
**DAS
WIRTSCHAFTSEIGENE
FUTTER**

**ERZEUGUNG
KONSERVIERUNG
VERWERTUNG**

DLG-VERLAGS-GMBH



Band 24 Heft 3/4

2. Halbjahr 1978

Aus dem Institut für Pflanzenernährung und dem Institut für Grünlandlehre der TU München in Freising-Weihenstephan

Wirkung einer K- und Na-Düngung zu einer Dreischnittwiese auf K-fixierendem Boden

R. Gutser, H. Vollrath und W. Kühbauch

In jüngster Zeit wurde von Feldversuchen zur Prüfung einer K-Steigerung zu Ackerfrüchten auf K-fixierenden Böden berichtet (BURKART, 1975, BURKART et al., 1976, AMBERGER und BURKART, 1977 a, b). In sämtlichen Versuchen (10 Auestandorte in den Tälern von Isar, Donau, Abens, Große Laaber) wurde eine gute Effizienz einer hohen K-Düngung ermittelt; die optimalen Gaben lagen bei dem Zwei- bis Dreifachen des sonst üblichen Düngungsniveaus. Ähnliche Ergebnisse fanden AMBERGER et al. (1974) in mehrjährigen Gefäßversuchen mit K-fixierenden Böden.

Diese Aueböden werden landwirtschaftlich am verbreitetsten als mehr oder weniger intensiv gedüngtes Grünland genutzt. Da im bayerischen Raum kaum Versuchsergebnisse über die Wirkung einer K-Düngung zu Grünland auf K-fixierenden Böden bekannt sind, wurde auf einer typischen Auewiese im Ampertal nordöstlich Freisings ein K-Steigerungsversuch angelegt und die Wirkung der K-Düngung auf den Ertrag und die Mineralstoffaufnahme sowie auf die Artenzusammensetzung der Wiesennarbe unter Dreischnittnutzung geprüft.

GUTSER und TEICHER (1973) wiesen in einer früheren Arbeit auf die gute Wirkung einer Natriumdüngung zu Deutschem Weidelgras auf stark K-fixierenden Böden (95 – 98 mg K/100 g Boden – K-Naßfixierung) hin. Natrium verbesserte in diesen Gefäßversuchen die Ertragsfähigkeit des Bodens. Es ist bekannt, daß Natrium das Kalium in unspezifischen physiologischen Funktionen ersetzen kann (BAUMEISTER, 1960). Folglich wird in diesem Grünlandversuch auch die Wirkung einer zusätzlichen Natriumdüngung mitgeprüft.

1. Versuchsstandort

1.1 Boden und Witterung

Der Versuch wurde im Frühjahr 1972 auf einem Aueboden aus schluffig-lehmigen Kalksand über Kalkschotter angelegt (Amperau nordöstlich von Freising).

Herrn Prof. Dr. G. Voigtländer, Direktor des Lehrstuhls für Grünlandlehre der TU München-Weihenstephan, zum 65. Geburtstag gewidmet.

Tabelle 1: Physikalische und chemische Daten des Bodens

Tiefe (cm)			%		Boden- art	C %	N %	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %
			Ton	Schluff (2-20µ)					
0	7	Wiesennarbe	32	31	st L	6.6	0.79	7.0	8
7	23	A	34	32	st L	4.3	0.59	7.2	17
23	55	G o/r	28	37	st L	—	—	7.4	16
55	70	G _r	19	25	s L	—	—	7.4	18

Tiefe (cm)		mg/100 g Boden					%	Sorption mval/100 g Boden	T-			
		CAL P ₂ O ₅	Naßfix. K ₂ O	K	(CaCl ₂) Mg	Ges. Na			Wert	Na	K	Ca
0 – 7	Wiesennarbe	13	15	65	40	2.1	1.22	37.2	0.14	0.26	32.9	3.9
7 – 23	A	3	7	94	40	2.5	1.18	30.4	0.12	0.08	26.3	3.9
23 – 55	G o/r	1	3	99	37	2.5	1.15	21.2	0.11	0.03	18.0	3.1
55 – 70	G _r	1	3	79	27	1.0	1.15	14.2	0.06	0.05	12.1	2.0

Der schwach alkalische Gleyboden mit einem freien Carbonatgehalt von 8 – 18 % CaCO₃ (nach SCHEIBLER) besitzt ein K-Fixierungsvermögen mit 65 g K/100 g Boden in der oberen Bodenschicht (0 – 7 cm = Wiesennarbe) bzw. 94 – 99 mg K/100 g Boden im Unterboden (Tab. 1).

Auffallend ist der hohe Gehalt an CAL-löslichem (15 mg K₂O/100 g Boden) bzw. (nach MEHLICH) austauschbarem Kalium (0.26 mval/100 g Boden) trotz der hohen K-Naßfixierung. Diese Tatsache weist auf wesentliche Unterschiede zwischen der Nährstoffdynamik einer Ackerkrume und einer Wiesennarbe hin. Die Gehalte für CaCl₂-lösliches Mg liegen bis in den Unterboden hinein auf hohem Niveau im Gegensatz zum Na, das eine schlechte bis mittlere Versorgung anzeigt.

Tabelle 2: Niederschläge und Lufttemperaturen (Agrarmeteorolog. Meßstelle Weihenstephan) Vegetationszeit März – Oktober

	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.	Σ
Niederschläge mm									
1972	13	104	28	54	90	34	37	50	410
1973	30	52	63	110	86	84	35	70	530
1974	24	34	112	88	154	56	70	111	649
langjähriger Ø	42	51	83	107	126	87	73	57	626
Lufttemperatur °C									
									Ø
1972	5.2	7.3	11.4	14.5	17.1	15.8	9.9	5.3	10.8
1973	2.1	4.8	12.7	15.3	16.1	17.4	13.5	6.3	9.1
1974	6.2	7.5	10.5	13.4	15.3	17.7	12.9	4.1	11.0
langjähriger Ø	3.1	7.8	12.4	15.7	17.3	16.6	13.3	7.8	11.8

Der Grundwasserstand schwankt im Bereich von 60 – 90 cm Tiefe. Die Jahre 1973 und insbesondere 1972 erwiesen sich als besonders niederschlagsarm und kühl (Tab. 2). Lediglich das Jahr 1974 erreichte den langjährigen Durchschnitt der Niederschläge und annähernd den der mittleren Lufttemperatur.

1.2 Pflanzengesellschaft

Es handelt sich um eine Kohldistel-Glatthaferwiese (*Dauco-Arrhenatheretum cirsiosum oleracei*). Diese Pflanzengesellschaft ist im Gebiet auf den oft anmoorigen Böden über Kalkschottern der Münchener Ebene und in den Flußauen des Donau-Isar-Hügellandes (z.B. Ampertal-Versuchsfläche) weit verbreitet. Sie steht im Feuchtespektrum zwischen der frischen reinen Glatthaferwiese (*Dauco-Arrhenatheretum typicum*) und der feuchten Kohldistelwiese (*Angelico-Cirsietum oleracei*). Die Differentialarten der Subassoziation sind *Cirsium oleraceum*, *Deschampsia cespitosa*, *Lychnis flos-cuculi*, *Cardamine pratensis*, *Filipendula ulmaria*, *Sanguisorba officinalis*, *Myosotis palustris*, *Angelica sylvestris*, *Equisetum palustre* und *Senecio aquaticus*: von diesen 10 Arten sind nur die 5 erstgenannten und diese mit geringen Mengenanteilen auf der Versuchsfläche vertreten. Als Trennarten des *Dauco-Arrhenatheretum*s gegen das *Angelico-Cirsietum* fungieren im Gebiet *Arrhenatherum elatius*, *Veronica arvensis*, *Anthriscus sylvestris*, *Veronica chamaedrys*, *Pastinaca sativa*, *Medicago lupulina* und *Crepis biennis*; von diesen fehlt im vorliegenden Bestand nur *Medicago lupulina*. Vertretung und Massenanteile der beiden Trennartengruppen zeigen, daß unsere Kohldistel-Glatthaferwiese noch der Typischen Glatthaferwiese nahesteht.

