

WIRKUNG VON MANAGEMENTMASSNAHMEN AUF DEN STOFFHAUSHALT EINES DAUERGRÜNLANDÖKOSYSTEMS

Udo Hertstein, Ludger Grünhage und Hans-Jürgen Jäger

ABSTRACT

In a permanent grassland ecosystem (*Lolio-Cynosuretum typicum*) a 2-factorial field-trial has been performed to investigate effects of management practices (N-fertilization and field irrigation) on element contents (N, S, Ca, K, Mg) of the harvested dry matter and the amounts of elements removed at harvest. There was no element content and removal, which remained unaffected by either treatment within the two years of investigation. The observed effects of management practices on the removal of elements as an important part of the element budget of the grassland ecosystem are discussed with respect to the total input of elements due to fertilization and atmospheric deposition.

keywords: *permanent grassland, N-fertilization, irrigation, element budget*

1. EINFÜHRUNG

Seit 1987 werden auf der Versuchsfläche des Institutes für Produktions- und Ökotoxikologie innerhalb des Geländes der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) experimentelle Untersuchungen zur Abschätzung der relativen Bedeutung von Auswirkungen des chemischen Klimas auf die Struktur, Funktion und Entwicklung eines Dauergrünlandökosystems vor dem Hintergrund der Faktorenkomplexe physikalisches Klima, Wasserversorgung und Management durchgeführt (JÄGER et al. 1988; GRÜNHAGE et al. 1991). Einer der Schwerpunkte dieser Untersuchungen besteht in der Bilanzierung von Stoffeinträgen und -austrägen zur prospektiven Bewertung der mittel- und langfristigen Belastung des Ökosystemkompartiments Boden durch luftgetragene Stoffe. Die jährliche Stoffbilanz für das Kompartiment Boden einschließlich der unterirdischen Biomasse errechnet sich aus der Summe der Einträge (mit der Düngung, aus sedimentierenden Niederschlägen, aus Schwebstäuben und aus der Gasphase) abzüglich der Austräge mit dem Erntegut und dem Sickerwasser. In welchem Maße der aus den Ernteentzügen resultierende Stoffaustrag durch Bewirtschaftungsmaßnahmen beeinflusst werden kann, wurde in einem zweifaktoriellen Experiment zur Wirkung von Stickstoffdüngung (0, 90, 240 kg/ha·a) und sommerlicher Zusatzberegnung untersucht.

2. MATERIAL UND METHODEN

Vegetation und Boden der Versuchsfläche sowie Anlage und Behandlung der einzelnen Untersuchungsparzellen wurden von JÄGER et al. (1988) detailliert beschrieben. Der Pflanzenbestand der ehemaligen Mähweide repräsentiert ein *Lolio-Cynosuretum typicum*, dessen Biomasse im Untersuchungszeitraum hauptsächlich von den Gräserarten *Poa pratensis*, *P. trivialis*, *Dactylis glomerata*, *Lolium perenne* und daneben von den Kräutern *Taraxacum officinale* und *Achillea millefolium* sowie der (einzigen) Leguminose *Trifolium repens* gebildet wurde. Die Durchführung von Düngung und Beregnung sowie die Probenahme zur Ertragsermittlung und Ionenanalyse wurde von HERTSTEIN et al. (1991) geschildert. Nach vermahlen der bei 105 °C getrockneten Proben mit einer BRABENDER-Mühle wurden folgende Elemente analy-

sirt: Gesamt-N nach Kjeldahl-Aufschluß mit einem N-Analysator der Fa. GERHARDT, Bonn; Gesamt-S mit dem S-Analysator LECO SC 132 der LECO Corp., Michigan; Ca, K und Mg nach trockener Veraschung im Muffelofen bei 420 °C und offenem HNO₃-Aufschluß mittels Flammen-AAS (Mg; Ca nach Zusatz von 1 % Lanthanchlorid) bzw. mittels Flammenphotometer (K). Die Meßwerte wurden mit Standard-Referenzmaterial 1571 "Orchard Leaves" bzw. "Tomato Leaves" des National Bureau of Standards, Washington, D.C., überprüft. Der Ernteentzug ergibt sich jeweils nach Multiplikation von gemessener Elementkonzentration und geernteter Biomasse. Darüber hinaus wurden Blattproben des auf allen Parzellen häufigen Knäuelgrases (*Dactylis glomerata*) genommen und nach Trocknung ebenfalls analysiert. Die statistische Datenauswertung erfolgte unter Verwendung von Standardsoftware (SPSS PC+) an einem IBM AT-kompatiblen PC.

