

Einfluss einer Nutzungsintensivierung auf Wurzelmasse und Wurzelverteilung im Grünlandboden

Andreas Böhner^{1*} und Markus Herndl¹

Zusammenfassung

Um die Auswirkungen einer Nutzungsintensivierung auf die Wurzelmasse und räumliche Wurzelverteilung im Grünlandboden unter praxisnahen Verhältnissen feststellen und bewerten zu können, wurden innerhalb einer relativ intensiv genutzten Kulturweide eine Trittgemeinschaft, eine Weidemeinschaft und eine Weidezaunmeinschaft im Hinblick auf ihre chemischen und physikalischen Bodeneigenschaften, Pflanzenartenzusammensetzung und unterirdische Phytomasse vergleichend untersucht.

Die Wurzelmasse und die räumliche Wurzelverteilung im Grünlandboden sind Bioindikatoren für die Nutzungsintensität. Ein verdichteter, nährstoffreicher Boden fördert flachwurzelnde Pflanzenarten mit geringerer Wurzelmasse. Eine Intensivierung der Grünlandbewirtschaftung bewirkt somit vor allem durch Änderungen in der Artenzusammensetzung des Pflanzenbestandes eine Verminderung der unterirdischen Phytomasse und gleichzeitig auch eine relativ stärkere Anreicherung in der Tiefenstufe 0-5 cm. Daraus resultiert eine ungleichmäßige Wurzelverteilung im Boden. Die möglichen ökologischen Konsequenzen für den Standort und das Pflanzenwachstum werden diskutiert. Über die Bedeutung von Weidezäunen für die Vegetationsstypenvielfalt und Phytodiversität in der Kulturlandschaft wird ausführlich berichtet.

Schlagwörter: Trittgemeinschaft, Weidemeinschaft, Weidezaunmeinschaft, Pflanzenartenzusammensetzung, chemische und physikalische Bodeneigenschaften, unterirdische Phytomasse

Summary

The aim of this study was to examine the effects of an intensification of grassland management on the below-ground phytomass and the distribution of roots in the soil profile. Therefore, within a permanent pasture we investigated three different vegetation types, representing different levels of disturbance and nutrients in the soil: (1) a plant community of an intensively trampled habitat which has been developed near the entry of the pasture on a compacted, nutrient-rich soil, (2) a plant community of a grazed habitat in the middle of the pasture on a compacted, nutrient-rich soil and (3) a plant community on an uncompacted, nutrient-poor soil located under the fence. This habitat is characterized by grazing without cattle trampling.

The below-ground phytomass and the distribution of roots in the soil profile are bioindicators for the intensity of grassland management. A compacted, nutrient-rich soil favors shallow-rooted plant species with a smaller below-ground phytomass. An intensification of grassland management cause a change in the plant species composition of the vegetation, leading to a decrease in below-ground phytomass, to a marked accumulation in the uppermost 5 cm of the grassland soil and to a less uniform root distribution in the soil profile. The possible ecological consequences both for the site and the plant growth will be discussed. Furthermore, we report on the importance of fences for the diversity of vegetation types and plant species richness in the cultural landscape.

Keywords: trampled habitat, grazed habitat, untrampled habitat under the fence, plant species composition, soil chemical and physical properties, below-ground phytomass

Einleitung

Auf Grund geänderter sozioökonomischer Rahmenbedingungen sind im österreichischen Berggebiet zurzeit zwei gegenläufige Trends zu beobachten: Intensivierung der Grünlandbewirtschaftung einerseits und Bewirtschaftungsaufgabe andererseits. Vor allem Grünlandflächen mit höherem Ertragspotenzial, günstigen Geländebedingungen und guter Erreichbarkeit werden in Zukunft vermutlich intensiver genutzt. Hofferne, schwer erreichbare oder auf Grund der Hangneigung und Geländebedingungen schwer zu bewirtschaftende Flächen hingegen werden möglicherweise bald nicht mehr gemäht oder beweidet und vor allem mit Fichten aufgeforstet. In jenen Regionen, wo für

die Vegetation die Temperatur und die Länge der Vegetationsperiode die begrenzenden klimatischen Faktoren sind, dürfte auch der Klimawandel allmählich zu einer Nutzungsintensivierung führen. Eine Intensivierung der Grünlandbewirtschaftung bewirkt eine Verminderung der Pflanzenartenvielfalt (Phytodiversität), einen Verlust an Rote Liste-Arten (seltene bzw. gefährdete Pflanzenarten), eine Uniformierung der Phytozönose, einen Rückgang von Pflanzengesellschaften des Extensivgrünlandes und letztendlich einen Attraktivitätsverlust der Kulturlandschaft (BOHNER 2007). Insbesondere durch die Arbeiten von KLAPP (1943, 1971) und KMOCH (1952) ist nachgewiesen, dass eine Nutzungsintensivierung auch Auswirkungen auf die unterirdische Phytomasse hat.

¹ Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein (LFZ), Abt. Umweltökologie, Raumberg 38, A-8952 IRDNING

* Ansprechpartner: Dr. Andreas Böhner, andreas.boehner@raumberg-gumpenstein.at

Die Pflanzenarten unterscheiden sich sowohl in der Wurzelmasse als auch im Wurzeltiefgang (KLAPP 1943). Gräser haben im Allgemeinen eine größere Wurzelmasse als Leguminosen und die Mehrzahl der Kräuter; sie durchwurzeln daher den Boden intensiver (KMOCH 1952, KULLMANN 1957). Die Wurzelmasse und der Wurzeltiefgang sind bei Untergräsern in der Regel geringer als bei Obergräsern (KMOCH 1952, KLAPP 1971). Auf Grund dieser artspezifischen Unterschiede weisen die einzelnen Vegetationstypen grundsätzlich verschiedene Wurzelmassen und Tiefen der Durchwurzelung auf (KLAPP 1943). Neben der Pflanzenartenzusammensetzung, den Bodeneigenschaften und Klimaverhältnissen (LICHTENEGGER 1983, 1997) werden die Wurzelmasse und die räumliche Wurzelverteilung im Boden entscheidend von der Intensität der Grünlandbewirtschaftung beeinflusst. Je häufiger eine Nutzung durch Mahd oder Beweidung erfolgt, desto geringer werden Wurzelmasse und Wurzeltiefgang (KLAPP 1943, 1971, KMOCH 1952, SCHULZE und MUES 1961, SOBOTIK 1989). Die unterirdische Phytomasse nimmt dabei nicht gleichmäßig in allen Tiefen ab, sondern besonders stark in tieferen Bodenschichten. Vor allem bei intensiver Beweidung verringert sich die Wurzelmasse und sie verlagert sich noch stärker in die oberste Bodenschicht (KMOCH 1952, KLAPP 1971). Daher weisen intensiv genutzte Weidelgras-Weiden eine geringere Wurzelmasse auf als extensiv genutzte Rotschwingel-Straußgras-Weiden (KMOCH 1952). Die Verminderung der Wurzelmasse und Durchwurzelungstiefe infolge intensiver Nutzung erfolgt primär durch Änderungen in der Pflanzenartenzusammensetzung im Grünlandbestand; flachwurzelnde Arten mit geringerer Wurzelmasse werden durch Nutzungsintensivierung in der Regel gefördert (KLAPP 1951, SOBOTIK 1989). Die Verminderung des Wurzelwachstums durch intensive Nutzung tritt aber auch bei Einzelpflanzen einer Art in Erscheinung (KLAPP 1951).

Auch die Düngung vermindert die Wurzelmasse in erster Linie durch Änderungen in der Pflanzenartenzusammensetzung im Grünlandbestand (SCHULZE und MUES 1961, SPEIDEL 1986, BOHNER 1998). Die Düngung fördert insbesondere das Sprosswachstum. Daher können in nährstoffreichen Böden weniger Assimilate an die Wurzeln abgegeben werden als in nährstoffarmen Böden (KLAPP 1971). Arten, die auf nährstoffarmen Böden wachsen (Margerkeitszeiger) investieren stärker in das Wurzelwachstum als Arten von nährstoffreichen Böden (MARSCHNER 1998), folglich sind nährstoffreiche Ökosysteme in der Regel durch eine geringere Wurzelmasse und ein höheres Spross-Wurzel-Verhältnis als nährstoffarme Ökosysteme charakterisiert (WERGER 1983). Hinzu kommt, dass in nährstoffreichen Böden die Zersetzung der abgestorbenen Wurzeln rascher erfolgt als in nährstoffarmen Böden (KMOCH 1952). Dies führt ebenfalls zu niedrigeren Wurzelmassen in nährstoffreichen Böden.

