Zeitschrift: Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft = Bulletin de la Société Botanique Suisse

Herausgeber: Schweizerische Botanische Gesellschaft

Band: 53A (1943)

Artikel: Untersuchungen über den Einfluss der Kalkdüngung auf den Mineralstoffgehalt einiger Wiesenpflanzen : unter besonderer Berücksichtigung der durch einseitige Gülledüngung geschaffenen Verhältnisse

Autor: Kauter, Alfred

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-676347

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Untersuchungen über den Einfluß der Kalkdüngung auf den Mineralstoffgehalt einiger Wiesenpflanzen.

(Unter besonderer Berücksichtigung der durch einseitige Gülledüngung geschaffenen Verhältnisse.)

Von *Alfred Kauter.*

(Mitteilung der Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Futterbaues und der Eidg. Landw. Versuchsanstalt Zürich-Oerlikon.)

Eingegangen am 18. September 1942.

I. Einleitung und Allgemeines zur Versuchsfrage.

Für den Mineralstoffgehalt des Futters einer einseitig mit Gülle gedüngten Wiese sind verhältnismäßig hohe Kaliwerte charakteristisch. P. Liechti und E. Ritter (1921) haben in Gülledüngungsversuchen in der Trockensubstanz des Futters Gehaltszahlen von 7 % K_2O festgestellt. Die beiden Autoren wiesen dabei darauf hin, daß ein derartig mit Kali übersättigtes Futter zu Gesundheitsstörungen der Tiere Anlaß geben könne. Inzwischen ist diese Ansicht in einer Reihe von Veröffentlichungen und öfters auch in Diskussionen über Fütterung und Qualitätsproduktion vertreten worden. E. Truninger und F. von Grünigen (1935) haben in der Folge versucht, auf Grund von Literaturstudien und eigenen Beobachtungen die Wirkungen eines Kaliüberschusses auf das Tier zu erklären. Sie kommen dabei zum Schlusse, daß der Kaliüberschuß im Futter die Ursache gewisser lecksuchtartiger Erkrankungen der Tiere bilden kann und erwähnen ganz allgemein, daß die nachteilige Wirkung eines Futters nicht einzig auf einem einseitigen Mangel, sondern auch auf einem einseitigen Mineralstoffüberschuß beruhen kann. Von F. T. Wahlen ist an Hand von statistischem Material nachgewiesen worden, daß der im Nährstoffkreislauf vorliegende Kaliüberschuß weitgehend eine Folge des großen Kraftfutterzukaufes darstellt. Im Jahre 1929 sind z. B. allein in Form von Kraftfuttermitteln größere Mengen von Kali eingeführt worden als in Form von Kalidüngern.

Unter den zur Verbesserung dieser Verhältnisse vorgeschlagenen Maßnahmen wird, neben einer Einschränkung der Gülledüngung, dem vermehrten Zusatz von Kot zur Gülle und der Verminderung des Kraftfutterzukaufes in Anlehnung an das von P. Ehrenberg (1920) formulierte Kalk-Kali-Gesetz eine Kalkdüngung empfohlen. Dieses Gesetz

legt eine Wechselbeziehung zwischen Kalk- und Kaliaufnahme seitens der Pflanzen fest. Steigt der Kalkgehalt, so wird bei gleichbleibender Kaliversorgung der Kaligehalt herabgesetzt; die Folgen davon können in der Entwicklung geschädigte Pflanzen sein. Durch größere Kaligaben läßt sich jedoch dieses Mißverhältnis mehr oder weniger ausgleichen, so daß das Wachstum der Pflanze wieder normal verläuft. Auf die Verhältnisse unserer mit Gülle überdüngten Wiesenböden übertragen, müßte demnach eine Kalkzufuhr den Kaligehalt der Pflanzenasche herunterdrücken, sofern nicht gleichzeitig neue Kaligaben in Form von Gülle verabreicht werden. Die Untersuchungen von A. Gehring und Mitarbeitern (1933) und andere haben jedoch gezeigt, daß die Wechselbeziehungen zwischen Kalkdüngung, Kalk- und Kaliaufnahme durch die Pflanzen je nach den bestehenden Voraussetzungen nicht restlos im Sinne des Kalk-Kali-Gesetzes verlaufen. Wenn wir aber das große Zahlenmaterial aus den Gülledüngungsversuchen von Liechti und Ritter nach diesen Gesichtspunkten ordnen, so können wir daraus fast ausnahmslos eine Bestätigung des Ehrenbergschen Gesetzes herauslesen.

