

Sonderdruck aus „Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch“, 54. Jahrgang, Heft 4/77

Aus dem Lehrstuhl für Grünlandlehre der Technischen Universität München-Weihenstephan

## Der Einfluß der Kalidüngung auf den Kalium-, Magnesium- und Natriumgehalt von Grünlandfutter auf einem Niedermoorboden<sup>1)</sup>

Von L. Pletl, C. Mehnert und J. Bauer

### Zusammenfassung

1. In einem fünfjährigen Feldversuch wurde auf Niedermoorboden mit guter bis sehr guter Kali- und Magnesiumversorgung der Einfluß stufenweise abgesenkter Kalidüngung auf den Magnesium- und Natriumgehalt des Futters einer fünfschnittigen Mähweide untersucht. Eine besondere Magnesium- oder Natriumzufuhr erfolgte nicht.
2. Bei einem Rückgang des Kaligehalts im Boden in den mittel versorgten Bereich und nur geringfügig sinkenden Boden-Magnesiumgehalten erreichten die Jahresgesamterträge mit einer Düngung von 400 kg, 200 kg und 100 kg K<sub>2</sub>O je ha jeweils etwa 115 dt/ha Trockenmasse; sie waren nicht signifikant verschieden. Mit 50 kg K<sub>2</sub>O/ha oder ohne Kalidüngung sank der Ertrag gesichert auf 110 bis 106 dt/ha ab. Ein Jahreseinfluß war nur 1972 diskriminanzanalytisch feststellbar. Die Erträge der einzelnen Schnitte fielen im Verlauf jeder Vegetationsperiode leicht ab.
3. Die Kaligehalte im Futter gingen hoch gesichert im Bereich einer Düngung von 400 bis 200 kg K<sub>2</sub>O/ha, sehr hoch gesichert im Versuchszeitraum und während der Vegetationszeit zurück.
4. Die Magnesium- und Natriumgehalte stiegen überwiegend sehr hoch signifikant mit geringerer Kalidüngung im Verlauf der Jahre und Schnitte an, der Magnesiumgehalt z. B. von 0,17% Mg in der Trm des ersten Versuchsjahres mit 400 kg K<sub>2</sub>O/ha auf 0,40% im 5. Versuchsjahr mit 100 kg K<sub>2</sub>O/ha, der Natriumgehalt von 0,014% Na auf 0,089% Na in der Trm. Jedoch schwankte der Natriumgehalt stets sehr stark.
5. Die partielle Beziehung zwischen dem Kaliumgehalt und dem Magnesiumgehalt war mit  $r_p = -0,38$  wesentlich enger als mit dem Natriumgehalt ( $r_p = -0,21$ ). Magnesium und Natrium wiesen eine sehr enge Beziehung ( $r_p = 0,71$ ) auf.
6. Die Bedarfswerte für die Ernährung von Kühen mit 15 l Milchleistung wurden bei Magnesium stets, bei Natrium nie erreicht.
7. Für den niedrigen Natriumgehalt scheint das Fehlen von Weidelgräsern in den Pflanzenbeständen ausschlaggebend zu sein. Mit absinkender Kalidüngung ging der Gräseranteil sehr schwach, der Leguminosenanteil stärker zurück.

### Summary

1. The five year field experiment reported here was designed to study the influence of gradually reduced potassium fertilization on the magnesium and sodium content of fodder grown on peaty soil with good to very good potassium and magnesium level. The pasture was cut five times annually. No magnesium or sodium treatments were applied to the soil.
2. Total annual harvests, from the sections which received applications of 400 kg, 200 kg and 100 kg K<sub>2</sub>O/ha, were at approximately 115 dt/ha dry weight; at the same time the potassium content of the soil decreased, with only a trivial reduction of the magnesium

<sup>1)</sup> Herrn o. Professor Dr. G. VOIGTLÄNDER, Lehrstuhl für Grünlandlehre der TU München in Weihenstephan, zum 65. Geburtstag gewidmet.

content. The soil potassium content decreased to the middle class, with 10–20 mg  $K_2O$ /100 g soil. Yields with different levels of fertilization were not significantly different. From the plots of 50 kg  $K_2O$  per hectare and without fertilization the yield dropped significantly ( $P = 5\%$ ) to between 110 and 106 dt/ha. Seasonal influence was determined analytically only for the year 1972. The yield decreased slightly with the number of cuttings.

3. The decrease of the potassium content of the fodder from the sections with 400 to 200 kg  $K_2O$ /ha was highly significant ( $P = 1\%$ ), that during the experimental period and in the course of the growing season was very highly significant ( $P = 0,1\%$ ).
4. The magnesium and sodium content of the fodder increased with lighter potassium fertilization very highly significant in the course of the cuttings and of the years. E. g., the magnesium concentration was 0,17% Mg in the dry weight from the first year of the experiment from the plot with 400 kg  $K_2O$ /ha, while it was 0,40% Mg in the fifth year of the study from the 100 kg  $K_2O$ /ha section. The sodium content rose from 0,014% Na to 0,089% Na in the dry weight. However, the sodium content fluctuated a great deal throughout the study.
5. The partial correlation between the potassium and the magnesium levels of  $r_p = -0,38$  was substantially higher than the potassium — sodium correlation of  $r_p = -0,21$ . A very close correlation,  $r_p = 0,71$ , was evidenced between the magnesium and the sodium concentration.
6. The nutritional requirements for cows producing 15 liters of milk were regularly met by the magnesium content, whereas sodium content was continuously deficient.
7. The lack of perennial rye grass in the plant growth appears decisive for the low levels of sodium concentration. With decreasing potassium fertilization the percentage of legumes decreased sharply, the percentage of grasses decreased only slightly.