Die Lagerungsdichte eines Bodens beeinflusst maßgeblich seine Durchlüftung und seinen mechanischen Eindringwiderstand. Die Wurzeln bevorzugen für ihr Wachstum einen lockeren Boden, weil für ein ungehindertes Wurzelwachstum ein ausreichender Gasaustausch erforderlich ist (MOHR 1980). Die Wurzelmasse, Wurzellänge und Wurzeloberflä-

che werden in der Regel durch Bodenverdichtung reduziert (BERGMANN 1954, KEITA und STEFFENS 1989). Die Verminderung des Wurzelwachstums in verdichteten Böden wird auf den erhöhten mechanischen Eindringwiderstand und auf den gehemmten Gasaustausch zurückgeführt (MOHR 1980, HELAL 1991).

Inwieweit diese Forschungsergebnisse auch für das Grünland im österreichischen Berggebiet Gültigkeit haben, ist vorerst schwer zu beurteilen, da die Auswirkungen einer Nutzungsintensivierung auf die Wurzelmasse und räumliche Wurzelverteilung im Grünlandboden bisher noch unzureichend mit Daten aus diesem Landschaftsraum dokumentiert sind. In der vorliegenden Arbeit soll auf Grund der Literatur und einer eigenen Untersuchung diese Thematik behandelt werden. Dazu wurde allerdings kein Versuch angelegt. Es werden im Rahmen dieser Arbeit vielmehr Daten ausgewertet, die für eine ganz andere Fragestellung erhoben wurden. Die Untersuchung war ursprünglich für Biodiversitätsfragen in der Kulturlandschaft konzipiert. Das Ziel war die Erfassung und Analyse der Pflanzenartenvielfalt in Abhängigkeit von den aktuellen Umweltbedingungen. Dabei wurden auch eine Trittpflanzengesellschaft, eine Weidegesellschaft und eine Weidezaungesellschaft im Sinne von VOLLRATH 1970 vergleichend untersucht. Ihre Standorte wurden mittels detaillierter Standortuntersuchungen vegetationsökologisch charakterisiert; außerdem wurde die ober- und unterirdische Phytomasse bestimmt. Die Ergebnisse eines Teiles dieser Biodiversitätsstudie erscheinen uns bedeutsam genug, um hier mitgeteilt zu werden.

Material und Methoden

Untersuchungsmethoden

Um die Auswirkungen einer Nutzungsintensivierung auf die Wurzelmasse und räumliche Wurzelverteilung im Grünlandboden unter praxisnahen Verhältnissen feststellen und bewerten zu können, wurden innerhalb einer relativ intensiv genutzten Kulturweide eine Trittgengesellschaft, eine Weidegesellschaft und eine Weidezaungesellschaft im Hinblick auf chemische und physikalische Bodeneigenschaften, Pflanzenartenzusammensetzung und unterirdische Phytomasse vergleichend untersucht. Die räumlich eng beinander liegenden Vegetationstypen unterschieden sich nur in der Häufigkeit der Störung durch Tritt und Verbiss sowie in der Nährstoffzufuhr durch Düngung und Exkremate der Weidetiere. Der klimatische, orographische, lithologische und pedologische Ausgangszustand war weitgehend identisch. Differenzen hinsichtlich Pflanzenartenzusammensetzung, unterirdischer Phytomasse sowie physikalischer und chemischer Bodeneigenschaften können bei diesem Biotopvergleich in erster Linie auf die unterschiedliche Düngungszufuhr und Häufigkeit der Störung zurückgeführt werden. Methodisch handelte es sich bei dieser Untersuchung um eine Direkte Gradientenanalyse im Sinne von GLAVAC (1996). Innerhalb der Kulturweide wurden insgesamt fünf Untersuchungsflächen räumlich getrennt in Form eines Profils angeordnet. Die Untersuchungsfläche der Trittgengesellschaft befand sich beim Weideeingang. Sie repräsentiert ein häufig betretenes und stark mit Harn und

Kot der Weidetiere gedüngtes Ökosystem. Die drei Untersuchungsflächen der Weidegesellschaft waren repräsentativ für die eigentliche Weidefläche. Die Kulturweide grenzt im Süden an eine extensiv genutzte Mähwiese. Die Abgrenzung erfolgt durch einen fixen Elektrozaun mit Stahldraht. Daher wird der Aufwuchs unterhalb des Weidezaunes nur von einer Seite her abgeweidet, und zwar in jener Zeit, während der sich die Rinder auf der Weide befinden. Die Untersuchungsfläche der Weidezaungesellschaft repräsentiert somit ein nicht betretenes, ungedüngtes oder nur sehr schwach gedüngtes aber regelmäßig abgeweidetes Ökosystem. Sie dient als Referenzfläche für die Beurteilung des Einflusses der Düngung und Trittwirkung der Weidetiere auf ein Grünland-Ökosystem. Die Weidezaungesellschaft hat eine Breite von etwa 50 cm. Die Untersuchungsfläche befand sich in der Mitte des Weidezaunes; sie war repräsentativ für den Weidezaunbereich.

Die Vegetationsaufnahmen wurden nach der Methode Braun-Blanquet (BRAUN-BLANQUET 1964) durchgeführt. 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 drei Aufnahmeflächen der Weidegesellschaft hatten jeweils eine Größe von 50 m² (5 x 10 m), die Aufnahmefläche der Trittgemeinschaft betrug 24 m² (3 x 8 m) und jene der Weidezaungesellschaft musste auf 10 m² (0,5 x 20 m) beschränkt werden. Alle Vegetationsaufnahmeflächen waren nach feldbodenkundlichen Kriterien weitgehend homogen. Es wurden nur Farn- und Blütenpflanzen erhoben. Die Taxonomie und Nomenklatur richtete sich nach FISCHER et al. (2008). Die syntaxonomische Einordnung der Vegetationsaufnahmen orientierte sich an MARSCHALL und DIETL (1976), MUCINA (1993) sowie ELLMAUER und MUCINA (1993).

Die Bodenansprache erfolgte aus dem Bohrstock (1 m) und durch Spatendiagnose. Um das Nährstoffangebot an den einzelnen Standorten abschätzen zu können, wurden auch Bodenanalysen durchgeführt. Da für die Pflanzen die Nährstoffgehalte in der obersten, am stärksten durchwurzelten Bodenschicht entscheidend sind (MARSCHNER 1998), wurden die Bodenproben für die chemischen Analysen von den Aufnahmeflächen an jeweils fünf Terminen aus der Tiefenstufe 0-10 cm (A-Horizont) in Form einer repräsentativen Mischprobe gezogen. Die Bodenproben wurden luftgetrocknet, homogenisiert und bei 2 mm Maschenweite gesiebt. Die Analysemethoden richteten sich nach der jeweiligen ÖNORM (pH-Wert in einer 0,01 M CaCl₂-Lösung mittels pH-Meter; elektrische Leitfähigkeit konduktometrisch; organischer Kohlenstoff und Gesamt-Stickstoff durch trockene Verbrennung mittels Elementaranalyse; nachlieferbarer Stickstoff mit Hilfe der Bebrütungsmethode; Phosphor und Kalium mit der Calcium-Acetat-Lactat [CAL]-Methode mittels SFAS Autoanalyser; austauschbare mineralische Kationenbasen, Kationensäuren und effektive Kationenaustauschkapazität im 0,1 M BaCl₂-Extrakt mittels ICP-OES und AAS; Korngrößenverteilung des Feinbodens nach KÖHN). Lagerungsdichte und Porenvolumen wurden an den Aufnahmeflächen in achtfacher Wiederholung für die Bodentiefen 0-5, 5-10 und 10-15 cm nach HARTGE und HORN (1989) analysiert.

