

# Nährstoffdynamik in Grünlandökosystemen mit besonderer Berücksichtigung des Stickstoffs

A. BOHNER, A. BAUMGARTEN und O. TOMANOVA

## Zusammenfassung

Eine einschürige Magerwiese wurde mit einer unmittelbar benachbarten und mit Stallmistkompost gedüngten Zweischneidewiese vergleichend untersucht.

Folgende Untersuchungsergebnisse wurden erzielt:

- Die Bodentemperatur und der  $N_{\text{tot}}$ -Gehalt in Grünlandböden haben eine große Bedeutung für das N-Nachlieferungsvermögen eines Standortes. Der Einfluss der Bodentemperatur folgt im Temperaturbereich  $10^{\circ}\text{C}$  bis  $25^{\circ}\text{C}$  weitgehend der van't Hoff'schen Regel.
- In der Bodentiefe 0-10 cm beträgt im Untersuchungsgebiet die durchschnittliche Bodentemperatur während der Vegetationsperiode (April bis September) rund  $15^{\circ}\text{C}$ . Unter dieser Voraussetzung macht die Brutto-Nitrifikationsrate in beiden Böden ca.  $0,4\text{ kg N pro ha und Tag}$  aus; dies entspricht rund  $75\text{ kg N pro ha}$  während der Vegetationsperiode oder  $1,9\%$  vom N-Vorrat des Bodens.
- $\text{NO}_3\text{-N}$  ist die dominierende mineralische N-Form in regelmäßig gedüngten Böden des Wirtschaftsgrünlandes bei ausgeglichenem (frischem) Wasserhaushalt. In sauren, P-armen Grünlandböden ist die Nitrifikation gehemmt; hier kann auch  $\text{NH}_4\text{-N}$  eine wesentliche mineralische N-Form sein. Die regelmäßige Düngung mit Wirtschaftsdünger erhöht die Rate der Nitrifikation in Grünlandböden vermutlich primär durch P-Zufuhr, Anhebung des pH-Wertes und Steigerung der Basensättigung.
- Eine niedrige P- und K-Verfügbarkeit im Boden kann eine effiziente N-Verwertung der Pflanzen verhindern und einen N-Konzentrationseffekt in der oberirdischen Phytomasse auslösen.

Der pflanzenverfügbare N wird nur dann voll in Ertrag umgesetzt und somit effizient von den Grünlandpflanzen verwertet, wenn auch die anderen Nährelemente, insbesondere P und K, in ausreichenden Mengen und in einem harmonischen Verhältnis pflanzenverfügbar sind.

- Grünlandpflanzen können auf nährstoffarmen Böden in der oberirdischen Phytomasse durch ein gehemmtes Wachstum auch höhere Nährstoffgehalte verbunden mit niedrigen Nährstoffvorräten aufweisen (Konzentrationseffekt). Bei der Beurteilung der Nährstoffverfügbarkeit im Boden mittels Blatt- oder Pflanzenanalyse muss daher berücksichtigt werden, dass ein höherer Nährstoffgehalt in der oberirdischen Phytomasse sowohl die Folge einer hohen Nährstoffverfügbarkeit im Boden als auch die Folge einer schlechten Verwertung aufgrund eines gehemmten Pflanzenwachstums sein kann.
- Die regelmäßige Düngung mit Wirtschaftsdünger erhöht den landwirtschaftlich nutzbaren Ertrag und den Nährstoffvorrat vor allem in der oberirdischen Phytomasse von Grünlandökosystemen; sie vermindert allerdings auch die Nährstoffausnutzungseffizienz der Grünlandpflanzen und reduziert das Wurzel-Spross-Verhältnis.
- In Grünlandökosystemen werden beträchtliche Nährstoffmengen in der ober- und unterirdischen Phytomasse gespeichert und somit vor Auswaschungsverlusten geschützt. Hinsichtlich Nährstoffvorrat nimmt allerdings der Boden die dominierende Stellung ein. Vom N- sowie vom Königswasser-extrahierbaren K- und P-Vorrat im Boden (0-10 cm) sind beim ersten Aufwuchs in der ungedüngten Mähwiese

nur  $0,5\%$ ,  $1,7\%$  und  $0,3\%$  in der landwirtschaftlich nutzbaren oberirdischen Phytomasse gespeichert; in der gedüngten Mähwiese lauten die analogen Zahlen  $1,6\%$ ,  $4,1\%$  und  $0,7\%$ . Aus diesen Werten wird ersichtlich, dass eine Aushagerung der Grünlandböden durch Mahd ohne Düngung insbesondere auf P-reichen Böden unter Umständen sehr lange dauern kann. In der ober- und unterirdischen Phytomasse (ohne Stoppelmasse) sind beim ersten Aufwuchs in der ungedüngten Mähwiese  $1,3\%$  vom N-Vorrat,  $1,9\%$  vom Königswasser-extrahierbaren K-Vorrat und  $0,6\%$  vom Königswasser-extrahierbaren P-Vorrat des Oberbodens gespeichert und somit in den Nährstoffkreislauf im System Boden - Pflanze involviert; in der gedüngten Mähwiese lauten die entsprechenden Werte  $2,7\%$ ,  $4,4\%$  und  $1,0\%$ . Eine regelmäßige Düngung mit Wirtschaftsdünger erhöht somit den Nährstoffumsatz in Grünlandökosystemen. Die Umsatzraten sind bei K am höchsten und bei P am niedrigsten.

