenzt die Beobachtungsfläche ein.



Abbildung 5: Die ÖkologInnen zeigen den LandwirtInnen, welche Tier- und Pflanzenarten auf ihren Wiesen vorkommen und wie diese zu erkennen sind. Sie vereinbaren, welche Indikatorarten jährlich beobachtet werden.

Bei einem Betriebsbesuch richten ÖkologInnen gemeinsam mit den LandwirtInnen eine Beobachtungsfläche ein. Die ÖkologInnen zeigen den LandwirtInnen, welche besonderen Tiere und Pflanzen auf der Beobachtungsfläche vorkommen (siehe *Abbildung 5*). Sie vereinbaren welche Indikatorarten (1 bis max. 5 Pflanzen- und 1 bis max. 5 Tierarten) in den Folgejahren beobachtet werden und worauf dabei zu achten ist.

Bestimmte Pflanzen und Tiere reagieren sehr sensibel auf eine Veränderung in der Nutzung. Daher haben die LandwirtInnen die Aufgabe, neben der Anzahl und dem Vorkommen von Indikatorarten auch die Nutzung der Fläche zu dokumentieren. Die Beobachtungen werden auf Erhebungsbögen notiert und auf der Online-Plattform www.biodiversitaetsmonitoring.at eingetragen.

Für das Extensivgrünland will das Biodiversitätsmonitoring erreichen: Wenn die LandwirtInnen beobachten, dass Indikatorarten weniger werden, dass sie durch eine Anpassung der Nutzung gesteuert werden.

Ausblick

Derzeit entwickelt das Projektteam Methoden für die künftigen Auswertungen der Monitoringdaten. Den TeilnehmerInnen soll eine Darstellung der Entwicklung ihrer Indikatorarten zur Verfügung gestellt werden, die auch eine Gegenüberstellung mit der Bewirtschaftung der Fläche ermöglicht. Die Darstellung (siehe *Abbildung 6*) soll Fragen beantworten, ob Zu- oder Abnahmen der beobachteten Indikatorarten beispielsweise auf Veränderungen des Schnittzeitpunktes oder der Schnitthäufigkeit zurückzuführen sind. Die Visualisierung soll zur Bewusstseinsbildung beitragen und die Auseinandersetzung mit Zusammenhängen zwischen Vielfalt und Bewirtschaftung anregen. Ein weiterer Aspekt ist die Entwicklung von Störungszeigern wie Herbstzeitlose, Wolfsmilch oder Klappertopf, was ebenfalls jährlich erhoben und dokumentiert wird. Auch hier sollen Zusammenhänge mit der Bewirtschaftung durch Beobachtung und Dokumentation erkannt werden. Populäre Indikatorarten die häufig beobachtet werden sind

Orchideenarten wie das Holunder-Knabenkraut oder das Breitblatt-Knabenkraut. Sowohl LandwirtInnen als auch ExpertInnen sind sich nicht einig, ob die Art der Bewirtschaftung oder die Witterung die Ursachen sind, warum es zu Veränderungen oder Schwankungen in den Beständen kommt. Mit der subjektiven Einschätzung der TeilnehmerInnen: „es ist ein feuchteres/trockeneres Jahr als üblich“ oder „es ist ein viel späteres/früheres Jahr als üblich“ sollen bei den Auswertungen auch persönliche Wahrnehmungen und Klimaaspekte einfließen.

Weiters soll das Biodiversitätsmonitoring Beiträge zur Evaluierung von Bewirtschaftungsauflagen liefern. Zeigt das Biodiversitätsmonitoring ein Gleichbleiben bzw. eine Zunahme von beobachteten Indikatorarten, kann die angestrebte Wirkung der WF-Auflagen für ausgewählte Magerwiesen-Lebensräumen bestätigt werden.

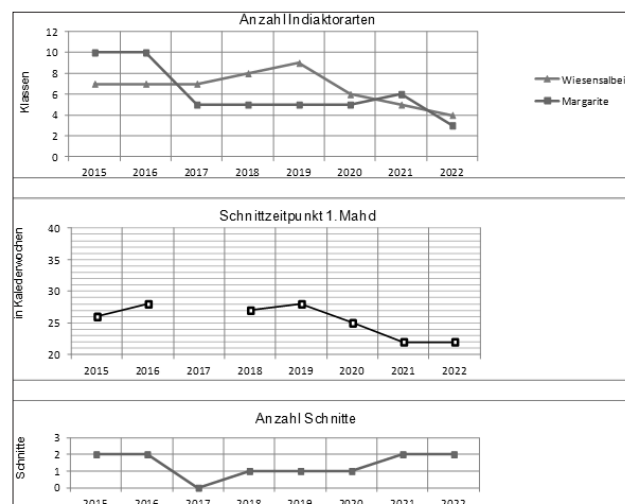


Abbildung 6: Den TeilnehmerInnen wird ab 2017 für jede Beobachtungsfläche eine Dokumentation der Entwicklung der Indikatorarten im Zusammenhang mit der Bewirtschaftung (hier am Beispiel Schnittzeitpunkte und Anzahl der Schnitte) zur Verfügung gestellt.

Ein Anliegen des Biodiversitätsmonitoring ist auch, Emotionen genügend Raum zu geben und flexibel zu sein, wenn TeilnehmerInnen Tiere und Pflanzen beobachten wollen, die ihnen persönlich wichtig sind. Unter der Überschrift „Freie Beobachtungen“ notieren LandwirtInnen beispielsweise jährlich die Ankunft der Schwalben, die Anzahl der belegten Nester im Stall oder den Bruterfolg. Oder den Frauenschuhbestand am Waldrand mit der Einschätzung: gleichbleibend, mehr geworden, weniger geworden. Wenn TeilnehmerInnen dann noch aktiv Nisthilfen montieren, ist dies der wichtigste Erfolg des Projektes.

Über das Projekt „Biodiversitätsmonitoring“

Das Biodiversitätsmonitoring wird vom Österreichischen Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung (ÖKL) als Projektträger gemeinsam mit dem Umweltbüro Klagenfurt (Projektleitung) und den Büros LACON und Suske consulting mit Unterstützung der EU, dem Ministerium für ein lebenswertes Österreich und den Naturschutzabteilungen der Bundesländer im Rahmen der „Ländlichen Entwicklung“ betreut.

Weitere Informationen und Kontakte finden Sie unter www.biodiversitaetsmonitoring.at

Literatur

- Bogner, D., I. Mohl, B. Steurer und S. Gattermaier (2006): Biodiversitätsmonitoring durch LandwirtInnen - Machbarkeitsstudie. Projektbericht. Klagenfurt (Umweltbüro Klagenfurt GmbH & Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung), 45 S.
- Heinz, S., F. Mayer und G. Kuhn (2014): Artenreiches Grünland. Ergebnisorientierte Grünlandnutzung. Bestimmungshilfe 2015. LfL Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft ft. Freising-Weihenstephan.
- Holzner, W., D. Bogner, T. Geburek, M. Tiefenbach und S. Zech (2006): MOBI-E Entwicklung eines Konzeptes für ein Biodiversitäts-Monitoring in Österreich. Studie im Auftrag des Lebensministeriums, Endbericht + Anhang, Wien: 231-501.
- Ministerium für ein lebenswertes Österreich (Hrsg.) (2014): Grüner Bericht 2014, Bericht über die Situation der Österreichischen Land- und Forstwirtschaft. 55. Auflage, Wien (AV+Astoria Druckzentrum GmbH), 320 S.
- Pötsch, E.M., B. Krautzer und K. Buchgraber (2012): Status quo und Entwicklung des Extensivgrünlandes im Alpenraum. In: 17. Alpenländisches Expertenforum. Raumberg-Gumpenstein 2012. Bedeutung und Nutzung von Extensivgrünland. Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.). Irdning.
- Ressi, W., E. Lautsch, D. Bogner, A. Perkonigg und S. Neuner (2014): LandwirtInnen beobachten Pflanzen und Tiere, Statistische Analyse der bisherigen Beobachtungsdaten und Empfehlungen für Anpassungen. Projektbericht (eb&p Umweltbüro GmbH), 69 S.

Grünlandnutzung aus der Sicht der Bienen

Peter Frühwirth^{1*}

Bienen und Landwirtschaft

Bienen und Landwirtschaft hatten ursprünglich nichts miteinander zu schaffen. Die Honigbiene lebte in offenen Waldregionen und in Waldrandgesellschaften. Über Jahrhunderte nutzte bzw. raubte der Mensch die Honigwaben der Bienenvölker in den Baumhöhlen (z.B. die Zunft der Zeidler in den Nürnberger Reichswäldern). Mit zunehmender Besiedelung und dem Zurückdrängen der großflächigen Waldgebiete in Mitteleuropa entwickelte sich die "freie" Landschaft mit Ackerbau und Grünlandwirtschaft.

Der Mensch holte sich die Bienen in seinen unmittelbaren Lebensraum, zu seinen Behausungen. Das war einfacher und auch weniger gefährlich. Die Hausbienenhaltung begann und damit das für alle Seiten fruchtbare Miteinander von Mensch, Landwirtschaft und Honigbiene.

Eine Frage der Landnutzung

Die heute in die mediale Meinungsbildung und damit in die öffentliche Diskussion vorgedungenen Schwierigkeiten in der Vitalität von Honigbienen sowie anderer blütenbesuchender Insekten sind über das Grünland hinaus vor allem Resultat der Änderung in der Landnutzung generell.

Ackerbau

Aus dem Blickwinkel Imkerei sind Ackerbaugelände heute, in dem für den Organismus Bienenvolk kritischen Zeitraum Juni bis September, eine für die Honigbiene völlig unattraktive Umwelt – mit Ausnahme von bestimmten, großflächig angebauten Trachtpflanzen, wie Sonnenblume. Dies inkludiert den gesamten Raum, also auch Ackergrenzstreifen, Bach- und Flurgehölzstreifen. Die perfektionierte Unkrautbekämpfung hat im Früh- und Hochsommer blühende Unkräuter nahezu vollständig ausgeschaltet. Kornblume, Klatschmohn, Hederich, Hohlzahn, Vogelmiere, Kamille, Ehrenpreisarten, Malvenarten, Taubnesselarten, Vesperkraut – um nur einige für die Bienen wichtigen Vertreter zu nennen – sind eine Seltenheit geworden. Diese Unkräuter bieten (bzw. haben früher geboten) den Bienen in den Sommermonaten die für ihre Vitalität (Langlebigkeit, Winterstärke) essentielle Versorgung an vielseitigem und hochwertigem Pollen (breites Eiweißspektrum, Mineralstoffe, Fette) und Nektar (Energie). Der Imker nennt diese Nahrungsquellen Läppertrachten.

Auch die Grünlandstreifen entlang von (Bach-)Gehölzen sind meist durch nitrophile Pflanzengesellschaften geprägt und bieten den Honigbienen kaum Nahrungsquellen. Nur

ein- bis zweimähdige Restgrünlandflächen, meist im Nahbereich von Ortschaften und Gehöften, bieten den Bienen je nach Bodenart und Höhenlage ein mehr oder minder reichhaltiges Nahrungsangebot.

Die Intensivierung der Landwirtschaft (inklusive Grünland) und die daraus folgende Monotonisierung der Landschaft verschärfen auf jeden Fall die Probleme mit dem chemischen Pflanzenschutz. Im deutschen Forschungsprojekt DeBiMo wurden über 90 Wirkstoffe in den Pollenvorräten der Bienenvölker nachgewiesen; es gibt kaum Völker ohne messbare Pollenkontaminationen. Obwohl sich in den Pollenvorräten fast alle Substanzen unterhalb der akut bienentoxischen Konzentration bewegen, kann man negative Effekte solcher Wirkstoff-Cocktails auf die Vitalität der Bienenvölker nicht ausschließen.

Grünlandwirtschaft

Bedingt durch die Entwicklungen in der Viehwirtschaft, wie z.B. Fütterung (Ganzjahressilage) und Zuchtfortschritt in der Milchleistung, hat, ja musste, sich die Nutzungshäufigkeit des Grünlandes anpassen bzw. steigern. Es ist nun mal eine pflanzenphysiologische Tatsache, dass die Gräser und der Klee zum Zeitpunkt des Rispen- bzw. Knospenschiebens die optimalste Kombination von Menge, Eiweiß und Energie beinhalten. Durch Erhöhung der Schnitthäufigkeit verringert sich die Anzahl der Pflanzenarten. Da auch die Düngung hierbei eine Rolle spielt, sind die Auswirkungen auf den



Abbildung 1: Entwicklung der Milchleistung in Österreich und Oberösterreich (Quellen: Statistik Austria (1); OÖ. Landesverband für Leistungsprüfung (2); AK Milch OÖ.(3). Anmerkungen zur Abbildung 1: Der Auswertungszeitraum für (2) und (3) ist ab 2002 jeweils 1.10. bis 30.9.; (1): Jahresdurchschnittsleistung je Kuh; (2): Die vom LKV ermittelte Milchleistung (9 Probemelkungen/Jahr); (3): Leistungsdurchschnitt aller Mitglieder im jeweiligen Jahr).

¹ Abteilung Pflanzenproduktion, Landwirtschaftskammer Oberösterreich, Auf der Gugl 3, A-4021 LINZ

* Ansprechpartner: Dipl. Ing. Peter FRÜHWIRTH, Peter.Fruhewirth@lk-ooe.at

Pflanzenbestand sehr komplex (Bodenart, Höhenlage und Niederschlag haben auch einen Einfluss).

Auch in den Heuregionen blühen die Wiesen nur in den Werbespots. Seltsamerweise ist darin oft der gelbblühende Hahnenfuß zu sehen, den weder die Kühe fressen, noch die Bienen befliegen, weil er giftig ist. Aber gelb auf grün ist eben schön für's Auge. Nur dort, wo das Grünland zwei- bis maximal dreimal gemäht wird, also in meist extensiveren und oft auch klimatisch ungünstigeren Lagen, finden die Bienen auch in den Monaten Juni bis September die für ihre Fitness wichtigen Nahrungsquellen.

Wenn man nun die Entwicklung der letzten Jahre in der Ackernutzung und in der Grünlandbewirtschaftung kombiniert betrachtet, hat sich die Versorgung – besonders mit hochwertigem und vielseitigem Eiweiß in den Sommermonaten – teils dramatisch verschlechtert. Man muss also auch den Faktor "Grünland" im Auge behalten, wenn von den Problemen der Biene gesprochen wird.

- Es wird alles darangesetzt, eiweiß- und energiereiches Futter für die Tiere auf den eigenen Flächen zu produzieren. Das ersetzt immer teurer werdendes importiertes Eiweiß (Soja) und Kraftfutter. Grundfutter aus Grünland und Feldfutter ist zudem wiederkäuergerechter, somit auch ein Faktor des Tierwohls. Ganz zu schweigen von der Reduzierung der importierten Produktionsflächen in Übersee.
- Die Anzahl an Nutzungen hat zugenommen, sowohl in Silage- als auch in Heubetrieben. Dazu zählt auch die intensive Weidewirtschaft (Low-Input-Strategie).
- Die Pflanzenbestände haben sich von traditionellen Pflanzengesellschaften in Richtung Wirtschaftswiesen entwickelt. Traditionelle Pflanzengesellschaften (siehe auch "Die Wiesen Oberösterreichs", Gerhard Pils, 1994) entstehen und erhalten sich in einer ein- bis maximal dreimaligen Nutzung. Heute können wir davon ausgehen, dass das oberösterreichische Grünland zu 80 % zumindest viermal genutzt wird.
- Die Breite des an die traditionellen Pflanzengesellschaften gebundenen Artenspektrums (Pflanzen und Tiere, zusammengefasst im Überbegriff Biodiversität) hat teils deutlich abgenommen.
- Durch die Abnahme von blühenden Arten zugunsten von Gräsern konfrontiert sich die Grünlandwirtschaft zunehmend auch mit einer ästhetischen Diskussion.
- Die Pflanzenbestände des Wirtschaftsgrünlandes zeigen oftmals keine für die Ertragsbildung und für die qualitätsbestimmenden Inhaltsstoffe optimale Zusammensetzung. Bedingt durch eine langjährig fehlende Ausgewogenheit zwischen Nährstoffabfuhr (Nutzungshäufigkeit) und Nährstoffrückführung (Düngung), teils bedingt durch die Teilnahme an Extensivierungsprogrammen.

Biene und Grünlandwirtschaft

Die Pflanzengesellschaften des Grünlandes wurden ursprünglich ein- bis maximal dreimähdig genutzt. Die noch heute gebräuchliche botanische Nomenklatur in der Pflanzensoziologie bezieht sich auf diese Pflanzengesellschaften. Als Beispiele seien hier genannt (deutsche Namen von

Wiesenkategorien): Magerwiesen, Streuwiesen, Feuchtwiesen, nährstoffarme Fettwiesen (Salbei-Glatthafer), nährstoffreiche Fettwiesen (Glatthaferwiesen; glatthaferarme Fettwiesen höherer Lagen). Hervorragend dokumentiert in "Die Wiesen Oberösterreichs" von Gerhard Pils, 1994.

In diesen Wiesengesellschaften gab es reichhaltiges Angebot an für die Honigbiene wichtigen Nektar- und Pollenspendern, und zwar während nahezu der gesamten Vegetationsperiode. Nur einige der bekanntesten Arten aus der langen Liste: Wundklee, Hornklee, Wiesensalbei, Karthäusernelke, Sonnen-Röschen, Acker-Witwenblume, Wiesen-Storchschnabel, Wicken, Heil-Ziest, Flockenblumen-Arten, Gamander-Arten, Skabiosen, Glockenblumen-Arten, Margerite, Habichtskraut, Bibernelle, Oregano, Blutweiderich, Blutwurz, Fiebertee, Rotklee, Wiesenpippau, Wiesen-Bocksbart, Rauher Löwenzahn, Ferkelkraut (in der ganzen Bandbreite verschiedenster Standorte).

Generell lässt sich sagen, dass die Zunahme der Nutzungsfrequenz (ob nun mit oder ohne ausreichende Düngung) der letzten Jahrzehnte zu einer deutlichen Verringerung der Pflanzenvielfalt – besonders bei den bienenrelevanten Blütenpflanzen – geführt hat. Lediglich der Löwenzahn und der Weißklee konnten noch mithalten. Und mit der zunehmenden Umstellung von 4-Schnitt- auf 5-Schnittnutzung verlieren auch diese beiden Arten an Bedeutung für die Bienen.

Damit verliert auch das Grünland seine Bedeutung für die Ernährung und Gesunderhaltung der Bienenvölker. Besonders in den Monaten Juni bis August. Aus der Sicht der Bienen sind heute viele bedeutende Grünlandregionen grüne Wüsten. Und das wird sich auch in Zukunft nicht ändern, eher noch verschärfen. Zumal die Erhöhung der Schnittzahl (zwangsweise auf Grund von Zuchtfortschritt in der Milchleistung sowie steigenden Preisen bei Kraftfutter und Importsoja) auch in Regionen fortschreitet, die bisher eher als extensiv gegolten haben.

In den Monaten Juni bis August (bis in den September hinein) sind es vor allem folgende Arten, die in Qualität (Eiweiß) und Menge auf dreischnittigem Grünland für den Aufbau von vitalen Winterbienen (siehe "Exkurs", nächstes Kapitel) die Hauptrolle spielen: Rotklee, Weißklee, Hornklee, Spitzwegerich, Pippau-Arten, Rauher Löwenzahn, Herbst-Löwenzahn, Ferkelkraut, Flockenblume, Vogelwicke.

Gerade die Kleearten spielen in der Pollenversorgung im Hoch- und Spätsommer eine oft unterschätzte Rolle. Sie werden nahezu den ganzen Tag über befliegen; von Bienen, Hummeln und Schmetterlingen. Der Rotklee kann sich jedoch nur in 3-Schnittwiesen in nennenswerten Anteilen etablieren und langfristig halten. Der Weißklee wird durch eine höhere Schnittfrequenz (4 und 5 Nutzungen) bevorzugt. Allerdings wird er sich eher dann stärker ausbreiten, wenn die Nährstoffversorgung nicht ganz dem Entzug entspricht. Weiters zeigen vielfache Beobachtungen, dass der Weißklee vor allem in der 4-Schnittnutzung für die Pollen- und Nektarversorgung relevant werden kann. Hier sind die Zwischenmähzeiten ausreichend lang, um eine dichtere Blütenentwicklung und vor allem eine länger andauernde Blütezeit zu ermöglichen.

Bei einer 5-Schnittnutzung wird meist bereits bei Erreichen der Hauptblühphase des Weißklee wieder gemäht. Bei gutem Flugwetter kann dann der Weißklee in diesen Wiesen zur Falle werden, wenn die Fahrgeschwindigkeit höher ist, als die Reaktionsmöglichkeit der Insekten auf den Blüten.

Zum Thema Biene und Grünlandnutzung lässt sich vereinfacht sagen:

- eine maximal dreischnittige Nutzung bietet in der für die Bienen wichtigen Periode Juni bis September ein optimales Artenspektrum.
- bei der vierschnittigen Nutzung reduziert sich das für Bienen und andere blütenbesuchenden Insekten wichtige Artenspektrum auf Löwenzahn im Frühjahr und Weißklee und Spitzwegerich von Frühsommer bis September.
- bei der fünfschnittigen Nutzung fällt der Löwenzahn spätestens Mitte der Blüte und der Weißklee kann von den Bienen nur sehr kurz befliegen werden bzw. wird sogar zur Falle. 5-Schnitt-Wiesen haben de facto keine Bedeutung mehr für Bienen.

Natürlich können bei nicht optimaler Bewirtschaftung und hoher Schnitzzahl auch Pflanzenarten vermehrt auftreten, die eigentlich in der Tierfütterung weniger erwünscht sind, aber von den Bienen doch stärker befliegen werden wie z.B. Wiesen-Schaumkraut, Taubnessel-Arten, Kriechender Günsel.

Exkurs in die Entwicklung eines Bienenvolkes

Die biologischen Grundlagen der Entwicklung des Bienenvolkes sowie seine Interaktion mit seiner Umwelt können hier nur in ihren wichtigsten Elementen in Bezug auf "Bienen und Landwirtschaft" skizziert werden. Weil die Fähigkeit zur Bildung winterfester Bienen und damit zum Überdauern kalter feindlicher Jahreszeiten die große Errungenschaft unserer europäischen Bienenrassen darstellt, wird die folgende Einführung in die Entwicklung des Bienenvolkes mit der Sommer-Sonnenwende begonnen.

Mit der Sommer-Sonnenwende Ende Juni nimmt die Tageslänge wieder ab. Dies ist der Auslöser für die Aufzucht der Winterbiengenerationen in den Bienenvölkern. Diese Winterbienen haben eine deutlich längere Lebensdauer als die Sommerbienen (mehrere Monate bis in das nächste Frühjahr) und weisen im Abdomen einen speziellen Fett-Eiweiß-Körper (eine Art Speicherorgan) auf. Damit sind sie in der Lage, ab Anfang Jänner, wenn die Tageslängen wieder zunehmen, mit der ersten Brutaufzucht zu beginnen. Auch wenn zu dieser Zeit die Zahl der Brutzellen noch sehr gering ist und die Außentemperaturen um den Gefrierpunkt oder darunter liegen.

Für die Überlebensfähigkeit des Bienenvolkes ist daher die Zeitperiode Juli bis September von entscheidender Bedeutung. Je besser das Pollenangebot in Menge und Vielseitigkeit (Eiweißgehalt, Zusammensetzung des Eiweißes, Mineralstoffe, Fette) ist, desto gesünder und langlebiger sind die Winterbienen und desto besser und größer ist der Fett-Eiweiß-Körper ausgebildet. Man kann das auch unter dem Begriff "Vitalität" zusammenfassen. Ebenso wichtig – besonders für eine ausreichende Volkstärke, also die Größe

des Brutnestes in dieser Periode – ist eine ausreichende Nektarversorgung. Der Nektar wird um diese Zeit fast ausschließlich in die Brutaufzucht investiert. Der Honig aus dem Frühjahr und Frühsommer ist verdeckelt und wird normalerweise vom Bienenvolk nicht mehr mobilisiert; er ist mit höchster Priorität für die Winterperiode reserviert. Nur bei extremem Futtermangel, also knapp vor dem Verhungern, werden die Honigreserven geöffnet. Darum werden die Völker vom Imker, nachdem er Ende Juni bis Ende Juli den letzten Honig geerntet hat, auch sofort gefüttert.

Genau in diesem Zeitraum hat sich jedoch das Pollenangebot in den letzten Jahrzehnten maßgeblich reduziert, bzw. ist in den agrarisch intensiver bewirtschafteten Regionen nahezu zum Erliegen gekommen. Näheres dazu im nächsten Punkt "Bienen und Landbewirtschaftung". Latenter Mangel an hochwertigem und vielseitigem Eiweiß verringert die Langlebigkeit und ebenso die Widerstandskraft (die individuelle und kollektive Immunabwehr) der Bienen. Zusätzlich belastende äußere Einflüsse, wie Parasiten, Viren, Wirkstoffe aus dem Pflanzenschutz, Wirkstoffe aus der Varroabekämpfung aber auch durch den Imker verursachte Belastungen (bzw. vom Imker unterlassene Maßnahmen in der Völkerführung) können im Einzelnen und besonders in Kombination das Bienenvolk soweit schwächen, dass es seine Stabilität verliert oder stirbt.

Ab der Sommer-Sonnenwende nimmt der Brutumfang ab, um dann im Spätsommer nochmals leicht anzusteigen und ab Herbst langsam abzunehmen, bis zur vollständigen Einstellung im Laufe des Novembers. Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass das Aufwuchs- bzw. Massenbildungsverhalten des Grünlandes einen ganz ähnlichen Verlauf nimmt. Nicht geklärt ist allerdings, ob es hier ursächliche Zusammenhänge gibt.

Die Rolle der ertragsbetonten Grünlandnutzung für die Schaffung und den Erhalt der Artenvielfalt

Auf den ersten Blick ein Widerspruch. Wie kann die ertragsbetonte Grünlandbewirtschaftung einen Beitrag zur Artenvielfalt leisten können, wenn doch bereits ausgeführt wurde, dass mit vier (und mehr) Nutzungen sich die traditionellen Pflanzengesellschaften zu Wirtschaftswiesen mit einer geringeren Artenzahl verändern?

Abgestufte Bewirtschaftung

Das Konzept der "Abgestuften Bewirtschaftung" beruht darauf, dass die einem Betrieb zur Verfügung stehenden Grünlandflächen in ihrer Bewirtschaftungsintensität differenziert werden. Wir gehen hier einmal davon aus, dass unter "Nutzung" das Mähen, also der Schnitt eines Grünlandaufwuchses, verstanden wird.

Die fünf wichtigsten Grundpfeiler der "Abgestuften Bewirtschaftung" in der ertragsbetonten Grünlandnutzung sind:

- Hohe Futterqualitäten für eine tier- und leistungsgerechte Fütterung;
- Entzugsorientierte Nährstoffversorgung der ertragsbetont geführten Grünlandflächen;

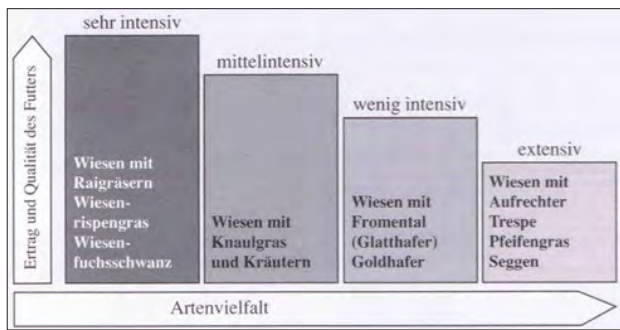


Abbildung 2: Abgestufter Wiesenbau nach Dietl (2004).

- Nutzungsangepasste Pflanzenbestände für optimale Mengenerträge;
- Nährstoffbilanzierung bezogen auf den gesamten Betrieb;
- nutzungsreduziert geführte Grünlandflächen zur Erfüllung der Auflagen im Rahmen der gesamtbetrieblichen Nährstoffbilanzierung.

Aus diesen Grundpfeilern leiten sich die Bewirtschaftungsmaßnahmen ab.

Mit der "Abgestuften Bewirtschaftung" entsteht ein Mix an verschiedenen Intensitäten. Für die Auswahl der ertragsbetonten Flächen sind verschiedene Kriterien wichtig. Es werden Flächen sein, die:

- eine bessere Bodenbonität aufweisen;
- eine effizientere Logistik in der Bewirtschaftung erlauben. Dazu zählen z.B. Flächengröße, Hangneigung, Entfernung vom Hof, Wege- und Straßenzustand, Überqueren von Straßen mit hoher Verkehrsdichte;
- langfristig in der Bewirtschaftungshoheit des Grünlandwirtes stehen können (Sicherheit des Pachtverhältnisses).

Auf diesen Flächen setzt der Grünlandwirt alle notwendigen und pflanzenbaulich sinnvollen Maßnahmen zur Führung eines optimalen Pflanzenbestandes ein.

Die anderen Grünlandflächen werden – je nach Lage, Entfernung, Bodenbonität und Pflanzenbestand – weniger oft gemäht und nur mit wenig oder gar keinen Nährstoffen versorgt. Aus der Sicht der Fütterung haben die hier geernteten Aufwüchse nur eine geringe Qualität. Meist wird es sich um Heu handeln. Damit erhalten "ungünstige" Grünlandflächen für die Absicherung der Qualitätsproduktion wieder eine Bedeutung. Es besteht sogar die Möglichkeit, dass über dieses Konzept bereits aus der Nutzung genommene und von der Sukzession bedrohte Flächen (Betriebsaufgabe, keine Nachfrage, schlechte Lage) wieder gemäht werden, zumindest einmal im Jahr.

Ertragsbetontes Grünland

Unter ertragsbetontem Grünland ist Grünland zu verstehen, das mit mindestens einer Nutzung mehr bewirtschaftet wird, als es der ursprünglichen traditionellen Pflanzengesellschaft entspricht. Meist sind das vier Nutzungen und mehr. Damit bilden sich Pflanzenbestände aus, die man unter dem Überbegriff „Wirtschaftsgrünland“ zusammenfassen kann. Aus heutiger Sicht liegt im mehrjährigen Durchschnitt in Oberösterreich die Obergrenze bei fünf Schnitten. Bei fallweise

in Einzeljahren sehr langen Vegetationsperioden (wie 2014) wird es auch zu einem sechsten Schnitt kommen (müssen), sofern der letzte Aufwuchs nicht geschlägelt wird oder man ihn nichtgemäht in den Winter gehen lässt, was bei folgender langer Schneelage durchaus auch zu Problemen führen kann.

Die ertragsbestimmenden Arten auf ertragsbetontem Grünland sind hochwertige Futtergräser wie Englischs Raygras, Knaulgras, Wiesenfuchsschwanz, Wiesenlieschgras, Wiesenrispe und Goldhafer, sowie Weißklee. Mit einer untergeordneten Beimengung von Kräutern, wie sie für das Wirtschaftsgrünland in unseren Breiten typisch sind (Löwenzahn, Wiesenkerbel, Wiesenbärenklau, Wiesenkümmel, Spitzwegerich, Schafgarbe als Arten mit mittlerem bis gutem Futterwert, sowie Kriechender Hahnenfuß, Scharfer Hahnenfuß, Breitblättriger Ampfer, Giersch, Behaarter Kälberkopf, als unerwünschte bzw. sogar giftige Kräuter). Gerade bei den Kräutern entscheidet oft die Menge über Nutzen und Nicht-Nutzen bzw. Schaden.

Nutzungsreduziertes Grünland

Vereinfacht gesagt: In der Praxis der abgestuften Bewirtschaftung handelt es sich bei den "nutzungsreduzierten" Flächen um jenes Grünland, das – im Gegensatz zum ertragsbetonten Grünland – nur dreimal oder weniger gemäht wird und nur wenig Düngung erhält.

Der Übergang von der „gleichen Nutzungshäufigkeit auf allen Flächen“ zur „abgestuften Bewirtschaftung im Endausbau“ wird natürlich ein mehrjähriger sein. Die als ertragsbetont definierten Flächen müssen Schritt für Schritt an den optimalen Pflanzenbestand herangeführt werden, während die anderen Flächen parallel dazu langsam in Nutzung und Nährstoffversorgung zurückgenommen werden. Je nach Bodenbonität und klimatische Lage kann das unterschiedlich lange dauern. Auch das Ausmaß der Grünland-Gesamtfläche eines Betriebes wird eine Rolle spielen.

Es stellt sich auch die Frage, wie die hier geernteten Aufwüchse verwendet werden können. Meist wird es sich um Heu handeln, das auf Grund seines Schnittzeitpunktes bzw. Alters keine besondere Qualität aufweist. Am ehesten noch wird es für trockenstehende Tiere und für Kälber einzusetzen sein; bei verregneten Erntebedingungen wird es wohl nur mehr als Einstreu Verwendung finden können. Nur teilweise wird es möglich sein, die Aufwüchse dieser Flächen mit den ertragsbetonten Flächen mit zu silieren, wenn sich die Mähzeitpunkte einmal decken.

Artenvielfalt durch "Abgestufte Bewirtschaftung"

Auf extensiver bewirtschafteten Flächen werden sich durch die geringere Zahl an Nutzungen und die reduzierte Nährstoffversorgung (die Wirtschaftsdünger werden für die ertragsbetonten Flächen benötigt) wieder Pflanzenarten etablieren, die für die jeweiligen Böden, Höhenlage, Exposition und Schnittzahl charakteristisch sind. Die Vielfalt an Pflanzenarten, aber auch Tierarten wird wieder zunehmen. Welche Arten das sein werden, wird auch vom vorhandenen Samenpotential und vom Sameneintrag abhängig sein. Die Geschwindigkeit der Zunahme der Artenvielfalt wird

maßgeblich vom natürlichen Nährstoffnachlieferungsvermögen der Böden bzw. von deren Eignung zur Aushagerung bestimmt. Auf feuchteren, lehmigen Standorten, womöglich auf Schwemmlandstandorten, kann dies unter Umständen sehr lange dauern. Trockene, sandige Böden werden viel rascher zu einem "bunten" Aspekt gelangen, der auch für die nicht biologisch versierte Bevölkerung einen ästhetischen Wert bietet.

Somit kann die ertragsbetonte Grünlandwirtschaft über den Weg der abgestuften Bewirtschaftung sehr wohl eine Rolle für den Erhalt der Artenvielfalt spielen. Die auf den ersten Blick provokant erscheinende Feststellung erklärt sich bei näherer Betrachtung mit der unterschiedlichen Intensität der Nutzung und Nährstoffversorgung der Grünlandflächen innerhalb eines Betriebes. Es ist mit Sicherheit sogar so, dass Betriebe, die ihr Grünland fünfmal mähen, sich mehr mit dem Konzept der abgestuften Bewirtschaftung (und damit mit extensiver geführten Flächen) beschäftigen werden, als solche, die "nur" viermal mähen.

Damit liegt tatsächlich in der modernen Grünlandwirtschaft mit ihrem Konzept der abgestuften Bewirtschaftung die große Chance für die Artenvielfalt!