Die landwirtschaftlich nutzbare oberirdische Phytomasse wurde durch Mahd der einzelnen Aufwüchse unmittelbar vor den ersten Eintrieben bestimmt. Dazu wurde die Vegetation etwa 3 bis 4 cm über der Bodenoberfläche abgeschnitten, bei 105 °C 4 Stunden lang im Trockenschrank getrocknet und anschließend gewogen. Die Bodenproben für die unterirdische Phytomassebestimmung wurden an den Vegetationsaufnahmeflächen mit einem Probenbohrer (Ø 7,5 cm) in 5-cm-Tiefenstufen-Intervallen entnommen. Die Probenahme erfolgte im Oktober in sechsfacher Wiederholung. Die Untersuchungstiefe betrug 30 cm. Die Bodenproben wurden unmittelbar nach der Entnahme tiefgefroren. 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. Die unterirdische Phytomasse wurde wegen des hohen Arbeits- und Zeitaufwandes nicht in Wurzeln, Wurzelstöcke und Rhizome getrennt; auch zwischen lebenden und abgestorbenen Wurzeln wurde nicht unterschieden. Aus den sechs Daten pro Tiefenstufe wurde für jeden Pflanzenbestand der arithmetische Mittelwert errechnet und dieser auf die Einheit „dt ha⁻¹ Trockenmasse“ bezogen. Die unterirdische Phytomasse ist ohne Abzug des Aschengehaltes angegeben.

Methodische Probleme

Die exakte Bestimmung der unterirdischen Phytomasse ist methodisch schwierig sowie mit einem sehr hohen Arbeits- und Zeitaufwand verbunden. Aus der Literatur ist bekannt, dass der überwiegende Teil der unterirdischen Phytomasse im Oberboden anzutreffen ist. SPEIDEL und WEISS (1972) beispielsweise fanden in einer Goldhaferwiese in 460 m Seehöhe bei einer Untersuchungstiefe von 60 cm 96 % der unveraschenen Wurzelmasse in 0 bis 20 cm Bodentiefe. Nach KMOCH (1952) entfallen im Grünland 80 bis 90 % der gesamten Wurzelmasse auf die Tiefenstufe 0 bis 10 cm. Auch die Untersuchungen von KLAPP (1943, 1971) ergaben, dass im Grünland unterhalb von 30 bis 40 cm Bodentiefe nur mehr wenige Prozent der gesamten Wurzelmasse vorkommen. Diese Tatsachen gaben Veranlassung, die Untersuchungstiefe auf 30 cm zu beschränken. Genauso wie die oberirdische Phytomasse ist auch die unterirdische Phytomasse jahreszeitlichen und jährlichen Schwankungen unterworfen (KMOCH et al. 1958, SCHULZE und MUES 1961, KLAPP 1971). Auf Grund des hohen Arbeits- und Zeitaufwandes konnte die unterirdische Phytomasse nur für einen Zeitpunkt bestimmt werden. Die Daten stellen somit lediglich eine Momentaufnahme zum Zeitpunkt der Probenahme dar. Die zeitliche Dynamik der Wurzelmasse resultierend aus der Bilanz zwischen Zersetzung abgestorbener Wurzeln und Neubildung wurde nicht untersucht. Selbst bei sorgfältigster Arbeitsweise gehen beim Auswaschen Feinwurzeln und Wurzelteile verloren. Die Verluste können erheblich sein (SAUERBECK und JOHNEN 1976, SAUERBECK 1978). Auch kleine Verunreinigungen mit Bodenmaterial können das Ergebnis beeinträchtigen. Allerdings war das Ziel dieser Untersuchung nicht die exakte Bestimmung der unterirdischen Phytomasse, sondern ihr Vergleich zwischen den einzelnen Vegetationstypen stand im Vordergrund. Daher können die angeführten methodischen Probleme toleriert werden.

Untersuchungsgebiet: Lage, Geologie, Boden, Klima, Vegetation

Die vorliegende Untersuchung wurde in Aiglern in der Gemeinde Aigen im Ennstal im Bezirk Liezen (Steiermark, Österreich) durchgeführt. Dieser Landschaftsraum ist repräsentativ für das Grünland im Berggebiet Österreichs. Das Untersuchungsgebiet gehört tektonisch zur Grauwackenzone. Neben altpaläozoischen Phylliten kommen auch altpaläozoische Bänderkalke vor (FLÜGEL und NEUBAUER 1984). Die Braunerde ist der häufigste und flächenmäßig bedeutendste Bodentyp auf frischen (ausgeglichenen) bis krumenwechselfeuchten Standorten (BOHNER und SOBOTIK 2000a). Das Untersuchungsgebiet weist im langjährigen Mittel (1971-2000) eine Juli-Temperatur von 16,5 °C, eine Jänner-Temperatur von -3,9 °C und eine Jahresmittel-Temperatur von 6,7 °C auf. Der Jahres-Niederschlag macht im Durchschnitt 970 mm aus. Die Niederschläge sind relativ gleichmäßig über das Jahr verteilt. In der Vegetationsperiode (April bis September) fallen etwa 60 % des Jahres-Niederschlags. Der Juli ist im langjährigen Mittel der niederschlagreichste Monat gefolgt vom Juni und August. Im Februar fallen die geringsten Niederschlagsmengen. Die Schneedeckenperiode beträgt im langjährigen Mittel 82 Tage im Jahr (ZAMG 2002). Das Untersuchungsgebiet weist somit ein winterkaltes, sommerkühles, relativ niederschlag- und schneereiches, kontinental beeinflusstes Talbeckenklima auf. Für die Vegetation sind vor allem die Temperatur und die Länge der Vegetationsperiode die begrenzenden klimatischen Faktoren. Das Klima begünstigt die Grünlandwirtschaft und Viehzucht, der Ackerbau hingegen hat flächenmäßig eine geringe Bedeutung. Die wichtigste Pflanzengesellschaft der relativ intensiv genutzten Kulturweiden auf frischen bis krumenwechselfeuchten Standorten ist die Frauenmantel-Weißklee-Weide (*Alchemillo monticolae-Cynosuretum cris-tati*). Sie wird regelmäßig mit Wirtschaftsdünger gedüngt und meist vier- bis fünfmal pro Jahr beweidet. Die häufigste und flächenmäßig bedeutendste Wiesengesellschaft auf frischen bis mäßig feuchten Standorten ist die Frauenmantel-Glatthaferwiese (*Alchemillo monticolae-Arrhenatheretum elatioris*). Sie wird meist dreimal pro Jahr gemäht und im Herbst häufig nachbeweidet; gedüngt wird regelmäßig mit Wirtschaftsdünger (BOHNER und SOBOTIK 2000b).

Nutzung

Die untersuchte Weide hat eine Gesamtfläche von etwa 2 Hektar. Sie wird seit mehr als 10 Jahren im Zeitraum Anfang Mai bis Ende Oktober fünfmal pro Jahr in Form einer Portionsweide mit Milchkühen (Braunvieh) beweidet. Die Besatzstärke beträgt etwa 4 Kühe pro Hektar während 180 Weidetagen bei täglich 8stündiger Beweidung. Die Weide wird regelmäßig mit Wirtschaftsdünger (überwiegend Rindergülle) gedüngt. Die Fläche unterhalb des Weidezaunes erhält weder Harn und Kot der Weidetiere noch nennenswerte Mengen an Wirtschaftsdünger. Es gibt keine mechanische Belastung durch den Tritt der Weidetiere oder das Befahren mit landwirtschaftlichen Maschinen. Allerdings wird der Aufwuchs regelmäßig abgeweidet.

Ergebnisse und Diskussion

Die Pflanzenbestände und ihre unterirdische Phytomasse wurden zwischen 670 und 681 m Seehöhe auf ebenen Flächen und auf schwach geneigten Hanglagen (2-6 °) in nordnordöstlicher Exposition untersucht (Tabelle 1).

Die Böden sind tiefgründige, carbonatfreie Braunerden. Die Verbraunung ist allerdings lithologisch bedingt nur sehr schwach ausgeprägt. Das Ausgangsgestein für die Bodenbildung ist altpaläozoischer Bänderkalk (FLÜGEL und NEUBAUER 1984). Die Bodengründigkeit beträgt mehr als 100 cm. Die Bodenart ist im stark humosen A-Horizont lehmiger Sand (Trittgesellschaft) bzw. sandiger Schluff (Weidegesellschaft, Weidezaungesellschaft). Beim Weideeingang und in der eigentlichen Weide sind die Böden infolge hoher Trittbelastung deutlich krumenpseudovergleyt. Auf Grund der zeitweiligen Staunässe (Sauerstoffmangel) sind zahlreiche Roströhren im Humushorizont vorhanden. Die Oberböden in der Tritt- und Weidegesellschaft sind sehr dicht gelagert. Die Struktur ist deutlich plattig und die Humusform repräsentiert einen Feuchtmull. Unterhalb des Weidezaunes ist der Boden eine Braunerde mit der Humusform Mull. Der A-Horizont weist eine krümelige Struktur auf und ist infolge fehlender Fahr- und Trittbelastung durch einen hohen Lockerheitsgrad gekennzeichnet. Der Bodenwasserhaushalt muss beim Weideeingang und in der eigentlichen Weide mit krumenwechselfeucht eingestuft werden im Gegensatz zu frisch (ausgeglichen) unterhalb des Weidezaunes.

