

Zeigerpflanzen für die Beurteilung des Bodenzustandes im Wirtschaftsgrünland

Andreas Bohner^{1*}

Zusammenfassung

Die Pflanzenverfügbarkeit der Nährelemente im Boden hängt von vielen Standortfaktoren und Bodeneigenschaften ab. Der Düngerbedarf der Grünlandbestände kann daher mittels routinemäßiger Bodenuntersuchung nur grob abgeschätzt werden. Das Risiko einer Fehleinschätzung wird minimiert, wenn für Düngeempfehlungen neben den notwendigen Bodenanalysedaten zumindest auch Zeigerpflanzen berücksichtigt werden. In dieser Arbeit wird über die praktischen Einsatzmöglichkeiten von Zeigerpflanzen in der Grünlandwirtschaft berichtet. Außerdem wird die Frage beantwortet, ob mit Hilfe von Zeigerpflanzen standortspezifische Intensivierungsgrenzen festgestellt werden können. Die wichtigsten Nährstoffzeiger, Magerkeitszeiger, Bodenverdichtungszeiger, Übernutzungszeiger und Lückenbüßer werden angeführt. Es handelt sich dabei um Arten, die im Gelände relativ leicht zu bestimmen sind und im Wirtschaftsgrünland häufig und weit verbreitet vorkommen.

Schlagwörter: Bioindikatoren, Standortbonität, Standortveränderungen, Düngeempfehlungen, Bewirtschaftungsfehler, standortspezifische Intensivierungsgrenzen

Summary

Plant nutrient availability in soil is influenced by numerous factors. Thus, the optimum rate of fertilizer addition to grassland soils can be assessed only roughly by means of standard soil test data. The risk of false fertilizer recommendations can be minimized, if in addition to necessary soil test data also indicator plants are considered. In this paper the practical use of indicator plants for the grassland management is discussed. Furthermore, an answer is given to the question whether by means of indicator plants site-specific limits of intensification can be assessed. The most important plant species indicating nutrient-rich soils, plant species adapted to nutrient-poor soils, plant species characteristic of compacted topsoils, plant species indicating too intensively managed grasslands and gap exploiters are presented. The plant species mentioned are well-investigated, easy to determine in the field and they are common and widespread in regularly managed grasslands in Austria.

Keywords: bioindicators, site quality, changing site conditions, fertilizer recommendations, wrong management practices, site-specific limits of intensification

Einleitung

Im Rahmen der routinemäßigen Bodenuntersuchung zur Bewertung der Nährstoffsituation wird in Österreich bei Dauergrünland der Oberboden (0-10 cm Bodentiefe) beprobt (ÖNORM L 1056). Die Bodenparameter, die zur Bewertung herangezogen werden, sind hauptsächlich der pH-Wert sowie der Phosphor- und Kalium-Gehalt. Phosphor und Kalium sind neben Stickstoff die wichtigsten Nährelemente im Grünlandboden (DIERSCHKE und BRIEMLE 2002). Die landwirtschaftliche Referenzmethode für die Bestimmung des Phosphor- und Kalium-Gehaltes ist die Calcium-Acetat-Lactat-Methode (CAL-Methode, ÖNORM L 1087). Insbesondere der CAL-lösliche Phosphor-Gehalt im Oberboden ist ein guter Indikator für das langjährige Düngungsniveau der Grünlandflächen (RUTHSATZ 2001, BOHNER 2005b). Der CAL-lösliche Kalium-Gehalt hingegen wird nicht nur von der Form und Höhe der ausgebrachten Düngermenge, sondern sehr wesentlich auch von der mineralogischen Zusammensetzung des bodenbildenden Substrates, vom Verwitterungsgrad und von der Verwitterungsintensität am Standort, von der Art der Bewirtschaftung und von der Nutzungshäufigkeit beeinflusst.

Die Grünlandböden im Mittleren Steirischen Ennstal und im Steirischen Salzkammergut sind – bewertet nach den RICHTLINIEN FÜR DIE SACHGERECHTE DÜNGUNG (2006) – meist sehr schlecht mit CAL-löslichem Phosphor versorgt (*Abbildung 1*). Der Großteil der untersuchten Grünlandböden fällt in die Gehaltsklasse A (sehr niedrige Phosphor-Gehalte). Deutlich günstiger ist die Versorgung mit CAL-löslichem Kalium (*Abbildung 2*); die Mehrheit der untersuchten Grünlandböden befindet sich in der Gehaltsklasse C (ausreichende Kalium-Gehalte). Auch HEINZL-MAIER et al. (2005) sowie BOHNER und SCHINK (2007) mussten in anderen österreichischen Naturräumen den Großteil ihrer untersuchten Grünlandböden hinsichtlich des Gehaltes an CAL-löslichem Phosphor der Gehaltsklasse A zuordnen. Nach GERZABEK et al. 2004 zeigen Grünlandböden in Österreich tendenziell eine Unterversorgung mit CAL-löslichem Phosphor. Aus diesen Befunden könnte man zunächst einmal einen erhöhten Phosphor-Düngerbedarf der meisten österreichischen Grünlandböden ableiten. Eine Intensivierung der Phosphor-Düngung hätte allerdings unter gewissen Voraussetzungen negative Auswirkungen auf die floristische Artenvielfalt und Gewässergüte. Ein steigender Phosphor-Gehalt im Grünlandboden kann nämlich zu einer

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

* Ansprechpartner: andreas.bohner@raumberg-gumpenstein.at

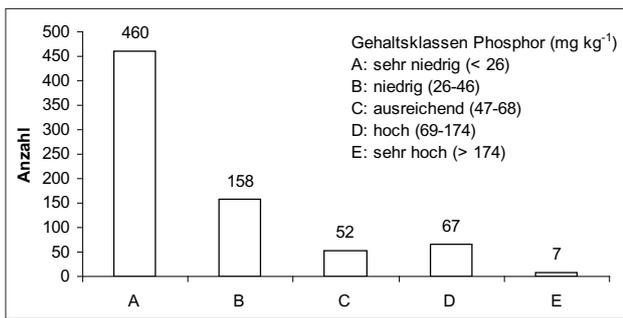


Abbildung 1: Phosphor-Gehaltsklassen (CAL-Methode) von Grünlandböden im Mittleren Steirischen Ennstal und im Steirischen Salzkammergut (n = 744)

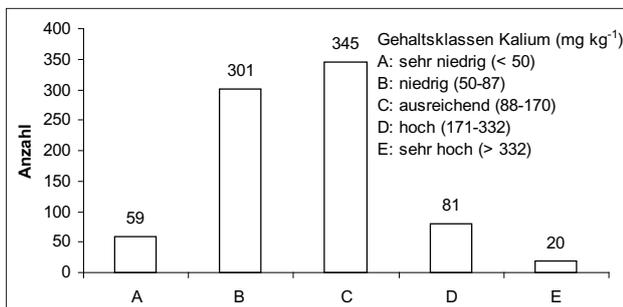


Abbildung 2: Kalium-Gehaltsklassen (CAL-Methode) von Grünlandböden im Mittleren Steirischen Ennstal und im Steirischen Salzkammergut (n = 806)

Verminderung der Artenvielfalt im Pflanzenbestand (JANSSENS et al. 1998, BOHNER 2005a) und zu einem erhöhten Phosphor-Eintrag in die Gewässer führen (MEISSNER et al. 1992, FROSSARD et al. 2004). Andererseits sind auf Grund dieser Befunde auch Zweifel an der Richtigkeit der CAL-Methode und Gehaltsklassen-Einstufung berechtigt. Vor allem eine Überprüfung der zurzeit gültigen Gehaltsklassen-Einstufung für den CAL-löslichen Phosphor-Gehalt von Grünlandböden gemäß den RICHTLINIEN FÜR DIE SACHGERECHTE DÜNGUNG (2006) ist dringend notwendig.

Somit besteht zur dargestellten Thematik ein hoher Forschungsbedarf mit großer landwirtschaftlicher, wasserwirtschaftlicher und naturschutzfachlicher Relevanz. Es stellt sich die Frage, ob für die Ableitung von Düngeempfehlungen neben den notwendigen Bodenanalysedaten auch noch weitere Standortfaktoren und Bodeneigenschaften sowie Bioindikatoren berücksichtigt werden sollten. Insbesondere Zeigerpflanzen bieten sich hierfür an. Das primäre Ziel dieser Arbeit ist es daher, über die Einsatzmöglichkeiten von Zeigerpflanzen für die Beurteilung und Bewertung des Nährstoff- und Strukturzustandes von Grünlandböden zu berichten. Außerdem soll die Frage beantwortet werden, ob mit Hilfe von Zeigerpflanzen standortspezifische Intensivierungsgrenzen festgestellt werden können. In diesem Zusammenhang sind vor allem Zeigerpflanzen für den Nährstoffhaushalt, die Bodenstruktur, die Nutzungsintensität und den Vegetationsdeckungsgrad relevant. In dieser Arbeit werden daher die wichtigsten Nährstoffzeiger, Magerkeitszeiger, Bodenverdichtungszeiger, Übernutzungzeiger und Lückenbüßer des Wirtschaftsgrünlandes genannt.