Ökologisch zeigt die Kohldistel-Glatthaferwiese sickerfeuchte, Ca-haltige Standorte mit oft großer Amplitude der Grundwasseroberfläche an. Der Grundwasserflurabstand beträgt im Sommer oft über 1 m. *Agrostietea stoloniferae*-Arten, besonders *Ranunculus repens*, *Rumex crispus* und *Lysimachia nummularia* deuten auf eine gewisse Staunässe hin. Die relative Armut an Umbelliferen auf der Versuchsfläche, besonders an den sog. „Gülleunkräutern“ *Anthriscus sylvestris* (spärlichst!) und *Heracleum sphondylium*, die bei vergleichbaren Bodenfeuchteverhältnissen den Wiesen um Weihenstephan oft einen kilometerweit sichtbaren weißen Blühaspekt verleihen, kann ein Hinweis auf die Kalifizierung im Boden sein. Das Vorkommen von *Silaum silaus*, sonst im Gebiet selten, zeigt schluffige bis tonige, wechselfeuchte bis -trockene und häufig kalifizierende Böden an.

2. Versuchsdurchführung und Methodik

2.1 Versuchsplan, Düngung

Der Versuch wurde in zweifacher Wiederholung (a, b) angelegt; die Parzellengröße betrug 20.5 m².

NP-Düngung für sämtliche Versuchsglieder:

40 kg N als Kalkammonsalpeter/ha und Aufwuchs

120 kg P₂O₅ als Thomasphosphat/ha und Jahr

Tabelle 3: Botanische Zusammensetzung der Versuchsläche

<i>Molinio-Arrhenatheretea</i> (13)		<i>Arrhenatherion</i> (15)	
12 (F)	<i>Alopecurus pratensis</i>	9	<i>Arrhenatherum elatius</i>
9 F	<i>Poa trivialis</i>	5	<i>Galium album</i>
5	<i>Plantago lanceolata</i>	4	<i>Bromus mollis</i> (eigentl. 62)
4	<i>Festuca pratensis</i>	+	<i>Crepis biennis</i>
3	<i>Rumex acetosa</i>	+	<i>Pastinaca sativa</i> (eigentl. 63)
3	<i>Poa pratensis</i> agg.		
2	<i>Festuca rubra</i>	<i>Molinietales</i> (19), <i>Calthion</i> (20), <i>Filipendulion</i> (21)	
2	<i>Lathyrus pratensis</i>	1 F	<i>Cirsium oleraceum</i> (20)
2	<i>Trifolium repens</i> (Schwpkt. 17)	+	<i>F Deschampsia cespitosa</i>
2 F	<i>Ranunculus acris</i>	+	<i>F Colchicum autumnale</i>
2	<i>Bellis perennis</i> (Schwpkt. 17)	+	<i>(F) Silaum silaus</i>
2	<i>Cerastium holosteoides</i>	+	<i>F Lychnis flos-cuculi</i>
1	<i>Holcus lanatus</i>	+	<i>F Filipendula ulmaria</i> (Schwpkt. 21)
1	<i>Trifolium pratense</i>		
+	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	<i>Agrostietales stoloniferae</i> (4), <i>Plantaginetea</i> (35)	
+	<i>Agrostis</i> cf. <i>gigantea</i>	1 F	<i>Ranunculus repens</i>
+	<i>Vicia cracca</i>	+	<i>Carex hirta</i>
+	<i>Ajuga reptans</i>	+	<i>F Rumex crispus</i>
+	<i>Prunella vulgaris</i> (Schwpkt. 17)	+	<i>F Lysimachia nummularia</i>
+	<i>(F) Cardamine pratensis</i>	+	<i>Plantago major</i>
<i>Arrhenatheretalia</i> (14), <i>Polygono-Trisetion</i> (16), <i>Cynosurion</i> (17)		<i>Sonstige</i>	
8	<i>Trisetum flavescens</i> (16)	2	<i>Agropyron repens</i> (50)
5	<i>Dactylis glomerata</i>	+	<i>F Carex acutiformis</i> (88, 8)
4	<i>Taraxacum officinale</i>	+	– <i>spicata</i> (51)
4	<i>Achillea millefolium</i>	+	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (56)
2	<i>Heracleum sphondylium</i>	+	<i>Plantago media</i> (27)
1	<i>Avenochloa pubescens</i>	+	<i>Pimpinella saxifraga</i> (27)
1	<i>Pimpinella major</i>	+	<i>Glechoma hederacea</i> (44)
1	<i>Veronica chamaedrys</i>	+	<i>F Symphytum officinale</i> (45 u.a.)
1	– <i>arvensis</i> (eigentl. 26)	+	<i>Rumex obtusifolius</i> (48)
+	<i>Anthriscus sylvestris</i>	+	<i>Lolium multiflorum</i> (62)
+	<i>Alchemilla</i> cf. <i>xanthochlora</i>	+	<i>Papaver rhoeas</i> (64)
+	<i>Lotus corniculatus</i>		
+	<i>Lolium perenne</i> (17)		
<i>Moosschicht</i> (Artmächtigkeitsschätzung)			
1	<i>Brachythecium rutabulum</i>		
+	<i>Weisia</i> oder <i>Bryum</i>	F (F) =	Feuchtezeiger
In Klammern stehen Schlüsselzahlen für den Gesellschaftsanschluß, von denen folgende noch zu erklären sind:			
26	<i>Sedo-Scleranthetalia</i>	48	<i>Arction</i>
27	<i>Festuco-Brometea</i>	50	<i>Agropyretea repentis</i>
44	<i>Galio-Convolvuletalia</i>	51	<i>Epilobietea angustifolii</i>
45	<i>Convolvulion</i>	56	<i>Chenopodietea</i>
		62	<i>Sisymbrietalia</i>
		63	<i>Onopordetalia</i>
		64	<i>Secalinetea</i>
		88	<i>Alno-Padion</i>

Na-Düngung:

I. ohne Na

II. 150 kg Na₂O als NaCl (Viehsalz)/ha zu Vegetationsbeginn

K-Düngung:

1. K₀

2. K₁₅₀ = 150 kg K₂O/ha

3. K₃₀₀ = 300 kg K₂O/ha zu Vegetationsbeginn

4. K₄₅₀ = 450 kg K₂O/ha

5. K₃₀₀ = K_{150/150} aufgeteilt zu den beiden ersten Aufwüchsen

6. K₄₅₀ = K_{150/150/150} aufgeteilt zu den 3 Aufwüchsen

2.2 Analysenmethoden

In Pflanzen:

nach Säureaufschluß

K, Ca, Na mittels Flammenphotometrie

Mg mittels Atomabsorptionsspektralphotometrie

Im Boden:

Schlämmanalyse nach Vorzerstörung der organischen Substanz und des freien Kalkes

C/N nach SPRINGER-KLEE

CaCO₃ nach SCHEIBLER

pH, Mg, Na im CaCl₂-Extrakt

Sorption nach MEHLICH

K-Naßfixierung nach VDLUFA-Verbandsmethode

Gesamt-K nach Perchlorsäureextraktion

K bzw. P im Calcium-Acetat-Laktat-Extrakt (CAL)

Die Probenahmetiefe der oberen Bodenschicht betrug zu Versuchsbeginn 6 – 7 cm, am Versuchsende 8 – 9 cm.