3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Im Rahmen unserer Untersuchungen zur ökotoxikologischen Bewertung von mittel- bis langfristigen Auswirkungen des regional herrschenden Eintrags luftgetragener Stoffe in Dauergrünlandökosysteme steht die Erstellung von Input-Output-Bilanzen für die Elemente Schwefel und Stickstoff im Vordergrund des Interesses (JÄGER et al. 1988). Neben den indirekten anthropogenen Stoffeinträgen über die Luft prägen insbesondere die direkten anthropogenen Eingriffe, namentlich der Stoffeintrag durch Düngung und der nutzungsbedingte Stoffentzug, den Stoffhaushalt von Grünlandökosystemen. Auch die zumindest lokal übliche Praxis sommerlicher Zusatzberegung kann die Biomasseproduktion (vgl. HERTSTEIN et al. 1991), die Elementkonzentrationen im Aufwuchs und damit den Ernteentzug von Bioelementen signifikant beeinflussen. Tab. 1 gibt eine Übersicht über den Einfluß von Stickstoffdüngung und Zusatzberegung auf die mittleren ertragsgewichteten Ionen-Gehalte und die aus Ertrag und Gehalt errechneten Bioelement-Entzüge in den Untersuchungs Jahren 1987 und 1988.

Während die N-Gehalte der geernteten Biomasse erst im zweiten Jahr sowohl durch N-Düngung als auch Beregung signifikant erhöht wurden, führte der durch Düngung erhöhte N-Eintrag aufgrund seiner ertragssteigernden Wirkung bereits im ersten Jahr zu einer signifikanten Erhöhung des N-Ernteentzuges. Erst im Verlauf der Vegetationsperiode 1988 führten die relativ geringen Regenfälle zu einer deutlich unterschiedlichen Wasserversorgung der Flächen ohne bzw. mit Zusatzberegung (vgl. HERTSTEIN et al. 1991), die sich nicht nur auf die N-Gehalte des Erntegutes, sondern insbesondere auf den Ernteentzug signifikant auswirkte. Aufgrund der wasserstreßbedingten Ertragsminderung wurde 1988 bei einer Düngergabe von 240 kg N/ha·a ohne Zusatzberegung weniger N mit der Ernte entzogen, als durch Düngung zugeführt wurde. Komplexere Auswirkungen von Düngung und Beregung waren bei den Schwefelgehalten und -entzügen zu verzeichnen. Während Stickstoffdüngung die S-Gehalte im Aufwuchs signifikant verringerte, hatte die Zusatzberegung 1988 eine Steigerung der Gehalte zur Folge. Im ersten Jahr erhöhte steigende N-Düngung über ihren Einfluß auf die Ertragsbildung dennoch den Schwefelentzug und interagierte mit der Wasserversorgung. Im zweiten Jahr war dagegen nicht nur ein hochsignifikanter Einfluß von Düngung und Beregung auf den S-Ernteentzug, sondern darüber hinaus eine signifikante Interaktion der beiden Faktoren varianzanalytisch nachweisbar.

Die auf der Integrationsebene des Gesamtbestandes gemessenen Elementkonzentrationen sind eine Funktion der gruppen- und artspezifischen Elementkonzentrationen und Ertragsanteile, der im Bestand vorhandenen pflanzlichen Entwicklungsstadien, unterschiedlicher Elementaufnahmen aus dem Boden bzw. über die Luft sowie der jeweiligen oberirdischen Stoffproduktion (KLAPP 1971; KÜHBAUCH 1987). So waren beispielsweise die N-Gehalte der funktionalen Gruppe der Gräser in der Regel deutlich niedriger als die der Leguminose *Trifolium repens*. Ein höherer Leguminosenanteil auf den nicht mit Stickstoff gedüngten Flächen (HERTSTEIN et al. 1991) kann somit als eine Ursache für die im Jahr 1987 fehlende Zunahme der N-Gehalte der geernteten Biomasse bei steigender Stickstoffdüngung verstanden werden. Übereinstimmend mit KLAPP (1971) und KÜHBAUCH (1987) zeichnete sich die Gruppe der Kräuter durch die mit Abstand höchsten Kaliumgehalte aus; in Kräutern und Leguminosen wurden höhere Ca- und Mg-Gehalte als in den Gräsern festgestellt. Die jahreszeitlich durchaus unterschiedliche Stärke der Wirkung von N-Düngung und Beregung auf N- und S-Gehalte in