Möglichkeiten und Grenzen der Bodenuntersuchung

Die chemische Bodenanalyse ist ein wertvolles Mittel, um einen Überblick über den Versorgungsgrad der Grünlandböden mit Nährstoffen zu bekommen. Sie wird in der Düngerberatung für die Ermittlung des Düngerbedarfs und als Basis für Düngeempfehlungen verwendet. Auf Grund der Daten aus den chemischen Bodenanalysen können verschiedene Grünlandflächen im Hinblick auf ihren Nährstoffgehalt im Boden miteinander verglichen werden, unter der Voraussetzung dass dieselbe chemische Untersuchungsmethode verwendet wurde. Bei einer korrekten, sorgfältig und kontinuierlich in bestimmten Zeitabständen durchgeführten Probenahme können aus den Analyseergebnissen Trends der Veränderung des Nährstoffgehaltes im Boden auf einer Grünlandfläche festgestellt werden. Im Rahmen der routinemäßigen Bodenuntersuchung wurde aus allen österreichischen Naturräumen für das Grünland bereits eine sehr große Zahl an Daten mit einheitlichen Analysemethoden erhoben, sodass eine Bewertung der einzelnen Bodenuntersuchungsergebnisse durch Vergleich mit einem großen Datenmaterial möglich ist.

Der Wert der chemischen Bodenanalyse für die Düngerberatung ist unbestritten und als hoch einzuschätzen. Als ausschließliches Kriterium für die Ermittlung des Düngerbedarfs und die Ableitung von Düngeempfehlungen reicht die chemische Bodenanalyse allerdings aus mehreren Gründen nicht aus. Solche wesentliche Gründe sind:

1. Im Rahmen der Bodenuntersuchung können Fehler bei der Probenahme, Probenvorbereitung und Lagerung sowie bei der Laboranalyse auftreten (OBENAUF 1987). Für die routinemäßige chemische Bodenanalyse werden normalerweise luftgetrocknete, gesiebte und homogenisierte Bodenproben verwendet. Dabei werden Bodenaggregate zerstört und Mikrokompartimentierungen im Boden aufgehoben, wie zum Beispiel Ungleichgewichte im chemischen Zustand zwischen dem Aggregataußenbereich und dem Aggregatinneren. Werden Bodenaggregate im Grünlandboden vorwiegend um-, jedoch nicht durchwurzelt (wie beispielsweise in einem stark verdichteten Oberboden), dann wird mit den homogenisierten Bodenproben durch die Zerstörung der Bodenaggregate und Entblößung der inneren Aggregatoberflächen der für die Pflanzenernährung relevante chemische Bodenzustand möglicherweise falsch beurteilt (HILDEBRAND 1986, KAUPENJOHANN et al. 1987, MARSCHNER 1998). Außerdem muss noch berücksichtigt werden, dass durch die Lufttrocknung der Bodenproben ein Mobilisierungseffekt bei einzelnen Nähr- und Schadelementen eintreten kann (HILDEBRAND 1986, CAMPBELL et al. 1995).

2. Bei der routinemäßigen chemischen Bodenuntersuchung wird nur der Feinboden (Durchmesser kleiner 2 mm) beprobt. Grünlandböden können aber einen hohen Skelettgehalt (Grobanteil) aufweisen und die Gründigkeit kann gering sein. In beiden Fällen wird das routinemäßig ermittelte Nährstoffangebot für die Pflanzenwurzeln deutlich überschätzt. Daher sollten die Nährstoffgehalte (mg kg^{-1}) auch in Nährstoffmengen (kg ha^{-1}) im durchwurzelten Boden umgerechnet werden, insbesondere bei sehr

flachgründigen und skelettreichen Grünlandböden. Dazu müssen die Lagerungsdichte, der Skelettgehalt (Grobanteil) und die Mächtigkeit des durchwurzelten Bodenraumes bekannt sein.

3. Die Durchwurzelungstiefe beträgt unter Dauergrünland etwa 60 cm, wobei einzelne Pflanzenarten des Grünlandes allerdings auch maximale Wurzeltiefen von 100 cm und mehr erreichen können (SOBOTIK, mündliche Mitteilung). Für Routineuntersuchungen werden die Bodenproben nur aus dem Oberboden entnommen, weil sich bei Dauergrünland etwa 90 % der Wurzelmasse in den obersten 10 cm des Bodens befinden (DIERSCHKE und BRIEMLE 2002), weil im Oberboden die Nährstoffgehalte meist höher als im Unterboden sind und daher der Großteil der Nährstoffe von den Pflanzenwurzeln aus dem Oberboden aufgenommen werden (MARSCHNER 1998). Allerdings tragen auch die Nährstoffgehalte im durchwurzelten Unterboden zur Nährstoffversorgung der Grünlandpflanzen bei, insbesondere in niederschlagsarmen Vegetationsperioden. Vom Nährstoffgehalt im Oberboden kann nicht auf die Nährstoffsituation im Unterboden geschlossen werden. Daher sollte auf „Problemflächen“ unter Umständen auch der durchwurzelte Unterboden beprobt werden. Dadurch wäre eine Abschätzung der potenziell verfügbaren Nährstoffmengen im gesamten Wurzelraum möglich.

4. Mit routinemäßigen bodenchemischen Analysemethoden können nicht alle quantitativ wichtigen Pflanzennährstoffe im Grünlandboden hinreichend genau gemessen werden. Stickstoff beispielsweise ist für die Grünlandpflanzen mengenmäßig das wichtigste Nährelement und bestimmt daher am stärksten den Ertrag (WHITEHEAD 1995). Außerdem beeinflusst Stickstoff sehr wesentlich die Artenzusammensetzung der Grünlandvegetation (DIERSCHKE und BRIEMLE 2002). Die N_{\min} -Methode (ÖNORM L 1091) dient gelegentlich auch im Grünland als Basis für Stickstoff-Düngeempfehlungen. Mit dieser Methode kann aber nur die Menge an anorganischem Stickstoff im Grünlandboden zum Zeitpunkt der Probenahme abgeschätzt werden. Die für die Düngerberatung viel wichtigere Stickstoff-Mineralisierung (Nachlieferung) während der Vegetationsperiode hingegen kann mit den routinemäßigen Bodenanalysemethoden nicht befriedigend bestimmt werden. Der im Labor unter definierten Temperatur- und Feuchtebedingungen ermittelte „nachlieferbare Stickstoff“ (KANDELER 1993) gibt nur das potenzielle Stickstoff-Nachlieferungsvermögen eines Grünlandbodens wieder. Die Rate der Stickstoff-Mineralisierung ist unter natürlichen Standortbedingungen meist deutlich niedriger. In Abhängigkeit von der mikrobiellen Aktivität, vom Wärme- und Wasserhaushalt am Standort wird auf einer Grünlandfläche meist nur ein Teil des „nachlieferbaren Stickstoffs“ auch tatsächlich mineralisiert.

5. Die Bodenmikroorganismen haben eine große Bedeutung für die Freisetzung von potenziell pflanzenverfügbaren Nährstoffen im Grünlandboden. Insbesondere die Verfügbarkeit von Stickstoff, Phosphor und Schwefel wird stark von der Mikroorganismen- und Enzymaktivität im Boden bestimmt (STAHR et al. 2008). Bodenmikrobiologische Kennwerte werden in der Düngerberatung allerdings nur sehr selten berücksichtigt, weil die hierfür notwendigen mikrobiologischen Untersuchungsmethoden meist nicht

routinemäßig angeboten werden oder relativ teuer sind. Für die Interpretation der Untersuchungsergebnisse fehlen außerdem oft standortspezifische Vergleichswerte (MÄDER et al. 2008).

