

Auswirkungen der Grünlandbewirtschaftung und Flächenstilllegung auf Vegetation, Boden, mikrobielle Biomasse und Futterqualität

A. Bohner, R. Öhlinger und O. Tomanova

Effects of grassland management and abandonment on vegetation, soil, microbial biomass and forage quality

1 Einleitung

Seit einiger Zeit werden im österreichischen Alpenraum auf Grund geänderter sozioökonomischer Rahmenbedingungen vor allem Grünlandflächen mit niedrigem Ertragspotential oder erschwerten Bewirtschaftungsbedingungen immer häufiger nicht mehr gemäht oder beweidet und meistens mit Fich-

ten aufgeforstet. Agrarpolitisch kann diese Flächenstilllegung und Aufforstung von Grünlandflächen als ein Beitrag zur Verringerung der Agrarüberschüsse positiv gesehen werden. Allerdings muss jede Landnutzung nicht nur ökonomisch, sondern auch ökologisch bewertet werden. Schließlich hat die Kulturlandschaft nicht nur agrarische, sondern auch ökologische und landschaftsästhetische Funktionen zu erfüllen.

Summary

A species-rich permanent meadow (*Cardaminopsido halleri-Trisetetum flavescens*) with two cuts every year on a relatively nutrient-poor soil and an adjacent abandoned meadow, dominated by grasses, was investigated comparatively. The abandoned meadow was afforested with only few spruce trees (4 trees within 50 m²) and the adjacent permanent meadow was moderately fertilized with slurry. Abandonment caused within 7 years a reduction in vascular plant species richness, a decline in flowering plants, a change in plant species composition with increases in rhizomatous species, shade-tolerant species and species with low tolerance of frequent defoliation, an expansion of *Festuca rubra* ssp. *rubra*, an increase in cover value of the moss layer, a change in life forms, an increase in below-ground phytomass, an increase in root:shoot-ratio, a deeper and more uniform root distribution in the soil, a slight increase in above-ground phytomass at the time of first cut in the meadow, a reduced forage quality, and an accumulation of individual nutrients in the above-ground phytomass. In topsoil the following changes of soil chemical and microbial properties after abandonment were established: accumulation of nitrogen-poor humus, increase in C:N-ratio, slight increase in exchangeable acidity, increase in magnesium content due to bioaccumulation, and decrease in microbial biomass. Some soil physical properties were influenced positively: aggregate stability increased slightly and, because of the absence of mechanical compression by human influence, there was no soil compaction resulting in stagnant water conditions in topsoil. This later feature is typical for intensively managed grassland soils. Abandoned grasslands fulfil a sink function for atmospheric CO₂, because of the gradual accumulation of nitrogen-poor humus. In addition, there is an increase in nitrogen-retention capacity of the topsoil. A low nitrogen- and potassium availability in the soil favours in early successional stage the development of *Festuca rubra* ssp. *rubra* dominated abandoned grassland on acid, deep, well-drained soils in the montane belt. This kind of abandoned grassland does not get lost immediately as agricultural area because of the inhibited growth of trees and shrubs. Abandoned meadows, dominated by grasses, are not very important for the floristic species protection and landscape aesthetics in mountainous regions.

Key words: Abandoned meadow; permanent meadow; plant community; plant species richness; life forms; above-ground and below-ground phytomass; forage quality; soil physical, chemical, and microbial properties.

Zusammenfassung

Eine gräserdominierte und locker mit Fichten aufgeforstete Grünlandbrache (4 Fichten auf 50 m²) wurde mit einer benachbarten nährstoffärmeren und daher artenreicheren zweischnittigen, mäßig mit Gülle gedüngten Dauerwiese (Goldhaferwiese) vergleichend untersucht. Die Flächenstilllegung bewirkte innerhalb von 7 Jahren eine Verminderung der Vielfalt an Gefäßpflanzenarten und des Blütenangebotes, eine Veränderung in der Artenzusammensetzung der Vegetation zugunsten rhizombildender, schnittempfindlicher und schattenverträglicher Pflanzenarten, eine Verschiebung der Dominanzverhältnisse im Pflanzenbestand mit einer starken Ausbreitung von *Festuca rubra* ssp. *rubra*, eine Zunahme des Deckungsgrades der Moosschicht, eine Umstrukturierung im Lebensformenspektrum, eine Erhöhung der unterirdischen Phytomasse, eine Erweiterung des Wurzel:Spross-Verhältnisses, eine tiefere und gleichmäßigere Durchwurzelung des Bodens, eine etwas höhere oberirdische Phytomasse zum Zeitpunkt des ersten Schnittes in der Mähwiese, eine Verschlechterung der Futterqualität und eine Anreicherung einzelner Nährstoffe in der oberirdischen Phytomasse. Im Oberboden kam es zu folgenden Veränderungen der chemischen und mikrobiologischen Bodeneigenschaften: Anreicherung von stickstoffarmem Humus, Erweiterung des C:N-Verhältnisses, leichte Zunahme der austauschbaren Acidität, Magnesium-Anreicherung durch Bioakkumulation und Verminderung der mikrobiellen Biomasse. Die Flächenstilllegung von montanem Wirtschaftsgrünland wirkte sich positiv auf einige physikalische Bodeneigenschaften aus; die Aggregatstabilität wurde geringfügig erhöht und infolge fehlender anthropogener Druckbelastung kam es zu keiner Oberbodenverdichtung und Krümmenpseudovergleyung, was für intensiv genutzte Grünlandböden charakteristisch ist. Gräserdominierte Grünlandbrachen haben auf Grund ihrer allmählichen Anreicherung von stickstoffarmem Humus eine Senkenfunktion für das klimarelevante Gas CO₂; außerdem erhöht sich dadurch die Stickstoff-Speicherkapazität des Oberbodens. Im frühen Stadium der sekundären Sukzession begünstigt eine geringe Stickstoff- und Kalium-Verfügbarkeit im Boden die Entstehung von *Festuca rubra* ssp. *rubra*-dominierten Grünlandbrachen auf sauren, tiefgründigen, unterzünftig-frischen Böden in der montanen Höhenstufe. Diese gehen wegen der sehr langsamen Verbuschung und Verwaldung nicht sofort als landwirtschaftliche Nutzflächen verloren. Gräserdominierte Grünlandbrachen haben für den Pflanzenartenschutz und für die Landschaftsästhetik zumindest in Gebieten mit flächenmäßig hohem Grünland-Anteil keine primäre Bedeutung.

Schlagerworte: Grünlandbrache; Mähwiese; Pflanzengesellschaft; Pflanzenartenvielfalt; Lebensformenspektrum; ober- und unterirdische Phytomasse; Futterqualität; physikalische, chemische und mikrobiologische Bodeneigenschaften.

Umfangreiche vegetations- und/oder bodenökologische Untersuchungen über Grünlandbrachen wurden in der Schweiz von GISI et al. (1979), GASS und OERTLI (1980), HARTMANN und OERTLI (1984), GISI und OERTLI (1981a, b, c, d), STÖCKLIN und GISI (1989) und in Deutschland von WOLF (1979), SCHREIBER (1980), SCHREIBER und SCHIEFER (1985), BRIEMLE et al. (1987), BRIEMLE (1994, 1998) sowie BROLL (1996) durchgeführt. Detaillierte Literaturrecherchen über die Auswirkungen von Flächenstilllegungen im Grünland finden sich bei HOLZNER et al. (1989), SPATZ (1994) und DIERSCHKE und BRIEMLE (2002). Über die ökologischen Folgen der Flächenstilllegung von montanen Grünlandflächen im österreichischen Alpenraum hingegen besteht noch großer Forschungsbedarf. Das Ziel dieser Arbeit ist es daher herauszufinden, ob die bisher vorliegenden Untersuchungsergebnisse bezüglich Grünlandbrachen auch auf die montane Stufe des österreichischen

Alpenraumes übertragen werden können. Es sollen die ökologischen Folgen einer Flächenstilllegung und Grünlandbewirtschaftung in einem repräsentativen Grünlandgebiet Österreichs analysiert und bewertet werden.

