

**Zeitschrift:** Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Tech. Hochschule, Stiftung Rübel, in Zürich

**Band:** 127 (1996)

**Artikel:** Zur Indikation von Bodennährstoffen in Streuwiesen : Vitalitätsmerkmale ausgewählter Arten und floristischer Parameter als Nährstoffindikatoren in Streuwiesen des Zürcher Voralpengebietes = Indication of soil nutrients in litter meadows : vitality parameters of selected species and floristic parameters as indicators of soil nutrients in litter meadows in the Pre-Alps of the cant...

**Kapitel:** Diskussion

**Autor:** Graf, Ulrich Hans

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-308991>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 04.10.2024

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## 4. DISKUSSION

### 4.1. EINFLUSS DER NÄHRSTOFFVERSORGUNG AUF DIE AUSBILDUNG UND DIE ARTENZUSAMMENSETZUNG DER STREUWIESEN

Die Vegetation der Untersuchungsgebiete kann in 12 pflanzensoziologische Einheiten eingeteilt werden (vgl. Tab. 65). Deren räumliche Verteilung ist in allen drei Gebieten vergleichbar. Auch die Übergänge zwischen den Einheiten sehen sich überall ähnlich: Vom *Valeriano-Filipenduletum* bzw. *Gentiano-Molinietum*, die beide eine gewisse Ähnlichkeit zu Heuwiesen aufweisen, nähert sich die Vegetation gegen das Riedzentrum mit sinkenden Bodennährstoffgehalten kontinuierlich dem *Caricetum davallianae typicum* bzw. *Primulo-Schoenetum stachyetosum* an. Informationen zu den sich ändernden Artenzusammensetzungen befinden sich in Kap. 3.3.

Die Abhängigkeit der Streulandvegetation von der Nährstoffversorgung war schon Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Bereits ZÜRN (1963) beobachtete nach 15 Jahren Volldüngung einer Borstgras-Pfeifengraswiese auf Gleyboden die weitgehende Umstellung des Bestands: Bei einem steigenden Gräseranteil verschwanden *Molinia coerulea* und *Nardus stricta* vollständig und *Anthoxanthum odoratum* fast vollständig. Die Leguminosen nahmen zu, während der Käuteranteil sank. Dabei übten physiologisch basische Dünger einen fast doppelt so grossen Einfluss aus wie physiologisch saure Dünger. Nach KLÖTZLI (1979) werden durch indirekte Düngung Molinion-Arten zugunsten der Filipendulion-Arten verdrängt. Sichtbar ist dies am Vorrücken von z.B. *Filipendula ulmaria*, *Valeriana officinalis* coll., *Eupatorium cannabinum* und *Carex acutiformis* sowie an erhöhter Vitalität von Schilf und *Deschampsia caespitosa*. Der Verdrängungsmechanismus besteht in einer Schattenunterdrückung der Molinion-Arten. Durch Beschattung des Oberbodens und veränderte Durchwurzelung werden die Mineralisierungsprozesse verändert (alle Angaben nach KLÖTZLI 1979). In den untersuchten Gebieten trifft diese Beobachtung für die Spierstaude zu. Die anderen genannten Arten spielen in den Hochstaudenfluren bzw. den Übergängen zwischen Intensivgrünland und Streuland eine untergeordnete Rolle.

PEGTEL (1983) stellte in einem Gewächshausexperiment mit ungestörten Rasenziegeln aus einem *Cirsio-Molinietum* fest, dass das Verhältnis der Biomassen von Monokotyledonen zu Dikotyledonen sowohl unter Stickstoffdüngung als

auch unter Phosphatdüngung sinkt. ZÜRN (1963) fand dies ebenfalls bei PK-Düngung; bei NPK-Düngung werden jedoch die Gräser massiv zu Lasten der Kräuter gefördert. Gemäss BRIEMLE (1994) reduziert eine Aushagerung einer Fettwiese (ein- bis mehrschürig, ohne Düngung) die Gesamtdeckung der Gefässpflanzen bis auf die Hälfte; die Lücken werden sofort von Moosen gefüllt. Allgemein nehmen die Kräuter ab und die Gräser zu; bei extensiver Bewirtschaftung nehmen auch die Leguminosen ab, Doldengewächse verschwinden fast vollständig, *Holcus lanatus* und *Trisetum flavescens* gelangen zur Dominanz; die Artenzahlen verändern sich jedoch nicht (BRIEMLE 1994). In einem Flachmoor auf Podzol bzw. Torf beobachteten BOEYE und VERHEYEN (1994) dagegen, dass die Existenz des *Caricion davallianae* bzw. ein Gradient von oligotrophen zu eher eutrophen Verhältnissen direkt von der Basenzufuhr ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ) durch Bewässerungswasser abhing. Der Nährstoffeintrag durch das Wasser ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  und  $\text{HCO}_3^-$ ) übte einen geringeren Einfluss aus: Die Autoren fanden relativ eutrophe Vegetation auf leichten Erhebungen, benachbart zu ombrotrophem Hochmoor, ausserhalb des Einflussbereichs des Grundwassers. Das eher oligotrophe *Caricion davallianae* dagegen wuchs in tieferen Lagen, wo es vom Bewässerungswasser mit Nährstoffen und Basen versorgt wurde. In der vorliegenden Untersuchung ist die Situation hinsichtlich der Basenversorgung einheitlich gut: die Gebiete werden von Wasser aus kalkhaltiger Moräne versorgt. Mit der Arbeit von BOEYE und VERHEYEN (1994) vergleichbare Reaktionen der Vegetation konnten nicht beobachtet werden. Die Reaktion der Vegetation auf die Nährstoffgehalte im Boden ist sehr ausgeprägt (vgl. Fig. 10–12).

Eine ausführliche Diskussion über die Auswirkung der Düngung in Molinion-Gesellschaften und über die limitierenden Nährstoffe findet sich in EGLOFF (1986).

Umstritten ist bis jetzt die Frage, ob Pflanzeninhaltsanalysen oder Bodenanalysen als Grundlage zur Beurteilung der Nährstoffversorgung dienen sollen. ZELESNY (1994) betont die Aussagekraft der Pflanzenanalysen. Diese lassen in den meisten Fällen Schlüsse auf die Ernährungssituation zu, während sich die Ermittlung des pflanzenverfügbaren Phosphors und Kaliums aus der Bodenlösung als wenig aussagekräftig zur Charakterisierung der trophischen Gradienten erweist (ZELESNY 1994). Derselben Auffassung sind auch EGLOFF (1986), PEGTEL (1987) und MAAS (1990). Auch die Pflanzeninhaltsanalysen können schwer einzuschätzende Ergebnisse liefern, wie ZELESNY (1994) selbst feststellt: die Nitrophytenvegetation auf einer Brache lässt höhere Nährstoffgehalte in der Phytomasse vermuten, als tatsächlich gefunden werden. Die Gehalte

in *Filipendula ulmaria* und *Primula veris* sind bis doppelt so gross wie der Durchschnitt aller Arten, jene der ebenfalls als Nitrophyten bezeichneten *Lysimachia vulgaris* und *Phragmites communis* jedoch nur durchschnittlich (ZELESNY 1994). Bei KLÖTZLI (1987) dagegen ergibt die Pflanzeninhaltsanalyse nur eine ungenügende Eutrophierungsindikation, aber das pflanzenverfügbare Nitrat und Calcium im Boden sowie die Leitfähigkeit des Bodenwassers zeigen die Gradienten sehr gut an. PETERS (1988) betont die hohen Korrelationen zwischen dem pflanzenverfügbaren Bodennitrat und den Gesamtstickstoffgehalten in der Phytomasse.

Molinion-Kennarten weisen im frühen bis optimalen Blühstadium relativ niedrige NPK-Gehalte auf (BALATOVA-TULACKOVA 1993). *Schoenus ferrugineus*, *Molinia coerulea* und wahrscheinlich vielen anderen Arten nährstoffarmer Standorte ist eine hochentwickelte Fähigkeit eigen, eben diese Elemente im Herbst in die Überwinterungsorgane zurückzuverlagern (GANZERT 1984, GANZERT und PFADENHAUER 1986). Gemäss KUHN et al. (1978) zieht *Molinia coerulea* 84% der Stickstoff- und 89% der Phosphorgehalte der oberirdischen Sprosssteile zurück. MARKERT et al. (1988) stellten dazu bei *Molinia coerulea* eine starke Anreicherung von Nährstoffen fest. Diese Fähigkeit, die auch von anderen Arten nährstoffarmer Standorte bekannt ist, werden als Grund genannt, warum Pflanzeninhaltsanalysen die Nährstoffversorgung besser wiedergeben als Bodenanalysen (EGLOFF 1986, PEGTEL 1987, MAAS 1990). Sie machen aber gleichzeitig auch darauf aufmerksam, dass das Nährstoffangebot am Standort der Pflanze nur mittelbar mit der physiologischen Versorgung zusammenhängt.

Die vorliegende Arbeit stützt sich ausschliesslich auf Analysen der Bodennährstoffgehalte. Im allgemeinen ist die Reaktion der Gesamtvegetation auf die Bodenbeschaffenheit sehr deutlich, was die Brauchbarkeit der Bodenanalysen für die Beurteilung der Nährstoffversorgung bestätigt: Die Gruppenzugehörigkeiten zu den festgestellten Gesellschaften korrelieren mit der Bodenmatrix mässig bis sehr gut. Die Koeffizienten erreichen Werte zwischen  $r = 0.422$  bis  $r = 0.949$ . Die Ähnlichkeiten zu den trockeneren Gesellschaften des *Saturejo-Molinietum equisetetosum* und *Gentiano-Molinietum caricetosum montanae*, nach KLÖTZLI (1969) Grundwasserlinientypen 3 und 4 spiegeln die Bodenverhältnisse deutlich weniger gut wider als die Ähnlichkeiten zu den feuchteren Gesellschaften des *Valeriano-Filipenduletum*, *Gentiano-Molinietum caricetosum davallianae*, *Caricetum davallianae* und *Primulo-Schoenetum*, nach KLÖTZLI (1969) Grundwasserlinientypen 5 und 6. Die Gesellschaften,

zu denen die berechneten Ähnlichkeiten die Bodenverhältnisse weniger gut wiedergeben, sind Gesellschaften des Überganges. Die Ansprache des *Saturejo-Molinietum* im Neuriedtli blieb unsicher. Es befindet sich zwischen dem *Valeriano-Filipenduletum* und dem feuchteren *Gentiano-Molinietum* bzw. liegt als "Insel" eingebettet ins *Valeriano-Filipenduletum*. Das *Gentiano-Molinietum caricetosum montanae* ist im Rod beim Übergang zwischen Intensivgrünland und Streuland zu finden und mit einer Anzahl Arten des Intensivgrünlandes durchsetzt. Im Neuthal bildet es lediglich einen schmalen Streifen zwischen dem *Valeriano-Filipenduletum* und dem feuchteren *Gentiano-Molinietum caricetosum davallianae* bzw. *Primulo-Schoenetum*. Die Ähnlichkeit zum *Primulo-Schoenetum* eignet sich in den untersuchten Gebieten mit Abstand am besten für eine Indikation der Bodennährstoffversorgung.