6. Die räumliche Variabilität einzelner Bodenkennwerte ist auf einer Grünlandfläche manchmal sehr groß. Viele Gründe können dafür verantwortlich sein. Das Substrat für die Bodenbildung, der Bodentyp, die Bodenart, der Humusgehalt, der Grobsteingehalt und die Gründigkeit können kleinräumig wechseln (BECKETT und WEBSTER 1971). Natürliche Nährstoffanreicherungsstandorte sind Mulden, Unterhänge oder Hangfußlagen. Auch eine ungleichmäßige Düngerverteilung auf der Grünlandfläche kann im Oberboden zu kleinräumigen Unterschieden im Nährstoffgehalt führen. Die räumliche Heterogenität ist vor allem in Dauerweiden sehr ausgeprägt. Nährstoffanreicherungsstellen befinden sich in der unmittelbaren Umgebung von Viehtränken (WEST et al. 1989), im bevorzugten Lagerbereich der Weidetiere, beim Weideeingang (BOHNER und TOMANOVA 2006) sowie generell unterhalb von Kot- oder Uringeistellen (BECKETT und WEBSTER 1971). Die Entnahme von Bodenproben erfordert daher besondere Sorgfalt. Die Probenahmefläche, auf der Einzelproben repräsentativ entnommen und zu einer Mischprobe vereinigt werden, sollte weitgehend homogen sein. Die Nährstoffanreicherungsstellen sollten bei der Bodenprobenahme ausgelassen oder getrennt von der restlichen Grünlandfläche beprobt werden, wenn die Ergebnisse der Bodenuntersuchung die Basis für Düngeempfehlungen sind.

7. Auch die zeitliche Variabilität einzelner Bodenkennwerte ist auf einer Grünlandfläche manchmal sehr groß. Der Gehalt des Bodens an potenziell pflanzenverfügbaren Nährstoffen beispielsweise weist während der Vegetationszeit in der Regel starke zeitliche und saisonale Schwankungen auf. Die Nährstoffgehalte können auch von Jahr zu Jahr auf derselben Grünlandfläche beträchtlich variieren. Hauptverantwortlich dafür sind die Witterungsverhältnisse während der Vegetationsperiode und die Witterungsunterschiede zwischen den Jahren, denn die Witterung beeinflusst die Bodentemperatur und den Bodenwassergehalt, somit auch alle biologische und chemische Prozesse im Grünlandboden. Für die saisonalen Schwankungen einzelner Nährelemente ist vor allem die pflanzliche Aufnahme verantwortlich. Die Grünlandvegetation hat in der Regel im Frühjahr zur Zeit des stärksten Pflanzenwachstums ihren höchsten Nährstoffbedarf und nimmt in dieser Zeit auch die meisten Nährstoffe aus dem Boden auf. In den Herbstmonaten hingegen ist die pflanzliche Aufnahme vergleichsweise geringer. Daher ist während der Hauptwachstumsperiode, insbesondere aber im Frühling zur Zeit des stärksten Pflanzenwachstums die Nährstoffkonzentration in der Bodenlösung im Allgemeinen relativ niedrig und sie steigt in den Herbstmonaten auf Grund der abnehmenden pflanzlichen Aufnahme sehr häufig an (BOHNER 2008). Die chemischen Bodenuntersuchungsergebnisse gelten auf Grund der zeitlichen Variabilität einzelner chemischer Bodenparameter meist nur für den Zeitpunkt der Probenahme. Eine chemische Bodenanalyse liefert daher oft nur Informationen über einen „Augenblickszustand“. Auf Grund der teilweise starken zeitlichen Veränderungen im Verlaufe einer Vegetationspe-

riode werden Extremwerte, die einzelne bodenchemische Parameter kurzfristig einnehmen können, bei einer einmaligen Probenahme meist nicht erkannt. In der Regel sind aber gerade Extremwerte von entscheidender Bedeutung für die Pflanzenernährung und den Umweltschutz. Anstelle einer einmaligen Untersuchung des Bodens im Hinblick auf potenziell pflanzenverfügbare Nährstoffe wären daher für die Ableitung von Düngeempfehlungen Probenahmen während der gesamten Vegetationsperiode (Zeitreihenanalysen) notwendig (KNAUER 1972). Dies ist aber aus Zeit- und Kostengründen in der Praxis nicht durchführbar. Das Risiko einer Fehlinterpretation von chemischen Bodenanalysedaten wird allerdings minimiert, wenn die Bodenproben immer zur gleichen Jahreszeit bei annähernd vergleichbaren Bodentemperaturen und Bodenwassergehalten entnommen werden (OBENAU 1987). Bei der Probenahme sollte daher immer auch die Witterung berücksichtigt werden.

8. Der CAL-lösliche Phosphor-Gehalt im Grünlandboden ist eine Phosphor-Fraktion aus der Düngerberatung. Auf dieser Basis werden Phosphor-Düngeempfehlungen abgegeben. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass die CAL-Methode die Phosphor-Verfügbarkeit in Böden mit hohem CaCO_3 -Gehalt erheblich unterschätzt (ZORN und KRAUSE 1999). Mit der CAL-Methode wird der CAL-lösliche Phosphor-Pool im Grünlandboden erfasst. Dieser beträgt nach derzeitigem Kenntnisstand etwa 3 % vom Phosphor-Gesamtgehalt. Somit ist nur ein sehr kleiner Teil des gesamten Phosphor-Vorrates im Grünlandboden mit der CAL-Methode extrahierbar. Der in der organischen Substanz des Bodens gebundene Phosphor ist die dominierende Phosphor-Fraktion und folglich der größte Phosphor-Pool in den Grünlandböden (BOHNER 2008). Der Anteil des organisch gebundenen Phosphor am Phosphor-Gesamtgehalt macht nach derzeitigem Kenntnisstand im Durchschnitt etwa 73 % aus. Der organische Phosphor-Pool ist daher eine wesentliche potenzielle Phosphor-Quelle für die Grünlandvegetation und kann durch eine intensive Bodenmikroorganismenaktivität mobilisiert werden. Mit der CAL-Methode wird der organisch gebundene Phosphor allerdings nicht erfasst. Mittels CAL-Extraktion ist in erster Linie eine qualitative Bewertung des Phosphor-Versorgungszustandes von Grünlandböden möglich. Eine quantitative Ableitung der benötigten Düngermenge oder Aussagen zur Pflanzenverfügbarkeit sind hingegen kaum möglich (JUNGK 1993).

9. Auch bodenphysikalische Eigenschaften können ertragsbegrenzende Faktoren sein (Wassermangel, Luftmangel, hoher mechanischer Eindringwiderstand für Pflanzenwurzeln). Bodenphysikalische Parameter werden im Rahmen der routinemäßigen Bodenuntersuchung normalerweise nicht erfasst. Der Bodenwasserhaushalt beispielsweise bestimmt nicht nur die Artenzusammensetzung der Grünlandvegetation (DIERSCHKE und BRIEMLE 2002), sondern beeinflusst auch sehr wesentlich die Mobilität und Pflanzenverfügbarkeit der Nährelemente im Grünlandboden. Der Wasserhaushalt von Grünlandböden kann ohne aufwendige, ganz- oder mehrjährige bodenphysikalische Messungen auf Grund des Bodentyps unter Berücksichtigung weiterer Standortfaktoren und Bodeneigenschaften (Klima, Relief, Gründigkeit, Bodenart, Grobsteingehalt, Humusgehalt, Hu-

musmenge) meist hinreichend genau beurteilt und bewertet werden. Der Bodentyp zählt allerdings zu den konservativen Bodeneigenschaften. Deswegen ist die Feststellung des aktuellen Bodenwasserhaushalts an einem Grünlandstandort manchmal problematisch. Charakteristische Hydromorphiemerkmale bleiben im Boden lange erhalten und müssen mit den gegenwärtigen Bodenwasserverhältnissen nicht übereinstimmen. Bei schlecht zeichnenden Böden hingegen ist ein Grund-, Stau- oder Hangwassereinfluss oft makromorphologisch nicht erkennbar.