2 Material und Methoden

2.1 Untersuchungsmethoden

Um die ökologischen Folgen einer Flächenstilllegung und Grünlandbewirtschaftung relativ schnell und umfassend feststellen und bewerten zu können, wurde eine regelmäßig gemähte Dauerwiese mit einer seit rund 7 Jahren nicht mehr gemähten und locker mit Fichten aufgeforsteten Grünlandbrache vergleichend untersucht. Die horizontal aneinander angrenzenden Vergleichsflächen unterscheiden

sich nur in der Art der Bewirtschaftung; der klimatische, orographische, lithologische und pedologische Ausgangszustand ist weitgehend identisch. Weiters nehmen wir an, dass der Pflanzenartenpool auf Grund der räumlichen Nähe und der gleichen Umweltfaktoren zum Zeitpunkt der Flächenstilllegung ähnlich war. Differenzen hinsichtlich Pflanzenbestand, Futterqualität, ober- und unterirdischer Phytomasse sowie physikalischer, chemischer und mikrobiologischer Bodeneigenschaften können bei diesem Biotopvergleich auf die unterschiedliche Landnutzung zurückgeführt werden. Methodisch handelt es sich bei dieser Untersuchung nicht um eine Analyse von Dauerbeobachtungsflächen, sondern um einen unmittelbaren Nachbarschafts-Vergleich im Sinne von GLAVAC (1996).

Die Vegetationsaufnahmen erfolgten vor dem ersten Schnitt Ende Mai mit einer Nachkontrolle Mitte August und Mitte September nach der Methode von BRAUN-BLANQUET (BRAUN-BLANQUET, 1964). Die Artmächtigkeit wurde allerdings nach einer modifizierten Skala geschätzt. Die BRAUN-BLANQUET-Klassen 1–5 wurden jeweils in drei Subklassen unterteilt (z.B. 1a = 1,0–1,9 % Deckung; 1 = 2,0–3,9 % Deckung; 1b = 4,0–5,0 % Deckung). Die Größe der homogenen Aufnahmefläche betrug jeweils 50 m² und überschritt das Minimumareal. Die Nomenklatur der Gefäßpflanzen richtet sich nach ADLER et al. (1994) und die der Moose nach DÜLL (1994).

Die Bodenansprache erfolgte aus dem Bohrstock (1 m) und durch Spatendiagnose. Die Bodenproben für die chemischen Analysen wurden an den Aufnahmeflächen an jeweils vier Terminen aus der Tiefenstufe 0–10 cm (A-Horizont) gezogen, da hier mit den größten Veränderungen der Bodeneigenschaften zu rechnen ist. Die Analysemethoden richten sich nach der jeweiligen ÖNORM (pH-Wert in einer 0,01 M CaCl₂-Lösung; elektrische Leitfähigkeit konduktometrisch; Carbonatgehalt nach SCHEIBLER; organische Substanz durch trockene Verbrennung; N_{tot} am CNS-Automaten; N_{min} durch Extraktion mit CaCl₂; nachlieferbarer Stickstoff mit Hilfe der Bebrütungsmethode; Phosphor und Kalium mit der CAL- bzw. DL-Methode; Phosphor im Wasserextrakt 1:20; Phosphor und Kalium im Königswasserextrakt; austauschbare mineralische Kationenbasen und Kationensäuren mit einer 0,1 M BaCl₂-Lösung; Eisen, Mangan, Zink und Kupfer im EDTA-Extrakt; Magnesium nach SCHACHTSCHABEL; Bor mit dem Acetatauszug nach BARON; Chlorid und Sulfat im Wasserzug 1 : 10; Korngrößenverteilung des Feinbodens nach KÖHN). Die Aggregatstabilität wurde mit einem Tauchsiebverfahren nach KEMPER und KOCH (1966) ermittelt.

Alle Untersuchungen wurden in vierfacher Wiederholung an luftgetrockneten Bodenproben durchgeführt. Die Lufttrocknung der Bodenproben erhöht den N_{min}-Gehalt durch eine verstärkte Stickstoff-Mineralisation. Wassergehalt, Bodensubstanzdichte, Lagerungsdichte, Porenvolumen und Porenziffer wurden an den Aufnahmeflächen in sechsfacher Wiederholung für die Bodentiefen 0–5, 5–10 und 10–15 cm nach HARTGE & HORN (1989) analysiert. Die Bestimmung der mikrobiellen Biomasse mittels substratinduzierter Respiration erfolgte für jeden Untersuchungstermin in zweifacher Wiederholung an feldfrischen Bodenproben nach BECK et al. (1993).

Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurde die landwirtschaftlich nutzbare oberirdische Phytomasse (ohne Stoppelmasse) auf der Grünlandbrache und Mähwiese zeitgleich zum praxisüblichen ersten Schnitttermin Ende Mai an den Aufnahmeflächen auf jeweils 3 m² festgestellt. Die Pflanzenproben wurden in dreifacher Wiederholung analysiert. Rohfaser, Rohprotein, Rohfett, Rohasche und stickstofffreie Extraktstoffe wurden mit NIRS bestimmt. Die Mineralstoffe wurden mit Salpetersäure-Perchlorsäure aufgeschlossen und im ICP gemessen. Die Verdaulichkeit der organischen Masse wurde *in vitro* nach TILLEY und TERRY (1963) bestimmt und daraus die Netto-Energielaktation berechnet.

Die Bodenproben für die unterirdische Phytomassebestimmung wurden an den Aufnahmeflächen mit einem Probenbohrer (Ø 7,5 cm) entnommen. Die Probenahme erfolgte Mitte Oktober in sechsfacher Wiederholung. Die Untersuchungstiefe betrug 30 cm. Die unterirdische Phytomasse wurde mit Hilfe einer Wurzelwaschmaschine (SMUCKER et al., 1982) vom Boden getrennt, danach 12 Stunden bei 70° C im Trockenschrank getrocknet und anschließend gewogen.

2.2 Untersuchungsgebiet: Lage, Geologie, Boden, Klima, Vegetation

Die Untersuchungen wurden im mittleren steirischen Ennstal (Irdning, Bezirk Liezen) durchgeführt, weil hier klimatisch bedingt die Grünlandwirtschaft dominiert und dieser Landschaftsraum repräsentativ für das Grünland im Berggebiet Österreichs ist. Das Untersuchungsgebiet gehört tektonisch zur Grauwackenzone; altpaläozoische Phyllite herrschen vor (FLÜGEL und NEUBAUER, 1984). Die Braunerde ist der wichtigste Bodentyp auf frischen (ausgeglichenen) bis krumenwechselfeuchten Standorten (BOHNER und

SOBOTIK, 2000a). Das Untersuchungsgebiet weist im langjährigen Mittel (1953–2004) eine Juli-Temperatur von 16,4 °C, eine Jänner-Temperatur von –3,5 °C und eine Jahresmittel-Temperatur von 6,9 °C auf. Der Jahres-Niederschlag macht im Durchschnitt 1031 mm aus. Die Niederschläge sind relativ gleichmäßig über das Jahr verteilt. In der Vegetationsperiode (April bis September) fallen etwa 63 % des Jahres-Niederschlages. Die Schneedeckenperiode beträgt im langjährigen Mittel 101 Tage im Jahr und die frostfreie Zeit erstreckt sich über 173 Tage. Das Untersuchungsgebiet weist ein winterkaltes, sommerkühles, relativ niederschlag- und schneereiches, kontinental beeinflusstes Talbeckenklima auf (PILGER, 2005). Für die Vegetation sind vor allem die Temperatur und die Länge der Vegetationsperiode die begrenzenden klimatischen Faktoren. Die wichtigsten Pflanzengesellschaften des regelmäßig gemähten Wirtschaftsgrünlandes auf frischen bis krumenwechsel-feuchten Standorten sind Frauenmantel-Glatthaferwiesen (*Alchemillo monticolae-Arrhenatheretum elatioris*), Kriech-Schaumkresse-Goldhaferwiesen (*Cardaminopsido halleri-Trisetetum flavescens*) und Rotschwengel-Straußgraswiesen (*Festuca rubra-Agrostis capillaris*-Gesellschaft) (BOHNER und SOBOTIK, 2000b). Der Fichten-Tannenwald ist in der montanen Stufe die Klimaxwaldgesellschaft (KILIAN et al., 1994). Die aktuelle Waldvegetation wird im Untersuchungsgebiet allerdings von einer Fichten-Ersatzgesellschaft dominiert.