## 1. Einleitung

Stickstoff beeinflusst in hohem Maße die floristische Zusammensetzung des Pflanzenbestandes und die Artenvielfalt in Grünlandökosystemen (MARRS, 1993). Stickstoff ist mengenmäßig der wichtigste Pflanzennährstoff, und bestimmt daher am stärksten den Ertrag (WHITEHEAD, 1995). Vom Stickstoff geht durch Auswaschung und gasförmige N-Verluste ein besonderes Gefahrenpotential vor allem für die Atmosphäre und das Grundwasser aus (WHITEHEAD, 1995). Stickstoff ist aufgrund seiner dominierenden Rolle im Stoffkreislauf neben Phosphor ein wichtiger Indikationskennwert für die Bewirtschaftungsintensität und Maßzahl für eine

**Autoren:** Dr. Andreas BOHNER, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, Altdrining 11, A-8952 IRDNING; Dr. Andreas BAUMGARTEN, Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH, Institut für Bodengesundheit und Pflanzenernährung, Spargelfeldstraße 191, A-1226 WIEN und Dr. Olga TOMANOVA, Institut für Zuckerrübenforschung, Universität Göttingen, Landstraße 77, D-37079 GÖTTINGEN

**Tabelle 1: Allgemeine Bodenkennwerte (0-10 cm Bodentiefe)**

	CaCl <sub>2</sub> pH	% C <sub>org</sub>	% N <sub>tot</sub>	C <sub>org</sub> /N <sub>tot</sub>	DL P	mg/kg H <sub>2</sub> O P	CAL K	KW P	g/kg KW K	mval/100 g KAK <sub>eff</sub>	% BS
ged. Mähwiese	5,5	2,95	0,31	9,5	62	10	198	1,4	1,4	9,2	92
unged. Mähwiese	4,6	3,30	0,35	9,4	17	1	59	1,0	0,8	6,9	83

KW = Königswasserextrakt; KAK<sub>eff</sub> = effektive Kationenaustauschkapazität (BaCl<sub>2</sub>-Extrakt); BS = Basensättigung

ökologisch nachhaltige Grünlandbewirtschaftung (BOHNER et al., 2004b).

Von einer nachhaltigen, umweltverträglichen Grünlandbewirtschaftung wird erwartet, dass die Düngung zeitlich und mengenmäßig bedarfsgerecht und umweltschonend erfolgt. Das Ziel ist eine optimale Nährstoffverwertung bei minimaler Umweltbelastung. Um dies zu gewährleisten, sind Untersuchungen über die Nährstoffdynamik in Grünlandökosystemen notwendig. Die folgende Arbeit soll einen Beitrag dazu leisten.

## 2. Material und Methoden

Eine einschürige Magerwiese wurde mit einer unmittelbar benachbarten und mit Stallmistkompost gedüngten Zweischneidewiese (Basis: 0,8 GVE/ha) vergleichend untersucht. Die Untersuchungsflächen befinden sich in Irnding im mittleren Steirischen Ennstal auf einer Terrassenverebnung in 718 m Seehöhe. Die Juli-Temperatur beträgt im Durchschnitt (1993 bis 2002) 16,6° C, die Jänner-Temperatur -3,4° C und die Jahresmittel-Temperatur 7,4° C. Der Jahres-Niederschlag macht 1056 mm aus. Die Niederschläge sind sehr gleichmäßig über das Jahr verteilt, geringe Maxima sind im Juli und August zu verzeichnen. In der Vegetationsperiode (April bis September) fallen etwa 65 % des Jahresniederschlags. Die Pflanzenbestände können der Frauenmantel-Glatthaferwiese (*Alchemilla monticola*-*Arrhenatheretum elatioris*) zugeordnet werden. Die Böden sind tiefgründige kolluviale Braunerden aus Phyllit und fluvioglazialen Sedimenten mit der Humusform Mull

**Tabelle 2: Physikalische Bodenkennwerte (0-10 cm Bodentiefe)**

	Bodentiefe cm	Vol. % Wassergehalt	g/cm <sup>3</sup> Lagerungsdichte	% Porenvolumen	Porenziffer
ged. Mähwiese	0-5	44	1,17	56	1,3
unged. Mähwiese	0-5	38	0,94	64	1,8
ged. Mähwiese	5-10	50	1,42	47	0,9
unged. Mähwiese	5-10	47	1,34	51	1,1

und der Bodenart lehmiger Sand (48 % Sand, 45 % Schluff, 7 % Ton). Der Wasserhaushalt ist frisch (ausgeglichen). Die Bodenproben wurden aus der Tiefenstufe 0-10 cm gezogen. Die bodenchemischen Analysen erfolgten nach der jeweiligen ÖNORM. Die Brutto-Nitrifikationsrate im Boden wurde mittels BaPS (Barometrische Prozess Separation) analysiert. Dabei wird die Gesamtmenge von NH<sub>4</sub><sup>+</sup> bestimmt, die über Nitrifikation zu NO<sub>3</sub><sup>-</sup> oxidiert wird (UMS, 2001). Die bodenphysikalischen Kennwerte wurden nach HARTGE und HORN (1989) ermittelt. Die ober- und unterirdische Phytomasse sowie deren Nährstoffgehalt wurden nach den üblichen Methoden bestimmt (VDLUFA, 1983). Die Mahd erfolgte in der ungedüngten und gedüngten Mähwiese zeitgleich am 27.5.2002.