#### **4.2. EINFLUSS DER NÄHRSTOFFVERSORGUNG AUF DIE VITALITÄT DER ARTEN**

Die Reaktionen einzelner Arten auf die Nährstoffverhältnisse im Boden wurden vorab in der landwirtschaftlichen Forschung untersucht. KÖCK und HOLLAUS (1981) stellten z.B. in einer Goldhaferwiese auf mässig saurem Boden (pH-Wert ca. 5) unter P-K-Düngung und Mistgabe einen sinkenden Gräseranteil fest. *Trisetum flavescens* und *Poa trivialis* erfuhren eine relative Förderung, *Dactylis glomerata*, *Poa pratensis* und *Festuca pratensis* gleichzeitig einen Rückgang. *Dactylis glomerata* wird durch N-Düngung gefördert. EGLOFF (1986) führt *Dactylis glomerata* denn auch als "Warnart" bei indirekter Düngung in Riedern an. DIETL (1982, 1983) sieht *Poa trivialis*, *Ranunculus repens*, *Agropyron repens* und *Rumex obtusifolius* an feuchten Standorten unter starker Stickstoff- oder Volldüngung bzw. Stalldüngung gefördert. Unter starkem Weidedruck oder bei häufigem Schnitt wird *Poa trivialis* zurückgedrängt. Bei mässiger Düngung erhöht sich die Konkurrenzkraft von *Festuca pratensis*, die aber auf ein noch weiter erhöhtes Nährstoffangebot nicht mehr reagieren kann. Auch *Trisetum flavescens* findet sein Optimum bei mässiger Düngung. Ist die Nährstoffzufuhr zu stark, verliert es seine Konkurrenzkraft wieder. Nach BRACKER (1981) ist die Förderung von *Poa trivialis* durch Gülle in Lücken von einer genügenden Wasserversorgung abhängig. STAUB (1986) bestätigt bei seinen Beobachtungen auf nur extensiv genutztem Grünland die Förderung von *Trisetum flavescens* unter P-K-Düngung. Er beobachtete gleichzeitig, dass *Knautia arvensis*, *Galium mollugo* und *Lolium perenne* nur auf den gedüngten

Flächen vorkommen. BRACKER (1981) dagegen sieht *Lolium perenne* durch die Ausbringung von Gülle zurückgedrängt. Er stellt eine Förderung von *Poa annua*, *Stellaria media* und *Taraxacum officinale* bei Gülleausbringung fest. Nur bei starker Düngung (N, NPK oder Stalldüngung) gefördert werden nach DIETL (1982) *Lolium perenne*, *Poa annua* und *Stellaria media*. Die Konkurrenzkraft von *Taraxacum officinale* steigt bereits bei einer mässigen Düngung.

Zur Reaktion einiger der untersuchten Arten auf Standortsunterschiede habe ich erstaunlich wenig Literatur gefunden. In den folgenden Abschnitten soll darüber eine kurze Übersicht gegeben werden.

#### 4.2.1. Nährstoffzeigende Arten

##### *Filipendula ulmaria*

In den untersuchten Gebieten reagiert die Spierstaude am stärksten auf das Angebot an Gesamtphosphor und auf die Wasserversorgung. Die Kaliumversorgung spielt eine untergeordnete Rolle. Bezüglich Phosphor stimmen die Befunde mit ZELESNY (1994) überein. Bei ihm ist das Kalium jedoch wichtiger: ein Mehrangebot an verfügbarem P und K am Rand zur Wirtschaftswiese ist verantwortlich für das Vorhandensein von *Filipendula ulmaria*. Er bezieht sich auf Pflanzeninhaltsanalysen. Die Art weist überdurchschnittlich hohe Nährstoffgehalte auf, was ihren Nährstoffbedarf deutlich macht (ZELESNY 1994). Nach den Angaben von BALATOVA-TULACKOVA (1993) stimmt dies nur im Vergleich mit Molinion-Kennarten. Die von BOLLER-ELMER (1977) bestimmten Stickstoffgehalte der Spierstaude liegen im Durchschnitt der gesamten Vegetation.

*Filipendula ulmaria* besitzt ihren Verbreitungsschwerpunkt mit hoher Vitalität am Streuwiesenrand, vermag jedoch in einzelnen Streuwiesen bis weit gegen das Zentrum vorzudringen (ZELESNY 1994). Die Vitalität sinkt gegen das Streuwiesenzentrum hin ab, was an den Blattgrößen besonders gut zu sehen ist (ZELESNY 1994). Diese Angaben können durch die vorliegende Arbeit bestätigt werden: nebst der Gesamtvitalität geben maximale Wuchshöhe und maximale Blattlänge die Bodennährstoffversorgung am besten wieder. Die Spierstaude ist von den untersuchten Arten diejenige, die auf den Nährstoffgradienten am deutlichsten reagiert.

Nach Aufgabe der Nutzung erreicht *Filipendula ulmaria* im allgemeinen hohe Deckungsgrade, was zu einem Anteil der Arten aus der Formation "Feuchtwiesen" (nach KORNECK und SUKOPP 1988) von bis zu 50% führt (ZELESNY 1994).

ZACHARIAS et al. (1988) beobachteten eine Förderung der Spierstaude bei Beschattung. Wird nach einer längeren Bracheperiode ein Zweischnittregime eingeführt, verliert *Filipendula ulmaria* innert weniger Jahre ihre Dominanz völlig (WOLF et al. 1984). Der Schnittzeitpunkt spielt für ihre Zurückdrängung eine untergeordnete Rolle (EGLOFF 1986). Bei günstigem Wasserregime erträgt die Spierstaude auch einen jährlichen Schnitt: NIEMANN und WEGENER (1976) empfehlen zur Maximierung des Nährstoffentzugs den Schnitt der Spierstaudenfluren im Juli/August. In Einzelfällen kann *Filipendula ulmaria* nach Aufgabe der Nutzung sogar eine geringere Konkurrenzkraft zeigen (ZELESNY 1994). Diese letztere Beobachtung bestätigt ANDRES (1990, 1991): Auf ihren Rotationsbrachen wurde *Filipendula ulmaria* während einer einjährigen Brache geschwächt, erholte sich aber sofort, als wieder geschnitten wurde. Die Schwächung rührt wahrscheinlich daher, dass die Struktur der vorjährigen Streu einen grösseren Einfluss auf *Filipendula ulmaria* ausübt, als der von KLÖTZLI (1978) beschriebene Auteutrophierungseffekt der Streu (ANDRES 1991).

FALINSKA (1995) untersuchte die Ausbreitung der Spierstaude in einer brachliegenden Wiese während 17 Jahren. Ihre Arbeit kann das Verhalten der Spierstaude ein Stück weit erklären: Die Entwicklung erfolgte in zwei Schüben: In den ersten 8 Jahren breitete sich die Art durch Zunahme der Genets aus. Nach 12–14 Jahren erfolgte deren Desintegration. In dieser Zeit klumpte die räumliche Struktur zusehends. Die Zahl der Ramets in einem Genet hing von Grösse und Alter des Genet ab. Die Desintegration eines Genet wurde in erster Linie durch die Akkumulation toter Spross- und Rhizombiomasse im Perimeter des Genet ausgelöst. Bei Entfernung der Nekromasse erfolgte auch im Alter von 13 Jahren keine Desintegration, auch wenn Zeichen der Alterung sichtbar waren. Die Desintegration führte durch Wachstum junger Fragmente an der Peripherie zu einer Verjüngung des Genet. Am Ende der Untersuchung wurde *Filipendula ulmaria* durch Aufwuchs von Weiden (*Salix*) wieder zurückgedrängt.

#### **4.2.2. Arten, die mittlere Nährstoffgehalte anzeigen**

##### ***Holcus lanatus***

Das Wollige Honiggras reagiert in den untersuchten Gebieten auf das Nährstoffangebot relativ schwach. Unterschiede zwischen den Nährstoffen gibt es kaum. Ausnahme ist das Ammonium, auf welches die Reaktion noch etwas geringer ist. Dieses Verhalten stimmt nicht mit den Angaben von SOUGNEZ (1965) überein, der unter spezieller Phosphordüngung eine starke Zunahme der Deckung regi-

strierte, während eine nitratdominante Düngung *Holcus lanatus* eher zurückdrängte. Bei steigenden Volldüngergaben in Töpfen beobachtete PEGTEL (1983) eine Förderung von *Holcus lanatus*. Er steht damit teilweise im Widerspruch zu ZÜRN (1963), welcher in einem Düngungsexperiment über 15 Jahre die Förderung des Wolligen Honiggrases nur bei physiologisch sauer wirkenden Volldüngern feststellte, bei Kalkvolldüngung dagegen eine Zurückdrängung. Bei ZELESNYS (1994) Untersuchung breitete sich *Holcus lanatus* unter dem Einfluss von eutrophem Drainagewasser in Streuwiesen aus, wobei unklar blieb, ob das Wasser sauer oder basisch wirkte. Sofern ein dreischüriger Übergangsbereich zwischen Intensivgrünland und Streuland vorhanden ist, kann *Holcus lanatus* dort dominant werden, und zwar streulandseitig. Dies stimmt mit den Beobachtungen von einigen anderen Autoren (BAKKER et al. 1980, OOMES und MOOI 1981, BAKKER und DE VRIES 1985, EGLOFF 1986) überein, wonach das Honiggras durch mehrfache Schnitte ab Juli bis Oktober gefördert wird. In feuchten Fettwiesen kann das Honiggras bei Aushagerung zur Dominanz gelangen (BRIEMLE 1994). In Brachen verliert die Art an Konkurrenzkraft (ZELESNY 1994). OOMES (1977) erklärt dies dadurch, dass die Keimlinge von *Holcus lanatus* bei sehr später oder ausbleibender Mahd durch Kräuter erstickt werden. Ebenso empfindlich reagiert *Holcus lanatus* auf frühen Schnitt vor der Samenreife (OOMES 1977). Die Beobachtungen von DIETL (1982) bestätigen dies: *Holcus lanatus* wird durch wenige Schnitte, extensive Beweidung (als Unternutzung beurteilt) und mässige Düngung (N, NPK oder Stalldünger) gefördert, während er bei häufigem Schnitt, intensiver Beweidung (als Übernutzung taxiert) und starker Düngung seine Konkurrenzkraft verliert.