Tabelle 1.

Kaligehalt des Futters in Prozenten der Trockensubstanz (nach Liechti und Ritter).

Düngung und Schnitt		1912	1913	1914	1915	1916	1917
1. Schnitt	ohne CaO .	2.40	2.36	1.79	2.23	1.73	2.21
	mit CaO .	2.07	2.23	1.51	2.21	1.96	2.35
3. Schnitt	ohne CaO .	1.99	2.03	2.08	2.04	1.35	2.01
	mit CaO .	1.83	1.72	1.78	1.78	1.76	1.92

Tabelle 2.

Kalkgehalt des Futters in Prozenten der Trockensubstanz (nach Liechti und Ritter).

Düngung und Schnitt		1912	1913	1914	1915	1916	1917
1. Schnitt	ohne CaO .	1.17	1.10	1.03	1.49	1.46	1.27
	mit CaO .	1.21	1.36	1.10	1.63	1.80	1.62
3. Schnitt	ohne CaO .	1.76	2.26	2.12	2.34	2.51	2.01
	mit CaO .	1.83	2.09	2.33	2.40	2.58	2.63

Zur Charakteristik des Versuchsbodens ist zu bemerken, daß es sich um einen schwach sauren, sandigen Lehm handelte, der vor der Anlage des Versuches während 14 Jahren keine Düngung mehr erhalten

hatte. Die Zusammensetzung des Pflanzenbestandes war im Mittel der Jahre folgende:

Düngung	Gräser %	Kleearten %	Unkräuter %
ohne Kalkdüngung . . .	63.8	6.9	29.3
mit Kalkdüngung . . .	57.1	6.0	36.9

Obwohl der Pflanzenbestand der gekalkten Versuchsparzellen (größerer Unkrautanteil) eher für einen höheren Kaligehalt sprechen müßte, hat dieser durch die Kalkdüngung in 9 von 12 Fällen eine Senkung erfahren. Die dabei verabreichten Kalkgaben betrugen in den beiden ersten Versuchsjahren 500, im dritten 800, im vierten und fünften je 1000 kg CaO pro Hektar. Der durch die Kalkung erzielte Anstieg von Kalk in der Pflanzenasche ist verhältnismäßig klein.

Wenn nun die gekalkten und ungekalkten Parzellen stark mit Gülle gedüngt werden, also neben Stickstoff sehr hohe Kaligaben erhalten, so vermag der Kalk trotz gleichzeitiger starker Kalizufuhr eine ähnliche Rolle zu spielen. Die entsprechenden Zahlen sind in den Tabellen 3 und 4 zusammengestellt.

Tabelle 3.
Kaligehalt des Futters in Prozenten der Trockensubstanz
(nach Liechti und Ritter).

Düngung und Schnitt		1912	1913	1914	1915	1916	1917
1. Schnitt	nur Gülle .	4.99	4.38	4.39	5.38	4.72	5.10
	Gülle u. CaO	4.24	4.49	3.82	4.71	4.69	5.19
3. Schnitt	nur Gülle .	5.38	5.95	5.52	5.83	7.14	5.63
	Gülle u. CaO	4.64	5.82	5.29	5.77	5.75	6.20

Tabelle 4.
Kalkgehalt des Futters in Prozenten der Trockensubstanz
(nach Liechti und Ritter).