Biologen werden einwenden, dass die Biodiversität auf flächenhafte und isolierte Inseln eingegrenzt wird und eine unterschiedliche Nutzungsintensität auf jeder Fläche (z. B. Randstreifen) im Sinne des Biotopverbundes besser wäre. Dem ist durchaus zuzustimmen. Aber in der breiten Praxis wird dieser Ansatz nicht umzusetzen sein. Vor allem, weil wir es in unseren Grünlandgebieten mit einer meist sehr kleinflächigen Struktur zu tun haben. Damit werden die ohnehin oft schon sehr kleinen ertragsbetont geführten Flächen nochmals reduziert. Das kann sowohl technisch als auch arbeitsmäßig von den Grünlandwirten nicht verlangt werden. Außerdem werden damit vom Typ her extensivere Flächen in die ertragsbetonte Bewirtschaftung eingebunden werden müssen, weil für den einzelnen Betrieb meist keine Flächenreserven zur Verfügung stehen. Was sicher nicht im Sinne der Biodiversität sein kann.

Chancen und Grenzen

Wer die Vielgestaltigkeit unserer Landschaft und die vielen unterschiedlichen Betriebsformen in den reinen Grünland-

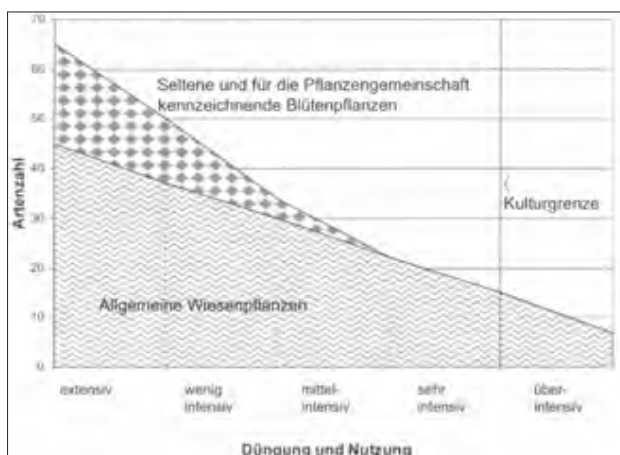


Abbildung 3: Artenzahl nach Dieltz (2004) an mittleren Standorten.

gebieten und in den gemischten Acker-Grünlandgebieten kennt, weiß, dass es in der Umsetzung des Konzeptes der abgestuften Bewirtschaftung eine große Variationsbreite geben wird. Es bietet den Freiraum für die individuelle Umsetzung. Darin liegt die Chance für eine bunte Vielfalt in den letztendlichen Ausdrucksformen.

Jedenfalls muss ein Weg gefunden werden, dass die nutzungsreduzierten Flächen, wenn sie nach einigen Jahren an Artenreichtum gewonnen haben, nicht einer Unterschutzstellung unterzogen werden können. Eine Möglichkeit wäre, diese Flächen ab einem gewissen Stadium der Entwicklung zu erfassen, um sicherzustellen, dass auf den Bewirtschafteter oder den Folgebewirtschafteter keine negativen bzw. einschränkenden Folgen in der Bewirtschaftung zukommen.

Letztlich werden bisher nicht mehr genutzte Grünlandflächen, deren Freihaltung in der Vergangenheit immer schwieriger wurde und sogar gegen Entgelt gemäht werden mussten, wieder einen Wert bekommen. Wenn deren Eigentümer merken, ihre Flächen werden gebraucht, ist der Gedanke einen Pachtzins zu verlangen nicht mehr weit. Das werden Grünlandwirte, noch dazu bei extensiver Nutzung, nicht bereit sein zu zahlen. Die meist nicht (mehr) in der Landwirtschaft arbeitenden Grundeigentümer solcher Flächen werden auch ihren Beitrag leisten müssen über die Bereitstellung ohne Pachtzins.

Der über die abgestufte Grünlandbewirtschaftung möglichen Förderung der Artenvielfalt kann durch ökonomische Maximierungsbestrebungen anderer Entscheidungsträger, die Grünland nicht für die Tierhaltung benötigen, rasch Grenzen gesetzt werden. Mancherorts sind wir bereits damit konfrontiert.

Biodiversität am Grünland als Wert

Die ertragsbetonte Grünlandwirtschaft kann über die abgestufte Bewirtschaftung also sehr wohl eine wichtige Rolle für die Erhöhung bzw. den Erhalt der Artenvielfalt spielen. Auf den nutzungsreduzierten Flächen mit 3 und weniger Schnitten (und verringerter Nährstoffversorgung) stellt sich – nach unterschiedlich langer Anpassungszeit – ein standort- und nutzungsabhängiger Pflanzenbestand ein, mit Arten, die der Honigbiene und anderen blütenbesuchenden Insekten wieder ein kontinuierliches reichhaltigeres Nahrungsangebot bieten können.

Um die höhere Biodiversität, die mit diesem Konzept zu erreichen ist, auch seitens der Gesellschaft entsprechend abgeltet zu können, muss der Artenvielfalt ein monetärer Wert beigemessen werden. Das sehe ich als die große Herausforderung der kommenden Jahre an, hierfür Modelle zu entwickeln.

Bisher beruhen die Prämienansätze für Umweltleistungen auf Berechnungen des zusätzlichen Aufwandes an Zeit, Technik, Betriebsmittel und/oder Ertragsentgang. Will man der Biodiversität, die alle so hoch einschätzen, gerade auf dem Grünland eine Chance geben, so muss man von diesem reinen "Aufwandsmodell" zumindest teilweise abgehen bzw. es zulassen, dass auch eine höhere Artenvielfalt bzw. Bewirtschaftungskonzepte, die dazu führen, einen Wert

an sich hat. Das erfordert eine mentale Öffnung für eine Werte-Diskussion in der grundsätzlichen Ausrichtung des Umweltprogrammes.

Der Vergleich mit Naturschutzflächen kann nicht gezogen werden, weil es sich bei den nutzungsreduzierten Flächen in der ertragsbetonten Grünlandwirtschaft NICHT um unter Naturschutz zu stellende Bestände handelt, sondern um Wiesen mit einer vergleichsweise deutlich höheren Artenvielfalt.

Wenn man akzeptiert, dass

- heute und in Zukunft die Schnitffrequenz auf dem Dauergrünland steigt bzw. steigen wird,
- die 4-Schnittnutzung, dort wo es vegetationszeitlich möglich ist, Standard ist bzw. noch wird,
- bei immer mehr Grünlandflächen die 5-Schnittnutzung angestrebt wird und
- die Artenvielfalt mit einer 3-, 2- und 1-Schnittnutzung deutlich höher ist, als bei 4 und mehr Nutzungen,

dann muss den 3-, 2- und 1-Schnittwiesen ein "Biodiversitäts-Wert" beigemessen werden, der sich nach der Zahl der Schnitte richtet. Unabhängig von der tatsächlich dort vorhandenen Artenzahl. Einerseits wird sich nach Einstieg in die abgestufte Bewirtschaftung die Artenvielfalt erst langsam entwickeln, andererseits ist die Erfassung sehr aufwändig, nur von Botanikern möglich und wird jährlich unterschiedliche Ergebnisse bringen. Letzteres hat gravierende Auswirkungen wenn eine fix festgesetzte Artenzahl darüber entscheidet, ob der Bestand nun hochwertig ist oder nicht.

Dieser Biodiversitäts-Wert kann die Grundlage für die Prämiengestaltung in einem Umweltprogramm werden.

Da der Biodiversitäts-Wert an die durchschnittliche Schnitthäufigkeit gebunden ist, haben alle gleich oft gemähten Dauergrünlandflächen den gleichen Wert. Unabhängig, ob die Schnitthäufigkeit nun aktiv durch Nutzungsreduzierung (im Zuge der abgestuften Bewirtschaftung) erreicht wird, oder ob die Schnitthäufigkeit Standard ist (z.B. aufgrund der Vegetationszeit, Höhenlage, Bodenbonität, etc.). Das heißt, Prämien nach dem Biodiversitäts-Wert müssen auch für Flächen gewährt werden, die sowieso standardmäßig mit z.B. 3 oder 2 Schnitten genutzt, weil es die Vegetationsdauer nicht anders zulässt. Weil es hier um die Biodiversität an sich geht und nicht alleine darum, ob etwas an der Bewirtschaftung geändert wird, das Kosten und/oder weniger Ertrag verursacht.

Zusammenfassung

Die Zahl der Nutzungen hat sich am Dauergrünland in den letzten 30 bis 40 Jahren erhöht, um die Rinder mit einem gesunden, tier- und leistungsgerechten Futter aus dem eigenen Betrieb versorgen zu können und die Notwendigkeit des Zukaufes von Import-Eiweiß möglichst gering zu halten. Es ist davon auszugehen, dass heute in Oberösterreich 80 % des mehrmähdigen Grünlandes viermal, und regional auch fünfmal, genutzt wird.

Damit hat auch die botanische Vielfalt des wirtschaftlich genutzten Grünlandes seit Jahren kontinuierlich abgenommen.

Über das Konzept der abgestuften Grünlandbewirtschaftung kann die ertragsbetonte Grünlandwirtschaft, bei gleichzeitiger Absicherung einer hohen tiergerechten Grundfutterqualität, sehr wohl zur Schaffung und zum Erhalt der Artenvielfalt beitragen. Und das auch bei größeren Betriebsstrukturen.

In der für die Bienen wichtigen Entwicklungsperiode von Juni bis Mitte September bietet ein artenreiches Grünland die einzige Möglichkeit für hochwertige Pollen- und Nektarversorgung. Botanische Biodiversität auf dem Grünland hat für die Bienen und andere blütenbesuchende Insekten einen ausgesprochen hohen Wert für Gesundheit, Vitalität und Arterhalt.

Diesen Wert monetär als "Biodiversitäts-Wert" auszudrücken sehe ich als eine der größten Herausforderungen der kommenden Jahre an. Es geht darum, die ertragsbetonte Grünlandnutzung unter dem Konzept der abgestuften Bewirtschaftung ebenso wie die naturbedingte Nutzung mit 3 und weniger Schnitten unter Heranziehung des Biodiversitäts-Wertes über Ausgleichszahlungen attraktiv zu gestalten und abzusichern. Ein langer Weg steht bevor, auf dem viel Mut zu neuen Denkanätzen und ein gewisses Maß an Konsensbereitschaft einzu- bringen sind.

„Wenn man eine Eiche pflanzt, darf man nicht die Hoffnung hegen,
nächstens in ihrem Schatten zu ruhen.“

Antoine de Saint-Exupéry
aus: *Wind, Sand und Sterne*

Literatur

- Aigner, S. *et al.* (2012): Wiesen – Inseln der Biodiversität im Wald-Nationalpark Kalkalpen, 1. Auflage. Schriftenreihe des Nationalpark Kalkalpen Band 12. Hrsg.: Nationalpark Oö. Kalkalpen Ges.m.b.H.
- Buchgraber, K. und G. Gindl (1994): Zeitgemäße Grünlandbewirtschaftung, 2. Auflage. Leopold Stocker Verlag.
- Buchgraber, K. *et al.* (2010): Bewirtschaftungsmaßnahmen des Grünlandes zur Erhaltung einer vielfältigen Kulturlandschaft mit hoher Biodiversität. Ländlicher Raum, Online-Zeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- Dietl, W. (1998): Wiesengräser, 1. Auflage. Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Futterbaues (AGFF).
- Dietl, W. (2004): Ökologischer Wiesenbau, 1. Auflage. Österreichischer Agrarverlag.
- Dietl, W. (2012): Wiesen- und Alpenpflanzen, 4. Auflage. Österreichischer Agrarverlag.
- Dietl, W. (2015): persönliche Mitteilung.
- Essl, F. und G. Egger *et al.* (2004): Rote Liste der gefährdeten Biotop- typen Österreichs. Monographien M-167. Hrsg.: Umweltbundesamt GmbH, Wien.
- Galler, J. (2012): Grünlandwirtschaft heute, 2. Auflage. Hrsg.: Landwirtschaftskammer Salzburg.
- Koblmüller, M. (2015): Milchleistung im OÖ. Landverband für Leistungsprüfung; persönliche Information.

- Neubacher, G. und M. Strauch (2015): Abteilung Naturschutz, Land Oberösterreich; persönliche Information.
- Pils, G. (1988): Vom Bürstlingsrasen zum Intensivgrünland, in: Beiträge zur OÖ. Landesausstellung „Das Mühlviertel“. Hrsg.: Land Oberösterreich, S. 129-139.
- Pils, G. (1994): Die Wiesen Oberösterreichs, 1. Auflage. Hrsg.: Forschungsinstitut für Umweltinformatik.
- Richtlinien für die sachgerechte Düngung (2006): Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz des BMLFUW. 6. Auflage. Herausgeber: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- Statistik Austria: Milchleistung, Datenbank; www.statistik.at.
- Wöckinger, M. (2015): Milchleistung im OÖ. Arbeitskreis Milchproduktion; persönliche Information.

Einfluss der unterschiedlichen Nutzungsformen im Grünland auf das Ernährungspotential für die Honigbiene (*Apis mellifera*)

Masterarbeit von Luana Lang^{1*}

Betreuer: Univ. Doz. Dr. Karl Buchgraber, Prof. Dr. Werner Zollitsch

Einleitung

Die durch Imker erfahrene Rückläufigkeit der Nahrungsgrundlage für Bienen in der Landwirtschaft in Österreich steht dem steigendem Druck auf Landwirte, eine immer höhere Produktivität mit mehr Nutzungen pro Jahr zu erbringen, gegenüber. Dieser Interessenskonflikt ist seit einigen Jahren auch in der Grünlandwirtschaft bemerkbar. Laut dem Grünen Bericht (BMLFUW, 2014, S. 134) gibt es 58.334 Grünlandbetriebe in Österreich, welche zusammen 48 % der landwirtschaftlichen Betriebe ausmacht. Dass die Nutzungsart und -häufigkeit im Zusammenhang mit der Artenvielfalt steht wurde bereits durch Pötsch und Blaschka (2003, S. 10) belegt. Wie es um den blühenden Pflanzenbestand im Grünland bestellt soll im Rahmen dieser Arbeit herausgefunden werden.

Material und Methoden

Über den Zeitraum April bis September 2015 wurden die blühenden Pflanzenarten auf zwei Transekten im Ennstal mit insgesamt neun Versuchsflächen bestimmt, gezählt sowie deren Flächendeckungsgrad geschätzt. Die Erhebungen fanden wöchentlich statt. Die Flächen umfassen Einschnitt-, Zweischnitt-, Dreischnitt, Vierschnittwiesen, eine Mähweide und eine Dauerweide. Mittels der erhobenen Daten wurden statistische Auswertungen über

Tabelle 1: Versuchsflächenbezeichnungen mit Angabe zur Nutzungsform.

Versuchsflächen	Nutzungsform
Transekt „Aiglern“	
600-700 m über N.N	
A1	Vierschnittwiese + Nachweide
A2	Mähweide + Vor- und Nachweide jeweils 14 tällig
A5	Vierschnittwiese + Nachweide
A6	Dreischnittwiese + Nachweide
A3	Zweischnittwiese
A4	Einschnittwiese
Transekt „Erlsberg“	
1230 m über N.N	
B1	Einschnittwiese
B2	Zweischnittwiese
B3	Dauerweide

die Unterschiede zwischen den einzelnen Nutzungsarten in Berg- und Tallage erstellt. Zudem wurden Trachtfließbänder über die Vegetationszeit der einzelnen Pflanzenarten sowie des gesamten Transekts erstellt.

Vorläufige Ergebnisse

Abbildung 1 zeigt den Unterschied der Anzahl von blühenden Pflanzenarten zwischen den verschiedenen Nutzungsformen

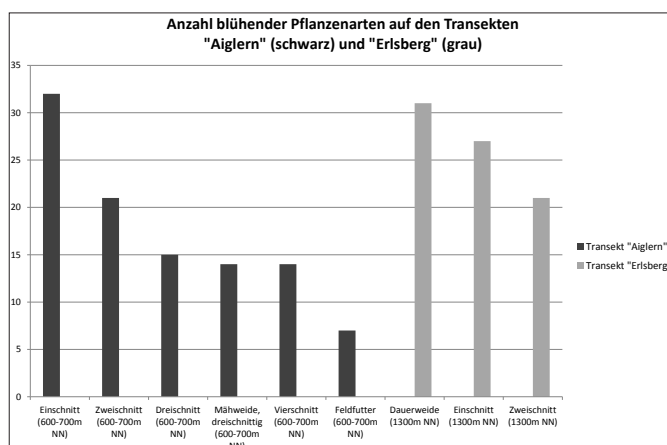


Abbildung 1: Anzahl der unterschiedlichen blühenden Pflanzenarten pro Nutzungsform bei ordentlicher und sachgemäßer Bewirtschaftung auf den Versuchsflächen der Transekte "Aiglern" und "Erlsberg".

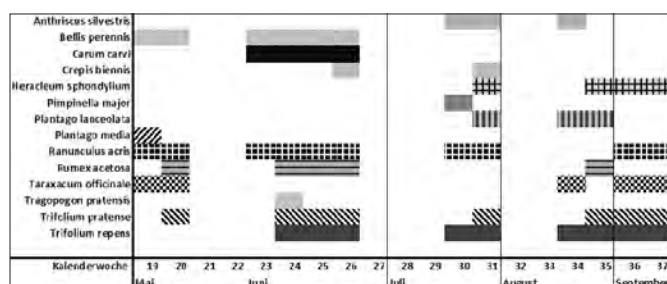


Abbildung 2: Auswirkungen der Schnittzeitpunkte auf das Vorkommen der blühenden Pflanzen am Beispiel des Transekts "Aiglern" anhand der Versuchsfläche A5 (Vierschnittwiese), Aufnahmen sind noch nicht beendet.

¹ Universität für Bodenkultur Wien, Gregor-Mendel-Straße 33, A-1180 WIEN

* Ansprechpartner: Luana LANG, anaulm04@gmail.com

auf. Vor allem auf dem Transekt „Erlsberg“ in Berglage ist eine fast lineare Abnahme der Pflanzenarten erkennbar. Auf dem Transekt „Aiglern“ ist die höchste Anzahl von Pflanzen mit 32 Arten auf der Einschnittwiese zu finden. Die Anzahl sinkt bei der zweischnittigen Wiese auf 21 und bei der dreischnittigen auf 15 Pflanzenarten. Der Unterschied zwischen Dreischnittwiese, Mähweide und Vierschnittwiese ist sehr gering und liegt bei einer Pflanzenart. Zwischen der Mähweide und der vierschnittigen Wiese (14 Pflanzenarten) liegt kein Unterschied in der Artenanzahl vor, fällt dann aber auf der vierschnittigen Wiese (Feldfutter) um 50 % auf 7 Pflanzenarten, was eine Reduktion von 78 % gegenüber der Einschnittwiese darstellt. Im Tal sind mehr Arten auf der Einschnittwiese zu finden als auf der höher gelegenen Versuchsfläche, bei der zweischnittigen Wiese weisen die beiden Standorte keinen Unterschied zueinander auf.

Die Abbildungen 3 und 4 stellen die Trachtfließbänder der beiden Transekte unabhängig von der Nutzungsform dar. Zu sehen ist eine Verteilung der unterschiedlichen Blühpflanzen über die Vegetationsperiode hinweg. Die Auswirkung der Schnittzeitpunkte lässt sich anhand der Abbildung 2 erkennen. Nach den Mähterminen in der Kalenderwoche 21, 26 und 32 kommt es auf der Versuchsfläche A5 jeweils zu einer Trachtlücke von 2 – 3 Wochen. Betrachtet man das gesamte Trachtfließband des Transekts „Aiglern“ ist zu erkennen, dass die Lücken von beispielsweise *Trifolium pratense* (Rotklee) oder *Crepis biennis* (Wiesen-Pippau) durch die unterschiedlichen Nutzungsformen und -häufigkeiten im Jahr geschlossen sind. Durch die Differenzierung der einzelnen Pflanzenarten lässt sich die unterschiedliche Zusammensetzung der Pflanzengesellschaften und deren Vielfalt in Tal- und Berglage gut erkennen.

Vorläufige Conclusio

Ein vielfältiges und durchgängiges Trachtfließband ist bei den Grünlandflächen durch die unterschiedlichen Nutzungsformen möglich. „Honigbienen benötigen aber nicht nur eine artenreiche, blühende Pflanzenwelt. Die zur Überwinterung notwendigen großen Nektarmengen, die auch die Honigernte des Imkers bilden, kommen nur zustande, wenn eine große Zahl identischer, nektarreicher Blüten gleichzeitig blüht und befliegen werden kann.“ (Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz, 2012).

Literatur

Pötsch, E.M. und A. Blaschka (2003): Abschlussbericht über die Auswertung von MAB-Daten zur Evaluierung des ÖPUL hinsichtlich Kapitel VI.2.A „Artenvielfalt“. Gumpenstein, Dezember 2003, 37 S.
 BMLFUW (2014): Grüner Bericht 2014. Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien 2015, 329 S.

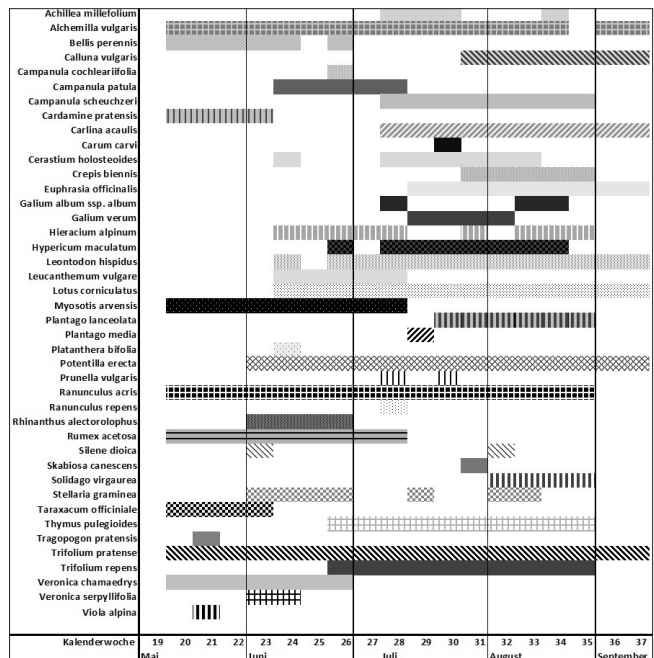


Abbildung 3: Trachtfließband des Transekts "Erlsberg" unabhängig von den Nutzungsformen, im Jahr 2015.

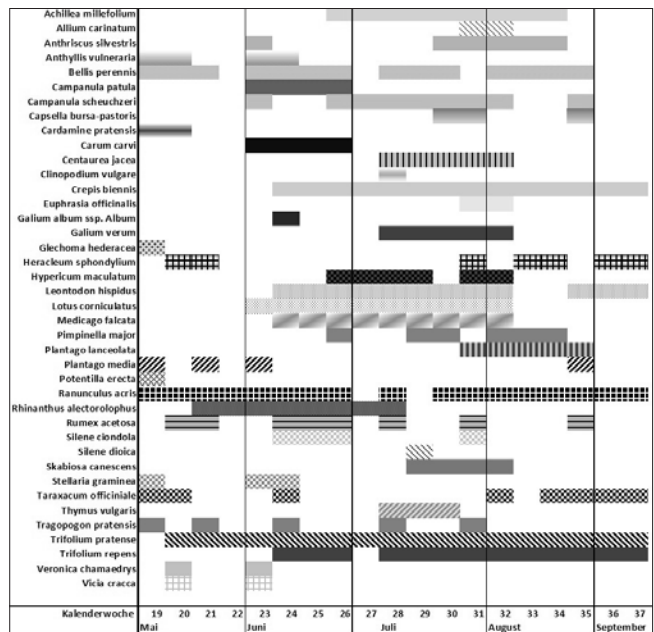


Abbildung 4: Trachtfließband des Transekts "Aiglern" unabhängig von den Nutzungsformen, im Jahr 2015.

Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg (Hrsg.) (2012): Bienenweidekatalog. Verbesserung der Bienenweide und des Artenreichtums. 128 S.

Einfluss unterschiedlicher Grünlandnutzung auf das Nahrungsangebot für die Honigbiene und andere Insekten

Masterarbeit von David Moser^{1*}

Betreuer: Univ. Doz. Dr. Karl Buchgraber, Univ. Doz. Dr. Hermann Pechhacker

Problemstellung und Forschungsfragen

Erfahrene, österreichische Imker berichten, dass Wiesen und Weiden immer intensiver bewirtschaftet werden und dadurch das Nektar- und Pollenangebot für die Honigbiene Lücken aufweisen soll. Wissenschaftler belegen, dass die Schnitthäufigkeit negativ mit dem Kräuter- und Leguminosenanteil in Wiesen korreliert (Magyar u.a., 2008). Auch die floristische Diversität von Grünlandflächen steht in Beziehung zur Nutzungsart (Pötsch und Blaschka, 2003, S. 9). Ob die potentielle Nektar- und Pollenversorgung mit dem Nutzungsregime und dem dadurch veränderten Pflanzenbestand in Zusammenhang steht, soll in dieser Arbeit untersucht werden.

Material und Methoden

Im Wochenintervall wurden über zwei Vegetationsperioden die Blütenbesuche auf unterschiedlich genutzten Grünlandflächen im Aiglern und am Erlsberg (Ennstal) erhoben. Die erfassten Insekten wurden in Artengruppen eingeteilt und der Honigblaseninhalt sowie die Pollenfracht von blütensten Arten wie der Honigbiene (*Apis mellifera* L.) untersucht. Die Beobachtungen erfolgten nach einem standardisierten Verfahren, bei dem auf den gleichen Flächen, für eine definierte Zeitspanne die Blütenbesuche je Flächeneinheit erfasst und im Anschluss blütenbesuchende Insekten gefangen wurden. Somit zeichnete sich ab, welche Insektenartengruppen auf welchen Pflanzenarten Nahrung sammelten.

Erhebungen fanden nur statt wenn die Witterungsbedingungen Blütenbesuche ermöglichten. Bei Regen und Temperaturen unter 15 °C blieben die Untersuchungen aus. Das Vorgehen beim Zählen und Fangen war für alle Flächen ident und erfolgte unter gleichen Umweltbedingungen und zur gleichen Tageszeit.

Ergebnisse

2014 wurden gesamt 847 Insekten bei Blütenbesuchen auf den Untersuchungsflächen erfasst. Davon wurden 518 bei den Zähl durchgängen zugeordnet, 329 wurden gefangen. Von den nachgewiesenen Insekten waren 129 Individuen der Art *Apis mellifera* zuzuordnen. 2015 wurden gesamt 1904 Insekten erfasst, 1090 bei den Zählungen und 814 bei den Fangdurchgängen. Von den nachgewiesenen Insekten

konnten 582 der Art *Apis mellifera* zugeordnet werden. Davon wurden 300 Bienen gefangen, die gesamt 0,5 g Pollen (Σ Pollenhöschchen) und 6 g Zucker (Σ Trockenmasse des Honigblaseninhalts) sammelten. Die Erfolgsquote bei den Pollensammlerinnen lag bei rund 35 %. Die Erfolgsquote der Nektarsammlerinnen lag hingegen bei rund 60 %. Für beispielsweise *Taraxacum officinale* agg. ergab sich ein mittlerer Zuckergehalt des Honigblaseninhalts von rund 57 % bei einer Standardabweichung von 9,6 %. In der Literatur wird der Zuckergehalt von *Taraxacum*-Nektar zwischen 18 – 51 % (Zander, 1997, S. 27) und Ø 55 % (Maurizio, 1994, S. 173) angegeben. Gerade der Löwenzahn als Massentracht ist essentiell für die Frühjahrsentwicklung der Bienenvölker (Zander, 1997).

Zwischen den verschiedenen bewirtschafteten Flächen gab es Unterschiede in der Beflughäufigkeit pro Termin. Aus *Abbildung 1* geht hervor, dass die einschürigen Flächen (B1, A4) im Median je Untersuchungstermin häufiger befliegen wurden als die übrigen Flächen. Auch der Anteil der Bienen an den gesamten Blütenbesuchern schwankt von Fläche zu Fläche. Am Erlsberg war der Bienenanteil an den Blütenbesuchern (11 – 15 %), durchwegs geringer als in Aiglern (16 – 70%). Den höchsten Bienenanteil verzeichnete die Fläche A1 (4 Schnitte) mit einem hohen *Trifolium repens*-Anteil von 42 Flächen %. Die Gesamtanzahl von Blütenbesuchen war auf dieser Fläche mit n=129 im Vergleich zur einschürigen Fläche A4 mit n=313 vergleichsweise gering. Die zweite 4-schürige Fläche A5 wies den geringsten Bienenanteil aller Talflächen auf (16 %). Die Gesamtanzahl von Blütenbesuchen war dank Massenbeflug, durch Fliegen am Bärenklau (*Heracleum sphondylium*), an zwei Terminen

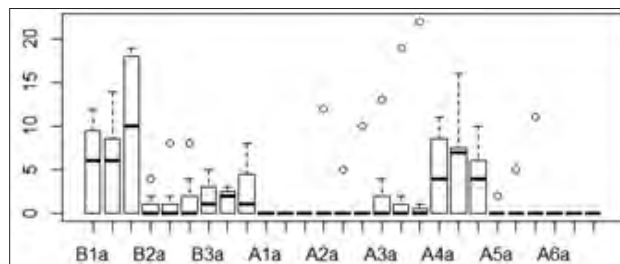


Abbildung 1: Boxplot: Insektenbeflug (y-Achse [n]) nach Teilflächen B= Bergfläche A= Talfläche; B1, A4 = 1-Schnittwiesen.

¹ Universität für Bodenkultur Wien, Gregor-Mendel-Straße 33, A-1180 WIEN

* Ansprechpartner: David MOSER, david.moser@students.boku.ac.at

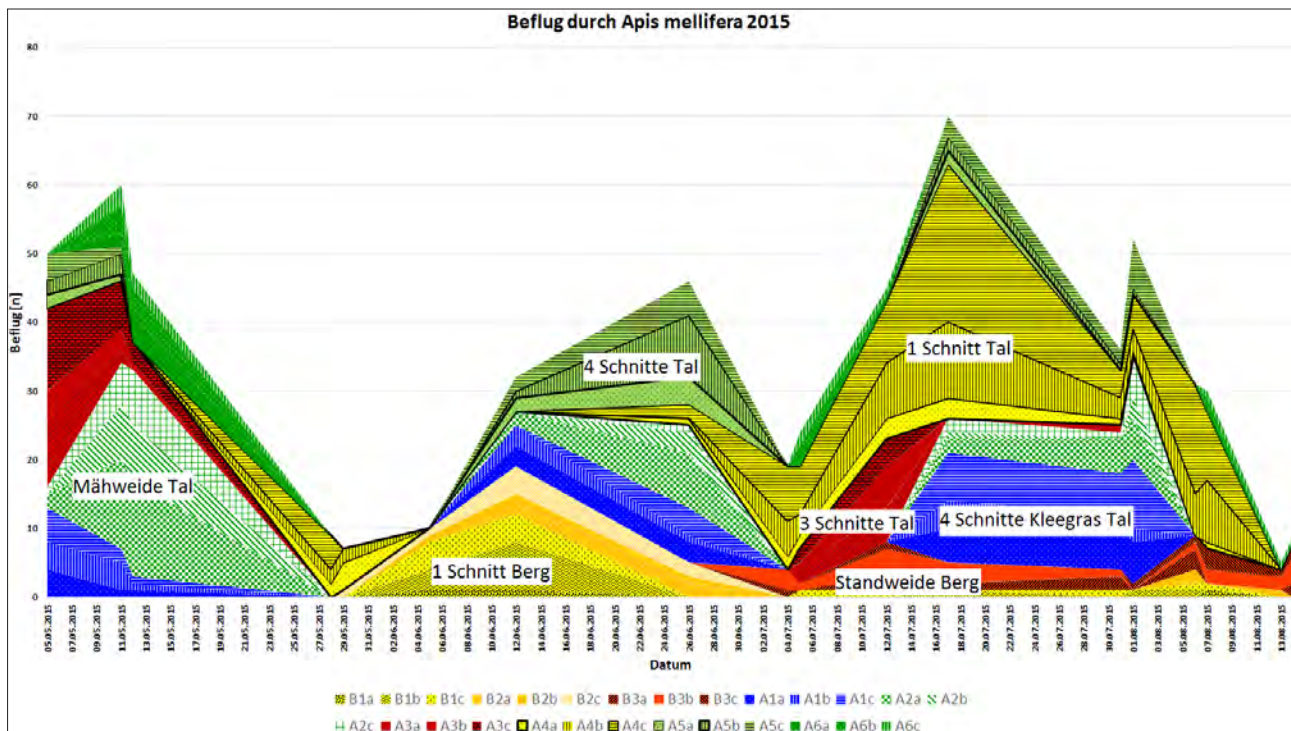


Abbildung 2: „Beflugsgebirge“ 1 Schnitt: A4, B1/2 Schnitte: A3, B2/3 Schnitte: A2, A6 / 4 Schnitte: A1, A5; a,b,c= Wiederholungen.

insgesamt gleich hoch wie auf der Fläche A4, wo sich die Blütenbesuche gleichmäßiger verteilen.

In *Abbildung 2*, dem Beflugsgebirge, sind die Anteile der unterschiedlich bewirtschafteten Flächen am Beflug durch die Honigbiene, je Untersuchungstermin dargestellt. Hieran wird ersichtlich, welche Flächen für die Biene im Jahresverlauf besondere Bedeutung hatten und wo Trachtengänge vorhanden waren. Einheitliche Mähtermine führten vor allem Ende Mai und Mitte August zu Engpässen im Nahrungsangebot. Auf der Fläche A4 wurde vorwiegend *Centaurea jacea* von *Apis mellifera* besucht. Die lange Blühdauer und die kontinuierliche Nektarlieferung dieser Pflanze ermöglichte eine hohe „Persistenz“ des Bienenbeflugs auf dieser Fläche.

Literatur

- Magyar, E., K. Buchgraber, D. Warner, und L. Szemán (2008): Der Einfluss Der Düngung und Nutzung Auf Die Entwicklung Der Kräuter in Grünlandbeständen. *Acta Botanica Hungarica*, 50(1-2), 143-158.
- Pötsch, E. und A. Blaschka (2003): Abschlussbericht über die Auswertung von MAB-Daten zur Evaluierung des ÖPUL hinsichtlich Kapitel VI.2.A „Artenvielfalt“. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 9 ff.
- Maurizio, A. und F. Schaper (1994): Das Trachtpflanzenbuch : Nektar und Pollen – die wichtigsten Nahrungsquellen der Honigbiene. Ehrenwirth, 4. Auflage, München, 173f.
- Zander, E., B. Schick und A. Schüring (1997): Die Bienenweide. Eugen Ulmer, Stuttgart, 22 ff.