*Holcus lanatus* hat als Art des extensiven Wirtschaftsgrünlandes seinen Schwerpunkt am Rand der Streuwiesen, dringt aber manchmal bis ins Zentrum vor (ZELESNY 1994). An trockenen Standorten ist das Honiggras auf Düngung angewiesen, während es an feuchten Orten auch mit weniger Nährstoffen auskommt (BRÜLISAUER 1977). Seine Vitalität, ausgedrückt in Wuchshöhe, Ährchenlänge und Ährchenzahl, ist im grünlandnahen Randbereich am grössten (ZELESNY 1994). Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung konnte nur ein sehr loser Zusammenhang zwischen der Vitalität des Honiggrases und der Bodennährstoffversorgung bzw. der Distanz zum Intensivgrünland festgestellt werden. Am ehesten werden die Bodennährstoffgehalte durch die maximalen Wuchshöhen ausgedrückt.

Die Differenz der vorliegenden Resultate zu jenen von ZELESNY (1994) ist möglicherweise dadurch bedingt, dass die Reaktion des Honiggrases auf Düngung vom pH-Wert abhängt, wie ZÜRN (1963) beobachtete. Obwohl der pH-Wert der

Böden nicht bestimmt wurde, darf aufgrund der zahlreichen Basenzeiger (vgl. Tab. 65, in der Beilage) von einem eher alkalischen Milieu der Untersuchungsflächen ausgegangen werden.

### *Phragmites communis*

In den untersuchten Gebieten reagiert das Schilf kaum auf die verfügbaren Bodennährstoffe. Die Vitalitätsparameter zeigen nur sehr schwache bis relativ schwache Zusammenhänge mit der Nährstoffversorgung. Am deutlichsten sind die Reaktionen der Deckung und der Wuchshöhe. Diese Ergebnisse stehen im Widerspruch zu den Befunden mancher anderer Autoren.

Bei ZELESNY (1994) weist *Phragmites communis* eine auffällige Zonierung auf, welche seine Empfindlichkeit auf sich ändernde Standortbedingungen deutlich machen. Die an Fertilität, Wuchshöhe, Blattzahl pro Trieb sowie maximaler Länge und Breite der Blätter gemessene Vitalität der Art nimmt vom Rand zum Zentrum der Streuwiese hin kontinuierlich ab, was auf sich verschlechternde Standortbedingungen hinweist. Besonders die Fertilität des Schilfes reagiert empfindlich auf die Nährstoffversorgung: In einem Fall sank die Fertilität von 85% am Rand der Streuwiese auf 0% im Zentrum parallel zum P-Gehalt der Pflanzen pro m<sup>2</sup>. Soweit der Einfluss einer Drainagewassereinleitung reichte, wuchs das Schilf mit erhöhter Vitalität, insbesondere waren 100% (!) der Halme fertil. Dem Schilf standen hier rund 40% mehr Phosphor und 80% mehr Kalium zur Verfügung. Trotzdem stellt der Randbereich der Streuwiese für die Art keinen optimalen Standort dar, wie sich aus den Nährstoffgehalten ablesen lässt (alle Angaben nach ZELESNY 1994). ZELESNY (1994) stützt sich bei seinen Aussagen allerdings auf Pflanzeninhaltsanalysen, während sich die vorliegende Arbeit auf Bodennährstoffanalysen bezieht. Er verneint generell die Eignung von Bodenanalysen für die Beurteilung der Ernährungssituation von Pflanzen.

KLÖTZLI und ZÜST (1973) beobachteten an aquatischem Schilf, dass der Schnitt die Dichte erhöht, aber die Produktivität vermindert. Bei erneuter Mahd nach einem Brachejahr beobachtete ANDRES (1990) dasselbe bei terrestrischem Schilf. Laut ANDRES et al. (1987) ist dessen mittlere Wuchshöhe von der Sprossdichte abhängig (negativ korreliert). Es könnte sich dabei um Sekundärtriebe der durch den Schnitt geschädigten Sprosse handeln. Das Schilf erhält durch eine kurzfristige Brache einen Konkurrenzvorteil (ANDRES et al. 1987). Es zeigt sich zumindest in einigen Fällen auch gegen Schnitt tolerant: einzelne Exemplare konnten in einem Fall als Relikte nach einer Intensivierung auch auf Dreischnittgrünland (ZELESNY 1994) oder auf Äckern (KLÖTZLI mündl.) überdauern. Bei längerdauernder Brache gelangt das Schilf meist zur Dominanz. In einem

Einzelfall besass es nach der Nutzungsaufgabe jedoch wenig Konkurrenzkraft (ZELESNY 1994). Der Autor war davon überrascht, ging jedoch nicht weiter darauf ein. Da auf den Transekten der vorliegenden Arbeit keine Bewirtschaftungsunterschiede bestehen, kann zu diesen Aussagen keine Stellung genommen werden.

Die Beobachtung von KLÖTZLI (1979), dass die Vitalität des terrestrischen Schilfes durch indirekte Düngung erhöht wird, kann für die Übergangsbereiche der untersuchten Gebiete nicht bestätigt werden. Dies könnte zwei Ursachen haben: Die Nährstoffgradienten in den Untersuchungsgebieten sind zwar ausgeprägt, die Gehalte sind jedoch auch in den eutrophen Teilen der Transekte relativ niedrig. Zudem vermute ich, dass das Schilf mit seinem ausgedehnten Rhizomgeflecht die nötigen Nährstoffe über grössere Distanzen transportieren kann, was die kleinräumliche Abhängigkeit vom Bodenzustand reduziert. Die von HÜRLIMANN (1951) festgestellte Funktion der Rhizome als Speicherorgane vermag auch die Beobachtung von ANDRES et al. (1987) erklären, dass das Schilf auf Standortveränderungen verzögert reagiert.

Die Untersuchungen von KSENOFONTOVA (1988) an aquatischem Schilf ergeben relativ gute Korrelationen zwischen der trophischen Stufe des Wassers und dem Phosphorgehalt der Pflanzenteile ( $0.61 \leq r \leq 0.70$ ). Die Nährstoffgehalte der verschiedenen Pflanzenteile sind voneinander abhängig ( $0.51 \leq r \leq 0.77$ ). KSENOFONTOVA (1988) findet Korrelationen zwischen der Rispengrösse und den Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumgehalten im Boden sowie zwischen der Nummer des grössten Blattes, von oben gezählt, und denselben Nährelementen ( $r \approx 0.66$ ). Die Korrelationen zwischen den Nährstoffgehalten der Phytomasse und den morphometrischen Merkmalen sind im Durchschnitt höher ( $r \leq 0.84$ ). Die Resultate von KSENOFONTOVA (1988) stehen scheinbar im Widerspruch zu den Befunden dieser Arbeit, dass – wenn überhaupt – nur ein sehr loser Zusammenhang zwischen dem Bodennährstoffgehalt und der Vitalität des Schilfes besteht. Eine mögliche Erklärung für diese Differenz liegt im jährlichen Schnitt des Schilfes in den Untersuchungsgebieten, dessen Effekt die Reaktion auf die veränderte Nährstoffversorgung überlagern kann. KSENOFONTOVA (1988) gibt in ihrer Arbeit keinen Hinweis auf erfolgte Mahd. Eine andere mögliche Erklärung ist, dass sie das Schilf von verschiedenen Orten verglich, aber keine Gradientenanalysen eines einzelnen Objektes machte. Falls die Verhältnisse flächig gleich sind, hat das Schilf keine Möglichkeit, die benötigten Nährstoffe durch seine Rhizome aus der Nachbarschaft zu beschaffen.

Die Vitalität des Schilfes eignet sich aufgrund der Resultate der vorliegenden Arbeit nicht als Massstab für die Indikation von Bodennährstoffgradienten.

### ***Angelica silvestris***

Die Vitalität von *Angelica silvestris* reagiert am deutlichsten auf die Versorgung mit Orthophosphat und eventuell mit Ammonium. Kalium spielt nur in einem der Gebiete eine Rolle.

Nach ZELESNY (1994) ist die Zonierung von *Angelica silvestris* nicht auf allen Streuwiesen gleich. Im Randbereich kann sie Deckungen bis zu 50% erreichen. Gegen das Zentrum hin wächst sie mit immer geringerer Vitalität und nur noch steril. Auf Brache enthält die Art, verglichen mit andern, in ihrer Biomasse überdurchschnittlich viel Kalium, Phosphor und Calcium, jedoch nur wenig mehr als auf genutztem Streuland. Die generativen Organe von *Angelica silvestris* enthalten bis zu 50% mehr P und K als die Blätter (ZELESNY 1994). Auch BALATOVA-TULACKOVA (1993) zählt *Angelica silvestris* zu jenen Arten, die Kalium besonders gut akkumulieren können. Unter dem Einfluss von eutrophen Drainagewasser breitet sich *Angelica silvestris* aus, hat im unmittelbaren Bereich der Drainagemündung jedoch eine reduzierte Deckung (ZELESNY 1994). Bereits nach einmaliger NPK-Düngung kann *Angelica silvestris* in Alluvionensümpfen dominant werden (EGLOFF 1983). Die Resultate der vorliegenden Arbeit bestätigen diese Aussagen für kalkreiche Hangrieder nur für die vegetativen Merkmale: die Deckung und die maximale Blattlänge von *Angelica* variieren in Abhängigkeit von der Nährstoffversorgung bzw. von der Distanz zum Intensivgrünland. Die generativen Merkmale Doldengrösse und Doldenzahl hingegen sind unabhängig davon.

### ***Lysimachia vulgaris***

Die Abhängigkeit der Gesamtvitalität des Gilbweiderich von den verfügbaren Nährstoffen ist nur mässig stark. Nach ZELESNY (1994) ist er jedoch eine Art mit vergleichsweise hohen Nährstoffansprüchen. Im Einflussbereich von eutrophen Drainagewasser breitet sich *Lysimachia vulgaris* aus und wächst mit erhöhter Deckung. Je näher sie bei der Drainagemündung wächst, desto vitaler ist sie (ZELESNY 1994). Bezüglich der Nährstoffgehalte ähnelt der Gilbweiderich stark der Spierstaude, mit Ausnahme der höheren Ca- und Cl-Gehalte und des auffallend hohen N/P-Quotienten (BALATOVA-TULACKOVA 1993). Laut BOLLER-ELMER (1977) ist der Stickstoffgehalt von *Lysimachia vulgaris* im Vergleich mit andern Pflanzenarten niedrig.