Düngung und Schnitt		1912	1913	1914	1915	1916	1917
1. Schnitt	nur Gülle .	0.85	0.60	0.56	0.69	0.72	0.68
	Gülle u. CaO	1.05	0.77	0.60	0.84	0.87	0.75
2. Schnitt	nur Gülle .	0.88	0.87	0.88	0.97	1.14	0.95
	Gülle u. CaO	0.98	1.04	0.81	1.23	1.28	1.15

Die in der Gülle dargebotenen Kalimengen betrugen durchschnittlich zirka 1120 kg K_2O pro Jahr und Hektar. Der Einfluß des Kalkes

kommt trotz der beträchtlichen Mengen von zugeführtem Güllenkali in der gleichen Richtung zur Geltung wie im ersten Fall. Die Kalkdüngung hat wiederum in neun von zwölf Fällen zu einer Senkung des Kaligehaltes und in elf von zwölf Fällen zu einer bescheidenen Erhöhung des Kalkgehaltes geführt. Die floristische Zusammensetzung des Bestandes war im Mittel der Versuchsjahre folgende :

Düngung	Gräser %	Kleearten %	Unkräuter %
nur Gülle	83.1	0.4	16.5
Gülle und Kalk	78.0	0.3	21.7

Nach diesen Ergebnissen können wir die Wirkungen einer Kalkdüngung bei gleichzeitiger starker Kalizufuhr in Form von Gülle folgendermaßen umschreiben :

Der Gehalt der Pflanzenasche an Kali ist durch die Kalkdüngung gesunken; der Kalkgehalt hingegen hat leicht zugenommen. Das Verhältnis zwischen den beiden Mineralstoffen ist enger und damit auch günstiger geworden. Die Unterschiede in der botanischen Zusammensetzung der Pflanzenbestände in den beiden Versuchsreihen (soweit es sich um die Pflanzengruppen handelt) vermögen diese Folgerungen, namentlich was das Kali-Ergebnis anbetrifft, nicht wesentlich zu beeinflussen.

Wenn man jedoch berücksichtigt, daß mit der Gülle- und Kalkdüngung zwei entgegengesetzt laufende Vorgänge ausgelöst werden, d. h. einerseits durch die Gülledüngung bzw. Kalizufuhr eine Abnahme des Kalkgehaltes in der Pflanze und anderseits durch die Kalkung ein Rückgang des Kaligehaltes in der Pflanzenasche entstehen soll, so ist wohl zu erwarten, daß je nach den Mengenverhältnissen der beiden Nährstoffe in der Düngung und je nach den Bodeneigenschaften nicht immer eine Wirkung im Sinne der vorstehenden Ergebnisse erzielt wird.

So sollen speziell die Art und der Düngungszustand des Bodens beim Verlauf dieser Wechselbeziehungen eine wichtige Rolle spielen. A. Gehring und Mitarbeiter (1933) umschreiben diese Beziehungen folgendermaßen : « Für die Prüfung der prozentualen Kaligehalte der auf Boden mit verschiedenem Kalkzustand erwachsenen Pflanzen ist zu beachten, daß sich hier zwei verschiedene Vorgänge durchkreuzen : einmal werden steigende Kalksättigungsgrade die Löslichkeit des Bodenkalis erhöhen, zweitens werden sie die Aufnahmefähigkeit des Boden- und Düngerkalis durch die Pflanze vermindern. Je nach dem Umfange, wie im Boden die Löslichkeit des Kalis erhöht wird oder die Löslichkeit des Kalkes sich verändert, werden theoretisch verschiedene Wirkungen erwartet werden können. » Die gleichen Auto-