Tab. 1: Einfluß von Stickstoff-Düngung (N) und Beregnung (B) auf die mittleren ertragsgewichteten Elementgehalte sowie die Elemententzüge durch Mahd.

	unberegnet			beregnet			Signifikanz ¹⁾		
	0	90	240	0	90	240	N	B	N x B
N-Düngung									
(kg/ha·a)	0	90	240	0	90	240			
Elementgehalt									
(mg/g TG)									
1987									
N	27,61	22,62	24,72	25,63	23,27	25,12	**		
S	2,70	2,54	2,36	2,88	2,66	2,30	***		
K	34,68	33,36	34,38	26,44	26,50	26,28		***	
Ca	8,43	6,79	4,77	7,96	6,39	6,72	***		*
Mg	2,93	3,00	2,45	2,36	2,41	2,65			
1988									
N	16,73	19,10	25,41	19,96	21,13	25,26	***	**	*
S	2,87	2,31	2,16	3,19	2,63	2,21	***	**	
K	30,00	33,64	35,71	27,03	27,22	24,61		***	*
Ca	6,39	5,46	5,63	5,92	4,99	5,89			
Mg	1,74	1,58	1,69	1,58	1,71	2,11	**	*	**
Elemententzug									
(kg/ha)									
1987									
N	236,6	212,1	332,9	231,5	259,7	327,9	***		
S	24,0	23,8	31,7	25,1	29,6	30,0	**		*
K	307,7	312,9	465,1	230,4	295,1	346,1	**	**	
Ca	74,5	63,6	64,1	69,3	71,1	87,4		**	**
Mg	26,0	28,1	32,9	20,7	26,9	34,4	*		
1988									
N	61,9	109,8	192,8	128,2	191,8	244,2	***	***	
S	10,2	13,2	16,4	20,4	23,9	21,4	**	***	**
K	105,8	194,6	271,0	173,9	247,5	237,8	***	*	*
Ca	22,4	31,6	42,7	38,1	45,4	57,0	***	***	
Mg	6,2	9,2	12,8	10,2	15,5	20,4	***	***	

¹⁾ Ergebnisse 2-faktorieller Varianzanalysen: *, ** bzw. *** = signifikant mit Irrtumswahrscheinlichkeit $p < 0,05, 0,01$ bzw. $0,001$

Tab. 2: Einfluß von Düngung (N) und Beregnung (B) auf Stickstoff- und Schwefel-Gehalte in Blättern und Blattscheiden von *Dactylis glomerata* im Untersuchungsjahr 1988.

N-Düngung (kg/ha·a)	0		90		240		Signifikanz ¹⁾		
	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne	N	B	N x B
Gesamt-N (mg/g TG)									
Schnitt 1	20,8	15,4	19,5	16,9	21,2	17,5			---
2	17,8	19,6	17,5	19,5	21,5	21,9	++	+	
3	17,2	19,7	19,1	21,7	24,8	24,6	+++		
4	29,6	29,4	26,1	30,7	36,2	35,1	++		
Mittel	21,4	21,0	20,6	22,2	25,9	24,8	+++		
Gesamt-S (mg/g TG)									
Schnitt 1	2,20	2,14	2,08	2,25	2,12	2,06			
2	3,19	4,41	2,52	3,59	2,07	2,50	---	+++	
3	3,55	4,94	2,21	3,32	1,98	2,64	---	+++	
4	5,17	6,56	4,23	5,90	2,86	3,46	---	++	
Mittel	3,53	4,52	2,76	3,76	2,26	2,67	---	+++	**
N/S-Verhältnis									
Schnitt 1	9,43	7,19	9,40	7,54	10,02	8,48	++	---	
2	5,59	4,44	6,96	5,44	10,37	8,75	+++	---	
3	4,84	3,98	8,66	6,54	12,55	9,30	+++	--	
4	5,74	4,48	6,17	5,20	12,65	10,16	+++	-	
Mittel	6,40	5,02	7,80	6,18	11,40	9,17	+++	---	