## 3. Ergebnisse

Die ungedüngte Mähwiese unterscheidet sich von der mit Stallmistkompost gedüngten Mähwiese im Oberboden (0-10 cm) in vielfältiger Weise. Einem vergleichsweise niedrigeren pH-Wert und einem höheren Humus- und N<sub>tot</sub>-Gehalt stehen ein deutlich niedrigerer lactat- und wasserlöslicher P-Gehalt, ein beträchtlich niedrigerer lactatlöslicher K-

Gehalt, ein geringerer mit Königswasser extrahierbarer P- und K-Gehalt sowie eine Säure-induzierte niedrigere effektive Kationenaustauschkapazität und Basensättigung gegenüber (Tabelle 1). In der Tiefenstufe 0-5 cm und 5-10 cm sind infolge geringerer Bodenverdichtung der volumetrische Wassergehalt und die Lagerungsdichte niedriger und das Porenvolumen sowie die Porenziffer höher als in der gedüngten Mähwiese (Tabelle 2). Der landwirtschaftlich nutzbare Ertrag ist beim ersten Aufwuchs deutlich niedriger; die unterirdische Phytomasse (0-30 cm) und das Wurzel-Spross-Verhältnis hingegen sind wesentlich höher als in der gedüngten Mähwiese (Tabelle 3). In der ungedüngten Mähwiese sind beim ersten Aufwuchs nur die N- und Ca-Gehalte in der oberirdischen Phytomasse vergleichsweise höher (Tabelle 3); in der unterirdischen Phytomasse verzeichnen sämtliche untersuchten Mineralstoffe einen deutlich niedrigeren Gehalt als in der gedüngten Mähwiese (Tabelle 4). Mit Ausnahme von Na sind in beiden Grünlandökosystemen die Gehalte an N, P, K, Ca und Mg in der oberirdischen Phytomasse beträchtlich höher als in der unterirdischen Phytomasse; die Verhältniszahlen sind in der ungedüngten Mäh-

**Tabelle 3: Landwirtschaftlich nutzbarer Ertrag, unterirdische Phytomasse (0-30 cm), Wurzel-Spross-Verhältnis und Mineralstoffgehalte in der oberirdischen Phytomasse (1. Aufwuchs)**

	dt/ha l.n. Ertrag	dt/ha u. Phytom.	Wu./Sp. Verh.	RFA	N	P	g/kg TM K	Ca	Mg	Na
ged. Mähwiese	34	33	1,0	310	19,1	3,4	21,7	5,8	2,4	0,2
unged. Mähwiese	10	37	3,7	260	21,6	2,8	15,2	8,4	2,2	0,2

l.n. Ertrag = landwirtschaftlich nutzbarer Ertrag; u. Phytom. = unterirdische Phytomasse (0-30 cm); Wu./Sp. Verh. = Wurzel/Spross-Verhältnis; RFA = Rohfaser

**Tabelle 4: Mineralstoffgehalte in der unterirdischen Phytomasse (0-30 cm) sowie Verhältnisse zwischen landwirtschaftlich nutzbarer oberirdischer Phytomasse (1. Aufwuchs) und unterirdischer Phytomasse**

	HCl-unl. A.	N	g/kg TM					Verh. l.n. oberir. Phyt./unterir. Phyt.					
			P	K	Ca	Mg	Na	N	P	K	Ca	Mg	Na
ged. Mähwiese	43	12,7	1,7	1,6	3,3	1,5	0,5	1,5	2,0	13,6	1,8	1,6	0,4
unged. Mähwiese	48	8,5	1,2	0,6	2,7	0,8	0,3	2,5	2,3	25,3	3,1	2,8	0,7

HCl-unl. A. = salzsäureunlösliche Asche

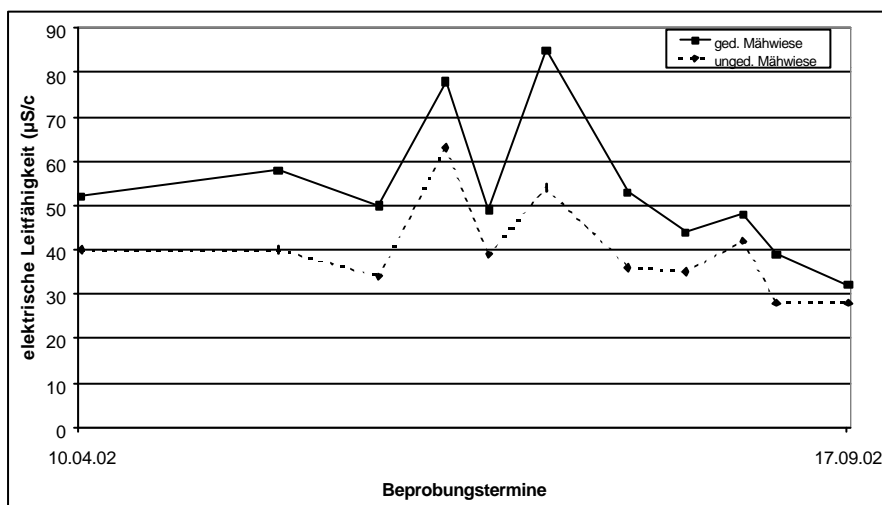
**Tabelle 5: Nährstoffvorrat in der landwirtschaftlich nutzbaren oberirdischen Phytomasse (1. Aufwuchs) und in der unterirdischen Phytomasse (0-30 cm) sowie Verhältnisse**

	l.n. oberird. Phytomasse kg/ha						unterird. Phytomasse kg/ha						Verh. l.n. oberir. Phyt./unterir. Phyt.					
	N	P	K	Ca	Mg	Na	N	P	K	Ca	Mg	Na	N	P	K	Ca	Mg	Na
ged. Mähwiese	65,1	11,7	75,2	19,8	8,2	0,7	41,6	5,5	5,2	10,7	4,8	1,6	1,6	2,1	14,5	1,8	1,7	0,4
unged. Mähwiese	21,6	2,8	15,2	8,5	2,2	0,2	31,6	4,3	2,1	10,1	3,1	1,1	0,7	0,6	7,2	0,8	0,7	0,2