ren stellten in ihren Untersuchungen fest, daß einerseits auf kalkärmeren Böden ein stärkeres Eindringen des Kalis in die Pflanzen zu beobachten und anderseits mit steigenden Kalksättigungsgraden ein Absinken des prozentualen Kaligehaltes nachzuweisen war, daß sich aber in Abweichung zum Kalk-Kali-Gesetz vielfach auch ein andersgearteter Verlauf der Kaliaufnahme vollzog. Die durch die Düngung hervorgerufenen Umsetzungen im Boden vermögen in diesen Fällen auf den Verlauf der Nährstoffaufnahme durch die Pflanze einen stärkeren Einfluß auszuüben als die in der Düngung dargebotenen Nährstoffe. Es soll hier aber nicht die Aufgabe sein, diese kolloidchemischen Vorgänge eingehender zu behandeln. E. Truninger hat darüber in seiner Arbeit « Kalk und Pflanze » (1937) eingehend berichtet. Er kommt auf Grund der kolloidchemischen Betrachtungsweise zum Schluß, daß der Kalkvorrat im Boden oder eine gleichzeitig mit der Gülle verabreichte Kalkdüngung der übermäßigen Kaliaufnahme durch die Pflanze bei starker und wiederholter Gülledüngung nur wenig entgegenzuwirken vermag. R. Gallay (1937) vertritt in einer kritischen Abhandlung über die Kalkdüngung die Ansicht, daß eine Verabreichung von Kalkdüngern auf Güllewiesen am ehesten Aussichten bietet, eine bessere mineralstoffliche Zusammensetzung des Futters zu erzielen.

Ein weiterer wichtiger Faktor, der das Verhältnis der Mineralstoffe im Futter entscheidend zu beeinflussen vermag, ist die Pflanze selbst, bzw. die botanische Zusammensetzung des Futters. Jede Düngung verursacht mehr oder weniger große Änderungen in der floristischen Zusammensetzung eines Bestandes. Je größer diese ausfallen, um so weniger darf in der Regel die Düngung als unmittelbare Ursache einer Verschiebung des Mineralstoffverhältnisses im Futter betrachtet werden. Wir wissen aus einer Reihe von Untersuchungen, daß der durch die intensive Gülledüngung regelmäßig feststellbare Rückgang des Kalkgehaltes im Futter zu einem überwiegenden Teil auf botanischen Veränderungen beruht. Diese Erscheinung tritt um so stärker hervor, je mehr die Bestandesveränderung in der Richtung eines mehrheitlich aus Gräsern zusammengesetzten Bestandes verläuft. Durch das Verschwinden der Leguminosen, deren Asche sich durch hohe Kalkwerte auszeichnet, entsteht auch bei einem allfällig gleichbleibenden Kalkgehalt der Gräser eine Verarmung des Futters an Kalk. Sie ist allerdings etwas weniger groß, wenn an Stelle der Schmetterlingsblütler Unkräuter wie Wiesenkerbel, Bärenklau, Löwenzahn und andere treten, die durchwegs in ihrer Asche höhere Kalkkonzentrationen aufweisen als die Gräser. Im Gegensatz zu den Leguminosen bedingt aber das Vorkommen dieser Arten auch ein starkes Ansteigen des Kaligehaltes, so daß im Mineralstoffverhältnis eines gräserreichen Futters aus einer Güllewiese einerseits und einem aus Gräsern und Unkräutern zusammengesetzten Futter anderseits oft nur geringe Unterschiede auftreten. Diese Verhältnisse ließen sich an

Hand der umfangreichen Aschenanalysen unserer agrikulturchemischen Anstalten (E. Truninger und F. von Grünigen [1935], L. Tschumi und J. Stalé [1935] und A. Kauter [1935]) leicht zahlenmäßig belegen.

II. Problemstellung und Versuchsanordnung.

Aus den bisherigen Ausführungen geht hervor, daß der Einfluß einer Düngung im allgemeinen und der Kalkdüngung im besonderen auf den Mineralstoffgehalt des Futters und das Verhältnis der Mineralstoffe in der Hauptsache durch drei Faktorengruppen bedingt sein kann, nämlich:

1. Durch die Art und Menge der Düngung,
2. durch die Eigenschaften und den Düngungszustand des Bodens,
3. durch die botanische Zusammensetzung des Futters.