In den Tabellen 2 bis 4 sind ökologisch relevante chemische und physikalische Bodenkennwerte vom A-Horizont (0-10 cm) der Braunerden angeführt. Die Böden befinden sich lithologisch bedingt im Carbonat-Pufferbereich (pH CaCl_2 : > 6.2). Daher beträgt die Basensättigung nahezu 100 %. Dies bewirkt eine hohe Säureneutralisationskapazität zumindest im Oberboden. Die Gefahr einer Säuretoxizität für Pflanzenwurzeln kann somit ausgeschlossen werden. Die Oberböden der drei untersuchten Vegetationstypen weisen – im Vergleich zu den Böden des Dauergrünlandes in der Obersteiermark (BOHNER et al. 2007) – einen eher niedrigen Humus- und folglich auch einen relativ geringen Gesamt-Stickstoffgehalt auf. Der Humusgehalt ist im Oberboden der Weidezaungesellschaft trotz einer 4-6fach größeren unterirdischen Phytomasse (siehe unten) am geringsten. Die ständige Abfuhr von organischer Substanz durch das regelmäßige Abweiden der Aufwüchse ohne nennenswerte Rücklieferung über Wirtschaftsdünger und Kot der Weidetiere dürfte dafür verantwortlich sein. Die drei untersuchten Vegetationstypen unterscheiden sich deutlich hinsichtlich ihres Nährstoffgehaltes im Oberboden (BOHNER und TOMANOVA 2006). Die vergleichsweise hohe elektrische Leitfähigkeit, vor allem aber die sehr hohen Gehalte an CAL-löslichem Phosphor und Kalium sind Hinweise für nährstoffreiche Bodenverhältnisse in der Trittgesellschaft. Die Nährstoffanreicherung im Oberboden resultiert aus der regelmäßigen Düngung mit Wirtschaftsdünger und der Nährstoffzufuhr durch Kot und Harn der Weidetiere. Der Oberboden unterhalb des Weidezaunes hingegen ist durch Nährstoffarmut charakterisiert. Vor allem der Gehalt an nachlieferbarem Stickstoff (potenziell

Tabelle 1: Allgemeine Standortangaben und Vegetation; Tritt = Trittgemeinschaft; Weide = Weidegesellschaft; Zaun = Weidezaungesellschaft; kpB = krumenpseudovergleyte Braunerde; B = Braunerde; kw = krumenwechselfeucht; fr = frisch

Biotoptyp	Stetigkeit	Tritt	Weide I	Weide II	Weide III	Zaun
Seehöhe in m		670	671	680	681	681
Hangneigung in °		5	6	2	0	0
Exposition		NNO	NNO	NNO		
Bodentyp		kpB	kpB	kpB	kpB	B
Bodenwasserhaushalt		kw	kw	kw	kw	fr
pH-Wert in CaCl ₂ (0-10 cm)		7,2	6,5	6,4	6,2	6,4
Aufnahmefläche in m ²		24	50	50	50	10
Artenzahl Gefäßpflanzen		25	27	31	25	59
Gräser (%) 1. Aufwuchs		63	30	30	45	45
Kräuter (%) 1. Aufwuchs		35	40	35	20	45
Leguminosen (%) 1. Aufwuchs		2	30	35	35	10
<i>Acer pseudoplatanus</i>	1					+
<i>Achillea millefolium</i>	4		1	1b	1a	+
<i>Aegopodium podagraria</i>	1			1b		
<i>Agrostis capillaris</i>	1					1a
<i>Agrostis stolonifera</i>	2	1b	1			
<i>Ajuga reptans</i>	1					1a
<i>Alchemilla monticola</i>	2		+			1a
<i>Anemone nemorosa</i>	1					+
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	1					2a
<i>Anthriscus sylvestris</i>	1			r		
<i>Arabidopsis thaliana</i>	1					+
<i>Bellis perennis</i>	5	+	1a	1	+	1a
<i>Briza media</i>	1					1a
<i>Bromus hordeaceus</i>	2	+		r		
<i>Campanula patula</i>	1					1a
<i>Campanula rapunculoides</i>	1					+
<i>Campanula rotundifolia</i>	1					1a
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	4	1	1a	1	+	
<i>Carex caryophylla</i>	1					+
<i>Carex pallescens</i>	1					+
<i>Cerastium holosteoides</i>	5	1a	+	+	1a	+
<i>Chaerophyllum hirsutum</i>	1			r		
<i>Corydalis solida</i>	2			r		+
<i>Crepis biennis</i>	1					r
<i>Cruciata laevipes</i>	1					1a
<i>Cynosurus cristatus</i>	1					1b
<i>Dactylis glomerata ssp. glomerata</i>	5	+	1a	1	1	1a
<i>Deschampsia cespitosa</i>	4		r	+	r	+
<i>Elymus repens</i>	4	1	2	1b	2a	
<i>Festuca pratensis</i>	5	+	1	+	1a	+
<i>Festuca rubra ssp. rubra</i>	1					2
<i>Ficinia verna</i>	3		1a	1	1	
<i>Fragaria vesca</i>	1					+
<i>Fraxinus excelsior</i>	3	1a	r		+	
<i>Gagea lutea</i>	2		r	+		
<i>Galium album</i>	1					1a
<i>Galium anisophyllum</i>	1					+
<i>Glechoma hederacea</i>	1					+
<i>Homalotrichon pubescens ssp. pubescens</i>	1					1a
<i>Lathyrus pratensis</i>	1					1a
<i>Leontodon autumnalis</i>	1					+
<i>Leontodon hispidus ssp. hispidus</i>	1					2
<i>Leucanthemum ircutianum</i>	1					1
<i>Lolium perenne</i>	4	1	1a	1a	+	
<i>Lotus corniculatus</i>	1					+
<i>Luzula campestris</i>	1					1
<i>Matricaria discoidea</i>	1	2a				
<i>Medicago lupulina</i>	1					+
<i>Myosotis sylvatica</i>	1					+
<i>Phleum pratense</i>	1				+	
<i>Plantago lanceolata</i>	4	+		+	+	1a
<i>Plantago major ssp. major</i>	4	2	1	1a	1a	
<i>Plantago media</i>	1					1
<i>Poa angustifolia</i>	1					1a

Biootyp	Stetigkeit	Tritt	Weide I	Weide II	Weide III	Zaun
Poa annua	1	2				
Poa pratensis	4	2a	2	2	3a	
Poa supina	5	2	1a	+	+	+
Poa trivialis	5	1b	1	1	1	r
Polygonum arenastrum	1	1a				
Primula elatior	1					+
Prunella vulgaris	1					+
Ranunculus acris ssp.acris	5	r	+	+	1a	1a
Ranunculus repens	5	1a	2a	2	1	+
Rumex acetosa	1					1a
Rumex crispus	4	+	r	+	r	
Rumex obtusifolius	4	1a	2	1a	1a	
Sagina procumbens	1					+
Silene nutans ssp.nutans	1					+
Stellaria graminea	1					+
Stellaria media	4	1	1a	1a	1a	
Taraxacum officinale agg.	5	1	3a	2	2	1a
Thymus pulegioides ssp.pulegioides	1					+
Trifolium aureum	1					+
Trifolium pratense ssp.pratense	1					1a
Trifolium repens	5	1a	2b	3a	3a	1a
Trisetum flavescens	1					+
Urtica dioica	1			r		
Veronica chamaedrys ssp.chamaedrys	3		+	+		1a
Veronica serpyllifolia ssp.serpyllifolia	4		1a	+	+	+
Vicia cracca	1					+

Tabelle 2: Ausgewählte chemische Bodenkennwerte (A-Horizont, 0-10 cm Bodentiefe, arithmetischer Mittelwert aus jeweils fünf Probenentnahmetermen)