10. Der problematischste Punkt jedoch ist, dass mittels chemischer Bodenanalyse lediglich der potenziell verfügbare Nährstoffgehalt im Grünlandboden bestimmt werden kann. Ob diese Nährstoffe auch tatsächlich pflanzenaufnehmbar sind, kann nicht festgestellt werden. Die Pflanzenverfügbarkeit der Nährelemente im Grünlandboden und die Nährstoffaufnahme der Grünlandpflanzen hängen nämlich von vielen Faktoren ab. Die Pflanzenwurzeln nehmen die Nährstoffe direkt aus der Bodenlösung auf. Daher haben insbesondere die Konzentration und Relation der Nähr- und Schadelemente in der Bodenlösung während der Vegetationsperiode, die mobilisierbaren Nährstoffreserven im durchwurzelten Boden, die Rate, mit der die Bodenlösung durch die Bodenfestphase wieder aufgefüllt wird (Desorption, Lösung, Mineralisation) und die Rate, mit der die Nährstoffe in der Bodenlösung zur aufnahmeaktiven Wurzel gelangen (Massenfluss, Diffusion) eine erhebliche Bedeutung für die Nährstoffversorgung der Grünlandpflanzen. Der Nährstofftransport durch Massenfluss und Diffusion wird sehr wesentlich vom Bodenwasserhaushalt bestimmt. Generell ist die Nährstoffanlieferung zu den Pflanzenwurzeln und folglich die Verfügbarkeit um so größer, je höher der Wassergehalt im Boden und die Nährstoffkonzentration in der Bodenlösung sind. Entscheidend für die Nährstoffaufnahme sind aber auch Pflanzenfaktoren wie beispielsweise Wurzelausscheidungen und wurzelinduzierte Veränderungen in der Rhizosphäre, Wurzelwachstumsrate, Größe der aufnahmeaktiven Wurzeloberfläche oder Wurzellänge. Je größer die Wurzeldichte (Anzahl von Feinwurzeln pro m^2 Boden) im Grünlandboden ist, desto höher ist auch die Nährstoffausbeute der Grünlandpflanzen. Durch eine große aufnahmeaktive unterirdische Phytomasse erhöht sich nämlich die räumliche Verfügbarkeit der Nährstoffe im Boden durch Verminderung der Distanz, die die Nährionen zu den Pflanzenwurzeln durch Massenfluss und Diffusion zurücklegen müssen. Die chemische Bodenanalyse liefert somit hauptsächlich einen Hinweis für die Kapazität eines Bodens den Pflanzen Nährstoffe zu liefern, aber sie berücksichtigt nicht die Mobilität (räumliche Verfügbarkeit) der Nährstoffe im Boden. Daher reicht eine routinemäßige Bodenuntersuchung für die Charakterisierung der Nährstoffversorgung der Grünlandpflanzen in der Regel nicht aus (JUNGK 1993, MARSCHNER 1998, SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 2002, STAHR et al. 2008).

Trotz einiger Probleme, Einschränkungen und Fehlermöglichkeiten ist eine regelmäßige Bodenuntersuchung zur Charakterisierung des Nährstoffzustandes von Grünlandböden unbedingt anzuraten. Der Düngerbedarf der Grünlandbestände kann hingegen ohne Einbeziehung weiterer standortspezifischer Faktoren und Bodeneigenschaften, die

die Pflanzenverfügbarkeit der Nährelemente beeinflussen (insbesondere Wärme- und Wasserhaushalt, Durchwurzelbarkeit und Durchwurzelungsdichte, mikrobielle Aktivität) nur sehr grob abgeschätzt werden. Das Risiko einer Fehleinschätzung wird minimiert, wenn für Düngeempfehlungen neben den notwendigen Bodenanalysedaten zumindest auch Zeigerpflanzen berücksichtigt werden.

Möglichkeiten und Grenzen der Bioindikation mittels Zeigerpflanzen

Die einzelnen Pflanzenarten kommen im Dauergrünland nicht wahllos nebeneinander vor. Nur Arten mit ähnlichen Standortsansprüchen können miteinander existieren, sie bilden eine Pflanzengesellschaft. Die Artenzusammensetzung der Grünlandvegetation ist abhängig von den natürlichen Standortseigenschaften (Wärme-, Wasser-, Luft- und (Nähr)stoffhaushalt, Gründigkeit und Grobsteingehalt) und den jeweiligen Bewirtschaftungsmaßnahmen (Düngung, Nutzung, Bestandespflege). Einige Pflanzenarten sind besonders eng an bestimmte Standortseigenschaften und Bewirtschaftungsmaßnahmen gebunden und sie reagieren äußerst empfindlich gegenüber deren Veränderungen. Diese Pflanzenarten können daher als Bioindikatoren (Zeigerpflanzen) verwendet werden. Zeigerpflanzen sind somit Arten, deren Vorkommen oder Fehlen, deren Zu- oder Abnahme in einem Pflanzenbestand Hinweise auf bestimmte Standortseigenschaften, Bewirtschaftungsmaßnahmen und deren Veränderungen geben (ELLENBERG 1981, BICK 1982, SUKOPP et al. 1986). Sie liefern wertvolle Informationen über den Zustand der Böden und die Trends ihrer Entwicklung (vgl. FREUDENSCHUSS und HUBER 2001). Zeigerpflanzen sind Bioindikatoren, mit deren Hilfe

- die Standortsbonität rasch und flächenhaft festgestellt,
- Standortveränderungen, Düngungs- und Bewirtschaftungsfehler frühzeitig erkannt,
- die Notwendigkeit von standortspezifischen Düngungs- und Pflegemaßnahmen einfach und nachvollziehbar abgeleitet,
- der Erfolg von Düngungs- und Pflegemaßnahmen kontrolliert,
- die Befahrbarkeit und Trittfestigkeit des Bodens flächenhaft beurteilt und
- das Nährstoffaustragspotenzial qualitativ abgeschätzt werden können.

Kleinräumige Standortsunterschiede und die natürliche räumliche Variabilität der ökologisch relevanten Bodeneigenschaften können einfach und rasch während der Vegetationsperiode festgestellt werden. Dadurch wird eine standortangepasste, pflanzenbedarfsgerechtere und somit umweltschonendere Düngung möglich. Der aktuelle Wasserhaushalt von Grünlandböden kann besser beurteilt und bewertet werden, wenn zusätzlich zum Bodentyp auch noch Zeigerpflanzen berücksichtigt werden. Außerdem integrieren Zeigerpflanzen die Standortfaktoren zumindest über die Vegetationsperiode, meistens sogar über mehrere Jahre (FISCHER et al. 2008), sodass jährliche und jahreszeitliche Schwankungen sowie Extremwerte von einzelnen physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften erfasst werden.

Die Beurteilung und Bewertung eines Grünlandstandortes mit Hilfe von Zeigerpflanzen ist mit einem geringen Arbeitsaufwand verbunden, relativ einfach und rasch im Gelände während der Vegetationsperiode ohne Messinstrumente oder Geräte flächendeckend durchführbar und verursacht keine Kosten. Als Zeigerpflanzen eignen sich nur jene Arten, die

- einen hohen Zeigerwert besitzen, der auch großräumig gültig ist
- gegenüber Veränderungen der Standortseigenschaften und Bewirtschaftungsmaßnahmen relativ schnell reagieren
- taxonomisch gut erforscht sind und deren ökologisches Verhalten genau bekannt ist
- im Gelände leicht zu bestimmen sind
- im Wirtschaftsgrünland häufig und weit verbreitet vorkommen.

Für die Beurteilung und Bewertung eines Grünlandstandortes mit Hilfe von Zeigerpflanzen genügt die Kenntnis einiger weniger charakteristischer Zeigerarten.

Es gibt Zeigerpflanzen für verschiedene Standortseigenschaften und Bewirtschaftungsfaktoren:

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

Einige Zeigerpflanzen können mehreren Zeigerartengruppen zugeordnet werden; sie haben eine Indikatorfunktion für mehrere Standortfaktoren. Der Bürstling (*Nardus stricta*) beispielsweise ist nicht nur ein Säurezeiger, sondern gleichzeitig auch ein Magerkeitszeiger. Das Gewöhnliche Rispengras (*Poa trivialis*) hingegen ist sowohl ein Lückenbüßer als auch ein Übernutzungszeiger.

Aus dem Vorkommen oder Fehlen von Zeigerarten im Pflanzenbestand können Standortmängel flächenhaft festgestellt sowie Düngungs- und Bewirtschaftungsfehler frühzeitig erkannt werden. Allerdings sind Rückschlüsse auf den Standort und die Bewirtschaftung nur bei besonders starkem Auftreten einer Zeigerart (z.B. Stumpfblatt-Ampfer mit großer Individuenzahl und hohem Deckungsgrad im Pflanzenbestand) oder beim Vorkommen mehrerer bis vieler Arten mit gleichem Zeigerwert (z.B. zahlreiche Magerkeitszeiger mit höherer Individuenzahl im Pflanzenbestand) möglich. Aus der Anwesenheit einer einzigen Zeigerart mit geringer Individuenzahl (z.B. vereinzelt Vorkommen des Gänseblümchens im Pflanzenbestand) kann keine Aussage über den Standort oder die Bewirtschaftung gemacht werden (PLACHTER 1989). Grundsätzlich sollte nicht nur das Vorkommen, die Individuenzahl und der Deckungsgrad von einzelnen Zeigerpflanzen oder das Fehlen von Zeigerarten in einem für sie geeignet erscheinenden Lebensraum berück-

sichtigt werden. Um Fehlinterpretationen weitgehend zu vermeiden, sollten alle Arten eines Pflanzenbestandes, also die floristische Zusammensetzung der Pflanzengesellschaft, betrachtet werden. Mehrere, gegenüber den entscheidenden Standortfaktoren ähnlich reagierende Zeigerarten (Gruppe von Zeigerarten mit annähernd gleichem ökologischen Verhalten) und die Pflanzengesellschaft haben eine bessere Aussagekraft als Einzelarten (DIERSCHKE 1994, DIERSCHKE und BRIEMLE 2002).