2.3 Nutzung und Nutzungsgeschichte

Die Mähwiese wird zweimal pro Jahr gemäht und mäßig mit Gülle gedüngt. Das Alter der Grünlandbrache beträgt rund 7 Jahre. Vor der Flächenstilllegung wurde der erste Aufwuchs einmal pro Jahr mit der Sense gemäht und der Folgeaufwuchs beweidet. Nach der Flächenstilllegung wurde die Grünlandbrache mit Fichten in relativ weitem Abstand (ca. 2–5 m) aufgeforstet; auf der Untersuchungsfläche befinden sich vier Bäume mit maximal 120 cm Höhe.

3 Ergebnisse

3.1 Vegetation

Die zweischnittige, mäßig mit Gülle gedüngte Dauerwiese kann pflanzensoziologisch der Kriech-Schaumkresse-Goldhaferwiese (*Cardaminopsido halleri-Trisetetum flavescens*)

zugeordnet werden (Tabelle 1). Die zahlreichen Feuchtigkeits- und Wechselfeuchtigkeitszeiger weisen auf eine Hangwasserunterzügigkeit hin. Die reichlich vorhandenen Magerkeitszeiger, die geringe Artmächtigkeit von *Dactylis glomerata*, *Poa trivialis* und *Trisetum flavescens*, sowie die relativ hohe Moosdeckung (30 %) und die vereinzelt Baumsämlinge der Esche (*Fraxinus excelsior*) zeigen einen lückigen, extensiver genutzten Pflanzenbestand und einen nährstoffärmeren Boden an. Insbesondere *Anthoxanthum odoratum* und *Rhytidiadelphus squarrosus* erreichen einen relativ hohen Deckungsgrad. *Anthoxanthum odoratum* bevorzugt nährstoffärmere, saure Böden. *Rhytidiadelphus squarrosus* gilt im Wirtschaftsgrünland als Störzeiger und Lückenfüller (BOHNER et al., 2004). Die benachbarte Grünlandbrache ist von Dauerwiesen umgeben und grenzt im Westen an einen Fichtenforst an. Die locker mit Fichten aufgeforstete Grünlandbrache weist physiognomisch und floristisch eine Ähnlichkeit mit der Rotschwengel-Straußgraswiese (*Festuca rubra-Agrostis capillaris*-Gesellschaft) auf. Die moos- und untergrasreiche Grünlandbrache nimmt derzeit ein *Festuca rubra* ssp. *rubra*-Stadium ein. *Festuca rubra* ssp. *rubra* und *Rhytidiadelphus squarrosus* verzeichnen eine relativ hohe Artmächtigkeit. Die schattige, nord-exponierte Hanglage begünstigt eine hohe Moosdeckung (60 %). Die zahlreichen Feuchtigkeits- und Wechselfeuchtigkeitszeiger weisen auf eine Hangwasserunterzügigkeit hin.

In der von Untergräsern (insbesondere *Festuca rubra* ssp. *rubra*, *Poa pratensis* und *Agrostis capillaris*) dominierten Grünlandbrache fehlen – im Vergleich zur benachbarten Mähwiese – zahlreiche charakteristische Arten des Wirtschaftsgrünlandes (*Taraxacum officinale* agg., *Trifolium pratense* ssp. *pratense*, *Trifolium repens*, *Veronica serpyllifolia* ssp. *serpyllifolia*, *Cerastium holosteoides*, *Prunella vulgaris*, *Vicia sepium*). Auch der lichtbedürftige Magerkeitszeiger *Leontodon hispidus*, der Bodenverdichtungs- und Krumenwechsel-feuchtigkeitszeiger *Ranunculus repens*, der Weidezeiger *Leontodon autumnalis* sowie der Lückenfüller *Veronica arvensis* sind im Brachebestand nicht vertreten. Ursachen dafür sind wohl Lichtmangel in der unteren Bestandesschicht und ungünstige Keimbedingungen im moos- und untergrasreichen Brachebestand. Die Kennarten der Glatthaferwiese hingegen sind in der gräserdominierten Grünlandbrache etwas stärker vertreten als in der zweischnittigen Mähwiese. Insbesondere *Arrhenatherum elatius* hat an diesem Standort seinen klimatisch bedingten Arealrand erreicht. Der Glatthafer findet daher nur noch suboptimale Lebensbedingungen vor und ist somit besonders nut-

Tabelle 1: Allgemeine Standortsangaben und Vegetation

Bewirtschaftung: M2 = zweischnittige Mähwiese, Gb = Grünlandbrache; Muttergestein: Ph = Phyllit; Bodentyp: Be = Braunerde; kpV = krumenpseudovergleyt; Wasserhaushalt: kwu = krumenwechselfeucht, unterzünftig; fu = frisch, unterzünftig

Table 1: Site conditions and species composition (vascular plant species and moss species)

Bewirtschaftung	M2	Gb	<i>Trifolium pratense</i> ssp. <i>pratense</i>	1	
Seehöhe in m	730	730	<i>Trifolium repens</i>	1	
Hangneigung in °	18	20	<i>Veronica serpyllifolia</i> ssp. <i>serpyllifolia</i>	1	
Exposition	N	NNO	<i>Cerastium holosteoides</i>	1a	
Muttergestein	Ph	Ph	<i>Prunella vulgaris</i>	+	
Bodentyp	kpV Be	Be	<i>Vicia sepium</i>	+	
Wasserhaushalt	kwu	fu	Feuchtigkeits- und Wechselfeuchtigkeitszeiger		
pH-Wert in CaCl ₂ (0–10 cm)	5,2	5,1	<i>Filipendula ulmaria</i>	1a	1a
Offener Boden (%)	10	3	<i>Galium uliginosum</i>	+	1a
Moosdeckung (%)	30	60	<i>Lychnis flos-cuculi</i>	1a	r
Artenzahl Gefäßpflanzen	51	47	<i>Cardamine pratensis</i> ssp. <i>pratensis</i>	+	+
Artenzahl Moose	2	2	<i>Alchemilla glabra</i>	r	r
KA der Glatthaferwiese			<i>Angelica sylvestris</i>		1a
<i>Pimpinella major</i> ssp. <i>major</i>	1	1	<i>Cirsium oleraceum</i>	+	
<i>Campanula patula</i>	+	r	<i>Ranunculus auricomus</i> agg.	+	
<i>Galium album</i>		1a	<i>Carex leporina</i>	+	
<i>Arrhenatherum elatius</i>		+	<i>Myosotis nemorosa</i>		r
<i>Crepis biennis</i>	r		Magerkeitszeiger		
<i>Knautia arvensis</i> ssp. <i>arvensis</i>		+	<i>Festuca rubra</i> ssp. <i>rubra</i>	1b	3a
KA der Goldhaferwiese			<i>Anthoxanthum odoratum</i>	3a	+
<i>Alchemilla monticola</i>	2a	1a	<i>Agrostis capillaris</i>	2a	1b
<i>Primula elatior</i>	1b	1b	<i>Hypericum maculatum</i>	1a	2a
<i>Cardaminopsis halleri</i>	r	2a	<i>Luzula campestris</i>	+	1a
<i>Chaerophyllum hirsutum</i>		r	<i>Stellaria graminea</i>	r	1a
Verbreitete Arten des Wirtschaftsgrünlandes			<i>Avenula pubescens</i> ssp. <i>pubescens</i>		1b
<i>Poa pratensis</i>	1	2a	<i>Leontodon hispidus</i>	1a	
<i>Ranunculus acris</i> ssp. <i>acris</i>	1b	1	<i>Potentilla erecta</i>		1a
<i>Ajuga reptans</i>	1a	1a	<i>Campanula rotundifolia</i>		+
<i>Alopecurus pratensis</i>	1a	r	<i>Leucanthemum vulgare</i> agg.	r	
<i>Centaurea jacea</i>	+	+	<i>Platanthera bifolia</i>		r
<i>Festuca pratensis</i> ssp. <i>pratensis</i>	1	+	Verdichtungszeiger und Lückenfüller		
<i>Heracleum sphondylium</i> ssp. <i>sphondylium</i>	1	r	<i>Ranunculus repens</i>	+	
<i>Lathyrus pratensis</i>	1	+	<i>Leontodon autumnalis</i>	+	
<i>Plantago lanceolata</i>	1b	1a	<i>Veronica arvensis</i>	+	
<i>Veronica chamaedrys</i> ssp. <i>chamaedrys</i>	1	2	Waldpflanzen, Bäume, Sträucher		
<i>Rumex acetosa</i>	1b	+	<i>Anemone nemorosa</i>	2a	2
<i>Trisetum flavescens</i>	1	+	<i>Fraxinus excelsior</i> (Keimlinge)	+	+
<i>Poa trivialis</i>	+	+	<i>Corylus avellana</i> (45 cm)		+
<i>Vicia cracca</i>	+	+	<i>Picea abies</i> (120 cm)		+
<i>Phleum pratense</i>	+	+	Moose		
<i>Dactylis glomerata</i>	+	+	<i>Rhytidadelphus squarrosus</i>	2	3
<i>Achillea millefolium</i> agg.	+	+	<i>Cirriphyllum piliferum</i>	1	
<i>Taraxacum officinale</i> agg.	1		<i>Brachythecium salebrosum</i>		1