ZELESNY (1994) fand, dass *Lysimachia vulgaris* in einigen Gebieten nur auf einem Streifen am Rand der Streuwiesen wächst. An beiden Rändern dieses Streifens kam sie nur mit vereinzelt, meist sterilen Exemplaren vor; dazwischen war sie vitaler. Diese Beobachtung kann in der vorliegenden Arbeit

nicht bestätigt werden: der Gilbweiderich blühte auf der ganzen Länge der Transekte. Auch die Blütenzahlen sind von der Nährstoffversorgung unabhängig. Nur Wuchshöhe und allenfalls Stengeldicke reagieren auf die Nährstoffgehalte im Boden.

ZELESNY (1994) sieht im Verhalten von *Lysimachia vulgaris* Unterschiede zwischen Brachen und gemähten Streuwiesen. Auf Brachen nimmt die an Wuchshöhe, Anzahl Verzweigungen und Anteil fertiler Triebe gemessene Vitalität der Art mit zunehmender Distanz zum Intensivgrünland eher zu, was er auf einen fehlenden Nährstoffgradienten zurückführt. Auf gemähtem Streuland kann er dies nicht beobachten. Auf Brachen erreicht *Lysimachia vulgaris* höhere Deckungsgrade als auf geschnittenen Streuwiesen (ZELESNY 1994). ANDRES (1990, 1991) beobachtete beim Gilbweiderich ein gegenteiliges Verhalten: durch einjährige Brachlegung wird die Vitalität der Art reduziert. Bei Wiederaufnahme der Mahd erholt sich die Anzahl Triebe sofort, die Deckung dagegen bleibt zuerst noch gering. Laut ANDRES (1991) ist wie bei der Spierstaude in erster Linie die Struktur der Streu für die Schwächung verantwortlich. In den untersuchten Gebieten findet wegen der jährlichen Mahd keine Streuakkumulation statt, so dass dies nicht die Ursache für die nur mässigen Zusammenhänge zwischen Vitalität und Bodeneigenschaften sein kann. Hingegen könnte die Struktur der Hochstaudenflur eine Ursache dafür sein: Die Verbreitung von *Lysimachia vulgaris* reicht vom Hochstaudensaum bis weit ins Ried hinein. Ihre maximale Vitalität erreicht sie am Rand der Hochstaudenflur, wo die Nährstoffversorgung noch relativ gut, aber die Konkurrenz durch *Filipendula ulmaria* nicht mehr so stark ist.

### ***Mentha aquatica***

Im Rod erweist sich die Gesamtvitalität von *Mentha aquatica* als völlig unabhängig von der Nährstoffversorgung. Auch von den einzelnen Merkmalen zeigt höchstens die Anzahl Stengel pro Abschnitt einen wenigstens mässigen Zusammenhang mit der Nährstoffversorgung auf.

Bei EGLOFF (1983) dagegen kann *Mentha aquatica* auf sehr nassen Streuwiesen bereits nach einmaliger NPK-Düngung an Stelle von *Schoenus nigricans* dominant werden. Sie kann nebst Quellsümpfen und Streuwiesen auch Übergangsbereiche zu Glatthaferwiesen besiedeln (STAUB 1986). LANDOLT (1977) weist ihr einen mittleren Nährstoffzeigerwert zu. Weitere Literaturhinweise auf die Reaktion von *Mentha aquatica* auf unterschiedliche Nährstoffangebote wurden nicht gefunden.

### 4.2.3. Magerkeitszeigende Arten

#### *Carex davalliana*

Die Gesamtvitalität der Davallsegge reagiert etwas deutlicher als jene der Wasserrinze auf einzelne Bodenfaktoren, doch ebenfalls nicht sehr ausgeprägt. Den grössten Einfluss übt das C-N-Verhältnis aus. Dies stimmt mit der Beobachtung von MORAVEC und RYBNICKOVA (1964) überein, welche ebenfalls das niedrige C-N-Verhältnis bei den *Carex-davalliana*-Beständen im Böhmerwald betonen. ZELESNY (1994) beschreibt *Carex davalliana* als eine typische Streuwiesenart. Nach MORAVEC und RYBNICKOVA (1964) ist sie an kalkreiche Niedermoorböden gebunden, wobei das Calcium auch in anderer Form als Calciumkarbonat vorliegen kann. Gemäss RYBNICEK und RYBNICKOVA (1970) kann *Carex davalliana* auch auf karbonatfreien Böden in azidophiler Vegetation vorkommen. Sie wächst z.B. zusammen mit *Drosera rotundifolia* und *Sphagnum subsecundum*. GIUGNI (1991) findet die Davallsegge sowohl auf kalkhaltigem Gley als auch auf kalkfreiem Torf.

Die Deckung ist jenes Vitalitätsmerkmal, welches am deutlichsten auf die Bodennährstoffversorgung reagiert. Das zweite Merkmal ist die durchschnittliche Wuchshöhe. Zur Abhängigkeit der Vitalität der Davallsegge von der Bodennährstoffversorgung habe ich keine Angaben in der Literatur gefunden.

#### *Carex hostiana*

In den untersuchten Gebieten reagiert die Gesamtvitalität von *Carex hostiana* auf die einzelnen Bodenfaktoren im Vergleich mit anderen Arten ziemlich deutlich. Es bestehen dabei kaum Unterschiede in den Reaktionen auf die verschiedenen Faktoren. PEGTEL (1983) jedoch fand in einem Topfexperiment durch zunehmende Phosphorgaben eine Förderung ihres Wachstums, unter Volldüngung dagegen eine Hemmung. EGLOFF (1986) findet *Carex hostiana* an ihrem Standort wegen der Lichtkonkurrenz unter allen Düngungsformen benachteiligt.

In den Gebieten von ZELESNY (1994) wächst *Carex hostiana* vom Rand bis ins Zentrum der Streuwiese. Diese Beobachtung stimmt für die untersuchten Gebiete nur mit Vorbehalt. Die Art kann sich unter Umständen bis auf 5 m an die Intensivwiese annähern. Sie vermag jedoch nie in eine Hochstaudenflur einzudringen. ANDRES et al. (1987) beobachteten bei *Carex hostiana* auf kurzzeitigen Brachflächen eine höhere Fertilität als in den geschnittenen Flächen. SCHOPPGUTH (1993) fand die Bildung fertiler Triebe und die Keimraten entscheidend durch klimatische Faktoren bestimmt. Bei seinen Flächen waren die Wuchs-

höhen auf Brachen grösser als auf geschnittenen Flächen. Möglicherweise spielt das Mikroklima der Brache eine Rolle für die von ANDRES et al. (1987) beobachtete Förderung. Das bei SCHOPP-GUTH (1993) verstärkte Höhenwachstum dürfte durch die grössere Beschattung in der Brache mitverursacht sein. Die Resultate der vorliegenden Arbeit bestätigen SCHOPP-GUTH (1993) insofern, als die Ährenzahl vom Bodennährstoffangebot unabhängig ist. Die Deckung reagiert weitaus am deutlichsten darauf.

SCHOPP-GUTH (1993) betont, wie wichtig das Offenhalten der Flächen durch Schnitt oder Beweidung für die Art ist. *Carex hostiana* wird durch Tritt gefördert. Er vermutet, dass durch die Nutzungen unterschiedliche Genotypen selektioniert wurden, die bezüglich Wuchshöhe eine geringe Plastizität besitzen, oder dass *Carex hostiana* auf kleinräumigen Sonderstandorten siedelt, die durch Nutzungsänderungen nur wenig verändert werden und keine Plastizität in der Halmhöhe erfordern. KLÖTZLI (mündl.) beobachtete in den Mooren von Rothenthurm in der Zentralschweiz unter Trittbelastung die Förderung von *Carex flava* s.l., *Carex rostrata* und dem Hybriden *Carex xanthocarpa* (*C. flava* × *C. hostiana*). Dass *Carex hostiana* durch Tritt gefördert wurde, konnte er bis jetzt nicht feststellen. Da in den untersuchten Gebieten die Bewirtschaftung uniform ist, können diese Aussagen nicht kommentiert werden.

### *Carex panicea*

Das Wachstum von *Carex panicea* wurde in der vorliegenden Untersuchung in erster Linie von Orthophosphat und Nitrat bestimmt. Die Art wird gemäss SOUGNEZ (1965) durch Kaliumdüngung leicht gefördert. Sie erfährt wie *Carex hostiana* im Experiment von PEGTEL (1983) unter Volldüngung eine Hemmung. EGLOFF (1986) findet *Carex panicea* wegen der Lichtkonkurrenz auch im Freiland unter Düngung benachteiligt.

*Carex panicea* wächst je nach Ort nur im Streuwiesenzentrum oder sowohl am Rand als auch im Zentrum (ZELESNY 1994). ANDRES et al. (1987) beobachteten bei *Carex panicea* auf kurzzeitigen Brachflächen eine höhere Fertilität als in den geschnittenen Flächen. In den untersuchten Gebieten reagiert die Fertilität nur schwach auf unterschiedliche Nährstoffgehalte im Boden. Wuchshöhe und Gesamtvitalität zeigen immerhin einen mässigen Zusammenhang mit der Nährstoffversorgung.

### *Molinia coerulea*

In den untersuchten Gebieten reagiert das Pfeifengras am deutlichsten auf das Angebot an Gesamtphosphor. Das Kalium spielt im Gegensatz zu den Befunden

VON BALATOVA-TULACKOVA (1993) eine etwas geringere Rolle. Das Pfeifengras zählt bei ihr auch zur Artengruppe mit den tiefsten P-Gehalten. SOUGNEZ (1965) fand als grosse Ausnahme unter den Streuwiesenarten das Pfeifengras durch nitratdominierte Düngung gefördert und durch phosphatdominierte Düngung gehemmt, was von MUNZERT (1973) bestätigt wird. Experimentell beobachtet PEGTEL (1983) in Töpfen eine Hemmung bei Volldüngung. Solange Phosphorknappheit herrscht, bleibt das Pfeifengras konkurrenzlos (EGLOFF 1986). Bei akutem Phosphormangel treten bei *Molinia coerulea* an Stengel und Blättern Rotfärbungen auf (FINCK 1976).