Der Pflanzenbestand sollte mehrmals während der Vegetationsperiode in Bezug auf Zeigerpflanzen kontrolliert werden. Besonders wichtig ist allerdings eine Beurteilung zum ersten Aufwuchs, denn einige Zeigerpflanzen können nur im Frühling beobachtet werden. Das Knöllchen-Scharbockskraut (*Ficaria verna*) beispielsweise ist ein Frühlingsblüher, deren Blätter frühzeitig absterben. Das Vorkommen im Pflanzenbestand kann daher nur beim ersten Aufwuchs festgestellt werden.

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

1. Zeigerpflanzen für den Säuregrad des Bodens, den Wärme- und Bodenwasserhaushalt kommen vor allem im Extensivgrünland vor. In Feldfutterbeständen, Wechselwiesen oder generell bei intensiver Bewirtschaftung sind sie im Pflanzenbestand meist nur spärlich vorhanden oder fehlen gänzlich. Dies schränkt ihre praktischen Einsatzmöglichkeiten in der Grünlandwirtschaft ein wenig ein.
2. Zeigerpflanzen liefern keine Messdaten. Mit Hilfe der Zeigerpflanzen sind daher quantitative Aussagen über Standortfaktoren nicht möglich. Ob im Boden 5 oder 15 mg Phosphor pro kg Feinboden vorhanden sind, ob der pH-Wert 5.0 oder 5.5 beträgt, kann aus dem Vorkommen oder Fehlen von Zeigerpflanzen nicht geschlossen werden. Nur qualitative Aussagen wie beispielsweise nährstoffarm oder nährstoffreich, karbonatfrei (sauer) oder karbonathaltig (schwach sauer bis alkalisch) sind möglich. Die Beurteilung und Bewertung eines Grünlandstandortes mit Hilfe von Zeigerpflanzen ist daher manchmal sehr subjektiv. Somit können Zeigerpflanzen chemische Bodenanalysen oder Messungen nicht ersetzen, sondern nur ergänzen.
3. Die Vegetation integriert über die Standortfaktoren (FISCHER 2003). Deshalb ist es mit Hilfe von Zeigerpflanzen oft nicht möglich, Informationen über die Wirkungsstärke einzelner isolierter Faktoren zu erhalten. Aussagen sind meist nur über bestimmte Faktorenkombinationen möglich. Welches Nährelement beispielsweise für den Überschuss oder Mangel im Boden hauptverantwortlich ist, kann mittels Zeigerpflanzen oft nicht festgestellt werden.
4. Bei der Beurteilung und Bewertung von Veränderungen der Standorts- oder Bewirtschaftungsfaktoren mittels Zeigerpflanzen müssen immer auch die jahreszeitlichen und witterungsbedingten natürlichen Schwankungen des Deckungsgrades von Zeigerarten berücksichtigt werden. Eine häufige oder länger andauernde kühle, niederschlagreiche Witterung beispielsweise begünstigt Wechselfeuchte- und Feuchtezeiger. Bei diesen Witterungsverhältnissen oder

nach einem besonders schneereichen Winter kann sich kurzfristig ihr Deckungsgrad im Pflanzenbestand erhöhen (Fluktuation). Daraus kann aber noch keine tatsächliche längerfristige Veränderung des Bodenwasserhaushaltes abgeleitet werden. Außerdem verändert sich bei einigen Zeigerarten der Deckungsgrad oder Ertragsanteil während der Vegetationsperiode in charakteristischer Weise. Das Gewöhnliche Rispengras (*Poa trivialis*) beispielsweise hat im Wirtschaftsgrünland immer im ersten Aufwuchs ihren höchsten Ertragsanteil. Der Weißklee (*Trifolium repens*) hingegen erreicht oft beim letzten Aufwuchs seinen höchsten Deckungswert im Pflanzenbestand.

5. Zeigerpflanzen geben nur Auskunft über den Bodenzustand im Wurzelraum. Bei der Beurteilung und Bewertung eines Grünlandstandortes sollte daher idealerweise auch der Wurzeltiefgang der einzelnen Zeigerpflanzen berücksichtigt werden (Flachwurzler versus Tiefwurzler).

6. Der Zeigerwert einiger Arten wird entscheidend vom Wuchsort beeinflusst (Gesetz der relativen Standortkonstanz; WALTER und WALTER 1953). Die Trollblume (*Trollius europaeus*) beispielsweise ist nur in den wärmeren Tal- und Beckenlagen ein Feuchtezeiger; im kühlen, niederschlagreichen Berggebiet hingegen ist sie ein Frischezeiger. Auch die Nutzungsempfindlichkeit (Mahdverträglichkeit) einiger Arten ändert sich innerhalb ihres Areals. Der Glatthafer (*Arrhenatherum elatius*) beispielsweise toleriert in kühleren Gebieten nur ein bis zwei Schnitte pro Jahr (BOHNER et al. 2006). In wärmeren Naturräumen hingegen erträgt der Glatthafer auf frischen Standorten bis zu drei Schnitte pro Jahr. Der Zeigerwert einzelner Arten ist somit oft nur für kleinere Gebiete und bestimmte Höhenstufen gültig (ELLENBERG et al. 1992, DIERSCHKE 1994, FISCHER 2003).

7. Der Zeigerwert einiger Arten hängt auch entscheidend von der Art und Menge an vorhandenen Konkurrenten ab (WILMANN 1989). Rot-Schwingel (*Festuca rubra* ssp. *rubra*) oder Rot-Straußgras (*Agrostis capillaris*) beispielsweise sind nur in Tal- und Beckenlagen Magerkeitszeiger. Im Berggebiet hingegen wachsen sie wegen des klimatisch bedingten weitgehenden Fehlens von höherwüchsigen Konkurrenten bevorzugt auf nährstoffreicheren Böden. Sie gelten im Almgebiet als Stickstoffzeiger.

8. Manche Pflanzenarten ändern mit zunehmendem Alter ihre ökologischen Ansprüche an einzelne Standortfaktoren. Keimlinge und Jungpflanzen können daher einen anderen Zeigerwert besitzen als Pflanzen in späteren Lebensabschnitten (ELLENBERG 1952).

9. Bisher unbekannte Unterarten oder Ökotypen können unterschiedliche Zeigerwerte besitzen (DIERSCHKE 1994).

10. Die häufigsten und am weitesten verbreiteten Grünlandpflanzen sollten sowohl im blühenden als auch im nicht blühenden Zustand sicher erkannt werden. Eine gute Artenkenntnis und ausreichende Erfahrung sind notwendig, um den Deckungsgrad oder die Individuenzahl der Zeigerarten in einem Pflanzenbestand richtig einschätzen und bewerten zu können.

Unter Berücksichtigung der geschilderten Probleme, Einschränkungen und Fehlermöglichkeiten sollten für die Beurteilung und Bewertung eines Grünlandstandortes und für die

Feststellung des Düngerbedarfs neben den Bodenanalyse-
daten und feldbodenkundlichen Untersuchungsergebnissen
gleichzeitig immer auch Zeigerpflanzen verwendet werden.
Dadurch wird eine standortspezifischere Interpretation der
Analysedaten möglich.