**Tabelle 6: Vorrat an N, K und P im Boden (0-10 cm) und in der Phytomasse (1. Aufwuchs)**

	Vorrat Boden (0-10 cm) kg/ha		Vorrat lw. nutzbar. Phytom. (1. Aufwuchs) kg/ha		Vorrat lw. nutzbar. Phytom. in % Vorrat Boden %		Vorrat ober- und unterird. Phytomasse kg/ha		Vorrat ober- u. unterird. Phytomasse in % Vorrat Boden %	
	unged.	ged.	unged.	ged.	unged.	ged.	unged.	ged.	unged.	ged.
	N*	3990	4015	21,6	65,1	0,5	1,6	53,2	106,7	1,3
K*	912	1813	15,2	75,2	1,7	4,1	17,3	80,4	1,9	4,4
P*	1117	1787	2,8	11,7	0,3	0,7	7,1	17,2	0,6	1,0

\*Anm.: im Boden gilt: N = N<sub>tot</sub>, K = K im Königswasserextrakt, P = P im Königswasserextrakt



**Abbildung 1: Elektrische Leitfähigkeit im Boden**

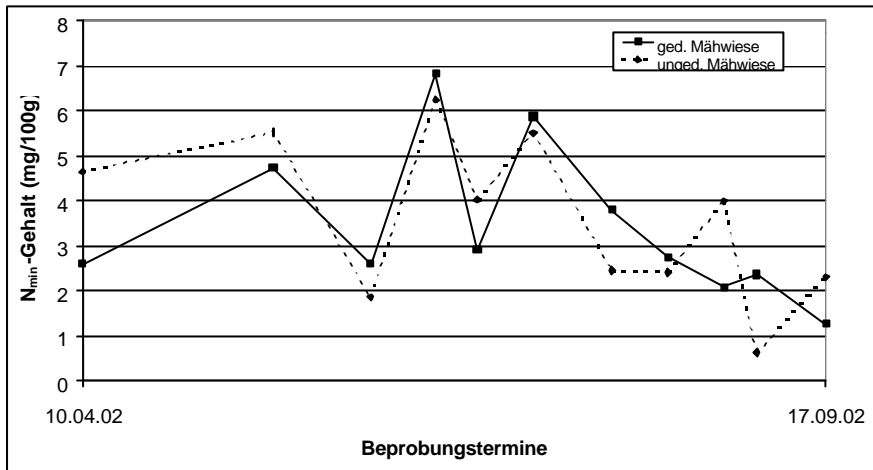
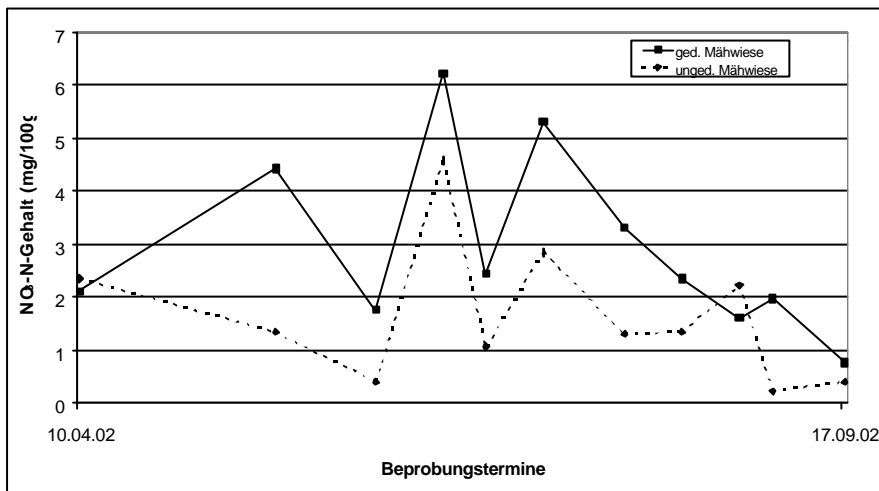
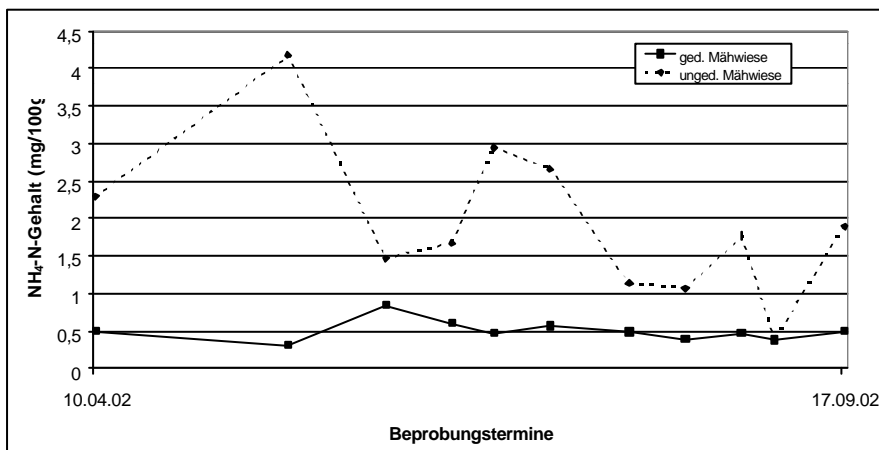
wiese deutlich größer als in der gedüngten Mähwiese (Tabelle 4). Der Nährstoffvorrat ist sowohl in der ober- als auch in der unterirdischen Phytomasse in der ungedüngten Mähwiese deutlich niedriger (Tabelle 5). Vom N- sowie vom Königswasser-extrahierbaren K- und P-Vorrat im Boden (0-10 cm) sind beim ersten Aufwuchs in der ungedüngten Mähwiese 0,5 %, 1,7 % und 0,3 % in der landwirtschaftlich nutzbaren oberirdischen Phytomasse gespeichert; in der gedüngten Mähwiese lauten die analogen Zahlen 1,6 %, 4,1 % und 0,7 % (Ta-