Eingang des Manuskripts: 28. 3. 77

### 1. Einleitung

Nach Untersuchungen von PLANK, KIRCHGESSNER und KAISER (1969) und LEEUWEN (1970) ist für Kühe und wachsende Rinder ein Gehalt von 0,15 bis 0,20% Na in der Trockenmasse (Trm) der Futtermischung anzustreben. Grundfutteranalysen von MOTT (1970) ergaben jedoch nur durchschnittliche Gehaltswerte von 0,02–0,05% Na in der Trm.

KEMP (1968) stellte bei etwa 0,05% Na in der Trm im Futter an Milchkühen bereits nach zwei Monaten Mangelerscheinungen fest. ALSWEDE (1974) beobachtete, wie weidende Pferde bei Natriumgehalten von 0,06% in der Futter-Trm Teile der Grasnarbe mit Erde und Wurzeln aufnahmen. Der erforderliche Nährstoffausgleich muß durch Beifütterung oder Erhöhung des Natriumgehaltes im Grundfutter geschaffen werden.

Nach HELFFERICH und HELLER (1968) werden Gehalte von 0,20% Na in der Trm, abgesehen von Rüben und Markstammkohl, von den meisten Futterpflanzen nicht erreicht. Nach Untersuchungen von SAALBACH und AIGNER (1970) sowie von WERNER und TODT (1970) ergeben sich jedoch differenzierende Wirkungen von Pflanzenart, Boden und Düngung.

Der anzustrebende Mg-Gehalt von 0,20–0,25% Mg in der Trm wird meist nur von jungem Futter im Frühjahr nicht erreicht, wobei sich oft zu niedrigen Mg-Gehalten noch eine schlechte Mg-Ausnutzung gesellt (MOTT, 1970), die nach KEMP und HARTMANN (1968) vermutlich auf dem relativ hohen Fettsäuregehalt des Futters beruht.

Der Kaliumgehalt des Futters beeinflusst aufgrund des Ionenantagonismus die Gehalte von Magnesium und Natrium im negativen Sinn.

Ein Freilandversuch sollte die Bedeu-

tung dieser gegenseitigen Beeinflussung für die Futterproduktion auf einem Niedermoorboden als Grünlandstandort klären und folgende Fragen beantworten:

1. In welchem Ausmaß beeinflussen die Kalidüngung und die  $K_2O$ -Gehalte in Boden und Pflanze die Mg- und Na-Gehalte des Futters auf diesem Standort?
2. Kann durch Absenken des Kaligehaltes im Boden der Magnesium- und Natriumgehalt in der Pflanze angehoben werden, ohne daß der Trockenmasseertrag wesentlich zurückgeht?

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Standort und Versuchsanlage

Als Versuchsstandort wurde eine zuvor intensiv genutzte Mähweide gewählt, welche trotz mittlerem Natriumvorrat im Boden ständig Futter mit viel zu niedrigem Natriumgehalt lieferte. Die Fläche gehört zum Versuchsgut Grünschwaipe im Erdinger Moos am Nordrand der Münchner Schotterebene. Das Niedermoor auf Kalkschotter hat einen pH-Wert von 6,7 bis 6,9. Die Bodenart ist als stark anmooriger Sand zu bezeichnen. Bei einer mittleren Jahrestemperatur von etwa  $7,3^\circ C$  betragen die langjährigen Jahresniederschläge im Mittel von 1931—1960 814 mm.

Der Versuch wurde als Blockanlage mit 5 Versuchsgliedern und 4 Wiederholungen durchgeführt, die Parzellengröße betrug  $12 m^2$ . Während des Versuchszeitraumes von 1970—1974 betrug die N-Düngung auf allen Parzellen  $200 kg/ha/Jahr$ , die in fünf gleichen Teilmengen zu jedem Aufwuchs ausgebracht wurde.  $P_2O_5$  wurde ebenfalls einheitlich in Form von Superphosphat ( $120 kg P_2O_5/ha$  im Frühjahr) gedüngt. Die Kalidüngung wurde in Form von Kali 50% gestaffelt gegeben, und zwar jeweils ein Drittel der Gesamtmenge

zum 1., 2. und 4. Aufwuchs. Entsprechend der Versuchsfrage und einem angenommenen jährlichen Entzug von mindestens  $380 kg/ha K_2O$  wurden folgende Kalidüngungsstufen gewählt:

Variante	kg $K_2O/ha$ und Jahr
5	400
4	200
3	100
2	50
1	0

Boden- und Futterproben wurden nach den Methoden des VDLUFA untersucht, die Trm-Erträge durch Wiegen der Grünmasse, Entnahme von einer Probe pro Parzelle aus dem Haufen mit einem Entnahmebohrer, Einwaage von 500 g Grünmasse und Trocknung bei  $60^\circ C$ , nach Rückwaage Restwasserbestimmung bei  $105^\circ C$  im Trockenschrank ermittelt. Erträge und Futteranalysen des 5. Schnittes im Jahr 1971 lagen nicht vor, da ausgebrochene Kühe den Aufwuchs abgeweidet hatten.

### 2.2 Statistische Methoden

Wegen des unvollständigen Datensatzes wurde statt einer Varianzanalyse eine Diskriminanzanalyse (BMDP7M, Version Februar 1976) für die Auswertung der Unterschiede bezüglich Düngung, Schnitt und Jahreseinfluß angewandt. Algorithmus-Beschreibung und Handhabung des Programms sind in DIXON (1975) aufgeführt. Unter anderem haben SPATZ, VOIGTLÄNDER und REINER (1974) eine Diskriminanzanalyse zur Prüfung der Anbauwürdigkeit einiger Futterpflanzen im oberbayerischen Grünlandgürtel im Hinblick auf einige Ertragskriterien verwendet, ebenso MUNZERT (1973) zur Unterscheidbarkeit von Pflanzenbeständen.