zungsempfindlich. Der Glatthafer und einzelne Kennarten der Glatthaferwiese ertragen deshalb im Untersuchungsgebiet je nach Standort maximal ein bis zwei Schnitte pro Jahr und werden durch Flächenstilllegung gefördert. Von der Nutzungsaufgabe profitieren außerdem schnittempfindliche, hochwüchsige Stauden (insb. *Angelica sylvestris*), schnittempfindliche Obergräser (insb. *Avenula pubescens* ssp. *pubescens*), einige Rhizompflanzen (insb. *Festuca rubra*

ssp. *rubra*, *Poa pratensis*, *Hypericum maculatum*, *Veronica chamaedrys* ssp. *chamaedrys*), schattenverträgliche Waldpflanzen (insb. *Anemone nemorosa*) und Moose (insb. *Rhytidadelphus squarrosus*).

Vor allem der Ausläufer-Rotschwengel breitet sich auf unterzünftig-frischen, tiefgründigen, sauren, nährstoffärmeren Böden in der montanen Stufe bei Flächenstilllegung mangels höherwüchsiger Konkurrenten (Obergräser und

hochwüchsige Stauden) im frühen Stadium der sekundären Sukzession stark aus und verdrängt dabei zahlreiche niedrigwüchsige, lichtbedürftige Kräuter und Leguminosen. Der dominierende und aspektprägende Ausläufer-Rot-schwengel bildet zusammen mit dem Moos *Rhytidiadelphus squarrosus* eine weitgehend geschlossene Vegetationsdecke mit nur 3 % offenem Boden. Das Keimen und Aufwachsen von Gehölzpflanzen sowie das Einwandern und Ausbreiten von Saum- und Ruderalarten werden durch die moos- und untergrasreiche Vegetationsdecke (wenig offener Boden), durch den Wurzelfilz im Oberboden (s.u.), durch die zeitweise hohe Nekromasse (Lichtmangel in Bodennähe) und durch den nährstoffärmeren Boden erschwert bzw. verhindert. Daher konnten bisher nur einige wenige Baumsämlinge der Esche (*Fraxinus excelsior*) und einige wenige Sträucher der Hasel (*Coryllus avellana*) vom Waldrand des benachbarten Fichtenforstes auf natürliche Weise in den Brachebestand einwandern. Gräserdominierte Grünlandbrachen bilden somit ein relativ stabiles Dauerstadium; eine rasche natürliche Verbuschung und Verwaldung sowie eine Versaumung, Verstaudung oder Ruderalisierung ist im Allgemeinen nicht zu erwarten. Von ihnen geht daher auch keine besondere Verunkrautungsgefahr für benachbarte Grünlandflächen aus.

Die gräserdominierte Grünlandbrache unterscheidet sich von der zweischnittigen Mähwiese auch hinsichtlich des Lebensformenspektrums: Therophyten und Chamaephyten fehlen; Geophyten und Phanerophyten sind relativ stärker vertreten (Tabelle 2). Therophyten fehlen in der Grünlandbrache wegen der weitgehend geschlossenen Vegetationsdecke; sie sind im Wirtschaftsgrünland bei gehäuftem Vorkommen ein Zeichen für lückige Pflanzenbestände, Übernutzung oder falsche Bewirtschaftung. In moos- und untergrasreichen Grünlandbrachen sind Therophyten, die auf eine generative Vermehrung und einen offenen Boden angewiesen sind, vor allem den Arten mit einer starken unterirdischen Ausläuferbildung wie beispielsweise *Festuca rubra* ssp. *rubra* deutlich unterlegen.

Tabelle 2: Lebensformenspektrum

Table 2: Life forms

	%				
	Th	He	Ge	Ch	Ph
Mähwiese	2	90	2	4	2
Grünlandbrache	0	90	4	0	6

Th = Therophyten; He = Hemikryptophyten; Ge = Geophyten;
Ch = Chamaephyten; Ph = Phanerophyten

Die gräserdominierte Grünlandbrache ist floristisch etwas artenärmer als die zweischnittige Mähwiese. Der Verlust zahlreicher charakteristischer Arten des Wirtschaftsgrünlandes wird durch neu eindringende Pflanzensippen nicht kompensiert, weshalb die α -Diversität sinkt. Eine drastische Verminderung der Vielfalt an Gefäßpflanzenarten infolge Flächenstilllegung ist allerdings wegen des nährstoffärmeren Bodens (s. u.) und der daraus resultierenden relativ geringen oberirdischen Phytomassebildung (bessere Lichtverhältnisse in Bodennähe) bisher noch nicht eingetreten. Eine starke floristische Verarmung erfolgt erst bei Ausbildung eines dichten Gebüsch- oder Wald-Stadiums. Attraktive, seltene oder gefährdete Pflanzenarten sind in die Grünlandbrache bisher nicht eingewandert. Die gräserdominierte Grünlandbrache ist ziemlich blütenarm und es treten keine farbenprächtigen Blühaspekte auf. Lediglich *Anemone nemorosa* und *Cardaminopsis halleri* bilden einen weißen Frühjahrsaspekt. Gräserdominierte Grünlandbrachen haben daher für den Pflanzenartenschutz und für die Landschaftsästhetik zumindest in Gebieten mit flächenmäßig hohem Grünlandanteil keine primäre Bedeutung.

3.2 Boden

Die Böden sind tiefgründige Braunerden aus Phyllit. Die Bodenart ist lehmiger Sand. Der Boden in der zweischnittigen Mähwiese ist deutlich krumenpseudovergleyt; die Humusform ist Feuchtmull im Gegensatz zu Mull in der Grünlandbrache. Die Streuauflage (L-Horizont) ist in der Mähwiese nur stellenweise 1–2 mm und in der Grünlandbrache durchgehend 1–2 mm mächtig. In der gräserdominierten Grünlandbrache kommt es wegen der relativ guten Zersetzungsbedingungen zu keiner bedeutenden Streuakkumulation.

Der Oberboden in der Gräserdominierten Grünlandbrache unterscheidet sich vom Oberboden in der zweischnittigen, mäßig mit Gülle gedüngten Dauerwiese in vielfältiger Weise (Tabellen 3–6). Die alljährlich größere Zufuhr von stickstoffärmerem ober- und unterirdischem Pflanzenmaterial sowie der wärmebedingte langsamere Abbau der organischen Substanz infolge niedrigerer mikrobieller Aktivität (s. u.) bewirken langfristig eine Humusanreicherung und Erweiterung des C:N-Verhältnisses im Falle einer Flächenstilllegung von Grünlandflächen. Die allmähliche Anreicherung von relativ stickstoffarmem Humus und die geringfügige Zunahme an austauschbarer Acidität infolge Akkumulation von saurer organischer Substanz bedeuten

aus landwirtschaftlicher Sicht eine Verschlechterung des Standortes. Grünlandbrachen haben wegen des gehemmten Abbaues der organischen Substanz und der daraus resultierenden allmählichen Humusanreicherung eine Senkenfunktion für das klimarelevante Gas CO₂. Mit der Anreicherung von relativ stickstoffarmem Humus erhöht sich außerdem die Stickstoff-Speicherkapazität des Oberbodens; dies ist aus ökologischer Sicht ebenfalls positiv zu beurteilen. Ein höherer C_{org}- und N_{tot}-Gehalt muss in Grünlandböden nicht unbedingt einen größeren C_{org}- und N_{tot}-Vorrat bedeuten. Der Vorrat an C_{org} und N_{tot} ist im Oberboden der Grünlandbrache deutlich geringer als im Oberboden der zweischnittigen Mähwiese, weil die Lagerungsdichte beträchtlich niedriger ist (Tabellen 6, 13). Daraus wird ersichtlich, dass bei der Beurteilung der Standortbonität und bei Düngeempfehlungen die (Nähr-)stoffgehalte sowohl auf Gewichtsbasis (mg kg⁻¹) als auch auf Volumsbasis (kg ha⁻¹) berücksichtigt werden sollten. Die