*Molinia coerulea* zeigt auf kalkreichen Niedermooren eine reduzierte Sprossbiomasse (LÜTTKE-TWENHÖVEN 1982). Vegetative Vitalitätsparameter (Wuchshöhe, Blattlänge und Blattzahl) des Pfeifengrases werden gemäss SCHOPP-GUTH (1993) von der Nutzung bestimmt, während sich die generativen Merkmale (Samenzahl, Keimungsrate und Hundertkorngewicht) durch klimatische Einflüsse erklären lassen. Auf feuchteren Flächen ist die Halmdichte etwas geringer als auf trockeneren (SCHOPP-GUTH 1993). Unter dem Einfluss von eutrophem Drainagewasser erreicht *Molinia coerulea* höhere Deckungswerte (ZELESNY 1994). Dies deckt sich mit den Beobachtungen in den untersuchten Gebieten: Dort zeigen Deckung und Gesamtvitalität den Nährstoffgradienten am direktesten an.

Sobald eine Fläche verbracht, nimmt die Vitalität, speziell die Fertilität des Pfeifengrases ab (ANDRES et al. 1987). Während Sprossdichte und Deckung durch einjährige Brachlegung reduziert werden, bleibt die Wuchshöhe davon unbeeinflusst (ANDRES 1991). DIEMER und PFADENHAUER (1987) beobachten auf mehr als drei Jahre alten Brachflächen eine verlängerte Wachstumsperiode der Blätter von *Molinia coerulea* im Vergleich zu Flächen, die alle zwei Jahre im Herbst gemäht werden. Auf den gemähten Flächen sind die Halmdichten etwas geringer, was sie auf Verletzungen der Überwinterungsorgane durch den Schnitt und auf Nährstoffknappheit zurückführen. SCHOPP-GUTH (1993) stimmt dieser Begründung zu. Nach seiner Meinung hängt die Reaktion des Pfeifengrases auf das Schnittregime allerdings von der Vorgeschichte der Bewirtschaftung ab und lässt sich nicht mit dem Trophiegrad der Pflanzenindividuen darstellen.

Bei SCHOPP-GUTH (1993) spielen standortsbezogene Umweltfaktoren (pH, Kalium- oder Phosphorversorgung) eine untergeordnete Rolle für die Vitalität des Pfeifengrases. Eine Ausnahme stellt die Dichte der Fruchtstände dar, welche nebst der Mahd wahrscheinlich auch durch Nährstoffverfügbarkeit bestimmt wird. SCHOPP-GUTHS (1993) Beobachtung trifft bezüglich der Sonderrolle der

Dichte der Fruchtstände für die untersuchten Gebiete nicht zu. Die Dichte der Fruchtstände, d.h. Anzahl Stengel pro Abschnitt, reagiert auf die Bodenmatrix nicht anders als die maximale Wuchshöhe oder die maximale Rispenlänge. Die Bedeutung der Bewirtschaftung im Vergleich mit der Nährstoffversorgung kann wegen der uniformen Bewirtschaftung in den Untersuchungsgebieten nicht beurteilt werden.

ZELESNY (1994) fand *Molinia coerulea* sowohl am Streuwiesenrand als auch im Zentrum. KLÖTZLI (1979) wertet sie auch für den Übergangsbereich zwischen Streuwiesen und Intensivgrünland als typisch. SCHOPP-GUTH (1993) hebt ihre grosse phänotypische Plastizität hervor, welche nach BALATOVA-TULACKOVA (1993) auf die verschiedenen Kleinarten zurückzuführen ist. MILKOVITS & BORHIDI (1986) beschreiben für Ungarn im Rahmen des *Molinia-coerulea*-s.l.-Komplexes elf verschiedene Taxa.

### ***Galium uliginosum***

In den untersuchten Gebieten ist die Reaktion von *Galium uliginosum* auf die einzelnen Nährstoffe schwach. Am direktesten reagiert es auf den Wassergehalt, den Nitrat- und den Gesamtphosphorgehalt des Bodens. Die Vitalitätsmerkmale der Art reagieren ebenfalls nur schwach auf die Nährstoffversorgung. LANDOLT (1977) nennt für *Galium uliginosum* einen Nährstoffzeigerwert von 2, d.h., es hat seine Hauptverbreitung auf nährstoffarmen Böden und meidet Böden mit guter Nährstoffversorgung. Weitere Angaben über die Reaktion des Moorlabkrautes habe ich in der Literatur nicht gefunden. KLÖTZLI (mündl.) beobachtete, dass es in Grossseggenesellschaften grösserwüchsig vorkommt als in Pfeifengraswiesen.

### ***Parnassia palustris***

Die Vitalität von *Parnassia palustris* reagiert auf alle Bodenfaktoren ungefähr gleich stark. Die Reaktionen sind nicht sehr ausgeprägt. Der mittlere Rosettendurchmesser erweist sich im Vergleich zu anderen Merkmalen und Arten als relativ guter Indikator für die Bodennährstoffversorgung.

Sämtliche gefundenen Literaturangaben zum Verhalten des Studentenröschens beziehen sich auf die Auswirkung von Brachen auf die Art. Laut ZELESNY (1994) kann sich *Parnassia palustris* auf einer Streuwiesenbrache gut behaupten. Sofern die Brache nur ein Jahr dauert, bestätigen die Arbeiten von ANDRES (1990, 1991) dieses Resultat. Bei längerdauernden Brachen jedoch nimmt die Sprossdichte (PREISS 1982) bzw. die Individuenzahl ab, und die Entwicklung verzögert sich (ANDRES et al. 1987). ANDRES et al. (1987) führen diese Reaktion

von *Parnassia palustris* auf ihre Lichtbedürftigkeit zurück. Ihre Blattlänge ist nur im ersten Brachejahr reduziert; bereits nach zwei Jahren unterscheiden sich die Blattlängen auf Brachen nicht mehr von jenen auf geschnittenen Flächen (Lit. cit.). Auch PFADENHAUER und MAAS (1987) beurteilen das Studentenröschen als konkurrenzschwache Art, die sich bei Verbrachung kaum halten kann. Die spezielle Gefährdung von *Parnassia palustris* bei längerer Verbrachung liegt nach PFADENHAUER und MAAS (1987) darin, dass die Samen nur über kurze Zeit keimfähig sind und sich die Art vorwiegend generativ vermehrt.

### ***Potentilla erecta***

Den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit entsprechend, ist *Potentilla erecta* gegenüber Nährstoffdifferenzen ausgesprochen invariant. Die Gesamtvitalität reagiert auf einen einzelnen Bodenfaktor nur schwach, und auch die einzelnen Vitalitätsmerkmale zeigen keine stärkere Reaktion auf die Bodenmatrix. Die einzige Ausnahme ist die Bildung von Blütenknospen, die wenigstens einen mässigen Zusammenhang mit der Nährstoffversorgung aufweist. LANDOLT (1977) bewertet den Tormentill als Zeigerart für nährstoffarme Böden.

ZELESNY (1994) fand für *Potentilla erecta* ein sehr ähnliches Verhalten wie bei *Lysimachia vulgaris*: an beiden Verbreitungsrändern wuchsen nur einzelne, meist sterile Exemplare. Dazwischen bildete die Art manchmal Herden, die auf den 1 m<sup>2</sup> grossen Abschnitten seiner Transekte bis zu 60% der Flächen bedecken konnten. *Potentilla erecta* wies eine auffällige Zonierung auf, welche ihre Empfindlichkeit auf sich ändernde Standortsbedingungen deutlich machten (ZELESNY 1994). Die Zonierung beschränkt sich in den untersuchten Gebieten darauf, dass der Tormentill einen Streifen von meist 4–6 m neben dem Intensivkulturland meidet. Sonst wächst er praktisch auf den ganzen Transekten. Auch ZELESNY (1994) beobachtete in einem seiner Gebiete eine Verbreitung von *Potentilla erecta* vom Rand bis ins Zentrum.

Auf Brachen ist *Potentilla erecta* nicht mehr konkurrenzkräftig (ZELESNY 1994). ANDRES (1991) beobachtet in Brachejahren eine verminderte Deckung. Diese Veränderungen sind jedoch kurzfristig reversibel. Möglicherweise sind für die Vitalität und die Verbreitung von *Potentilla erecta* eher die Strukturmerkmale der Brache entscheidend als die Nährstoffversorgung.

### ***Ranunculus nemorosus***

Die Reaktion von *Ranunculus nemorosus* auf unterschiedliche Nährstoffangebote ist relativ schwach. Seine Vitalität reagiert in den untersuchten Gebieten am ehesten auf den Wassergehalt des Bodens und auf das C-N-Ver-

hältnis. Die beiden generativen Merkmale Blütenknospenbildung und Anzahl blühender Pflanzen scheinen am direktesten von der Nährstoffversorgung abhängig zu sein. Die Fertilität der Einzelpflanze, d.h. die Anzahl Blüten pro Pflanze, ist jedoch unabhängig davon. Aufgrund der in der vorliegenden Arbeit erhobenen Daten entsteht kein klares Bild davon, wie sich *Ranunculus nemorosus* bezüglich seiner Nährstoffansprüche verhält.

KLÖTZLI (mündl.) betrachtet mageres bis schwach gedüngtes *Arrhenatheretum* als Grenzlage für *Ranunculus nemorosus*, die nur im *Molinion* stärker vertreten ist. KLÖTZLI (1969) sowie LANDOLT (1977) bezeichnen *Ranunculus nemorosus* als Magerkeitszeiger, der Wechselfrockenheit ertragen kann. Weitere Literaturangaben zum Verhalten der Art in bezug auf die Nährstoffversorgung wurden keine gefunden.

#### *Succisa pratensis*

*Succisa pratensis* gilt als Art der Übergangzone zwischen Mähwiese und Streuland (KLÖTZLI 1979). Die Vitalität des Teufelsabbiss reagiert in den untersuchten Gebieten nur schwach bis mässig auf einzelne Bodenfaktoren. Die deutlichste Reaktion erfolgt auf das C-N-Verhältnis und auf das Ammoniumangebot. Dies stimmt mit der Feststellung von BALATOVA-TULACKOVA (1993) überein, dass der Teufelsabbiss zu den Arten mit den geringsten N- und P-Gehalten zählt und einen ausgesprochen tiefen K/Ca-Quotienten aufweist. Weitere Hinweise auf die Reaktion von *Succisa pratensis* auf eine unterschiedliche Nährstoffversorgung wurden nicht gefunden.