2.3 Pflanzenbestandsaufnahmen

Auf der Gesamtfläche wurde zu Versuchsbeginn (1972) und im Jahr darauf jeweils der 1. Aufwuchs in recht frühen Entwicklungsstadien nach der Methode KLAPP/STÄHLIN (Massenanteilschätzung) botanisch aufgenommen.

Im letzten Versuchsjahr wurden auf 4 Varianten (I1, I4, II1, II4) in 2-facher Wiederholung (a, b) die Massenanteile geschätzt. Neben den Aufnahmen zum 1. Schnitt (a1, b1) am 17./18.V.1974 wurde nur von der a-Wiederholung auch der 3. Aufwuchs (a3.) am 13.IX.1974 aufgenommen, um die botanische Zusammensetzung im weiteren Verlaufe der Vegetationsperiode in einem gewissen Grade zu berücksichtigen. Es ergeben sich dann Auswertungsmöglichkeiten nach den drei Einflußgrößen „Aufwuchs“, „Na-Düngung“ und „K-Düngung“.

In den Auswertungskolumnen (rechts in Tab. 11) ist + mit 0.2 %, +⁰ mit 0.1 % Massenanteil verrechnet; die Mittelwerte wurden proportional reduziert, damit ihre Summe 100 % ergibt. Die Berechnungen für „Natrium“ und „Kalium“ erlauben gegenseitige Kontrolle.

3. Ergebnisse

3.1 Wirkung der K-Düngung auf Trockensubstanzproduktion und Mineralstoffaufnahme

Die K-Düngung bewirkte einen signifikanten Anstieg des Trockensubstanzertrages gegenüber der K_0 -Variante (Tab. 4). Die einmalige Applikation von 300 kg K_2O zu Vegetationsbeginn erwies sich bereits als ausreichend. Sowohl die Aufteilung der K-Düngung zu den einzelnen Aufwüchsen als auch ein weiteres Anheben des K-Düngungsniveaus blieben ohne Wirkung bzw. brachten bereits einen leichten Ertragsrückgang.

Tabelle 4: Wirkung einmaliger bzw. aufgeteilter K-Applikation auf Ertrag und Mineralstoffentzug (ohne Na-Düngung)

K-Düngung	TS-Ertrag dt/ha	Jahres-Ø			
		K	Na	Mg	Ca
K_0	85	79	17	38	99
K_{150}	96	161	20	40	114
K_{300} einmalig	110	234	15	39	108
	150/150	106	217	16	37
K_{450} einmalig	99	231	17	30	101
	150/150/150	105	248	14	33
GD 5 %	6	12	2	3	6

Die K-Düngung führte zu einem starken Anstieg der K-Entzüge, verminderte jedoch insbesondere nach hoher Aufwandmenge etwas den Na- und Mg-Entzug. Auffallend ist das relativ hohe Ertragsniveau der Nullvariante mit 85 dt TS/ha sowie die K-Nachlieferung von ca. 80 kg K (= rund 100 kg K_2O)/ha und Jahr trotz eines relativ hohen K-Fixierungsvermögens des Bodens (ca. 65 mg K (0 – 7 cm Tiefe) bzw. 96 mg K (7 – 55 cm Tiefe)/100 g Boden). Abbildung 1 weist auf die nahezu gleich hohe Substanzproduktion in den drei Versuchsjahren hin.

In jedem Versuchsjahr, insbesondere aber 1974 verursachte die höchste K-Düngung im ersten Aufwuchs einen merklichen Rückgang des Ertrages gegenüber K_{150} und K_{300} , möglicherweise verursacht durch eine antagonistische Wirkung der hohen K^+ -Aufnahme auf die Aufnahme weiterer essentieller Kationen (siehe Abb. 2) bzw. durch die hohe Salzkonzentration.

Die K-Gehalte des Erntematerials nehmen im 2. und 3. Aufwuchs gegenüber dem 1. Aufwuchs deutlich ab (Abb. 2); auf dem K_0 -Glieder geht der K-Gehalt von durchschnittlich 1.2 % K auf 0.8 bzw. 0.75 % K in der Trockensubstanz zurück.

Der geringe K-Gehalt im Aufwuchs der K_0 -Varianten weist auf die relative K-Armut dieses Standortes hin. Die K-Düngung bewirkte einen starken Anstieg des K-Gehaltes

im Erntematerial bis maximal 3 % K in TS bzw. einen mehr oder weniger deutlichen Rückgang der Gehalte an Calcium, Magnesium und Natrium, insbesondere in den beiden ersten Schnitten. Besonders auffällig ist der relativ deutliche Rückgang der Mg-Gehalte trotz sehr hohen Mg-Angebotes des Bodens. Die Aufteilung der K-Düngung verhindert etwas die starken Schwankungen der K-Gehalte in den drei Aufwüchsen.

Die Wirkung der K-Düngung auf die Aufnahme von Na, Mg und Ca kann durch Ermittlung der relativen Ionenanteile am Gesamt-Kationen-Gehalt verdeutlicht werden (Tab. 5).

Tabelle 5: Anteil der K^+ , Na^+ , Ca^{++} - und Mg^{++} -Ionen an Σ Kationen der Pflanzen und mittlere Substanzproduktion eines Aufwuchses in Abhängigkeit von der K-Düngung

	Σ Kationengehalt meq/100 g TS	Anteil %				\emptyset TS-Ertrag dt/ha
		K	Na	Ca	Mg	
K_0	56.0	41	15	27	17	28.2
K_{150}	75.3	55	13	21	12	32.0
K_{200}	79.5	67	8	16	9	36.7
K_{450}	86.6	69	9	15	7	33.2
$K_{150/150}$	78.7	66	16	9	9	35.2
$K_{150/150/150}$	84.9	71	15	8	7	35.0

Die K-Düngung führte zu einem Anstieg des Kationengehaltes der Pflanzen sowie des relativen Anteils von Kalium an der Kationensumme (von ca. 40 auf 70 %); die relativen Anteile von Ca nahmen durch die K-Düngung von 27 auf 15, die von Mg von 17 auf 7 und die von Na von 15 auf 7 % ab. Von K_{300} nach K_{450} (einmalige sowie aufgeteilte Gaben) änderten sich die Kationenanteile kaum, hingegen nahm der Ertrag bei einmaliger hoher K-Düngung etwas ab. Im Mittel der 9 Schnitte (1972 – 74) kann dieser Ertragsrückgang kaum durch einen K-Antagonismus in der Kationenaufnahme erklärt werden. Bei einer getrennten Analyse der einzelnen Schritte fällt auf, daß der eben erwähnte Ertragsrückgang bedingt ist durch die Ergebnisse des jeweils ersten Jahresaufwuchses, insbesondere im 3. Versuchsjahr (s. Abb. 1). Die hohe K-Düngung führte in diesem Fall zu einem starken Rückgang der Ca-, Mg- und Na-Anteile (5 – 6 %) an der Kationensumme der Pflanzen (Tab. 6).