Es ist klar, daß durch die Einflußnahme dieser drei Faktorengruppen eine sichere Beurteilung von Versuchsergebnissen hinsichtlich der Wirkung des einzelnen Faktors sehr erschwert wird. Bei Düngungsversuchen auf Wiesen bildet die genaue Untersuchung des Pflanzenbestandes jedenfalls eine unerläßliche Voraussetzung, wobei das für die einzelnen Arten charakteristische Verhalten als Grundlage für die Beurteilung des Anteiles des Pflanzenbestandes an den durch die Düngung verursachten Verschiebungen im Mineralstoffgehalt dienen muß. Diese Grundlagen sind im allgemeinen, was den Gehalt an Mineralstoffen anbetrifft, für die einzelnen Wiesenpflanzenarten weitgehend vorhanden. Sie sind aber noch stark ausbaufähig, namentlich bezüglich der Möglichkeiten, den Gehalt an Mineralstoffen mit Hilfe der Düngung in einer bestimmten Richtung zu verändern. Das Problem, das wir uns in der vorliegenden Arbeit stellten, steht mit diesem Fragenkomplex im Zusammenhang. Es lautet: Wie wirkt eine Kalkdüngung auf den Mineralstoffgehalt verschiedener Wiesenpflanzenarten bei Gegenwart eines durch intensive Gülledüngung zustande gekommenen Kaliüberschusses des Bodens? Auf die praktische Bedeutung dieser Frage ist bereits in der Einleitung hingewiesen worden.

Wir haben zur Lösung dieses Problems zwei Vegetationsversuche in Wagnertöpfen und einen Feldversuch angelegt. Die Vegetationsversuche sind in den Jahren 1935 und 1936, der Feldversuch 1936/1937 durchgeführt worden. In beiden Fällen wurde als Versuchserde bzw. Versuchsfläche ein Boden ausgewählt, von dem man annehmen konnte, daß er zufolge starker einseitiger Gülledüngung einen Kaliüberschuß aufweist.

Vegetationsversuche: Die Bestimmungen der pflanzenaufnehmbaren Phosphorsäure und des Kalis nach Neubauer lieferten für den Boden, der im Vegetationsversuch zur Verwendung gelangte, folgende Werte: P_2O_5 = 21.3 mg und K_2O = 45.9 mg. Nach diesem Ergebnis ist der Boden als phosphorsäure- und kalireich zu bezeichnen. Die Reaktion war mit einem pH von 7.2 neutral; Kalk

in Form von Karbonaten fehlte. Hinsichtlich Dispersität handelte es sich um einen mittelschweren, sandigen Lehmboden. Die Durchführung des Versuchs erfolgte nach folgendem Schema:

1. Ungedüngt.
2. 28.7 g $CaCO_3$, entsprechend 2500 kg CaO pro Hektar.
3. 57.4 g $CaCO_3$, entsprechend 5000 kg CaO pro Hektar.
4. { 57.4 g $CaCO_3$, entsprechend 5000 kg CaO pro Hektar.
   { 6.7 g KNO_3, entsprechend 500 kg K_2O pro Hektar.
5. 6.7 g KNO_3, entsprechend 500 kg K_2O pro Hektar.

Mit der Kalidüngung in Form von KNO_3 sollte eine Beeinflussung des Versuches durch Nebensalze möglichst vermieden werden. Die damit verabreichten Stickstoffmengen sind in den kalifreien Versuchsreihen in Form von Harnstoff kompensiert worden. Während die Kalidüngung im Wasserüberschuß vorgenommen wurde, ist der Kalk mit der Versuchserde jedes einzelnen Gefäßes gründlich durchmischt worden. Die Aussaat der Samen erfolgte auf eine ungedüngte Schicht von 600 g Deckerde, um allfälligen Schädigungen der Keimung durch die Düngung vorzubeugen. Kurz nach dem Auflaufen der Samen wurde die Zahl der Versuchspflanzen in den Versuchsgefäßen vereinheitlicht. Der Wassergehalt des Bodens war vor der Aussaat auf ca. 85 % seiner Wasserkapazität eingestellt und ist während der ganzen Dauer des Versuches durch regelmäßige Gewichtsbestimmungen auf der gleichen Höhe beibehalten worden. Versuchspflanzen waren im Jahre 1935: Italienisches Raigras *(Lolium italicum)* und Knaulgras *(Dactylis glomerata)*, im Jahre 1936: Löwenzahn *(Taraxacum officinale)* und Wucherblume *(Chrysanthemum Leucanthemum)*.