Zur Bestimmung der Korrelationen wurden Programme aus SPSS (NIE/BENT/HULL, 1969) verwendet: Pearson Corr für die einfache Korrelations-

analyse und Partial Corr für die isolierte Betrachtung zweier Größen, die Interdependenzen mit weiteren Variablen aufweisen.

Die Programme BMDP und SPSS sind am IBM-Rechner 370/158 des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten installiert; die Verrechnung erfolgte über das Terminal in Weißenstephan. Die Bezeichnungen und Symbole bei der Interpretation statistischer Ergebnisse entsprechen dem üblichen Verwendungssinn.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Bodennährstoffanalysen

Die während des Versuchszeitraumes im Turnus von zwei Jahren durchgeführten Bodenanalysen zeigen die in Tab. 1 enthaltenen Veränderungen.

Die Kaligehalte des Bodens gingen in allen Varianten stark zurück. Selbst in Variante 5 (400 kg/ha  $K_2O$ ) war eine größere Abnahme des Kaliwertes festzustellen, was auf die hohe Mobilität dieses Nährstoffes auf diesem Standort zurückzuführen ist, aber auch den starken Entzug durch die Pflanzen verdeutlicht (vgl. auch Abb. 1). Bei Gehaltswerten von etwa 10 mg  $K_2O/100$  g Boden wird auf den Varianten 4 bis 1 die Versorgung der Pflanze kritisch, da Kalimangelsituationen bei entsprechender Wirkung nicht auszuschließen sind.

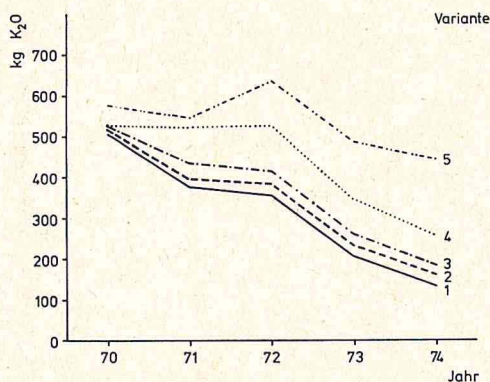


Abb. 1: Jährlicher  $K_2O$ -Entzug in kg/ha für die Varianten 5—1

Die Bodenvorräte an pflanzenverfügbare Phosphorsäure bleiben annähernd konstant und liegen im hohen bis sehr hohen Bereich. Die Verdoppelung der Gehaltswerte von 1970 auf 1972 ist auf den Wechsel von der DL- auf die CAL-Methode zurückzuführen. Der Magnesiumgehalt des Bodens verringerte sich nur geringfügig und ist weiterhin sehr hoch. Ohne Natriumzufuhr über 5 Jahre hinweg lagen die Natriumgehalte am Ende der Versuchsperiode in den Varianten 1 bis 3 im niedrigen, in den Varianten 4 und 5 im mittleren Versorgungsbereich.

#### 3.2 Entwicklung der Erträge

Abb. 2 gibt einen Gesamtüberblick über die Entwicklung der Trockenmasseerträge (dt/ha) für 1970—1974; ergänzend ist noch das Ergebnis für 1975 angefügt, auch wenn es nicht in die Verrechnung einbezogen wurde.

Tabelle 1: Ergebnisse der Bodenuntersuchung im Versuchszeitraum 1970—1975, Nährstoffgehalte in mg/100 g Boden

Nährstoff Entnahmetiefe	Jahr	$K_2O$ 0—7 cm			$P_2O_5^{1)}$ 0—7 cm			Mg 0—20 cm			Na 0—7 cm
		70	72	74	70	72	74	70	72	74	75
Variante	5	61	41	28	16	25	22	35	35	34	10,0
	4	50	26	10	13	24	20	37	36	33	8,5
	3	40	18	10	14	26	24	38	36	34	3,0
	2	38	17	9	15	31	28	37	34	30	3,5
	1	37	16	9	14	35	37	38	35	33	5,5

<sup>1)</sup> Analysenmethoden: 1970 DL; 1972 und 1974 CAL.

