

Bd. 26 (1973) SH. 28/1.

18

SONDERDRUCK

aus

28/I. SONDERHEFT

zur Zeitschrift »Landwirtschaftliche Forschung«
zugleich Zeitschrift des Verbandes Landwirtschaftlicher
Untersuchungs- und Forschungsanstalten

Herausgegeben von: H. Kick, Bonn; H.-J. Oslage, Braunschweig-Völkenrode; U. Ruge, Hamburg;
F. Scheffer, Göttingen; E. Schlichting, Stuttgart-Hohenheim; L. Schmitt, Darmstadt; W. Wöhlbier, Stuttgart-Hohenheim

**Stand und Leistung
agrikulturchemischer und
agrarbiologischer Forschung
XXIV**

Vorträge
gehalten auf der Jahrestagung des VDLUFA
in Mainz am Rhein
18. - 23. September 1972



J. D. SAUERLÄNDER'S VERLAG, FRANKFURT AM MAIN

Wechselwirkung zwischen Kalium und Natrium auf kaliumfixierendem Boden

(Aus dem Institut für Pflanzenernährung der Technischen Universität München-Weihenstephan;
Dir.: Prof. Dr. A. AMBERGER
und der Bayerischen Hauptversuchsanstalt für Landwirtschaft Freising-Weihenstephan)

Von R. GUTSER*) und K. TEICHER**)

Die Beweglichkeit des Nährelementes Kalium ist auf stärker kaliumfixierenden Böden gering; die Kaliumfestlegung überwiegt die Kaliumnachlieferung. Ein optimales Pflanzenwachstum ist in der Regel nur durch stark erhöhte Kaliumdüngung zu erreichen. Fixierungsvorgänge laufen unter Gefäßversuchsbedingungen sehr schnell ab, so daß Kalium (einmalig hohe Gaben bis zu 15 g K / 10 kg Boden) bereits nach wenigen Wochen nur noch zu einem ganz geringen Anteil ammoniumaustauschbar ist (1).

Es ist bekannt, daß Natrium das Kalium in unspezifischen Funktionen ersetzen kann (2, 3, 4). Nach BAUMEISTER (3) ist Kalium für die Eiweißsynthese unentbehrlich, hinsichtlich der CO₂-Assimilation ist jedoch ein weitgehender Ersatz des Kaliums durch Natrium möglich. Nach MARSCHNER (4) vermag Natrium in natrophilen Pflanzen das Kalium in dessen Funktion als Aktivator von Enzymen und in seiner Bedeutung bei der Photosphorylierung wenigstens teilweise zu ersetzen. Kalium und Natrium können sich in ihrer Wirkung nicht nur vertreten, sondern auch ergänzen; MARSCHNER (4) führt dies auf die Existenz von Isoenzymen zurück. Die Natriumaufnahme und das Ausmaß des Ersatzes von Kalium durch Natrium hängt entscheidend von der Pflanzenart ab (4, 5, 6).

Die schlechte Kaliumbeweglichkeit einerseits, sowie die in Abhängigkeit von der Pflanzenart mehr oder weniger starke Substitutionswirkung von Natrium gegenüber Kalium andererseits, führte uns dazu, die Wechselwirkung zwischen Kalium und Natrium auf einem stark kaliumfixierendem Boden näher zu untersuchen.

Versuchsdurchführung

In einem 2-jährigen Gefäßversuch auf stark kaliumfixierendem Boden wurde die Wirkung steigender Kalium- und Natriumgaben auf Pflanze und Boden geprüft.

Versuchsboden: lehmiger Ton aus den Isarauen bei Landshut/Ndb.

48 % Ton (< 2 μ)	21 % Feinsand (20 - 200 μ)
30 % Schluff (2 - 20 μ)	1 % Grobsand (> 200 μ)
org. Substanz: 7,9 %	CaCO ₃ (SCHEBLER): 0,15 %
pH(CaCl ₂) = 6,1	DL: P ₂ O ₅ 4 mg
	K ₂ O 3 mg } 100 g Boden

K-Naßfixierung: 78 mg K / 100 g Boden

(Verbandsmethode: pro 100 g Boden werden 100 mg K angeboten; Bestimmung des austauschbaren Kaliums in 0,5 M Ammoniumacetatlösung)

Bodengewicht/Ahrgefäß: 10 kg

Versuchsfrucht:

1970 Persischer Klee

1971 Deutsches Weidelgras (Odenwälder)

Versuchsplan: NP-Düngung optimal

Faktor I: K₀ K₁ K₂ K₄

Faktor II: Na₀ Na₁ Na₂

K₁: 2,5 g K (1970, 1971)

Na₁: 1,0 g Na (1970); 0,5 g Na (1971)

*) Dr. R. GUTSER, Institut für Pflanzenernährung der TU München-Weihenstephan, 8050 Freising.