	CaCl ₂ pH	μS cm ⁻¹ eL	% C _{org}	% N _{tot}	C _{org} :N _{tot}	mg kg ⁻¹ 7d ⁻¹ nachl. N
Trittges.	7,2	214	4,79	0,52	9,2	246
Weideges. I	6,5	97	4,53	0,50	9,1	265
Weideges. II	6,4	97	5,01	0,56	9,0	200
Weideges. III	6,2	95	4,48	0,50	9,0	294
Weidezauges.	6,4	84	4,04	0,40	10,1	120

eL = elektrische Leitfähigkeit; nachl. N = nachlieferbarer Stickstoff

Tabelle 3: Ausgewählte chemische und physikalische Bodenkennwerte (A-Horizont, 0-10 cm Bodentiefe, arithmetischer Mittelwert aus jeweils fünf Probenentnahmetermen)

	mg kg ⁻¹		mval 100 g ⁻¹	%	S	%	T
	P-CAL	K-CAL	KAK _{eff}	BS		Z	
Trittges.	235	761	27	100	45	48	8
Weideges. I	89	216	19	100	33	58	8
Weideges. II	126	124	22	100	33	58	9
Weideges. III	116	153	18	99,7	32	60	8
Weidezauges.	15	45	17	100	35	58	7

P-CAL und K-CAL = CAL-löslicher Phosphor- und Kalium-Gehalt; KAK_{eff} = effektive Kationenaustauschkapazität (BaCl₂-Extrakt); BS = Basensättigung; S = Sand; Z = Schluff; T = Ton

mineralisierbarer Stickstoff) sowie der CAL-lösliche Phosphor- und Kalium-Gehalt sind deutlich niedriger als in den Oberböden der Weide- und Trittgemeinschaft. Die ständige Nährstoffabfuhr durch das regelmäßige Abfressen der Pflanzen ohne Kompensation durch Harn und Kot der Weidetiere sowie die fehlende oder sehr geringe Nährstoffzufuhr über Wirtschaftsdünger sind die Hauptgründe hierfür. Die Nährstoffgehalte in den Oberböden der Weidegesellschaft befinden sich zwischen diesen beiden Extremen. In allen untersuchten Tiefenstufen weisen die Böden der Tritt- und

Weidegesellschaft eine höhere Lagerungsdichte sowie ein geringeres Porenvolumen auf als der Boden unterhalb des Weidezaunes. Diese Befunde sowie die deutlich ausgebildete plattige Struktur im A-Horizont und die Krumenpseudovergleyung sind Hinweise dafür, dass die Oberböden in der Tritt- und Weidegesellschaft vor allem auf Grund der häufigen Trittwirkung der Weidetiere verdichtet sind (BOHNER und TOMANOVA 2006). Die Bodenverdichtung ist am stärksten in der Tiefenstufe 5-10 cm ausgebildet. Hier ist wegen der trittbedingten starken Verminderung der

Tabelle 4: Ausgewählte physikalische Bodenkennwerte (BOHNER und TOMANOVA 2006)

cm Bodentiefe	Lagerungsdichte (g cm ⁻³)			Porenvolumen (%)		
	Tritt	Weide III	Zaun	Tritt	Weide III	Zaun
0-5	1,21	1,06	0,99	52	59	62
5-10	1,52	1,17	0,95	43	55	64
10-15	1,56	1,37	1,08	42	48	59

Tritt = Trittgemeinschaft; Weide III = Weidegesellschaft III; Zaun = Weidezaungemeinschaft

gesättigten Wasserleitfähigkeit die Krumenpseudovergleyung am deutlichsten ausgeprägt. In der Tiefenstufe 0-5 cm verhindert die intensive Durchwurzelung der Gräser eine stärkere Verdichtung (BOHNER et al. 2006). Der Oberboden unterhalb des Weidezaunes hingegen ist locker gelagert; eine Krumenpseudovergleyung ist visuell nicht erkennbar. Die lockere Lagerung und die gut ausgebildete krümelige Struktur resultieren aus der intensiven Durchwurzelung des Oberbodens (siehe unten) und der fehlenden temporären Druckbelastung durch Rinderbeweidung und Befahren mit landwirtschaftlichen Maschinen. Insbesondere der häufige Tritt der Weidetiere führt zu einer Zusammenpressung des Bodens, die mit einer Absenkung der Bodenoberfläche in der Weide verbunden ist (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 2002). Der bodenverdichtende Tritteffekt bewirkt somit auch mikromorphologische Veränderungen; unterhalb des Weidezaunes ist der Boden infolge fehlender Fahr- und Trittbelastung leicht aufgewölbt (vgl. HUSICKA und VOGEL 1999, OZOLS und OZOLS 2007).

In der Vegetationstabelle (Tabelle 1) sind die Pflanzenarten alphabetisch geordnet. Die drei untersuchten Vegetationstypen unterscheiden sich deutlich hinsichtlich ihrer Artenzusammensetzung und Phytodiversität; nur wenige Arten kommen gemeinsam vor. Der häufig betretene Pflanzenbestand am Weideeingang kann pflanzensoziologisch nach der Gliederung von MUCINA (1993) dem *Matricario-Polygonetum arenastris*, der Vogel-Knöterich-Trittgemeinschaft zugeordnet werden. Die Phytozönose wird von Untergräsern dominiert. Die Leguminosen erreichen einen sehr niedrigen Deckungsgrad, lediglich *Trifolium repens* erträgt die häufige Trittbelastung beim Weideeingang. Trittresistente Pflanzenarten wie *Plantago major* ssp. *major*, *Poa annua*, *Poa supina* und *Matricaria discoidea* hingegen erreichen einen höheren Deckungsgrad. Von der trittbedingten Oberbodenverdichtung und der daraus resultierenden ausgeprägten Krumenwechselfeuchtigkeit profitiert vor allem *Agrostis stolonifera*. Kriech- und Rosettenpflanzen ertragen die häufige Störung durch Tritt sehr gut und können daher beim Weideeingang existieren. Bedingt durch den häufigen Tritt ist der Pflanzenbestand sehr lückig. Von den zahlreichen Vegetationslücken (35 % offener Boden) und vom nährstoffreichen Boden profitieren auch einige Therophyten (einjährige Samenpflanzen) wie *Poa annua*, *Matricaria discoidea*, *Capsella bursa-pastoris*, *Stellaria media*, *Polygonum arenastrum* und *Bromus hordeaceus*. Obergräser hingegen werden durch die häufige Tritteinwirkung zurückgedrängt, lediglich *Elymus repens*, *Festuca pratensis* und *Dactylis glomerata* ssp. *glomerata* kommen in der Trittgemeinschaft vor. Magerkeitszeiger fehlen auf Grund des nährstoffreichen Bodens gänzlich. Die drei untersuchten