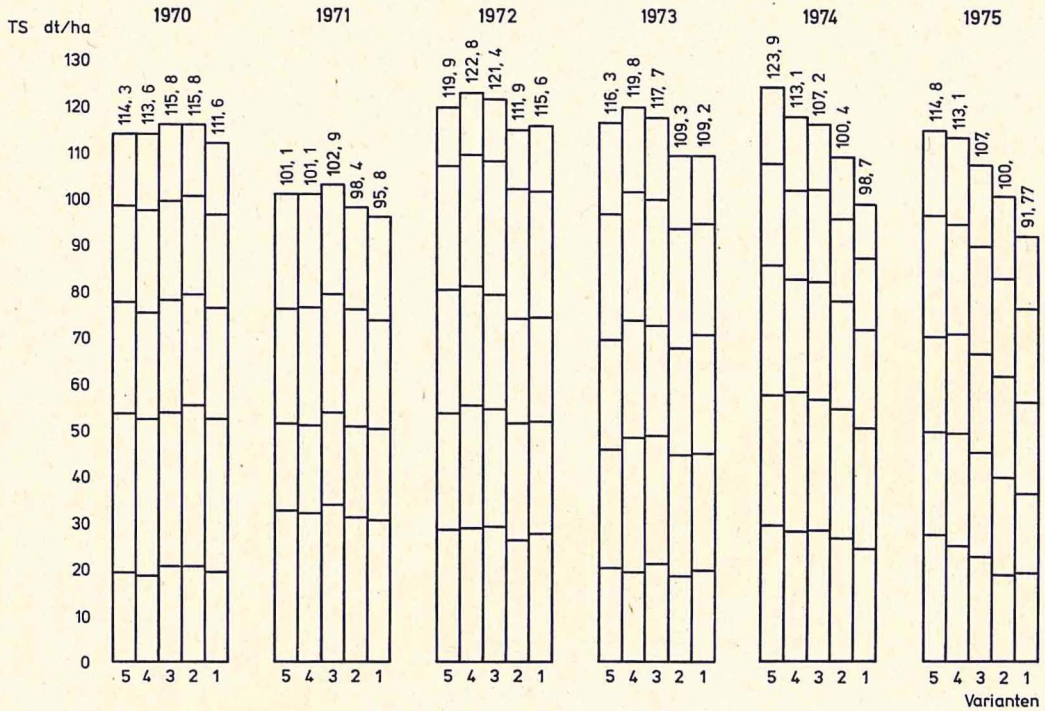


Abb. 2: Entwicklung der Trockenmasseerträge bei unterschiedlicher Kalidüngung im Laufe von 6 Versuchsjahren

Untersucht man die Gesamterträge auf Unterschiede zwischen den Varianten, so zeigt sich, daß die Kaliumdüngung mit 100 kg  $K_2O/ha$  ebenso hohe Erträge erbrachte wie eine solche mit 200 kg oder gar 400 kg. Auch besteht kein gesicherter Unterschied zwischen der Null-Parzelle und der 50-kg-Variante (Tab. 2 a).

In Tab. 2 b treten die beiden Jahre 1971

und 1972 durch ihre Extremwerte hervor. Während 1972 mit 118,9 dt/ha das beste Ergebnis erzielt werden konnte, ist der geringe Ertrag im Jahr 1971 durch den Ausfall des 5. Schnittes bedingt. Die statistische Bewertung ist deshalb zu vernachlässigen. Die Erträge der Jahre 1970, 1973 und 1974 unterscheiden sich nur zufällig.

Die durchschnittlichen Erträge der ein-

Tabelle 2 a: *Durchschn. Gesamterträge in dt Trm/ha, getrennt nach Varianten; zugehörige Standardabweichung und F-Matrix für die Prüfung der Unterschiede (FG = 1/115)*

Variante	5 (400 kg)	4 (200 kg)	3 (100 kg)	2 (50 kg)	1 (0 kg)
$\bar{\phi}$ Gesamtertrag (dt Trm/ha)	115,7	115,6	115,3	110,0	106,6
$\pm s$	7,5	7,3	6,0	5,9	7,6
F-Werte	5	4	3	2	
4	0,00				
3	0,05	0,03			
2	8,11**	7,78**	6,91**		
1	20,64***	20,11***	18,69***	2,87	

Tabelle 2b: *Durchschn. Gesamterträge in dt Trm/ha, getrennt nach Jahren, zugehörige Standardabweichung und F-Matrix zur Prüfung der Unterschiede (FG = 1/115)*

Jahr	1970	1971 <sup>1)</sup>	1972	1973	1974
$\phi$ Gesamtertrag (dt Trm/ha)	114,2	99,2	118,9	114,5	113,0
$\pm s$	1,6	2,5	3,2	4,5	8,8
F-Werte	1970	1971 <sup>1)</sup>	1972	1973	
1971 <sup>1)</sup>	94,39***				
1972	11,58***	167,04***			
1973	0,03	97,70***	10,40**		
1974	0,72	79,47***	18,08**	1,06	

<sup>1)</sup> Signifikanzen rechnerisch bedingt; Gesamtertrag besteht nur aus 4 Schnitten.

Tabelle 2c: *Durchschn. Erträge in dt Trm/ha, getrennt nach Schnitten; zugehörige Standardabweichung und F-Matrix zur Prüfung der Unterschiede (FG = 1/115)*

Schnitt	1	2	3	4	5
$\phi$ Ertrag (dt Trm/ha)	25,3	26,7	24,4	23,5	15,2
$\pm s$	5,1	4,8	1,4	3,7	2,0
F-Werte	1	2	3	4	
2	1,68				
3	0,70	4,54*			
4	2,70	8,63**	0,65		
5	78,56***	101,69***	65,20***	53,50***	

zelenen Schnitte fielen erwartungsgemäß ab; dabei brachte der 2. Schnitt den Höchstertrag, wenngleich er zum Ertrag des 1. Schnitts nicht signifikant verschieden war. Tab. 2c zeigt weiterhin, daß der 5. Schnitt sehr hoch gesicherte Unterschiede zu allen anderen Erträgen aufwies.

Vermerkt sei noch, daß der Trockensubstanzgehalt mit fallender Kaliumdüngung ansteigt (von 14,4% in Variante 5 auf 17,2% in der Nullparzelle), ein Jahreseinfluß für 1970 und 1971 feststellbar war und nur der 5. Schnitt mit dem Höchstwert von 17,9% den anderen sehr hoch gesichert überlegen war.

### 3.3 Veränderung der Mineralstoffgehalte im Futter

Phosphorsäure mit etwa 0,46% P in der Trm und Calcium mit etwa 0,9% Ca in der Trm waren ständig ausreichend vorhanden. Es zeigte sich auch keine Differenzierung im Laufe des

Versuchszeitraumes. Deshalb wird auf die Wiedergabe im einzelnen verzichtet.