**) Dr. K. TEICHER, Bayer. Hauptversuchsanstalt für Landwirtschaft Freising-Weihenstephan, 8050 Freising.

Düngerform: 1970: KCl, NaCl 1971: K₂SO₄, Na₂SO₄
 Die K- und Na-Düngung wurde vor der Aussaat zum Boden gemischt.

Ergebnisse mit Diskussion

1. Wirkung einer Kalium- und Natriumdüngung auf Pflanzen

Im 1. Versuchsjahr bringt die Kaliumdüngung zu Persischem Klee keine Wirkung auf die Ertragsbildung (Abbildung 1). Wir führen dieses Ergebnis auf die hohe Chloridkonzentration (bis zu 4 bis 6 ‰ Cl i. Tr. S.) — Düngung in Form von Chloriden — und dadurch hervorgerufene Chloridschäden in der Pflanze zurück. Lediglich die einfache Natriumgabe bewirkt eine geringfügige Erhöhung der Trockensubstanzproduktion, die jedoch noch innerhalb des Versuchsfehlers liegt.

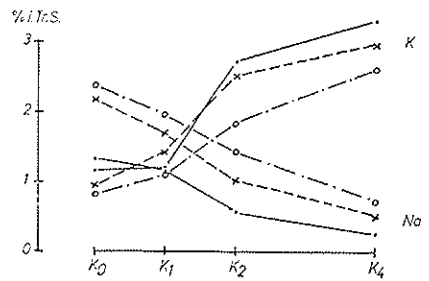
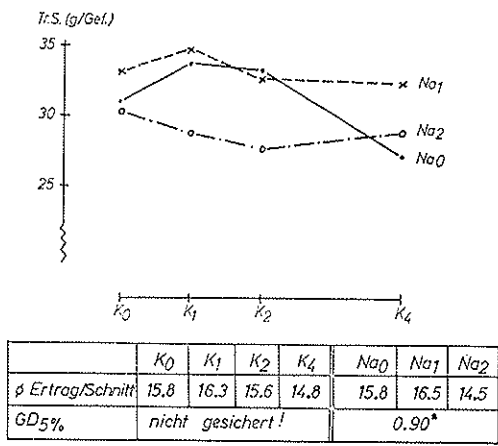


Abb. 1
 Trockensubstanzproduktion (Σ) und
 K-, Na-Gehalte von Persischem Klee
 (1970, 1. Schnitt)

Die Kalium- und Natriumgehalte im Erntematerial werden jedoch deutlich verändert, woraus größere Unterschiede in der Ionenaufnahme resultieren. Aus dem Verlauf der Kurven wird der Aufnahmeantagonismus zwischen Natrium und Kalium ersichtlich.

Weidelgras bringt im 2. Versuchsjahr (Abbildung 2) hoch signifikante Mehrerträge sowohl durch die Kalium- als auch durch die Natriumdüngung (Düngerform: Sulfate). Damit werden Ergebnisse von SAALBACH (6) bestätigt, der ebenfalls ein verbessertes Wachstum von Weidelgras durch Natriumdüngung feststellte. Die Kombination K₂Na₂ bringt annähernd den gleichen Ertrag wie K₄ allein, woraus die Substitutionswirkung von Natrium deutlich zum Ausdruck kommt. Steigende Kaliumgaben verringern den Effekt

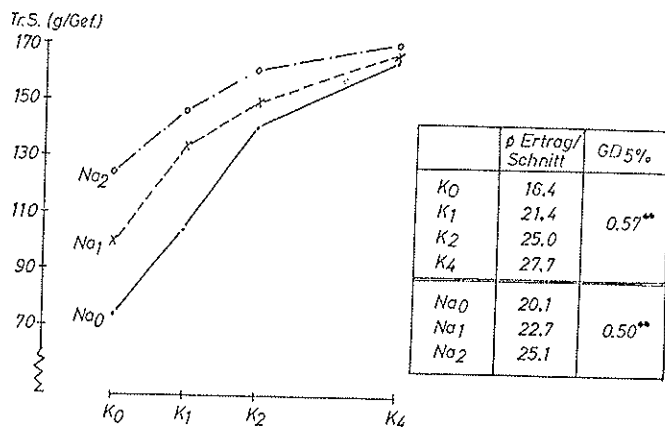


Abb. 2
Trockensubstanz-
produktion (Σ)
von Weidelgras
1971 (6 Schnitte)