Der Ertragsrückgang dürfte damit wenigstens zum Teil durch die starke Abnahme des Ca-Gehaltes bzw. Ca-Anteiles als Folge der verstärkten K-Aufnahme (Luxuskonsum) bedingt sein (K/Ca-Antagonismus).

3.2 K-Bilanz und abschließende Bodenuntersuchung

Die nach konventioneller Art ermittelte Ausnutzung der K-Düngung

$$\frac{\text{Entzug}_K - \text{Entzug}_{K_0}}{\text{Düngung}} \times 100$$

Tabelle 6: Anteil der K^+ -, Na^+ -, Ca^{++} - und Mg^{++} -Ionen an Σ Kationen der Pflanzen und Substanzproduktion des 1. Aufwuchses 1974 in Abhängigkeit von der K-Düngung

	Σ Kationengehalt meq/100 g TS	Anteil %				\emptyset TS-Ertrag dt/ha
		K	Na	Ca	Mg	
K_0	71.1	45	23	18	14	21.7
K_{150}	96.2	67	15	11	7	27.7
K_{300}	97.0	78	8	9	5	37.0
K_{450}	95.0	84	6	5	5	25.8

erreicht in der Variante K_{150} mit 66 % den höchsten Wert und nimmt in den höheren K-Stufen auf 41 % ab (Tab. 7).

Tabelle 7: Ausnutzung der K-Düngung und K-Bilanz (Düngung minus Entzug)

K-Düngung	Ausnutzung %	kg/ha	K-Bilanz mg/100 g B. *
K_0	—	−235	−24
K_{150}	66	−111	−11
K_{300} einmalig	62	+ 44	+ 4
K_{300} 150/150	55	+ 97	+10
K_{450} einmalig	41	+427	+43
K_{450} 150/150/150	45	+379	+38

*) 0 – 8 cm = ca. $1 \cdot 10^6$ kg/ha

Für die niedere K-Düngung, insbesondere jedoch für das Kontrollglied, errechnet sich eine negative K-Bilanz (Düngung minus Entzug) bis zu 235 kg K/ha (K_0), was umgerechnet auf eine 8 cm tiefe Wiesennarbe etwa 24 mg K/100 g Boden entspricht und der K-Nachlieferung dieses Standortes in den drei Versuchsjahren gleichzusetzen ist. Bei den hohen K-Stufen ergeben sich positive Bilanzen von etwa 4 – 10 (K_{300}) bzw. 40 (K_{450}) mg K/100 g Boden.

Die abschließende Bodenuntersuchung im Herbst 1974 zeigt den durch die K-Düngung verbesserten K-Zustand der Grasnarbe mehr ($CaCl_2$ - K_2O) oder weniger (CAL- K_2O) deutlich an (Tab. 8).

Das lactatlösliche Kalium steigt durch die K-Düngung von 7 mg auf 11 mg leicht, das $CaCl_2$ -lösliche K von 0.85 auf 2.60 mg K/100 g Boden deutlich an; die Naßfixierung nimmt dagegen von 88 mg K bis 70 mg K/100 g Boden ab. Auffallend ist der gegen-

Tabelle 8: Bodenuntersuchung am Versuchsende 1974

K-Düngung	Bodentiefe 0 – 8 cm					Bodentiefe 8 – 25 cm				
	pH (CaCl ₂)	mg/100 g Boden				pH	mg/100 g Boden			
		CAL P ₂ O ₅	K ₂ O	CaCl ₂ K ₂ O	Naß-Fix. K		CAL P ₂ O ₅	CaCl ₂ K ₂ O	Naß-Fix. K	
K ₀	7.1	15	7	0.85	88	7.2	4	6	0.65	97
K ₁₅₀	7.1	13	8	1.15	86	7.3	3	6	0.55	97
einmalig K ₃₀₀ 150/150	7.1	12	9	1.75	75	7.3	3	6	0.55	98
	7.1	14	8	1.30	80	7.3	2	6	0.50	96
einmalig K ₄₅₀ 150/150/150	7.1	13	11	2.60	77	7.3	2	6	0.55	96
	7.2	12	11	2.60	70	7.3	2	6	0.55	94

über Versuchsbeginn (Tab. 1) auch in den K-Gliedern (positive K-Bilanz) merkliche Anstieg der K-Naßfixierung (von 65 auf 70 – 80 mg K/100 g Boden). Die Ursache dürfte in erster Linie in der tieferen Probenahme (0 – 8 cm) zum Versuchsende liegen. Die K-Düngung wirkte sich auf die K-Versorgung der Wiesennarbe günstig aus, brachte aber keinerlei Veränderung des K-Zustandes des Unterbodens.

3.3 Wirkung der Na-Düngung auf Trockensubstanzproduktion und Mineralstoffaufnahme

Die Na-Düngung blieb in sämtlichen 3 Versuchsjahren nahezu wirkungslos hinsichtlich des Pflanzenertrages (Tab. 9).

Der geringe Mehrertrag in den K-Stufen K₀ und K₁₅₀ liegt noch innerhalb des Versuchsfehlers, der Minderertrag durch Na-Düngung in der Variante K₃₀₀, der sich in sämtlichen neun Aufwüchsen (1972 – 1974) bestätigte, läßt sich aus den vorhandenen Versuchsergebnissen nicht erklären. Die Ursache für das unbefriedigende Ertragsresultat liegt mit großer Wahrscheinlichkeit in unterschiedlichen Wachstumsvoraussetzungen (Boden und Pflanzenbestand).

Die Na-Düngung (150 kg Na₂O/ha und Jahr) erhöhte durchwegs die Na- und im K₀-Glied auch die K-Entzüge; die K-, Mg- und Ca-Gehalte wurden kaum beeinflußt (Tab. 9). Dagegen bewirkte die K-Düngung meist einen Rückgang der Na-, Mg- und zum Teil auch Ca-Gehalte der Pflanzen. Kalium hat eine stärker verdrängende Wirkung, da für dieses Ion der selektive Mechanismus in der Nährstoffaufnahme größere Bedeutung besitzt (SCHUFFELEN, 1974).

Unabhängig von der K-Düngung führte die Na-Zufuhr zu einem merklichen Anstieg des CaCl₂-löslichen Natriums (durchschnittlich 11.5 mg Na/100 g Boden, Tab. 10).

Die höchsten Na-Gehalte der Reihe „ohne Natrium“ wurden in den hoch mit Kalium gedüngten Varianten ermittelt infolge Zufuhr als Nebenbestandteil (durchschnittlich 4 % Na) des angewandten K-Düngers (50er Kali).