Pflanzenbestände in der eigentlichen Weidefläche können pflanzensoziologisch nach der Klassifikation von MAR-SCHALL und DIETL (1976) dem *Alchemillo monticola-Cynosuretum cristati*, der Frauenmantel-Weißklee-Weide zugeordnet werden. Diese Phytozönose repräsentiert im Untersuchungsgebiet eine intensiv genutzte Kulturweide auf meist krumenwechselfeuchten Böden (BOHNER und SOBOTIK 2000b). Untergräser sind wichtige Bestandbildner, insbesondere *Poa pratensis* erreicht einen höheren Deckungsgrad. Auch *Lolium perenne* profitiert von einer intensiven Beweidung. Das Englische Raygras erträgt eine häufige Trittbelastung und zählt daher auch zur Artengarnitur der Trittgemeinschaft. Obergräser hingegen erreichen in der Weidegesellschaft eine vergleichsweise niedrige Artmächtigkeit. Lediglich *Elymus repens* verzeichnet einen höheren Deckungsgrad. Insbesondere die Acker-Quecke und der Stumpfblatt-Ampfer (*Rumex obtusifolius*) zeigen einen nährstoffreichen Boden an. Daher fehlen Magerkeitszeiger in den untersuchten Pflanzenbeständen gänzlich. Trittempfindliche Pflanzenarten werden durch intensive Beweidung zurückgedrängt. Folglich fehlen in der Weidegesellschaft die Kennarten der Glatthaferwiese und einige typische Wiesen-Kräuter wie beispielsweise *Anthriscus sylvestris* und *Heracleum sphondylium* ssp. *sphondylium* kommen nicht oder nur sehr spärlich vor. Auch rankende Leguminosen (*Lathyrus pratensis*, *Vicia cracca*, *Vicia sepium*) und der Rot-Klee (*Trifolium pratense* ssp. *pratense*) sind in den untersuchten Pflanzenbeständen nicht vertreten. Der Weiß-Klee hingegen wird durch intensive Beweidung gefördert; *Trifolium repens* erreicht in der Weidegesellschaft einen ziemlich hohen Deckungsgrad. Von der trittbedingten Oberbodenverdichtung und der daraus resultierenden Krumenwechselfeuchtigkeit profitiert in erster Linie *Ranunculus repens*. Der Kriech-Hahnenfuß gilt im Wirtschaftsgrünland als Bioindikator für verdichtete, krumenwechselfeuchte Böden. Bemerkenswert ist ferner das Vorkommen zahlreicher Lückenfüller (insbesondere *Capsella bursa-pastoris*, *Ficaria verna*, *Rumex obtusifolius*, *Rumex crispus*, *Stellaria media*, *Taraxacum officinale* agg.). Sie profitieren vom nährstoffreichen Boden und von den zahlreichen Vegetationslücken (4-8 % offener Boden). Der Pflanzenbestand unterhalb des Weidezaunes wurde nach der Klassifikation von ELLMAUER und MUCINA (1993) dem *Festuco commutatae-Cynosuretum*, der Rotschwengel-Straußgras-Weide angeschlossen. Diese Zuordnung ist allerdings auf Grund der spezifischen Standortbedingungen (fehlende Trittbelastung), wegen des gemeinsamen Vorkommens von typischen Wiesen- und Weidepflanzen und wegen der Kleinflächigkeit des Biotopes äußerst problematisch. Die Phytozönose weist auch eine floristische Ähnlichkeit mit dem *Luzulo-Cynosuretum*, der Wiesen-Hainsimsen-Kammgras-Weide auf (MEISEL 1966). Außerdem besteht eine gewisse Verwandtschaft mit der Rotschwengel-Straußgraswiese (*Festuca rubra-Agrostis capillaris* Gesellschaft im Sinne von BOHNER et al. 2007). Der Pflanzenbestand ist, bedingt durch den nährstoffarmen Boden, relativ niedrigwüchsig und ertragsarm (Tabelle 6). Untergräser und Kräuter sind die Hauptbestandbildner. Obergräser wie *Dactylis glomerata* ssp. *glomerata*, *Homalotrichon pubescens* ssp. *pubescens*, *Festuca pratensis* und *Trisetum flavescens* erreichen hingegen einen niedrigen Deckungsgrad. Am

Bestandesaufbau sind auch zahlreiche Kleearten allerdings mit geringer Artmächtigkeit beteiligt (*Lathyrus pratensis*, *Lotus corniculatus*, *Medicago lupulina*, *Trifolium aureum*, *Trifolium pratense* ssp. *pratense*, *Trifolium repens*, *Vicia cracca*). Die Phytozönose wird von Magerkeitszeigern dominiert. Neben *Festuca rubra* ssp. *rubra* und *Leontodon hispidus* ssp. *hispidus* verzeichnet auch noch *Anthoxanthum odoratum* eine höhere Artmächtigkeit. Magerkeitszeiger finden unterhalb des Weidezaunes offensichtlich einen geeigneten Lebensraum (vgl. HUSICKA und VOGEL 1999, DIERSCHKE 2000); sie ertragen hier auch den regelmäßigen Verbiss. Die reichlich vorhandenen Magerkeitszeiger und das weitgehende Fehlen von Nährstoffzeigern sind Hinweise für einen nährstoffarmen Boden. Auch die Ergebnisse der Bodenanalysen weisen darauf hin. Auf Grund der fehlenden Trittbelastung kommen in der Weidezaungesellschaft einige Kennarten der Glatthaferwiese wie *Campanula patula*, *Crepis biennis* und *Galium album* mit geringer Artmächtigkeit vor. Auch zahlreiche Kennarten der Rotschwingel-Straußgraswiese wie *Agrostis capillaris*, *Anthoxanthum odoratum*, *Festuca rubra* ssp. *rubra* und *Stellaria graminea* zählen zur Artengarnitur. Die Phytozönose nimmt daher floristisch eine Mittelstellung zwischen Wiesen und Weiden ein (vgl. OZOLS und DUES 2001). Neben typischen Arten des Wirtschafts- und Extensivgrünlandes sind auch einige trittempfindliche Wald- und Saumpflanzen am Bestandaufbau beteiligt. *Cynosurus cristatus* findet ebenfalls unterhalb des Weidezaunes einen geeigneten Lebensraum. Das Wiesen-Kammgras hält eine häufige Trittbelastung nicht aus und fehlt daher in der untersuchten Tritt- und Weidegesellschaft. Auf Grund der lockeren Lagerung und krümeligen Struktur des Oberbodens sowie der fehlenden Krümenwechselfeuchtigkeit (bessere Bodendurchlüftung) kommen Trittplanzen bzw. Bodenverdichtungs- und Krümenwechselfeuchtigkeitszeiger in der Weidezaungesellschaft nur zufällig vor. Sie sind zum Teil vermutlich aus der angrenzenden Weidegesellschaft eingewandert und finden in Vegetationslücken (3 % offener Boden) einen geeigneten Lebensraum. Auch das spärliche Vorkommen von Segetal- und Ruderalarten kann auf diesen Randeffekt und auf Vegetationslücken zurückgeführt werden. Unkräuter wie beispielsweise Disteln fehlen in der untersuchten Weidezaungesellschaft gänzlich; somit besteht für die angrenzenden Grünlandflächen keine unmittelbare Verunkrautungsgefahr. Wegen des nährstoffarmen Bodens und der fehlenden Fahr- und Trittbelastung kommen Zeigerpflanzen für eine intensive Grünlandbewirtschaftung (Überdüngungszeiger, Übernutzungszeiger, Bodenverdichtungszeiger) unterhalb des Weidezaunes nicht oder nur zufällig vor. Die

untersuchte Weidezaungesellschaft weist somit einen geringeren Hemerobiegrad auf als die Weide- und Trittgesellschaft. In der Steiermark seltene bzw. gefährdete Gefäßpflanzenarten (Rote Liste-Arten nach ZIMMERMANN et al. 1989) fehlen allerdings im Pflanzenbestand. Dieser weist mit 59 verschiedenen Farn- und Blütenpflanzen auf einer Fläche von nur 10 m² eine hohe Alpha-Diversität auf. Die Artendichte ist damit deutlich höher als in der Weide- und Trittgesellschaft. Die Weidezaungesellschaft ist besonders artenreich, weil Gefäßpflanzenarten mit Verbreitungsschwerpunkt in unterschiedlichen Pflanzengesellschaften koexistieren können (vgl. HUSICKA und VOGEL 1999). Die Gründe hierfür sind die fehlende Fahr- und Trittbelastung, kein bodenchemischer Stress für Pflanzenwurzeln durch Säuretoxizität sowie die günstigen Lichtverhältnisse in Bodennähe resultierend aus dem nährstoffarmen Boden, der geringen oberirdischen Biomasseproduktion und dem regelmäßigen Abfressen der Pflanzen. Unterhalb des Weidezaunes finden auch Moose einen geeigneten Lebensraum. Die Deckung der Mooschicht beträgt etwa 10 %, stellenweise sind deutliche Moospolster vorhanden. In der Weidezaungesellschaft kommen vereinzelt auch Ameisenhögel vor. Ameisen bevorzugen offensichtlich auf Grund der fehlenden Fahr- und Trittbelastung diesen Lebensraum (vgl. HUSICKA und VOGEL 1999).