der Natriumdüngung und umgekehrt (Tabelle 1). Die stark gezeichnete Kurve der Abbildung 3 gibt den Verlauf der durchschnittlichen Kationengehalte von Weidelgras (6 Schnitte) in Abhängigkeit von der Kaliumsteigerung wieder. In den verschiedenen gekennzeichneten Säulen wird die Streubreite der Kationengehalte für jede Natriumstufe getrennt abgebildet. Die Kaliumsteigerung bewirkt eine starke Zunahme der Kaliumgehalte; die Natriumgehalte nehmen deutlich ab; die Magnesium- und Calciumgehalte werden zwar ebenfalls verringert, jedoch im Vergleich zur Höhe der Kaliumdüngung nur in verhältnismäßig geringem Umfang. Die Ursache für diese nur geringfügige Veränderung der Magnesium- und Calciumgehalte läßt sich aus den Ergebnissen der Bodenuntersuchung später erklären. In den niederen K-Stufen führt die Natriumdüngung zu einem offensichtlichen Rückgang der Kalium-, Calcium- und Magnesium-Gehalte. Es sei besonders auf das gute Natriumaneignungsvermögen von Weidelgras hingewiesen. Die Natriumgehalte erreichen Werte bis zu 2,2 % in der Trockensubstanz.

Tab. 1

Mehrerträge durch Na- und K-Düngung auf unterschiedlichem K- bzw. Na-Düngungsniveau (Weidelgras 1971)

K-Stufe	Mehrertrag durch Na-Düngung %	Na-Stufe	Mehrertrag durch K-Düngung %
K ₀	54	Na ₀	88
K ₁	35	Na ₁	51
K ₂	11	Na ₂	29
K ₄	2		

Die Kalium- und Natriumdüngung führt erwartungsgemäß zu einer starken Aufnahme von Kalium und Natrium (Tabelle 2). Auf niederem Kaliumniveau erhöht die Natriumdüngung die Kaliumaufnahme (höhere Ertragsbildung), in den beiden hohen K-Stufen wird letztere durch die Natriumsteigerung etwas verringert (Antagonismus). Die Natriumaufnahme wird durch geringe Kaliumgaben schwach erhöht bzw. wenig beeinflusst; die hohe Kaliumgabe führt jedoch zu einem starken Rückgang der Natriumaufnahme. Damit werden Ergebnisse von PFLÜGER (7) bestätigt. Die Magnesium- und Calciumaufnahme wird trotz etwas geringerer Gehalte in den Pflanzen (Verdünnungseffekt) infolge der

höheren Trockensubstanzbildung nicht wesentlich verändert; der durch die hohe Kalium- und Natriumdüngung zu erwartende Rückgang der Magnesium- und Calciumaufnahme bleibt unter den Bedingungen dieses Bodens (siehe später) aus.

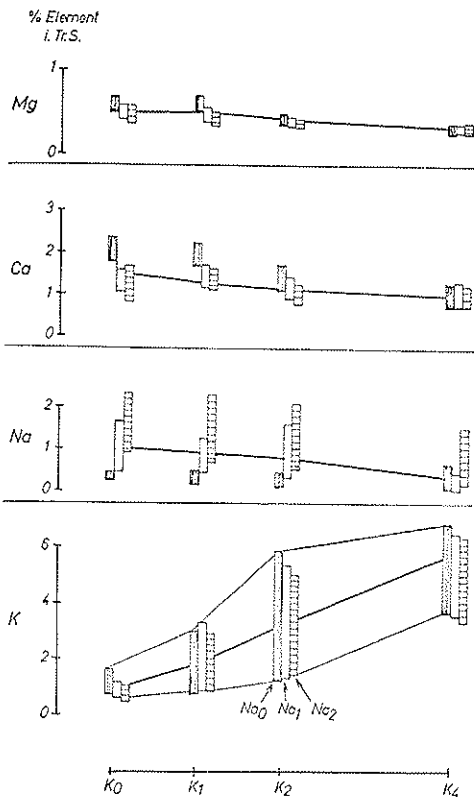


Abb. 3
Veränderung der Kationengehalte
in Weidelgrass 1971
(Streuweite in 6 Schnitten)