1935	Aussaat: 13. Mai	Ernte: 15. Juli.
1936	Aussaat: 5. Mai	Ernte: 27. Juli.

Während sich die Versuchspflanzen im ersten Jahr gut entwickelten und ohne Ausnahme bis zum Abschlusse des Versuches gesund blieben, litt der Versuch mit Kompositen im zweiten Jahr unter einem unregelmäßigen Verlauf der Keimung, ohne daß dabei aber bestimmte Unterschiede zwischen den einzelnen Düngungsverfahren festzustellen waren. Die Trockensubstanzerträge, die in dieser Versuchsreihe ermittelt worden sind, können aus diesem Grunde leider nicht näher ausgewertet werden.

Feldversuch: Die Durchführung des Feldversuches hatte den Zweck, die gleiche Frage unter den Verhältnissen zu studieren, wie sie in der Praxis vorliegen. Die Fläche, auf der der Versuch angelegt wurde, grenzt an das Grundstück, aus dem die Erde für den Vegetationsversuch entnommen worden ist. Es ist eine in Stallnähe gelegene Wiese in Seebach bei Zürich, deren Ertrag fast ausschließlich zur Grünfütterung dient. Seit Jahren wird in der Regel nach jedem Schnitt mit Gülle gedüngt. Der Boden erwies sich als frei von Karbonaten und hatte im Frühjahr 1936 ein pH von 6.8. Die Kalkdüngung erfolgte in Form von Kalkhydrat in Mengen von 1500 kg, 3000 kg und 5000 kg CaO pro Hektar. Die entsprechenden Quantitäten wurden am 20. Januar auf je drei Parallelparzellen von 25 m² Fläche ausgestreut. Die Untersuchung beschränkte sich darauf, im Verlaufe des Versuches einzelne Pflanzenarten aus den Parzellen gleicher Kalkgaben zu sammeln. Es wurde dabei in der Weise vorgegangen, daß aus jeder Parallelparzelle ein Drittel der Gesamtprobe einer Art zur Untersuchung gelangte. Die bisherige starke Gülledüngung ist während der Dauer des Versuches fortgesetzt worden. Die Probeentnahme fand im ersten Versuchsjahr zweimal statt, und zwar erstmals am 3. April und das zweite Mal am 20. Mai, kurz vor dem ersten Schnitt. Zweck dieser zweimaligen Probeentnahme aus dem ersten Schnitt war: Nachweis des Einflusses der Kalkdüngung auf den Mineralstoffgehalt des jungen Futters, Feststellung der Veränderungen, die im Verlaufe des Wachstums

vor sich gehen und Ermittlung allfälliger Beziehungen zwischen Mineralstoffgehalt und Trockensubstanz der Pflanze. Mit einer dritten Probeentnahme, die am 24. Juni 1937 (2. Schnitt) erfolgte, sollte die Dauer der Wirkung der Kalkdüngung auf den Gehalt der Mineralstoffe in der Pflanzenasche nachgewiesen werden, nachdem in der Zwischenzeit bereits mehrmals eine Gülledüngung der Versuchsparzellen stattgefunden hatte. Die Erträge sind nicht bestimmt worden. Dagegen haben wir durch Messungen der Bodenreaktion den Veränderungen, die durch die Kalkung eingetreten sind, einige Aufmerksamkeit geschenkt. Vier Monate nach der Düngung sind in den einzelnen Versuchsparzellen folgende pH-Zahlen ermittelt worden:

Tabelle 5.

pH des Bodens (Probe bis 5 cm Tiefe) am 25. Mai 1936.