Nährstoffzeiger

Die häufigsten und am weitesten verbreiteten Nährstoff-
zeiger im Dauergrünland sind Stumpfbblatt-Ampfer (*Rumex*
obtusifolius), Wiesen-Bärenklau (*Heracleum sphondylium*
ssp. *sphondylium*), Wiesen-Kerbel (*Anthriscus sylvestris*),
Wimper-Kälberkropf (*Chaerophyllum hirsutum*), Geiß-
fuß (*Aegopodium podagraria*), Groß-Brennnessel (*Urtica*
dioica), Weiß-Taubnessel (*Lamium album*) und Acker-
Quecke (*Elymus repens*). Sie zeigen bei zahlreichem Vor-
kommen einen besonders nährstoffreichen (überdüngten)
Grünlandboden mit höherem Nährstoffaustragspotenzial
an. Sie erreichen nur im gegenwärtig oder in der Vergan-
genheit reichlich gedüngten Dauergrünland eine größere
Individuenzahl oder einen höheren Deckungsgrad und sie
fehlen in typischen Magerwiesen oder Magerweiden. Es
sind Bioindikatoren für Grünlandflächen mit einem hö-
heren Nährstoffeintragspotenzial in das Grundwasser, in
Oberflächengewässer oder in benachbarte Biotope. Damit
sich die genannten Nährstoffzeiger im Pflanzenbestand
nicht weiter ausbreiten, muss in erster Linie die jährlich
ausgebrachte Düngermenge drastisch reduziert werden. Da-
durch wird gleichzeitig auch die Eutrophierungsgefahr von
benachbarten terrestrischen und aquatischen Ökosystemen
vermindert. Wiesen-Bärenklau, Wiesen-Kerbel, Wimper-
Kälberkropf, Geißfuß und Weiß-Taubnessel sind ziemlich
trittempfindliche Pflanzenarten. Sie fehlen daher in intensiv
genutzten Mäh- und Dauerweiden entweder gänzlich oder
sind nur spärlich vertreten. Sie haben ihren Verbreitungs-
schwerpunkt in regelmäßig gedüngten Dauerwiesen. Die
Groß-Brennnessel gilt im Grünland als Zeigerpflanze für
nitratstickstoffreiche Böden und extensive Nutzung. Sie
fehlt daher in mehrschnittigen Dauerwiesen sowie in intensi-
v genutzten Mäh- und Dauerweiden. Die Groß-Brennnessel
tritt vor allem in Hutweiden oft nesterweise an Stellen auf,
wo der Boden insbesondere mit Nitrat-Stickstoff angerei-
chert ist. Auch die Acker-Quecke gilt im Dauergrünland
als Stickstoffzeiger.

Lückenbüßer

Die häufigsten und am weitesten verbreiteten Lücken-
büßer im Wirtschaftsgrünland sind Wiesen-Löwenzahn
(*Taraxacum officinale* agg.), Gewöhnlich-Hirtentäschel
(*Capsella bursa-pastoris*), Gewöhnliche Vogel-Sternmiere
(*Stellaria media*), Knöllchen-Scharbockskraut (*Ficaria*
verna), Stumpfbblatt-Ampfer (*Rumex obtusifolius*), Ruderal-
Schaukraut (*Cardamine hirsuta*), Kriech-Hahnenfuß
(*Ranunculus repens*), Kriech-Fingerkraut (*Potentilla*
reptans), Gewöhnlich-Vogelknöterich (*Polygonum avicu-
lare* s. lat.), Faden-Ehrenpreis (*Veronica filiformis*), Feld-
Ehrenpreis (*Veronica arvensis*), Bunt-Hohlzahn (*Galeopsis*
speciosa), Zotten-Klappertopf (*Rhinanthus alectorolophus*),
Schmalfrucht-Hungerblümchen (*Draba verna*), Voralpen-
Täschelkraut (*Noccaea caerulea*), Weiche Trespe

(*Bromus hordeaceus*), Einjahrs-Rispengras (*Poa annua*),
Läger-Rispengras (*Poa supina*), Gewöhnliches Rispengras
(*Poa trivialis*), Rauhaar-Segge (*Carex hirta*) und Kriech-
Straußgras (*Agrostis stolonifera*). Die angeführten Pflan-
zenarten besiedeln vor allem Vegetationslücken auf mäßig
bis gut mit Nährstoffen versorgten Grünlandböden. Einige
von ihnen sind ein- bis zweijährige Ackerwildkraut- und
Ruderalarten. Sie sind auf Samenvermehrung angewiesen;
ihre Samen keimen bevorzugt an offenen, nährstoffreicheren
Bodenstellen. Die angeführten Lückenbüßer sind Bioindi-
katoren für lückenhafte Pflanzenbestände. Sie können ein
Indiz sein für gegenwärtige oder bereits in der Vergangenheit
begangene Düngungs- und Bewirtschaftungsfehler. Die
wesentlichsten Düngungs- und Bewirtschaftungsfehler
sind ein zu früher, zu häufiger oder zu tiefer Schnitt, eine
Verletzung der Grasnarbe durch Befahren, Mahd oder Be-
weidung sowie Überbeweidung oder Überdüngung. Der
Großteil der angeführten Lückenbüßer kommt daher vor
allem in reichlich gedüngten, mehr oder weniger intensiv
genutzten Mäh- und Dauerweiden, in Vielschnittwiesen
sowie generell an häufig oder stark gestörten Standorten mit
größerer Individuenzahl oder höherem Deckungsgrad vor.
Auch ungünstige Witterungs- und Bodenwasserverhältnisse
wie beispielsweise eine häufige oder länger andauernde
Trockenheit, Kälte, Bodenvernässung, Überflutung oder
Schneereichtum begünstigen eine Lückenbildung. Lücken-
büßer treten daher in Jahren mit extremen Witterungs- und
Bodenwasserverhältnissen sowie nach einem besonders
schneereichen Winter stärker im Pflanzenbestand auf als in
Jahren mit weniger extremen Bedingungen. Die genannten
Lückenbüßer kennzeichnen Grünlandflächen mit Narben-
schäden und folglich auch höherem Nährstoffaustragspo-
tenzial. Wenn sie zahlreich oder mit hohem Deckungsgrad
im Pflanzenbestand vorkommen, ist eine Nach- bzw.
Übersaat mit geeignetem Saatgut notwendig. Im Sinne einer
ökologisch nachhaltigen Grünlandbewirtschaftung hat die
Ursachenbekämpfung immer Vorrang gegenüber der Symp-
tombekämpfung. Düngungs- und Bewirtschaftungsfehler
sollten daher in Zukunft vermieden werden. Auf feuchten
oder nassen Standorten können sich in Vegetationslücken
auf sauren, karbonatfreien Böden die Flatter-Simse (*Juncus*
effusus) und auf karbonathaltigen Böden die Grau-Simse
(*Juncus inflexus*) ausbreiten. Diese ausdauernden Simsen-
gewächse (Binsen) gelten im Dauergrünland als Störungs-
und Nässezeiger.

Bodenverdichtungs- und Übernutzungszeiger

Die häufigsten und am weitesten verbreiteten Zeigerpflanzen
für Oberbodenverdichtung und Krumenwechselfeuchtigkeit
im Dauergrünland sind Kriech-Hahnenfuß (*Ranunculus*
repens), Gewöhnlicher Breit-Wegerich (*Plantago major*
ssp. *major*), Gewöhnlich-Vogelknöterich (*Polygonum*
aviculare s. lat.), Herbst-Schuppenleuzahn (*Scorzonero-
ides autumnalis*), Knopf-Kamille (*Matricaria discoidea*),
Einjahrs-Rispengras (*Poa annua*), Läger-Rispengras (*Poa*
supina) und Kriech-Straußgras (*Agrostis stolonifera*). Es
handelt sich dabei um Arten der Tritt- und Flutrasen. Die
genannten Bodenverdichtungszeiger kennzeichnen in Hang-
lagen bei stärkerem Auftreten Grünlandflächen mit erhöhter

Gefahr von Oberflächenabfluss und Abschwemmung der gedüngten Nährstoffe.

Als Übernutzungszeiger gelten – zusätzlich zu den bereits erwähnten Bodenverdichtungszeigern – auch noch Gänseblümchen (*Bellis perennis*), Gänse-Fingerkraut (*Potentilla anserina*), Mittel-Wegerich (*Plantago media*), Stumpfblatt-Ampfer (*Rumex obtusifolius*) und Gewöhnliches Rispengras (*Poa trivialis*). Sie werden durch eine nicht an den Standort angepasste, zu häufige Mahd oder Überbeweidung gefördert. Auch der sehr lichtbedürftige Weiß-Klee (*Trifolium repens*) profitiert von einer hohen Nutzungsintensität und kann in diesem Fall zu einem Hauptbestandbildner werden.