Tab. 2
Kationenaufnahme (K, Na, Ca, Mg) von Weidelgrass 1971 (6 Schnitte)
(mg Element/Gefäß)

Element	Düngung	Düngung			
		K ₀	K ₁	K ₂	K ₄
K	Na ₀	705	1718	4649	9478
Na		245	250	276	278
Ca		1374	1615	1668	1565
Mg		390	564	560	446
K	Na ₁	870	2545	4443	9161
Na		922	1115	1251	291
Ca		1234	1455	1568	1566
Mg		457	595	562	460
K	Na ₂	1000	2394	4331	9093
Na		2114	2010	1953	787
Ca		1505	1443	1604	1609
Mg		525	597	596	482

2. Wirkung einer Kalium- und Natriumdüngung auf den Boden

Aus einer Röntgenanalyse^{*)} zu Versuchsbeginn konnte entnommen werden, daß der Versuchsboden einen hohen Anteil an 14 Å-Mineralien, also aufgeweiteten Illiten aufweist.

Am Ende des 2. Versuchsjahres wurde die Auswirkung der Kalium- und Natriumdüngung auf den Boden geprüft (K-Fixierung, Sorptionsverhältnisse, Kationen im Wasserauszug, DL- und austauschbares Kalium, pH-Wert).

Die Aufweitung der fixierenden Tonminerale geht durch die Zufuhr von Kalium zurück. Das Naßfixierungsvermögen nimmt innerhalb von 2 Jahren von 85 auf 64 mg K / 100 g Boden ab (Tabelle 3).

Tab. 3
Auswirkung einer K-Na-Steigerung auf K-Fixierung, Sorptionsverhältnisse, Kationen im Wasserauszug sowie pH-Wert
(Mittelwerte)

	K ₀	K ₁	K ₂	K ₄	Φ
<i>K-Naßfixierung:</i>					
ohne Na (mg K/100 g B.)	81	78	62	61	70
+ Na	87	78	70	66	75
Φ	85	78	67	64	
<i>austauschbare Kationen:</i>					
K (mval/100 g B.)	0,09	0,10	0,10	0,10	
Na	0,08	0,11	0,19	1,15	
Ca	37,0	37,6	34,9	29,8	
Mg	4,3	4,2	4,4	5,1	
T-Wert:	41,9	41,9	39,6	36,1	
<i>Kationen % am T-Wert:</i>					
K (%)	0,21	0,23	0,25	0,27	
Na	0,19	0,26	0,48	3,20	
Ca	88,3	89,7	88,1	82,5	
Mg	10,3	10,0	11,1	14,1	
V %	99	100	100	100	
<i>Kationen im Wasserauszug:</i>					
Ca (mg/100 g B.)	17,4	37,9	67,2	119,1	
Mg	2,1	4,2	7,6	13,9	
Na	0,5	1,3	4,5	27,7	
pH (CaCl ₂):	5,9	5,7	5,6	5,55	
pH (CaCl ₂):	Na ₀	5,8			
	Na ₁	5,7			
	Na ₂	5,6			

Es ist interessant, festzustellen, daß sich die Natriumdüngung in einer geringfügigen Erhöhung der Kaliumnaßfixierung auswirkt. Die Erklärung dürfte in einer Veränderung des Aggregatzustandes des Bodens durch Natrium zu suchen sein. Natrium bewirkt eine Peptisation im Boden und erhöht dadurch die wirksame Oberfläche der Bodenkolloide und folglich auch die Zugänglichkeit aufgeweiteter Zwischenschichten für Kalium. Auch WIKLANDER (8) berichtete von einer Zunahme der Kaliumfixierung von Biotit und Illit durch eine Behandlung mit NaCl-Lösung.

^{*)} Diese Röntgenanalyse wurde uns dankenswerterweise von der Landwirtschaftlichen Forschungsanstalt Büntehof, Hannover-Kirchrode durchgeführt.