geringere Menge an potentiell mineralisierbarem Stickstoff (nachlieferbarer Stickstoff) im Bracheboden sowie der vergleichsweise niedrigere Phosphor- und Kaliumgehalt in allen untersuchten Fraktionen resultieren primär aus der fehlenden Düngung und dem geringeren Deckungsgrad der lichtbedürftigen, N₂-fixierenden Leguminosen. Die Gehalte an lactatlöslichem Phosphor und Kalium sind in beiden Oberböden sehr niedrig; dies begünstigt Untergräser vor allem zu Lasten von Leguminosen und ermöglicht eine höhere Vielfalt an Gefäßpflanzenarten (BOHNER, 2005). Eine Kaliumfixierung ist, vermutlich mangels kaliumfixierender Tonminerale, nicht festzustellen. Auch die effektive Kationenaustauschkapazität ist in beiden Oberböden vor allem wegen des relativ niedrigen pH-Wertes und Tongehaltes sehr gering. Die etwas höhere Aluminium-Sättigung, die vergleichsweise niedrigere Mangan-Sättigung und der deutlich niedrigere Gehalt an EDTA-extrahierbarem Mangan sind Hinweise für eine länger andauernde

Tabelle 3: Chemische Bodenkennwerte (0–10 cm Bodentiefe)
Table 3: Soil chemical properties (0–10 cm of soil depth)

	CaCl ₂ pH	μS cm ⁻¹ eL	%	%	Corg: Ntot	mg kg ⁻¹ 7d ⁻¹ nachl. N	mg 100 g ⁻¹ Nmin	mg kg ⁻¹				g kg ⁻¹	
								DL P	CAL P	H ₂ O P	CAL K	KW P	KW K
Mähwiese	5,2	69	4,1	0,4	10,3	239	2,7	23	37	4,5*	53*	1,1	1,2
Grünlandbrache	5,1	67	4,7	0,4	11,8	203	2,8*	20*	30	3,9*	51	0,7	1,0

eL = elektrische Leitfähigkeit; nachl. N = nachlieferbarer Stickstoff; N_{min} = NO₃-N + NH₄-N; P_{DL}, P_{CAL}, K_{CAL} = lactatlöslicher Phosphor- und Kalium-Gehalt; P_{H₂O} = wasserlöslicher Phosphor-Gehalt; P_{KW}, K_{KW} = Phosphor und Kalium im Königswasserextrakt; * = Variabilitätskoeffizient > 30 %

Tabelle 4: Chemische Bodenkennwerte (0–10 cm Bodentiefe)
Table 4: Soil chemical properties (0–10 cm of soil depth)

	% (BaCl ₂ -Extrakt)							mval 100 g ⁻¹	%
	Ca	Mg	K	Na	Al	Fe	Mn	KAK _{eff}	BS
Mähwiese	79,5	8,4*	2,5	1,4	3,6*	1,1	3,5	8,6	91,7
Grünlandbrache	78,1	11,3	2,1*	1,3	4,4*	1,1	1,9*	8,9	92,7

KAK_{eff} = effektive Kationenaustauschkapazität (BaCl₂-Extrakt); BS = Basensättigung; * = Variabilitätskoeffizient > 30 %

Tabelle 5: Chemische und physikalische Bodenkennwerte (0–10 cm Bodentiefe)
Table 5: Soil chemical and physical properties (0–10 cm of soil depth)

	mg kg ⁻¹ CaCl ₂ Mg	mg 100 g ⁻¹ H ₂ O SO ₄	mg 100 g ⁻¹ H ₂ O Cl	mg kg ⁻¹ B	mg kg ⁻¹ (EDTA-Extrakt)				K- Fixie- rung	%			%
					Fe	Mn	Cu	Zn		S	Z	T	
Mähwiese	71	4,8	3,4*	0,2	537	397	10,0	6,3	0	34	54	12	95
Grünlandbrache	105	4,3	2,6*	0,2	414	178	6,8	6,0	0	39	50	11	97

Mg CaCl₂ = CaCl₂-extrahierbarer Magnesium-Gehalt; SO₄ H₂O, Cl H₂O = wasserlöslicher Sulfat- und Chlorid-Gehalt; S = Sand; Z = Schluff; T = Ton; ASt = Aggregatstabilität; * = Variabilitätskoeffizient > 30 %

Tabelle 6: Physikalische Bodenkennwerte
Table 6: Soil physical properties

	Bodentiefe cm	Vol. % Wassergehalt	g cm ⁻³ Bodensubstanzdichte	g cm ⁻³ Lagerungsdichte	% Porenvolumen	Porenziffer	WG (Vol.%): PV (%)
Mähwiese	0–5	54	2,57	0,95	64	1,7	0,84
Grünlandbrache	0–5	43	2,57	0,87	66	2,0	0,65
Mähwiese	5–10	49	2,62	1,15	56	1,3	0,88
Grünlandbrache	5–10	42	2,60	0,90	65	1,9	0,66
Mähwiese	10–15	43	2,66	1,23	54	1,2	0,80
Grünlandbrache	10–15	44	2,62	1,11	58	1,4	0,76

WG (Vol.%) = Wassergehalt in Vol.%; PV = Porenvolumen

Bodenversauerung in der Grünlandbrache. Der deutlich höhere Gehalt an CaCl₂-extrahierbarem Magnesium und die relativ hohe Magnesiumsättigung im Oberboden der Grünlandbrache sind das Ergebnis einer Magnesiumanreicherung durch Bioakkumulation (s.u.).

Die geringfügig höhere Aggregatstabilität im Oberboden der Grünlandbrache dürfte vor allem mit der intensiveren Durchwurzelung (s. u.) zusammenhängen, denn Pflanzenwurzeln sind besonders wichtig für die Erhaltung einer hohen Aggregatstabilität im Boden.

In allen untersuchten Tiefenstufen weist der Boden in der zweischnittigen Mähwiese eine höhere Lagerungsdichte sowie ein geringeres Porenvolumen und eine niedrigere Porenziffer als der Boden in der Grünlandbrache auf. Diese Befunde sowie das deutlich ausgebildete Plattengefüge und die Krumpseudovergleyung sind ein Hinweis dafür, dass der Oberboden in der zweischnittigen Mähwiese auf Grund des regelmäßigen Befahrens mit Traktor und Erntegeräten verdichtet ist. Die Bodenverdichtung und das Plattengefüge sind am stärksten in der Tiefenstufe 5–10 cm ausgebildet; hier ist wegen der starken Verminderung der gesättigten Wasserleitfähigkeit die Krumpseudovergleyung am deutlichsten ausgeprägt. In der Tiefenstufe 0–5 cm verhindert die intensive Durchwurzelung der Gräser eine stärkere Verdichtung. Vor allem *Ranunculus repens*, aber auch *Carex leporina*, profitieren von dieser anthropogen bedingten Oberbodenverdichtung und Krumpseudovergleyung. Der Oberboden in der Grünlandbrache hingegen ist locker gelagert; eine Krumpseudovergleyung ist visuell nicht erkennbar. Die lockere Lagerung und das gut ausgebildete Krümelgefüge resultieren aus der intensiven Durchwurzelung des Oberbodens und der fehlenden temporären Druckbelastung durch Befahren mit landwirtschaftlichen Maschinen. Auf Grund der günstigeren Struktur des Oberbodens (bessere Bodendurchlüftung) und fehlenden Krumpseudovergleyung sind Bodenverdichtungs- und

Krumpseudovergleyungszeiger im Brachebestand nicht vorhanden (Tabelle 1). Im Oberboden der Mähwiese ist der Wasservorrat zum Zeitpunkt der Probenahme höher als im Oberboden der Grünlandbrache (73 versus 65 kg Wasser pro m² Boden in 0–15 cm Bodentiefe). Der volumetrische Wassergehalt ist in der Tiefenstufe 0–5 cm und 5–10 cm infolge Kompaktierung und Porenverteilung deutlich größer. Der höhere Quotient aus Wassergehalt in Vol. % und Porenvolumen ist ein Hinweis dafür, dass der verdichtete Mähwiesenboden im Oberboden weniger Gröbstporen als der lockere Bracheboden aufweist.