Düngung/ha	Parzelle I	Parzelle II	Parzelle III
Ungedüngt	6.90	6.80	6.75
1500 kg CaO	7.55	7.40	7.50
3000 kg CaO	7.70	7.70	7.65
5000 kg CaO	7.70	7.80	7.75

Die Höhe der Kalkgabe hat sich in der Veränderung der Reaktion nicht stark ausgewirkt. Am größten ist die Differenz zwischen ungedüngt und der kleinsten Kalkgabe. Die durch die Kalkung erfolgte Reaktionsänderung des Bodens von neutral auf schwach alkalisch ist aber nicht so groß, daß sie als solche die Zusammensetzung des Pflanzenbestandes stark zu beeinflussen vermag.

Tabelle 6.

pH des Bodens (Proben 0—2 cm und 2—6 cm Tiefe) am 24. Juni 1937.

Düngung/ha	Parzelle I	
	0—2 cm	2—6 cm
Ungedüngt	7.50	7.30
1500 kg CaO	7.50	7.35
3000 kg CaO	7.75	7.75
5000 kg CaO	7.95	7.90

Noch geringer sind die Unterschiede im zweiten Jahr. Die schwach alkalische Reaktion der ungedüngten Parzellen ist offenbar durch die im Laufe des Winters stattgefundene Thomasmehldüngung zustande gekommen. Unbedeutend sind auch die Unterschiede, die zwischen 0—2 und 2—6 cm Bodentiefe bestehen. Je größer die Kalkgabe, um so mehr scheint der Kalk in tiefere Schichten eingedrungen zu sein.

In die Untersuchung sind nachstehende Pflanzenarten einbezogen worden: Italienisches Raigras *(Lolium italicum)*, großer Ampfer *(Rumex obtusifolius)*, scharfer Hahnenfuß (*Ranunculus acer*), Weißklee (*Trifolium repens*), Wiesenkerbel (*Anthriscus silvestris*), Bärenklau (*Heracleum Sphondylium*) und Löwenzahn (*Taraxacum officinale*).

III. Versuchsergebnisse.

Vegetationsversuche.

Tabelle 7.

Versuchsreihe 1935: Italienisches Raigras *(Lolium italicum)*.
Trockensubstanzerträge der Wurzeln und der oberirdischen Teile im Mittel von drei Gefäßen.

Düngung/ha	Wurzeln g	Oberirdische Teile g	Verhältnis Wurzeln = 100
Ungedüngt . . .	26.3 ± 0.88	55.7 ± 0.32	212
2500 kg CaO . . .	16.0 ± 1.00	46.8 ± 0.60	292
5000 kg CaO . . .	15.3 ± 0.16	47.5 ± 1.32	310
5000 kg CaO . . . } 500 kg K_2O . . .	19.0 ± 1.33	49.8 ± 1.45	262
500 kg K_2O . . .	18.8 ± 1.08	46.8 ± 0.72	249

Tabelle 8.

Versuchsreihe 1935: Knaulgras *(Dactylis glomerata)*.
Trockensubstanzerträge der Wurzeln und der oberirdischen Teile im Mittel von drei Gefäßen.

Düngung/ha	Wurzeln g	Oberirdische Teile g	Verhältnis Wurzeln = 100
Ungedüngt . . .	17.8 ± 0.88	51.2 ± 0.66	288
2500 kg CaO . . .	8.8 ± 0.16	42.3 ± 1.16	480
5000 kg CaO . . .	18.3 ± 3.28	52.3 ± 3.28	286
5000 kg CaO . . . } 500 kg K_2O . . .	16.2 ± 2.35	45.3 ± 2.90	280
500 kg K_2O . . .	8.8 ± 0.16	36.7 ± 1.85	417

Aus diesen Ertragszahlen geht zunächst hervor, daß die beiden Grasarten nicht durchwegs in gleicher Richtung auf die Kalkung reagiert haben. Übereinstimmend verhalten sich beide Arten insofern, als sie den höchsten Ertrag an oberirdischen Teilen und an Wurzeln bei Ungekalkt abwerfen, und gemeinsam zeigen ebenfalls beide Arten eine Ertragseinbuße bei einer Kalidüngung von 500 kg K_2O pro Hektar, wobei allerdings das Knaulgras davon in stärkerem Maße betroffen wird als das italienische Raigras. Besonders auffallend ist, daß der Wurzelertrag unter dem Einfluß der Kalidüngung verhältnismäßig stärker abgenommen hat als der Ertrag an oberirdischen Teilen. Der durch die Kalidüngung verursachte Minderertrag an oberirdischer Substanz gegenüber Ungedüngt ist offenbar auf die geringere Wurzelentwicklung zurückzuführen. Dagegen weist die größere Verhältniszahl darauf hin, daß pro Wurzeleinheit mehr oberirdische Teile erzeugt worden sind.