Die durch Kaliumzufuhr hervorgerufene Kontraktion der Minerale und Verringerung des Basisabstandes führt zwangsläufig zu einem Rückgang der Austauschkapazität (bis zu 5,8 mval/100 g Boden). Die nach MEHLICH austauschbaren Kaliumionen werden durch die Kaliumsteigerung nicht beeinflusst; fixiertes Kalium wird durch diese Methode nicht erfaßt. Die Natriumsorption nimmt zu. Höhere Kaliumgaben verringern die Natriumaufnahme durch die Pflanze; die daraus resultierenden höheren Natriumgehalte in der Bodenlösung führen zu einer Zunahme der Natriumsättigung (Sorptionsantagonismus zum Calcium). Die Calciumsorption geht sehr deutlich zurück, nicht aber die Calciumsättigung. Das eine selektive Bindung eingehende Kalium verdrängt in erster Linie Calcium aus den Zwischenschichten. Da zugleich die Sorptionskapazität abnimmt, geht dieser Calciumaustausch nicht auf Kosten der Calciumsättigung nach MEHLICH. Die Magnesiumsorption bzw. Magnesiumsättigung erhöht sich geringfügig. Die Kaliumsteigerung hat keinen Einfluß auf die Basensättigung. Letztere liegt bei 100 %, da lediglich T-Wert und austauschbare Kationen (Na, K, Ca, Mg) analytisch bestimmt wurden. Eine gesonderte Ermittlung der austauschbaren Wasserstoffionen erfolgte nicht, da diese Bestimmung wegen des Vorhandenseins von freien Carbonaten (Muschelreste) mit größeren Fehlern behaftet sein dürfte.

Aus dem Pflanzenversuch geht hervor, daß hohe Kalium- und Natriumdüngung die Calcium- und Magnesiumgehalte im Weidelgras nur verhältnismäßig wenig verringern. Dieses Ergebnis wird verständlich, wenn man die Veränderung des wasserlöslichen Calciums und Magnesiums im Boden in Abhängigkeit von der Kaliumdüngung betrachtet. Der starke Anstieg von Calcium und Magnesium in der Bodenlösung, bedingt durch Verdrängung von Calcium- und Magnesiumionen durch Kaliumionen aus den Zwischenschichten der aufgeweiteten Tonminerale, ist dafür verantwortlich zu machen, daß sich das hohe Angebot an Kalium und Natrium nicht einseitig in einer Verringerung der Calcium- und Magnesiumaufnahme durch die Pflanze (Aufnahmeantagonismus) auswirkt. Die Wasserstoffionenkonzentration im Boden nimmt durch die Kaliumdüngung, in geringerem Umfang auch durch die Natriumdüngung zu. Die Abnahme des pH-Wertes dürfte zweierlei Ursachen haben:

a) Kalium bewirkt neben anderem auch einen Ersatz von H_3O^+ -Ionen in den Zwischenschichten. Nach SCHACHTSCHABEL (9) ist an den Basisflächen die Bindungsstärke von H_3O^+ geringer als z. B. an den Seitenflächen der Tonminerale und deshalb eine Verdrängung durchaus möglich.

Tab. 4
DL- und austauschbares Kalium — Kaliumbilanz

	K ₀	K ₁	K ₂	K ₄
Pflanzenenertrag (g Tr.S. / Gef.)	103	138	174	191
Pflanzenentzug (mg K / Gef.)	1132	2584	5130	10192
DL-Kalium	4	4	4	4
NH ₄ -austauschb. Kalium	5	5	6	6
austauschb. Kalium (Mehlich)	3,5	4	4	4
} (mg K / 100 g B.)				
Bilanz (mg K / 100 g B.):				
1. Düngung	0	50	100	200
2. Pflanzenentzug	11	26	51	102
3. Düngerrest	-11	24	49	98
4. Anstieg austauschb. K			1	1
5. Rückgang der K-Naifixierung		7	18	21
3 - 4 - 5		17	30	76

b) Das hohe Angebot an Kationen (Kalium, Natrium) führt zu einer höheren Kationenaufnahme der Pflanzen im Vergleich zur Anionenaufnahme. Der Kationen/Anionen-Quotient in Pflanzen ist etwas größer als 1. Die Pflanze gibt folglich vermehrt Wasserstoffionen an den Boden ab.