Einzelne Autoren befassen sich mit dem Einfluss von Brache auf *Succisa pratensis*: ZELESNY (1994) findet die Art durch eine Streuwiesenbrache gefördert. Sie erreicht dort Deckungen bis zu 20%. Die Aussage steht im Gegensatz zum Befund von ANDRES et al. (1987), welche eine Benachteiligung von *Succisa pratensis* auf Brachen feststellten. Für einjährige Brachen ist die Reaktion jedoch undeutlich (ANDRES 1990, 1991).

#### **4.2.4. Allgemeine Anmerkungen zum Verhältnis von Vitalität und Standort**

ZELESNY (1994) beschreibt die Vitalität von Pflanzen in Vegetationsübergängen wie folgt: Die Vitalität typischer Grünlandarten nimmt entlang des Transektes in Richtung Streuwiesenzentrum rasch ab, während die Vitalität typischer Streuwiesenarten schnell zunimmt. *Lysimachia vulgaris* und *Filipendula ulmaria* erreichen ihre grösste Vitalität im Randbereich der Streuwiesen. Er

dokumentiert dies mit Blattgrößen, Wuchshöhen und Verzweigungsgraden. Der Einfluss einer Drainageeinmündung ist bis in eine Entfernung von 5 m deutlich zu erkennen, nimmt dann ab und ist nach 12–15 m nicht mehr erkennbar. Die Wirkung beruht auf einer geringeren Temperaturamplitude und damit auf einer verlängerten Vegetationsperiode im Mündungsbereich. So beginnt hier z.B. *Ranunculus aconitifolius* früher zu blühen. Die Nährstoffversorgung ist ebenfalls massiv höher: 80% mehr Ertrag bei 40% höherem Phosphorgehalt und 80% höherem Kaliumgehalt in der Phytomasse bzw. bei doppelt so grossem Phosphor- und dreifach so grossem Kalium-Bodengehalt. Als Ursachen für eine randliche Eutrophierung nennt ZELESNY (1994) Grundwasserabsenkungen, höhere Mineralisation sowie diffuse Einträge durch Oberflächen- und Sickerwasser. Die grösste Gefahr für die Streuwiesen ist unpräzises Ausbringen von Gülle und Mineraldünger. Drainagewasser soll mittels Vorflutern aufgefangen und am Naturschutzgebiet vorbeigeleitet werden.

Nach PFADENHAUER und MAAS (1987) besteht kein genereller Zusammenhang zwischen der Mächtigkeit der Arten und ihren Anteilen fertiler bzw. steriler Sprosse. Die Autoren vermuten, dass bei suboptimaler Nährstoffversorgung die Produktion von keimfähigen Samen oder die Bildung fertiler Sprosse bei Nährstoffzeigern vermindert werden könnte. Die vorliegende Untersuchung bestätigt dies nur insofern, als die Korrelationen zwischen Deckungswerten und Anzahl blühender Pflanzen bei der Hälfte der untersuchten Arten klein sind. Für sieben Arten können diese Zusammenhänge jedoch festgestellt werden. Bei *Ranunculus nemorosus* und *Galium uliginosum* sind die Korrelationen mit Werten um  $r = 0.45$  mässig. Bei *Mentha aquatica*, *Holcus lanatus* und *Lysimachia vulgaris* bewegen sie sich um Werte von  $r = 0.55$ ; bei *Carex hostiana* sowie bei *Molinia coerulea* sind die Korrelationen mit  $r = 0.613$  bzw.  $r = 0.731$  stark. SCHOPP-GUTH (1993) hält fest, dass eine Düngung jeweils zu grösseren Halmhöhen und Blattlängen führt. Der Einfluss von Standortsfaktoren (Grundwasser, Nährstoffversorgung) im Boden auf die Variabilität der erfassten Merkmale erscheint bei den Kopfbinsenriedern jedoch gering im Vergleich mit Nutzungs- und Klimaeinflüssen (SCHOPP-GUTH 1993).

Bei *Filipendula ulmaria* als Nährstoffzeiger weisen die Maximalwerte der Vitalitätsmerkmale besser auf die Bodenmatrix hin als die Mittelwerte derselben Parameter. Bei *Succisa pratensis* als Magerkeitszeiger ist es umgekehrt. Eine Verallgemeinerung dieser Beobachtung würde die Interpretation nahelegen, dass die Nährstoffzeiger das Nährstoffangebot so gut auszunutzen vermögen, dass das kräftigste Exemplar die schwächeren unterdrücken kann. Magerkeitszeiger können die Nährstoffe offenbar weniger gut ausnützen, so

dass die innerartliche Konkurrenz nicht so stark wirkt.

Punktnekrosen, wie PEGTEL (1983) sie in einem Topfexperiment bei akutem Kaliummangel an den Blättern der Dikotyledonen festgestellt hat, treten in den Untersuchungsgebieten nicht auf. Ebenso wenig konnten die von HÜRLIMANN (1951) und FINCK (1976) beschriebenen Verfärbungen bei Mangelerkrankungen festgestellt werden. Die beobachteten Verfärbungen waren bei allen Arten von der Nährstoffverfügbarkeit unabhängig. In halbnatürlichen Systemen wie Streuwiesen werden die Arten offenbar verdrängt, bevor der Standort so schlecht ist, dass diese Mangelsymptome auftreten.

Die Korrelationen zwischen dem Nährstoffangebot im Boden und Vitalitätsparametern der Arten streuen von Transekt zu Transekt selbst bei relativ hohen mittleren Koeffizienten ausserordentlich stark. Eine Beschreibung der Beziehung zwischen dem Standort und der Vitalität, etwa durch die Berechnung von Regressionsgeraden, macht deshalb wenig Sinn. Damit entfällt die Möglichkeit, quantitative Prognosen über die Vitalität der Arten zu machen. Die Ursache dürfte in den unterschiedlichen Nährstoffniveaus der Transekte liegen.

Die Möglichkeiten der Pflanzen, die im Boden vorhandenen Nährstoffe zu nutzen sind vom Bodenwasser abhängig. Nach LANDOLT (1977) kann dabei eine gute Wasserversorgung ein Stück weit ein geringeres Angebot ausgleichen. Es ist denkbar, dass die unterschiedliche zeitliche und örtliche Wasserversorgung der Transekte dem Nährstoffgradienten entgegenwirkt. Wie aus der bei PEGTEL (1983) und EGLOFF (1986) unterschiedlichen Reaktion von *Carex hostiana* auf Düngung ersichtlich, kann der physiologische Effekt des besseren Nährstoffangebotes durch Konkurrenz zwischen den Arten überdeckt werden. KNAPP (1967) weist in diesem Zusammenhang auf die Möglichkeit hin, dass einige Arten Mikroorganismen fördern, welche wiederum andere Arten in ihrem Wachstum hemmen. Dies kann auch durch die Förderung von Insekten geschehen (KNAPP 1967).

Zum besseren Verständnis der Reaktionen einzelner Arten auf Gradienten ihres natürlichen Standortes müsste die gegenseitige Beeinflussung der Standortfaktoren in ihrer physiologischen Wirkung und die Mechanismen der Konkurrenz sowie des Mutualismus näher betrachtet werden.

#### **4.3. MONITORING VON GRADIENTEN**

Beim Monitoring von Gradienten muss die Distanz der Datenpunkte vergleichbar mit dem erwarteten Vorrücken des Gradienten sein. Über letzteres sind

selbst bei Autoren, die sich mit Nährstoffverlagerungen und -auswaschungen befassen, kaum Angaben zu finden (z.B. NIEMANN und WEGENER 1976, SCHEFFER 1977, SCHEFFER und BLANKENBURG 1983, VERHOEVEN et al. 1983, VAN DER HOEK 1987, KNAUER und MANDER 1989 u.a.). KLÖTZLI (mündl.) geht für viele Streuwiesen auf kalkhaltigen, schweren Mineralböden in leichter Hang- oder Muldenlage von einer jährlichen Verschiebung von wenigen Dezimetern aus. In Einzelfällen kann die Veränderung jedoch auch massiv schneller sein.

In der vorliegenden Arbeit wurden die Vegetationsübergänge von eutrophem zu oligotrophem Grünland mit Transekten aus 50×50 cm grossen Abschnitten lückenlos erfasst. Das Vorgehen ist jenem von GOBAT (1984) sehr ähnlich, der Übergänge zwischen Hoch- und Flachmooren im Jura beschrieb. Er hielt die Arten und ihre Deckungen auf Transekten mit lückenlosen Abschnitten von 50 cm Länge und 20 cm Breite fest und ergänzte sie mit physiognomischen Angaben zur Vegetation. An sechs bis neun Stellen bestimmte er in verschiedenen Tiefen eine Reihe von Bodenfaktoren. BOLLER-ELMER (1977) bestimmte auf ihren Transekten Fixpunkte im Zentrum jeden Vegetationstyps und erfasste die floristischen Daten nur an diesen Fixpunkten.

GALLANDAT und GOBAT (1986) schlagen zur Überwachung von Gradienten die Einrichtung von Dauertransekten vor, und zwar entweder flächenfrei als Linie oder als sehr schmale Bänder. Die Abschnittslänge wird der Fragestellung entsprechend gewählt und kann bei Bedarf verändert werden. Erfasst werden je nach Fragestellung alle oder nur ausgewählte Arten. Die Daten können durch Standortfaktoren ergänzt werden. Durch die wiederholte, gleichzeitige Erfassung sowohl der Pflanzen als auch der Standortfaktoren wird es möglich, die Wirkung letzterer auf die Vegetation zu beurteilen. Die Einrichtung von Dauertransekten weist nach GALLANDAT und GOBAT (1986) einige grosse Vorteile gegenüber anderen Monitoringmethoden auf:

- Es wird möglich, die Sukzession der Vegetation in Raum und Zeit zu verfolgen.
- Das Prozedere ist elastisch durch eine mögliche Anpassung der Abschnittslängen an den Standorttyp (im Zentimeter bis Meterbereich).
- Dauertransekten können an allmähliche oder an abrupte Änderungen in der Vegetation durch Modifikation der Abschnittslängen und der zu erfassenden Parameter angepasst werden.
- Es besteht die Möglichkeit, Parameter zu beobachten, die nur auf Flächen erfasst werden können (Wasserchemie, edaphische Faktoren).
- Dauertransekten eignen sich speziell für die Überwachung von Kontaktzonen.