3.3 Mikrobielle Biomasse

Die substratinduzierte Respiration ist ein Maß für die mikrobielle Biomasse im Boden. Sie weist sowohl in der Mähwiese als auch in der Gräser-dominierten Grünlandbrache während des Untersuchungszeitraumes (Mai, Juni) ein annähernd gleichbleibendes Niveau auf. Die substratinduzierte Respiration ist bei allen Untersuchungsterminen im Oberboden der Grünlandbrache deutlich niedriger als im Oberboden der zweischnittigen, mäßig mit Gülle gedüngten Dauerwiese (Tabelle 7). Die langsamere Erwärmung des Bodens und die niedrigeren Bodentemperaturen während der Vegetationszeit (GISI und OERTLI, 1981d), die geringere Stickstoff- und Substratverfügbarkeit (weiteres C:N-Verhältnis der organischen Substanz, geringere Menge

Tabelle 7: Substratinduzierte Respiration (0–10 cm Bodentiefe)
Table 7: Substrate induced respiration (0–10 cm of soil depth)

	Substratinduzierte Respiration (mg CO ₂ 100 g ⁻¹ TS.h ⁻¹)			
	03.05.	27.05.	14.06.	24.06.
Mähwiese	11,6	12,1	10,6	12,0
Grünlandbrache	6,9	8,1	8,7	7,5

an potentiell mineralisierbarem Stickstoff) sowie die fehlende organische Düngung dürften für die deutlich niedrigere mikrobielle Biomasse im Oberboden der Grünlandbrache hauptverantwortlich sein. Die substratinduzierte Respiration kann auf Grund dieser Untersuchungsergebnisse als ein empfindlicher Indikator der Landnutzung betrachtet werden.

3.4 Unterirdische Phytomasse

Die zweischnittige, mäßig mit Gülle gedüngte Dauerwiese weist in allen untersuchten Tiefenstufen eine geringere unterirdische Phytomasse (Tabelle 8) sowie ein niedrigeres Wurzel:Spross-Verhältnis (Tabelle 9) als die gräserdominierte Grünlandbrache auf. Außerdem ist die unterirdische Phytomasse relativ stärker auf die Tiefenstufe 0–5 cm konzentriert.

Tabelle 8: Unterirdische Phytomasse (0–30 cm Bodentiefe)
Table 8: Below-ground phytomass (0–30 cm of soil depth)

Bodentiefe in cm	Mähwiese		Grünlandbrache	
	dt ha ⁻¹	%	dt ha ⁻¹	%
0–5	23,0	72,2	40,1	62,8
5–10	5,7	17,9	13,4	21,0
10–15	1,6	4,9	5,5	8,6
15–20	0,7	2,2	2,0	3,2
20–25	0,5	1,5	1,9	3,0
25–30	0,4	1,3	0,9	1,4
0–30	31,9	100,0	63,8	100,0

Für die geringere unterirdische Phytomasse und die Konzentration auf die oberste Bodenschicht sind floristische (mehr flachwurzelnde Pflanzen mit geringerer Wurzelmasse), pflanzenphysiologische (langsames Wurzelwachstum infolge geringerer Assimilat-Zufuhr vom Spross bedingt durch regelmäßige Schnittnutzung) und bodenökologische Gründe (rascherer Abbau toter Pflanzenwurzeln, höherer mechanischer Eindringwiderstand) ausschlaggebend. In der gräserdominierten Grünlandbrache hat sich in der Tie-

fenstufe 0–5 cm ein Wurzelfilz ausgebildet; trotzdem ist der Boden gleichmäßiger und tiefer durchwurzelt als in der zweischnittigen Mähwiese. Eine größere unterirdische Phytomasse steigert die Nährstoffausbeute pro Bodenvolumen. Es erhöht sich die räumliche Verfügbarkeit der Nährstoffe im Boden durch Verminderung der Distanz, die die Nährionen zu den Pflanzenwurzeln auf Grund von Massenfluss und Diffusion zurücklegen müssen (MARSCHNER, 1998).

3.5 Oberirdische Phytomasse und Mineralstoffgehalte

Die gräserdominierte Grünlandbrache weist zum Zeitpunkt des ersten Schnittes in der Mähwiese Ende Mai eine etwas höhere landwirtschaftlich nutzbare oberirdische Phytomasse als die zweischnittige Mähwiese auf (Tabelle 9). Der tiefgründige, unterzünftig-frische Bracheboden hat auf Grund des raschen Streuabbaues eine relativ hohe natürliche Produktivität. Die oberirdische Phytomasse weist in der gräserdominierten Grünlandbrache einen etwas höheren Gehalt an Rohfaser und stickstofffreien Extraktstoffen sowie einen geringfügig niedrigeren Gehalt an Rohprotein und Rohfett als die oberirdische Phytomasse in der zweischnittigen Mähwiese auf; auch die Verdaulichkeit der organischen Masse und der Energiegehalt sind niedriger (Tabelle 9). Gemessen an diesen Qualitätsparametern liefert die Grünlandbrache eine vergleichsweise schlechtere Futterqualität. Die oberirdische Phytomasse weist in der gräserdominierten Grünlandbrache einen höheren Gehalt an K, Mg, Cl, Fe, Cu, Zn, Cr und Pb als die oberirdische Phytomasse in der kräuterreicheren Mähwiese auf; der Gehalt an Makronährstoffen (MAK) sowie Mikronährstoffen und nützlichen Elementen (MIKNÜ) ist trotz höherem Gräseranteils vergleichsweise größer (Tabelle 10, 11, 12). Besonders hervorzuheben ist der überaus niedrige Kaliumgehalt in der oberirdischen Phytomasse beider Pflanzenbestände. Insbesondere die geringe Kaliumverfügbarkeit im Boden infolge niedriger Kaliumgehalte dürfte ein wesentli-

Tabelle 9: Landwirtschaftlich nutzbare oberirdische Phytomasse, Wurzel:Spross-Verhältnis und Futterinhaltsstoffe (1. Aufwuchs)
Table 9: Harvestable above-ground phytomass, root:shoot-ratio, and forage quality (1st growth)

	dt ha ⁻¹ Ph	Wu: Spr.- Verh.	g kg ⁻¹ TM					% DOM	MJ NEL
			RFA	RP	RFE	RA	NFE		
Mähwiese	21	1,5	221	126	20	56	545	63	5,1
Grünlandbrache	24	2,5	243	122	18	55	562	58	4,5

Ph = landwirtschaftlich nutzbare oberirdische Phytomasse; Wu:Spr.-Verh. = Wurzel:Spross-Verhältnis; RFA = Rohfaser; RP = Rohprotein; RFE = Rohfett; RA = Rohasche; NFE = Stickstoff-freie Extraktstoffe; DOM = Verdaulichkeit der organischen Masse; NEL = Energiegehalt in MJ NEL

cher limitierender Faktor für das Pflanzenwachstum an beiden Standorten sein. Daher fehlen in beiden Pflanzengesellschaften einige charakteristische Nährstoffzeiger mit hohem Kaliumbedarf wie beispielsweise *Aegopodium podagraria*, *Anthriscus sylvestris* und *Rumex obtusifolius*. *Festuca rubra* ssp. *rubra* hingegen scheint ein relativ hohes Aneignungsvermögen für Kalium zu besitzen, denn der Ausläufer-Rotschwingel zeigt vor allem in der Grünlandbrache trotz niedrigem Kaliumgehalt im Boden eine sehr hohe Konkurrenzkraft. Der – im Vergleich zu Kalium – relativ hohe Magnesiumgehalt insbesondere in der oberirdischen Phytomasse der gräserdominierten Grünlandbrache dürfte Folge der geringen Kaliumverfügbarkeit im Boden sein (KIRKBY und MENGEL, 1976). Durch Abbau der relativ magnesiumreichen Bestandesabfälle reichert sich der Oberboden in der Grünlandbrache allmählich mit Magnesium an; die Flächenstilllegung führt deshalb auf kaliumarmen Böden zu einer Magnesium-Akkumulation im Oberboden. Die relativ hohen Gehalte an Mangan, Zink und Nickel in beiden Pflanzenbeständen (Tabelle 11) resultieren primär aus den verhältnismäßig niedrigen Boden-pH-Werten und geringen effektiven Kationenaustauschkapazitäten. Die Nährstoffeffizienz (Menge an produzierter oberirdischer Phytomasse pro Einheit aufgenommenen Nährstoffs) ist in beiden Phytozönosen relativ hoch (Tabelle 12). Dies ist eine wichtige Anpassung der Pflanzen an eine niedrige Nährstoffverfügbarkeit im Boden (CHAPIN, 1980) und zeigt eine hohe Effizienz der Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumverwertung für die oberirdische Phytomasseproduktion an. Der fehlende Nährstoffentzug durch Mahd und der rasche Streuabbau in der Grünlandbrache bewirken, dass einzelne Nährstoffe verstärkt in der oberirdischen Phytomasse akkumulieren. Beispielsweise sind in der Grünlandbrache Ende

Mai 1,4 % vom Gesamtstickstoffvorrat des Bodens, 2,7 % vom Kaliumvorrat des Bodens und 1,0 % vom Phosphorvorrat des Bodens in der landwirtschaftlich nutzbaren oberirdischen Phytomasse gespeichert. In der zweischnittigen Mähwiese sind diese Werte mit 1,2 %, 1,4 % und 0,5 % deutlich niedriger (Tabelle 13).