#### 3.3.1 Kaliumgehalte in Abhängigkeit von Düngung, Jahren und Schnitten

Die in Tab. 3a aufgeführten Jahresdurchschnittswerte zeigen mit fallenden Kalidüngungsmengen und im Verlauf der Jahre jeweils fallende Tendenz. Dabei ist die Entwicklung in den einzelnen Schnitten nicht berücksichtigt. Betrachtet man nacheinander die Kaliumgehalte, getrennt nach Düngungsvarianten (Tab. 3b), Jahren (Tab. 3c) und Schnitten (Tab. 3d), so zeigt sich ebenfalls ein Rückgang an Kali, weil die Pflanzen durch den nachhaltigen Entzug der Ernten bei mangelhafter Düngung schließlich auf das im Boden vorhandene Kalium angewiesen sind. Die Unterschiede zur jeweils niedrigeren Düngungsstufe waren selten signifikant,

Tabelle 3 a: *Einfluß der Kalidüngung auf den Kaligehalt im Futter von 1970—1974. Werte in % K in der Trm, berechnet als Durchschnittswerte aller Schnitte eines jeden Jahres*

kg K <sub>2</sub> O/ha	Jahr				
	1970	1971	1972	1973	1974
400	4,19	4,49	4,32	3,45	2,97
200	3,84	4,30	3,55	2,41	1,83
100	3,75	3,51	2,85	1,84	1,34
50	3,72	3,33	2,63	1,77	1,22
0	3,78	3,28	2,55	1,57	1,12

Tabelle 3 b: *Mittlere K-Gehalte der Trm in %, getrennt nach Varianten; zugehörige Standardabweichung und F-Matrix zur Prüfung der Unterschiede (FG = 1/115)*

Variante (kg K <sub>2</sub> O/ha)	400	200	100	50	0
% K in der Trm	3,86	3,14	2,62	2,50	2,42
± s	0,71	1,05	1,01	1,01	1,06
F-Werte	400	200	100	50	
200	6,49*				
100	19,15***	3,34			
50	23,16***	5,13*	0,19		
0	25,87***	6,44*	0,50	0,07	

Tabelle 3 c: *Mittlere K-Gehalte der Trm in %, getrennt nach Jahren; zugehörige Standardabweichung und F-Matrix zur Prüfung der Unterschiede (FG = 1/115)*

Jahr	1970	1971	1972	1973	1974
% K in der Trm	3,86	3,78	3,18	2,21	1,70
± s	0,24	0,74	0,80	0,77	0,77
F-Werte	1970	1971	1972	1973	
1971	0,13				
1972	11,82***	8,27***			
1973	70,18***	56,75***	24,40***		
1974	120,47***	99,66***	56,82***	6,75*	

Tabelle 3 d: *Mittlere K-Gehalte der Trm in %, getrennt nach Schnitten; zugehörige Standardabweichung und F-Matrix zur Prüfung der Unterschiede (FG = 2/114)*

Schnitt	1	2	3	4	5
% K in der Trm	3,04	3,25	2,80	3,00	2,36
± s	0,87	1,12	1,06	1,23	1,09
F-Werte	1	2	3	4	
2	13,99***				
3	20,02***	1,61			
4	67,49***	20,61***	14,48***		
5	85,78***	35,59***	25,48***	3,91*	

zwischen den Jahren jedoch fast ausnahmslos sehr hoch signifikant. Das gilt auch für die einzelnen Schnitte. Berücksichtigt man in Tab. 3 c die jeweiligen Werte der Standardabwei-

chungen, so wurde selbst bei hoher Düngung nach wenigen Jahren der von SCHECHTNER (1973) geforderte Mindestgehalt von 2,75% K in der Trm unterschritten.



### 3.3.2 Magnesiumgehalte in Abhängigkeit von Düngung, Jahren und Schnitten

Die Magnesiumgehalte hingegen stiegen von Jahr zu Jahr an. Sie haben sich bei

niedrigem K-Düngungsniveau etwa verdoppelt und liegen nun sehr hoch (Tab. 4 a—c). Gleichzeitig nahm der Mg-Gehalt im Laufe der Vegetationsperiode mit signifikanten Unterschieden zu (Tab. 4 d).

Tabelle 4 a: *Einfluß der Kalidüngung auf den Magnesiumgehalt im Futter von 1970—1974. Werte in % Mg in der Trm, berechnet als Durchschnittswerte aller Schnitte*

Jahr	1970	1971	1972	1973	1974
Düngung kg K <sub>2</sub> O/ha					
400	0,17	0,19	0,22	0,30	0,31
200	0,17	0,22	0,24	0,37	0,41
100	0,19	0,22	0,30	0,43	0,40
50	0,19	0,23	0,30	0,43	0,42
0	0,20	0,23	0,29	0,40	0,43

Tabelle 4 b: *Mittlere Mg-Gehalte der Trm in %, getrennt nach Varianten; zugehörige Standardabweichung und F-Matrix zur Prüfung der Unterschiede (FG = 3/113)*

Variante (kg K <sub>2</sub> O/ha)	400	200	100	50	0
% Mg in der Trm	0,24	0,28	0,31	0,32	0,31
± s	0,09	0,13	0,14	0,14	0,14
F-Werte	400	200	100	50	
200	4,96**				
100	7,87**	4,64**			
50	9,95**	2,70*	1,12		
0	14,45***	14,39***	2,80*	6,89***	

Tabelle 4 c: *Mittlere Mg-Gehalte der Trm in %, getrennt nach Jahren; zugehörige Standardabweichung und F-Matrix zur Prüfung der Unterschiede (FG = 2/114)*