Der Pflanzenbestand als Basis hoher Futterqualität im Grünland

Reinhard Resch^{1*}, Giovanni Peratoner^{2**}, Giuseppe Romano², Hans-Peter Piepho³, Andreas Schaumberger¹, Arnold Bodner², Karl Buchgraber¹ und Erich M. Pötsch¹

Zusammenfassung

Auswertungen unterschiedlicher Datenbestände von Grünlandprojekten aus Österreich und Südtirol konnten bestätigen, dass neben dem Nutzungszeitpunkt die botanische Zusammensetzung des Pflanzenbestandes einen wichtigen Einfluss auf die Futterqualität des ersten Aufwuchses von Dauerwiesen ausübt. In Anlehnung an die Schweizer Futterwerttabellen bewirkte die Zuordnung des Pflanzenbestandes zu einem Bestandestyp (gräserreich, ausgewogen, kräuterreich und leguminosenreich) aufgrund der Ertragsanteile der Artengruppen Gräser, Kräuter und Leguminosen eine Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit für alle untersuchten Qualitätsparameter. Die vertiefte Erfassung der botanischen Zusammensetzung auf Artenebene und die Zuordnung der Pflanzenbestände zu Wiesentypen trug ebenfalls zu einer genaueren Vorhersage bei, spielte aber eine untergeordnete und weniger systematische Rolle. Die Seehöhe des Standortes übte bei der österreichischen Untersuchung einen signifikanten Einfluss auf Inhaltsstoffe und Verdaulichkeit aus. Der Verlauf verschiedener Parameter der Futterqualität zeigte einen eindeutigen, artenspezifischen Einfluss. Futterleguminosen wie Weißklee (*Trifolium repens*) und Rotklee (*Trifolium pratense*), aber auch Kräuter wie Kuhblume (*Taraxacum officinale*) schnitten meist besser bei Rohproteingehalt, Mineralstoffen und Verdaulichkeit der organischen Masse ab als Gräser. Erste Untersuchungen konnten belegen, dass die Höhe des Düngereinsatzes (NPK) keinen Effekt auf den Proteingehalt bzw. die Proteinfractionen (CNCPS) der Artengruppen Gräser, Kräuter und Leguminosen bewirkte. Die genetische Variabilität von 16 Zuchtorten am Beispiel Knaulgras (*Dactylis glomerata*) war hinsichtlich Futterqualität über den Entwicklungsverlauf von 8 Wochen stark ausgeprägt. Die Entwicklung von Grünlandbeständen mit hoher Futterqualität erfordert in erster Konsequenz eine gezielte züchterische Bearbeitung von relevanten Grünlandarten und eine amtliche Wertprüfung mit entsprechenden Prüfkriterien. Die Zusammenstellung von hochwertigen Zuchtsorten zu optimalen Qualitätsmischungen bedarf der Expertise und Prüfung durch unabhängige Grünlandinstitute auf unterschiedlichen Standorten. Optimales Management (Nutzung,

Summary

The analysis of different data sets from grassland experiments from Austria and South Tyrol confirmed that, besides the choice of the cutting time, also the botanical composition plays an important role in determining the forage quality of permanent meadows at first cut. Assigning the plant stand to one of the categories 'rich in grasses', 'balanced', 'rich in forbs' or 'rich in legumes' on the basis of the yield share of grasses, forbs and legumes, following the Swiss forage value tables, leads to an improvement of the prediction accuracy for all investigated quality parameters. A more detailed botanical survey and the subsequent assignment of the plant stand to a meadow type further improve the prediction accuracy, but has a less relevant and less consistent role. In the Austrian data set, the altitude affected significantly the constituents and the digestibility. The changes over time of several forage quality parameters were found to be species-specific. Forage legumes as white clover (*Trifolium repens*), red clover (*Trifolium pratense*), but also forbs like dandelion (*Taraxacum officinale*) had better crude protein content, mineral contents and digestibility of organic matter than grasses. First experiments showed that mineral fertilisation (NPK) did not affect the crude protein content and its fractions (CNCPS) of grasses, forbs and legumes. The genetic variability of 16 cultivars of cocksfoot (*Dactylis glomerata*) concerning forage quality was clearly shown over an investigation time of 8 weeks. A targeted breeding of relevant forage species and an official cultivar testing system with adequate evaluation criteria are important in order to obtain grassland with high forage quality. Expertise and variety trials conducted by impartial research institutions are necessary for combining valuable cultivars into well suited seed mixtures. An optimal grassland management aimed at obtaining high forage quality requires active and interactive knowledge transfer from research and extension services.

¹ Institut für Pflanzenbau und Kulturlandschaft, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg 38, A-8952 IRDNING-DONNERSBACHTAL

² Sektion Berglandwirtschaft, Land- und Forstwirtschaftliches Versuchszentrum Laimburg, Laimburg 6, I-39040 BOZEN

³ Fachgebiet Biostatistik, Universität Hohenheim, Fruwirthstraße 23, D-70599 STUTTGART

* Ansprechpartner: Ing. Reinhard RESCH, reinhard.resch@raumberg-gumpenstein.at

** Ansprechpartner: Dr. Giovanni PERATONER, giovanni.peratoner@provinz.bz.it

Düngung, Pflege) von Grünlandbeständen hoher Futterqualität braucht aktiven und interaktiven Wissenstransfer der Forschung und Beratung in die Praxis.

Schlüsselwörter: Qualitätsparameter, Bestandestypen, Wiesentypen, Artengruppen, Grünlandarten, Sortenzüchtung

Keywords: forage quality parameters, botanical composition, meadow types, species groups, grassland species, breeding

Einleitung

Die Grünlandwirtschaft im Alpenraum und deren Bewirtschaftungsintensität wird in Abhängigkeit der Region durch mehr oder weniger ausgeprägte Benachteiligung aufgrund der Standortbedingungen charakterisiert. Nur rund 51 % der österreichischen Grünlandfläche von insgesamt 1,382 Mio. ha werden öfter als zweimal pro Jahr geerntet. Davon nimmt der Anteil an Dauerwiesen 39,6 % und der Feldfutterbau 11,6 % ein (BMLFUW, 2014). Die kontinuierliche Steigerung der tierischen Leistungen und die Bekenntnis zu hohen Produktqualitäten fordern aus wirtschaftlicher Sicht Grünlandbestände von hoher Wertigkeit und Produktivität.

Landwirte, Beratung und Forschung stehen im Alpenraum vor großen Herausforderungen in der Grünland- und Viehwirtschaft, welche eine qualitätsbetonte und ökologisch/ökonomisch maßvolle Entwicklung vorantreiben sollen. Fachlich fundierte Fakten aus wissenschaftlichen Untersuchungen sollen die Grundlage für qualitative Entwicklungen von Grünlandbeständen darstellen. Diese Vorgangsweise erfordert die Beantwortung von zentralen Fragen:

1. Wie wirkt sich der Pflanzenbestand auf die Futterqualität aus? Sind die Verhältnisse zwischen Gräsern, Kräutern und Leguminosen (Artengruppen) ausschlaggebend, oder ist eine vertiefte Erfassung der botanischen Zusammensetzung und eine darauf basierte Zuordnung zu Wiesentypen notwendig?
2. Wird die Futterqualität der Artengruppen durch die Düngung beeinflusst?
3. Welche Rolle spielen einzelne Pflanzenarten in punkto Futterqualität?
4. Kann die Züchtung von Futterpflanzensorten die Futterqualität verbessern?

In den österreichischen Futterwerttabellen wurde nach Buchgraber *et al.* (1997) bei den Grünfuttertabellen 2-3 Nutzungen bzw. 4-6 Nutzungen nach ausgewählten Bestandestypen (Grasreich > 60 % Gräser, Mischbestand ≤ 60 % Gräser) und phänologischen Entwicklungsstadien differenziert. In der Neuauflage der Futterwerttabellen für das Grundfutter im Alpenraum (Resch *et al.*, 2006) wurde aufgrund des größeren Umfangs an integrierten Futtermitteln keine Differenzierung von Bestandestypen vorgenommen. In dieser Arbeit soll geprüft werden, ob sich ausgewählte Bestandestypen (in Material und Methodik beschrieben) in verschiedenen Qualitätsparametern unterscheiden. Für künftige österreichische Futterwerttabellen könnten nach Maßgabe der Ergebnisse mehrere Bestandestypen angeführt werden, um die Grundlage für die Wiederkäuer-Rationsberechnungen zu verbessern. Für den Beitrag wurden von der HBLFA Raumberg-Gumpenstein verschiedene Experimente aus Österreich und vom Land- und Forstwirtschaftlichen Versuchszentrum Laimburg in Südtirol der Datenbestand

des EFRE-Projektes webGRAS herangezogen, um die angeführten Fragestellungen zu beantworten.

Material und Methoden

Datengrundlage Österreich

Daten für Bewertung von Bestandestypen und Nutzungshäufigkeit

Hierfür wurden insgesamt 6.765 Futterproben von österreichischen Grünlandbeständen aus 154 Experimenten des Zeitraumes von 1986 bis 2013 herangezogen. Von den untersuchten Futterproben stammen 6.011 aus exakten Feldversuchen und 753 aus dem UNESCO-Projekt MaB 6/21 von Praxisbetrieben (EUROMAB 1999). Die Proben der Exaktversuche können 42 Versuchsstandorten aus 8 Bundesländern mit Seehöhen zwischen 235 bis 2.400 m zugeordnet werden. Die Proben der MaB-Feldstudie stammen aus 8 Testgebieten mit Seehöhen von 420 bis 1.910 m. Bei der Probenauswahl wurden folgende Kriterien angewendet:

- Grünfutter (ohne Konservierungsverluste) getrocknet im Trockenschrank
- Nutzungshäufigkeit mindestens 1 Nutzung/Jahr
- Erster Aufwuchs
- Bekannte Seehöhe des Standortes
- Geschätzter Anteil der Gräser, Leguminosen und Kräuter in Gewichts %
- Vorhandene Weender Analyse
- Vorhandene in vitro-Verdaulichkeit der organischen Masse (OM) nach Tilley and Terry (1963)

Anteilmäßig kamen die meisten Proben bei 3-Schnittnutzung (3.003 Proben = 44,6 %) bzw. beim Bestandestyp ausgewogen (2.699 Proben = 40,6 %) vor (*Abbildung 1*). Die geringste Probenanzahl wies die Nutzungshäufigkeit ≥ 5-Schnittnutzungen (142 Proben = 2,0 %) bzw. der Bestandestyp leguminosenreich (194 Proben = 2,9 %) auf. Die einzelnen Bestandestypen sind unter Punkt 2.3 beschrieben.

In Teilbereichen dieses Beitrages wurden Arten der Gräser, Leguminosen und Kräuter jeweils als „Artengruppe“ zusammengefasst. Nach Dierschke and Briemle (2002) werden Pools von Grünlandarten unterschiedlich bezeichnet, wie z.B. Gruppe, Gilde oder funktionelle Gruppe.

Daten für Bewertung der Artengruppen und Düngungsintensität

In diesem Fall wurden Proben ausgewählt, wo aus einem Mischbestand Gräser, Kräuter und Leguminosen selektiert und separat analysiert wurden. Als Beispiel wurde der

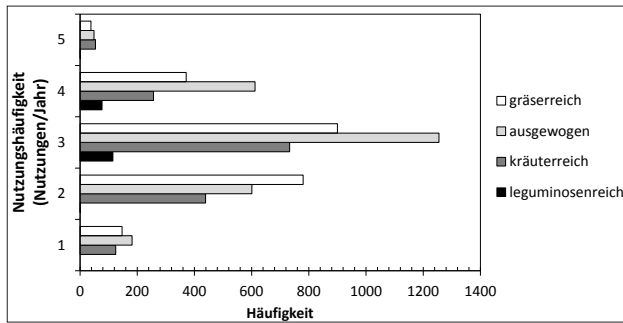


Abbildung 1: Häufigkeit der österreichischen Futterproben in Abhängigkeit von Bestandestyp und Nutzungshäufigkeit.

Ertragsdynamische Wirtschaftsdüngerversuch GL-484 (Standort Gumpenstein, 710 m Seehöhe) herangezogen. Die Düngungsvarianten waren: 1 – ungedüngt, 2 – PK dynamisch, 3 – PK dynamisch + 80 kg N/ha und Jahr, 4 – PK dynamisch + 120 kg N/ha und Jahr, 5 – PK dynamisch + 180 kg N/ha und Jahr. Für die PK-Düngung wurden je 100 kg Futter-TM 0,9 kg Phosphat (P_2O_5) bzw. 2,5 kg Kali (K_2O) vom Vorjahresertrag berechnet. In diesem Feldversuch wurden von Weichselbaum (2015) Rohprotein und die Proteinfraktionen (nach dem Cornell Net Carbohydrate and Protein System – CNCPS) der selektierten Artengruppen dieser 5 Düngungsvarianten im 1. Aufwuchs aus dem Jahr 2014 untersucht.

Daten für Bewertung von Futterpflanzen – Spezies und Nutzungszeitpunkt

In einem exakten Experiment am Standort Gumpenstein wurden im Jahr 1994 unterschiedliche Futterpflanzen (5 Gräser [Knautgras - *Dactylis glomerata*, Timothee - *Phleum pratense*, Engl. Raygras - *Lolium perenne*, Wiesenfuchsschwanz - *Alopecurus pratensis*, Wiesensrispe - *Poa pratensis*], 2 Leguminosen [Rotklee - *Trifolium pratense*, Weißklee - *Trifolium repens*] und 2 Kräuter [Stumpfbliättriger Ampfer - *Rumex obtusifolius*, Kuhlblume - *Taraxacum officinale*]) aus dem Wirtschaftsgrünland im Verlauf der Entwicklung im 1. Aufwuchs über 10 Wochen verteilt, an 6 Beprobungszeitpunkten untersucht, um deren Qualitätsunterschiede aufzuzeigen.

Daten für Bewertung von Futterpflanzen – Sorten

Als Beispiel für den Einfluss der genetischen Variabilität von *Dactylis glomerata* auf Rohprotein bzw. die OM-Verdaulichkeit wurde der Feldversuch GL-609 (Standort Gumpenstein) aus dem Versuchsjahr 2000 herangezogen. Die 16 Knautgrassorten wurden im 1. Aufwuchs wöchentlich ab 4. Mai über einen Zeitraum von 8 Wochen beprobt und analysiert.

Datengrundlage Südtirol

Für die Entwicklung der statistischen Vorhersagemodelle wurde ein umfangreicher Datenbestand herangezogen, welcher den Verlauf der Futterqualität des ersten Aufwuchses von Dauerwiesen in Südtirol ab dem Entwicklungsstadium des Schossens beschreibt. Futterproben wurden durch wöchentliche sequentielle Beprobung für einen Zeitraum von

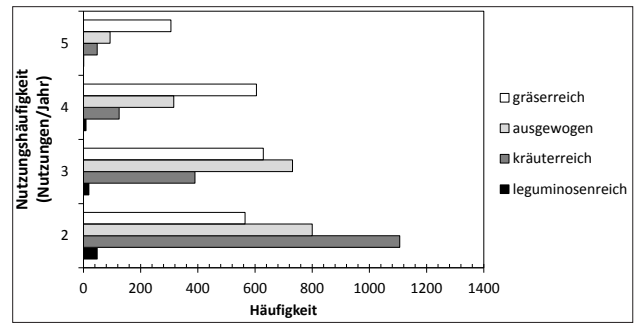


Abbildung 2: Häufigkeit der Südtiroler Futterproben in Abhängigkeit von Bestandestyp und Nutzungshäufigkeit.

42 Tagen ab dem Weidestadium (als 15 cm Bestandeshöhe definiert und dem Schossen gleichgestellt) an 175 Umwelten (35 Standorte \times 5 Jahre) von 2003 bis 2007, an 20 Umwelten (5 Standorte \times 4 Jahre) von 2009 bis 2012 und an 7 Umwelten in den Jahren 2013 und 2014 gesammelt. Die Umwelten umfassten eine breite Palette an klimatischen Bedingungen (666 m bis 1.593 m Meereshöhe) und Bewirtschaftungsweisen (2 bis 5 Schnitte/Jahr).

Im Gegensatz zum österreichischen Datenbestand kamen hier die zweischnittigen Wiesen (43,7 % der Fälle) am häufigsten vor, während die Bestandestypen gräserreich und ausgewogen (36,4 % bzw. 33,6 %) eine ähnliche Gesamthäufigkeit aufwiesen (Abbildung 2). Die fünfschnittigen Wiesen (7,7 %) und insbesondere der leguminosenreiche Bestandestyp (1,3 %) waren, wie beim österreichischen Datenbestand, am schwächsten vertreten.

Bei jedem Erntetermin wurden die Proben in vierfacher Wiederholung innerhalb einer Fläche von 50 bis 100 m² in Kleinquadraten (0,25 m² Fläche) bei einer Schnitthöhe von 5 cm mit Akkuscheren gewonnen (Kasal *et al.* 2010) und im Trockenschrank bei 60 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Für die Analysen der in vitro-Verdaulichkeit und der Mineralstoffe wurde eine Mischprobe der vier Wiederholungen herangezogen, während für alle anderen Parameter die einzelnen Wiederholungen untersucht wurden.

Für die Entwicklung der statistischen Vorhersagemodelle wurden Temperatursummen wie folgt berechnet und herangezogen: Für 20 der 35 Versuchsstandorte wurden Temperaturdaten in 2 m Höhe von Wetterstationen in begrenzter Entfernung, mit ähnlicher Meereshöhe und Exposition sowie mit fehlendem Abschirmungseffekt von dazwischenstehenden Reliefs herangezogen. Für die restlichen Standorte wurden nach Schaumberger (2011) räumlich interpolierte Daten mit 250 m Auflösung verwendet. Die Basistemperaturen wurden für jede abhängige Variable nach Romano *et al.* (2014) ermittelt.

Pflanzenbestand

In Futterwerttabellen (DLG, 1997; Daccord *et al.*, 2007) werden repräsentative, länderspezifische Grünlandbestandestypen differenziert, weil ein Einfluss auf die Futterqualität festgestellt wurde. Um eine Vergleichbarkeit mit dem Schweizer System zu gewährleisten, wurden die erfassten Artengruppenverhältnisse für diesen Beitrag nach folgenden Kriterien gepoolt: gräserreich – Grasanteil > 70 %,

Tabelle 1: Schlüssel für die Zuordnung der Mischproben zu einem Bestandestyp ausgehend vom Bestandestyp der vier Wiederholungen.

Ausprägung der vier Wiederholungen	Zuordnung der Mischprobe
Gräserreiche Proben ≥ 3	gräserreich
2 gräserreiche und 2 ausgewogene Proben	gräserreich
Kräuterreiche Proben ≥ 3	kräuterreich
2 ausgewogene Proben, die restlichen Proben kräuterreich oder leguminosenreich	kräuterreich
Leguminosenreiche Proben > 3	leguminosenreich
Alle anderen Kombinationen	ausgewogen

ausgewogen – Grasanteil 50-70 %, kräuterreich – Kräuter + Leguminosen > 50 % und Leguminosen < 50 %, leguminosenreich – Leguminosen > 50 %.

Das entspricht weitgehend dem Beurteilungsschema nach Daccord *et al.* (2007) mit der Ausnahme, dass keine weitere Unterteilung der gräserreichen, ausgewogenen und kräuterreichen Bestandestypen aufgrund der Anteile von Raygräsern bzw. grobstängeligen Kräutern durchgeführt wurde. In Südtirol wurde bei der Beprobung der Bestandestyp jeder Probe nach demselben Schema beurteilt. Für alle Daten wurden die Artengruppen vor der Ernte nach Klapp/Stählin (Ertragsanteil in Gewichtsprozent) geschätzt (Klapp, 1930; zit. in Voigtländer und Voss, 1979).

Für die Mischproben, welche für die Bestimmung der in vitro-Verdaulichkeit und der Mineralstoffe verwendet wurden, wurde die Zuordnung zum Bestandestyp aufgrund der Bestandestypen der vier Wiederholungen unternommen (Tabelle 1). Für den Aufbau dieses Schlüssels wurde der erfahrungsgemäß anfallende Streubereich jeder Artengruppe festgelegt. Daraus wurde für jeden Bestandestyp die mittlere Ausprägung jeder Artengruppe berechnet. Diese Werte wurden dann für jede anfallende Kombination der Artengruppen der einzelnen Wiederholungen gemittelt. Die daraus resultierende theoretische botanische Zusammensetzung wurde dann nach dem bereits beschriebenen Schema einem Bestandestyp zugeordnet. Da die leguminosenreichen Proben selten vorkamen, konnte keine Mischprobe zur Kategorie leguminosenreich zugeordnet werden.

Beim Südtiroler Versuch wurden außerdem jedes Jahr beim 3. oder 4. Beprobungstermin die Ertragsanteile aller vorkommenden Pflanzenarten nach Klapp geschätzt. Jede Beprobungsfläche wurde mittels Clusteranalyse einem von 7 Wiesentypen zugeordnet (Peratoner *et al.*, 2010). Dafür wurde die mittlere botanische Zusammensetzung über die Jahre 2003 bis 2008 nach Überprüfung der Abwesenheit eindeutiger Trends der Vegetationsdynamik berechnet

und eine Clusteranalyse (quadrierte Euklidische Distanz als Unähnlichkeitsmaß und Ward als Agglomerationsmethode) nach Transformation der Daten nach Dietl (1995) durchgeführt. Die 7 Wiesentypen (Tabelle 2) sind weniger als pflanzensoziologische Einheiten sondern eher als physiognomische Typen zu betrachten. In Tabelle 2 sind die Typen und die Anteile diagnostisch relevanter Arten oder Artengruppen angegeben. Die Typen entsprechen zu einem guten Teil den regelmäßig gedüngten Wiesen im Berggebiet, welche von Scotton *et al.* (2012) für die Provinz Trient bereits beschrieben wurden.

Futteranalysen

Alle österreichischen Futterproben wurden auf Weender-Inhaltsstoffe (Rohprotein [XP], Rohfaser [XF], Rohfett [XL] und Rohasche [XA]) nach Vdlufa (1976) untersucht. Strukturkohlenhydrate (NDF, ADF und ADL) wurden ebenso wie Mineralstoffe (Ca, P, K, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, Na) nach Vdlufa (1976) analysiert. Die energetische Bewertung der Futterproben wurde in Österreich von den DLG-Futterwerttabellen (1997) und in Südtirol über APD, APDN und NEL nach dem Schweizer System abgeleitet (Agroscope 2015). Die Proteinfraktionen aus dem Experiment GL-484 wurden basierend auf den Arbeiten von Krishnamoorthy *et al.* (1982) und Licitra *et al.* (1996) auf der Universität für Bodenkultur analysiert.

Die Inhaltsstoffe wurden bei den Südtiroler Futterproben mittels NIRS untersucht (NIRSystem 5000, FOSS, U.S.A., Wellenlängenbereich 1100 bis 2498 nm). 20 % der jährlich anfallenden Proben zwischen 2003 und 2007 wurden nasschemisch nach Naumann *et al.* (1997) untersucht und dienten der Erstellung der NIRS-Eichkurven. Die Mineralstoffe wurden für alle Proben nasschemisch nach Naumann *et al.* (1997) bestimmt.

Die in vitro-Verdaulichkeit der OM [dOM] wurde sowohl für die österreichischen als auch für die südtiroler Proben nach Tilley and Terry (1963) untersucht.

Statistische Auswertung

Statistische Auswertung Daten Österreich

Die Effekte der Nutzungshäufigkeit auf die Ertragsanteile von Gräsern, Kräutern und Leguminosen sowie die Effekte von Nutzungshäufigkeit und Bestandestyp auf verschiedenen Parameter der Futterqualität wurden in Österreich mit Hilfe eines allgemeinen linearen Modells (GLM) untersucht. Als Kovariate wurde die Seehöhe herangezogen. Die Mehrfachvergleiche wurden nach Scheffé (Signifikanzniveau

Tabelle 2: Wiesentypen und Kriterien für ihre Bestimmung. Die Prozentwerte stellen Ertragsanteile nach Klapp dar.

Wiesentyp	Bestimmungskriterien
Fuchsschwanzwiese	Fuchsschwanz $\geq 20\%$
Raygraswiese	Raygrasarten $\geq 20\%$, Goldhafer $\leq 5\%$
Stark kräuterreiche Wiesen	Doldenblütler + Löwenzahn $\geq 25\%$
Glatthaferwiese	Glatthafer $\geq 10\%$, Wiesenschwingel $\geq 5\%$, Doldenblütler + Löwenzahn $\leq 10\%$, Goldhafer $\leq 5\%$
Goldhaferwiese	Goldhafer $\geq 15\%$, Raygräser $\leq 5\%$, Doldenblütler + Löwenzahn $\leq 10\%$
Intensivierte Goldhafer/Glatthaferwiese	Goldhafer bzw. Glatthafer $\geq 5\%$, Raygräser $> 5\%$, Doldenblütler + Löwenzahn $\geq 15\%$
Andere Typen	Keine der bereits beschriebenen Zusammensetzungen

$P = 0,05$) gerechnet. Aufgrund der geringen Probenanzahl in der Gruppe leguminosenreich konnte keine vollständige Analyse der Wechselwirkungen (Bestandestyp x Nutzungshäufigkeit) durchgeführt werden, daher wurde die 2-fache Wechselwirkung im Modell nicht berücksichtigt. Die im Beitrag gezeigten Wechselwirkungsgrafiken basieren auf Mittelwerten einer Kreuztabellenauswertung (SPSS 22). In der Auswertung der Düngungseffekte auf den XP-Gehalt bzw. die Proteinfractionen wendete Weichselbaum (2015) die Prozedur GLM mittels SAS 6.1 an. Der Effekt der Düngung auf die XP-Bruttoerträge wurde anhand einer einfachen Varianzanalyse berechnet, die Mittelwertvergleiche nach Tukey-Kramer (Signifikanzniveau $P = 0,05$).

Statistische Auswertung Daten Südtirol

Die statistische Auswertung erfolgte mittels gemischter Modelle, welche die serielle Korrelation verschiedener Schnittzeitpunkte mit der Umwelt als Subjekt wiederholter Messungen berücksichtigten. Der Versuchsstandort, die Beprobungsfläche innerhalb des Standortes, das Jahr und die Wechselwirkung Jahr x Standort wurden als zufällige Effekte ins Modell eingeschlossen. Die Temperatursummen wurden als Kovariate verwendet; ihr Einfluss auf die abhängigen Variablen wurde mittels polynomialer Regression beschrieben. Das statistische Modell wurde, ausgehend von einem Basismodell mit den Designeffekten und der Temperatursumme, schrittweise vorwärts (*stepwise forward*) entwickelt, indem der Einbau ins Modell von Pflanzenbestand und Wiesentyp getestet wurde. Daraus wird ersichtlich, welche Variablen zu welchem Ausmaß zur Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit der statistischen Modelle beitragen. Die Modelle wurden durch fünffache Kreuzvalidierung (Hawkins *et al.*, 2003) weiterentwickelt, bis die quadrierte Korrelation zwischen beobachteten und vorhergesagten Werten ihren höchsten Wert erreichte. Die vorhergesagten Werte des fixen Teils des Modells wurden für die Vorhersage verwendet. Effekte mit $P > 0,1$ wurden im Laufe der Modellentwicklung entfernt, mit der Ausnahme von marginalen Effekten von Polynomen (Nelder, 2000). Die Auswertung erfolgte, wenn notwendig, mit transformierten Daten, um die Normalverteilung der Residuen sowie die Varianzhomogenität zu gewährleisten.

Randmittelwerte in Abhängigkeit von Bestandestyp und Wiesentyp wurden mittels eines Modells berechnet, das bei-

de Faktoren Bestandestyp und Wiesentyp als Haupteffekte berücksichtigte. Multiple Mittelwertvergleiche erfolgten nach Tukey-Kramer. Alle Tests wurden bei einem Signifikanzniveau von $P = 0,05$ durchgeführt.

Ergebnisse

In den nachstehenden Auswertungen werden die eingangs gestellten Fragen ausgehend von einer Makroebene (Bestandestyp, Wiesentyp) bis in die Detailebenen (Arten und Sorten) behandelt.

Effekte des Pflanzenbestandes und des Nutzungszeitpunktes auf Qualitätsparameter von Grünlandfutter im 1. Aufwuchs

Ergebnisse aus Österreich

Die Klassifizierung der Artengruppen in vier Bestandestypen nach Schweizer/Südtiroler Vorbild ergab für die verwendeten österreichischen Daten eine sehr differenzierte Bestandeszusammensetzung (Tabelle 3). Gräserreiche Bestände wiesen 85 % Gräser auf und wurden im Durchschnitt wesentlich früher geerntet als Bestände mit höherem Kräuter- bzw. Leguminosenanteil.

Die Faktoren Nutzungszeitpunkt bzw. -häufigkeit spielen in der Futterqualität eine entscheidende Rolle (Resch, 2009). Die Mittelwertdifferenzen zwischen den Nutzungshäufigkeiten waren bei den Artengruppen Kräuter bzw. Leguminosen ausgeprägter als bei den Gräsern (Tabelle 3).

Die modellhafte Auswertung der Faktoren Bestandestyp, Nutzungshäufigkeit und Seehöhe (Tabelle 4 und 5) zeigte deutlich, dass der Bestandestyp von Grünland einen hoch signifikanten Einfluss auf alle untersuchten Qualitätsparameter ausübte ($P < 0,01$). Beispielsweise hatte ein gräserreicher Bestand im Durchschnitt um 52 g weniger Rohprotein je kg TM als ein leguminosenreicher Bestand. Hoher Grasanteil bewirkte auch signifikant höhere Rohfasergehalte, wodurch wiederum die OM-Verdaulichkeit und Energiekonzentration (NEL) abnahmen.

In den Strukturkohlehydraten NDF und ADF lagen Grasbestände signifikant höher gegenüber Kräuterbeständen. Das genaue Gegenteil konnte beim Ligningehalt (ADL) beob-

Tabelle 3: Probenanzahl, durchschnittliches Erntedatum und mittlerer Anteil der Artengruppen in Abhängigkeit von Bestandestyp und Nutzungshäufigkeit von Grünland im 1. Aufwuchs.

Faktoren	n	Erntedatum	Gräser Gew.-%	Kräuter Gew.-%	Leguminosen Gew.-%
Bestandestypen					
gräserreich	2236	6. Juni	84,9	11,3	3,8
ausgewogen	2699	15. Juni	59,5	29,5	11,1
kräuterreich	1608	15. Juni	38,6	46,4	15,0
leguminosenreich	194	17. Juni	30,8	6,4	62,9
Nutzungshäufigkeit pro Jahr					
1 x	454	25. August	52,1 ^b	28,3 ^a	19,7 ^c
2 x	1821	22. Juni	55,4 ^a	24,1 ^b	20,5 ^c
3 x	3003	2. Juni	52,8 ^b	23,3 ^b	23,9 ^b
4 x	1317	23. Mai	52,4 ^b	20,4 ^c	27,3 ^a
5 x und öfter	142	vor 10. Mai	54,6 ^b	20,9 ^b	24,5 ^b
Gesamtmittelwert	6737	13. Juni	53,4	23,4	23,2

achtet werden (Tabelle 5). Hier hatten gräserreiche Wiesen geringere ADL-Gehalte als kräuterreiche Bestände. Der Bestandestyp wirkte sich aber auch auf die Mineralstoffgehalte des Grünfutters stark aus. Allgemein konnte festgestellt werden, dass der Mineralstoffgehalt mit zunehmendem Grasanteil geringer wurde. Insbesondere der Calciumgehalt (Ca) war bei leguminosenreichen Beständen (12,4 g Ca/kg TM) fast doppelt so hoch als bei gräserreichen Beständen (6,6 g Ca/kg TM). Nach Resch *et al.* (2009) wird der Mineralstoffgehalt von Grünfutter neben den Artengruppen, Nutzungshäufigkeit und Seehöhe mehr oder weniger durch

die Faktoren Bodensituation (Geologie, pH, Bodengehaltswert, Wasserversorgung), Düngung, Futtermverschmutzung und den Aufwuchs beeinflusst.