belle 6). In der ober- und unterirdischen Phytomasse (ohne Stoppelmasse) sind beim ersten Aufwuchs in der ungedüngten Mähwiese 1,3 % vom N-Vorrat, 1,9 % vom Königswasser-extrahierbaren K-Vorrat und 0,6 % vom Königswasser-extrahierbaren P-Vorrat des Oberbodens (0-10 cm) gespeichert und somit in den Nährstoffkreislauf im System Boden - Pflanze involviert; in der gedüngten Mähwiese lauten die entsprechenden Werte 2,7 %, 4,4 % und 1,0 % (Tabelle 6). Während des Beprobungszeitraumes (10.04.-17.09.2002) weist die ungedüngte

Mähwiese im Oberboden eine deutlich niedrigere elektrische Leitfähigkeit (Abbildung 1), einen beträchtlich niedrigeren NO<sub>3</sub>-N-Gehalt, einen deutlich höheren NH<sub>4</sub>-N-Gehalt, ein viel engeres NO<sub>3</sub>-N/NH<sub>4</sub>-N-Verhältnis und eine höhere Brutto-Nitrifikationsrate im Temperaturbereich 10° C bis 25° C als die gedüngte Mähwiese auf (Abbildungen 3-6). Die N<sub>min</sub>-Gehalte verzeichnen im Oberboden der gedüngten und ungedüngten Mähwiese deutliche, nahezu parallel verlaufende jahreszeitliche Schwankungen (Abbildung 2). Die Gehalte sind in beiden Böden relativ hoch. Die Bodenproben mussten aus organisatorischen Gründen lufttrocknen auf N<sub>min</sub> untersucht werden. Die Lufttrocknung der Bodenproben erhöht den N<sub>min</sub>-Gehalt durch eine verstärkte N-Mineralisation (NORDMEYER und RICHTER, 1985; CAMPBELL et al., 1995).

#### 4. Diskussion

Im Oberboden der ungedüngten Mähwiese ist die Nitratbildung deutlich niedriger als in der gedüngten Mähwiese. Die relativ geringe Nitrifikation resultiert nicht aus einem niedrigen NH<sub>4</sub>-N-Angebot oder einem ungünstigen Wasser- bzw. Lufthaushalt, sondern dürfte primär

Abbildung 2:  $N_{\min}$ -Gehalt im BodenAbbildung 3:  $NO_3$ -N-Gehalt im BodenAbbildung 4:  $NH_4$ -N-Gehalt im Boden

eine Folge des niedrigen pH-Wertes und der schlechten P-Versorgung (BOHNER et al., 2004a) sein. Daher ist in der ungedüngten Mähwiese das  $NO_3$ -N/ $NH_4$ -N-Verhältnis relativ eng, während der  $N_{\min}$ -Gehalt ähnliche Werte wie in der gedüngten Mähwiese aufweist. In der gedüngten Mähwiese hingegen akkumu-

liert der mineralisierte N überwiegend als  $NO_3$ -N. Der  $NH_4$ -N-Gehalt weist, im Gegensatz zum  $NO_3$ -N-Gehalt, geringe jahreszeitliche Schwankungen bei deutlich niedrigerem Niveau auf. Die regelmäßige Düngung mit Wirtschaftsdünger erhöht somit die Rate der Nitrifikation und erweitert dadurch das  $NO_3$ -N/ $NH_4$ -N-

Verhältnis im Oberboden. Nach GERLACH (1973) und KRIEBITZSCH (1978) begünstigt eine gute P-Versorgung des Bodens die Nitrifikation, während vor allem ein niedriger Gehalt an lactatlöslichem P und ein niedriger pH-Wert (RUNGE, 1983) die Nitratbildung hemmen. Die regelmäßige Düngung mit Wirtschaftsdünger dürfte daher den Nitrifikationsgrad im Boden vor allem durch P-Zufuhr, Anhebung des pH-Wertes und Steigerung der Basensättigung erhöhen. Die gehemmte Nitrifikation im Oberboden der ungedüngten Mähwiese dürfte geringere N-Verluste durch  $NO_3$ -Auswaschung und Denitrifikation sowie eine erhöhte  $NH_4$ -N-Aufnahme der Pflanzen bewirken.