Die optimistische Einschätzung der Leistungsfähigkeit von Transektmethoden durch GALLANDAT und GOBAT (1986) soll durch einige Erfahrungen aus der vorliegenden Arbeit ergänzt werden: Nicht nur weit entfernt liegende, sondern auch Transekte in unmittelbarer Nachbarschaft, d.h. mit Abständen von ca. 4–6 m, weisen unterschiedliche Gradientenverläufe auf. Dies macht es unmöglich, die Transekte eines Gebietes gemeinsam auszuwerten. Die grosse Streuung zwischen den einzelnen Transekten bzw. die unterschiedlich verlaufenden Gradienten können als Ursache dafür betrachtet werden, dass auf die Berechnung von Regressionsgeraden zwischen Vitalitätsmassen und Bodenfaktoren verzichtet werden muss. Dabei wäre zu erwarten gewesen, dass die Regression für jeden Transekt völlig anders herauskommt. Prognosen für die Vitalität von Arten aufgrund von Bodennährstoffgehalten, oder umgekehrt, lassen sich aufgrund des verfügbaren Materials nicht machen.

Die Gradientenbeschreibungen der meisten Autoren basieren auf subjektiven Schätzverfahren der Artmächtigkeiten, wobei Flächen, Formen und Abstände zwischen den Aufnahmen stark variieren. Die verlangten Minimumflächen der Aufnahmen verursachen Probleme, wenn die Übergänge als solche beschrieben werden sollen. Wenn sich wie bei STAUB (1986) der Übergang zwischen zwei Vegetationstypen innerhalb von 2 m vollzieht, lassen sich unter Berücksichtigung der Minimumflächen nicht einmal Vegetationsaufnahmen machen, die den floristischen Gegebenheiten gerecht werden. Bei einer starken Unterschreitung der Minimumflächen können laut KRÜSI (1978) Veränderungen in der Artenzahl nicht auf die ganzen Bestände übertragen werden, und Inhomogenitäten eines Bestandes werden mit kleinen Flächen nicht erfasst. Die Anwendung klassischer pflanzensoziologischer Methoden bereitet auch bei der Klassierung von Übergangsbeständen im System Schwierigkeiten. BOLLER-ELMER (1977) behilft sich zur Lösung dieses Problems mit Doppelbenennungen der Bestände. SCHMIDT (1984) bedient sich für die Darstellung von Sukzessionen, die als "Zeittransekte" aufgefasst werden können, prozentualer Zuordnungen von Artengruppen zu den pflanzensoziologischen Klassen. ZELESNY (1994) beschreibt die Gradienten mit 1m<sup>2</sup> grossen Aufnahmen auf Transekten, deren Arten er nach ihrer Deckung gewichtet und nach Haupt- und Schwerpunkt vorkommen den Pflanzenformationen von KORNECK und SUKOPP (1988) zuteilt. Diesen Darstellungen sind einige Schwächen gemeinsam:

- Als Referenzen können nur grobe pflanzensoziologische Einheiten herangezogen werden. Ihnen werden z.T. auch Arten mit unterschiedlichen Ansprüchen zugerechnet, so dass ökologische Differenzen nicht zwingend sichtbar werden.

- Zahlreiche Arten sind mit mehr als einer Einheit assoziiert, so dass die Zuordnungen nicht immer eindeutig werden.
- Auf lokale Ausbildungen der Vegetation kann keine Rücksicht genommen werden.

ZELESNY (1994) äussert denn auch seine Unzufriedenheit zu diesen Punkten. Seiner Meinung nach liefern die Verbreitungsgrenzen ausgewählter Arten eine genauere Erfassung der Vegetationsveränderungen entlang der Transekte und eine bessere Charakterisierung der Vegetation in den Randbereichen.

Die Gruppenzugehörigkeitsgrade nach FEOLI und ZUCCARELLO (1986, vgl. Kap. 2.4.) bilden ein lokales, relatives Referenzsystem, welches eine pflanzensoziologisch differenziertere Betrachtung der Transekte ermöglicht:

- Das Problem der Minimumflächen kann gelöst werden, indem eindeutig klassierbare Referenzflächen mit ausreichender Fläche ausserhalb der Transekte gewählt werden.
- Durch die Wahl der Referenzflächen im Untersuchungsgebiet selbst werden lokale Besonderheiten der Vegetation berücksichtigt.
- Die Ebene der pflanzensoziologischen Zuordnung der Referenzflächen (Assoziation, Verband, Klasse usw.) spielt für das Verfahren keine prinzipielle Rolle. Es ist möglich, auch Subassoziationen als Referenzen zu wählen oder auf soziologische Zuordnungen der Referenzflächen ganz zu verzichten.

Das im Kap. 2.4. angesprochene Problem der Überbestimmtheit von Flächen wird durch eine rechnerische Korrektur behoben. Die Gruppenzugehörigkeitswerte nach FEOLI und ZUCCARELLO (1986) zum *Primulo-Schoenetum* korrelieren mit Bodennährstoffen am stärksten, und die Streuung der Koeffizienten ist am geringsten. Sie zeigen somit die Gesamtnährstoffgradienten am zuverlässigsten an (vgl. Tab. 12). Ebenfalls sehr zuverlässige Aussagen darüber ist mit den Zugehörigkeiten zum *Gentiano-Molinietum caricetosum davallianae*, zum *Caricetum davallianae stachyetosum* und zum *Valeriano-Filipenduletum* (in abnehmender Reihenfolge) möglich. Es stellt sich hier das Problem der relativ breiten ökologischen Amplitude der Assoziationen (nach OBERDORFER 1992 und 1983 weisen fast alle Assoziationen einen trockenen und einen feuchten bzw. einen eher sauren und einen eher alkalischen Flügel auf). Wie die unterschiedlich hohen Korrelationskoeffizienten des *Gentiano-Molinietum caricetosum montanae* und des *Gentiano-Molinietum caricetosum davallianae* zeigen (vgl. Tab. 12), müsste zumindest bis zum Subassoziationsniveau, besser bis zu einer noch feineren Unterteilung, differenziert werden. Das Problem könnte in der Naturschutzpraxis umgangen werden, indem auf die Gesell-

schaftsansprachen verzichtet und dennoch eine feine Differenzierung der Vegetation angestrebt wird. In der vorliegenden Arbeit erweisen sich vier verschiedene, in unmittelbarer Nachbarschaft ausgebildete, aber unabhängig von den Transekten bestimmte Einheiten als geeignet für eine zuverlässige Indikation des Bodenzustandes mittels Gruppenzugehörigkeiten nach FEOLI und ZUCCARELLO (1986). Das Verfahren verlangt allerdings eine ziemlich intensive vegetationskundliche Bearbeitung zumindest am Rand der Untersuchungsobjekte.

Die Nährstoffversorgung wird durch die nach Deckungen gewichteten Nährstoffzeigerwerte ähnlich gut wie durch die Gesellschaftszugehörigkeiten angezeigt.

In der vorliegenden Arbeit wurden die Transektaufnahmen nach der Methode von Braun-Blanquet gemacht. Ihre Schwächen wie die Fragen nach der Homogenität der Bestände sowie nach der Subjektivität und Genauigkeit der Schätzungen sind in der Literatur ausreichend diskutiert worden, so dass hier nicht nochmals darauf eingegangen werden muss. Die Erfassung von Frequenzen der Arten mit anschliessender Ordination ist objektiver und eignet sich im speziellen zur Erfassung von Gradienten (ROGERS 1970). Zur Vermeidung von Problemen mit der Schätzung von Homogenität und Deckung schlägt KELLER (1986) bei Dauerbeobachtungsflächen die Punktquadratmethode in der Form vor, wie sie von DAGET und POISSONET (1971) zur quantitativen Beschreibung von Grünland modifiziert wurde. STAMPFLI (1991) testete und verfeinerte diese Methode. Er schlägt die Erfassung der Arten in einem systematischen Raster vor. Darin werden sogar Unterschiede von Arten erfasst, deren Frequenz weniger als 5% beträgt, während bei zufälligen Punkten nur Differenzen von Arten mit einer Frequenz von mehr als 10% erfasst werden. Der grosse Vorteil dieser Methode liegt nach STAMPFLI (1991) in der besseren Quantifizierung der Arten, vor allem in Gebieten, wo Schwierigkeiten mit der Deckungsschätzung zu erwarten sind. Er empfiehlt die Anwendung der Punktquadratmethode insbesondere für die Erfassung von jährlichen Fluktuationen von Pflanzpopulationen in Gebieten mit hoher Diversität und Komplexität. Ein Nachteil ist zweifellos der grosse zeitliche Aufwand, wenn zusätzlich relativ seltene Arten erfasst werden sollen, und der technische Aufwand: Stampfli setzte die Nadel mit einer Apparatur und arbeitete unter einem Unterstand, um die Einflüsse von Wind und Regen auszuschalten. Beim gleichzeitigen Einsatz von zwei Personen dauerte eine einzelne Aufnahme von 176 Punkten bis zu fünf Stunden. Auch in Fällen, wo zur Erhebung der Transekt- und Referenzflächen objektive Verfahren wie die Punktquadratmethode zum Einsatz kommen, kann ein Gradient

mit den Gruppenzugehörigkeitsgraden nach FEOLI und ZUCCARELLO (1986) beschrieben werden. Auch dann gelten die Vorteile eines relativen Referenzsystems gegenüber einem festen.

Ein weiteres Problem bei Monitoringarbeiten sind saisonale und mehrjährige Fluktuationen der Arten (KRÜSI 1978). THOMAS (1960) betont die Abhängigkeit der Punktquadratmethode von der Saisonalität: In seiner Untersuchung in Grossbritannien nahm der Kräuteranteil in den Jahren 1954–56 ab, wenn die Aufnahmen im Herbst gemacht wurden. Wurden dieselben Aufnahmen dagegen im Frühling gemacht, nahm er im gleichen Zeitraum zu. Auch bei der klassischen pflanzensoziologischen Klassierung von Beständen stellt sich das Problem der Fluktuationen.

Nach KLÖTZLI und ZIELINSKA (1995) können verbreitete Arten "kryptisch" werden (d.h., sie überdauern längere Zeit ausschliesslich unterirdisch und sind nicht sichtbar), sporadisch auftreten oder chaotische Reaktionen innerhalb der Vegetationseinheiten zeigen. Dies kann auch Gruppen von Arten betreffen. In extremen Fällen können Generalisten auch zu Differentialarten der Einheiten werden und umgekehrt. Trotzdem bleibt die pflanzensoziologische Einheit während der ganzen Zeit an persistenten Artengruppen erkennbar. Diese Fluktuationen betreffen ganze Gebiete (KLÖTZLI und ZIELINSKA 1995).