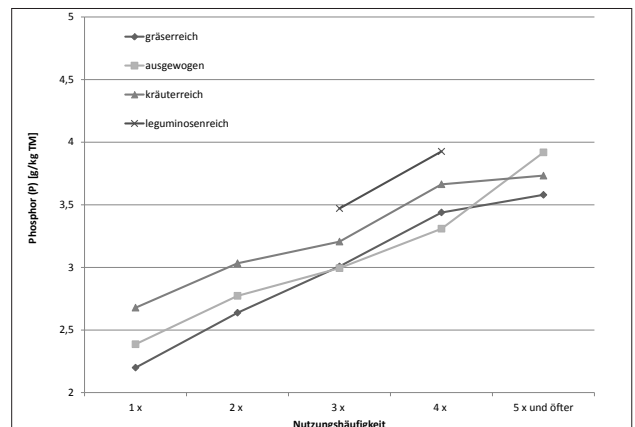
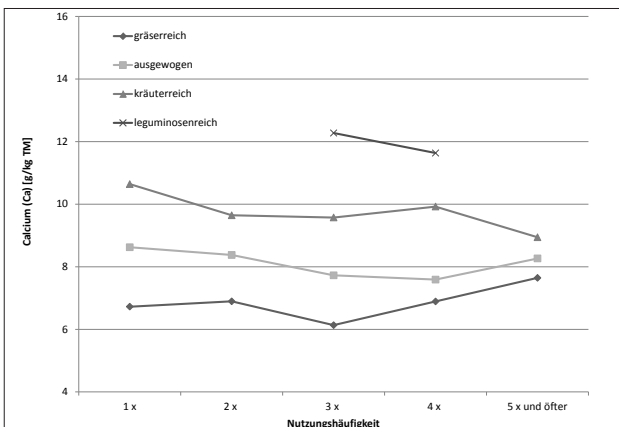
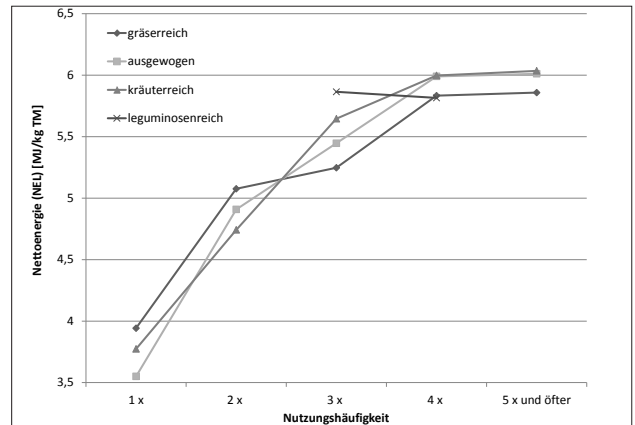
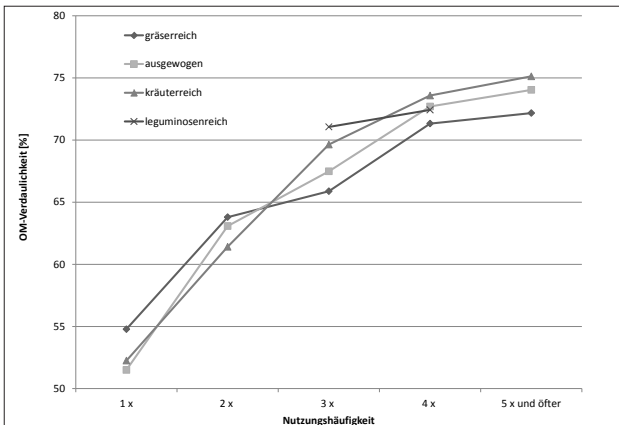
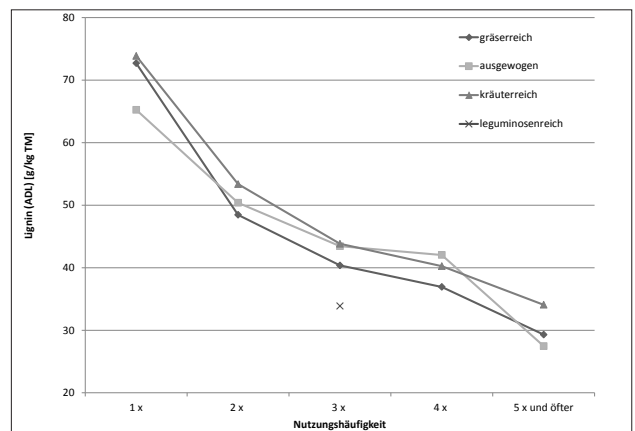
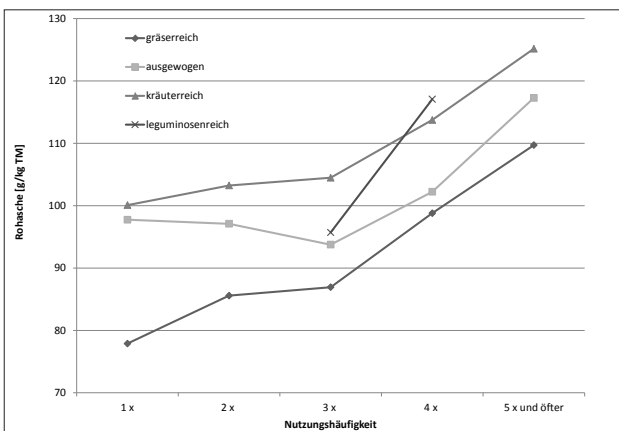
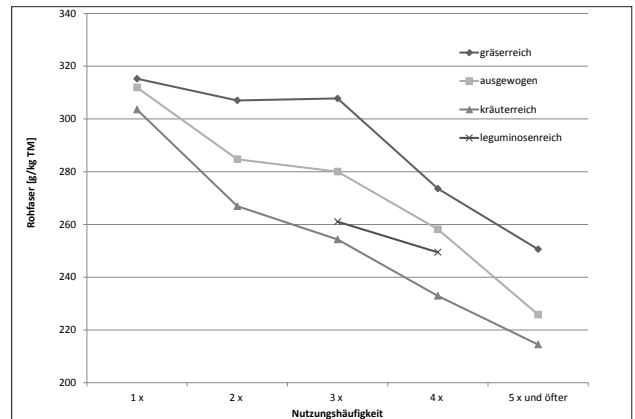
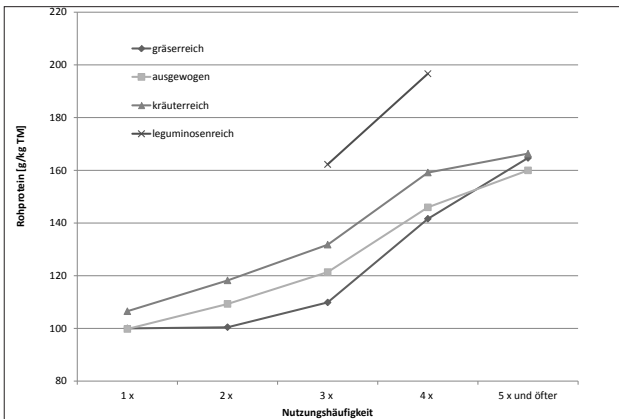
Die Nutzungshäufigkeit hatte in der GLM-Auswertung auf alle Parameter einen hoch signifikanten Einfluss ($P < 0,01$) - Tabelle 4 und 5. Nach Gruber *et al.* (2011) hebt die Ernte in einem physiologisch jüngerem Stadium die Qualität des Futters, die Futteraufnahme und Milcherzeugung signifikant an. Wird diese Strategie bei jedem Aufwuchs angewendet, dann führt dies zu einer Erhöhung der Schnitanzahl in der Vegetationsperiode. Nach Dierschke and Briemle (2002)

Tabelle 4: Effekte von Bestandestyp, Nutzungshäufigkeit und Seehöhe auf unterschiedliche Futterqualitätsparameter von österreichischem Grünfutter im 1. Aufwuchs.

Faktoren	n	XP	XF g/kg TM	XL	XA	dOM %	ME MJ/kg TM	NEL
Gesamtmittelwert	6735	139	270	21	102	66	9,1	5,2
Bestandestypen								
gräserreich	2236	120 ^d	294 ^a	20 ^c	92 ^c	65 ^c	8,9 ^b	5,2 ^b
ausgewogen	2698	128 ^c	273 ^b	21 ^{bc}	101 ^b	66 ^{bc}	9,0 ^b	5,2 ^b
kräuterreich	1607	137 ^b	253 ^c	21 ^b	111 ^a	66 ^b	9,0 ^b	5,2 ^{ab}
leguminosenreich	194	172 ^a	258 ^c	22 ^a	106 ^{ab}	68 ^a	9,3 ^a	5,4 ^a
Nutzungshäufigkeit/Jahr								
1 x	454	110 ^e	312 ^a	20 ^{bc}	96 ^c	53 ^d	6,9 ^d	3,7 ^d
2 x	1820	119 ^d	284 ^b	20 ^b	97 ^c	63 ^c	8,6 ^c	5,0 ^c
3 x	3003	133 ^c	276 ^c	20 ^c	96 ^c	68 ^b	9,4 ^b	5,5 ^b
4 x	1316	161 ^b	250 ^d	22 ^a	105 ^b	73 ^a	10,1 ^a	6,0 ^a
5 x und öfter	142	174 ^a	227 ^e	23 ^a	118 ^a	74 ^a	10,2 ^a	6,0 ^a
Seehöhe								
Koeff. für 100 m Erhöhung		1,8	-3,0	0	-1,2	0,4	0,07	0,05
P-Werte								
Nutzungshäufigkeit		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Bestandestypen		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
Seehöhe		<0,001	<0,001	0,928	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
R ²		29,1	25,5	6,1	10,8	30,1	27,4	27,3

Tabelle 5: Effekte von Bestandestyp, Nutzungshäufigkeit und Seehöhe auf unterschiedliche Futterqualitätsparameter von österreichischem Grünfutter im 1. Aufwuchs.

Faktoren	n	NDF	ADF g/kg TM	ADL	n	P g/kg TM	K	n	Ca g/kg TM	Mg g/kg TM
Gesamtmittelwert	904	498	312	44	5019	3,4	22,6	3038	9,2	2,9
Bestandestypen										
gräserreich	367	566 ^a	341 ^a	43 ^b	1439	3,3 ^b	19,7 ^d	583	6,6 ^d	2,4 ^d
ausgewogen	351	488 ^b	312 ^b	46 ^a	2231	3,2 ^b	20,8 ^c	1487	8,1 ^c	2,8 ^c
kräuterreich	184	445 ^c	292 ^c	48 ^a	1270	3,5 ^a	21,6 ^b	925	9,8 ^b	3,0 ^b
leguminosenreich	2	492 ^{abc}	305 ^{abc}	37 ^{ab}	79	3,7 ^a	28,4 ^a	43	12,4 ^a	3,6 ^a
Nutzungshäufigkeit/Jahr										
1 x	12	600 ^a	404 ^a	65 ^a	314	2,5 ^c	16,0 ^d	240	9,8 ^a	3,1 ^a
2 x	427	528 ^b	336 ^b	49 ^b	1357	2,9 ^d	19,8 ^c	864	9,4 ^{ab}	3,0 ^a
3 x	282	494 ^c	307 ^c	40 ^c	2242	3,2 ^c	23,3 ^b	1357	8,9 ^c	2,8 ^b
4 x	169	467 ^d	281 ^d	38 ^c	1018	3,6 ^b	26,6 ^a	539	9,0 ^{bc}	2,9 ^{ab}
5 x und öfter	14	399 ^e	234 ^e	26 ^d	88	5,0 ^a	27,5 ^a	38	9,1 ^{abc}	2,8 ^{ab}
Seehöhe										
Koeff. für 100 m Erhöhung		-4,0	-5,1	-0,2		-0,04	-0,26		-0,02	0,01
P-Werte										
Nutzungshäufigkeit		<0,001	<0,001	<0,001		<0,001	<0,001		<0,001	<0,001
Bestandestypen		<0,001	<0,001	<0,001		<0,001	<0,001		<0,001	<0,001
Seehöhe		0,002	0,002	0,263		<0,001	<0,001		0,306	0,099
R ²		47,5	35,2	21,8		13,0	29,0		14,7	5,6



Abbildungen 3 bis 10: Wechselwirkungen von Bestandestyp x Nutzungshäufigkeit bezogen auf unterschiedliche Qualitätsparameter von Grünlandfutter im 1. Aufwuchs.

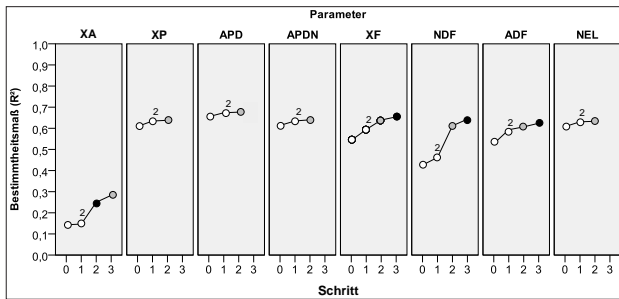


Abbildung 11: Änderung der Vorhersagegenauigkeit (quadratierte Korrelation zwischen beobachteten und vorhergesagten Werten der fünffachen Kreuzvalidierung) bei der schrittweisen Modellselektion für verschiedene Futterqualitätsparameter des Südtiroler Grünfutters im 1. Aufwuchs [Weiße Kreisel = Temperatursumme (2 kennzeichnet das quadratische Glied des Polynoms); graue Kreisel = Bestandestyp; schwarze Kreisel = Wiesentyp].

führt eine höhere Schnittfrequenz zu einer Reduzierung des Artenpotentials, weil nur 10 % der Grünlandarten eine höhere Mahdverträglichkeit (Briemle and Ellenberg, 1994) aufweisen. Auf Vielschnittwiesen gedeihen mehr niedrigwüchsige, bodenblättrige Arten.

Die Nutzungshäufigkeit wird maßgeblich von der Seehöhe, den Standortverhältnissen und dem Grünlandmanagement (Düngung, Pflegemaßnahmen) beeinflusst. Die durchschnittliche Seehöhe lag in der GLM-Auswertung bei 668 m über Meereshöhe. Eine Veränderung der Seehöhe bewirkte mit Ausnahme auf die Parameter XL, ADL, Ca und Mg signifikante Effekte (Tabelle 2 und 3). In der Praxis der österreichischen Heubetriebe bewirkte nach Resch (2013) die Zunahme von 100 m Seehöhe eine Verzögerung des Erntezeitpunktes um durchschnittlich 3,6 Tage. Die untersuchten Futterproben zeigten im Durchschnitt, dass in höheren Lagen etwas bessere Futterqualitäten (XP↑, XF↓, dOM↑, NEL↑) auftraten, weil im Durchschnitt weniger Strukturkohlenhydrate gebildet wurden.

Die graphische Darstellung von Wechselwirkungen zwischen Bestandestyp und Nutzungshäufigkeit einzelner Qualitätsparameter soll dazu dienen, die Dynamik unterschiedlicher Wiesenbestände in Abhängigkeit des Nutzungszeitpunktes zu dokumentieren (Abbildungen 3 bis 10). Interessant ist die Tatsache, dass je nach Parameter der Bestandestyp und/oder die Nutzungshäufigkeit mehr oder weniger starke Wirkung in Form von entsprechenden Differenzen ausübten.

Ergebnisse aus Südtirol

Die Prognosegenauigkeit der statistischen Vorhersagemodelle für XA und Mineralstoffe war deutlich niedriger als bei den restlichen Parametern der Futterqualität (Abbildung 11 und 12). Der Verlauf aller Qualitätsparameter in Abhängigkeit der Temperatursummen konnte durch ein quadratisches Polynom am besten beschrieben werden. Die daraus resultierenden Verläufe spiegeln die bereits erläuterten Änderungen der Futterqualität in Abhängigkeit des Nutzungszeitpunktes bzw. der Nutzungshäufigkeit wider, welche beim österreichischen Datenbestand bereits beschrieben wurden (siehe die Koeffizienten für die Kova-

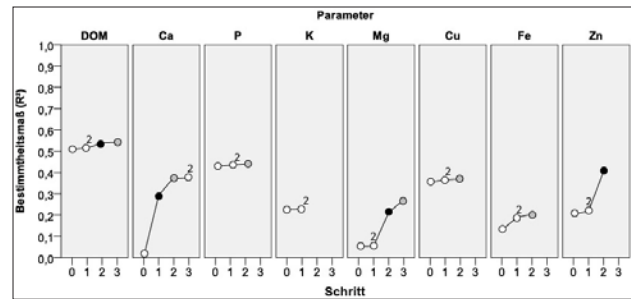


Abbildung 12: Änderung der Vorhersagegenauigkeit (quadratierte Korrelation zwischen beobachteten und vorhergesagten Werten der fünffachen Kreuzvalidierung) bei der schrittweisen Modellselektion für in vitro-Verdaulichkeit und Mineralstoffe des Südtiroler Grünfutters im 1. Aufwuchs [Weiße Kreisel = Temperatursumme (2 kennzeichnet das quadratische Glied des Polynoms); graue Kreisel = Bestandestyp; schwarze Kreisel = Wiesentyp].

riate Temperatursumme in Tabelle 6 und Tabelle 7, auf die Darstellung der Ergebnisse wird verzichtet). Aufgrund der engen Beziehung zwischen Wärmeakkumulation und dem Eintreten verschiedener Entwicklungsstadien eignen sich die Temperatursummen zur Beschreibung des Verlaufs der Futterqualität, die sich in Abhängigkeit der Pflanzenphenologie ändert. So hängt zum Beispiel die Verdaulichkeit der Gräser, welche beim ersten Schnitt eine entscheidende Rolle hinsichtlich der Ertragsbildung spielen, sowohl vom Verhältnis zwischen Blattspreiten-, Blattscheiden- und Halmanteilen als auch vom Alter dieser Pflanzenteile ab (Bruinberg *et al.* 2002).

Der Bestandestyp wurde in 14 der 16 Fälle mit Ausnahme von K und Zn ins Modell aufgenommen, während der Wiesentyp nur in der Hälfte der Fälle zur Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit beitrug. Bei der Schätzung von XP, APD, APDN, Faserkomponenten und NEL weist der Bestandestyp eine systematisch höhere Bedeutung als der Wiesentyp auf, bei XA, dOM und Mineralstoffen ist diese Bedeutung weniger ausgeprägt (Abbildung 11 und 12).

Bei den Mineralstoffen wurde der Faktor Wiesentyp vor dem Bestandestyp bei Ca und Mg sowie als einziger botanisch bezogener Faktor bei Zn aufgenommen. Bei P, Cu und Fe trägt hingegen nur der Bestandestyp zur Verbesserung der Prognosegenauigkeit bei.

Die Unterscheidung der vier Bestandestypen führte zu signifikanten Mittelwertunterschieden bei den meisten Parametern, die in der Regel ein Extrem bei den gräserreichen und das andere Extrem bei den leguminosenreichen Beständen aufweisen. Die Werte der ausgewogenen und kräuterreichen Bestände entfernen sich in dieser Reihenfolge allmählich von den Werten der gräserreichen Bestände. So nehmen XA, XP, APD und APDN von den leguminosenreichen zu den gräserreichen Beständen ab, während der entgegengesetzte Trend bei XF, NDF und ADF zu verzeichnen ist (Tabelle 6). Ähnlicherweise nehmen Verdaulichkeit und Mineralstoffgehalt von den gräserreichen zu den kräuterreichen Beständen zu (Tabelle 7).

Weniger systematisch treten hingegen die Unterschiede zwischen den verschiedenen Wiesentypen auf (Tabelle 6 und

7). Erwartungsgemäß waren dabei die niedrigsten XF- und NDF-Gehalte und die höchste dOM für die Raygraswiesen sowie der höchste NDF-Gehalt für die Fuchsschwanzwiesen zu verzeichnen.

Alles in allem scheint daher vor allem der Pflanzenbestand für die Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit wichtig. Die Information bezüglich des Wiesentyps trägt zwar in einem Teil der Fälle dazu bei, kann aber angesichts des grö-

Tabelle 6: Effekt von Temperatursumme, Bestandestyp und Wiesentyp auf unterschiedliche Futterqualitätsparameter des Südtiroler Grünfutters im 1. Aufwuchs.

Faktoren	n	XP*	APD	APDN**	XA g/kg TM	XF	NDF	ADF	NEL MJ/kg TM
Bestandestyp									
Gräserreich	2109	149,8 ^d	96,4 ^c	109,1 ^d	94,6 ^d	262,3 ^a	507,9 ^a	307,1 ^a	5,65 ^a
Ausgewogen	1936	154,7 ^c	97,6 ^b	113,3 ^c	98,2 ^c	249,7 ^b	471,0 ^b	298,0 ^b	5,66 ^a
Kräuterreich	1669	158,3 ^b	98,3 ^a	116,5 ^b	101,1 ^b	241,7 ^c	443,2 ^c	293,4 ^c	5,65 ^a
Leguminosenreich	77	175,6 ^a	99,0 ^a	130,0 ^a	105,0 ^a	233,1 ^d	431,1 ^c	283,9 ^d	5,45 ^b
Wiesentyp									
Fuchsschwanzwiese	2266	164,5 ^a	99,0 ^a	120,5 ^a	97,5 ^{ab}	248,4 ^{ab}	483,0 ^a	297,7 ^a	5,64 ^a
Raygraswiesen	867	156,9 ^a	97,6 ^a	115,6 ^a	103,8 ^{ab}	231,8 ^b	435,5 ^b	278,5 ^a	5,66 ^a
Stark kräuterreiche Wiesen	473	170,3 ^a	99,9 ^a	125,6 ^a	104,0 ^{ab}	247,5 ^{ab}	456,2 ^{ab}	296,1 ^a	5,64 ^a
Glatthaferwiesen	420	156,0 ^a	97,0 ^a	114,3 ^a	99,3 ^{ab}	245,5 ^{ab}	467,7 ^{ab}	297,1 ^a	5,54 ^a
Intensivierte Glatthafer- und Goldhaferwiesen	830	152,9 ^a	96,2 ^a	113,0 ^a	104,2 ^a	242,4 ^a	449,4 ^b	293,4 ^a	5,53 ^a
Goldhaferwiesen	359	152,2 ^a	96,4 ^a	110,3 ^a	87,3 ^b	259,1 ^a	476,2 ^a	306,6 ^a	5,56 ^a
Andere Wiesentypen	364	163,8 ^a	98,7 ^a	120,8 ^a	101,7 ^{ab}	252,1 ^{ab}	475,2 ^{ab}	300,0 ^a	5,63 ^a
Temperatursumme									
Koeff. für GDD		-0,01411	-0,0929	-0,00362	-0,04307	0,4257	0,6764	0,5654	-0,00529
Koeff. für GDD ²		8,64E-6	5,1E-4	2,08E-6	1,6E-5	-3,8E-4	-6,4E-4	-6,1E-4	3,36E-6
P-Werte									
Temperatursumme (GDD)		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
GDD ²		<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Bestandestyp		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Wiesentyp		0,614	0,730	0,622	0,010	0,040	0,002	0,121	0,894

Datentransformation: *Quadratwurzel, **Kubikwurzel; rücktransformierte Mittelwerte, welche Schätzwerte für den Median auf der ursprünglichen Skala sind (Piepho, 2009), werden gezeigt. Die Koeffizienten für die Kovariate Temperatursumme beziehen sich auf die transformierte Variable.

Tabelle 7: Effekt von Temperatursumme, Bestandestyp und Wiesentyp auf in vitro-Verdaulichkeit und Mineralstoffgehalt des Südtiroler Grünfutters im 1. Aufwuchs.

Faktoren	n	dOM %	Ca*	P*	K** g/kg TM	Mg*	Cu*	Fe* mg/kg TM	Zn*
Bestandestyp									
Gräserreich	532	71,9 ^b	6,6 ^c	3,6 ^b	30,8 ^b	2,5 ^c	6,7 ^b	106 ^b	32,1 ^a
Ausgewogen	488	73,0 ^a	7,3 ^b	3,7 ^b	31,3 ^{ab}	2,7 ^b	6,9 ^{ab}	114 ^a	32,8 ^a
Kräuterreich	426	72,8 ^a	7,6 ^a	3,8 ^a	31,7 ^a	2,8 ^a	7,2 ^a	121 ^a	32,9 ^a
Leguminosenreich	0								
Wiesentyp									
Fuchsschwanzwiese	342	72,0 ^b	5,9 ^c	3,6 ^a	32,3 ^a	2,3 ^b	6,9 ^a	114 ^a	29,7 ^b
Raygraswiesen	146	75,8 ^a	7,0 ^{bc}	3,7 ^a	32,2 ^a	2,5 ^{ab}	6,9 ^a	131 ^a	30,3 ^{ab}
Stark kräuterreiche Wiesen	108	71,6 ^c	7,0 ^{abc}	4,2 ^a	36,0 ^a	2,9 ^{ab}	7,2 ^a	120 ^a	37,1 ^{ab}
Glatthaferwiesen	193	73,2 ^{abc}	7,8 ^{ab}	3,5 ^a	30,6 ^a	2,7 ^{ab}	6,9 ^a	104 ^a	28,8 ^b
Intensivierte Glatthafer- und Goldhaferwiesen	416	72,9 ^{abc}	9,1 ^a	3,8 ^a	30,7 ^a	2,9 ^a	6,8 ^a	136 ^a	30,1 ^b
Goldhaferwiesen	175	70,7 ^c	7,1 ^{abc}	3,2 ^a	25,7 ^a	3,0 ^{ab}	7,1 ^a	101 ^a	43,3 ^a
Andere Wiesentypen	68	71,7 ^{abc}	6,7 ^{abc}	3,9 ^a	31,8 ^a	2,4 ^{ab}	6,7 ^a	93 ^a	31,1 ^{ab}
Temperatursumme									
Koeff. für GDD		-0,04898	-0,00009	-0,00049	-0,00096	-0,0020	-0,00086	-0,00427	-0,00140
Koeff. für GDD ²		2,5E-5	1,25E-7	1,71E-7	9,45E-7	1,086E-7	5,83E-7	4,617E-6	9,829E-7
P-Werte									
Temperatursumme (GDD)		<0,001	0,040	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
GDD ²		<0,001	0,027	<0,001	<0,001	0,049	<0,001	<0,001	<0,001
Bestandestyp		0,005	<0,001	<0,001	0,035	<0,001	0,003	0,009	0,100
Wiesentyp		0,015	<0,001	0,117	0,212	0,036	0,988	0,313	0,007

Datentransformation: *Logarithmus, **Quadratwurzel; rücktransformierte Mittelwerte, welche Schätzwerte für den Median auf der ursprünglichen Skala sind (Piepho, 2009), werden gezeigt. Die Koeffizienten für die Kovariate Temperatursumme beziehen sich auf die transformierte Variable.

ßeren Bedarfs an botanischen Kompetenzen für die korrekte Bestimmung des Wiesentyps erhebliche Schwierigkeiten für eine Umsetzung seitens der Praktiker bereiten. Somit wird in erster Linie die Zweckmäßigkeit der üblichen Verwendung bei den Futterwerttabellen vom Bestandestyp zur Charakterisierung der botanischen Zusammensetzung bestätigt.

Effekt der Düngungsintensität auf die Artengruppen und Proteinverhältnisse von Grünlandfutter im 1. Aufwuchs

Die Ergebnisse vom ertragsdynamischen Wirtschaftsdüngerversuch (Gumpenstein) zeigten unter den gegebenen Standort- und Nutzungsbedingungen einen signifikanten Einfluss der Höhe der Stickstoffdüngung auf die Anteile der Artengruppen (Abbildung 13). Mit zunehmender Stickstoffmenge stieg der Gräseranteil. Gleichzeitig führte die N-Düngung zu einer Reduktion des Kräuter- und Leguminosenanteiles.

Die Untersuchung des Rohproteingehaltes je Kilogramm Trockenmasse der selektierten Gräser, Kräuter und Leguminosen aus den jeweiligen Varianten ergab hoch signifikante Unterschiede zwischen den Artengruppen innerhalb der jeweiligen Düngungsvariante, aber keine signifikanten Differenzen der jeweiligen Artengruppe zwischen den Düngungsvarianten (Abbildung 14). Nach Wechselbaum (2015) unterschieden sich die XP-Gehalte der Mischpro-

ben (alle Artengruppen) nicht signifikant zwischen den Düngungsvarianten.

In der Bewertung der Düngung darf natürlich der ertragsbildende Effekt nicht vernachlässigt werden. Obwohl es keine XP-Unterschiede in 1 kg Futter-TM gab, waren die XP-Bruttoerträge je Hektar sehr stark ertrags- und damit düngungsbeeinflusst. Die ungedüngte Variante brachte es im 1. Aufwuchs auf 75 kg XP/ha, während eine gehobene NPK-Versorgung 428 kg XP/ha und somit das 5,7-fache ergab.

In den Untersuchungen sollte darüber hinaus geklärt werden, ob eine gleichbleibende Düngung über rund 50 Jahre die Proteinqualität der Artengruppen beeinflusst. Die Proteinfractionierung nach CNCPS ergab nach Wechselbaum

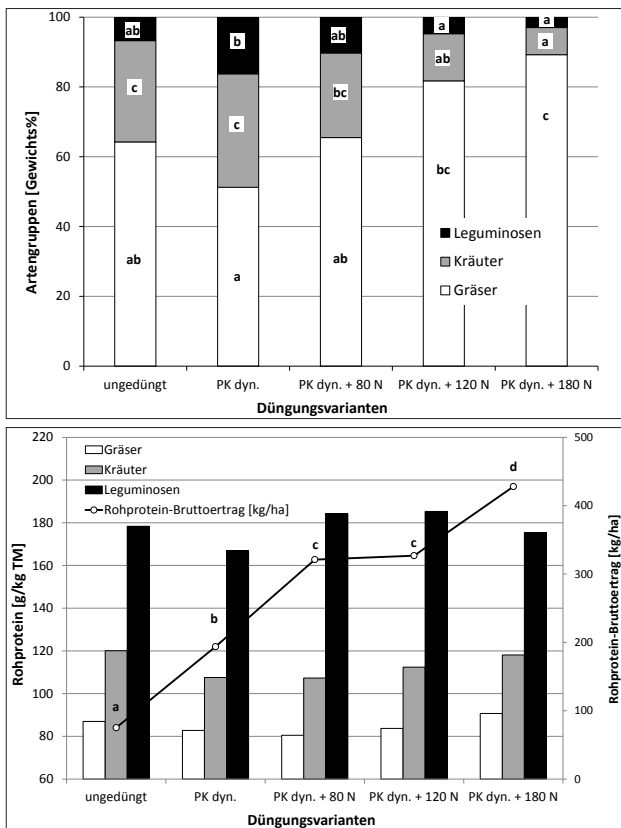


Abbildung 13-14: Einfluss der Düngung auf die Artengruppen sowie auf Rohprotein, Rohprotein-Bruttoertrag von Wiesenfutter eines 3-Schnittregimes im 1. Aufwuchs.

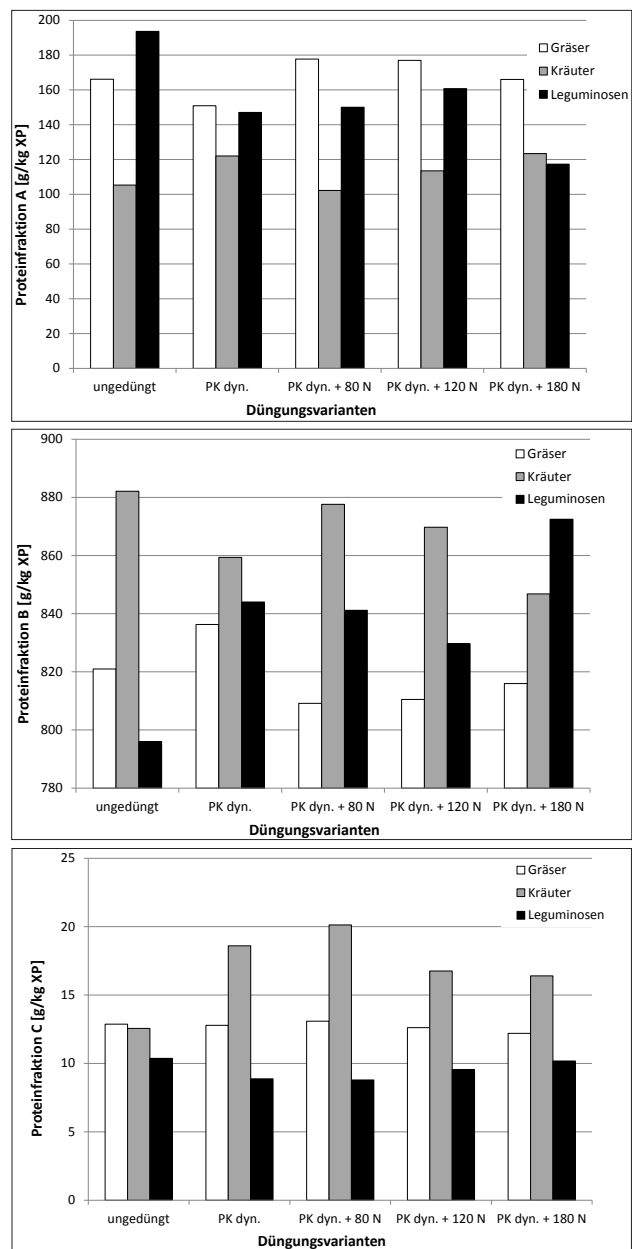


Abbildung 15-17: Einfluss der Düngung auf die Proteinfractionen der einzelnen Artengruppen von Wiesenfutter eines 3-Schnittregimes im 1. Aufwuchs.

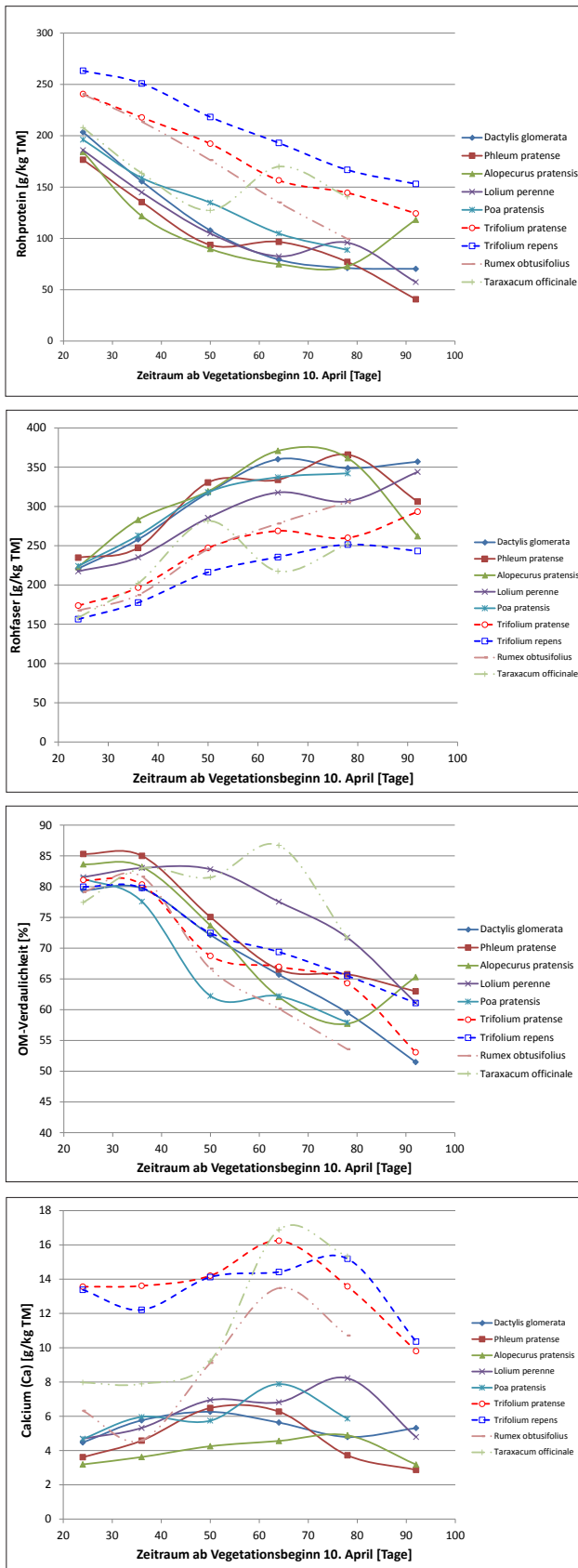


Abbildung 18-21: Einfluss von Pflanzenart und Vegetationsverlauf auf unterschiedliche Qualitätsparameter von Wiesenfutter im 1. Aufwuchs.

(2015) keine signifikanten Differenzen der jeweiligen Artengruppe zwischen den Düngungsvarianten ($P > 0,05$), d.h. die Düngung hatte in dieser Untersuchung keine Auswirkung auf die Proteinqualität der Gräser, Kräuter und Leguminosen (Abbildung 15 bis 17). Allerdings muss dazu angemerkt werden, dass die einzelnen Düngungsvarianten jeweils zum selben Zeitpunkt geerntet wurden und damit ein möglicher Effekt der Düngung auf die physiologische Entwicklung nicht berücksichtigt wurde.

Effekt von Futterpflanzen-Spezies auf Qualitätsparameter von Grünlandfutter im 1. Aufwuchs in Abhängigkeit des Nutzungszeitpunktes

Ein Experiment der HBLFA Raumberg-Gumpenstein aus dem Jahr 1994 hatte ein vergleichbares Versuchsdesign wie ein Schweizer Experiment von Agroscope (Jeangros *et al.*, 2001), mit einer etwas anderen Ausstattung an geprüften Arten. Die Abbildungen 18-21 dokumentieren deutliche Qualitätsunterschiede der Arten zu den jeweiligen Beprobungszeitpunkten, aber je nach Art auch eine charakteristische Qualitätsdynamik im Vegetationsverlauf. Im Allgemeinen weisen die Gräser niedrigere, rascher abnehmende Rohproteingehalte sowie höhere Rohfasergehalte auf als die angeführten Leguminosen und Kräuter. Innerhalb der Gräser sind allerdings Unterschiede zwischen den Arten zu verzeichnen. Engl. Raygras zeigt zum Beispiel günstigere Ausprägungen als Wiesenfuchsschwanz oder Knaulgras. Die beiden Leguminosen heben sich in den Gehaltswerten von XP, XF und Ca von der gesamten Gräsergruppe ab, besonders auffällig war der hohe Calciumgehalt der beiden Kleearten. In der OM-Verdaulichkeit brechen Arten wie *Lolium perenne* und *Taraxacum officinale* mit streckenweise besseren Kurvenverläufen aus (Abbildung 20).