Die Kaliumdüngung bewirkt eine deutliche Zunahme des Pflanzenertrages sowie der Kaliumaufnahme (Tabelle 4). Die Werte des DL-Kaliums sowie des NH_4^{++} - und Ba^{++} - (MEHLICH)-austauschbaren Kaliums liegen auf etwa gleicher Höhe und werden durch die Kaliumdüngung nicht verändert. Aus an unserem Institut laufenden Versuchen zur Kaliumfixierung ist bekannt, daß Düngerkalium auf diesem extrem fixierenden Boden sehr schnell festgelegt wird und bereits nach wenigen Wochen nicht mehr austauschbar ist. Es erhebt sich somit die Frage, ob die angeführten Methoden die tatsächliche Kaliumdynamik, gemessen am Pflanzenversuch, richtig wiedergeben.

Die zur Ermittlung der Kaliumfixierung angewandte konventionelle Methode (K-Angebot / 100 g Boden : 100 mg) gibt nicht das gesamte Fixierungsvermögen eines Bodens, insbesondere bei Vorliegen hoher Fixierungskapazitäten an, sondern läßt nur eine grobe Einstufung der Festlegung zu. Folglich ist auch die Erstellung einer genauen Kaliumbilanz auf diesem Wege nicht möglich. Unter Kaliumbilanz ist in diesem Fall die Gegenüberstellung von Düngerrest im Boden (= K-Düngung minus K-Entzug) und Anstieg des austauschbaren Kaliums sowie Rückgang der Kaliumnaßfixierung zu verstehen. Für den Idealfall gilt: K-Düngerrest minus Anstieg an austauschbarem Kalium minus Abnahme der K-Fixierung = 0.

Die von den Pflanzen im Boden hinterlassenen Düngermengen von 98 mg K / 100 g Boden (K_4) bewirken nach dieser konventionellen Methode nur einen Rückgang der Fixierung um 21 mg K / 100 g Boden bei unveränderten Werten an austauschbarem Kalium. Das tatsächliche Fixierungsvermögen dieses Bodens liegt aber wesentlich höher. Im Pflanzenversuch sowie durch modifizierte Bestimmungsmethoden (steigendes Angebot an Kalium bis 400 mg / 100 g Boden) wurde eine Fixierungskapazität von 240 mg K / 100 g Boden ermittelt; zum Versuchsende dürfte daher noch eine tatsächliche Naßfixierung in Höhe von ca. 140 mg K / 100 g Boden vorliegen.

Eine Kalium- und Natriumdüngung auf kaliumfixierendem Boden wirkt sich diesen Ergebnissen zufolge sowohl auf das Wachstum der Pflanzen als auch auf die Nährstoffdynamik (K, Na, Ca, Mg) im Boden aus. Natrium verbessert die Ertragsfähigkeit dieses kaliumfestlegenden Bodens (Weidelgras). Trotz sehr hoher Kalium- und Natriumdüngung ist die Versorgung der Pflanze mit Magnesium und Calcium, bedingt durch selektive Austauschvorgänge in den Zwischenschichten aufgeweiteter Tonminerale, nie in Frage gestellt.

Zusammenfassung

In einem 2jährigen Gefäßversuch auf stark kaliumfixierendem Boden wurde die Wirkung steigender Kalium- und Natriumgaben auf Pflanze (Persischer Klee, Deutsches Weidelgras) und Boden geprüft.

1. Im Gegensatz zum ersten Versuchsjahr (Klee-Chloridschäden) bewirkte die Düngung im 2. Jahr signifikante Ertragszunahmen von Weidelgras. Die Kalium- und Natriumgehalte und -entzüge wurden in beiden Jahren durch Kalium- bzw. Natriumgaben erhöht.

2. Steigende Kaliumgaben verringerten den Effekt der Natriumdüngung und umgekehrt.

3. Die Calcium- und Magnesiumgehalte im Weidelgras wurden durch hohe Kalium- und Natriumdüngung nur wenig verringert (Aufnahmeantagonismus) und sind zurück-

zuföhren auf einen merklichen Anstieg des wasserlöslichen Calciums und Magnesiums im Boden infolge Austausches durch Kalium in den Zwischenschichten der Tonminerale.

4. Die Kaliumsteigerung führte im Boden zu einer Abnahme der Kaliumnaßfixierung und der Sorptionskapazität (starker Rückgang der Calciumsorption).

5. Die Natriumdüngung brachte einen geringfügigen Anstieg der Kaliumnaßfixierung.

6. Der pH-Wert im Boden nahm durch Kalium- und Natriumdüngung etwas ab.

7. DL- bzw. durch Ammonium oder Barium austauschbares Kalium wurde selbst durch extrem hohe Kaliumgaben nicht erhöht.

Summary

GUTSER, R. u. K. TEICHER: *Wechselwirkung von Kalium und Natrium auf kaliumfixierendem Boden (Reciprocal action of potassium and sodium on a potassium fixating soil).*

Landwirtsch. Forsch. Sonderheft 28/I, 1973

In a greenhouse experiment with extreme potassium fixating soil, the effects of increasing levels of potassium and sodium on plants (*Trifolium resupinatum* L., *Lolium perenne* L.) and soil were studied for two years.