In der *Tabelle 5* ist die unterirdische Phytomasse und ihre Verteilung auf die einzelnen Tiefenstufen angeführt. In den fünf untersuchten Pflanzenbeständen wurde generell eine niedrige Wurzelmasse festgestellt. Die Bewurzelung nimmt mit zunehmender Bodentiefe rasch und stark ab; der Großteil der Wurzelmasse (76-91 %) befindet sich in den obersten 10 cm des Bodens. Dieses Untersuchungsergebnis stimmt mit dem anderer Autoren (KLAPP 1943, 1951, 1971; KMOCH 1952, SCHULZE und MUES 1961) überein. Die drei Vegetationstypen unterscheiden sich deutlich hinsichtlich ihrer unterirdischen Phytomasse. Die Weidegesellschaft, vor allem aber die Trittgesellschaft weisen in allen untersuchten Tiefenstufen eine geringere unterirdische Phytomasse als die Weidezaungesellschaft auf. Außerdem ist die Wurzelmasse mit einer Ausnahme (Weidegesellschaft I) relativ stärker auf die Tiefenstufe 0-5 cm konzentriert. Daraus resultiert eine ungleichmäßige Wurzelverteilung im Boden. In der Weidegesellschaft I erreichen die Tiefwurzler *Taraxacum officinale* agg. und *Rumex obtusifolius* einen vergleichsweise hohen Deckungsgrad. Daher ist hier die weidebedingte Konzentration der Wurzelmasse auf die oberste Bodenschicht nicht so ausgeprägt. Das Verhältnis oberirdischer Phytomasse zu unterirdischer Phytomasse ist in der Weidezaungesellschaft deutlich niedriger als in der

Tabelle 5: Unterirdische Phytomasse (Trockenmasse; 0-30 cm Bodentiefe)

Bodentiefe in cm	Trittges.		Weideges. I		Weideges. II		Weideges. III		Weidezaunges.	
	dt ha ⁻¹	%	dt ha ⁻¹	%	dt ha ⁻¹	%	dt ha ⁻¹	%	dt ha ⁻¹	%
0-5	3,6	76	3,5	59	7,1	81	5,9	73	19,5	57
5-10	0,8	16	1,1	18	0,9	10	1,2	14	8,6	25
10-15	0,2	4	0,7	11	0,4	5	0,5	6	2,9	8
15-20	0,1	2	0,4	6	0,2	2	0,3	3	2,5	7
20-25	0,1	1	0,2	3	0,1	1	0,2	2	0,9	2
25-30	0,1	1	0,2	3	0,1	1	0,1	2	0,4	1
0-30	4,8	100	6,0	100	8,8	100	8,0	100	34,9	100

Tabelle 6: Verhältnis oberirdischer Phytomasse (ohne Stoppelmasse) zu unterirdischer Phytomasse (0-30 cm Bodentiefe)

	dt ha ⁻¹ TM oberirdische Phytomasse	dt ha ⁻¹ TM unterirdische Phytomasse	Verhältnis
Trittgcs.	58,9	4,8	12,3
Weideges. I	72,5	6,0	12,1
Weideges. II	86,3	8,8	9,8
Weideges. III	83,0	8,0	10,4
Weidezauges.	11,9	34,9	0,3

Weide- und Trittgcsellschaft (Tabelle 6). Für die geringere unterirdische Phytomasse und die Konzentration auf die oberste Bodenschicht in der Weide- und Trittgcsellschaft sind vor allem floristische (mehr flachwurzelnde Pflanzen mit geringerer Wurzelmasse) und bodenökologische Gründe (raschere Zersetzung der abgestorbenen Pflanzenwurzeln infolge eines nährstoffreicheren Bodens, trittbedingter, verdichteter Oberboden) ausschlaggebend. Die größere Wurzelmasse und das niedrigere Verhältnis von oberirdischer Phytomasse zu unterirdischer Phytomasse in der Weidezaugesellschaft sind eine Anpassung der Magerkeitszeiger an die Nährstoffarmut im Boden. Eine größere Wurzelmasse steigert nämlich 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).

Schlussfolgerung und Forschungsbedarf

Auf der untersuchten Kulturweide wurde eine hohe räumliche Variabilität einzelner Bodenkennwerte festgestellt. Beim Weideeingang ist der Oberboden stark verdichtet und mit Nährstoffen angereichert. Unterhalb des Weidezaunes hingegen ist der Boden nährstoffarm und locker gelagert. Durch die Beweidung mit Rindern findet ein ständiger Nährstoff- und Kohlenstoff-Transfer von der Fläche unterhalb des Weidezaunes hin zur Weidefläche statt. Daraus resultieren eine Nährstoffverarmungszone unterhalb des Weidezaunes und eine Nährstoffanreicherungszone insbesondere beim Weideeingang. Auf der untersuchten Kulturweide konnten drei Vegetationstypen mit unterschiedlicher Pflanzenartenvielfalt differenziert werden: eine artenarme Trittgcsellschaft, eine etwas artenreichere Weidezaugesellschaft und eine deutlich artenreichere Weidezaugesellschaft. Die Artengarnitur dieser Phytozönose besteht vorwiegend aus Magerkeitszeigern und trittempfindlichen Pflanzenarten, die im intensiv genutzten Grünland keinen geeigneten Lebensraum mehr finden (vgl. VOLLRATH 1970, HUSICKA und VOGEL 1999). Weidezäune können somit die Vegetationstypenvielfalt (Beta-Diversität im Sinne von WHITTAKER 1972) in der Kulturlandschaft erhöhen, sie schaffen unter bestimmten Voraussetzungen Lebensräume und Rückzugsgebiete für zahlreiche Magerkeitszeiger und trittempfindliche Pflanzenarten und können dadurch die Phytodiversität in einem intensiv genutzten Weide-Ökosystem steigern. Die Flächen unterhalb der Weidezäune stellen Korridore dar, in denen eine Linienmigration der Magerkeitszeiger und trittempfindlichen Pflanzenarten stattfinden kann. Diese linearen Kleinbiotope haben somit trotz ihrer Kleinflächigkeit eine

große Bedeutung im Rahmen des Biotopverbundes. Damit ihre Funktion als Refugium für Arten des Extensivgrünlandes erhalten bleibt, sollte nicht bis zum Weidezaun gedüngt werden. Auch das regelmäßige Abfressen der Pflanzen muss gewährleistet sein, damit es nicht zu einer Selbsteutrophierung des Standortes und zu einer floristischen Artenverarmung auf Grund des Lichtmangels in Bodennähe kommt (vgl. HUSICKA und VOGEL 1999).

Durch diese unter Praxisbedingungen erzielten Ergebnisse werden die bekannten Auswirkungen einer Nutzungsintensivierung auf die Wurzelmasse und räumliche Wurzelverteilung im Grünlandboden bestätigt. Eine Intensivierung der Grünlandbewirtschaftung bewirkt vor allem durch Änderungen in der Artenzusammensetzung des Pflanzenbestandes (Förderung von flachwurzelnden Arten mit geringerer Wurzelmasse) eine Verminderung der unterirdischen Phytomasse und gleichzeitig auch eine relativ stärkere Anreicherung in der Tiefenstufe 0-5 cm. Daraus resultiert eine ungleichmäßige Wurzelverteilung im Boden. Die Wasser- und Nährstoffvorräte in tieferen Bodenschichten dürften bei einer intensiven Grünlandbewirtschaftung auf Grund der geringeren Durchwurzelung vergleichsweise schlechter ausgenutzt werden als bei einer extensiven Bewirtschaftung. Dies kann vor allem während einer längeren Trockenperiode das Pflanzenwachstum hemmen. Die Verminderung der Wurzelmasse insbesondere in tieferen Bodenschichten begünstigt auch die Nährstoffauswaschung mit dem Sickerwasser. Außerdem dürfte bei einer Nutzungsintensivierung die Kohlenstoff-Zufuhr zum Boden durch lebende und abgestorbene Pflanzenwurzeln und somit der Humifizierungsprozess vermindert werden, was zu einer allmählichen Abnahme des Humusgehaltes in tieferen Bodenschichten führt.

Bei künftigen Untersuchungen sollte neben der Wurzelmasse vor allem auch die Größe der Wurzeloberfläche in den einzelnen Tiefenstufen bestimmt werden. Um den jahreszeitlichen Verlauf der Wurzelmassebildung feststellen und die unterirdische Phytomasseproduktion grob abschätzen zu können, sollte die Bestimmung der Wurzelmasse und Wurzeloberfläche am Beginn und Ende eines Jahres sowie mehrmals während der Vegetationsperiode durchgeführt werden.

Literatur

- BERGMANN, W., 1954: Wurzelwachstum und Ernteertrag. Zeitschrift Acker- und Pflanzenbau 97, 337-368.
- BOHNER, A., 1998: Almwirtschaft und Gebirgs-Ökosysteme. Dissertation BOKU Wien, 169 S + 215 S (Tabellenband).
- BOHNER, A. und M. SOBOTIK, 2000a: Der Landschaftsraum und seine Rahmenbedingungen für die Grünlandbewirtschaftung im Mittlen 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 Mittlen Steirischen Ennstal aus vegetationsökologischer Sicht. MaB-Forschungsbericht „Landschaft und Landwirtschaft im Wandel“, Akademie der Wissenschaften, BAL Gumpenstein, 15-50.
- BOHNER, A., R. ÖHLINGER und O. TOMANOVA, 2006: Auswirkungen der Grünlandbewirtschaftung und Flächenstilllegung auf Vegetation, Boden, mikrobielle Biomasse und Futterqualität. Die Bodenkultur 57, 33-45.