Umgelegt auf einen Grünlandbestand bedeuten die qualitativen Differenzen zwischen den Pflanzenarten, dass die Anteile der einzelnen Arten einen maßgeblichen Einfluss auf die Futterqualität im Bestand ausüben können. Derartige Kurvenverläufe könnten für die Zusammenstellung von einzelnen Arten zu Samenmischungen, für die Neuanlage oder Regeneration von Grünlandflächen, hilfreich sein.

Effekt von Futterpflanzen-Sorten auf Qualitätsparameter im 1. Aufwuchs

Nach der Beleuchtung der qualitativen Differenzen zwischen einzelnen Arten stellt sich abschließend die Frage, welchen Einfluss die genetische Variabilität innerhalb einer Pflanzenart auf den Rohproteingehalt bzw. die OM-Verdaulichkeit aufweist. Als Beispiel wird hier der Vergleich zwischen 16 Knaulgrassorten aus dem Jahr 2000 präsentiert (Abbildung 22 und 23).

Im Verlauf einer Beobachtungsphase von 8 Wochen trat im Rohproteingehalt unterschiedlicher Knaulgrassorten bzw. -zuchtstämme ein sehr starkes Qualitätsgefälle auf. Die Reduktion verlief im Durchschnitt von 180 auf 65 g XP/kg TM. Der Einfluss der genetischen Variabilität von Knaulgras wurde durch die Spannweite zwischen Minimum

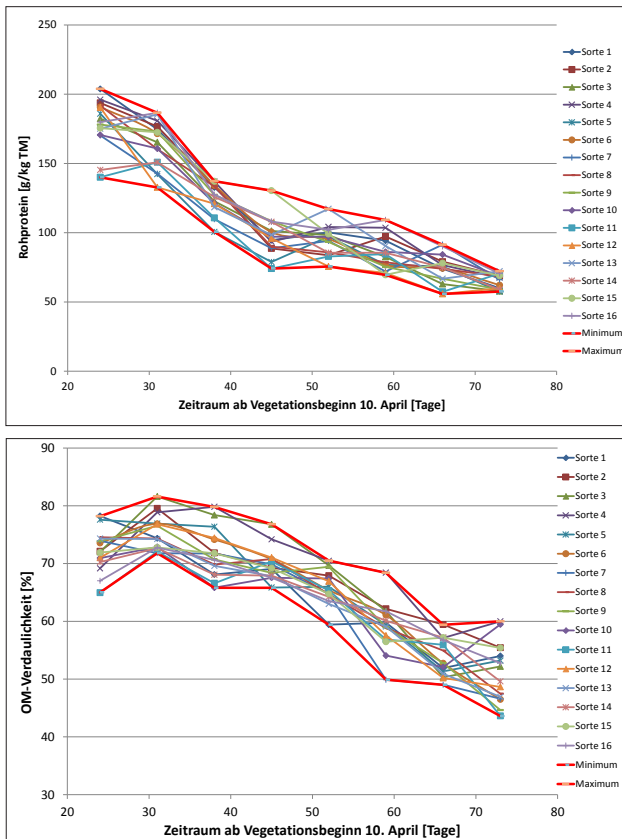


Abbildung 22-23: Auswirkung der genetischen Variabilität von Knaulgrassorten (*Dactylis glomerta*) auf Rohprotein und OM-Verdaulichkeit im Vegetationsverlauf des 1. Aufwuchs.

und Maximum ausgedrückt und umfasste bei Rohprotein durchschnittlich 42 g XP/kg TM. Es ist zu bemerken, dass die Spannweite anfänglich etwas höher lag und gegen Ende geringer wurde.

Im Fall der OM-Verdaulichkeit war mit zunehmender Vegetationsdauer ebenfalls eine starke Abnahme der Verwertbarkeit der OM von 72 auf 51 % festzustellen. Die genetische Variabilität von Knaulgras bedingte bei der OM-Verdaulichkeit im Vergleich zum Durchschnitt eine Abweichung von $\pm 6,5$ %. Diese enormen Unterschiede unterstreichen, dass die Züchtung von Sorten nicht ausschließlich nach Kriterien des Ertragspotentials oder der Vermehrbarkeit oder des Samenertrages ausgerichtet werden dürfen, sondern es sollten qualitative Aspekte der tierischen Verwertbarkeit der Futterpflanzen eingebunden werden.

Diskussion und Schlussfolgerungen

Effekt der botanischen Zusammensetzung, Nutzungszeitpunkt und Seehöhe auf die Futterqualität

Eine einfache Schätzung des Ertragsanteils von Gräsern, Kräutern und Leguminosen, die den meisten Praktikern zumutbar ist, sowie die Einstufung des Bestandestyps zu vier Kategorien (gräserreich, ausgewogen, kräuterreich und leguminosenreich) stellt ein nützliches Werkzeug

für die Bereitstellung genauerer Orientierungswerte der Futterqualität dar. Die Ergebnisse der österreichischen und Südtiroler Versuche wiesen eine weitgehend übereinstimmende Differenzierung der Futterqualität in Abhängigkeit dieser Kategorien auf. Vertiefte Analysen der botanischen Zusammensetzung tragen zwar zu einer Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit der Futterqualität bei, spielen dafür aber eine untergeordnete und weniger systematische Rolle.

Die Ergebnisse zeigen, dass im Durchschnitt der untersuchten Futterproben, Grünlandbestände mit hohen Leguminosen- bzw. Kräuteranteilen und frühem Nutzungszeitpunkt bzw. gesteigerter Nutzungshäufigkeit die besseren Futterqualitäten aufwiesen. Diese Aussage deckt sich auch mit den Ergebnissen bzw. Ansichten anderer Autoren. Nach Scharenberg *et al.* (2005) könnten gewisse Kräuter wie z.B. Chicoree, bestimmte Qualitätsparameter im Futter gezielt verändern. Nach Isselstein *et al.* (2003) wiesen kräuterbetonte Bestände gegenüber *Lolium perenne* bessere Gäreigenschaften auf. Festgehalten werden muss jedoch, dass die Artengruppe der Wiesenkräuter bislang nur sehr eingeschränkt im Hinblick auf qualitätsrelevante Parameter untersucht wurde.

Die Förderung der Leguminosen in Kombination mit wertvollen Futtergräsern erscheint nach Lüscher *et al.* (2014) vorteilhaft, weil die Partnerschaft ertragliche und qualitative Vorteile bringen kann.

Eine Erhöhung der Nutzungshäufigkeit wird nach Stampfli and Zeiter (2010) den Verlust von Arten fördern, was besonders in trockenen Regionen ökologisch problematisch werden könnte. Nach Resch (2012) sind Grünlandflächen mit höherer Nutzungshäufigkeit in Jahren mit Trockenheit stärker gestresst, darunter leiden Futterertrag und Futterqualität (Pötsch *et al.*, 2014).

Der positive Einfluss steigender Seehöhe auf die Futterqualität könnte mit einem höheren Blatt- und geringerem Stängelanteil von gedrungener wachsenden Pflanzen erklärt werden, allerdings fehlen hier zur Absicherung entsprechende Erhebungen.

Kritik:

Die Kernaussage der vorliegenden Auswertung berücksichtigt jedoch nicht den Futterertrag, mittel- bis langfristige Auswirkungen auf Biodiversität bzw. das Grünlandökosystem, Risiko von Bröckelverlusten, Konservierbarkeit des Futters, Neigung zur Verunkrautung, Futterakzeptanz, Wirtschaftsweise (Bio/Konventionell), Grünlandmanagement, die ökonomische Seite etc. Daher könnte eine einseitige Empfehlung ohne Wissen der Konsequenzen auf andere Bereiche ungünstige Folgen in der Praxis hervorrufen.

Effekt der Düngung auf die Artengruppen und die Proteinsituation

Die Düngung hatte unter den dargestellten Versuchsbedingungen keinen signifikanten Einfluss auf den Rohproteingehalt und ebenso keinen auf die Proteinfractionen. Beispiele für fehlende bzw. nicht systematisch auftretende Effekte der N-Düngung auf den Rohproteingehalt des Futters sind aus der Literatur bekannt (Bassignana *et al.*, 2011; Pavlů *et al.*, 2011).

Kritik:

Die bisherigen Untersuchungen beschränken sich auf einen Standort, ein Jahr und ein 3-Schnittregime, daher müssten die Aussagen durch andere Versuchsbedingungen verifiziert werden.

Effekt einzelner Futterpflanzen-Arten auf die Futterqualität

Die Pflanzenart übt einen sehr starken Einfluss auf Qualitätsparameter während ihrer charakteristischen, physiologischen Entwicklung aus. Untersuchungen aus der Vergangenheit bestätigen das mehrfach (Meister and Lehmann, 1988; Jeangros *et al.*, 2001; Daccord *et al.*, 2001a; Daccord *et al.*, 2001b; Schubiger *et al.*, 2001; Daccord *et al.*, 2002; Daccord *et al.*, 2004; Bovolenta *et al.*, 2008; Kirchhof *et al.*, 2010)

Kritik:

Die Qualität von Arten-Gemengen (Bestandes- bzw. Wiesentypen) könnte wie bei den Schweizer Futterwerttabellen auf rechnerischem Wege ermittelt werden, wenn die Qualität der Arten aus Untersuchungen wie z.B. von Meister and Lehmann (1984) vorliegt. Allerdings setzt eine solche Berechnung nicht nur eine korrekte Aufnahme der Anteile der Hauptbestandbildner, sondern auch eine korrekte Einstufung des phänologischen Entwicklungsstadiums der einzelnen Arten voraus.

Positive oder negative Wechselwirkungen zwischen Arten sollten nach Lehmann *et al.* (1978), Wachendorf (1995) und Haas *et al.* (2003) hinsichtlich Arten- bzw. Sortenauswahl berücksichtigt werden.

Pflanzenarten können sich nach Weissbach *et al.* (1977) bzw. Wyss and Vogel (1999) auch in den Konservierungseigenschaften oder nach Noweuzian (1977) bzw. Derrick *et al.* (1993) auch in der Verdaulichkeit deutlich unterscheiden.

Effekt von Futterpflanzen-Sorten auf die Futterqualität

Die genetische Variabilität von Knautgras-Zuchtsorten war in der dargestellten Auswertung hinsichtlich deren Auswirkung auf den Rohproteingehalt und die OM-Verdaulichkeit stark ausgeprägt.

Kritik:

Die Kriterien der Amtlichen Wertprüfung sind durchaus zu hinterfragen, weil auch heutzutage noch Zuchtsorten mit unzureichender tierischer Verwertbarkeit in das Zuchtbuch eingetragen und deren Saatgut in der Folge an Landwirte verkauft wird.

Die Sortenwertprüfung wird nicht wie im dargestellten Experiment dynamisch durchgeführt, sondern die Eigenschaften wie Ertrag und Futterqualität werden nur zum Zeitpunkt der Ernte festgestellt. Dies kann gewisse Sorten bevorzugen, aber auch benachteiligen.

Der Lebenszyklus von Futterpflanzen-Arten, wie bei Schellberg and Pontes (2012) beschrieben, wird nicht berücksichtigt. Das Wissen um Eigenschaften der Blattalterung und des Blattnachtriebes könnte insbesondere bei kurzumtriebigen

Nutzungstypen wie Vielschnittnutzung, Kultur- oder Kurzrasenweide von Vorteil bei der Sortenwahl sein.

Die tierische Verwertbarkeit (Verdaulichkeit, Futterraufnahme) von Futterpflanzen-Sorten wird kaum untersucht.

Futterqualität als Funktion von Grünlandarten und deren Nutzung/Pflege

Hohe Futterqualitäten erheben Ansprüche an bestimmte Eigenschaften von Grünlandarten und -sorten, deren Komposition im Bestand sowie deren Management. Klapp *et al.* (1953) sowie Briemle and Ellenberg (1994) haben sich mit Nutzungskennzahlen von Grünlandarten auseinandergesetzt. Die Verbindung von Nutzungskennzahlen mit ökologischen Zeigerwerten nach Ellenberg *et al.* (1992) erlaubt eine standort- und nutzungsangepasste Vorauswahl von potentiell geeigneten Grünlandarten.

Die qualitative Bewertung von einzelnen Grünlandarten aus Mischbeständen erfordert die Analyse von Qualitätsparametern der selektierten Art(en). Derartige Ergebnisse würden Wechselwirkungen zwischen Arten sichtbar machen und eine Entwicklung vorhandener Klassifikationen fördern.

Mögliche Kriterien für Pflanzenarten einer funktionellen Gruppe „Hohe Futterqualität“

- Inhaltsstoffe, Mineralstoffe, Vitamine, Fettsäuren, etc.
- Verdaulichkeit und Energie (tierische Verwertung)
- Mahdverträglichkeit (Nutzungshäufigkeit)
- Trittfestigkeit und Weideverträglichkeit (Mähweide, Weide)
- Standortansprüche (trocken, frisch, feucht, Boden pH, Seehöhe)
- Lebenszyklus (Absterben bzw. Nachtrieb von Blättern)
- Krankheitsresistenz, Winterhärte, Trockenstresstoleranz
- Management (Nutzung und Düngung, Pflege, Konservierung)

Danksagung

Wir danken dem operationellen Programm “Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung” EFRE 2007–2013 der Autonomen Provinz Bozen für die Finanzierung des Projektes webGRAS und dem Hydrographischen Amt der Autonomen Provinz Bozen für die Bereitstellung der meteorologischen Daten.

Literatur

- Agroscope, (2015): Fütterungsempfehlungen für Wiederkäuer (Grünes Buch). Agroscope Posieux.
- BMLFUW (2014): Grüner Bericht 2014. Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien 2015, 329 S.
- Bassignana, M., F. Clementel, A. Kasal and G. Peratoner (2011): The forage quality of meadows under different management practices in the Italian Alps. *Grassland Science in Europe* 16: 220–222.

- Bovolenta, S., M. Spanghero, S. Dovier, D. Orlandi and F. Clementel (2008): Chemical composition and net energy content of alpine pasture species during the grazing season. *Animal Feed Science and Technology* 140: 164–177.
- Briemle, G. und H. Ellenberg (1994): Zur Mahdverträglichkeit von Grünlandpflanzen. Möglichkeiten der praktischen Anwendung von Zeigerwerten. *Natur Landschaft* 69 (4): 139–147.
- Bruinberg, M.H., H. Valk, H. Korevaar and P.C. Struik (2002): Factors affecting digestibility of temperate forages from seminatural grasslands: a review. *Grass and Forage Science* 57: 292–301.
- Buchgraber, K., R. Resch, L. Gruber, L. und G. Wiedner (1997): Futterwerttabellen für das Grundfutter im Alpenraum. *Der Fortschrittliche Landwirt*, Heft 2/1998, 11 S.
- Daccord, R., Y. Arrigo, B. Jeangros, J. Scehovic, F.X. Schubiger und J. Lehmann (2001): Nährwert von Wiesenpflanzen: Gehalt an Zellwandbestandteilen. *Agrarforschung Schweiz* 8(4): 180–185.
- Daccord, R., Y. Arrigo, J. Kessler, B. Jeangros, J. Scehovic, F.X. Schubiger und J. Lehmann (2001): Nährwert von Wiesenpflanzen: Gehalt an Ca, P, Mg und K. *Agrarforschung Schweiz* 8(7): 264–269.
- Daccord, R., Y. Arrigo, B. Jeangros, J. Scehovic, F.X. Schubiger und J. Lehmann (2002): Nährwert von Wiesenpflanzen: Energie- und Proteinwert. *Agrarforschung Schweiz* 11(1): 16–21.
- Daccord, R., Y. Arrigo, B. Jeangros, J. Scehovic, F.X. Schubiger und J. Lehmann (2004): Nährwert von Wiesenpflanzen: Aminosäuregehalt. *Agrarforschung Schweiz* 8(4): 180–185.
- Daccord, R., Wyss, U., Jeangros, B., Meisser, M., 2007: Bewertung von Wiesenfutter. Nährstoffgehalt für die Milch- und Fleischproduktion. *AGFF Merkblatt 3*. AGFF, Zürich.
- Derrick, R.W., G. Moseley and D. Wilman (1993): Intake by sheep, and digestibility of chickweed, dandelion, dock, ribwort and spurrey compared with perennial ryegrass. *The Journal of Agricultural Science* 120: 51–61.
- Dierschke, H. und G. Briemle (2002): Kulturgrasland. Ökosysteme Mitteleuropas aus geobotanischer Sicht. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 239 S.
- Dietl, W. (1995): Wandel der Wiesenvegetation im Schweizer Mittelland. *Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz* 4: 239–249.
- DLG (Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft, 1997): DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer 7. erweiterte und überarbeitete Auflage. Herausgeber: Universität Hohenheim-Dokumentationsstelle, DLG-Verlag, Frankfurt/Main, 212 S.
- Ellenberg, H., H.E. Weber, R. Düll, V. Wirth, W. Werner und D. Paulissen (1992): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. 2. Auflage, *Scripta Geobotanica* 18: 258 S.
- EUROMAB-Symposium, Part Austria (1999): Changing Agriculture and Landscape - Ecology, Management and Biodiversity Decline in Anthropogenous Mountain Grassland. *Proceedings EUROMAB-Symposium Austrian Academy of Sciences, Vienna*, 15.-19. September 1999, 1–25.
- Gruber, L., A. Schauer, J. Häusler, A. Adelwöhrer, M. Urdl, K.-H. Südekum, F. Wielscher und R. Jäger (2011): Einfluss des Vegetationsstadiums von Wiesenfutter auf Verdaulichkeit, Futteraufnahme und Milcherzeugung. Tagungsbericht über die 38. Viehwirtschaftliche Fachtagung, LFZ Raumberg-Gumpenstein, 13.-14. April 2011, 43–65.
- Haas, G., A. Schlonski und U. Köpke (2003): Rotklee im Organischen Landbau – Einfluss von Arten- und Sortenwahl auf Ertrag und Entwicklung. *Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes USL*, 109, 65 S.
- Hawkins, D.M., S.C. Basak and D. Mills (2003): Assessing model fit by cross-validation. *Journal of Chemical Information and Computer Science* 43: 579–586.
- Isselstein, J., S. Bonorden, M. Seng und H. J. Abel (2003): Nährstoffverfügbarkeit und Nährstoffnutzung von klee- und kräuterreichen Aufwüchsen ökologisch bewirtschafteten Grünlandes entlang der Produktionskette Erzeugung-Konservierung-Verdauung. Abschlussbericht zum Vorhaben 02OE621, BÖL. Georg-August-Universität Göttingen, 23 S.
- Jeangros, B., J. Scehovic, F.X. Schubiger, J. Lehmann, R. Daccord und Y. Arrigo (2001): Nährwert von Wiesenpflanzen: Trockensubstanz-, Rohprotein- und Zuckergehalte. *Agrarforschung Schweiz* 8 (2): 1–8.
- Kasal, A., E. Stimpfl und G. Peratoner (2010): A test of sampling methods for the investigation of forage quality in permanent meadows. *Grassland Science in Europe* 15: 542–544.
- Kirchhof, S., I. Eisner, M. Gierus and K.-H. Südekum (2010): Variation in the contents of crude protein fractions of different forage legumes during the spring growth. *Grass and Forage Science* 65: 376–382.
- Klapp, E. (1930): Zum Ausbau der Graslandbestandsaufnahme zu wissenschaftlichen Zwecken. *Pflanzenbau* 6: 197–210.
- Klapp, E., P. Boeker, F. König und A. Stählin (1953): Wertzahlen der Grünlandpflanzen. *Das Grünland* 2: 38–40.
- Krishnamoorthy, U., T.V. Muscato, C.J. Sniffen and P.J. Van Soest (1982): Nitrogen Fractions in selected feedstuffs. *Journal of Dairy Science* 65, 217–225.
- Licitra, G., T.M. Hernandez and P.J. Van Soest (1996): Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science Technology* 57: 347–358.
- Lehmann, J., F. Bachmann und H. Guyer (1978): Die gegenseitige Beeinflussung einiger Klee- und Grasarten in Bezug auf das Wachstum und auf den Nährstoff- und Mineralstoffgehalt. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau* 146: 178–196.
- Lüscher, A., I. Mueller-Harvey, J.F. Soussana, R.M. Rees and J.L. Peyraud (2014): Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe: a review. *Grass and Forage Science* 69: 206–228.
- Meister, E. und J. Lehmann (1984): Art- und Sortenunterschiede der wichtigsten Futterleguminosen und Gräser in Bezug auf den Gehalt an Rohprotein, Rohfaser und leicht vergärbaren Kohlenhydraten. *Mitteilungen für die Schweizerische Landwirtschaft* 11: 210–224.
- Meister, E. und J. Lehmann (1988): Nähr- und Mineralstoffgehalt von Wiesenkräutern aus verschiedenen Höhenlagen in Abhängigkeit vom Nutzungszeitpunkt. *Schweizerische Landwirtschaftliche Forschung* 26 (2): 127–137.
- Naumann, N., R. Bassler, R. Seibold und C. Barth (1997): *Methodenbuch Band III, Chemische Untersuchung von Futtermitteln*. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Nelder, J.A. (2000): Functional marginality and response-surface fitting. *Journal of Applied Statistics* 27: 109–112.
- Nowruzian, H. (1977): Vergleichende Untersuchungen der Verdaulichkeit von Gras- und Kleearten und -sorten in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium. *Diss. Agr. Universität Gießen*. 122 S.
- Pavlu, V., J. Schellberg and M. Hejzman (2011): Cutting frequency vs. N application: effect of a 20-year management in *Lolium-Cynosuretum* grassland. *Grass and Forage Science* 66: 501–515.
- Peratoner, G., A. Bodner, E. Stimpfl, E. Werth, A. Schaumberger and A. Kasal (2010): A simple model for the estimation of protein content of first-cut meadow forage. *Grassland Science in Europe* 15: 539–541.
- Piepho, H.P. (2009): Data transformation in statistical analysis of field trials with changing treatment variance. *Agronomy Journal* 101, 865–869.
- Pötsch, E., A. Asel, A. Schaumberger und R. Resch (2014): Impact of climate change on grassland productivity and forage quality in Austria. *Grassland Science in Europe* 19: 139–141.
- Resch, R., T. Guggenberger, L. Gruber, F. Ringdorfer, K. Buchgraber, G. Wiedner, A. Kasal und K. Wurm (2006): Futterwerttabellen für das Grundfutter im Alpenraum. *Der fortschrittliche Landwirt* 84: 1–20.

- Resch, R. (2009): Aufbau, Struktur, und Bedeutung der Futterwerttabellen für das Grundfutter im Alpenraum. Tagungsbericht zum 15. Alpenländischen Expertenforum, LFZ Raumberg-Gumpenstein, 26. März 2009, 11-20.
- Resch, R., K. Buchgraber, E.M. Pötsch, L. Gruber, T. Guggenberger und G. Wiedner (2009): Mineralstoffe machen das Grund- und Kraftfutter wertvoll. ÖAG-Broschüre Info 8/2009, 8 S.
- Resch, R. (2012): Stoffflüsse, Futtererträge und Biodiversität bei differenzierter Grünlandbewirtschaftung in Österreich. Abschlussbericht zum BMLFUW-Projekt „NEFA“ (DaFNE-Nr. 100080), HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 29 S.
- Resch, R. (2013): Einfluss des Konservierungsmanagements auf die Qualität von Raufutter österreichischer Rinderbetriebe – Ergebnisse aus LK-Heuprojekten. Tagungsbericht zur 40. Viehwirtschaftlichen Fachtagung, LFZ Raumberg-Gumpenstein, 18.-19. April 2013, 57-72.
- Romano, G., A. Schaumberger, H.-P. Piepho, A. Bodner and G. Peratoner (2014): Optimal base temperature for computing growing degree-day sums to predict forage quality of mountain permanent meadow in South Tyrol. *Grassland Science in Europe* 19: 655-657.
- Scharenberg, A., Y. Arrigo, A. Gutzwiller, C.R. Soliva, A. Perroud, U. Wyss, M. Kreuzer und F. Dohme (2005): Akzeptanz von Futterpflanzen mit Vorkommen von kondensierten Tanninen bei Schafen und ihre Gehalte an nutzbarem Rohprotein. 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Kassel, 1.-4. März 2005, 381-382.
- Schaumberger, A. (2011): Räumliche Modelle zur Vegetations- und Ertragsdynamik im Wirtschaftsgrünland. Dissertation Technische Universität Graz, 292 S.
- Schellberg, J. and L. da S. Pontes (2012): Plant functional traits and nutrient gradients on grassland. *Grass and Forage Science* 67: 305-319.
- Schubiger, F.X., J. Lehmann, R. Daccord, Y. Arrigo, B. Jeangros und J. Schehovic (2001): Nährwert von Wiesenpflanzen: Verdaulichkeit. *Agrarforschung Schweiz* 8 (9): 354-359.
- Scotton, M., A. Pecile and R. Franchi (2012): I tipi di prato permanente in Trentino. Tipologia agroecologica della praticoltura con finalità zootecniche, paesaggistiche e ambientali. Fondazione Edmund Mach, San Michele all'Adige.
- Stampfli, A. und M. Zeiter (2010): Der Verlust von Arten wirkt sich negativ auf die Futterproduktion aus. *Agrarforschung Schweiz* 1 (5): 184-189.
- Tilley, J.M.A. and R.A. Terry (1963): A two stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Journal of the British Grassland Society* 18, 104 – 111.
- VDLUFA (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, 1976 inkl. Ergänzungsblätter 1983, 1988, 1993, 1997): Methodenbuch Band III – Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Voigtländer, G. und N. Voss (1979): Methoden der Grünlanduntersuchung und -bewertung. Grünland - Feldfutter - Rasen. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Wachendorf, M. (1995): Untersuchungen zur Ertrags- und Qualitätsentwicklung von Rotklee- und Rotklee gras in Abhängigkeit von der Nutzungsfrequenz, der Stickstoffdüngung und der Grasart. Diss. agr., Universität Kiel.
- Weichselbaum, F. (2015): Auswirkung unterschiedlicher Düngungsniveaus im Dauergrünland auf die Proteinfractionierung im Grundfutter. Masterarbeit der Universität für Bodenkultur, Institut für Tierernährung, Tierische Lebensmittel und Ernährungsphysiologie, 86 S.
- Weißbach, F., L. Schmidt, G. Peters, E. Hein, K. Berg, G. Weise und O. Knabe (1977): Methode und Tabellen zur Schätzung der Vergärbarkeit. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR. 3. Auflage, 53 S.
- Wyss, U. und R. Vogel (1999): Siliereignung von Kräutern aus intensiven Beständen. *Agrarforschung Schweiz* 6 (5): 185-188.

Langzeitversuche im Grünland – mehr als nur ressourcenzehrende Nostalgie?

Erich M. Pötsch^{1*}, Jürgen Schellberg² und Michael Hejzman³

Zusammenfassung

Noch existiert in Europa eine Anzahl an Langzeitversuchen im Grünland, die teilweise bereits vor mehr als hundert Jahren angelegt wurden. Die Erhaltung und Weiterführung dieser wertvollen Versuche erscheint trotz knapper werdenden Ressourcen von großer Bedeutung. Zahlreiche Forschungsfragen können heute mit weiterentwickelter Labortechnik, Messanalytik und Mathematik an bestehenden Langzeitversuchen bearbeitet werden, auf denen sich Biozönosen durch die langjährig andauernde und konstante Behandlung in einem Gleichgewicht befinden. Aktuelle Fragen wie etwa zum Klimawandel und dessen Auswirkungen auf das Ökosystem Grünland, lassen sich nur in längeren Zeiträumen beantworten – auch dazu können Langzeitversuche einen wichtigen Beitrag leisten.

Summary

There are still a few long-term experiments in grassland existing in Europe. Some of them have been established even more than hundred years ago. Despite limited resources, maintenance and continuation of these valuable experiments seem to be of great importance.

Numerous research questions can today be worked on by using developed laboratory technique, analyses and mathematics in existing long-term experiments, in which biocoenosis are in a equilibrium state throughout the long lasting and constant treatment,

Current questions like on climate change and its consequences on grassland ecosystems can only be answered in a long run – long-term experiments can also contribute to such highly relevant topics

Was sind Langzeitversuche?

Laut Wikipedia ist eine Langzeituntersuchung eine methodisch angelegte, oft auch experimentelle Untersuchung zur empirischen Gewinnung von Informationen/Daten. Die Untersuchung umfasst zwingend einen außerordentlich langen Zeitraum, da sich das zu beobachtende Phänomen sehr selten ereignet oder sich seine Änderung extrem langsam vollzieht. In dem Untersuchungszeitraum wird der Versuchsaufbau in der Regel nicht verändert. Zu unterscheiden ist bei der Langzeituntersuchung einerseits zwischen der Langzeitstudie (also der „reinen Beobachtungsstudie“ bspw. in den Bereichen Soziologie, Psychologie, Medizin), bei der in das beobachtete System nicht eingegriffen wird, und andererseits dem Langzeitexperiment (im Sinne einer „Interventionsstudie“).

Was ist nun ein außerordentlich langer Zeitraum und ab welchem Zeitraum kann/darf ein Feldversuch als Langzeitversuch bezeichnet werden? Nachdem sich dazu keine offizielle Definition findet, bleibt es letztlich dem Versuchsansteller oder -betreuer selbst überlassen, den Zusatz „Langzeit“ zu vergeben. So bezeichnen Tilman *et al.* (2001) in ihrem Beitrag einen siebenjährigen Grünlandversuch bereits als „long-term experiment“, Rasmussen *et al.* (1998) wiederum setzen dafür eine mehr als 20-jährige Versuchsdauer voraus. Nach Auffassung der Autoren dieses Beitrages kann man erst dann von einem Langzeitversuch sprechen wenn:

- die Umstellungsphase abgeschlossen ist, sich also ein Equilibrium in Stoffflüssen, floristischer Zusammensetzung, Bodenleben etc. eingestellt hat
- die Variation der Erträge, der floristischen Zusammensetzung oder anderer Phänomene überwiegend auf Umweltbedingungen zurückzuführen ist und nicht auf die (noch) anhaltende Umstellung des Ausgangs-Pflanzenbestands auf das neue Gleichgewicht
- die ursprünglich vorgesehenen Behandlungen und die Bewirtschaftung des Versuchs konstant gehalten werden
- ein dauerhafter Bestand des Versuchs sowie dessen Beprobung, Analyse und Dokumentation gesichert ist.

Der dauerhafte Bestand eines Versuches sowie die konsequente und der ursprünglichen Versuchsplanung entsprechende Behandlung und Bewirtschaftung der Versuchsflächen erscheinen dabei die zentrale Grundvoraussetzung, um selbst bei zwischenzeitlich fehlenden Erhebungen und Beprobungen diese wertvollen und unersetzbaren Ressourcen zukünftig nutzen zu können. Im Idealfall besteht eine kontinuierliche Versuchsdurchführung inklusive umfassender Erhebungen, Analysen, Dokumentation sowie einer Sicherung von Rückstellproben für zukünftige Untersuchungen. Jenkinson *et al.* (1994) meinen dazu in einem Beitrag über den Nutzen der ältesten Europäischen Dauerversuche in Rothamsted (UK), die Mitte des 19. Jhd. angelegt wurden: „Hätten Lawes und Gilbert (die beiden

¹ Abteilung Grünlandmanagement und Kulturlandschaft, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg 38, A-8952 IRDNING-DONNERSBACHTAL

² Institut für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz/Agrar- und Produktionsökologie, Universität Bonn, Katzenburgweg 5, D-53115 BONN

³ Department of Ecology, Czech University of Life Sciences, Kamycka 1176, CZ-165 21 PRAGUE 6 - Suchdol

* Ansprechpartner: Univ.-Doz. Dr. Erich M. PÖTSCH, erich.poetsch@raumberg-gumpenstein.at

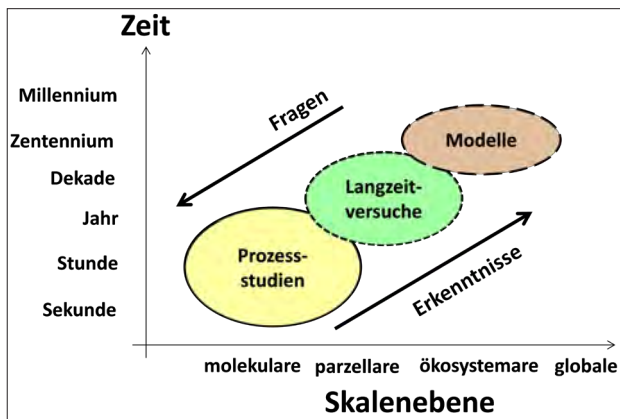


Abbildung 1: Beziehungsgeflecht zwischen Langzeitversuchen und Grundlagenforschung (nach Janzen, 2009).

Begründer dieser weltweit ältesten landwirtschaftlichen Forschungsstation) je gedacht, dass die Bodenproben, die sie 1881 so sorgsam gezogen haben, 100 Jahre später mittels Radiokarbonmethode für die Bestimmung des Kohlenstoffumsatzes untersucht werden?“.

Langzeitversuche genießen daneben aber auch eine große Wertschätzung, die weit über das rein wissenschaftliche Prestige hinausgeht. Janzen (2009) bezeichnet sie als sogenannte „listening places“ – als Plätze, an denen man den Puls der Erde spürt und geduldig wartet, bis man die sich langsam zeigenden Entwicklungstrends in unserem Ökosystem hören und sehen kann.

Langzeitversuche erlauben nicht nur die Gewinnung von Daten, die ohne diese niemals gewonnen werden könnten. Sie werfen auch zahlreiche Fragen auf, die auf einer kleineren Skalenebene im Bereich der Grundlagenforschung bearbeitet werden. Erkenntnisse aus diesen Prozessstudien regen zu neuen Messungen und Erhebungen in den Langzeitversuchen an, woraus wiederum neue Fragen entstehen. Janzen sieht in diesem Wechselspiel eine wichtige Stimulation einer produktiven Zusammenarbeit zwischen unterschiedlichen Skalen- und Zeitebenen, in denen Langzeitversuche jedenfalls eine wichtige und zentrale Stellung einnehmen (Abbildung 1). Er verweist auch darauf, dass derartige Versuche in den kommenden Dekaden durch die steigenden (vor allem menschlichen) Belastungen zunehmend gebraucht werden. Er beschreibt an Hand von sieben Fragen deren bestmögliche Erhaltung für unsere Nachkommen:

1. Lassen sich sensitive Messgrößen zur Vitalität von Ökosystemen finden?
2. Sind diese Messgrößen für eine globale Anwendung geeignet?
3. Braucht es neue Versuche oder sollten bestehende ausgeweitet werden?
4. Können Langzeitversuche zum Labor für Grundlagenforschung werden?
5. Können wir die Humanwissenschaften besser in unsere Studien einbeziehen?
6. Können wir das Wesen und den wissenschaftlichen Wert von Langzeitversuchen besser kommunizieren?

7. Können wir unsere Nachfolger für Langzeitversuche begeistern?

In diese letzte Frage wären wohl auch die Geldgeber einzu beziehen, die letztlich die personellen und materiellen Ressourcen für die Langzeitversuche bereitstellen. So gesehen sind deren Fragen zur Sinnhaftigkeit einer Weiterführung von noch bestehenden Langzeitversuchen durchaus berechtigt und geben Anlass, ernsthaft darüber nachzudenken.