Jahr	1970	1971	1972	1973	1974
% Mg in der Trm	0,18	0,22	0,27	0,38	0,40
± s	0,04	0,05	0,10	0,13	0,12
F-Werte	1970	1971	1972	1973	
1971	0,69				
1972	7,09***	4,17*			
1973	40,86***	30,48***	13,93***		
1974	62,58***	50,05***	28,50***	3,94*	

Tabelle 4 d: *Mittlere Mg-Gehalte der Trm in %, getrennt nach Schnitten; zugehörige Standardabweichung und F-Matrix zur Prüfung der Unterschiede (FG = 1/115)*

Schnitt	1	2	3	4	5
% Mg in der Trm	0,18	0,24	0,29	0,35	0,43
± s	0,05	0,07	0,10	0,11	0,15
F-Werte	1	2	3	4	
2	4,35*				
3	15,06***	3,22			
4	36,22***	15,47***	4,57*		
5	70,43***	41,30***	22,41***	7,39**	

### 3.3.3 Natriumgehalte in Abhängigkeit von Düngung, Jahren und Schnitten

Relativ am stärksten reagierten die Natriumgehalte auf die Abnahme der zugeführten Kalidüngung und den zurückgehenden Kaliumgehalt im Futter. Sie lagen nach fünf Jahren bis zu sechsmal so hoch wie zu Beginn des Versuches, wengleich sie auch dann für eine tiergerechte Versorgung noch nicht ausreichten. Tab. 5 a zeigt die Veränderung im Versuchszeitraum bei gestaffelter Kaliumdüngung; in Tab. 5 b geht aus den großen Werten der Standard-

abweichung hervor, daß die Höhe des Natriumgehalts noch anderen Einflüssen als nur denen der Düngung unterliegt.

Obwohl die durchschnittlichen Natriumgehalte sowohl bei der Trennung nach Jahren (Tab. 5 c) als auch nach Schnitten (Tab. 5 d) mit jeweils steigender Tendenz ziemlich starke Schwankungen aufweisen, läßt sich aufgrund der jeweiligen F-Werte eindeutig die Wirkung der verminderten Kaliumdüngung auf die Steigerung des Natriumgehaltes mit überwiegend sehr hoch gesicherten Unterschieden feststellen.

Tabelle 5 a: Einfluß der Kalidüngung auf den Natrium im Futter von 1970—1974. Werte in % Na in der Trm, berechnet als Durchschnittswerte aller Schnitte

Jahr	1970	1971	1972	1973	1974
Düngung kg K <sub>2</sub> O/ha					
400	0,014	0,008	0,022	0,021	0,044
200	0,019	0,016	0,043	0,066	0,119
100	0,016	0,013	0,046	0,071	0,089
50	0,019	0,014	0,060	0,088	0,118
0	0,014	0,008	0,031	0,045	0,078

Tabelle 5 b: Mittlere Na-Gehalte der Trm in %, getrennt nach Varianten; zugehörige Standardabweichung und F-Matrix zur Prüfung der Unterschiede (FG = 2/114)

Variante (kg K <sub>2</sub> O/ha)	400	200	100	50	0
% Na in der Trm	0,022	0,054	0,048	0,062	0,036
± s	0,018	0,056	0,043	0,054	0,034
F-Werte	400	200	100	50	
200	3,70*				
100	11,25***	5,73***			
50	11,78***	4,07*	0,71		
0	21,79***	16,78***	3,03	6,04**	

Tabelle 5 c: Mittlere Na-Gehalte der Trm in %, getrennt nach Jahren; zugehörige Standardabweichung und F-Matrix zur Prüfung der Unterschiede (FG = 3/113)

Jahr	1970	1971	1972	1973	1974
% Na in der Trm	0,016	0,012	0,040	0,058	0,090
± s	0,004	0,006	0,027	0,048	0,054
F-Werte	1970	1971	1972	1973	
1971	2,34				
1972	4,84**	3,76*			
1973	32,35***	20,80***	12,90***		
1974	41,44***	35,82***	19,31***	9,44***	

Tabelle 5 d: *Mittlere Na-Gehalte der Trm in %, getrennt nach Schnitten; zugehörige Standardabweichung und F-Matrix zur Prüfung der Unterschiede (FG = 3/113)*

Schnitt	1	2	3	4	5
% Na in der Trm	0,020	0,025	0,046	0,052	0,090
± s	0,013	0,020	0,039	0,038	0,068
F-Werte	1	2	3	4	
2	10,62***				
3	13,77***	1,25			
4	47,86***	14,02***	10,71***		
5	57,09***	23,74***	16,84***	3,71*	

Tabelle 6: *Koeffizienten r der Korrelationsanalyse nach PEARSON einschließlich Signifikanztest (FG = 1/115)*

	Jahr	Variante	Schnitt	Kalium	Magnesium	Natrium
Kalium	-0,76***	-0,26**	-0,19*	1,0	-0,76***	-0,73***
Magnesium	0,66***	0,11 ns	0,65***	-0,76***	1,00	0,87***
Natrium	0,61***	0,06 ns	0,50***	-0,73***	0,87***	1,0

### 3.3.4 Beziehungen zwischen den Gehalten an Kalium, Magnesium und Natrium

Aus der Literatur und aus den bisher gezeigten Tabellen muß auf eine Korrelation zwischen den Gehalten an K, Mg und Na geschlossen werden, die zudem auch Beziehungen zu der verschiedenen hohen Kaliumdüngung im Versuchszeitraum und zur Vegetationsentwicklung aufweisen müssen. Dies wurde mit einer einfachen Korrelationsanalyse mit den Koeffizienten nach PEARSON untersucht (Tab. 6).