Die vergleichsweise höhere Brutto-Nitrifikationsrate im Oberboden der ungedüngten Mähwiese dürfte primär eine Folge des höheren  $N_{\text{tot}}$ -Gehaltes sein. Das N-Nachlieferungspotential eines Bodens ist nämlich sehr wesentlich vom  $N_{\text{tot}}$ -Gehalt abhängig; mit steigendem  $N_{\text{tot}}$ -Gehalt erhöht sich linear die Menge an nachlieferbarem N (Abbildung 7). Die Brutto-Nitrifikationsrate wird in beiden Böden im Temperaturbereich  $10^\circ\text{C}$  bis  $25^\circ\text{C}$  recht gut mit einer exponentiellen Gleichung beschrieben. In weitgehender Übereinstimmung mit der van't Hoff'schen Regel bedeutet ein Temperaturanstieg um  $10^\circ\text{C}$  eine Steigerung der Brutto-Nitrifikationsrate um den Faktor 2. Daraus wird ersichtlich, dass die Bodentemperatur neben dem  $N_{\text{tot}}$ -Gehalt einen wesentlichen Einfluss auf das N-Nachlieferungsvermögen eines Grünland-Standortes hat, und dass unter natürlichen Standortverhältnissen nur ein Teil des potentiell mineralisierbaren N im Boden auch tatsächlich mineralisiert wird (vgl. MARION und BLACK, 1987).

In der Bodentiefe 0-10 cm beträgt im Untersuchungsgebiet die durchschnittliche Bodentemperatur während der Vegetationsperiode (April bis September) rund  $15^\circ\text{C}$ . Unter dieser Voraussetzung macht die Brutto-Nitrifikationsrate in beiden Böden ca.  $0,4\text{ kg N pro ha und Tag}$  aus; dies entspricht rund  $75\text{ kg N pro ha}$  während der Vegetationsperiode oder  $1,9\%$  vom N-Vorrat des Bodens.

Die niedrigere elektrische Leitfähigkeit im Oberboden der ungedüngten Mäh-

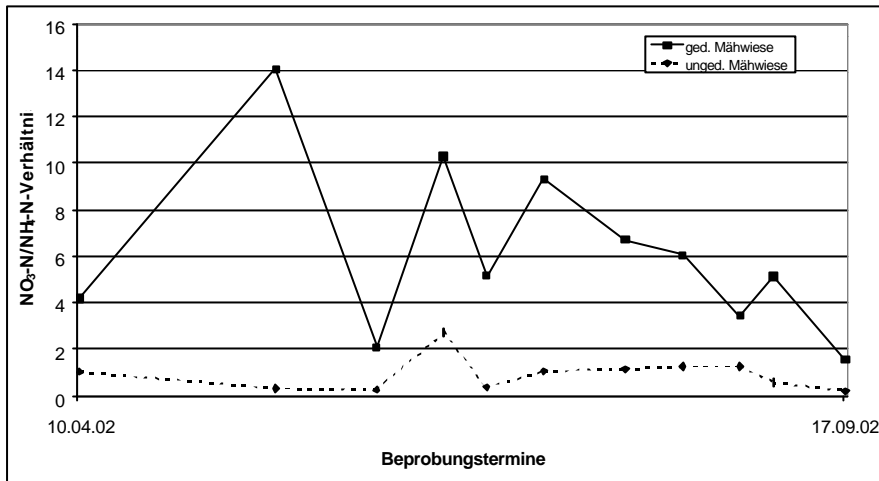


Abbildung 5:  $\text{NO}_3\text{-N}/\text{NH}_4\text{-N}$ -Verhältnis im Boden

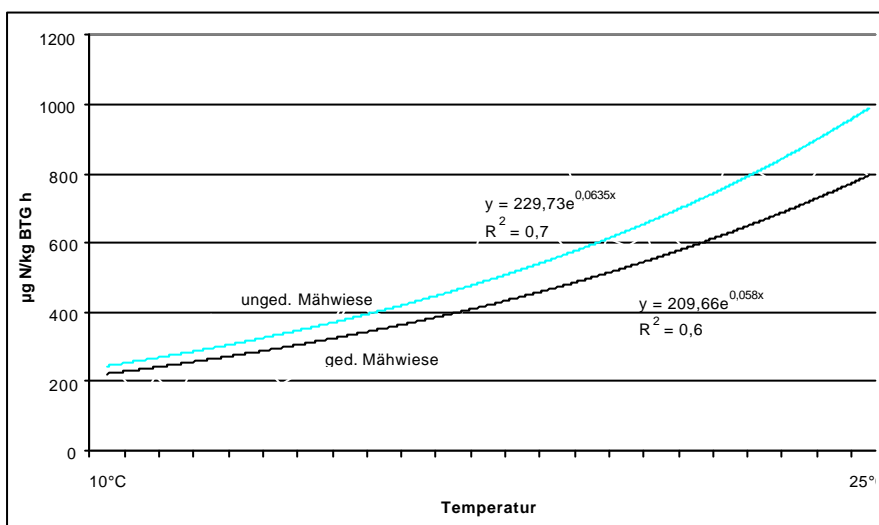


Abbildung 6: Brutto-Nitrifikationsrate im Boden (0-5 cm) in Abhängigkeit von der Bodentemperatur, n = 20