1. In the second year of experiment in contrary to the first year (chloride excess in clover) manuring caused significant higher yields of reye grass. Potassium and sodium contents and uptakes were increased in both years.

2. Increasing potassium levels reduced the effect of sodium application and increasing sodium levels reduced the potassium effect.

3. Calcium and magnesium contents in reye grass were comparatively slightly reduced (absorption antagonism), caused by a marked increase of watersoluble calcium and magnesium in soil, according to exchange of calcium and magnesium in interlayers of clay minerals by potassium.

4. Increasing potassium levels in soil produced a reduction of potassium fixation and exchange capacity (large decline of adsorbed calcium).

5. Sodium application caused a slight increase of potassium wet fixation.

6. Soil pH was reduced by potassium and sodium application.

7. Potassium, exchangeable by DL- and ammonium or barium respectively was not increased even by extremely high potassium levels.

Résumé

GUTSER, R. u. K. TEICHER: *Wechselwirkung von Kalium und Natrium auf kaliumfixierendem Boden (Action réciproque entre potassium et sodium sur un sol avec une rétrogradation de potassium).*

Landwirtsch. Forsch. Sonderheft 28/I, 1973

Dans un sol avec une haute rétrogradation de potassium les effets de la fumure avec potassium et sodium sur plantes (trèfle perse, ray-grass anglais) et sol ont été étudiés dans un essai en pot (deux années).

1. En contraire de la première année (trèfle chloride-dommages) la fumure causait des rendements plus hauts du ray-grass anglais dans la seconde année. Les teneurs en K et Na et les enlèvements furent élevés dans deux années.

2. Des doses élevés en K diminuaient l'effet de la fumure avec Na et renversé.
3. Les teneurs en Ca et Mg dans le ray-grass ne furent que diminués peu au moyen de la fumure sodique et potassique; la concentration en Ca et Mg dans la solution du sol élevaient par suite de l'échange de Ca et Mg par K-ions dans les entre-couches des minéraux des argiles.
4. Les doses élevées en K causaient une diminution de la rétrogradation (liquide) de potassium et de la capacité d'échange (forte diminution de Ca adsorbé).
5. La fumure sodique causait une montée faible de la rétrogradation de potassium.
6. Sol pH fut diminué par la fumure avec potassium et sodium.
7. Le potassium, soluble au lactate, ou échangeable en NH_4^+ et Ba^{++} ne fut pas élevé par des doses extrêmement hautes en K.

Schriftum

1. AMBERGER, A., R. GUTSER u. K. TEICHER: Kaliumdynamik auf kaliumfixierenden Böden. In Vorbereitung
2. BAUMEISTER, W.: Das Natrium als Pflanzennährstoff. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1960
3. BAUMEISTER, W. u. L. SCHMIDT: Über die Rolle des Natriums im pflanzlichen Stoffwechsel. Kalibriefe 1962
4. MARSCHNER, H.: Warum kann das Natrium in der Pflanze das Kalium ersetzen? Vortrag 8. Kali-Kolloquium 15. - 17. 6. 1971 Skokloster-Uppsala
5. AIGNER, H. u. E. SAALBACH: Über den Einfluß der Natriumdüngung auf den Kationengehalt verschiedener Gras- u. Kleearten. Landwirtsch. Forsch. 24, 159, 1971
6. SAALBACH, E. u. H. AIGNER: Über die Wirkung einer Natriumdüngung auf Natriumgehalt, Ertrag und Trockensubstanzgehalt einiger Gras- und Kleearten. Landwirtsch. Forsch. 23, 264, 1970
7. PFLÜGER, R. u. K. NEMETH: Die Kationengehalte verschiedener Weidelgrasarten in Abhängigkeit von Boden und Düngung. Landwirtsch. Forsch. 27, 2. SH, 110, 1972
8. WIKLANDER, L.: Fixation of potassium by clays saturated with different cations. Soil Sci. 69, 261, 1950
9. SCHACHTSCHABEL, P.: Ursachen und Eigenschaften der Bodenacidität. Landwirtsch. Forsch. 26, 1. SH, 55, 1972