Die genannten Bodenverdichtungs- und Übernutzungszeiger weisen bei Massenvorkommen auf einen mäßig bis gut mit Nährstoffen versorgten, verdichteten Oberboden und auf einen übernutzten Pflanzenbestand hin. Es sind überwiegend niedrigwüchsige, bodenblattreiche, trittresistente, früh- und vielschnittverträgliche Kriech- und Rosettenpflanzen. Sie kommen daher vor allem in intensiv genutzten Mäh- und Dauerweiden, Vielschnittwiesen und Trittrasen mit großer Individuenzahl oder hohem Deckungsgrad vor. Im Extensivgrünland hingegen fehlen die Vertreter dieser beiden Zeigerartengruppen mit Ausnahme vom Mittel-Wegerich (*Plantago media*) weitgehend. Die Bodenverdichtungs- und Übernutzungszeiger zählen aus landwirtschaftlicher Sicht betrachtet zu den mehr oder weniger unerwünschten Arten. Sie können nur durch eine Verminderung der Nutzungsintensität – meist in Kombination mit reduzierten Düngergaben – nachhaltig im Pflanzenbestand zurückgedrängt werden.

Magerkeitszeiger

Die häufigsten und am weitesten verbreiteten Zeigerpflanzen für nährstoffärmere Böden im Wirtschaftsgrünland der Tal- und Beckenlagen sind Rot-Schwingel (*Festuca rubra* ssp. *rubra*), Rot-Straußgras (*Agrostis capillaris*), Wiesen-Ruchgras (*Anthoxanthum odoratum*), Wiesen-Hainsimse (*Luzula campestris*), Schmalblatt-Rispengras (*Poa angustifolia*), Flaumhafer (*Homalotrichon pubescens* ssp. *pubescens*), Zittergras (*Briza media*), Mittel-Wegerich (*Plantago media*), Gewöhnlich-Leuzenzahn (*Leontodon hispidus*), Wiesen-Hornklee (*Lotus corniculatus*), Blutwurz (*Potentilla erecta*), Rundblatt-Glockenblume (*Campanula rotundifolia*), Klein-Bibernelle (*Pimpinella saxifraga*), Gewöhnlicher Wiesen-Augentrost (*Euphrasia officinalis* ssp. *rozkoviana*), Gewöhnlicher Arznei-Quendel (*Thymus pulegioides* ssp. *pulegioides*), Klein-Mausohrhabichtskraut (*Hieracium pilosella*), Gewöhnlich-Ferkelkraut (*Hypochoeris radicata*) und Wiesen-Margerite (*Leucanthemum vulgare* agg.). Außerdem zählen dazu alle typischen Arten der Bürstlingsrasen, Trespel-Halbtrockenrasen, Pfeifengraswiesen und Flachmoor-Gesellschaften. Die angeführten Magerkeitszeiger sind in den Tal- und Beckenlagen auf nährstoffreichen Böden nicht konkurrenzfähig. Wenn sie mit größeren Individuenzahlen oder höheren Deckungsgraden im Pflanzenbestand auftreten, ist der Grünlandboden relativ nährstoffarm. Bei einer dichten, geschlossenen Grasnarbe und bei einer lockeren, porösen, krümeligen Struktur im Oberboden ist die Gefahr von erhöhten Nährstoffausträgen durch Erosion, Abschwemmung oder Auswaschung gering.

Schlussfolgerungen

Die Art der Bewirtschaftung, die Form und Höhe der ausgebrachten Düngermenge, die Intensität der Nutzung sowie die Beurteilung und Bewertung des Nährstoffzustandes im Grünlandboden haben sich immer an der naturräumlichen Standortsbonität zu orientieren. Bei geringerer Standortsbonität müssen sowohl das Düngungsniveau als auch die Nutzungsintensität vermindert werden. Die Grenzen der Intensivierung und die ökologische Nachhaltigkeit der Grünlandbewirtschaftung können mit Hilfe von Indikationskennwerten festgestellt werden (BOHNER 2005b). Ein bewährter feldbodenkundlicher Indikator für die Intensität der Grünlandbewirtschaftung ist die Struktur des Oberbodens. Ein dichtes, grobes Plattengefüge, meist in Kombination mit zahlreichen deutlichen Roströhren, weist sehr häufig auf eine bewirtschaftungsbedingte Oberbodenverdichtung und eine daraus resultierende Krümmenwechselfeuchtigkeit hin. Der Strukturzustand des Grünlandbodens kann im Gelände mittels Spatenprobe einfach und rasch während der frost- und schneefreien Jahreszeit bewertet werden. Regelmäßige chemische Bodenuntersuchungen sind notwendig, um das Nährstoffangebot am Pflanzenstandort abschätzen und Trends der Veränderung feststellen zu können. Auch die Grünlandvegetation liefert Informationen über den Struktur- und Nährstoffzustand des Grünlandbodens; außerdem können mit Hilfe von Zeigerpflanzen standortsspezifische Intensivierungsgrenzen festgestellt werden. Nährstoffzeiger, Bodenverdichtungszeiger, Übernutzungszeiger und Lückenbüßer weisen bei häufigem Vorkommen auf besonders nährstoffreiche (überdüngte) Grünlandböden, eine Oberbodenverdichtung, eine zu intensive Nutzung oder auf Vegetationslücken hin. Wenn diese Zeigerpflanzen mit großer Individuenzahl oder mit hohem Deckungsgrad im Pflanzenbestand vorkommen, dann ist die Grenze der Intensivierung erreicht. Ihr Deckungsgrad sollte insgesamt 30-40 % nicht überschreiten. Sobald sich diese Pflanzenarten zu Lasten von wertvollen Futtergräsern im Grünlandbestand stark ausbreiten, sinken Menge und Qualität des Futters; die tatsächlichen und möglichen Nährstoffausträge aus dem Grünlandökosystem nehmen zu. Auf Grund ihrer Indikatorfunktion sollten in Zukunft bei der Beurteilung und Bewertung des Bodenzustandes, für die Ableitung von Düngeempfehlungen und die Festlegung von standortsspezifischen Intensivierungsgrenzen neben Bodentyp, Bodenart, Strukturform im Oberboden, Durchwurzelbarkeit, Durchwurzelungsdichte, Klima- und Bodenanalysedaten immer auch Zeigerpflanzen berücksichtigt werden. Die Beurteilung und Bewertung eines Grünlandstandortes mit Hilfe von Zeigerpflanzen ist mit einem geringen Arbeitsaufwand verbunden, relativ einfach und rasch im Gelände während der Vegetationsperiode ohne Messinstrumente oder Geräte flächendeckend durchführbar und verursacht keine Kosten. In der Regel genügt die Kenntnis einiger weniger charakteristischer Zeigerarten. Zeigerpflanzen haben somit für die Grünlandwirtschaft, vor allem aber für die Düngberatung eine große praktische Bedeutung. Zeigerpflanzen sollen Bodenuntersuchungen oder Messungen nicht ersetzen, sondern ergänzen. Hoftor- oder Schlagbilanzen können zusätzlich wichtige Informationen über die Veränderung der Nährstoffvorräte im Grünlandboden liefern (MÄDER

et al. 2008). Als wertvolle Ergänzung bieten sich auch noch Futteranalysen an, denn sie ermöglichen Rückschlüsse auf die Pflanzenverfügbarkeit der Nährelemente im Grünlandboden, insbesondere wenn neben den Nährstoffgehalten in der pflanzlichen Trockenmasse gleichzeitig auch die Erträge (Entzüge einzelner Nährelemente), der Erntezeitpunkt (Pflanzenalter) und die floristische Zusammensetzung des Pflanzenbestandes bei der Interpretation der Analyseergebnisse berücksichtigt werden. Die Einstufung der Grünlandböden in Gehaltsklassen gemäß den derzeitigen RICHTLINIEN FÜR DIE SACHGERECHTE DÜNGUNG (2006) kann hingegen nur als ein sehr grobes Hilfsmittel für Düngeempfehlungen betrachtet werden. Dies gilt insbesondere für den CAL-löslichen Phosphor-Gehalt. Die praktische Bedeutung liegt vor allem darin, Bodenanalysedaten durch Einordnung in eine der insgesamt fünf Gehaltsklassen qualitativ bewerten zu können.

Anmerkung

Die Taxonomie und Nomenklatur der angeführten Gefäßpflanzen richten sich nach FISCHER et al. (2008). Hinsichtlich Bestimmungsliteratur wird auf Grund der detaillierten Abbildungen und hervorragenden Fotos vor allem auf ROTHMALER (2000) sowie DIETL und JORQUERA (2003) verwiesen.