Die Koeffizienten bestätigen nicht nur die Korrelation der Gehalte mit den Versuchsjahren, Varianten und Schnitten (linker Teil der Tab. 6), sondern auch die Interdependenz zwischen den jeweiligen Mineralstoffgehalten, die pflanzenphysiologisch bedingt sind. So erweist sich, daß die Anreicherung von Kalium im Futter die Abnahme von Magnesium und Natrium bewirkt, oder umgekehrt, daß mit geringeren K-Gehalten die Mg- und Na-Gehalte im Jahres- wie im Vegetationsverlauf zunehmen.

Gleichzeitig ist aber auch eine enge Beziehung zwischen Magnesium- und

Natriumgehalt erkennbar ( $r = 0,87$ ). Wegen dieser Korrelation kann nicht mehr eindeutig bestimmt werden, daß für die Anreicherung von Magnesium ausschließlich der sinkende Kaliumgehalt verantwortlich ist. Deshalb wurden mit Hilfe einer partiellen Korrelationsanalyse die Koeffizienten  $r_p$  für die jeweiligen Beziehungen errechnet (Tab. 7).

Tabelle 7: *Koeffizienten  $r_p$  der Partiiellen Korrelationen zwischen Kalium-, Magnesium- und Natriumgehalten (FG = 1/117)*

	Kalium	Magnesium	Natrium
Kalium	1,0	-0,38***	-0,21*
Magnesium	-0,38***	1,0	0,71***
Natrium	-0,21*	0,71***	1,0

Die Korrelation zwischen Magnesium und Natrium sinkt zwar von  $r = 0,87$  auf  $r_p = 0,71$  ab, wenn die partielle Korrelation zwischen den beiden Gehalten berechnet wird (Tab. 7), ist aber noch wesentlich enger als die partielle Korrelation von Kalium und Magnesium mit  $r_p = -0,38$  und von Kalium und Natrium mit  $r_p = -0,21$ . Mit ab-



### 3.4 Pflanzenbestände

#### 3.4.1 Veränderung des Pflanzenbestandes

Im Laufe der Versuchsjahre trat auch eine Veränderung der Bestandeszusammensetzung ein (Tab. 8). Die Ursachen hierfür sind eindeutig weder in der Umstellung der Bewirtschaftung auf reine Mähnutzung noch in der Auswirkung der unterschiedlich hohen Kaliumdüngung zu finden.

Unter den Gräsern fällt der starke Rückgang von *Festuca pratensis* besonders ins Auge; selbst die geringe Zunahme der ebenfalls hochwertigen Arten *Alopecurus pratensis* und *Poa pratensis* konnte den Ausfall nicht wettmachen. Allgemein konnten die Gräser ihren Bestandsanteil knapp behaupten, in der Nullparzelle fielen sie zugunsten der Kräuter stärker ab.

*Trifolium repens* als fast ausschließlich vorkommende Leguminosenart ging in seinem Bestandesanteil stark zurück. Als besonders kalibedürftige Pflanze war ihre Abnahme in den wenig mit Kali gedüngten Parzellen am stärksten.

Die Zunahme der Kräuterarten war in allen Varianten sichtbar. Vor allem erhöhte sich der Anteil an *Taraxacum officinale*, *Ranunculus repens*, *Bellis perennis* und *Glechoma hederacea*. Ein Einfluß der Trittvträglichkeit einzelner Arten auf die Bestandesveränderungen war nicht feststellbar. Hingegen dürfte die bei Mehrschnittnutzung sich ergebende bessere Belichtung der Bodenoberfläche auf das Wachstum von rosettenbildenden Pflanzen günstig gewirkt haben.

#### 3.4.2 Weitere Beobachtungen

In den letzten Versuchsjahren war in den Varianten 1 und 2 eine geringere Aufwuchshöhe deutlich sichtbar. Schon bei geringem Sonnenschein traten Welkeerscheinungen auf, selbst wenn es wenige Tage zuvor geregnet hatte. Die übrigen Parzellen, also auch die mit 100 kg  $K_2O$ /ha versorgten, wirkten stets frisch.

### 3. Diskussion

Milchviehbetriebe mit knapper Flächenausstattung streben höchste Leistungen ihres Grünlandes an, sind aber auch bemüht, hohe Mineralstoffgehalte im Futter zu erreichen. Hohe Grunddüngung und starker Viehbesatz führten auf vielen Grünlandstandorten des Alpenvorlandes zu hohen Nährstoffgehalten im Boden, jedoch nicht selten zu ungenügenden Magnesium- und Natriumgehalten im Futter.

Der Einfluß einer hohen Kaliumverfügbarkeit auch auf gut mit Magnesium und Natrium versorgten Böden auf den Gehalt dieser Nährstoffe im Futter ist aufgrund des Ionenantagonismus erkannt und erklärbar. Die Größenordnung dieser gegenseitigen Einflußnahme kann auf humosen Standorten beträchtlich sein. So konnte in diesem Versuch etwa dieselbe relative Nährstoffanreicherung durch eine verringerte Kalidüngung erreicht werden, wie sie WERNER und TODT (1970) durch eine zusätzliche Magnesium- (etwa 50 kg  $MgO$ /ha) und Natriumdüngung (etwa 90 kg  $Na_2O$ /ha) auf Mg- und Na-armen Boden erzielt hatten. Unsere Ergebnisse zeigen, daß nach Herabsetzung der Kalidüngung eine Mg-Gabe sich erübrigen kann und die Na-Gehalte angehoben werden können. Es gilt jedoch, Ertragsdepressionen infolge zu geringer Kalidüngung zu vermeiden. Eine Anhebung der Mg- und Na-Gehalte darf jedenfalls nicht zu Lasten des Ertrages gehen. Eher sind Mg- und Na-Mangel im Grundfutter durch Beifütterung zu beheben, die für Leistungen über 15 bis 16 l Milch ohnehin notwendig ist.