SONDERHEFTE ZUR „LANDWIRTSCHAFTLICHEN FORSCHUNG“

3. Sonderheft:
Justus v. Liebig im Lichte der Forschung des 20. Jahrhunderts
1953. 30 Seiten mit einer Kunstdrucktafel. Kartoniert DM 3,60
5. Sonderheft:
Forschungen im Dienste der Tierernährung
1954. 75 Seiten mit zahlreichen Tab. u. graph. Darstellungen. Kart. DM 8,—
6. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer Forschung II
1955. 156 Seiten mit 57 Abb. und 55 Tab. Kartoniert DM 18,80
7. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer Forschung III
1956. 161 Seiten mit 32 Abb. und 70 Tab. Kartoniert DM 19,80
8. Sonderheft:
Pflanzenqualität — Nahrungsgrundlage
1956. 143 Seiten mit 68 Abb. und 33 Tab. Kartoniert DM 22,20
9. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer Forschung IV
1957. 157 Seiten mit 34 Abb. und 96 Tab. Kartoniert DM 22,20
10. Sonderheft:
Bodenfruchtbarkeit II
1957. IV u. 123 Seiten mit 56 Abb. u. 28 Tab. Kart. DM 19,80
11. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer Forschung V
1958. VIII u. 127 Seiten mit 56 Abb. u. 38 Tab. Kart. DM 22,20
12. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer Forschung VI
1959. VIII u. 152 Seiten mit 60 Abb. und 28 Tab. Kart. DM 27,—
13. Sonderheft:
Magnesium — Boden — Pflanze
1959. VIII u. 100 Seiten mit 43 Abb. u. 66 Tab. Kart. DM 24,80
14. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung VII
1960. VIII u. 141 Seiten mit 51 Tab. und 55 Abb. Kart. DM 26,40
15. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung VIII
1961. VIII u. 159 Seiten mit 62 Abb. u. 38 Tab. Kart. DM 27,50
16. Sonderheft:
Die Spurenelementversorgung von Pflanze, Tier und Mensch
1962. VIII u. 147 Seiten mit 37 Abb. u. 56 Tab. Kart. DM 26,20
17. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung X
1963. VIII u. 211 Seiten mit 91 Abb. und 72 Tab. Kart. DM 30,75
18. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XI
1964. VIII u. 208 Seiten mit 52 Abb. und 43 Tab. Kart. DM 30,25

SONDERHEFTE ZUR „LÄNDWIRTSCHAFTLICHEN FORSCHUNG“

19. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XII
1965. VIII u. 252 Seiten mit 87 Abb. und 75 Tab. Kart. DM 41,80
20. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XIII
1966. VIII u. 152 Seiten mit 20 Abb. und 33 Tab. Kart. DM 28,80
21. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XIV
1967. VIII. u. 137 Seiten mit 81 Abb. und 35 Tab. Kart. DM 31,80
22. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XV
1968. VIII und 198 Seiten mit 91 Abb. und 44 Tab. Kart. DM 43,20
23. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XVI - XVII
1969. Teil I. VIII und 228 Seiten mit 81 Abb. und 81 Tab. Kart. DM 52,80
Teil II. VIII und 191 Seiten mit 70 Abb. und 63 Tab. Kart. DM 48,80
24. Sonderheft:
Internationales Symposium: Hundert Jahre Saatgutprüfung
1970. VIII und 207 Seiten mit 47 Abb. und 49 Tab. Kart. DM 50,60
25. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XVIII - XIX
1970. Teil I. VIII und 172 Seiten mit 78 Abb. und 56 Tab. Kart. DM 47,20
Teil II. VIII und 178 Seiten mit 73 Abb. und 71 Tab. Kart. DM 46,60
26. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XX - XXI
1971. Teil I. VIII und 333 Seiten mit 158 Abb. und 96 Tab. Kart. DM 87,60
Teil II. VI und 220 Seiten mit 87 Abb. und 64 Tab. Kart. DM 64,80
27. Sonderheft:
Stand und Leistung agrikulturchemischer und agrarbiologischer Forschung XXII - XXIII
1972. Teil I. VI und 281 Seiten mit 95 Abb. und 136 Tab. Kart. DM 86,50
Teil II. VI und 237 Seiten mit 102 Abb. und 107 Tab. Kart. DM 77,40