Wird für das Monitoring von Gradienten die Vegetation mit einem festen Referenzsystem verglichen, ist die Unterscheidung einer allfälligen Sukzession von einer Fluktuation ohne längere Zeitreihen meistens schwierig. Die Schwierigkeiten sind dieselben, ob die Anteile der Formations- oder Klassenzugehörigkeiten der Arten entlang des Gradienten festgestellt, oder ob die Aufnahmen z.B. pflanzensoziologisch klassiert werden. Als Alternative bietet sich der Einsatz eines relativen, d.h. eines lokalen Referenzsystems, an. Der Vergleich der Vegetation geschieht innerhalb eines Gebietes. Als mögliches Mass dazu können die Gruppenzugehörigkeiten (FEOLI und ZUCCARELLO 1986) zu klar erkennbaren Vegetationstypen im Gebiet eingesetzt werden. Interessant ist der Einsatz eines relativen Referenzsystems vor allem dort, wo erwartet wird, dass sich eine randliche Sukzession und eine umfassende Fluktuation oder Sukzession überlagern. Eine grossflächige Sukzession (z.B. eine Eutrophierung durch atmosphärischen Stickstoffeintrag) oder eine Fluktuation wird die Referenzflächen ebenfalls verändern und dadurch etwas ausbalanciert werden. Da sich die Zugehörigkeitsgrade dann wahrscheinlich nicht oder nur wenig ändern werden, dürfte es so eher möglich werden, einen lateralen Einfluss festzustellen.

Solange die gesamten Gebiete betrachtet werden, bleibt der Umgang mit dieser

Frage derselbe, ob nun ein relatives Referenzsystem eingesetzt wird oder eine andere Methode mit einem festen Referenzsystem.

Die Einwanderung oder die Verdrängung von Arten nimmt oft lange Zeit in Anspruch. GIGON und BOCHERENS (1985) stellten in einem brachliegenden Ried eine Ausbreitungsgeschwindigkeit von *Salix* sp. und der als aggressiv geltenden *Solidago serotina* von wenigen Dezimetern bis maximal 80 cm pro Jahr fest. Die Ausbreitung der Weiden beruhte in diesem Fall hauptsächlich auf dem Wachstum einiger bereits etablierter Exemplare; neue Individuen tauchten nur wenige auf. Methoden, die auf dem Vorhandensein bzw. der Deckung von Arten beruhen, lassen deshalb manchmal erst nach einer entsprechend langen Zeit eine Sukzession von einer Fluktuation unterscheiden (KRÜSI 1981). KRÜSI (1981) erkennt anhand phänologischer Merkmale einzelner Arten oder ganzer Gesellschaften bewirtschaftungsbedingte Standortsveränderungen bis zu 10 Jahre früher als aufgrund üblicher Vegetationsaufnahmen, sofern die phänologischen Daten über mehrere Jahre erhoben werden. Für besonders geeignet hält er die Erfassung der Blütenmengen einzelner Arten oder der Blürrhythmen der Gesellschaften. Auch PFADENHAUER (1987) und WEBER und PFADENHAUER (1987) schlagen zur Überwachung von Bracheinflüssen auf Streuwiesen die Erfassung der Blütenmengen und des Blühbeginns der Arten vor. Dieses Verfahren wurde in einem Vorversuch zur vorliegenden Arbeit an *Ranunculus nemorosus* getestet. Zumindest in den untersuchten Gebieten erwies es sich zur Erfassung des lateralen Gradienten als nicht geeignet. Die Blüte von *Ranunculus nemorosus* setzt nicht in Abhängigkeit von der Distanz zum Rand des Riedes ein, sondern fleckenweise verteilt über die ganze Länge der Transekte. Es ist somit nicht möglich, zu einem bestimmten Zeitpunkt im gewünschten feinen Raster (0.5 m–1 m) die Blütenmengen zu erheben. Auch die von KRÜSI (mündlich) vorgeschlagene Möglichkeit, die Farben der blühenden Vegetation in Bändern von wenigen Metern Breite festzuhalten, erwies sich in den untersuchten Gebieten als nicht praktikabel.

Andere Möglichkeiten, Gradienten über die Reaktion einzelner Arten zu erfassen, sind Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Wie in Kap. 3.4.2. dargelegt, sind die Zusammenhänge zwischen der Bodenmatrix und der Vitalität der Arten eher lose. Da die verschiedenen Transekte nicht gemeinsam ausgewertet werden können und da die Arten oft nur auf dem kleineren Teil der Abschnitte vorhanden sind, ist es u.U. schwierig, eine statistisch genügende Datendichte zu erhalten. Weiter entwickelt sich häufig nur ein Exemplar der interessierenden Art so weit, dass die Vitalitätsparameter erhoben werden können. Eine Verlänge-

zung der Transektabschnitte zugunsten einer verbesserten Datendichte geht auf Kosten der möglichen Aussagegenauigkeit. Der Vorteil, dass die Arten sehr schnell auf Veränderungen im Boden reagieren, könnte dann wiederum nicht ausgenützt werden. Geht man von einem Vorrücken der Nährstoffe um 10–20 cm pro Jahr aus, so wird die Beobachtung von Transekten mit Abschnittslängen von 1–2 m ungefähr 5–10 Jahre dauern müssen, damit Änderungen erkannt werden können. Die Erfassung breiterer Transektstreifen wäre geeignet, um die Datendichte zu verbessern. Damit würde der Anteil "leerer" Abschnitte vermindert, bzw. die Stichprobenumfänge würden grösser. Es wäre damit möglich, eine grössere Anzahl signifikanter Korrelationen zu ermitteln, weil bei grösseren Stichproben kleinere Korrelationskoeffizienten signifikant sind. Dass auch die Arten mit relativ grossen Stichprobenumfängen ähnliche Korrelationen ihrer Vitalitätsparameter mit der Bodenmatrix aufweisen wie jene mit kleineren Stichprobenumfängen, lässt mich vermuten, dass dies auf die Grösse der Korrelationskoeffizienten kaum einen Einfluss gehabt hätte.

Zusammenfassend muss gesagt werden, dass die gewählten Arten bzw. ihre Vitalitätsparameter in keinem Fall die Versorgung mit Bodennährstoffen auch nur annähernd so gut wiedergeben wie Erhebungen der Gesamtfloristik. Auch die Gesamtvitalität der einzelnen Arten (die 1. Achse der HKA der morphometrischen Masse) vermag den Zustand des Bodens nicht so präzise zu widerspiegeln wie eine Aufnahme. Die floristischen Erhebungen beziehen sich mit der Deckung auf ein einzelnes Vitalitätsmass aller Arten. Auch hier zeigt sich, dass das Zusammenspiel der Arten die Bodenverhältnisse besser widerspiegelt als eine einzelne Art: unter den untersuchten Arten ist keine, deren Deckung die Bodenverhältnisse exakter anzeigt als eine Vegetationsaufnahme. Die Gesamtheit der Vegetation bildet die Bodenverhältnisse besser ab als irgendwelche Vitalitätsparameter von einzelnen untersuchten Indikatorarten. Offenbar vermag das Zusammenspiel der in Wechselbeziehung (sowohl Konkurrenz als auch positive Interaktionen) stehenden Arten die Bodenverhältnisse besser zu differenzieren als die einzelne Art. Dies deckt sich mit der Beobachtung von KLÖTZLI und ZIELINSKA (1995) in der "Stillen Reuss", dass die Populationsbewegungen der meisten Arten oft weder eine Regel noch eine klare Tendenz aufweisen und Prognosen über ihr Verhalten schwierig sind.

Der von KRÜSI (1981) und PFADENHAUER (1987) festgestellte Zeitverlust, bis eine gesicherte Aussage via Deckungswerte möglich ist, kann nur zu Lasten der Genauigkeit der Indikation vermieden werden.

#### **4.4. SCHLUSSFOLGERUNGEN FÜR DIE NATURSCHUTZ- PRAXIS**

Für die langfristige Überwachung der Wirksamkeit von Puffer- bzw. Umgebungsschutzzonen eignet sich die floristische Erhebung von Dauertransekten. Da auch bei äusserlich sehr ähnlicher Erscheinung der Vegetation (im gleichen Gebiet unmittelbar benachbart, ähnliche Artenzusammensetzung und Zonierung der Gesellschaften) die Nährstoffgradienten auf unterschiedlichen Niveaus verlaufen können, dürfen die Daten der einzelnen Transekte nicht miteinander vermengt werden. Die Abfolge der einzelnen Aufnahmen muss in einem Verhältnis zum erwarteten Vorrücken der Nährstoffe im Boden stehen. Wird für tonreiche Streuwiesenböden von einer Geschwindigkeit von 1–2 dm im Jahr ausgegangen, müssen die Aufnahmen lückenlos nebeneinander erhoben werden. Am Übergang von Intensivgrünland zu Pfeifengraswiesen erweist sich aufgrund der jeweiligen kleinsträumigen floristischen Inhomogenitäten eine Aufnahmefläche von wenigstens  $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$  als nützlich.

Flächen zwischen  $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$  bis  $1\text{m} \times 1\text{m}$  erlauben nach ca. 5–10 Jahren eine Beurteilung der Stabilität der randlichen Riedvegetation, was Schlüsse auf die Wirksamkeit der Umgebungsschutzzonen erlaubt. Grössere Referenzaufnahmen (entsprechend dem Minimumareal für pflanzensoziologische Aufnahmen) im Gebiet ermöglichen es, bei floristischen Veränderungen am Rand zum Intensivkulturland zwischen Fluktuation oder Sukzession zu unterscheiden. Die Zugehörigkeitswerte zu gewissen definierten Vegetationseinheiten korrelieren am besten mit den Bodenwerten. Ebenfalls gut sind die Korrelationen der nach Deckungen gewichteten Nährstoffzahl mit der Bodenmatrix.

Ob sich die auf der Fuzzy set theory basierenden Verfahren in der Naturschutzpraxis durchsetzen können, ist noch unsicher. Sie sind zurzeit erst bei einem Teil der Leute aus der Praxis bekannt, und es fehlt noch an Erfahrung bei ihrer Anwendung. Als Alternative zu ihnen ist die Verwendung des gewichteten Nährstoffzeigerwertes möglich. Beide Verfahren erlauben sowohl die Verfolgung einer allfälligen randlichen Eutrophierung als auch die Verfolgung einer flächigen Eutrophierung, sofern die Ausgangsdaten bei den Kontrollehebungen noch zur Verfügung stehen.