Literatur

- BECKETT, P.H.T. and R. WEBSTER, 1971: Soil variability: a review. *Soils and Fertilizers*, Vol. 34, 1-15.
- BICK, H., 1982: Bioindikatoren und Umweltschutz. *Decheniana-Beihefte* 26, 2-5.
- BOHNER, A., 2005a: Soil chemical properties as indicators of plant species richness in grassland communities. *Grassland Science in Europe*, Vol. 10, 48-51.
- BOHNER, A., 2005b: Bodenindikatoren für die Bewirtschaftungsintensität und die floristische Artenvielfalt im Wirtschaftsgrünland. *Mitt. der Österr. Bodenkundl. Ges.*, Heft 72, 67-73.
- BOHNER, A., R. ÖHLINGER und O. TOMANOVA, 2006: Auswirkungen der Grünlandbewirtschaftung und Flächenstilllegung auf Vegetation, Boden, mikrobielle Biomasse und Futterqualität. *Die Bodenkultur*, Bd. 57, 33-45.
- BOHNER, A. and O. TOMANOVA, 2006: Effects of cattle grazing on selected soil chemical and soil physical properties. *Grassland Science in Europe*, Vol. 11, 89-91.
- BOHNER, A. und M. SCHINK, 2007: Ergebnisse der Bodenuntersuchungen im Einzugsgebiet des Mondsees und Irrsees mit besonderer Berücksichtigung des Phosphors. *Schriftenreihe BAW*, Band 26, 34-50.
- BOHNER, A., 2008: Phosphor-Pools und Phosphor-Verfügbarkeit im Grünlandboden als Basis für Phosphor-Düngeempfehlungen. *Umweltökologisches Symposium*, 4.-5.3.2008, LFZ Raumberg-Gumpenstein, 59-66.
- CAMPBELL, C.A., Y.W. JAME, O.O. AKINREMI and M.L. CABRERA, 1995: Adapting the potentially mineralizable N concept for the prediction of fertilizer N requirements. *Fertilizer Research* 42, 61-75.
- DIERSCHKE, H., 1994: *Pflanzensoziologie*. Ulmer Verlag, 683 S.
- DIERSCHKE, H. und G. BRIEMLE, 2002: *Kulturgrasland*. Ulmer Verlag, 239 S.
- DIETL, W. und M. JORQUERA, 2003: *Wiesen- und Alpenpflanzen*. Österreichischer Agrarverlag und Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL Reckenholz), 651 S.
- ELLENBERG, H., 1952: Auswirkungen der Grundwassersenkung auf die Wiesengesellschaften am Seitenkanal westlich Braunschweig. *Angew. Pflanzensoz.* 6: 1-46.
- ELLENBERG, H., 1981: Was ist ein Bioindikator? Sind Greifvögel Bioindikatoren? *Ökol. Vögel (Ecol. Birds)* 3, Sonderheft, 83-99.
- ELLENBERG, H., H.E. WEBER, R. DÜLL, V. WIRTH, W. WERNER und D. PAULISSEN, 1992: *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. *Scripta Geobotanica* 18. E. Goltze Verlag, 258 S.
- FISCHER, A., 2003: *Forstliche Vegetationskunde*. UTB Ulmer Verlag, 421 S.
- FISCHER, M.A., K. OSWALD und W. ADLER, 2008: *Exkursionsflora für Österreich, Liechtenstein und Südtirol*. 3. Auflage, Biologiezentrum der Oberösterreichischen Landesmuseen, 1391 S.
- FREUDENSCHUSS, A. und S. HUBER, 2001: Wie kann diffuse Bodenbelastung mit Hilfe von Indikatoren beurteilt werden? *Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges.* Bd. 96, Heft 2, 717-718.
- FROSSARD, E., P. JULIEN, J.-A. NEYROUD und S. SINAJ, 2004: Phosphor in Böden, Düngern, Kulturen und Umwelt – Situation in der Schweiz. *Schriftenreihe Umwelt* Nr. 368, 172 S.
- GERZABEK, M.H., A. BAUMGARTEN, M. TULIPAN und S. SCHWARZ, 2004: Ist die Nährstoffversorgung der Pflanzen noch ausgewogen? Eine Analyse aufgrund von Bodenuntersuchungsergebnissen und Langzeitversuchen. *Ländlicher Raum* 2/2004, 1-8.
- HEINZLMAIER, F., M.H. GERZABEK, M. TULIPAN und A. BAUMGARTEN, 2005: Pflanzennährstoffe in Österreichs Böden: Räumliche und zeitliche Variationen sowie Wechselwirkungen mit Bodeneigenschaften. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 17, 96-97.
- HILDEBRAND, E.E., 1986: Ein Verfahren zur Gewinnung der Gleichgewichts-Bodenporenlösung. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 149, 340-346.
- JANSSENS, F., A. PEETERS, J.R.B. TALLOWIN, J.P. BAKKER, R.M. BEKKER, T. FILLAT and M.J.M. OOMES, 1998: Relationship between soil chemical factors and grassland diversity. *Plant and Soil* 202, 69-70.
- JUNGK, A., 1993: Die Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe im Boden: chemische und räumliche Aspekte. In: *Berichte über Landwirtschaft* 207, SH 5, 70-84.
- KANDELER, E., 1993: Bestimmung der N-Mineralisation im anaeroben Brutversuch. In: Schinner, F., R. Öhlinger, E. Kandeler und R. Margesin (Hrsg.): *Bodenbiologische Arbeitsmethoden*. Springer Verlag, 213 S.
- KAUPENJOHANN, M., R. HANTSCHHEL, R. HORN und W. ZECH, 1987: Das pH-Pufferverhalten gestörter und ungestörter Waldbodenproben in Beziehung zur Waldernährung. *Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Ges.* 53, 421-426.
- KNAUER, N., 1972: Veränderungen des Nitrat-, Phosphat- und Kaligehaltes verschiedener Wiesenböden im Verlauf der Vegetationszeit und Beziehungen zu anderen Standortsfaktoren. *Landw. Forschung* 27, SH 1, 212-223.
- MÄDER, P., M. KOLLER, A. KRANZLER und T. LINDENTHAL, 2008: *Bodenuntersuchungen im Biobetrieb*. BIO AUSTRIA und FiBL. Merkblatt *Bodenuntersuchungen im Biobetrieb* 2004, aktualisiert 17.3.2008, 8 S.
- MARSCHNER, H., 1998: *Mineral nutrition of higher plants*. Academic press, 889 p.
- MEISSNER, R., H. KLAPPER und J. SEEGER, 1992: Wirkungen einer erhöhten Phosphatdüngung auf Boden und Gewässer. *Wasser und Boden* 4, 217-220.

- OBENAUF, S., 1987: Variabilität von Bodenfruchtbarkeitsziffern während der Vegetationszeit im Ap sandiger Ackerböden. Arch. Acker-Pflanzenb. Bodenkd. 31, 137-145.
- PLACHTER, H., 1989: Zur biologischen Schnellansprache und Bewertung von Gebieten. Schr.-R. f. Landschaftspflege u. Naturschutz, H. 29, 107-135.
- RICHTLINIEN FÜR DIE SACHGERECHTE DÜNGUNG, 2006: Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft. 6. Aufl. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 80 S.
- ROTHMALER, W., 2000: Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen: Atlasband. Spektrum Akademischer Verlag, 753 S.
- RUTHSATZ, B., 2001: Pflanzen- und Boden-Indikatoren für die Intensivierung der Landwirtschaft in Mittelgebirgen – am Beispiel des Wirtschaftsgrünlandes einer kleinen Gemeinde bei Trier. Arch. für Nat.-Lands. Vol. 40, 289-323.
- SCHEFFER, F. und P. SCHACHTSCHABEL, 2002: Lehrbuch der Bodenkunde. 15. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, 593 S.
- STAHR, K., E. KANDELER, L. HERRMANN und T. STRECK, 2008: Bodenkunde und Standortlehre. UTB Ulmer Verlag, 318 S.
- SUKOPP, H., K. SEIDEL und R. BÖCKER, 1986: Bausteine zu einem Monitoring für den Naturschutz. Ber. ANL 10, 27-39.
- WALTER, H. und E. WALTER, 1953: Das Gesetz der relativen Standortskonstanz; das Wesen der Pflanzengesellschaften. Ber. Deutsch. Bot. Ges. 66, 227-235.
- WEST, C.P., A.P. MALLARINO, W.F. WEDIN and D.B. MARX, 1989: Spatial variability of soil chemical properties in grazed pastures. Soil Sci. Soc. Am. J. 53, 784-789.
- WHITEHEAD, D.C., 1995: Grassland Nitrogen. CAB International, 397 p.
- WILMANN, O., 1989: Ökologische Pflanzensoziologie. UTB Quelle & Meyer Verlag, 378 S.
- ZORN, W. und O. KRAUSE, 1999: Untersuchungen zur Charakterisierung des pflanzenverfügbaren Phosphats in Thüringer Carbonatböden. J. Plant Nutr. Soil Sci. 162, 463-469.