Diese individuelle Nährstoffanreicherung in der oberirdischen Phytomasse (Auteutrophierung) ohne nennenswerte Nährstoffakkumulation im Oberboden (ausgenommen Magnesium) ist kein Konzentrationseffekt resultierend aus einer niedrigen Wachstumsrate, sondern Folge einer höheren Bioverfügbarkeit im Boden infolge Flächenstilllegung. Der relativ niedrige Stickstoffgehalt und Stickstoffvorrat in der oberirdischen Phytomasse des Brachebestandes (Tabelle 10, 13) ist ein Hinweis für eine relativ geringe Stickstoffverfügbarkeit im Bracheboden. Diese dürfte mit ungünstigen Mineralisierungsbedingungen (langsame und geringe Bodenerwärmung, relativ weites C:N-Verhältnis der organischen Substanz), mit der fehlenden Düngung und mit der geringen N₂-Fixierung durch Leguminosen zusammenhängen. Eine geringe Stickstoff- und Kaliumverfügbarkeit im Boden begünstigt somit die Entstehung eines relativ stabilen *Festuca rubra* ssp. *rubra*-Stadiums im Falle einer Flächenstilllegung von montanem Wirtschaftsgrünland auf sauren, tiefgründigen, unterzünftig-frischen Böden.

4 Schlussfolgerungen

Durch diese Untersuchungsergebnisse werden die bekannten Auswirkungen einer Grünlandbewirtschaftung und Flächenstilllegung auf Vegetation und Boden weitgehend bestätigt. Grünland muss standortgemäß bewirtschaftet werden, wenn

Tabelle 10: Mineralstoffgehalte in der landwirtschaftlich nutzbaren oberirdischen Phytomasse (1. Aufwuchs)

Table 10: Mineral element content in harvestable plant shoot dry matter (1st growth)

	g kg ⁻¹ TM							
	N	P	S	K	Ca	Mg	Cl	Na
Mähwiese	22,0	2,6	1,8	8,4	7,3	2,2	1,3	0,2
Grünlandbrache	21,2	2,7	1,9	10,1	6,6	2,5	2,2	0,1

Tabelle 11: Mineralstoffgehalte in der landwirtschaftlich nutzbaren oberirdischen Phytomasse (1. Aufwuchs)

Table 11: Mineral element content in harvestable plant shoot dry matter (1st growth)

	mg kg ⁻¹ TM													
	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo	Ni	Co	Cr	Se	As	Pb	Cd	NO ₃
Mähwiese	164*	227	5,3	36	7,5	0,57	5,45	0,12	0,48*	0,01	0,16*	0,31*	0,27	266
Grünlandbrache	206	226	6,2	52	7,3	0,42*	3,00	0,13	0,69	0,02	0,08	0,59	0,23	201*

* = Variabilitätskoeffizient > 30 %

Tabelle 12: Nährstoffgehalte, Nährstoffrelationen und Nährstoff-Effizienz (1. Aufwuchs)

Table 12: Mineral element content, ratios of mineral elements in harvestable plant shoot dry matter, and nutrient-use efficiency (1st growth)

	g kg ⁻¹ TM											Nährstoff-E.		
	MAK	MIKNÜ	N:P	N:S	N:K	N:Ca	N:Mg	K:P	K:Ca	K:Mg	Ca:Mg	N	P	K
Mähwiese	37*	2,0	8,5	11,9	2,7	3,0	10,0	3,2	1,2	3,9	3,4	45	385	119
Grünlandbrache	45	2,7	7,8	11,4	2,2*	3,3	8,4	3,7	1,5	4,0	2,6	48	368	101

MAK = Σ N, P, S, K, Mg, Ca; MIKNÜ = Σ Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl, Ni, Na, Co; Nährstoff-E. = Nährstoff-Effizienz (Quotient aus erntbarer Phytomasse und deren Nährstoffmenge); * = Variabilitätskoeffizient > 30 %

Tabelle 13: Vorrat an Kohlenstoff, Stickstoff, Kalium und Phosphor im Boden (0–10 cm) sowie in der landwirtschaftlich nutzbaren oberirdischen Phytomasse (1. Aufwuchs; ohne Stoppelmasse)

Table 13: Storage of carbon, nitrogen, potassium, and phosphorus in the soil (0–10 cm) and in the harvestable above-ground phytomass (without stubbles; 1st growth)

Vorrat	Boden (0-10 cm)		Vorrat lw. nutz. Phytomasse (1. Aufwuchs)		Vorrat lw. nutz. Phytomasse in % Vorrat Boden	
	kg ha ⁻¹		kg ha ⁻¹		%	
	Mähwiese	Grünlandbrache	Mähwiese	Grünlandbrache	Mähwiese	Grünlandbrache
C*	43050	41830	952**	1071**	2,2	2,6
N*	4200	3560	50,4	50,0	1,2	1,4
K*	1260	890	17,6	24,2	1,4	2,7
P*	1155	623	5,5	6,5	0,5	1,0

* Anm.: im Boden gilt: C = C_{org}, N = N_{tot}, K = Kalium im Königswasserextrakt, P = Phosphor im Königswasserextrakt

** Annahme: 45 % C in oberird. Phytomasse; Vorrat lw. nutz. Phytomasse = Vorrat in der landwirtschaftlich nutzbaren oberirdischen Phytomasse

die hohe Vielfalt an Gefäßpflanzenarten erhalten werden soll. Das Ausmaß und die Geschwindigkeit der Bestandesveränderungen infolge Flächenstilllegung hängen sehr wesentlich vom Standort (insbesondere Nährstoff- und Wasserhaushalt) ab. Die Pflanzengesellschaft bleibt in der montanen Stufe auf sauren, nährstoffärmeren, tiefgründigen, unterzünftig-frischen Böden floristisch und strukturell lange in ihren Grundzügen erhalten, verarmt aber an niedrigwüchsigen, lichtbedürftigen Gefäßpflanzenarten. Im ersten Brachestadium begünstigt eine geringe Stickstoff- und Kaliumverfügbarkeit im Boden die Entstehung von *Festuca rubra* ssp. *rubra*-dominierten Grünlandbrachen. Diese gehen wegen der sehr langsamen Verbuschung und Verwaldung nicht sofort als landwirtschaftliche Nutzflächen verloren; eine Grünlandbewirtschaftung kann jederzeit problemlos wieder aufgenommen werden. Gräserdominierte Grünlandbrachen sind im österreichischen Berggebiet auf Grund des flächenmäßig hohen Grünlandanteils eher unauffällige Pflanzengesellschaften ohne primäre Bedeutung für den Pflanzenartenschutz und die Landschaftsästhetik. Sie erhöhen allerdings die Gesellschaftsvielfalt einer Landschaft (β -Diversität). Daher sollten Aufforstungen mit Fichten insbesondere in waldreichen Gebieten unterlassen werden. Zu ihrer Stabilisierung wären alle 5–10 Jahre Entbuschungsmaßnahmen oder eine Pflegemahd erforderlich.

Danksagung

Für die Bestimmung der Moose und *Alchemillen* danken wir F. GRIMS. Die Bodenproben wurden an der Österreichischen Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit in Wien und die Futterproben an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein sowie an der Österreichischen Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit in Linz analysiert, wofür wir uns bei DI J. MITTENDORFER, Dr. K. AICHBERGER und Dr. A. BAUMGARTEN recht herzlich bedanken. Den Gutachtern danken wir für Anmerkungen und konstruktive Kritik.