In Übereinstimmung mit OPITZ v. BOBERFELD (1976) ist eine Aufdüngung von Grünlandstandorten auf sehr hohe Kaligehaltswerte in Abhängigkeit von der Bodenart sehr sorgfältig zu überlegen. Auch ist auf Böden mit mittleren und hohen Kaligehaltswerten bei Einschränkung der Kalidüngung nicht sofort mit Mindererträgen zu rechnen.

Auf tetaniekritischen Standorten sollte in Anlehnung an ROSENBERG und STÖBER (1971) neben einer mäßigen Stickstoffdüngung auch die Kalidüngung, selbst bei gleichzeitiger Mg-Zufuhr, zum ersten Schnitt eingeschränkt oder ganz unterlassen werden. Sie kann im weiteren Verlauf der Vegetationsperiode, wenn die Magnesiumgehalte im Futter ansteigen, nachgeholt werden. Stiegen die Natriumgehalte mit abnehmender K-Düngung im Futter auch relativ stärker als die von Magnesium, tierphysiologisch ausreichend waren sie nie. Ob hierfür die als mittel zu bezeichnenden Natriumwerte des Bodens verantwortlich waren, ist sehr zweifelhaft. Nach VOIGTLÄNDER und LANG (1972) ist wohl eher der Einfluß des Pflanzenbestandes maßgebend. Ohne wesentliche Weidelgrasanteile in der Grasnarbe scheint mit und ohne Natriumdüngung ein ausreichender Na-Gehalt im Futter nicht oder nur sehr schwer erreichbar zu sein. Diesem Umstand kann durch Einsaat oder Nachsaat von Weidelgras auf dafür geeigneten Flächen Rechnung getragen werden.

#### Literaturverzeichnis

- Ahlsweide, L., 1974: Zur Aufnahme von Erde bei Weidepferden. Deut. Tierärztl. Wochenschrift 81, 438.
- Brunn, A. und Lapp, G., 1973: SPSS-Kurzbeschreibung. Mai 1973/3 ab Version IV. Brosch. Nr. 2, Universität zu Köln.
- Dixon, W. J. (ed.), 1975: BMDP Biomedical Computer Programs, Manual, Health Sciences Computing Facility, UCLA. University of California Press. Berkeley, Los Angeles, London.
- Helferich, B. und Heller, L., 1968: Nährstoffzufuhr über den Boden und aus dem Sack. Mitt. DLG 83, 1246—1250.
- Kemp, A. und Hartmanns, J., 1968: Natrium und Magnesium in der Rinderfütterung. Mineralstoffversorgung Tiergesundh. 8, 5—15.
- , 1968: Die Mineralstoffversorgung von Kühen in der Weidezeit. Z. Tierphysiol., Tierern. Futtermittelk. 23, 267—278.
- Leeuwen, J. M. van, 1970: Keukenzout in de rindveevoeding. Fysiologische gevolgen van de verstreekung van Keukenzout in natriumarme en nietnatriumarme rantsoenen. Versl. Landbouwk. Onderzoek 737, 218 S.
- Mika, V., 1975: Vhodnost zasobniho PK-hnojeni na statinistnich loukach. Meliorace 11, 83—91.
- Mott, N., 1970: Magnesium- und Natriumversorgung der Hochleistungskuh auf der Weide. Mitt. DLG 85, 218—220.
- Munzert, M., 1973: Zur Methodik der quantitativen floristischen Auswertung von Grünlandversuchen. Bayer. Landw. Jb. 50, 321—374.
- Nie, N. H., Bent, D. H. and Hull, C. H., 1970: Statistical Packages of Social Sciences (SPSS-Handbook), McGraw-Hill, New York.
- Opitz v. Boberfeld, W., 1976: Sachgerechte Grünlanddüngung. Kali-Briefe 13, Fachgeb. 4, 4. Folge, 15 S.
- Pearson, K. und Lee, A., 1903: BIOMETRIKA 2, 357 S.
- Plank, P., Kirchgessner, M. und Kaiser, E., 1969: Zur Natrium- und Kaliumversorgung des Rindes über das wirtschaftseigene Futter. Bayer. Landw. Jb. 46, 760—764.
- Rosenberg, G. und Stöber, M., 1971: Die Tetanie des Rindes. D. Tierzüchter 23, 427—429.
- Saalbach, E. und Aigner, H., 1970: Über die Wirkung einer Natriumdüngung auf Natriumgehalt, Ertrag und Trockensubstanzgehalt einiger Gras- und Kleearten. Landw. Forsch. 23, 264—274.
- Schechtner, G., 1973: Wieviel Stickstoff und Kali zu Wiesen und Weiden? Kali-Briefe 11, Fachgeb. 4, 7. Folge, 19 S.
- Spatz, G., Voigtländer, G. und Reiner, L., 1974: Untersuchungen zum Anbau von Futterpflanzen im Oberbayerischen Grünlandgürtel. Bayer. Landw. Jb. 51, 259—281.
- Voigtländer, G. und Lang, V., 1972: Mengen- und Spurenelemente im Grundfutter in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung der Futterflächen. Landw. Forsch. 28/II. Sonderh., 170—180.
- Werner, W. und Todt, O., 1970: Gefäß- und Feldversuche über die Beeinflussung des Magnesium- und Natriumgehaltes verschiedener Gräser durch die Düngung. Wirtschaftseig. Futter 16, 48—58.