Tabelle 9: Wirkung der Na-Düngung auf Ertrag und K-, Na-Entzüge sowie Mineralstoffgehalte

	TS-Ertrag 1972–74 dt/ha		Entzug (1972–74) – kg/ha					
	o.Na	+Na	K		Na			
	o.Na	+Na	o.Na	+Na	o.Na	+Na		
K ₀	254	263	235	299	49	77		
K ₁₅₀	288	296	484	486	61	75		
K ₃₀₀	331	277	703	586	44	72		
K ₄₅₀	298	298	694	715	52	56		
GD ₅ %	23		49		5			
Mineralstoffgehalte % i. TS (Ø von 9 Schnitten)								
K-Düngung	K		Na		Mg		Ca	
	o.Na	+Na	o.Na	+Na	o.Na	+Na	o.Na	+Na
K ₀	0.91	1.11	0.20	0.29	0.46	0.51	1.18	1.15
K ₁₅₀	1.65	1.61	0.21	0.25	0.42	0.41	1.20	1.04
K ₃₀₀	2.10	2.06	0.14	0.26	0.36	0.34	0.99	1.01
K ₄₅₀	2.33	2.41	0.18	0.19	0.30	0.31	1.02	0.90

Tabelle 10: Na-Gehalt des Bodens zu Versuchsende 1974 (0 – 8 cm Tiefe)

Düngung	mg CaCl ₂ -lösl. Na/100 g Boden	
	o. Natrium	+ Natrium
K ₀	1.0	11.0
K ₁₅₀	2.5	11.0
K ₃₀₀	3.5	12.0
K ₄₅₀	4.7	11.7

4. Wirkung der Düngung auf die Bestandeszusammensetzung

4.1 Einfluß des Aufwuchses

Welchen Einfluß der Aufwuchs auf den Massenanteil der landwirtschaftlichen Arten-
gruppen und Einzelarten ausübt, ist nach der gestellten Versuchsfrage nur von unterge-

Tabelle 11: Botanische Analyse im letzten Versuchsjahr (Massenprozentsschätzung)

Düngung zu Vegetationsbeginn (kg/ha) K ₂ O Versuchsglied Parallele Aufwuchs	0		450		0		150		Einflußgrößen				Verhalten gegen K-Düngung nach MUNZERT ²⁾					
	I ₁		I ₄		II ₁		II ₄		Aufwuchs		Natrium			Kalium				
	a	b	a	b	a	b	a	b	bereinigtes Mittel aus									
	1.	3.	1.	3.	1.	3.	1.	3.	1.	3.	1.	3.	1.	3.	1.	3.	1.	3.
Gräser	32	26	42	45	40	53	60	41	45	56	40	55	47.6	36.5	39.4	48.9	40.6	47.6
Grasartige	1	2	0	0	1	-	1	2	0	0	-	-	0.76	1.3	0.7	0.76	1.1	0.72
Leguminosen	2	2	1	6	2	7	0	0	1	6	6	4	3.6	2.7	3.5	3.1	1.4	2.2
Kräuter	65	70	57	49	57	40	39	57	54	38	54	41	48.2	22.2	22.4	47.4	22.2	47.0
Gräser																		
<i>Poa pratensis</i> agg. ¹⁾	10	1/3	9	5	1/4	6	26	15	9	6	3/5	7	11.7	8.9	6.4	12.3	12.6	6.1
<i>Arrhenatherum elatius</i>	4	4	6	13	6	7	8	4	6	8	5	12	8.1	4.7	6.6	7.4	5.6	8.4
<i>Trisetum flavescens</i>	2	8	4	5	11	4	4	5	3	3	10	4	3.4	8.1	5.6	4.7	4.3	6.1
<i>Alopecurus pratensis</i>	2	1	7	3	10	2	1	7	22	4	3	7.1	1.5	3.8	2.4	3.3	6.9	1.1
<i>Festuca rubra</i>	6	4	4	2	3	8	3	4	5	4	2	2	2.2	3.2	3.5	4.3	3.8	3.0
- pratensis	1	1	3	3	5	7	3	3	4	4	3	7	2.7	3.0	3.3	3.9	2.5	4.8
<i>Poa trivialis</i>	2	2	6	2	2	5	5	1	6	1	1	5	2.5	1.5	3.1	3.1	3.6	2.6
<i>Dactylis glomerata</i>	+ 1	4	2	5	1	1	1	2	3	7	1	5	1.5	2.2	3.0	2.3	0.6	4.6
<i>Bromus mollis</i>	+ 1	1	3	1	1	1	1	2	2	6	1	2	1.2	1.2	0.9	1.8	0.7	2.6
<i>Avenochloa pubescens</i>	4	2	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1.7	1.2	1.8	0.9	1.1	1.1
<i>Holcus lanatus</i>	1	+	+	2	1	1	1	1	1	+	+	2	1.0	0.5	0.7	1.0	0.5	1.2
<i>Agropyron repens</i>	1	+	+	1	2	+	2	2	1	+	+	1	1.2	1.1	0.8	0.9	0.9	0.7
<i>Agrostis cf. gigantea</i>													0.0	0.0	0.0	0.1	-	0.0
<i>Lolium perenne</i>													0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.1
<i>Anthoxanthum odoratum</i>													0.2	-	-	0.0	0.0	-
<i>Deschampsia cespitosa</i>													0.2	-	-	0.2	0.2	-
<i>Lolium multiflorum</i>													0.0	-	-	0.0	-	0.0
Grasartige																		
<i>Carex acutiformis</i>	1	2	+	+	1	1	1	1	+	+	+	2	0.5	1.0	0.7	0.4	0.9	0.2
- hirta													0.0	0.2	0.1	0.2	0.2	0.0
- spicata													0.0	-	0.0	0.0	-	-
Leguminosen																		
<i>Trifolium repens</i>	1	1	+	1	1	3	+	+	1	3	3	2	1.3	1.3	1.2	1.5	0.6	2.1
<i>Lathyrus pratensis</i>	+	1	1	2	1	2	+	+	1	2	1	1	0.8	1.0	1.2	0.7	0.4	1.2
<i>Trifolium pratense</i>	1	+	+	2	1	1	+	+	2	1	1	1	1.2	0.3	0.7	0.7	0.3	1.1
<i>Vicia cracca</i>				+	1	+	+	+	+	+	+	+	0.5	0.1	0.4	0.1	0.1	0.2
<i>Lotus corniculatus</i>													0.0	-	-	0.0	0.0	0.0
Kräuter																		
<i>Plantago lanceolata</i>	36	47	21	18	34	12	25	38	25	17	35	8	23.6	28.0	27.6	24.2	31.5	20.3
<i>Galium album</i>	10	9	13	8	8	5	6	8	5	5	5	9	7.1	7.4	8.7	6.2	8.4	6.6
<i>Taraxacum officinale</i> agg.	5	4	5	3	2	2	4	5	3	1	1	1	3.2	3.0	3.5	2.5	1.8	1.6
<i>Rumex acetosa</i>	2	1	2	2	2	3	1	1	3	3	2	2	2.0	1.5	2.0	2.0	1.2	2.3
<i>Achillea millefolium</i>	+	1	2	3	5	1	+	1	1	2	2	4	1.3	2.2	2.0	1.7	0.9	2.8
<i>Bellis perennis</i>	2	+	2	1	1	2	+	+	3	1	+	2	1.0	0.4	1.3	1.1	1.2	1.2
<i>Cerastium holosteoides</i>	2	+	2	1	+	1	2	+	2	+	+	2	1.3	0.2	1.1	1.1	1.4	0.8
<i>Crepis biennis</i>	2	1	2	1	+	3	1	1	1	1	1	1	1.0	0.3	1.2	0.5	1.0	1.0
<i>Veronica chamaedrys</i>	2	1	1	1	1	1	+	+	2	+	+	0.8	0.5	1.2	0.4	1.0	0.6	
<i>Ranunculus repens</i>	+	+	2	1	1	1	+	1	+	2	2	+	0.6	0.8	0.9	0.9	0.8	0.9
<i>Hieracium spondylium</i>	+	1	1	1	1	+	5	+	+	+	+	+	0.3	0.0	0.2	0.9	0.9	0.3
<i>Pimpinella major</i>	1	1	1	1	1	+	1	+	1	+	+	1	0.5	0.7	0.7	0.4	0.5	0.6
<i>Ajuga reptans</i>	2	1	+	1	+	+	+	+	+	+	+	+	0.7	0.2	0.7	-	0.5	0.2
<i>Rumex obtusifolius</i>	1	1	+	1	+	1	+	+	+	+	+	+	0.3	0.5	0.4	0.2	0.5	0.0
<i>Cirsium oleraceum</i>													0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0
<i>Pastinaca sativa</i>													0.5	-	0.4	0.1	0.1	0.4
<i>Colchicum autumnale</i>	+	+	+	+	+	+	1	+	+	+	+	+	0.3	-	0.1	0.2	0.1	0.2
<i>Lysimachia nummularia</i>	+	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0.1	0.3	0.3	-	0.2	0.1
<i>Capsella bursa-pastoris</i>													0.0	-	0.0	0.1	0.0	0.1
<i>Veronica arvensis</i>													0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
<i>Rumex crispus</i>													0.1	0.0	0.0	0.1	-	0.1
<i>Alochemilla cf. xanthochlora</i>													0.0	0.0	-	0.1	-	0.1
<i>Silene silaus</i>													0.0	0.0	-	0.1	-	0.1
<i>Filipendula ulmaria</i>													0.0	0.0	-	0.1	-	0.1
<i>Lychnis flos-cuculi</i>	+												0.0	-	0.0	-	0.0	-
<i>Glechoma hederacea</i>													0.0	-	0.0	-	0.0	0.0
<i>Plantago major</i>													-	-	-	0.0	0.0	-
- media													-	-	-	0.0	0.0	0.0
<i>Pimpinella saxifraga</i>													0.0	-	-	0.0	-	0.0