¹⁾ Ergebnisse 2- (Einzelschnitte) bzw. 3-faktorieller (Jahresmittel) Varianzanalysen: +, ++, +++ bzw. -, --, --- = Faktor bewirkt mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,05$, $0,01$, $0,001$ eine signifikante Zu- bzw. Abnahme des untersuchten Parameters; *, **, *** = mit $p < 0,05$, $0,01$, $0,001$ signifikante Interaktion der Faktoren

Blättern von *Dactylis glomerata*, einer am Standort FAL relativ häufigen und blattmasse-reichen Gräserart, verdeutlicht Tab. 2. Es ist festzuhalten, daß sich Düngung und Beregnung auf den S-Gehalt der Blätter von *D. glomerata* und das N/S-Verhältnis entgegengesetzt auswirkten.

Die Hauptwirkungen und die (seltener) vorkommenden Wechselwirkungen von N-Düngung und Beregnung auf die Gehalte und Ernteentzüge der Kationen Kalium, Calcium und Magnesium sind ebenfalls Tab. 1 zu entnehmen. Der mittlere ertragsgewichtete Kaliumgehalt des Aufwuchses wurde in beiden Untersuchungsjahren durch Zusatzberegnung gesenkt. Der

Kalium-Ernteentzug überstieg in allen Behandlungsvarianten den Eintrag durch die Düngung in Höhe von 100 kg K₂O/ha·a, in der höchsten N-Düngungsstufe sogar um das ca. 2,8 - bis 5,6-fache. Auch der Ca- und Mg-Entzug wurden durch N-Düngung und Beregnung signifikant gesteigert. Der Ernteentzug aller untersuchten Elemente war - entsprechend der Ertragsentwicklung (HERTSTEIN et al. 1991) - im zweiten Jahr wesentlich geringer als im ersten Untersuchungsjahr.

Die Ernteentzüge müssen in Relation zu den Einträgen über die Luft sowie aus den eingesetzten Düngemitteln beurteilt werden. Bei den Elementen K, Ca und Mg übersteigen die gemessenen Ernteentzüge die jeweiligen Einträge über die Luft bei weitem. In der Region Südostniedersachsen kann mit einer jährlichen Deposition dieser Elemente in der Größenordnung von 1 - 11 kg/ha gerechnet werden (K: 1,25, Ca: 10,1, Mg: 1,92 kg/ha·a; Angaben nach JÄGER et al. 1988).

Im Gegensatz zu den Kationen erfordert eine Eintragsabschätzung für die Elemente N und S neben Messungen der Einträge aus sedimentierenden Niederschlägen (Bulkdeposition) insbesondere eine hinreichend genaue Erfassung der Depositionen aus der Gasphase (GRÜNHAGE et al. 1990, 1991). Der Schwefeleintrag in Form sedimentierender Niederschläge belief sich im Untersuchungsjahr 1988/89 auf 12,1 kg/ha·a, der aus der Gasphase auf ca. 9 kg/ha·a (GRÜNHAGE et al. 1990). Durch die verwendeten Düngemittel gelangten bis zu 8,2 kg/ha·a (Variante mit 240 kg N-Düngung/ha·a) ins System. Obwohl die Summe dieser Einträge die gemessenen Ernteentzüge in jedem Fall überstieg, ist bei weiterer Abnahme der SO₂-Belastung der Luft und damit abnehmenden S-Depositionen zumindest bei hohen Stickstoffgaben eine relative Unterversorgung mit Schwefel nicht auszuschließen (BRISTOW und GARWOOD 1984, KEER et al. 1986). Dies deutet sich auch in der bei steigender N-Düngung feststellbaren Annäherung der Blattschwefelgehalte von *D. glomerata* an den als Grenzwert für eine ausreichende S-Versorgung angesehenen Wert von 2,0 mg/g TG (KEER et al. 1986) an. Inwieweit der Bestand eine Unterversorgung mit Schwefel durch erhöhte Aufnahme aus der Luft kompensieren kann (ROTH et al. 1988), muß offen bleiben.