Die Anfänge grünlandwirtschaftlicher Feldversuche in Österreich

Vor knapp 150 Jahren schrieb der Tiroler Priester und Wanderprediger Adolf Trientl (1818 – 1897) in einer Abhandlung zur Verbesserung der Alpenwirtschaft [sic]: „Welches sind nun die besten Alpengräser? Wir wissen darüber nicht mehr, als uns eben die Senner und Hirten nach ihren Beobachtungen zu erzählen pflegen. Man hat noch nie versucht, sie im Großen anzubauen und einzeln zu verfüttern, um ihre besondere Nährkraft und Wirkung zu erfahren. Es wäre dies eigentlich die Aufgabe einer alpwirtschaftlichen Versuchstation, welche wohl mehrere Jahre brauchen würde, um sie zu lösen.“ Trientl (1869) hat mit dieser Aussage nicht nur die Anlage eines alpinen Versuchsgartens im Salzkammergut initiiert (Weinzierl, 1909) sondern zugleich auch gemutmaßt, dass zur Beantwortung der gestellten Fragen ein längerer Zeitraum erforderlich ist. 1890 wurde schließlich auf der Vorder-Sandlingalm auf 1.400 m Seehöhe ein Versuchsgarten mit insgesamt 574 Parzellen mit 580! Einzelkulturen sowie 15 Mischungen eingerichtet (Weinzierl, 1902). Als Vorbild dazu diente ein im Jahr 1881 auf der Fürstenalpe bei Chur in der Schweiz angelegtes Versuchsfeld, das von Weinzierl mehrfach besichtigt wurde. Die nachfolgend sehr intensive Versuchs- und Erhebungsstätigkeit wurde infolge des ersten Weltkrieges und eines 1920 auftretenden Bergsturzes eingestellt. Fast hundert Jahre danach sind die Spuren dieses alpinen Feldversuches zumindest ansatzweise noch immer erkennbar (Abbildung 2). Anfang des 20. Jahrhunderts begann im Rahmen der vom k.k. Ackerbauministerium begründeten Moorwirtschaft Admont eine intensive Versuchstätigkeit zu unterschiedlichen ackerbaulichen und grünlandwirtschaftlichen Fragen, die bis zum Beginn des zweiten Weltkrieges anhielt. 1939 wurde dann in Admont die Reichsforschungsanstalt für alpine Landwirtschaft ins



Abbildung 2: Standort des Alpinen Versuchsgartens auf der Vorder-Sandlingalm in Oberösterreich (© GIS-Steiermark, 2015).

Leben gerufen, die dann ab Kriegsende bis 1947 als „Staatliche Forschungsanstalt für alpine Landwirtschaft“ und bis zur Übersiedlung nach Gumpenstein im Jahre 1956 als „Bundesanstalt für alpine Landwirtschaft“ geführt wurde.

Genau in die wirtschaftlich schwierige und politisch instabile Zeit des zweiten Weltkrieges und der nachfolgenden Besetzung – das Gebiet um Admont lag zunächst in zwei Besatzungszonen (Amerikaner und Russen), später dann ausschließlich in der Englischen Besatzungszone – fiel die Planung und Anlage von zwei Feldversuchen am Versuchsfeld Admont. Der Stickstoffdüngungsversuch (Anlage 1944) und der Wiesendüngungsversuch (Anlage 1946) bilden heute das Herzstück der von der HBLFA Raumberg-Gumpenstein nach wie vor erhaltenen und bewirtschafteten Dauerversuche im Grünland.

Aktuelle Situation der Langzeitversuche in Österreich

Die in den *Tabellen 1* und *2* aufgelisteten und nach wie vor bestehenden Grünlandversuche der HBLFA Raumberg-Gumpenstein können mit einer Laufzeit zwischen 45 und 70 Jahren wohl tatsächlich als Langzeitversuche bezeichnet

werden. Einige davon wurden im Laufe der Zeit konzeptionell verändert und hinsichtlich der Faktorabstufungen aktuellen Erfordernissen bzw. Fragestellungen der heutigen landwirtschaftlichen Praxis angepasst. Andere wiederum – wie etwa auch die beiden ältesten Versuche in Admont (Versuche Nr. 317 und Nr. 320) – blieben bis heute unverändert. Natürlich sind die den Feldversuchen ursprünglich zugrunde liegenden Forschungsprojekte längst abgeschlossen und (hoffentlich) auch entsprechend publiziert (Schechtner, 1978; 1993a; 1993b). Somit könnte man bei nüchterner Betrachtung die Forderung ableiten, die Feldversuche aufzugeben und die dadurch frei werdenden Ressourcen (Personal, Fläche) anderweitig zu nutzen. Dagegen spricht allerdings eine ganze Reihe von Argumenten und Optionen. Langzeitversuche können beispielsweise zur Bearbeitung/Beantwortung nachfolgender Aspekte genutzt werden:

- Retrospektive Erfassung des Einflusses von Wetter- und Klimaänderungen (im Fall von tatsächlich langjährigen Versuchen) als konkreter Beitrag zur angewandten Klimafolgenforschung
- Genomanalysen zur Ermittlung der Anpassungsstrategie von Grünlandpflanzen an langfristig unterschiedliche Versuchsbedingungen (Düngung, Nutzung)

Tabelle 1: Langzeitversuche im Grünland am Standort Gumpenstein.

Versuchsbenennung/ Basisinformationen	Nährstoffmangel- versuch	Schnitthäufigkeits- versuch	Düngungs- und Nutzungsversuch	Gülfespezialversuch
Interne Codierung	432.A	434.A	433	484
Land	Österreich	Österreich	Österreich	Österreich
Akronym	GG1	GG3	GG4	GG2
Standort	Gumpenstein	Gumpenstein	Gumpenstein	Gumpenstein
Koordinaten	47°29'40"/14°06'11"	47°29'34"/14°06'13"	47°29'36"/14°06'12"	47°29'38"/14°06'10"
Seehöhe (m)	698	713	702	699
Exposition	SW	NE	N	N
Inclination	1 %	2 %	2 %	2 %
Jahr der Anlage	1960	1961	1961	1966
Anzahl an Varianten	14	10	18	21
Anzahl der Wiederholungen	3	4	3	4
Faktor Düngung	mineralisch	mineralisch/organisch	mineralisch/organisch	mineralisch/organisch
Faktor Nutzungsfrequenz/Jahr	3	2, 3, 4, 6	1, 2, 3	3
Versuchsdesign	split-plot	Blockanlage	Blockanlage	Blockanlage

Tabelle 2: Langzeitversuche im Grünland am Standort Admont und Zachenschöberl.

Versuchsbenennung/ Basisinformationen	Stickstoffdüngungs- versuch	Wiesendüngungs- versuch	Düngungs- und Nutzungsversuch	Kalkdüngungs- versuch	Dynamischer Almdüngungsversuch
Interne Codierung	317	320	494	469	470.B
Land	Österreich	Österreich	Österreich	Österreich	Österreich
Akronym	GG7	GG5	GG6	GG8	GG9
Standort	Admont	Admont	Admont	Zachenschöberl	Zachenschöberl
Koordinaten	47°34'60"/14°27'04"	47°34'58"/14°27'02"	47°34'52"/14°27'04"	47°27'48"/14°04'19"	47°27'48"/14°04'19"
Seehöhe (m)	633	633	635	1,297	1,297
Exposition	S	S	S	W	W
Inclination	1 %	1 %	1 %	30 %	30 %
Jahr der Anlage	1944	1946	1969	1964	1964
Anzahl an Varianten	4	24	20	8	16
Anzahl der Wiederholungen	4	3	4	4	4
Faktor Düngung	mineralisch	mineralisch/organisch	mineralisch/organisch	mineralisch/organisch	mineralisch/organisch
Faktor Nutzungsfrequenz/Jahr	3	3	1, 2, 3, 4	2	2
Versuchsdesign	Blockanlage	Blockanlage	split-plot	Blockanlage	Blockanlage

*Ergänzend ist zu erwähnen, dass neben den in *Tabelle 1* und *2* angeführten Versuchen, noch zahlreiche mehr als 10-jährige Grünlandversuche an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein existieren.

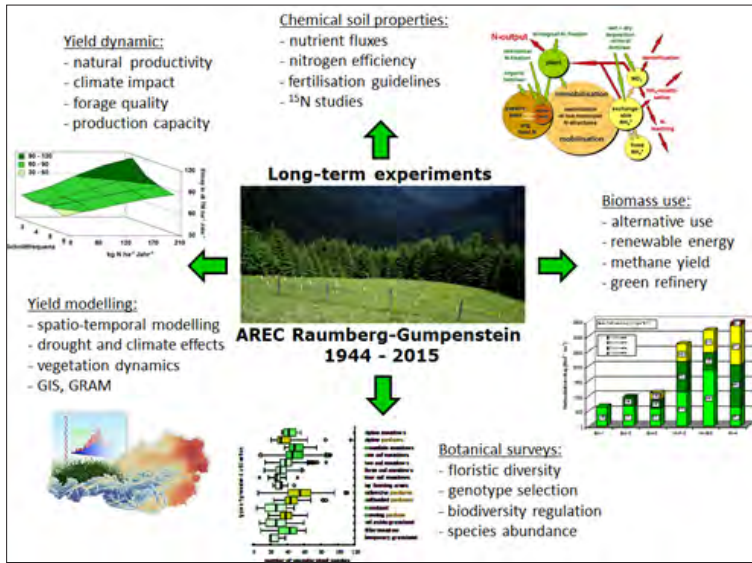


Abbildung 3: Forschungsaktivitäten basierend auf diversen Langzeitversuchen der HBLFA Raumberg-Gumpenstein.

- Variabilität, Beeinflussung und Vorhersage von Ökosystemleistungen im Dauergrünland in Beziehung zur funktionalen Vielfalt
- Interaktionen zwischen Bodeneigenschaften und Pflanzeigenschaften im Equilibrium
- Identifikation von funktionalen Pflanzeigenschaften mit Relevanz für Ökosystemleistungen, -funktionen und -prozessen

Dafür könnten moderne Mess- und Analysenmethoden mit einem unschätzbaren Mehrwert an Informationen zur Vertiefung der bereits getroffenen Aussagen bzw. zum Verständnis von Prozessen und Zusammenhängen eingesetzt werden. Langzeitdatenreihen eignen sich auch hervorragend für Modellierungen, die heute für unterschiedlichste Bereiche angewandt werden. *Abbildung 3* zeigt eine Zusammenschau unterschiedlichster Forschungsaktivitäten, die unter Nutzung von bestehenden Langzeitversuchen an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein bearbeitet wurden. Konkrete Ergebnisse daraus flossen unter anderem in die Richtlinien für die sachgerechte Düngung (BMLFUW, 2006; Gruber and Pötsch, 2007) ein, bzw. werden auch bei deren aktuell gerade laufenden Überarbeitung genutzt. Untersuchungen an Gumpensteiner Langzeitversuchen zeigten erstmals, dass die natürliche $\delta^{15}\text{N}$ -Signatur von landwirtschaftlichen Ökosystemen nicht nur von der Art (organisch, mineralisch) und Menge (0-200 kg N/ha und Jahr) des zugeführten Düngerstickstoffs beeinflusst wird sondern auch, dass das $\delta^{15}\text{N}$ in Pflanzen und Boden am besten durch eine input-output-Bilanzierung von Stickstoff erklärt werden kann (Watzka *et al.*, 2006). Der Nährstoffmangelversuch in Gumpenstein steht derzeit im Mittelpunkt eines beantragten Forschungsprojektes, bei dem es um die funktionelle Analyse von nicht-symbiontischen Stickstoff-Fixierern im Boden geht. Die langjährige, sehr unterschiedliche Düngung der Versuchsfelder und die damit verbundene Veränderung der Bodenbeschaffenheit lässt messbare Unterschiede hinsichtlich Diversität und Aktivität von N_2 -Fixierern erwarten,

die, anders als in Langzeitversuchen, niemals nachweisbar wäre.

Ein starker Schwerpunkt wurde auch auf den Einfluss unterschiedlicher Düngungsniveaus und Nutzungshäufigkeiten auf Ertragsdynamik und Futterqualität gelegt, die in grünlandbasierten Regionen eine wichtige Rolle spielen (Gruber *et al.*, 2006; Buchgraber *et al.*, 2011; Pötsch, 2012; Schaumberger, 2011; Schaumberger *et al.*, 2012). Hinsichtlich der Biodiversität stand der Einfluss unterschiedlicher Bewirtschaftungssysteme auf die botanische Zusammensetzung des Pflanzenbestandes im Vordergrund (Pötsch, 1996; Pötsch, 1998). Spezifische Maßnahmen im österreichischen Agrarumweltprogramm ÖPUL wurden zur Erhaltung und Steigerung der floristischen Diversität von Wirtschaftsgrünland, das sowohl durch Intensivierung als auch durch Nutzungsaufgabe bedroht ist, entwickelt (Pötsch and Schwaiger, 2009; Bohner and Starlinger, 2011). Extensiv genutztes Grünland bietet eine signifikant höhere Arten- und Habitatvielfalt und

kann auch als Quelle zur Verbesserung der Biodiversität (Krautzer and Pötsch, 2009; Krautzer *et al.*, 2011) bzw. als Quelle für Genotypen für die weitere züchterische Bearbeitung genutzt werden (Krautzer *et al.*, 2007). Einige der Gumpensteiner Langzeitversuche wurden auch genutzt, um etwa Strategien zur alternativen Biomasseverwertung (z.B.

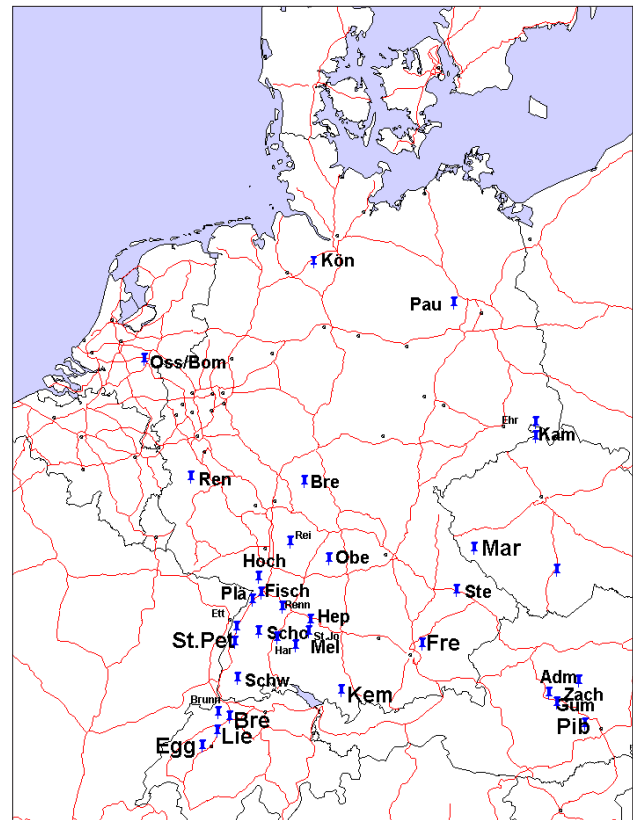


Abbildung 4: Geographische Verteilung von Grünlanddauerversuchen in den Niederlanden, der Schweiz, Tschechien und Österreich.

Methanproduktion, Heupellets als Brennstoff oder das Konzept der Grünen Bioraffinerie zur Gewinnung von wertvoller Milch- und Aminosäure) zu prüfen (Pötsch *et al.*, 2009).

Langzeitversuche im Grünland – aktuelle Situation in ausgewählten Ländern

Tatsächlich existieren heute noch in zahlreichen europäischen Ländern Langzeitversuche im Grünland, deren wichtigste Grundinformationen (Standort, Höhenlage, Klimabedingungen, zuständige Institution und Ansprechpartner) an der Universität Bonn, Deutschland, erfasst wurden (*Abbildung 4*).

Neben den bereits genannten österreichischen Versuchen sind hier zwei Standorte in den Niederlanden (Bom Zuid, Ossekampen), zwei in Tschechien (Kamenicky, Mariánské Lázně), vier in der Schweiz (Bremgarten/Laupersdorf, Brunnersberg, Eggenalb und Liebefeld-Bern) und insgesamt 24 Standorte in Deutschland (Breungeshain, Ehrenberg, Ettenheim, Freising-Weihestephan, Hart, Hepsisau, Hochstetten, Kempfen, Melchingen, Oberstetten, Paulinenaue, Plättig, Reichelsheim, Rengen, Renningen, Schopfloch, Bernau, Schönau, Fröhnd, Mambach, Todtmoos, Steinach/Straubing, St. Johann und St. Peter) angeführt. Eine herausragende Rolle hinsichtlich aktueller Forschungsaktivitäten nehmen in Deutschland die Dauerversuche in Rengen ein (*Abbildung 5*). Zahlreiche Publikationen aus unterschiedlichsten Fachbereichen zeugen von der ungebrochenen Bedeutung dieser im Jahr 1941 angelegten Versuche, an denen Wissenschaftler aus unterschiedlichsten Ländern arbeiten (Schellberg *et al.*, 1999; Hejzman *et al.*, 2007; Hejzman *et al.*, 2009; Chytrý *et al.*, 2009; Ponsens *et al.*, 2010; Hejzman *et al.*, 2010a, 2010b; 2010c; 2010d; Hejzman *et al.*, 2011; Pavlu *et al.*, 2011; Schellberg and Pontes, 2012).

Der oben genannte Dauerversuch in Admont steht im Mittelpunkt einer intensiven Erhebungsphase in enger Kooperation zwischen den Universitäten Bonn und Prag sowie der HBLFA Raumberg-Gumpenstein. Bemerkenswert erscheinen in diesem Zusammenhang die großen Ähnlichkeiten im Versuchsdesign zwischen Rengen und Admont, was auch bestimmte vergleichende Untersuchungen zulässt. Derartige Ähnlichkeiten bestehen unter anderem auch zwischen dem Nährstoffmangelversuch an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein und dem in Steinach/Straubing bestehenden ältesten Grünlandversuch in Kontinentaleuropa (Hejzman *et al.*, 2014).

Nostalgie oder Ressourcenverschwendung?

Natürlich schwingt aufgrund des beachtlichen Zeitraumes und der hinter den Langzeitversuchen stehenden Geschichte ein gewisses Maß an Nostalgie mit. Immerhin haben sich mehrere Generationen namhafter Wissenschaftler mit genau denselben Versuchsflächen beschäftigt und diese mit den jeweils zur Verfügung stehenden analytischen und statistischen Mitteln/Werkzeugen bearbeitet. Aufbauend auf dem Respekt und der Achtung für die Leistungen der ursprünglichen Versuchsansteller, entwickeln sich Neugier und Interesse zu einer immer stärker werdenden Verpflichtung und Verantwortung, dieses Erbe nicht nur zu erhalten sondern bestmöglich zu nutzen. Unter Einbeziehung der

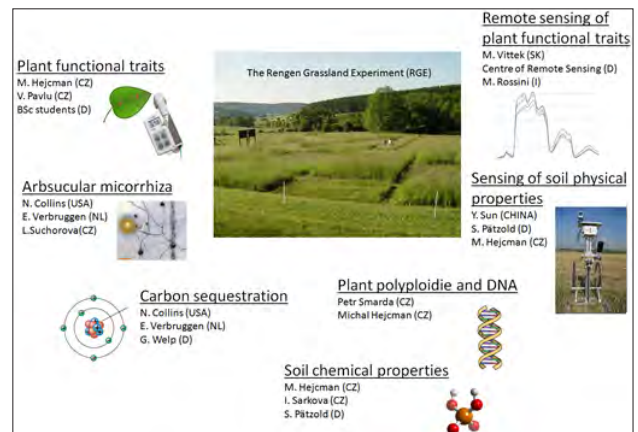


Abbildung 5: Forschungsaktivitäten basierend auf dem Langzeitversuch in Rengen, Deutschland.

aufgezeigten, aktuellen Aktivitäten und angesichts des allgegenwärtigen Klimawandels stellt sich jedenfalls nicht die Frage, ob wir uns die Weiterführung dieser Langzeitversuche leisten können sondern vielmehr die Frage, ob wir es uns leisten können sie aufzugeben!

Es gibt nämlich zahlreiche Argumente für deren Erhalt:

- Die Vergangenheit hat gezeigt, dass sich wegen der rasanten Entwicklung von Laboranalytik, Messtechnik und Mathematik stets neue und bis dato unerwartete Möglichkeiten für die Bearbeitung brennender Forschungsfragen eröffnen. Mit der Aufgabe von Dauerversuchen würde die Chance vergehen, auf zukünftige Fragen eine Antwort zu finden, weil es Jahrzehnte dauern würde, bis die gewünschten Langzeiteffekte eingetreten sind. Ein gutes Beispiel dafür bieten Fragen zu den Effekten des Managements auf das Edaphon, das auf Grünland einerseits weitgehend unerforscht ist, andererseits aber einen erheblichen Beitrag zur Produktivität und zur Ressourcennutzung leistet.
- Zukünftige Fragestellungen sind schwer zu prognostizieren. So hat sich vor 50 Jahren kaum jemand mit den Folgen des Klimawandels auseinandergesetzt, weil dieser nicht absehbar war. Es ist den Dauerversuchen zu verdanken, dass wir solche Effekte heute sichtbar machen können, angesichts der zahlreichen Limitierungen, denen Kurzzeitversuche unterliegen.
- Biozönosen in Langzeitversuchen auf Grünland sind meist nicht als Ganzes erfasst und bewertet. Vielmehr beschränken sich die aktuellen Fragestellungen auf Beziehungen zwischen Pflanze und Boden in Abhängigkeit vom Management. Langzeitversuche bieten jedoch die einmalige Chance, Biozönosen zu untersuchen, weil sich diese über lange Zeit ungestört entwickeln konnten und sich nunmehr im Gleichgewicht mit ihrer biotischen und abiotischen Umwelt befinden. Systembetrachtungen werden heute sehr viel stärker nachgefragt, u.a. weil Simulationsmodelle die Möglichkeit bieten, die Biozönosen in ihrer Komplexität abzubilden. Dies ist nur möglich, wenn durch langfristige Manipulation der Umwelt sehr unterschiedliche Biozönosen am gleichen Standort gegenübergestellt werden.

- Zwar haben sich die ursprünglichen Fragestellungen oft überlebt, aber es ergeben sich immer wieder neue Fragestellungen, die je nach Konzeption und Design der bestehenden Langzeitversuche entweder an diesen bearbeitet werden können oder unter Umständen sogar zur Anlage von neuen, potenziellen Langzeitversuche führen.

Angesichts des knapper werdenden Budgets für die Forschung braucht es daher immer wiederkehrend entsprechendes Lobbying bei Ministerien und der Forschungsförderung. Es braucht aber auch persönliches Engagement und Überzeugungsarbeit, um diese wertvollen Versuche für zukünftige Generationen zu erhalten. Janzen (2009) schlägt dazu unter anderem vor, eine gemeinsame, web-basierte Datenbank aufzubauen, eine Art gemeinsame Probenbibliothek zu errichten, die auch einen Austausch von Teilproben ermöglicht, sowie einheitliche Beprobungsprotokolle zu entwickeln. Der Aufbau eines derartigen Netzwerkes könnte tatsächlich einen essentiellen Beitrag leisten, der weit über die bloße Erhaltung und Weiterführung von bestehenden Langzeitversuchen hinausgeht.

Grünlandforschung ist eine komplexe, aber spannende Materie, die auch nach vielen Jahren immer wieder neue Überraschungen und Herausforderungen mit sich bringt. Jedenfalls sorgt sie aber für mehr Freude und Abwechslung als dies John Mainstone im sogenannten Pechtropfenexperiment beschieden war, das 1927 in Australien gestartet wurde. Damals wurde Pech in einen Glastrichter gefüllt und es dauerte zunächst drei Jahre bis es sich gesetzt hatte. Der Glastrichter wurde anschließend geöffnet, damit das Pech heraustropfen konnte – in 83 Jahren sind dabei insgesamt nur 8 Tropfen Pech nach unten getropft, was allerdings nie wirklich beobachtet wurde. Mainstone – Leiter des Fachbereichs Physik der Universität Queensland/Australien – hat mehr als 50 Jahre dieses Experiment betreut und ist letztlich verstorben, ohne auch nur einen einzigen Tropfen beobachtet zu haben.

Literatur

- BMLFUW (2006): Richtlinien für die sachgerechte Düngung, 6. Auflage, Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, Wien, 80 S.
- Bohner, A. and F. Starlinger (2011): Effects of abandonment of montane grasslands on plant species composition and species richness - a case study in Styria, Austria. 16th Symposium of the European Grassland Federation "Grassland Farming and Land Management Systems in Mountainous Regions", Gumpenstein, Austria, Grassland Science in Europe, 16, August 29-31, 2011, 604-606.
- Buchgraber, K., A. Schaumberger and E. M. Pötsch (2011): Grassland Farming in Austria - status quo and future prospective. 16th Symposium of the European Grassland Federation "Grassland Farming and Land Management Systems in Mountainous Regions", Gumpenstein, Austria, Grassland Science in Europe, 16, August 29-31, 2011, 13-24.
- Chytrý, M., M. Hejčman, S. Hennekens and J. Schellberg (2009): Changes in vegetation types and Ellenberg indicator values after 65 years of fertilizer application: evidence from the Rengen Grassland Experiment, Germany. *Applied Vegetation Science* 12, 167-176. DOI:10.1111/j.1654.109X.2009.01011.x.
- Gruber, L. and E.M. Pötsch (2007): Calculation of nitrogen excretion of dairy cows in Austria. *Die Bodenkultur* 57 (2), 65-72.
- Gruber, L., J. Häusler, A. Steinwider, A. Schauer and G. Mairhofer (2006): Influence of cutting frequency in Alpine permanent grassland on nutritive value, DM yield and agronomic parameters. *Slovak Journal of Animal Science* 39, 26-42.
- Hejčman, M., J. Schellberg and V. Pavlu (2011): Competitive ability of *Rhynanthus minor* L. in relation to productivity in the Rengen Grassland Experiment. *Plant, Soil and Environment* 57, 45-51.
- Hejčman, M., J. Szakova, J. Schellberg, P. Srek and P. Tlustos (2009): The Rengen Grassland Experiment: soil contamination by trace elements (As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn) after 65 years of fertilizer application. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 83, 39-50. DOI:10.1007/s10705-008-9197-8.
- Hejčman, M., J. Schellberg and V. Pavlu (2010a): *Dactylorhiza maculata*, *Platanthera bifolia* and *Listera ovata* survive N application under P limitation. *Acta Oecologia* 36 (6), 684-688. Doi:10.1016/j.actao.2010.09.001.
- Hejčman, M., J. Szarkova, J. Schellberg and P. Tlustos (2010b): The Rengen Grassland Experiment: relationship between soil and biomass chemical properties, the amount of applied elements and their uptake. *Plant and Soil* 333, 163-179. DOI 10.1007/s11104-010-0332-3.
- Hejčman, M., M. Ceskova, J. Schellberg and S. Paetzold (2010c): The Rengen Grassland Experiment: Effect of Soil Chemical Properties on Biomass Production, Plant Species Composition and Species Richness. *Folia Geobotanica* 45, 125-142. DOI:10.1007/s12224-010-9062-9.
- Hejčman, M., J. Szakova, J. Schellberg, P. Srek, P. Tlustos and J. Balik (2010d): The Rengen Grassland Experiment: bryophytes biomass and element concentrations after 65 years of fertilizer application. *Environmental Monitoring and Assessment* 166, 653-662. DOI:10.1007/s10661-009-1030-6.
- Hejčman, M., L. Sochorová, V. Pavlu, J. Strobach, M. Diepolder and J. Schellberg (2014): The Steinach Grassland Experiment: Soil chemical properties, sward height and plant species composition in three cut alluvial meadow after decades-long fertilizer application. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 184, 76-97.
- Hejčman, M., M. Klauisová, J. Schellberg and D. Horsova (2007): The Rengen Grassland Experiment: Plant species composition after 64 years of fertiliser application. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 122, 259-266.
- Janzen, H. (2009): Long-term ecological sites: musings on the future, as seen (dimly) from the past. *Global Change Biology* 15 (11), 2770-2778.
- Jenkinson, D.S., N.J. Bradbury and K. Coleman (1994): How the Rothamsted classical experiments have been used to develop and test models for the turnover of carbon and nitrogen in soil. *Long-term Experiments in Agricultural and Ecological Sciences*. CAB International, Wallingford, UK, 117-138.
- Krautzer, B. and E.M. Pötsch (2009): The use of semi-natural grassland as donor sites for the restoration of high nature value areas. 15th International Occasional Symposium of the European Grassland Federation (EGF): "Alternative functions of grassland", Brno, Grassland Science in Europe, 14, September 7-9, 2009, 478-492.
- Krautzer, B., A. Bartel, A. Kirmer, T. Sabine, B. Feucht, M. Wieden, P. Haslgrübler and E. M. Pötsch (2011): Establishment and use of High Nature Value Farmland. 16th Symposium of the European Grassland Federation "Grassland Farming and Land Management Systems in Mountainous Regions", Gumpenstein, Austria, Grassland Science in Europe, 16, August 29-31, 2011, 457-469.
- Krautzer, B., W. Graiss, E. M. Pötsch and A. Blaschka (2007): Biodiversity in alpine grasslands as well as breeding questions regarding ecotypes. *Biodiversität in Österreich. Welchen Beitrag leistet die Land- und Forstwirtschaft in Österreich?* Gumpenstein, Austria, AREC Raumberg-Gumpenstein, June 28, 2007, 37-43.
- Pavlu, V., J. Schellberg and M. Hejčman (2011): Cutting frequency versus N application: Effect of twenty years management on Lolio-

- Cynosuretum grassland. *Grass and Forage Science* 66, 501-515. DOI:10.1111/j.1365-2494.2011.00807.x.
- Ponsens, J., J. Hanson, J. Schellberg and B.M. Mösel (2010): Characterization of phenotypic diversity, yield and response to drought stress in a collection of Rhodes grass (*Chloris gayana* Kunth) accession. *Field Crops Research* 118, 57-72. DOI:10.1016/j.fcr.2010.04.008.
- Pötsch, E.M. (1996): Utilization of farm manure in alpine grassland regions and its effects on nutrient balances, nutrient content in forage and chemical soil parameters. 16th EGF-Meeting "Grassland and Land use systems", Session IV, 815-819, Grado, Italy.
- Pötsch, E.M. (1998): Über den Einfluß der Düngungsintensität auf den N-Kreislauf im alpenländischen Grünland. *Die Bodenkultur* 49 (1), 19-27, 1998.
- Pötsch, E.M. (2012): Optimale Grünlandbewirtschaftung in Bergregionen. 39. Viehwirtschaftliche Fachtagung "Milchproduktion - Status quo und Anpassung an zukünftige Herausforderungen", LFZ Raumberg-Gumpenstein, 39, 25.-26. April 2012, 9-18.
- Pötsch, E.M. and E. Schwaiger (2009): Evaluation of the Austrian agri-environmental program ÖPUL in terms of biodiversity. 15th Meeting of the FAO CIHEAM Mountain Pastures Network "Integrated research for the sustainability of mountain pastures", Les Diablerets, Switzerland, October 7-9, 2009, 57-58.
- Pötsch, E.M., K. Buchgraber, R. Resch, J. Häusler, F. Ringdorfer, A. Pöllinger, J. Rathbauer and T. Amon (2009): Extensively used grassland as a basis of low input livestock systems and as a resource of energy and raw materials. 15th International Occasional Symposium of the European Grassland Federation (EGF): "Alternative functions of grassland", Brno, Czech Republic, *Grassland Science in Europe*, 14, September 7-9, 2009, 428-431.
- Rasmussen, P.E., K.W.T. Goulding, J.R. Brown, P.R. Grace, H.H. Janzen, and M. Korschens (1998): Agroecosystem - Long-term agroecosystem experiments: Assessing agricultural sustainability and global change. *Science* 282 (5390), 893-896.
- Schaumberger, A. (2011): Räumliche Modelle zur Vegetations- und Ertragsdynamik im Wirtschaftsgrünland. Dissertation, Technische Universität Graz, Institut für Geoinformation, 264 S.
- Schaumberger, A., E.M. Pötsch and H. Formayer (2012): GIS-based analysis of spatio-temporal variation of climatological growing season for Austria. 24th EGF General Meeting "Grassland - a European Resource", Lublin, Poland, *Grassland Science in Europe*, 17, June 3-7, 2012, 634-636.
- Schechtner, G. (1978): Auswirkungen von Düngung und Nutzung auf die botanische Zusammensetzung von Dauerwiesen und Dauerwiesenneuanlagen im Alpenraum. Bericht über die internationale Fachtagung „Bedeutung der Pflanzensoziologie für eine standortgemäße und umweltgerechte Land- und Almwirtschaft. Verlag BAL Gumpenstein.
- Schechtner, G. (1993a): Bedarfsgerechte Grünlanddüngung mit Phosphor, Kalium, Nebennährstoffen und Spurenelementen, BAL Gumpenstein, Heft 19.
- Schechtner, G. (1993b): Wirksamkeit der Kalkdüngung auf Grünland. *Die Bodenkultur*, Band 44, Heft 2, 135-152.
- Schellberg, J. and L. Pontes (2012): Plant functional traits and nutrient gradients on grassland. *Grass and Forage Science*, available online. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2494.2012.00867.x>.
- Schellberg, J., B.M. Mösel, W. Kühbauch and I. 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 and Forage Science* 54, 195-207. DOI: 10.1046/j.1365-2494.1999.00166.x
- Tolman, D., P.B. Reich, J. Knops, D. Wedin, T. Mielke and C. Lehman (2001): Diversity and Productivity in a Long-Term Grassland Experiment. *Science* 294 (5543), 843-845.
- Trientl, A. (1869): Die almwirtschaftlichen Probleme vor mehr als 100 Jahren. Wiederveröffentlichung eines Manuskriptes aus 1869. *Der Alm- und Bergbauer*, Folge 6/7, 45. Jg., 1995, S 246-262.
- Watzka, M., K. Buchgraber and W. Wanek (2006): Natural 15N abundance of plants and soils under different management practices in a montane grassland. *Soil Biology and Biochemistry* 38 (7), 1564-1576.
- Weinzierl, T. (1902): Alpine Futterbauversuche, zugleich 2. Bericht über den alpinen Versuchsgarten auf der Sandlingalpe. Verlag W. Frick, Wien, 21 S.
- Weinzierl, T. (1909): Der alpine Versuchsgarten auf der Sandlingalm. Publikation Nr. 376 der k.k. Samen-Kontroll-Station in Wien, Verlag W. Frick, Wien, S. 276

Archäobotanik - Rekonstruktion der Vegetations- und Agrargeschichte von Grünland

Michael Hejzman^{1*}

¹ Department of Ecology, Czech University of Life Sciences, Kamycka 1176, CZ-165 21 PRAGUE 6 - Suchdol

* Ansprechpartner: Dr. Prof. Michael HEJCMAN, hejzman@fzp.czu.cz

Änderungen in der Grünlandvegetation durch den Klimawandel

Albin Blaschka^{1*}

Einleitung

Das Klima fasst mehrere miteinander in Wechselwirkung stehende Standortfaktoren zusammen und prägt unmittelbar die Vegetation auf einem Standort. Die bereits eingetretenen und sich abzeichnenden Änderungen werden in vielfältiger Weise die Eigenschaften der Arten und Verschiebungen in der Artzusammensetzung verursachen. Viele der Mechanismen sind in Umrissen bekannt, jedoch für Detailprognosen ist noch ein enormer Forschungsaufwand sowohl bei den Klimamodellen als auch in der Ökologie zu decken, nicht zuletzt durch die zu berücksichtigenden Wechselwirkungen.