- BOHNER, A. und O. TOMANOVA, 2006: Effects of cattle grazing on selected soil chemical and soil physical properties. *Grassland Science in Europe* 11, 89-91.
- BOHNER, A., 2007: Phytodiversität im Wirtschafts- und Extensivgrünland der Tallagen. Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Biodiversität in Österreich, 29-36.
- BOHNER, A., F. GRIMS und M. SOBOTIK, 2007: Die Rotschwingel-Straußgraswiesen im Mittleren Steirischen Ennstal (Österreich). *Ökologie, Soziologie und Naturschutz*. Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereins für Steiermark 136, 113-134.
- BRAUN-BLANQUET, J., 1964: Pflanzensoziologie. Springer Verlag, 865 S.
- DIERSCHKE, H., 2000: Kleinbiotope in botanischer Sicht – ihre heutige Bedeutung für die Biodiversität von Agrarlandschaften. *Pflanzenbauwissenschaften* 4, 52-62.
- ELLMAUER, T. und L. MUCINA, 1993: Molinio-Arrhenatheretea. In: Mucina L., G. Grabherr und T. Ellmauer (Hrsg.). *Die Pflanzengesellschaften Österreichs*. Teil I, Fischer Verlag, 297-401.
- FISCHER, M.A., K. OSWALD und W. ADLER, 2008: Exkursionsflora für Österreich, Liechtenstein und Südtirol. 3. Auflage, Biologiezentrum der Oberösterreichischen Landesmuseen, 1391 S.
- FLÜGEL, H.W. und F. NEUBAUER, 1984: Steiermark. Geologie der österreichischen Bundesländer in kurzgefassten Einzeldarstellungen. Geologische Bundesanstalt Wien, 127 S.
- GLAVAC, V., 1996: Vegetationsökologie. Fischer Verlag, 358 S.
- HARTGE, K.H. und R. HORN, 1989: Die physikalische Untersuchung von Böden. Enke Verlag, 175 S.
- HELAL, H.M., 1991: Bodengefüge, Wurzelentwicklung und Wurzelfunktionen. *Zeitschrift Pflanzenernährung, Bodenkunde* 154, 403-407.
- HUSICKA, A. und A. VOGEL, 1999: Zur Refugialfunktion von Weideparzellenrändern für Pflanzenarten und Vegetationstypen des Grünlandes. *Tuexenia* 19, 405-424.
- KEITA, S. und D. STEFFENS, 1989: Einfluss des Bodengefüges auf Wurzelwachstum und Phosphataufnahme von Sommerweizen. *Zeitschrift Pflanzenernährung, Bodenkunde* 152, 345-351.
- KLAPP, E., 1943: Über die Wurzelverbreitung der Grasnarbe bei verschiedener Nutzungsweise und Pflanzengesellschaft. *Zeitschrift Pflanzenbau* 19, 221-236.
- KLAPP, E., 1951: Leistung, Bewurzelung und Nachwuchs einer Grasnarbe unter verschieden häufiger Mahd und Beweidung. *Zeitschrift Acker- und Pflanzenbau* 93, 269-286.
- KLAPP, E., 1971: Wiesen und Weiden. Parey Verlag, 620 S.
- KMOCH, H.G., 1952: Über den Umfang und einige Gesetzmäßigkeiten der Wurzelmassenbildung unter Grasnarben. *Zeitschrift Acker- und Pflanzenbau* 95, 363-380.
- KMOCH, H.G., H.H. HALFMANN und A. SIEVERS, 1958: Jahreszeitliche Entwicklung der Wurzelmasse unter einer Weide in der Kölner Bucht. *Zeitschrift Acker- und Pflanzenbau* 105, 121-144.
- KULLMANN, A., 1957: Zur Intensität der Bodendurchwurzelung. *Zeitschrift Acker- und Pflanzenbau* 103, 189-197.
- LICHTENEGGER, E., 1997: Wurzeln. Bewurzelung von Pflanzen in verschiedenen Lebensräumen. Spezieller Teil. *Stapfia* 49, 55-331.
- LICHTENEGGER, E., 1983: Wurzel- und Bodentyp als Ausdruck des Standortes. In: Böhm, W., L. Kutschera und E. Lichtenegger (Hrsg.), *Wurzelökologie und ihre Nutzenanwendung*. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft, 369-388.
- MARSCHALL, F. und W. DIETL, 1976: Beiträge zur Kenntnis der Kammgrasweiden der Schweiz. *Schweizerische Landwirtschaftliche Forschung* 15, 287-295.
- MARSCHNER, H., 1998: Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, 889 S.
- MEISEL, K., 1966: Zur Systematik und Verbreitung der Festuco-Cynosueteen. In: Tüxen R. (Hrsg.), *Anthropogene Vegetation*. Berichte über die Internationalen Symposia der Internationalen Vereinigung für Vegetationskunde, Rinteln 1961, 201-211.
- MOHR, H.D., 1980: Einfluss der Bodeneigenschaften auf das Wurzelwachstum. *Kali-Briefe* 15, 305-316.
- MUCINA, L., 1993: Polygono-Poetea annuae. In: MUCINA L., G. GRABHERR und T. ELLMAUER (Hrsg.), *Die Pflanzengesellschaften Österreichs*. Teil I, Fischer Verlag, 82-89.
- OZOLS, U. und R. DUES, 2001: Über die Artenverbindungen an intensiv genutzten Weidezaunstreifen. *Botanik und Naturschutz in Hessen* 13, 21-32.
- OZOLS, U. und R. OZOLS, 2007: Untersuchungen zur Vegetationsentwicklung von Weidezaungesellschaften. *Tuexenia* 27, 307-326.
- SAUERBECK, D. und B. JOHNEN, 1976: Der Umsatz von Pflanzenwurzeln im Laufe der Vegetationsperiode und dessen Beitrag zur Bodenatmung. *Zeitschrift Pflanzenernährung, Bodenkunde* 139, 315-328.
- SAUERBECK, D., 1978: Assimilatbedarf und -umsatz von Pflanzenwurzeln. *Kali-Briefe* 14, 17-27.
- SCHEFFER, F. und P. SCHACHTSCHABEL (Begr.), 2002: Lehrbuch der Bodenkunde. 15. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, 593 S.
- SCHULZE, E. und H. MUES, 1961: Ertragsleistung, Pflanzenbestand und Bewurzelung einer Grasnarbe bei verschiedener Düngungsweise. *Zeitschrift Acker- und Pflanzenbau* 112, 141-160.
- SMUCKER, A.J.M., S.L. Mc BURNEY und A.K. SRIVASTANA, 1982: Quantitative separation of roots from compacted soil profiles by the Hydropneumatik Elutriation System. *Agronomy Journal*, 500-503.
- SOBOTIK, M., 1989: Auf die Wurzel kommt es an! Bedeutung der Wurzelökologie für die praktische Landwirtschaft. *Der Förderungsdienst* 37, 174-177.
- SPEIDEL, B. und A. WEISS, 1972: Zur ober- und unterirdischen Stoffproduktion einer Goldhaferwiese bei verschiedener Düngung. *Ange wandte Botanik* 46, 75-93.
- SPEIDEL, B., 1986: Dynamik und Haushalt der Goldhaferwiese bei verschiedener Düngung. In: Ellenberg, H., R. Mayer und J. Schauer mann (Hrsg.), *Ökosystemforschung*. Ergebnisse des Sollingprojekts 1966-1986. Ulmer Verlag, 159-178.
- VOLLRATH, H., 1970: Unterschiede im Pflanzenbestand innerhalb der Koppeln von Umtriebsweiden. *Bayerische Landwirtschaftliche Jahrbuch* 47, 160-173.
- WERGER, M.J.A., 1983: Wurzel/Spross-Verhältnis als Merkmal der Pflanzenstrategie. In: Böhm, W., L. Kutschera und E. Lichtenegger (Hrsg.), *Wurzelökologie und ihre Nutzenanwendung*. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft, 323-334.
- WHITTAKER, R.H., 1972: Evolution and measurement of species diversity. *Taxon* 21, 213-251.
- ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik), 2002: Klimadaten von Österreich 1971-2000. http://www.zamg.ac.at/fix/klima/oe71-00/klima2000/klimadaten_oesterreich_1971_frame1.htm.
- ZIMMERMANN, A., G. KNIELY, H. MELZER, W. MAURER und R. HÖLLRIEGL, 1989: Atlas gefährdeter Farn- und Blütenpflanzen der Steiermark. Joanneum-Verein, 302 S.