Literatur

- ADLER, W., K. OSWALD und R. FISCHER (1994): Exkursionsflora von Österreich. Ulmer Verlag, 1180 S.
- BECK, T., R. ÖHLINGER und A. BAUMGARTEN (1993): Bestimmung der Biomasse mittels substratinduzierter Respiration (SIR) im Isermeyer-Ansatz. In: SCHINNER, F., R. ÖHLINGER, E. KANDELER und R. MARGESIN (Hrsg.): Bodenbiologische Arbeitsmethoden. Springer Verlag, 68–72.
- BOHNER, A. und M. SOBOTIK (2000a): Der Landschafts-

- raum und seine Rahmenbedingungen für die Grünlandbewirtschaftung im Mittleren Steirischen Ennstal. MaB-Forschungsbericht „Landschaft und Landwirtschaft im Wandel“, Akademie der Wissenschaften. BAL Gumpenstein, 5–14.
- BOHNER, A. und M. SOBOTIK (2000b): Das Wirtschaftsgrünland im Mittleren Steirischen Ennstal aus vegetationsökologischer Sicht. MaB-Forschungsbericht „Landschaft und Landwirtschaft im Wandel“, Akademie der Wissenschaften. BAL Gumpenstein, 15–50.
- BOHNER, A., F. GRIMS und M. SOBOTIK (2004): Die Narzissenwiesen im Steirischen Salzkammergut (Steiermark, Österreich) – Ökologie, Soziologie und Naturschutz. *Tuexenia* 24, 247–264.
- BOHNER, A. (2005): Soil chemical properties as indicators of plant species richness in grassland communities. *Grassland Science in Europe*, Volume 10, 48–51.
- BRAUN-BLANQUET, J. (1964): *Pflanzensoziologie*. Springer Verlag, 865 S.
- BRIEMLE, G., H.-G. KUNZ und A. MÜLLER (1987): Zur Mindestpflege der Kulturlandschaft, insbesondere von Brachflächen, aus ökologischer und ökonomischer Sicht. *Veröffentlichungen Naturschutz Landschaftspflege Baden-Württemberg* 62, 141–160.
- BRIEMLE, G. (1994): Extensivierung einer Fettwiese und deren Auswirkung auf die Vegetation. Ergebnisse eines Freilandversuches. *Veröffentlichungen Naturschutz Landschaftspflege Baden-Württemberg* 68/69, 109–133.
- BRIEMLE, G. (1998): Aulendorfer Extensivierungsversuch: Ergebnisse aus 10 Jahren Grünlandausmagerung. *Landinfo* 8/98, 1–8.
- BROLL, G. (1996): Auswirkungen der Extensivierung auf den Boden. *Bulletin Bodenkundlicher Gesellschaft der Schweiz*, Band 20, 15–24.
- CHAPIN, S. (1980): The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 11, 233–260.
- DIERSCHKE, H. und G. BRIEMLE (2002): *Kulturgrasland*. Ulmer Verlag, 239 S.
- DÜLL, R. (1994): *Deutschlands Moose*. 3. Teil, Verlag Bad Münstereifel-Ohlerath.
- FLÜGEL, H. W. und F. NEUBAUER (1984): *Steiermark. Geologie der österreichischen Bundesländer in kurzgefassten Einzeldarstellungen*. Geologische Bundesanstalt Wien, 127 S.
- GASS, P. und J. J. OERTLI (1980): Durchwurzelungsvergleich zwischen Fettwiese und angrenzender Brachwiese. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, Band 143, 208–214.
- GISI, U., P. FROSSARD und J. J. OERTLI (1979): Bodenkundlicher Vergleich von Kultur- und Brachland im Schweizer Jura. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, Band 142, 639–654.
- GISI, U. und J. J. OERTLI (1981a): Ökologische Entwicklung in Brachland verglichen mit Kulturwiesen. I. Physikalisch-chemische Veränderungen im Boden. *Oecologia Plantarum*, Volume 2, 7–21.
- GISI, U. und J. J. OERTLI (1981b): Ökologische Entwicklung in Brachland verglichen mit Kulturwiesen. II. Veränderungen in ober- und unterirdischer Pflanzenmasse. *Oecologia Plantarum*, Volume 2, 79–86.
- GISI, U. und J. J. OERTLI (1981c): Ökologische Entwicklung in Brachland verglichen mit Kulturwiesen. III. Mikrobiologische Veränderungen im Boden. *Oecologia Plantarum*, Volume 2, 165–175.
- GISI, U. und J. J. OERTLI (1981d): Ökologische Entwicklung in Brachland verglichen mit Kulturwiesen. IV. Veränderungen im Mikroklima. *Oecologia Plantarum*, Volume 2, 233–249.
- GLAVAC, V. (1996): *Vegetationsökologie*. Gustav Fischer Verlag, 358 S.
- HARTGE, K. H. und R. HORN (1989): *Die physikalische Untersuchung von Böden*. Enke Verlag, 175 S.
- HARTMANN, J. und J. J. OERTLI (1984): Beitrag zur Kenntnis des Stickstoff-, Kalium-, Calcium- und Magnesiumkreislaufs in Mähwiesen und Brachen des Nordwestschweizer Jura. *Oecologia Plantarum*, Volume 5, 265–278.
- HOLZNER, W. et al. (1989): *Biotoptypen in Österreich*. Vorarbeiten zu einem Katalog. Umweltbundesamt, 233 S.
- KEMPER, W. D. and E. J. KOCH (1966): Aggregate stability of soils from Western United States and Canada. Measurement procedure, correlations with soil constituents. Technical Bulletin 1355, Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture, Washington, 1–52.
- KILLAN, W., F. MÜLLER und F. STARLINGER (1994): *Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs*. FBVA-Berichte 82, 60 S.
- KIRKBY, E. A. and K. MENGEL (1976): The role of magnesium in plant nutrition. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, Band 139, 209–222.
- MARSCHNER, H. (1998): *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press, 889 S.
- PILGER, H. (2005): Meteorologische Charakteristika der Station Gumpenstein und ihre Einbindung in größere

- Räume. Seminar „50 Jahre meteorologische Beobachtungen in Gumpenstein 1955–2004“. Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 11–16.
- SCHREIBER, K.-F. (1980): Entwicklung von Brachflächen in Baden-Württemberg unter dem Einfluss verschiedener Landschaftspflegemaßnahmen. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie. Band VIII, 185–203.
- SCHREIBER, K.-F. und J. SCHIEFER (1985): Vegetations- und Stoffdynamik in Grünlandbrachen – 10 Jahre Bracheversuche in Baden-Württemberg. In: SCHREIBER, K.-F. (Hrsg.): Sukzession auf Grünlandbrachen. S. 111–153.
- SMUCKER, A. J. M., S. L. McBURNEY and A. K. SRIVASTANA (1982): Quantitative separation of roots from compacted soil profiles by the Hydropneumatik Elutriation System. *Agronomy Journal*, 500–503.
- SPATZ, G. (1994): Freiflächenpflege. Ulmer Verlag, 296 S.
- STÖCKLIN, J. und U. GISI (1989): Veränderungen der Versorgung der Vegetation mit Stickstoff, Phosphor und Kalium nach Brachlegung von Magerwiesen. *Oecologia Plantarum*, Volume 10, 397–410.
- TILLEY, J. M. A. and R. A. TERRY (1963): A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Journal of British Grassland Society* 18: 104–111.
- WOLF, G. (1979): Veränderung der Vegetation und Abbau der organischen Substanz in aufgegebenen Wiesen des Westerwaldes. Schriftenreihe für Vegetationskunde, Heft 13, 115 S.

Anschrift der Verfasser

Dr. Andreas Bohner, Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Abteilung Umweltökologie, Raumberg 38, 8952 Irdning, Austria

E-Mail: andreas.bohner@raumberg-gumpenstein.at

Dr. Richard Öhlinger, Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH und Bundesamt für Ernährungssicherheit, Agrarbiologie Linz, Wieningerstraße 8, 4021 Linz, Austria

Dr. Olga Tomanová, U parního mlýna 4, CZ-170 00 Prag 7

Eingelangt am 30. Januar 2003

Angenommen am 14. Februar 2006