- 1) Bei den Aufnahmen des 3. Aufwuchses ist zwischen *Poa pratensis* (vor Schrägrüch) und *Poa angustifolia* (nach Schrägrüch) zu unterscheiden.
- 2) Erklärungen im Text.

ordneter Bedeutung. Durch Unterstreichen sind in Tabelle 11 alle die Anteile hervorgehoben, die wir für regelmäßig und nicht nur zufallsbedingt halten. Rückgang der Gräser und Zunahme der Kräuter zum 2. und 3. Schnitt hin wird allgemein festgestellt (z.B. MUNZERT, 1972). Die Zunahme der Grasartigen dürfte ebenfalls das „Normale“ sein. Dagegen bestehen über die Tendenz der Leguminosen unterschiedliche Auffassungen in der Literatur. Das rasch wachsende *Trifolium repens* reagiert auf die im Frühjahr gegebene Kalium- bzw. Stickstoffdüngung sofort mit Zunahme bzw. Abnahme (Tab. 11, Einzelschätzwerte!), während die Veränderung der übrigen Artengruppen durch ihren Lebenszyklus bedingt ist. Dieser kann besonders bei den Kräutern und Grasartigen nur wenig durch Düngungsmaßnahmen beeinflusst werden.

Alopecurus pratensis nimmt stark ab: Es ist ein sehr frühes, reichblütiges, feuchteliebendes Gras, im 2. und 3. Aufwuchs erscheinen aber meist nur noch Blatttriebe und es mangelt ihm oft an Bodenfeuchte. *Poa trivialis* ist zum 1. Aufwuchs stark fertil, geht im Hochsommer oft wegen Trockenheit zugrunde, wächst zum Herbst oft als Blatttriebfilz nach. *Dactylis* vermehrt seinen Anteil infolge Trockenheitsresistenz. *Trisetum* ist gegenüber *Arrhenatherum* weniger empfindlich gegen Mehrschnitt und hat ein besseres Nachtriebvermögen, woraus entsprechende Verschiebungen im Mengenanteil resultieren. *Deschampsia cespitosa* und *Agrostis gigantea* sind Spätentwickler und nehmen daher zu. *Trifolium pratense* ist gegenüber *T. repens* früher und weniger ausdauernd, er nimmt ab. *Bellis perennis* blüht später nicht mehr, vielleicht ist die Abnahme nur scheinbar. *Crepis biennis* und *Pastinaca sativa* sind zweijährig, sie nehmen bei Dreischnittwiesen vom 1. zum 2. Aufwuchs zu und zum 3. stark ab bzw. fallen bei mangelndem Nachtrieb durch Absterben ganz aus. Ebenso verschwindet die ein- oder zweijährige *Capsella bursa-pastoris* und die winter- und sommerannuelle *Veronica arvensis* (letztere fehlte in den verglichenen Parzellen). Die niedere Rosette der nur zum 1. Aufwuchs blühenden *Lychnis flos-cuculi* wird in späteren Aufwüchsen gern übersehen. *Colchicum* ist nach dem 1. Schnitt bis zum Erscheinen der Blüten im Herbst nicht auszumachen. Das frühblühende *Cerastium holosteoides* war im 1. Aufwuchs stärker vertreten, doch könnte der optische Effekt (Blüte) oder eine andersartige Einstimmung – bei sehr massenarmen Pflanzen läßt sich die wirkliche Masse schwer abschätzen – zu Beginn der zweiten Aufnahmeserie den Unterschied zu kraß erscheinen lassen.

4.2 Einfluß der Natriumdünger

Die Natriumdüngung führte ähnlich wie die Kaliumdüngung zu einer Zunahme der Gräser. Der hohe Massenanteil von *Poa pratensis* agg. (12.3 %) nach Na-Düngung ist aber wesentlich von der *Poa pratensis*-reichen Parzelle II1a bestimmt. Es ist daraus jedoch nicht abzuleiten, daß Na-Düngung zu einer Zunahme von *Poa pratensis* führe, oder K-Düngung zu einer Abnahme. Ähnliches gilt für *Alopecurus pratensis* (II4a1.: außergewöhnlich hoher Massenanteil). In diesen Fällen wäre ein Vergleich mit dem Parzellenbestand vor Versuchsbeginn aufschlußreicher gewesen. Eine Zunahme von *Bromus mollis*, eine Abnahme von *Avenochloa pubescens* dürfte aber gesichert sein. Wenn *Lolium perenne* auf der Versuchsfläche nicht zu selten wäre, würde sein Massenanteil eine Zunahme zeigen und eine positive Ertragswirkung bzw. Qualitätsbeeinflussung durch Natrium erzielt worden sein.

Im Gegensatz zur K-Düngung führte die Na-Düngung nicht zu einer Zunahme der Leguminosen. Die *Trifolium*-Arten verhielten sich indifferent, die rankenden Vertreter, nämlich *Lathyrus pratensis* und *Vicia cracca*, gingen sogar zurück.

Die Kräuteranteile nahmen durch Na-Düngung ebenso wie durch K-Düngung ab. Der Rückgang ist in unserem Versuch bei *Crepis biennis*, *Veronica chamaedrys*, *Ajuga reptans* und *Lysimachia nummularia* am auffälligsten. Die Abnahme von *Plantago lanceolata*, *Galium album* und *Rumex acetosa* entspricht dem allgemeinen Rückgang der Kräuter. Höhere Massenanteile einzelner Kräuter auf den Na-Parzellen erweisen sich meist nur als zufallsbedingt, z.B. *Heracleum sphondylium* (auf II1b 5 %); lediglich das tolerante *Taraxacum officinale* hat erwartungsgemäß zugenommen. Die verabfolgte Salzmenge reicht nicht aus, um schon nach 3 Jahren generell den salzertragenden Pflanzenarten entscheidende Konkurrenzvorteile gegenüber den salzmeidenden (Glycophyten) zu verschaffen.