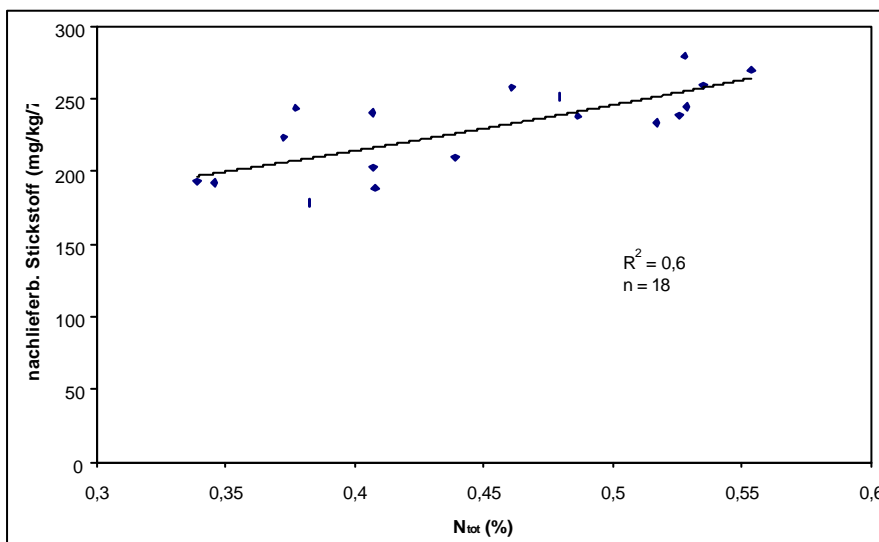


Abbildung 7: Nachlieferbarer N in Abhängigkeit vom  $\text{N}_{\text{tot}}$ -Gehalt im Boden

wiese zeigt eine geringere Salzkonzentration und somit niedrigere pflanzenverfügbare Nährstoffgehalte als in der ge-

düngten Mähwiese an. Die vergleichsweise größere unterirdische Phytomasse und das deutlich höhere Wurzel-

Spross-Verhältnis dürften primär eine Anpassung der Grünlandpflanzen an die geringere Nährstoffverfügbarkeit im ungedüngten Boden sein. Eine größere unterirdische Phytomasse steigert nämlich die Nährstoffausbeute pro Bodenvolumen. Es erhöht sich die räumliche Verfügbarkeit der Nährstoffe im Boden durch Verminderung der Distanz, die die Nährionen zu den Pflanzenwurzeln durch Massenfluss und Diffusion zurücklegen müssen (MARSCHNER, 1998). In der ungedüngten Mähwiese wird im Vergleich zur gedüngten Mähwiese vermutlich nicht nur eine größere unterirdische Phytomasse gebildet, sondern die abgestorbenen Wurzeln dürften aufgrund der ungünstigeren Zersetzungsbedingungen im nährstoffärmeren Boden auch langsamer abgebaut werden.

Die Nährstoffverfügbarkeit im Boden beeinflusst über die floristische Zusammensetzung des Pflanzenbestandes nicht nur die Höhe und Verteilung der Phytomasse in Grünlandökosystemen, sondern sie bestimmt auch die Nährstoffgehalte und -vorräte in der ober- und unterirdischen Phytomasse sowie die Nährstoffausnutzungseffizienz. Der vergleichsweise höhere N-Gehalt in der oberirdischen Phytomasse der ungedüngten Mähwiese dürfte primär die Folge einer gehemmten oberirdischen Biomasseproduktion aufgrund unzureichender P- und K-Versorgung der Grünlandpflanzen sein. Eine niedrige P- und K-Verfügbarkeit im Boden kann offensichtlich einen N-Konzentrationseffekt in der oberirdischen Phytomasse auslösen. Für einen N-Konzentrationseffekt spricht die Tatsache, dass in der ungedüngten Mähwiese der N-Gehalt in der oberirdischen Phytomasse zwar höher, die aufgenommene N-Menge (N-Vorrat) allerdings deutlich niedriger als in der gedüngten Mähwiese ist. Der vergleichsweise höhere Ca-Gehalt in der oberirdischen Phytomasse der ungedüngten Mähwiese könnte Folge des höheren Kräuteranteils im Pflanzenbestand und/oder Folge einer höheren Ca-Aufnahme durch die Wurzeln sein. Insbesondere der niedrige K-Gehalt im Boden der ungedüngten Mähwiese könnte die Ca-Aufnahme der Grünlandpflanzen begünstigen. Die N-Ausnutzungseffizienz ( $\text{NUI} = \text{produzierte Menge an oberirdischer Phytomasse pro Einheit aufgenomme-}$

**Tabelle 7: Stoffrelationen und Nährstoffausnützungseffizienz (oberirdische Phytomasse; 1. Aufwuchs)**

	N/P	N/K	N/Ca	N/Mg	N/Na	NUI	PUI	KUI
ged. Mähwiese	5,6	0,9	3,3	8,1	103,5	52	293	47
unged. Mähwiese	7,8	1,4	2,6	10,7	129,2	46	361	66

nen N) ist in der ungedüngten Mähwiese niedriger als in der gedüngten Mähwiese (Tabelle 7), weil der Boden zwar genügend pflanzenverfügbaren N bereitstellt, der Mangel an pflanzenverfügbarem P und K aber die oberirdische Biomasseproduktion limitiert. Die Grünlandpflanzen können offensichtlich den aufgenommenen N nur dann für die oberirdische Biomasseproduktion effizient verwerten und voll in Ertrag umsetzen, wenn gleichzeitig P und K in ausreichenden Mengen zur Verfügung stehen (vgl. STEINECK, 1963; WHITEHEAD, 1995). P und K hingegen werden in der ungedüngten Mähwiese effizienter für die oberirdische Biomasseproduktion verwertet als in der gedüngten Mähwiese; dies beweist die vergleichsweise höhere P- und K-Ausnützungseffizienz (PUI, KUI; Tabelle 7). Eine hohe Nährstoffausnützungseffizienz ist generell eine Anpassung der Pflanzen an Standorte mit geringer Nährstoffverfügbarkeit im Boden (CHAPIN, 1980; VITOUSEK, 1982).