Die hier vorliegende Arbeit versucht, auf Basis einer einfachen, eingeschränkten Literaturstudie eine Einsicht in die Faktoren, Parameter und mögliche Wechselbeziehungen in die Dynamik der Vegetation, speziell für das mitteleuropäische Grünland, unter dem Gesichtspunkt der zu erwartenden Klimaänderungen zu geben.

Insgesamt zeigen alle derzeit aktuellen Klimamodelle eine Erwärmung für die Alpen an (Kromp-Kolb *et al.*, 2014); daher ist es praktisch sicher, dass sich unter Annahme des A1B-Emissionsszenarios der Alpenraum im 21. Jahrhundert um etwa 0,25 bis 0,3 °C pro Jahrzehnt erwärmen wird, aber künftige Niederschläge sowohl zu- als auch abnehmen können (Ahrens *et al.*, 2014). Die CO₂-Konzentration wird bei diesem Szenario im Jahr 2100 ca. 700 ppm betragen. Zur Zeit beträgt die Konzentration ca. 400 ppm (siehe <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/index.html>).

Änderungen und Anpassungsstrategien

Organismen können grundsätzlich auf drei Arten auf Änderungen der Umweltbedingungen bzw. dadurch verursachten Stress reagieren: (1) Ausharren unter den geänderten Bedingungen, im Sinne einer Stress-Toleranz bzw. Akklimatisierung (2) Migration in Gebiete mit besser passenden Bedingungen im Sinne einer Stress-Vermeidung (Avoidanz) oder (3) aussterben. Die Avoidanz kann auch im Sinne einer zeitlichen Vermeidung von Stressphasen gesehen werden, z. B. durch Dormanz.

Im folgendem werden die Strategien bzw. Anpassungen, die ein Ausharren am Standort ermöglichen näher betrachtet, da Pflanzen im Gegensatz zu Tieren wenig mobil sind. Auch hier gibt es drei Möglichkeiten, die sich teilweise ergänzen bzw. ineinander übergehen können: (a) ökologische Toleranz einzelner Arten, also die Möglichkeiten von Arten eine bestimmte Schwankungsbreite eines Umweltfaktors zu ertragen, (b) langsam verlaufende genetische Anpassungen

der jeweiligen Population, oder (c) dass durch externe Prozesse (z. B. im Boden) die Änderungen für bestimmte Pflanzengemeinschaften abgepuffert werden und so zumindest nicht voll zum Tragen kommen. Als erstes werden die Teile einer Population besser mit den geänderten Bedingungen zu Rande kommen, die die höchste (genetische) Diversität aufweisen und damit verbunden wahrscheinlich auch die höchste ökologische Toleranz besitzen (Beierkuhnlein *et al.*, 2011). Eine höhere genetische Diversität erhöht ebenso die Möglichkeit, dass genetische Anpassungen im Sinne einer Selektion erfolgen können. Die zeitliche Dimension und entsprechend die Geschwindigkeit, gekoppelt mit dem Ausmaß, in der die Änderungen erfolgen, prägen die möglichen Strategien.

Diese oben genannten Muster äußern sich zum Beispiel in den grundsätzlichen Anpassungen wie Wuchsformen oder auch innerhalb des Stoffwechsels (C3/C4/CAM...), Toleranzbereichen oder Habitatsansprüchen einer Art (stenöke vs. euryöke Arten), aber auch in Vermehrungs- und Ausbreitungsstrategien (klonal vs. generativ, einjährig/mehrjährig). Diese führen auf Gemeinschaftsebene, gemeinsam mit weiteren externen Einflüssen zu vielfältigen Interaktionen zwischen Individuen bzw. Organismen (z. B. Konkurrenz, gegenseitige Förderung - „Ecological facilitation“ wie etwa Ammenpflanzen - Änderungen bei Bestäubern oder Feinden...) und der Umwelt, die durch die Änderungen der Standortfaktoren durch den zu erwartenden Klimawandel Populationen massiv beeinflussen und formen (vergleiche Theurillat und Guisan 2001).

Phänologie

Phänologie ist die Wissenschaft jährlich periodisch wiederkehrender Ereignisse bei Pflanzen und Tieren, wie Entfalten der Blätter, Blüte, Fruchtreife oder die Ankunft von Zugvögeln. Der Anstieg der globalen Mitteltemperatur macht sich auf dieser Ebene in mittleren und höheren Breiten durch eine Verschiebung des jahreszeitlichen Zyklus von Pflanzen und Tieren zu früheren Beginnzeiten im Frühling und zu einem späteren Ende der aktiven Zeit im Herbst bemerkbar. Im Bereich der Grünlandwirtschaft werden diese Zusammenhänge über das phänologische Alter eines Bestandes und dem Gehalt an Rohfaser und damit der Verdaulichkeit und dem Energiegehalt im Futter direkt abgebildet.

Seit den frühen 1960iger Jahren hat sich laut Untersuchungen im Rahmen des (europaweiten) Netzwerkes phänologischer Gärten die Länge der Vegetationsperiode durchschnittlich um ca. zehn Tage erhöht, sechs für einen

¹ Aquisition, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg 38, A-8952 IRDNING-DONNERSBACHTAL

* Ansprechpartner: Dr. rer.nat. Albin BLASCHKA, albin.blaschka@raumberg-gumpenstein.at

früheren Beginn im Frühjahr, und einer Verlängerung mit ca. vier Tagen im Herbst. Diese Änderung wird auf eine Erhöhung der Lufttemperatur zurückgeführt (siehe Diskussion in Theurillat und Guisan, 2001). Fuhrer, Smith und Gobiet (2014) analysierten den Beginn der Vegetationsperiode, die sie mit einer Periode von fünf Tagen mit mehr als + 5 °C definieren und die Periode zwischen diesem Beginn und dem Termin des letzten Frosts (Temperatur unter - 3 °C), um das zukünftige Risiko für Spätfröste abschätzen zu können. Die Datenlage ist nicht vollständig klar, aber durch den früheren Beginn der Vegetationsperiode steigt unter Umständen das Risiko für Spätfröste, da zu Beginn durch die Variabilität der Temperaturen es immer wieder zur Unterschreitung der Grenze kommen kann. Die Autoren nennen verschiedenen Modellen zufolge für die Schweiz eine mögliche Verlängerung der Vegetationsperiode um bis zu 16 Tage. Bloor *et al.* (2010) konnten eine beschleunigte Entwicklung bei Gräsern feststellen, die Blüte setzte pro Grad Erwärmung im Durchschnitt um etwas mehr als drei Tage früher ein. Diese Autoren nennen aber auch andere Quellen, die eine um 1,3 bis 11 Tage frühere Blüte pro Grad Erwärmung angeben.

Walther (2010) nennt auf Basis einer weltweiten Studie bei 677 Arten eine Beschleunigung der jahreszeitlichen Entwicklung um 2,3 Tage pro Dekade in den letzten vier Dekaden, gibt aber auch zu Bedenken, dass nicht jede Art gleich reagiert und auch davon ausgegangen werden kann, dass dieser Effekt nicht linear auf zukünftige Szenarien zu interpolieren ist, sondern sich bereits früher abschwächen wird.

Änderungen in der Phänologie sind ein Zeichen für die oben genannte ökologische Toleranz, hier im Sinne einer ökologischen Plastizität und stellt eine kurzfristige Antwort auf die geänderten Bedingungen dar (Theurillat und Guisan, 2001). Die im Anschluss besprochenen Änderungen im Stoffhaushalt sind bedingt durch die kurzen Zeiträume und den beschriebenen Versuchen bzw. Untersuchungen ebenfalls noch Teil von Toleranz und noch nicht im genetischen Code fixiert (vergleiche Deléglise *et al.*, 2015).

Stoffhaushalt

Die prognostizierten Änderungen der klimatischen Standortbedingungen beeinflussen die chemische Zusammensetzung der Pflanzen, die sich direkt auf die Futterqualität und auf Zersetzungsprozesse und diese wiederum auf den Stoffkreislauf im Ökosystem auswirkt und so sowohl ökologische als auch ökonomische Prozesse ändert (AbdElgawad *et al.*, 2014).

Einer der wichtigsten Ursachen der Klimaänderungen ist die Erhöhung der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre. Dieses Gas spielt für die Pflanzen bei der Photosynthese eine zentrale Rolle und so hat dieser Parameter auch Auswirkungen auf die Pflanzen. Generell profitieren speziell Gräser von mehr CO₂, es kann aber auch zu Problemen führen, da durch mehr CO₂ der vorhandene und begrenzte Stickstoff (in geringerem Maße auch Phosphor) im Pflanzengewebe sozusagen „verdünnt“ werden könnte, die Blätter also weniger Stickstoff (Rohprotein) enthalten (Körner *et al.*, 1997; AbdElgawad *et al.*, 2014), was zu einem erhöhten Fraßdruck führen würde, da die Herbivoren die selbe Menge

an Stickstoff (Proteine) aufnehmen müssen. Umgekehrt ist bei manchen Arten eine Erhöhung der Zucker-Konzentration bei erhöhtem CO₂ möglich (Körner *et al.*, 1997).

Leguminosen wiesen unter erhöhtem CO₂ ein niedrigeres Kohlenstoff:Stickstoff (C:N) aber höheres Kohlenstoff:Phosphor (C:P) und Stickstoff:Phosphor (N:P) Verhältnis auf, im Vergleich zu anderen Pflanzenfamilien. Leguminosen konnten also den vermehrt assimilierten Kohlenstoff mit Stickstoff, den sie fixieren, nutzen (AbdElgawad *et al.*, 2014). Jedoch kann es nach Küchenmeister *et al.* (2013) bei zusätzlichem Trockenstress hier zu Änderungen kommen (siehe nächsten Abschnitt). Ebenso werden auch sekundäre Pflanzenstoffe wie Tanine beeinflusst, deren geänderte Konzentration wiederum die Verdaulichkeit der aufgenommenen Biomasse beeinflussen kann (AbdElgawad *et al.*, 2014).

Die erhöhte CO₂-Konzentration, speziell auch in Kombination mit Änderungen in der Phänologie, beeinflusst das Verhältnis zwischen Pflanzen und ihren Bestäubern, da dadurch erstens die Blüte als solche beeinflusst wird (Zeit, Anzahl Blüten) aber auch die Qualität des Nektars. Es gibt jedoch keine einheitlichen Trends, jedoch scheint es, dass auch hier das Verhältnis von verfügbarem Kohlenstoff (über CO₂) und Stickstoff eine Rolle zu spielen scheint, da meist die Leguminosen, die Stickstoff fixieren können, anders als Arten aus anderen Pflanzenfamilien reagierten (Erhardt und Rusterholz, 1997).

Wasserhaushalt

Störungen im Wasserhaushalt in Form von Trockenperioden werden sich zuerst in Ertragseinbußen zeigen. Meisser *et al.* (2015) zitieren in ihrer Arbeit verschiedene Untersuchungen aus der Schweiz, die Ertragseinbußen zwischen 10 % und 50 % festgestellt haben. Weißhuhn *et al.* (2011) stellten bei sieben von neun untersuchten Arten des Extensivgrünlandes auch eine Abnahme in der Wurzelmasse fest. Die Arten, die keine Änderung zeigten waren *Campanula rotundifolia* und *Silene vulgaris*. Die Autoren konnten auch einen Einfluss der Herkunft des getesteten Pflanzenmaterials auf die Wurzelbiomasse unter Trockenstress feststellen. Der Effekt war umso höher, je mehr Niederschlag während des Sommers im ursprünglichen Herkunftsgebiet fiel. Dieser Effekt gilt jedoch nicht für die Gesamtbiomasse (Weißhuhn *et al.*, 2011). Die Autoren schlussfolgern, dass es keine generelle Beziehung zwischen Herkunft und Stressreaktion bei Trockenheit gibt.

Es zeigt sich, dass unter Trockenstress Verluste in der Futterqualität weniger stark auftreten und durch die Akkumulation von Fructanen (Fruchtzucker) bei Gräsern geringer ausfallen als bei Leguminosen. Zusätzlich kann hier auch von einer Erhöhung des Rohfaser-Anteils ausgegangen werden (AbdElgawad *et al.*, 2014; Meisser *et al.*, 2015). Letzteres gilt auch für Gräser unter Trockenstress. Bei Leguminosen wird durch Trockenstress die Fixierung des Luftstickstoffes stärker eingeschränkt als das Wachstum (Küchenmeister *et al.*, 2013).

Für alle Arten gilt, dass Trockenstress die Seneszenz fördert und so zusätzlich zu phänologischen Phänomenen der Futterwert beeinflusst werden kann, auch wenn Meisser *et al.*

al. (2015) in deren Untersuchungen und Daten aus der Literatur zeigen, dass der Rohproteingehalt bei Trockenheit steigen und der Anteil an Zellwandbestandteilen (NDF) eher abnehmen kann. Deléglise *et al.* (2015) sehen die vorhandenen Daten zur Futterqualität widersprüchlich, da speziell bei stark erhöhtem Wasserstress sich durch vorzeitige Seneszenz das Halm-Blatt-Verhältnis zugunsten der Halme verschiebt und es zusätzlich zu einer Verlagerung von Nährstoffen in die Wurzeln kommen kann, was beides zu einem Sinken der Futterqualität führt. Insgesamt schätzen die Autoren, zumindest bei kurzfristigen Trockenperioden, den Einfluss dieser geringer ein als den des Managements. Jedoch geben sie dabei auch zu bedenken, dass die Reduzierung des Biomasse-Ertrages hier am stärksten zu Buche schlägt.

Die zitierten Untersuchungen sind jedoch nur zum Teil praxisrelevant (mit Ausnahme von Deléglise *et al.*, 2015), da die Reaktionen der Organismen auch von den anderen Standortfaktoren abhängt und sich die Kombinationen unterschiedlich auswirken, wie z. B. in der Arbeiten von AbdElgawad *et al.* (2014) und Brookshire and Weaver (2015) beschrieben. Die Arbeit von Deléglise *et al.* (2015) zeigt zusätzlich den Einfluß des Managementregimes eines Bestandes. Wassermangel beeinflusst nicht nur die Pflanzen selbst, es wird das gesamte Gefüge eines Standortes beeinflusst – es ändern sich z. B. auch Bodenparameter, die wiederum z. B. auf die Nährstoffverfügbarkeit direkten Einfluss ausüben.

Da die zukünftige Niederschlagsituation für Österreich in den Klimamodellen noch sehr unsicher ist, durch die Lage des Alpenraumes in einem Übergangsbereich zwischen vermutlich erhöhten und verringerten Niederschlägen, sind hier somit belastbare Aussagen fast nicht zu treffen.

Änderungen auf Gemeinschaftsebene und im Raum

Für endgültige Prognosen, welche Pflanzen profitieren und welche zurückgehen könnten bzw. wie sich die Produktivität entwickeln wird, sind alle Umweltbedingungen und auch Wechselbeziehungen auf Gemeinschaftsebene (z. B. Konkurrenzphänomene, Bestäuber, Nahrungsnetze) miteinzubeziehen (Brookshire and Weaver, 2015; AbdElgawad *et al.*, 2014; Bloor *et al.*, 2010; Walther, 2010), was mit dem bisherigen Wissensstand noch sehr schwierig ist. Auch kann von Anpassungen bzw. Plastizität einer Art aus einer Region nur eingeschränkt und nicht von vorn herein auf das Verhalten anderer Arten in anderen Gebieten geschlossen werden (Beierkuhnlein *et al.*, 2011). Zu guter Letzt ist auch der Einfluss des Menschen bzw. der konkreten Nutzung ein Faktor, der in diesem Wechselspiel eine Rolle spielt und Reaktionen von Pflanzen beeinflussen kann (Bütof *et al.*, 2012; Deléglise *et al.*, 2015). Vom Standpunkt der Forschung ist ein tatsächlich erfolgter Turnover von zyklischen Änderungen in der Abundanz von Arten während einer Vegetationsperiode auch nur nach längeren Untersuchungen über mehrere Jahre möglich (Meisser *et al.*, 2015).

Es wird zu Verschiebungen in der lokalen bzw. regionalen Artengarnitur durch die Klimaänderungen kommen. Pflanzengemeinschaften werden z. B. nicht einfach ihrem

„gewohnten“ Temperaturregime folgen (können), es wird durch Prozesse und Wechselwirkungen zwischen Arten und Gruppen auf Gemeinschaftsebene zu Änderungen in der Dominanzstruktur und zu zumindest lokalen und regionalen Aussterbe- und Einwanderungsphänomenen kommen. Außerdem werden sich mit hoher Wahrscheinlichkeit Unterschiede zwischen Pflanzengemeinschaften, die durch die klimatischen Verhältnisse geprägt sind (z. B. Vegetation der Höhenstufen wie montan, subalpin, alpin...) und Gemeinschaften, die durch edaphische und extrazonale Bedingungen (z. B. Auwälder) geprägt sind, zeigen. Vor allem bei ersteren werden sich neue Pflanzengemeinschaften ausbilden, die auch existierende vollständig ersetzen können (Theurillat *et al.*, 1998). Zusätzlich verursachen Anpassungen im physiologischen Bereich und in der stofflichen Zusammensetzung, wie sie im ersten Teil dieser Arbeit gezeigt wurden, auch Änderungen bei weiteren Prozessen in Ökosystemen, so z. B. die Abbauvorgänge von abgestorbenen Material die die Kreisläufe für Kohlenstoff und Nährstoffe prägen (Fortunel *et al.*, 2009).

Auch hier ist der Einfluss der menschlichen Nutzung nicht zu vernachlässigen: Eine Untersuchung aus dem Norden Englands zeigte, dass eine künstliche erwärmte, ursprünglich von Gräsern dominierte Pflanzengemeinschaft nach einiger Zeit von Zwergbirken dominiert wurde. Jedoch mit natürlicher Beweidung durch Moschusochsen und Rentiere unterschieden sich die Versuchsflächen nach fünf Jahren nicht von unbehandelten Kontrollflächen (Walther, 2010).

In der bereits erwähnten Arbeit von Deléglise *et al.* (2015) wurden Unterschiede zwischen Mahd und Beweidung im Juragebirge (Schweiz) unter Trockenstress untersucht und kamen zu dem eindeutigen Ergebnis, dass beweidete Flächen kurzfristig von Trockenheit stärker beeinflusst werden, was sie auf den häufigeren Verlust von Blattbiomasse zurückführen. Die Erholung nach der (simulierten) Trockenperiode verlief jedoch ausreichend und erreichte wieder das Niveau der unbehandelten Kontrollflächen. Diese Entwicklung könnte durch die erhöhte Nährstoffverfügbarkeit begünstigt worden sein (Deléglise *et al.*, 2015).

Änderungen in der Verbreitung und möglichen Arealen

Änderungen in der Artenzusammensetzung, und daraus resultierend in weiterer Folge in den Verbreitungsgebieten resultieren in Neuorganisation der Gemeinschaften und wirken sich auf die Interaktionen zwischen den Arten und damit auf das Funktionieren ganzer Ökosysteme aus (Walther, 2010). Trockenheit kann z. B. auch vorübergehend die Mineralisierung abgestorbener Biomasse stoppen, was erstens die Lichtverhältnisse am Boden und damit mögliches Keimungsverhalten beeinflussen kann und bei der Wiederverfügbarkeit von Wasser ein höheres Niveau an Nährstoffen freisetzen wird. Wie weit diese Änderungen gehen und in welchen Zeiträumen diese passieren werden, hängt jedoch vermutlich stark vom jeweiligen Management und der Ausgangssituation ab.

Verschiebungen in der Verbreitung von Organismen sowohl entlang der geographischen Breite (Süd-Nord), der geographischen Länge (in Europa meist im Sinne einer West-Ost-

Wanderung) und nicht zuletzt entlang des Höhengradienten, die auf Änderungen im Temperaturregime zurückzuführen sind, sind bereits Realität (siehe die Übersicht entsprechender Literatur in Lenoir und Svenning, 2014). Diese Autoren geben unter den derzeitigen Bedingungen eine Geschwindigkeit für diese Änderungen in der Verbreitung von 1,69 km pro Jahr in Richtung Norden bzw. von 1,1 m in Richtung höherer Lagen an.

Generell ergibt sich durch Verschiebung der Temperaturzonen nach oben ein Lebensraumverlust in mittleren und höheren Lagen, allein schon bedingt durch die Geomorphologie in den höheren Lagen. Die Areale werden kleiner und sind stärker fragmentiert, was innerhalb der Populationen zusätzlich auch eine erhöhte Konkurrenz erwarten lässt (Theurillat und Guisan, 2001). Daraus lässt sich jedoch auch schließen, dass der Konkurrenzdruck für Arten der mittleren Lagen (montane Stufe) höher sein wird wie für andere.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Bei einem mittleren Emmissionsszenario (A1B, entsprechend dem IPCC Klimabericht) ist eine Erwärmung des Alpenraumes um etwa 3,5 °C bis zum Ende des 21. Jhdts. so gut wie sicher.

Die durch den Klimawandel geänderten Standortbedingungen greifen stark in den Stoffhaushalt der Pflanzen ein und ändern so die Wechselbeziehungen nicht nur zwischen einzelnen Arten, sondern ganzer Lebensgemeinschaften und Ökosysteme.

Diese Änderungen lösen zum Teil entgegengesetzte Phänomene in Gang, auch abhängig vom Betrachtungsmaßstab (Art - Gemeinschaft - Landschaft).

Die größten Probleme gehen von möglichen Trockenperioden aus. Deren Stärke und Häufigkeit sind jedoch unter den derzeitigen Szenarien schwer vorherzusagen, tendenziell jedoch südlich des Alpenhauptkammes jedoch eher zu erwarten. Kurzfristig sind diese Änderungen als Stressphänomene einzuordnen, die in vielen Fällen die Vitalität (Biomasse) und, wenn auch nur in geringerem Ausmaß, die Futterqualität negativ beeinflussen können. Die große Herausforderung für die Erforschung dieser Muster ist die enge Verschränkung von Entwicklung, Physiologie, Standortslehre und Ökologie.

Literatur

- Abdelgawad, H., P. Peshev, G. Zinta., W. van Den Ende, I.A. Janssens and A. Hasard (2014): Climate Extreme Effects on the Chemical Composition of Temperate Grassland Species Under Ambient and Elevated CO₂: A Comparison of Fructan and Non-Fructan Accumulators. *PLoS ONE* 9 (3): 1–13. doi:10.1371/journal.pone.0092044.
- Ahrens, B., H. Formayer, A. Gobiet, G. Heinrich, M. Hofstätter, C. Matulla, A.F. Prein und H. Truhetz (2014): Zukünftige Klimaentwicklung. In Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014, 301–346. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich.
- Beierkuhnlein, C., D. Thiel, A. Jentsch, E. Willner und J. Kreyling (2011): Ecotypes of European Grass Species Respond Differently to Warming and Extreme Drought. *Journal of Ecology* 99 (3) (May): 703–713. doi:10.1111/j.1365-2745.2011.01809.x.
- Bloor, J.M.G., P. Pichon, R. Falcimagne, P. Leadley and J.F. Soussana (2010): Effects of Warming, Summer Drought, and CO₂ Enrichment on Aboveground Biomass Production, Flowering Phenology, and Community Structure in an Upland Grassland Ecosystem. *Ecosystems* 13 (6): 888–900. doi:10.1007/s10021-010-9363-0.
- Brookshire, E.N.J. and T. Weaver (2015): Long-Term Decline in Grassland Productivity Driven by Increasing Dryness. *Nature Communications* 6: 7148. doi:10.1038/ncomms8148.
- Bütof, A., L.R. von Riedmatten, C.F. Dormann, M. Scherer-Lorenzen, E. Welk und H. Bruelheide (2012): The Responses of Grassland Plants to Experimentally Simulated Climate Change Depend on Land Use and Region. *Global Change Biology* 18 (1): 127–137. doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02539.x.
- Deléglise, C., M. Meisser, E. Mosimann, T. Spiegelberger, C. Signarbieux, B. Jeangros and A. Buttler (2015): Drought-Induced Shifts in Plants Traits, Yields and Nutritive Value Under Realistic Grazing and Mowing Managements in a Mountain Grassland. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 213: 94–104. doi:10.1016/j.agee.2015.07.020.
- Erhardt, A. and H.-P. Rusterholz (1997): Effects of Elevated CO₂ on Flowering Phenology and Nectar Production. *Acta Oecologica* 18 (3): 249–253. doi:10.1016/S1146-609X(97)80011-2.
- Fortunel, C., E. Garnier, R. Joffre, E. Kazakou, H. Queded, K. Grigulis and S. Lavorel (*et al.*, 2009): Leaf Traits Capture the Effects of Land Use Changes and Climate on Litter Decomposability of Grasslands Across Europe. *Ecology* 90 (3): 598–611. doi:10.1890/08-0418.1.
- Fuhrer, J., P. Smith and A. Gobiet (2014): Implications of Climate Change Scenarios for Agriculture in Alpine Regions - A Case Study in the Swiss Rhone Catchment. *Science of the Total Environment* 493: 1232–1241. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.06.038.
- Körner, C., M. Diemer, B. Schächli, P. Niklaus und J. Arnone (1997): The Responses of Alpine Grassland to Four Seasons of CO₂ Enrichment: A Synthesis. *Acta Oecologica* 18 (3): 165–175. doi:10.1016/S1146-609X(97)80002-1.
- Kromp-Kolb, H., N. Nakicenovic, K. Steininger, A. Gobiet, H. Formayer, A. Köppl, F. Pretenthaler, J. Stötter und J. Schneider (Hrsg.) (2014): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich.
- Küchenmeister, K., F. Küchenmeister, M. Kayser, N. Wrage-Mönnig und J. Isselstein (2013): Influence of Drought Stress on Nutritive Value of Perennial Forage Legumes. *International Journal of Plant Production* 7 (4): 693–710.
- Lenoir, J. and J.C. Svenning (2014): Climate-Related Range Shifts - A Global Multidimensional Synthesis and New Research Directions. *Ecography* 38 (1): 15–28. doi:10.1111/ecog.00967.
- Meisser, M., C. Deléglise und L. Stévenin (2015): Auswirkung von Trockenperioden auf Wiesen. *Agrarforschung Schweiz* 6 (9): 400–407.
- Theurillat, J.-P., F. Felber, P. Geissler, J.M. Gobat, M. Fierz, A. Fischlin, P. Küpfer, A. Schlüssel, C. Velutti und G.F. Zhao (1998): Sensitivity of Plant and Soil Ecosystems of the Alps to Climate Change. In *Views from the Alps: Regional Perspectives on Climate Change*, 225–308. Views from the Alps: Regional Perspectives on Climate Change. Boston: MIT Press.
- Theurillat, J.-P. and A. Guisan (2001): Potential Impact of Climate Change on Vegetation in the European Alps: A Review. *Climatic Change* 50 (1-2): 77–109. doi:10.1023/A:1010632015572.
- Walther, G.-R. (2010): Community and Ecosystem Responses to Recent Climate Change. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 365 (1549): 2019–2024. doi:10.1098/rstb.2010.0021.
- Weißhuhn, K., H. Auge und D. Prati (2011): Geographic Variation in the Response to Drought in Nine Grassland Species. *Basic and Applied Ecology* 12 (1): 21–28. doi:10.1016/j.baee.2010.11.005.

Futterpflanzenzüchtung und Generhaltung – was braucht und was bietet das Grünland?

Bernhard Krautzer^{1*} und Wilhelm Graiss¹

Einleitung

Die Veränderungen in der Bewirtschaftung unserer Kulturlandschaft nahmen in den letzten Jahren eher an Rasan zu denn ab. Das betrifft auch ganz stark die Grünlandwirtschaft. Einer ökologisch orientierten, umweltverträglichen, stark förderungsabhängigen Berglandwirtschaft steht der ökonomische Zwang zur Intensivierung und ökonomischen Optimierung in den intensiven Grünlandproduktionsgebieten gegenüber. Der ungebrochene Trend zur Erhöhung der Schnittfrequenz bzw. der Weideintensität – mittlerweile ist die Kurzrasenweide auch bereits in den Alpenraum vorgezogen – bringt Dauergrünlandbestände zunehmend an die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit. Europaweit tendiert die Entwicklung hin zu großen Herden und zunehmender Stallhaltung (Reheul *et al.*, 2013). Dem gegenüber erlangen zunehmend Überlegungen Bedeutung, die auf eine Verbesserung der Ökoeffizienz der Bewirtschaftungssysteme, eine Optimierung des Ressourcenverbrauchs bei Minimierung der Umweltwirkung, auf eine Abkehr von der Produktivität hin zur Suffizienz abzielen (Freibauer *et al.*, 2012). Wobei dieser Paradigmenwechsel von einem nicht zu übersehenden Gegensatz zwischen Theorie und Praxis, zwischen Wunsch und Realität, begleitet wird. In diesem Spannungsfeld stellt sich die Frage, wie man als Züchter heute die richtigen Weichen stellt, um in zehn, fünfzehn Jahren den künftigen Bedarf zu decken.

Futterpflanzenzüchtung – was braucht das Grünland?

Es ist schwierig, eine allgemeine Aussage zu der Frage zu treffen, wie die Futterpflanzenzüchtung auf die künftigen Bedürfnisse der Grünlandwirtschaft reagieren soll. Es steht zweifellos fest, dass die Weltbevölkerung steigen wird, dass der Bedarf an Fleisch und Milchprodukten steigen wird und dass das Grünland eine wesentliche ökonomische Basis dafür bildet. Schwer abzuschätzen sind dabei allerdings die unterschiedlichen regionalen Strömungen und Rahmenbedingungen. Daher ist es sinnvoll, sich auf den in sich schon sehr vielfältigen mitteleuropäischen Raum zu konzentrieren. Wo liegen die Anforderungen, wenn man mit der Bearbeitung von Zuchtmaterial beginnt, welches in zehn, zwanzig Jahren auf den Markt kommen soll? In Österreich wie in weiten Teilen des Alpenraumes wird der Differenzierung zwischen extensiven und intensiven Produktionsgebieten nach wie vor große Bedeutung zukommen.

In weiten Teilen der inneralpinen Produktionsgebiete wird eine standortangepasste Bewirtschaftung mit zwei bis drei, punktuell vier Schnitten unter möglichst optimaler Nutzung der entsprechenden Förderprogramme bestehen bleiben. Bei steigender Flächenausstattung wird sich die Bewirtschaftung dafür geeigneter Betriebsflächen intensivieren, für schlecht mechanisierbare Flächen wird die Bewirtschaftungsintensität auf das tragbare Minimum (Mindestpflege zur Offenhaltung) reduziert. Die Grünlandbestände sind vergleichsweise artenreich, die dafür notwendigen Grünlandmischungen enthalten ein entsprechend breites Spektrum an Arten und Sorten. Allgemein gesprochen ist eine gute Ausdauer dieser Sorten ihre wesentliche Eigenschaft, verbunden mit qualitativen Aspekten, die natürlich von Art zu Art sehr unterschiedlich definiert sein können. Für diese Form der Bewirtschaftung steht bereits jetzt ein relativ gutes Spektrum an Zuchtsorten zur Verfügung (siehe *Tabelle 1*). Sowohl in Österreich als auch in der Schweiz und partiell in Bayern wurde in den letzten Jahrzehnten ein breites Spektrum an geeigneten Sorten gezüchtet. Ertrag, Futterqualität und Nährstoffeffizienz werden auch künftig die wesentlichen Zuchtziele bleiben. Weitere wichtige Eigenschaften wie Resistenzen gegen Krankheiten oder Verbesserung der Winterhärte werden in laufenden und künftigen Zuchtprogramme auch weiterhin einen entsprechenden Stellenwert behalten.

In klimatisch begünstigten Produktionsgebieten ging der Trend der letzten Jahre hin zu einer immer früheren Nutzung (einhergehend mit einer Maximierung der Schnittfrequenz), um die Qualität des Grundfutters weiter zu heben. Zunehmend bereitet auch die von den immer schwerer werdenden Maschinen und Geräten ausgehende Bodenverdichtung Probleme. Die damit einhergehenden Folgen wie instabile, oft mit Stickstoff unterversorgte Pflanzenbestände mit unerwünschter Dominanz der Gemeinen Rispe sind Ausdruck einer Übernutzung, die nicht zuletzt aus ökonomischen Gründen entweder zu einer Rückbesinnung auf die natürlichen Begrenzungen durch Standort und Klima führen wird, oder zu einer Bewirtschaftungsform, bei der der Pflanzenbestand nicht mehr als Dauergrünland bezeichnet werden kann. In jedem Fall reduziert die hohe Schnittfrequenz radikal die Anzahl jener Arten, die sich unter diesen Umständen zumindest längerfristig im Bestand halten können. Züchterisch stellt sich hier die Herausforderung, die Ausdauer der geeigneten Arten positiv zu beeinflussen bzw. die Vielschnitttauglichkeit auf ein breiteres Artenspektrum

¹ Abteilung für Vegetationsmanagement, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg 38, A-8952 IRDNING-DONNERSBACHTAL

* Ansprechpartner: Dr. Bernhard KRAUTZER, bernhard.krautzer@raumberg-gumpenstein.at

Tabelle 1: Gumpensteiner Sorten und ihre wichtigsten Qualitätsmerkmale.

Name	deutscher Name	Sorte	Eintragung	Eigenschaften
<i>Agrostis capillaris</i>	Rot-Straußgras	Gudrun	Sortenliste	Ertrag, Gesundheit
<i>Alopecurus pratensis</i>	Wiesen-Fuchsschwanzgras	Gufi	Sortenliste	Spätreife
<i>Alopecurus pratensis</i>	Wiesen-Fuchsschwanzgras	Gulda	Sortenliste	Spätreife
<i>Cynosurus cristatus</i>	Wiesen-Kammgras	Lena	Sortenschutz	Ausdauer, Ertrag
<i>Dactylis glomerata</i>	Knautgras	Tandem	Sortenliste	mittelspäte Reife, Verdaulichkeit
<i>Lolium x boucheanum</i>	Bastardraygras	Gumpensteiner	Sortenliste	Winterhärte, Ausdauer
<i>Lolium perenne</i>	Englisches Raygras	Guru	Sortenliste	Winterhärte, Schneeschimmelresistenz
<i>Trifolium pratense</i>	Rot-Klee	Gumpensteiner Rotklee	Sortenliste	Ausdauer, Winterhärte
<i>Trisetum flavescens</i>	Goldhafer	Gusto	Sortenliste	geringer Gehalt an kalzinogen wirksamen Substanzen
<i>Trisetum flavescens</i>	Goldhafer	Gunther	Sortenliste	Ertrag, geringer Gehalt an kalzinogen wirksamen Substanzen
<i>Lotus corniculatus</i>	Hornklee	Marianne	Sortenliste	Ausdauer, Winterhärte

zu übertragen. Andererseits kann bei einer Reduktion der Schnittfrequenz eine verbesserte Nutzungsstabilität von Sorten Bedeutung erlangen (Verlängsamung des Qualitätsabbaus, Verbreiterung des optimalen Erntezeitfensters). Rasche Regeneration nach der Nutzung bzw. eine schnelle, erfolgreiche Etablierung von Jungpflanzen aus Nachsaaten werden von Bedeutung sein.