4.3 Einfluß der Kaliumdüngung

Über die Wirkung der Kaliumdünger auf die Bestandeszusammensetzung liegen Erfahrungen von mehreren Grünlandversuchsflächen der Umgebung Weißenstephans vor (MUNZERT, 1972). Es ist aber zu bedenken, daß die Reaktion einzelner Arten auf K-Düngung in der Intensität und manchmal auch in der Richtung auf dieser oder jener Versuchsfläche einmal abweichen kann. In der letzten Spalte von Tabelle 11 haben wir die Ergebnisse von MUNZERT beigeschrieben. Es bedeuten: 0 = Pflanzenart verhält sich indifferent, 1 = wird gefördert, 2 = wird stark gefördert, -1 = nimmt ab, -2 = nimmt stark ab (Einzelheiten s. MUNZERT, 1972, S. 78 – 81).

Von den Gräsern zeigen, in voller Übereinstimmung mit MUNZERT (1972) die Magerkeitszeiger *Festuca rubra*, *Anthoxanthum odoratum* und *Deschampsia cespitosa* bei Kaliumdüngung einen Rückgang, *Arrhenatherum*, *Dactylis* und *Bromus mollis* Zunahmen ihres Ertragsanteiles. *Festuca pratensis*, *Holcus lanatus* und auch *Trisetum flavescens*, denen MUNZERT Indifferenz zuschreibt, haben ebenfalls zugenommen.

Die *Carex*-Arten haben alle abgenommen, die Leguminosen bis auf den nur spurenweise vorhandenen *Lotus corniculatus* ihre Anteile nachweisbar stark erhöht.

Von den Kräutern nahmen besonders Magerkeitszeiger und Niederliegende, wie *Plantago lanceolata*, *Rumex acetosa*, *Cerastium holosteoides*, *Ajuga reptans* und *Lysimachia nummularia* ab. *Taraxacum officinale*, *Achillea millefolium* und *Pastinaca sativa* haben zugenommen. Bei *Heracleum* und *Rumex obtusifolius* bestehen scheinbare Widersprüche, die durch Zufälligkeiten in unserem Material verursacht wurden. Ein wirklich abweichendes Ergebnis könnte bei *Ranunculus acris* vorliegen.

Da der Massenanteil der Pflanzenarten am Bestand über die Konkurrenz gesteuert wird und komplizierte Interaktionen mit anderen Nährstoffen, der Wasserversorgung, den Bewirtschaftungsmaßnahmen usw. bestehen, liegt ein unterschiedliches Verhalten je nach den vorhandenen Konkurrenten und den sonstigen ökologischen Faktoren auf der Hand. Ohne nähere Bestimmungen können unsere Aussagen über die Düngungsreaktionen deshalb nur grobe Anhaltspunkte sein. Viele Arten haben ein Maximum bei

mittieren Düngungsintensitäten (physiologisches Optimum). Mit der Steigerung der Düngungsintensität nimmt zum Beispiel der Anteil von *Holcus lanatus* meist zu und schließlich wieder ab.

5. Diskussion

Im Gegensatz zur ackerbaulichen Nutzung, bei der auf stark fixierenden Böden ein Vielfaches des Pflanzenentzuges gedüngt werden muß, um optimale Erträge zu erzielen – insbesondere in den ersten 5 – 10 Nutzungsjahren nach Grünlandumbbruch – reicht auf dem Grünland bereits eine Entzugsdüngung für eine wirtschaftliche Nutzung dieser „K-Problemstandorte“ aus. Der Hauptwurzelraum der Ackerfrüchte liegt etwa zwischen 0 – 40 cm Tiefe, wobei die Nährstoffe überwiegend aus der Bodenkrumme (0 – 30 cm) aufgenommen werden (Nährstoffanreicherung). Die K-Düngung wird durch ständige ackerbauliche Bearbeitung in den Krümenbereich eingemischt und dort sehr schnell (in Abhängigkeit vom Feuchtezustand) in eine nicht oder nur schwer austauschbare Form überführt. Das Grünland weist weit bessere Voraussetzungen für eine gute Nährstoffdynamik auf, da sich der größte Teil des Nährstoffumsatzes in der Narbe abspielt. Die sehr starke Durchwurzelungsintensität dieser Schicht bewirkt ein gutes Aneignungsvermögen für Düngernährstoffe und macht die Pflanzen weitgehend unabhängig von dem Nährstoffangebot des Unterbodens. Der „Wurzelfilz“ bedingt kurze Diffusionswege für Nährstoffe (K, P u.a.) und begünstigt damit die Nährstoffaufnahme. Der gegenüber der Ackerkrume meist sehr viel höhere Gehalt an organischer Substanz gewährleistet eine hohe biologische Aktivität; biologische Abbauprozesse setzen niedermolekulare organische Verbindungen (z.B. organ. Säuren wie Aminosäuren etc.) und u.a. auch Ammoniumionen frei, die ihrerseits das Fixierungsvermögen aufgeweiteter Tonkolloide verringern (s. NIEDERBUDDE und FISCHER, 1974). Es ist bekannt, daß NH_4^+ - und K^+ -Ionen um selektive Bindungsstellen an den Zwischenschichten von Tonmineralen konkurrieren. Nach Arbeiten von TUCKER (1967) können Aminosäuren durch selektive Sorption an Illiten die K-Mobilität im Boden erhöhen, insbesondere bei höherem Protonenangebot, z.B. nach Nitrifikationsvorgängen bzw. katalytischer Oxidation von Aminosäuren (THOMSON und TSUNASHINA, 1973, NIEDERBUDDE et al., 1977). Diese Gegebenheiten der Wiesennarbe tragen folglich zu einer merklichen Verbesserung der K-Dynamik, insbesondere auf K-fixierenden Böden, bei. Der Abbau der organischen Substanz (Wurzelreste etc.) bewirkt ferner auch eine unmittelbare Freisetzung von Kalium aus den pflanzlichen Zellen und stellt eine fließende K-Quelle dar. Der Grünlandbestand besitzt noch ein zusätzliches Regulativ, sich durch Änderung der Pflanzenbestandszusammensetzung an unterschiedliche ökologische Verhältnisse anzupassen.

Auf die Besonderheiten der K-Dynamik der Wiesennarbe auf K-fixierendem Boden wurde bereits früher hingewiesen. Zu Versuchsbeginn wurden in der Narbe in 0 – 7 cm Tiefe 65 mg K/100 g Boden Naßfixierung ermittelt; trotzdem lag der Gehalt an CAL-austauschbarem K noch bei 15 mg K_2O /100 g Boden. Die jährliche Nachlieferung der Nullvariante liegt mit 80 kg K/ha auf beachtlichem Niveau, ebenso die Ertragsleistung von K_0 mit ca. 90 dt TS/ha (\emptyset K-Gehalt 0.95 % K in TS).

Der durch die K-Düngung bedingte starke Anstieg der K-Gehalte in den Pflanzen weist auf gute K-Mobilität in der Grasnarbe hin; die Ca-, Mg- und Na-Gehalte des Aufwuchses nahmen durch die K-Düngung ab. Da damit in den wenigsten Fällen ein Ertragsrückgang verbunden war, dürfte es sich im wesentlichen um eine unspezifische Verdrängung dieser Kationen in der Nährstoffaufnahme durch K handeln (s. GUTSER et al., 1978); in den hoch mit K gedüngten Pflanzen wurden noch Gehalte von 0.8 – 1.1 % Ca bzw. 0.25 % Mg in TS ermittelt (hohes Ca- und Mg-Angebot des Bodens). Die Na-Gehalte fielen bis auf 0.1 %.