Die regelmäßige Düngung mit Wirtschaftsdünger steigert nicht nur den landwirtschaftlich nutzbaren Ertrag, sondern sie erhöht auch die Nährstoffaufnahme durch die Vegetation und intensiviert somit den Nährstoffumsatz im System Boden - Pflanze. In der ungedüngten Mähwiese betragen beim ersten Aufwuchs die Umsatzraten für N 1,3 %, für K 1,9 % und für P 0,6 % vom Bodenvorrat; in der gedüngten Mähwiese lauten die analogen Zahlen 2,7 %, 4,4 % und 1,0 %. Diese Zahlen dokumentieren auch die große Bedeutung des Bodens für den Nährstoffvorrat in Grün-

landökosystemen. Die regelmäßige Düngung mit Wirtschaftsdünger erhöht vor allem den Nährstoffvorrat in der oberirdischen Phytomasse und steigert damit den Entzug durch Ernte. Außerdem werden in Grünlandökosystemen auch beträchtliche Nährstoffmengen in der unterirdischen Phytomasse gespeichert und somit vor Auswaschungsverlusten geschützt. Daher ist bei einer ökologisch nachhaltigen Grünlandbewirtschaftung das Nährstoffeintragspotential in das Grundwasser im Vergleich zu vielen anderen Kulturarten in der Regel relativ gering. In der ungedüngten Mähwiese werden - mit Ausnahme von K- sogar höhere Nährstoffmengen in der unterirdischen als in der oberirdischen Phytomasse gespeichert. Die relativ niedrigen K-Gehalte und K-Vorratsmengen in der unterirdischen Phytomasse beider Grünlandökosysteme dürften primär die Folge hoher K-Verluste während der Wurzelwaschung sein. Die Nährstoffgehalte hingegen sind in der ungedüngten Mähwiese vermutlich primär aufgrund des Konzentrationseffektes im Vergleich zur gedüngten Mähwiese relativ stärker in der oberirdischen Phytomasse angereichert.

## Dank

Wir danken der Firma UMS GmbH München, dass sie uns das BaPS Prozessanalyse-System für Testzwecke kostenlos zur Verfügung gestellt hat.

## Literatur

BOHNER, A., A. BAUMGARTEN, G. KOVACS und R. ÖHLINGER, 2004a: Einfluss der Düngung auf den P-Kreislauf in Grünlandökosyste-

men. Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft, im Druck.

BOHNER, A., F. GRIMS und M. SOBOTIK, 2004b: Die Narzissenwiesen im Steirischen Salzkammergut (Steiermark, Österreich) - Ökologie, Soziologie und Naturschutz. Tuexenia 24, im Druck.

CAMPBELL, C.A., Y.W. JAME, O.O. AKINREMI und M.L. CABRERA, 1995: Adapting the potentially mineralizable N concept for the prediction of fertilizer N requirements. Fertilizer Research 42, 61-75.

CHAPIN, S., 1980: The mineral nutrition of wild plants. Ann. Rev. Ecol. Syst. 11, 233-260.

GERLACH, A., 1973: Methodische Untersuchungen zur Bestimmung der Stickstoffnettomineralisation. Scripta Geobot. 5, 115 S.

HARTGE, K.H. und R. HORN, 1989: Die physikalische Untersuchung von Böden. Enke Verlag, 175 S.

KRIEBITZSCH, W.-U., 1978: Stickstoffnachlieferung in sauren Waldböden Nordwestdeutschlands. Scripta Geobotanica Bd. 14, 66 S.

MARION, G.M. and C.H. BLACK, 1987: The effect of time and temperature on nitrogen mineralisation in arctic tundra soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 51, 1501-1508.

MARRS, R.H., 1993: Soil fertility and nature conservation in Europe: Theoretical considerations and practical management solutions. Advances in ecological research. Vol. 24, 242-300.

MARSCHNER, H., 1998: Mineral nutrition of higher plants. Academic press, 889 p.

NORDMEYER, H. and J. RICHTER, 1985: Incubation experiments on nitrogen mineralization in loess and sandy soils. Plant and Soil 83, 433-445.

RUNGE, M., 1983: Physiology and ecology of nitrogen nutrition. In: O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond and H. Ziegler (Eds.): Physiological plant ecology. Vol. III, 163-200.

STEINECK, O., 1963: Die Bedeutung des Nährstoffes Kali für die Stoffbildung der Pflanze. Kali-Briefe 6, Fachgebiet 2, 1-9.

UMS, 2001: BaPS. Barometrische Prozess-Separation zur Analyse von Brutto-Nitrifikations- und Denitrifikationsraten in Böden. 22 S.

VDLUF, 1983: Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. Methodenbuch, Band III.

VITOUSEK, P., 1982: Nutrient cycling and nutrient use efficiency. The American Naturalist Vol. 119, No. 4, 553-572.

WHITEHEAD, D.C., 1995: Grassland Nitrogen. CAB International, 397 S.