Ein Forcieren der Weidewirtschaft, vor allem im Zusammenhang mit Low Input Systemen wie der Vollweidewirtschaft (mit der Kurzrasenweide als intensivster Form), stellt den Züchter wie auch die Sortenprüfung vor wichtige Aufgaben. Ausdauernde, weidetaugliche Sorten von Englischem Raygras aber auch ertragreiche Wiesenrispensorten mit schneller Jugendentwicklung und hoher Persistenz werden dafür benötigt. Bemühungen, das verfügbare Artenspektrum für den Alpenraum zu erweitern, gibt es bereits bei Rotklee und Rohrschwengel (Boller *et al.*, 2012)

Hinter all diesen Überlegungen steht auch noch die zentrale Frage, wie sich die Produktionsbedingungen durch den bereits deutlich spürbaren Klimawandel verändern werden. Für weite Teile des Alpenraums wird er sich im Verlauf des 21. Jahrhunderts über eine Erhöhung der Temperatur insbesondere im Sommer, eine Abnahme der Sommerniederschläge und eine größere Variabilität der Winterniederschläge auswirken. Generell wird mit vermehrten Extremereignissen zu rechnen sein. Im Sommer werden sich längere Wärmeperioden sowie vermehrte Hitzewellen und zunehmend Trockenheitsperioden einstellen. Auch Starkniederschlagsereignisse werden häufiger auftreten als heute. Die Folge sind einerseits eine Verlängerung der Vegetationsperiode, andererseits aber auch trockenheitsbedingte Ertragsverluste in Risikogebieten, verstärkter abiotischer Stress der Pflanzenbestände sowie eine schnellere Entwicklung von Krankheiten und Schädlingen (Walter *et al.* 2014). Allein die Ausdehnung der Vegetationsperiode bei deutlich milderem Wintern wird zu einer Neubewertung in Hinblick auf die Nutzungselastizität der Grünlandbestände führen. In weiterer Folge wird das Auswirkungen auf Mischungszusammensetzung sowie Sortenwahl haben. Der Trockenheitsresistenz von Sorten wird ein viel höherer Stellenwert als bisher zukommen und sich in Zuchtprogrammen niederschlagen. Einige Krankheiten (z.B. Südlicher Stängelbrenner bei Rotklee) werden in Mitteleuropa wirtschaftliche Relevanz erlangen und zu Reaktionen der Futterpflanzenzüchtung führen, die

Bedeutung von Blattflecken- und Rosterkrankungen wird zunehmen. Eine Erweiterung des Artenspektrums in Grünlandmischungen für trockenheitsgefährdete Standorte im alpenländischen Raum ist zu erwarten (z.B. Rohrschwengel, Festulolium, Esparsette).

Die zunehmende Bedeutung von Eigenschaften, die im Zusammenhang mit den prognostizierten Veränderungen stehen, wird auch zu einer Ausweitung der Kriterien und Beobachtungsmerkmale sowie des Artenspektrums in der Sortenprüfung führen. Vielschnitttauglichkeit auf Sortenebene, Weidetauglichkeit und eine zunehmende Differenzierung der Sorteneigenschaften in Reifegruppen werden diskutiert bzw. in einigen Ländern bereits praktiziert. Auswirkungen von abiotischem Stress wie Trockenheit, Hitze oder Überschwemmung auf Sorten könnten in Zukunft ein wichtiges Prüfkriterium zur Beurteilung der Sorteneigenschaften werden. Eine weitere Differenzierung des Sortenspektrums (z.B. in Acker- und Wiesenrotklee) sowie zusätzliche analytische Parameter (z.B. Zuckergehalt, Gerüstsubstanzen, Anteil kondensierter Tannine), werden bereits diskutiert (BDP, 2013). Das Verhalten von Sorten in Mischungen und damit verbundene Auswirkungen auf Ertrag, Winterfestigkeit und Ausdauer sind noch wenig bekannt bzw. geprüft.

Futterpflanzenzüchtung – was bietet das Grünland

Vor zwanzig, dreißig Jahren war es durchaus üblich, Zuchtmaterial aus bestehenden Grünlandbeständen passender Standorte zu sammeln, zu sichten und mit relativ einfachen Methoden zu neuen Sorten zu veredeln. Die Latte liegt inzwischen merkbar höher und auch in der Futterpflanzenzüchtung halten aufwendige Zuchtmethoden verstärkt Eingang (Walter *et al.* 2014). Bei vielen der für den Züchter interessanten Eigenschaften wie Krankheitsresistenz oder Trockentoleranz muss aber nach wie vor auf Eigenschaften von Pflanzen regionaler, genetisch weitgehend autochthoner Grünlandbestände zurückgegriffen werden.

Regionale Genetik als Grundlage künftiger Zuchtungsaktivitäten in Gumpenstein

Regelmäßige Über- und Nachsaaten zur Erhaltung bzw. Steigerung der Leistungsfähigkeit und Erhöhung der Narbendichte von Grünlandbeständen sind inzwischen Standardmaßnahmen der Bewirtschaftung von Dauergrünland. Bei der Auswahl des Saatgutes wird auf die Verwendung

hochwertiger Sorten, meist in Form von Qualitäts-Saatgutmischungen, geachtet. Diese Sorten stammen neben inländischem Zuchtmaterial zum großen Teil von Firmen aus Norddeutschland, Dänemark, Holland, Frankreich und Neuseeland. Auch die in Österreich gezüchteten Sorten sind notwendigerweise genetisch homogenisiert und in ihren Eigenschaften auf die Bedürfnisse der modernen Grünlandbewirtschaftung ausgerichtet. Das regelmäßige Ausbringen dieses so gesehen „genetisch standortfremden“ Saatgutes führt nach und nach zu einer Gendrift, die nicht nur das Wirtschaftsgrünland, sondern auch extensiv bewirtschaftete und in-situ erhaltene Grünlandbestände trifft. Durch Polleneintrag von Zuchtsorten nach- oder neu eingesäeter Grünlandbestände geht die ursprüngliche Genetik betroffener Arten zunehmend – und ohne Gegenmaßnahmen bereits in naher Zukunft – verloren. Dagegen hilft auch die in situ Erhaltung solcher Grünlandbestände wenig, da die meisten Pflanzen eine begrenzte Lebensdauer von fünf bis zehn Jahren haben und sich der Bestand regelmäßig über ausgefallenes, entsprechend verkreuztes Saatgut regenerieren muss. Hier hilft nur eine rechtzeitige und gezielte Besammlungen der Zielarten bzw. aller Gräser und Leguminosen, von denen auch Sortensaatgut über Mischungen eingebracht wird.

Sucht man als Züchter passende Grünlandbestände mit interessantem, durch deren Bewirtschaftungsgeschichte bereits entsprechend vorselektiertem Ausgangsmaterial, dann braucht man schon viel Glück, oder noch besser einen engagierten Grünlandberater der Landwirtschaftskammer, um solche Flächen noch aufzuspüren. Derzeit läuft in Gumpenstein in Zusammenarbeit mit der Grünlandabteilung der LLK Oberösterreich ein Programm zur Sammlung und Sichtung von Material solch züchterisch interessanter, 4- und mehrschnittiger Grünlandbestände. Beispielsweise mit dem Ziel, vielschnitttolerante Wiesenschwingelherkünfte zu sichten und dieses Material für Einkreuzungen in bestehende Sorten zu verwenden. Deutsches Weidelgras und Wiesenlieschgras sind weitere Arten, die im Rahmen dieser Besammlungsaktionen gezielt gesucht werden. Die Sammlung, Charakterisierung und weiter auch Adaption dieses autochthonen genetischen Materials soll eine wichtige Grundlage für weitere züchterische Aktivitäten in Gumpenstein bieten, vor allem bei Verbesserung der Krankheits- und Schädlingsresistenzen sowie der Anpassung unserer wichtigen Grünlandarten an den Klimawandel (z.B. Trockenheitsverträglichkeit).

Generhaltung von Arten des Intensivgrünlandes

Um auch in Zukunft die Möglichkeit zu besitzen, auf Basis österreichischen Genmaterials die Grünlandpflanzenzüchtung dem allgemeinen Niveau angepasst zu halten und auf neue Herausforderungen reagieren zu können, ist der größtmögliche Erhalt der noch verbliebenen genetischen Vielfalt des heimischen Dauergrünlands also von elementarer Bedeutung. Gemäß Bundesgesetz (BGBl. I Nr. 104/2013, §17(4)) stellt die Sammlung, Bearbeitung, Erhaltung und Entwicklung des für die Kulturlandschaft wichtigen pflanzlichen Genmaterials eine hoheitliche Auf-

gabe der HBLFA Raumberg-Gumpenstein dar. Seit zwei Jahren erfolgt die Besammlung von Grünlandflächen zur Sicherung noch vorhandener, regionaler Genetik des vier- und mehrschnittigen Dauergrünlands in Österreich. Die ex-situ-Erhaltung – im Gegensatz zu in-situ-Maßnahmen – hat den Vorteil, dass eine weitere Verdrängung der regionalen Genetik durch Nach-, Über- und Neuansaat vermieden wird, da diese Gefahr durch angemessene Maßnahmen bei der Sichtung und Sicherung in Gumpenstein stark reduziert bis ausgeschlossen werden kann. Das gesammelte und verwahrte Material steht damit über Jahrzehnte für zukünftige Züchtungsaktivitäten zur Verfügung. Die dabei erhobenen Daten werden auch in das nationale Verzeichnis der öffentlich zugänglichen österreichischen Genbank integriert.

Schutz, Erhaltung und Verwendung von Arten des Extensivgrünlandes

Klima, Geologie, Topografie und die diesem von der Natur vorgegebenen Rahmen angepassten traditionellen Bewirtschaftungsformen haben im Verlauf der Jahrhunderte zu einer Vielfalt an bunten, artenreichen Grünlandbeständen geführt. Diese bieten in ihrer Strukturvielfalt Lebensraum für eine Vielzahl an Tier- und Pflanzenarten. Mehr als 1.300 der in ihrem Vorkommen auf Mitteleuropa beschränkten höheren Pflanzenarten weisen eine mehr oder weniger enge Bindung an Grünland-Ökosysteme auf und fast 30 % dieser Arten kommen ausschließlich auf Grünland vor (Kirmer *et al.*, 2012). Seit Mitte des 20. Jahrhunderts geht in Österreich, wie überall in Europa, der Anteil des ökologisch wertvollen Extensivgrünlandes kontinuierlich zurück. Über 90 % der artenreichen Grünlandbestände in Österreich sind bereits auf der Roten Liste der gefährdeten Pflanzengesellschaften zu finden (UBA, 2004). Können artenreiche Grünlandbestände bis zu 100 und mehr Arten aufweisen, behaupten sich auf intensiv bewirtschaftetem Grünland meist nur mehr 10-20 Arten (Tischew *et al.*, 2012). Zunehmend führt auch eine Aufgabe der Nutzung, die meist mit Aufforstung verbunden ist, zu einem weiteren Rückgang des Extensivgrünlands. Der Schutz, die Erhaltung und nachhaltige Nutzung dieser genetischen Ressourcen des Extensivgrünlandes ist daher eine wesentliche Aufgabenstellung. Die Erhaltung der genetischen Diversität innerhalb der Arten ist ein wichtiger Beitrag zur Erhaltung der Biodiversität dieser Pflanzengesellschaften. In Hinblick auf die so unterschiedlichen Klimazonen Österreichs und der Vielfalt an Standorts- und Bewirtschaftungsfaktoren gilt es, die dadurch entstandene genetische Diversität zu erfassen, zu sichten und zu sichern. Allerdings wird dieses Ziel durch Maßnahmen der in situ Erhaltung allein nicht erreichbar sein. Inzwischen gibt es Möglichkeiten, solche wertvollen Lebensräume nicht nur zu schützen sondern auch wieder neu in unsere Kulturlandschaft zu integrieren (Krautzer und Graiss, 2015).

Der Wert regionaler Genetik

Biodiversität erklärt sich nicht nur aus der Vielfalt an unterschiedlichen Biotypen und unterschiedlichen Arten, sondern auch aus der genetischen Vielfalt innerhalb einer Art. Diese genetische Vielfalt entsteht aus der Vielfalt der klimatischen Regionen, wobei wir allein in Österreich von



Abbildung 1: Naturräumliche Großeinheiten nach Gumpensteiner Herkunftszertifikat (G-Zert)

zehn verschiedenen sogenannten „Naturräumliche Großeinheiten“ sprechen (siehe *Abbildung 1*), die sich voneinander sehr stark in Geologie, Klima und Standortbedingungen unterscheiden (Krautzer und Graiss, 2015). Das führt in den unterschiedlichen Regionen auch zu deutlichen Unterschieden in den genetischen Eigenschaften ein und derselben Art. Daher ist es wichtig, auch die regionale Genetik von Grünlandbeständen zu beachten.

Viele gewichtige Gründe sprechen dafür, diese regionale genetische Vielfalt zu erhalten. Gerade in Zeiten des sich wandelnden Klimas ist diese genetische Vielfalt vonnöten, damit sich wildlebende Arten gut an die sich ändernden Umweltbedingungen anpassen können. Die Verwendung unkontrollierter Genetik aus unbekanntem Regionen birgt die große Gefahr der Interaktionen zwischen regionalen und gebietsfremden Ökotypen mit all den damit einhergehenden negativen Effekten wie Hybridisierung, Auskreuzen von Allelen und letztendlich der Verdrängung der regionalen Genetik.

Schutz und Erhaltung der Biodiversität im Rahmen des Projektes „Generhalt“

Im Rahmen des Projektes Ex-situ Erhalt der pflanzengenetischen Vielfalt des österreichischen Extensivgrünlands (Acronym: Generhalt) der HBLFA Raumberg-Gumpenstein werden über einen Zeitraum von zehn Jahren Lebensraumtypen besammelt, die sich in einer regelmäßigen, semi-extensiven Bewirtschaftung befinden (ein- bis zweimalige Mahd), die in dieser Form ursprünglich Ausgangsbestände für das mittlerweile drei- und mehrschichtig genutzte Grünland bildeten und daher auch ein ähnliches, sich teilweise überschneidendes Artenspektrum besitzen. Das vorliegende Projekt fokussiert auf die nachfolgend beschriebenen Lebensraumtypen, die im Gumpensteiner Herkunftszertifikat (Krautzer *et al.*, 2012) definiert wurden. Der Lebensraumtyp bezeichnet dabei einen abstrahierten Typus aus der Gesamtheit gleichartiger und ähnlicher natürlicher Lebensräume. Innerhalb eines Lebensraumtyps lässt sich wiederum eine Vielzahl unterschiedlicher Biotoptypen unterscheiden. Jeder einzelne Typ bietet, als Lebensraum mit seinen ökologischen Bedingungen einheitliche, von anderen Typen verschiedene Voraussetzungen und ist durch spezielle Pflanzengesellschaften gekennzeichnet:

i) Fuchschwanz-Auenwiesen: Meist zweimal jährlich gemähte Wiesen auf nährstoffreichen Standorten in tiefen bis mittleren Lagen, ii) Glatthafer-Fettwiesen: Frische Mähwiesen der tieferen Lagen, die zumeist zweimal genutzt werden, iii) Goldhafer-Bergwiesen: Frische Mähwiesen der mittleren und höheren Lagen, die ein- bis zweimal jährlich gemäht, im Herbst auch gelegentlich beweidet werden.

Die Sammelorte dieses Projektes sind also semi-extensiv genutzte Wiesengesellschaften in collinen bis montanen Höhenstufen der 10 naturräumlichen Großeinheiten Österreichs. Dadurch wird die naturräumlich unterschiedliche genetische Anpassung des Pflanzmaterials an die Standortgegebenheiten abgebildet bzw. gesichert. Die Auswahl der Arten erfolgt aufgrund folgender Kriterien: i) charakteristische Art einer der oben genannten Lebensraum-Typen, ii) Vorkommen des Lebensraum-Typs in der naturräumlichen Großeinheit. Das gewonnene Saatgut wird bestimmt, beschrieben, getrocknet und nach der Reproduktion in der Grünland-Genbank bzw. in das Kühllager eingelagert. Notwendige Reproduktionsaktivitäten zur langfristigen Sicherung des Materials sind das arbeits- und zeitintensivste in diesem Langzeit-Projekt. Durchgeführte Qualitätsuntersuchungen beschränken sich auf Tausendkorngewicht, Reinheit und Keimfähigkeit.

Die Einlagerung des größten Teils der Samen erfolgt bei Lagerbedingungen von 4 °C und 50 % relativer Luftfeuchte. Dieses Saatgut wird bei Bedarf auch für die Produktion von regionalem Saatgut weitergegeben (siehe nachstehende Ausführungen). Die Langzeitlagerung bzw. ex-situ Erhaltung wird durch eine Reduktion des Feuchtegehaltes der Samen auf 3 % bis 5 % relative Feuchte im Trockenschrank mit Silikagel über einige Wochen ermöglicht. Danach erfolgt die Einlagerung ins Gefrierlager der HBLFA Raumberg-Gumpenstein in Gläsern mit Schraubverschluss sowie beschichteten Aluminiumsäckchen (vakuumverpackt) mit eindeutiger Etikettierung. Die Informationen zu den einzelnen Herkunft/Akzessionen werden in die Datenbank der österreichischen Genbank nach den Vorgaben der EURISCO Deskriptoren eingefügt. Zudem wird von jeder Akzession ein Muster in vakuum-verschweißten Aluminiumsäckchen verpackt und im Gefrierlager der AGES Linz (räumlich getrenntes Sicherheitslager) eingelagert.

Was bietet das Extensivgrünland?

Naturnahe Grünlandgesellschaften sind eine wichtige Quelle zur Steigerung der Biodiversität. Bereits seit den Neunzigerjahren gibt es in Österreich Aktivitäten mit der Zielsetzung, biologische Vielfalt mittels standortgerechter Rekultivierung passender Flächen wieder in der Kulturlandschaft zu etablieren. Voraussetzung dafür ist aber die Verfügbarkeit von geeignetem Saat- und Pflanzgut. Nachdem letzteres meist nur im Zusammenhang mit destruktiven Verfahren zur Verfügung steht, haben sich in den letzten Jahren vor allem die Verwendung von Saat- bzw. Mahdgut als die gängigsten Methoden etabliert (Krautzer *et al.*, 2011, Kirmer *et al.*, 2012). Mahdgut und Wiesendrusch werden direkt auf geeigneten Spenderflächen gewonnen und stammen idealerweise aus der direkten Umgebung. Dieses wertvolle Material steht aber in der Praxis meist nur

in relativ kleinen Mengen zur Verfügung. Trotzdem hat sich die Methode der Begrünung mit Saatgut von Spenderflächen im Landschaftsbau bereits fix etabliert und wird vor allem bei Projekten mit naturschutzfachlichem Hintergrund regelmäßig angewendet.

Weit verbreitet ist inzwischen die Verwendung von regionalem Wiesensaatgut. Dazu werden Einzelarten zuerst auf geeigneten Spenderflächen gesammelt und nach einer gärtnerischen oder mit landwirtschaftlicher Technik ausgeführten Vermehrung je nach Begrünungsziel zu unterschiedlichen Mischungen zusammengestellt. Wobei der besondere Wert dieser Mischungen nur durch eine begleitende Zertifizierung nachgewiesen werden kann.

Zertifizierung und Produktion von Wildpflanzen Saatgut am Beispiel des Gumpensteiner Herkunftszertifikates

Ein wesentliches Kriterium für den naturschutzfachlichen Wert von standortgerechtem Samenmaterial, aber auch für den Schutz der potentiellen Saatgutkonsumenten, liegt im Nachweis von dessen Regionalität. Um dem Konsumenten entsprechende Sicherheiten geben zu können, existieren in einigen europäischen Ländern wie Deutschland, der Schweiz und Österreich bereits Zertifizierungsverfahren mit Prüfsiegeln, welche die Herkunftsgebiete des Saatgutes definieren und garantieren. Damit wird in erster Linie die Regionalität, aber auch die Einhaltung bestimmter Regeln in Hinblick auf die Qualität von Spenderflächen, die Gewinnung einer repräsentativen Genetik oder auch die Einhaltung einer begrenzten Generationenfolge in der Vermehrung garantiert. Die Qualität von regionalem Wildpflanzen Saatgut fußt also zu einem wesentlichen Teil auf dem Nachweis der Herkunft der gehandelten Ware.

Die HBLFA Raumberg-Gumpenstein hat eine für ganz Österreich gültige, unabhängige Zertifizierung für Wildpflanzen Saatgut (G-Zert) ins Leben gerufen. Das Gumpensteiner Herkunftszertifikat soll die Erhaltung der regionalen, genetischen Identität unterstützen und den Einsatz von Saatgut regionaler Wildpflanzen in ihren Ursprungs- oder Produktionsgebieten, je nach dem für die Ausbringung des zertifizierten Materials geforderten Ausmaß der Regionalität, ermöglichen. Das Gumpensteiner Herkunftszertifikat soll, wie andere hochwertige Zertifizierungssysteme, die Produktion und Verwendung von regionalem Wildpflanzen Saatgut fördern und damit einen Beitrag zur Erhaltung der floristischen Biodiversität in Österreich leisten.

Dabei werden die Sammlung durch Fachexperten, die Saatgut produzierenden Betriebe, die Reinigungsbetriebe sowie die Vertriebsorganisationen in das System einbezogen, um Herkunft und Regionalität, Produktion, Mengenfluss und Generationenfolge des Saatgutes bis zum Endverbraucher transparent und nachvollziehbar zu gestalten. Als zertifizierte regionale Gräser und Kräuter mit Gumpensteiner Herkunftszertifikat (nachstehend kurz als G-Zert bezeichnet), gelten ausschließlich Vermehrungsgüter, für die ein „Gumpensteiner Herkunftszertifikat“ vorgewiesen werden kann. Regionale Gräser und Kräuter nach G-Zert stammen direkt aus Sammlung oder aus daraus vermehrten Samen, die in Form von angelegten Vermehrungsflächen weiter

vermehrt werden. Saatgut regionaler Gräser und Kräuter ist dabei ausschließlich auf Pflanzen zurückzuführen, die sich aus Sammelbeständen gebietseigener Pflanzenarten einer biogeographischen Großregion, an der Österreich Anteil hat, über einen langen Zeitraum in vielfachen Generationsfolgen vermehrt haben. Das Gumpensteiner Herkunftszertifikat baut auf die Saatgutbestände der Gumpensteiner Genbank auf. Das Material ist allen Produzenten, Reinigungsbetrieben und Vertriebsorganisationen zugänglich, welche hierzu eine Vereinbarung mit der HBLFA Raumberg-Gumpenstein unterzeichnet haben, in welcher die Einhaltung und Zustimmung zur Zertifizierungsrichtlinie vereinbart sind (Krautzer *et al.*, 2015). Die Einhaltung der in der G-Zert Richtlinie enthaltenen Kriterien wird jährlich von einer unabhängigen Kontrollstelle geprüft.

Inzwischen gibt es in Österreich auch Saatgutmischungen von entsprechend zertifiziertem Saatgut von über 100 verschiedenen Wildpflanzenherkünften (Krautzer *et al.*, 2015) aus der Gumpensteiner Genbank (http://www.saatbau.at/uploads/media/Kaerntner_Saatbau_Aktuell_-_Begrue_nung_2015_01.pdf). Die dafür notwendigen Saatgutvermehrungen werden von Österreichischen Landwirten auf einer Erntefläche von bereits mehr als 150 ha ausgeführt.

Verwendungsmöglichkeiten von regionalem Wiesensaatgut

Neben den klassisch landwirtschaftlichen Bereichen (Anlage bzw. Nachsaat von Extensivgrünland, Extensivweiden, Feldrainen, Saumgesellschaften, Ackerrandstreifen) und öffentlichem Grün (Straßenböschungen und -bankette, Verkehrsinseln, Versickerungsmulden, Retentionsflächen, Hochwasserschutzdämme, Parkanlagen) ergeben sich auch für interessierte gewerbliche und private Anwender unterschiedlichste Möglichkeiten, mit regionalen Saatgutmischungen die Biodiversität zu fördern:

Viele Industrie- und Gewerbebetriebe verfügen über (meist arbeitsintensive) Reserveflächen und Grünstreifen, welche mittels geeigneter Saatgutmischungen in reichblühende, pflegeextensive Blütenflächen verwandelt werden können. Neue, substratreduzierte Flachdachaufbauten ermöglichen den Einsatz seltener, optisch attraktiver Halbtrocken- und Trockenrasenarten für weitgehend pflegefreie Dachbegrünungen. Schotterrasen zur Befestigung von Flächen mit geringer Verkehrsbelastung (z.B. Parkplätze) können mit heimischen Arten begrünt werden. Auch zur Begrünung von Straßenbahngleisen im städtischen Bereich können passende Arten erfolgreich eingesetzt werden (Klug *et al.*, 2013). Extensiv genutzte Rasenflächen im Gartenbereich können mit kurzwüchsigen, heimischen Blumenrasenmischungen eingesät werden und Böschungen oder wenig genutzte Bereiche werden mit ein- bis zweischnittigen Blumenwiesenmischungen begrünt.

Im Bereich der Landwirtschaft gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, die Nahrungsversorgung für Blüten besuchende Insekten durch Verwendung von regionalem Wiesensaatgut zu verbessern. Von einer insektenfreundlichen Fruchtfolgeplanung bis hin zur Anlage blütenreicher Ackerränder und Säume (sogenannter Blühstreifen) gibt es vielseitige Möglichkeiten, die unter entsprechenden

Auflagen zum Teil auch als Maßnahme im Agrarumweltprogramm ÖPUL 2014-2020 angeboten werden (AMA, 2014). Wobei zu beachten ist, dass nicht jede Blütenpflanze für Blüten besuchenden Insekten die gleiche Wertigkeit hat.

Eine Informative Liste zum Thema Wiesenblumen als Futtergrundlage für Insekten wurde in Zusammenarbeit von Imkern, Biologen und Agrarwissenschaft zusammengestellt (Krautzer und Graiss, 2015). Diese Liste kann auch als Basis für die Komposition geeigneter Saatgutmischungen für unterschiedliche Einsatzbereiche, vom Acker über den Ackerrandstreifen und Saumgesellschaften über verschiedene Wiesenmischungen bis hin zu Mischungen, die für spezifische Insektengruppen besonders wertvoll sind, herangezogen werden. Für einen gelungenen Einsatz von insektenfreundlichen Blütmischungen gilt, dass Standort, Klima, und Nutzung bei der Mischungswahl berücksichtigt werden müssen und die in der Mischung enthaltenen Arten auch in Hinblick auf diese Faktoren ausgewählt werden müssen. Dazu kommt, dass auch das Verhältnis zwischen einjährigen, überjährigen und mehrjährigen Arten zueinander passen muss und bei den Anteilen der einzelnen Arten auch deren unterschiedliche Konkurrenzkraft beachtet wird.

Fazit

In den klimatisch benachteiligten Grünland-Produktionsgebieten Österreichs ist die Verfügbarkeit geeigneter Sorten begrenzt, da die internationalen Züchter den Alpenraum als zu kleinen Markt nicht mit eigenen Zuchtprogrammen bedienen. In der Schweiz und in Bayern laufen aus diesem Grund eigene Zuchtprogramme. Auch in Österreich steht ein Spektrum an inländischen Futterpflanzenarten zur Verfügung, welche speziell für das Dauergrünland gezüchtet wurden. Der Bedarf an Sorten mit passenden standörtlichen Eigenschaften (Resistenz gegen regionale Pathotypen, Adaption an regionales Klima, ausreichende Winterhärte bei Verwendung im inneralpinen Raum etc.) erfordert in Hinblick auf den sich vollziehenden Klimawandel auch für die Zukunft eine Erhaltung der notwendigen züchterischen Infrastruktur für den Alpenraum. Staatliche Unterstützung dieser Aktivitäten wird eine Voraussetzung dafür sein. Die Weiterentwicklung des Züchtungsfortschritts wird aber auch des Einsatzes moderner Technologien bedürfen. Dies wird nur im Rahmen von effektiven nationalen und internationalen Kooperationen gelingen.

Eine bessere Wasser- und Nährstoffeffizienz bzw. hohe Stresstoleranz künftiger Sorten gegenüber biotischen und abiotischen Faktoren (Stichwort Klimawandel) werden helfen, die Ressourcen in intensiven Produktionsgebieten effizienter zu nutzen sowie die Bewirtschaftung in klimatischen Grenzlagen zu ermöglichen.

Zusammenfassend betrachtet wird für den Alpenraum die Züchtung von Sorten am effizientesten sein, welche an vielen Standorten und unter unterschiedlichen Stressbedingungen angebaut werden können.

Die Erhaltung und nachhaltige Nutzung der pflanzengenetischen Ressourcen wird zunehmend zu einer Forschungsaufgabe von nationaler Bedeutung. Die Ex-situ-Erhaltung und Sicherung der genetischen Diversität der regionalen Futterpflanzenarten in der Gumpensteiner Genbank hat

höchste Priorität und bietet eine wesentliche Grundlage für zukünftige Zuchtprogramme.

Durch die zunehmende Verfügbarkeit von regionalem, zertifiziertem Wildpflanzenaatgut extensiver, naturschutzfachlich wertvoller Grünlandbestände ergeben sich viele Möglichkeiten, die Biodiversität aktiv zu fördern und auch viele Flächen, die sich außerhalb der landwirtschaftlichen Nutzung befinden, mit heimischen Gräsern und Blütenpflanzen zu begrünen. Mit allen damit verbundenen positiven Effekten und Wechselwirkungen zum Erhalt der heimischen Fauna.

Literatur

- BDP (2013) Geschäftsbericht. Bundesverband Deutscher Pflanzenzüchter e.V. (BDP), Bonn, Deutschland, 68 S.
- Boller, B., P. Tanner und F. Schubiger (2012): Pastor: ein neuer, für die Weide geeigneter Rotklee. *Agrarforschung Schweiz* 3 (1): 20-27.
- Bundesamt für Landwirtschaft (BFL, 2015): Strategie Pflanzenzüchtung Schweiz, Konsultationsentwurf Juli 2015, 43 S.
- Freibauer, A., E. Mathijs, G. Brunori, Z. Damianova, E. Faroult, J. Girona, L. i Gomis (2011): Food for Healthy People and a Healthy Planet European Commission Standing Committee on Agricultural Research (SCAR) Report. Brussels, Belgium: European Commission.
- Dierschke H. und G. Briemle (2002): Kulturgrasland. Wiesen, Weiden und verwandte Staudenfluren. - Ulmer-Verlag, Stuttgart 239 S.
- http://www.saatbau.at/uploads/media/Kaerntner_Saatbau_Aktuell_-_Begrueunung_2015_01.pdf letzter Besuch: 11.09.2015.
- Kirmer A., B. Krautzer, M. Scotton und S. Tischew (2012): Praxishandbuch zur Samengewinnung und Renaturierung von artenreichem Grünland. Hochschule Anhalt und LFZ Raumberg-Gumpenstein. Eigenverlag der Österreichischen Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau, Irdning, 221 S. (ISBN 978-3-902595-70-8).
- Klug, B., P. Steckler, F. Gasser, B. Krautzer und W. Wehr (2013): Grundlagen für die Begrünung von Gleisanlagen. *Eisenbahntechnische Rundschau*, ETR 9/2013, 77-82.
- Krautzer, B., A. Bartel, A. Kirmer, S. Tischew, B. Feucht, B., M. Wieden, P. Haslgrübler and E.M. Pötsch (2011): Establishment and use of High Nature Value Farmland. *Grassland Science in Europe*, Vol.16: Grassland Farming and Land Management Systems in Mountainous Regions, 457-469.
- Krautzer, B. und W. Graiss (2015): Regionale Wildblumen als Nahrungsgrundlage für Honig- und Wildbienen. In: *Symbiose Imkerei und Landbewirtschaftung – eine spannende Partnerschaft*. Broschüre des LFI, Ländliches Fortbildungsinstitut Österreich, 88 Seiten.
- Krautzer B., W. Graiss und A. Blaschka (2015): Prüfrichtlinie für die Zertifizierung und den Vertrieb von regionalen Wildgräsern und Wildkräutern nach „Gumpensteiner Herkunftszertifikat“ G-Zert, Stand Februar 2015. Eigenverlag der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 25 S.
- O'Brien, S.T. (2010): Sustainable food consumption and production in a resource-constrained world. SCAR (Standing Committee on Agricultural Research) https://ec.europa.eu/research/agriculture/scar/pdf/scar_feg3_final_report_01_02_2011.pdf.
- Parsons, A.J., G.R. Edwards, P.C.D. Newton, D.F. Chapman, J.R. Caradus, S. Rasmussen and J.S. Rowarth (2011): Past lessons and future prospects: plant breeding for yield and persistence in cool-temperate pastures. *Grass and Forage Science* 66 (2), 153-172.
- Reheul, D., B. de Cauwer, M. Cougnon and J. Aper (2013): What Global and/or European Agriculture Will Need from Grasslands and Grassland Breeding over the Next 10–15 Years for a Sustainable Agriculture. In: S. Barth, D. Milbourne (eds.), *Breeding Strategies for Sustainable*

- Forage and Turf Grass Improvement, DOI 10.1007/978-94-007-4555-1_1, Springer Science+Business Media Dordrecht 2013, 3-18.
- Schubiger F., J. Beart, B. Cagas, V. Cernoch, J.F. Chosson, E. Czembor, F. Eickmeyer, U. Feuerstein, S. Hartmann, H. Jakesova, B. Krautzer, H. Leenheer, H. Lellbach, L. Poinard, U. Posselt, M. Romani, L. Russi, S. Schulze, M.C. Tardin, F. VanHee, E. Willner, L. Wolters and B. Boller (2010): The EU-CARPIA multi-site rust evaluation – results 2007 : Chapter 47. In: Sustainable use of Genetic Diversity in Forage and Turf Breeding. Hrsg. Christian Huyghe, Springer Verlag, 331-340.
- Tischew S., A. Baasch, G. Darmer, M. von der Mehden und K. May (2012): Modellprojekte zur Grünlandaufwertung in FFH-Gebieten mittels neuer Methoden zur Etablierung von Zielarten. Abschlussbericht, HS Anhalt, Bernburg.
- Umweltbundesamt (UBA, 2004): Rote Liste der gefährdeten Biototypen Österreichs. Monographien, Band M-0167. Umweltbundesamt, Wien.
- Walter, A., C. Grieder, L. Last, B. Keller, A. Hund und B. Studer (2014): Die Schweizer Pflanzenzüchtung – eine räumliche, zeitliche und thematische Analyse des Umfeldes Agrarforschung Schweiz 5 (9): 366–373.