Die Na-Düngung (NaCl) blieb ohne Wirkung auf den Wiesenertrag, erhöhte jedoch die Na-Gehalte im Aufwuchs. Mit der K-Düngung (50er Kali) wurden offensichtlich ausreichende Mengen an Na für eine optimale Ertragsbildung zugeführt (bis 5 mg CaCl_2 -lösliches Na/100 g Boden). GUTSER und TEICHER (1973) haben einen guten Na-Effekt zu Weidelgras (Gefäßversuch) beschrieben. Es ist bekannt (SAALBACH und AIGNER, 1970), daß Na in erster Linie das Wachstum intensiver Gräser, wie Weidelgras und Knautgras, weniger jedoch die Ertragsleistung der Kleearten (wie Weißklee) und Kräuter erhöht.

Im Feldversuch (Kohldistel-Glatthaferwiese) kommt der Wachstumsschub, den das zu Vegetationsbeginn gegebene Viehsalz auslöst, in einem hohen Ertragsanteil der Gräser im 1. Aufwuchs zum Ausdruck; im Mittel von je 4 Parzellen betrug der Grasanteil 54 % (mit Na) gegenüber 43 % (ohne Na). Im 3. Aufwuchs sind die Grasanteile der Na-versorgten Varianten nicht mehr wesentlich erhöht. Die Leguminosenprozentage der Na-Parzellen sind, besonders bei fehlendem Kalium, niedriger als auf den Na-freien Parzellen. Die Kräuteranteile der Na-Parzellen sind um 14 % (ohne K) bzw. um 5 % ($450 \text{ kg K}_2\text{O}$) erniedrigt.

Die in unserem Versuch gefundene Wirkung der K-Düngung auf die Bestandszusammensetzung der Wiesenarabe stimmt mit denen von MUNZERT (1972) gut überein. Graduelle Unterschiede dürfen aus den wenigen Bestandsaufnahmen dieses einen Versuches freilich nicht herausgelesen werden.

6. Zusammenfassung

In einem dreijährigen Feldversuch zu einer dreischnittigen Kohldistel-Glatthaferwiese auf einem stark K-fixierenden Standort der Amperaue nordöstlich Freising wurde die Wirkung einer K-Steigerung (50er Kali) mit und ohne Na-Düngung (NaCl) auf Ertrag und Kationenaufnahme sowie Veränderung der botanischen Zusammensetzung der Wiesenarabe geprüft. Die K-Düngung brachte einen deutlichen Ertragsanstieg. Mit einer etwa dem Entzugsniveau entsprechenden K-Düngung wurde bereits der höchste Ertrag erreicht. Die K-Düngung zeigte damit auf Grünland eine deutlich bessere Wirkung als zu Ackerfrüchten ähnlicher Standorte, auf denen für optimale Erträge das 3- bis 5-fache der Pflanzenentzüge zugeführt werden muß. Die gute Wirkung des Düngerkaliums wird auf die günstige Nährstoffmobilität in der Grünlandnarbe zurückgeführt. Die K-Nachlieferung auf der K_0 -Parzelle erreichte $100 \text{ kg K}_2\text{O/ha}$ und Jahr.

Die zusätzliche Na-Düngung erhöhte lediglich die Na-Gehalte der Pflanzen. Für die Ertragsleistung erwies sich das native Na zusammen mit dem über das Düngerkalium (50er Kali) als Nebenbestandteil zugeführten Na als ausreichend.

Die K-Düngung förderte den Anteil der Gräser und insbesondere der Leguminosen, die Grasartigen nahmen ab. Die Na-Zufuhr begünstigte deutlich den Massenanteil der Gräser, insbesondere unmittelbar nach Applikation (1. Aufwuchs), der Anteil der Grasartigen blieb nahezu unbeeinflusst, der der Leguminosen ging etwas zurück.

Summary

Effect of K and Na fertilization of a three-cut meadow on a K-fixing soil

In a three-years field experiment on a three-cut *Cirsio-Arrhenatheretum* meadow on a strongly K-fixing riverside soil in the Amper valley north-east of Freising the effects of increasing potash dressings (50 % K_2O) with and without Na fertilizer (NaCl) on yield, cation uptake and changes in the botanical composition of the meadow sward were examined. K fertilizer application caused a marked yield increase. The highest yield was obtained already if potassium was applied at a level corresponding to K uptake. Consequently K fertilization was more efficient on grassland than with arable crops on similar sites which, for producing optimum yields, require fertilizer quantities 3 – 5 times as high as the uptake by plants. The good effect of fertilizer potassium is attributed to the favourable nutrient mobility in the grassland sod. K release on the K_0 plot amounted to 100 kg K_2O/ha per year.

K fertilization increased the proportions of grasses and particularly of legumes, while the Cyperaceae diminished. Na supply distinctly favoured the yield proportion of the grasses, in particular immediately after Na application (first growth); the proportion of Cyperaceae remained almost unchanged, and the legumes were slightly reduced.

7. Literatur

1. AMBERGER, A. und BURKART, K., 1977a: Bayer. Landw. Jahrb. 54, 493.
2. AMBERGER, A. und BURKART, K., 1977b: Dtsch. Zuckerrüben-Zeitschr. 13, Nr. 3.
3. AMBERGER, A., GUTSER, R. und TEICHER, K., 1974: Plant and Soil 40, 269.
4. BAUMEISTER, W., 1960: Das Natrium als Pflanzenfremdstoff. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
5. BURKART, K., 1975: Kaliumdynamik und Ertragsbildung Kalium-fixierender Böden Südbayerns. Diss. TU München-Weihenstephan.
6. BURKART, K., ZSCHEISCHLER, J. und DIEZ, T., 1976: Mais 4, 23.
7. GUTSER, R. und TEICHER, K., 1973: Landw. Forsch. 28/I., 166.
8. GUTSER, R., BURKART, K. und AMBERGER, A., 1978: Z. Acker- u. Pflanzenbau, 146, 249.
9. MUNZERT, M., 1972: Zur Methodik der quantitativen floristischen Auswertung von Grünlandversuchen. Diss. TU München-Weihenstephan.
10. NIEDERBUDE, E.A. und FISCHER, W.R., 1974: Z. Pflanzenernährg. Bodenkunde 137, 6.

11. NIEDERBUDDE, E.A., BECHER, H.H. und SCHÖN, M., 1977: Landw. Forsch. 30, 29.
12. SAALBACH, E. und AIGNER, H., 1970: Landw. Forsch. 23, 264.
13. SCHUFFELEN, A.C., 1974: Neth. J. agric. Sci. 22, 237.
14. THOMSON, Th.D. und TSUNASHINE, A., 1973: Clay and Clay Minerals 21, 351.
15. TUCKER, B.M., 1967: Austral. J. Soil Res. 5, 173.

Wir danken den Herren F. MÄDEL und R. MANHART für die technische Mithilfe an der Durchführung dieses Grünlandversuches.

Manuskript eingesandt am 26. 6. 78.

Anschriften der Autoren: Dr. R. Gutser, Lehrstuhl für Pflanzenernährung der TU München-Weihenstephan, 8050 Freising

Prof. Dr. H. Vollrath, Hessische Lehr- und Forschungsanstalt für Grünlandwirtschaft und Futterbau, Schloß Eichhof, 6430 Bad Hersfeld

Univ.-Doz. Dr. W. Kühbauch, Lehrstuhl für Grünlandlehre der TU München-Weihenstephan, 8050 Freising