Für den Stickstoff kann eine ausreichend zuverlässige Abschätzung der Relationen von Einträgen über die Luft, Düngung und Ernteentzug noch nicht erfolgen. Hier liegen weitaus komplexere Verhältnisse vor, weil einerseits der aus N₂-Fixierung stammende Eintrag nur geschätzt werden kann und andererseits Denitrifikationsverluste in Form von N₂ und N₂O sowie HNO₃-Depositionen aus der Gasphase nicht erfaßt wurden. Im Falle des NH₃ konnten neben Zeiten mit meßbarer Deposition solche mit Emission und Zeiten ohne meßbare Flüsse festgestellt werden, wobei die Emissionssituationen überwogen. Emittiert wird auch NO (ca. 1,3 kg/ha·a nach GRÜNHAGE et al. 1990), während NO_x-N in der Größenordnung von 4,2 kg/ha·a deponiert wird. Die Bulkdeposition (NO₃-N und NH₃-N) betrug im Meßjahr 1987/88 ca. 16 kg/ha·a. Insgesamt dürfte damit jedoch der jährliche N-Eintrag über die Luft in relativ intensiv genutzten Dauergrünlandökosystemen erheblich geringer sein, als in früheren Abschätzungen (JÄGER et al. 1988) angenommen wurde.

LITERATUR

- BRISTOW A.W., GARWOOD E.A., 1984: Deposition of sulphur from the atmosphere and the sulphur balance in four soils under grass. - J. agric. Sci. 103: 463-468.
- GRÜNHAGE L., DÄMMGEN U., JÄGER H.-J., 1990: Flüsse S- und N-haltiger Verbindungen in der bodennahen Atmosphäre über einem Dauergrünland. - VDI-Bericht 837: 613-632.
- GRÜNHAGE L., JÄGER H.-J., DÄMMGEN U., HERTSTEIN U., 1991: Analyse der Wirkungen luftgetragener Stoffe im Ökosystem Dauergrünland. - Verhdlg. Ges. f. Ökologie XIX (Osnabrück 1989): 331-340.
- HERTSTEIN U., GRÜNHAGE L., SCHLECHT-PIETSCH S., KEIL S., JÄGER H.-J., 1989: Wirkung von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Entwicklung der ober- und unterirdischen Biomasse eines Dauergrünlandökosystems. Verhdlg. Ges. f. Ökologie XIX/III (Osnabrück 1989):

- JÄGER H.-J., GRÜNHAGE L., DÄMMGEN U., HERTSTEIN U., FLECKENSTEIN J., 1988: Auswirkungen luftgetragener Stoffe auf Vegetation und Boden von Grünlandökosystemen. I. Zusammenhänge, Arbeits- und Messkonzept. - Landbauforschung Völkenrode 38: 57-89.
- KEER J.I., McLAREN R.G., SWIFT R.S., 1986: The sulphur status of intensive grassland sites in southern Scotland. - Grass and Forage Science 41: 183-190.
- KLAPP E., 1971: Wiesen und Weiden. - Parey, Hamburg-Berlin.
- KÜHBAUCH W., 1987: Veränderungen der Qualität von Grünlandfutter unter dem Einfluß von Standort und Bewirtschaftung. - Kali-Briefe 18: 485-510.
- ROTH M., DÄMMGEN U., GRÜNHAGE L., JÄGER H.-J., 1988: Aufbau eines Kleinlysimeters zur Erstellung von Elementbilanzen. - Landschaftsökologisches Messen und Auswerten 2: 77-86.

ADRESSE

Dipl.-Biol. U. Hertstein
Dr. L. Grünhage
Institut für Produktions- und Ökotoxikologie
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
Bundesallee 50
D-W-3300 Braunschweig

Prof. Dr. H.-J. Jäger
Institut für Pflanzenökologie
Justus-Liebig-Universität
Heinrich-Buff-Ring 38
D-W-6300 Gießen

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1991

Band/Volume: [19 3 1991](#)

Autor(en)/Author(s): Hertstein Udo, Grünhage Ludger, Jäger Hans-Jürgen

Artikel/Article: [Wirkung von Managementmaßnahmen auf den Stoffhaushalt eines Dauergrünlandökosystems 405-410](#)