Ob nun diese Mehrleistung durch eine größere Leistungsfähigkeit der Wurzeln oder durch eine durch die Kalizufuhr hervorgerufene Änderung des Nährstoffhaushaltes des Bodens entstanden ist, bleibt dahingestellt. Wesentlich ist, daß die weitere Kalianreicherung des Bodens zu einer geringeren Wurzelausbildung geführt hat. Im allgemeinen werden zwar dem Kali Eigenschaften zugeschrieben, die die Wurzelentwicklung begünstigen sollen. Wenn sich diese Eigenschaft des Kalis in den vorliegenden Versuchen nicht bestätigt findet, so dürfte dies vielleicht darauf beruhen, daß durch die weitere Kalizufuhr zu dem kalireichen Boden ein für die Wurzelausbildung schädlicher Überschuß an diesem Nährstoff entstanden ist. Kalimengen von 500 kg K_2O pro Hektar sind aber in der Praxis der Güllewirtschaften nicht selten, und die Frage erscheint deshalb am Platze, ob unter dem Einfluß der hohen Kaligaben bei einer einseitigen Gülledüngung nicht allgemein eine geringere Wurzelentwicklung angenommen werden kann.

Nicht übereinstimmend ist nun das Verhalten der beiden Grasarten in bezug auf die Kalkdüngung. Beide reagieren zwar bei einer Kalkgabe von 2500 kg CaO mit einem Ertragsabfall. Ähnlich wie bei der Kalidüngung ist er für die Wurzeln verhältnismäßig größer als für die oberirdischen Teile. Besonders ausgesprochen ist diese Erscheinung wiederum beim Knaulgras festzustellen. Es ist daher um so überraschender, daß die doppelte Kalkgabe auf das Knaulgras nicht ertragsvermindernd gewirkt hat, während sich für das italienische Raigras auch bei der doppelten Kalkgabe ein Ertragsrückgang ergibt. Die nähere Begründung für das abweichende Verhalten des Knaulgrases fehlt uns. Schließlich läßt ein Vergleich der Erträge der Kalk-Kali-Düngung zwischen den beiden Arten insofern eine Verschiedenheit erkennen, als die größere Empfindlichkeit des Knaulgrases gegenüber der Kaliüberdüngung in einem stärkeren Ertragsrückgang wiederum zum Ausdruck kommt. Die Trokkensubstanzbildung des italienischen Raigrases ist durch die zusätzliche Kalidüngung nicht wesentlich beeinflußt worden.

Beim italienischen Raigras hat die Kalkung durchwegs zu einer Abnahme des Wurzelertrages geführt. Für das Knaulgras trifft dies lediglich bei der einfachen Kalkgabe zu. Im allgemeinen soll auch der Kalk, ähnlich wie das Kali, die Wurzelentwicklung eher in einem günstigen Sinne beeinflußen. Es besteht dabei allerdings die Einschränkung, daß ein Überschuß an Kalk durch eine Hemmung der Sauerstoffaufnahme durch die Wurzelzellen schädlich wirken könne.

Der durch die Kalkung eingetretene Minderertrag an Wurzeln und oberirdischen Teilen ist ungefähr gleich groß wie bei der Kalidüngung. Auch die Verhältniszahlen zwischen Wurzeln und oberirdischen Teilen verlaufen ähnlich und weisen darauf hin, daß pro Wurzeleinheit mehr oberirdische Substanz gebildet worden ist.

Zusammenfassend geht im allgemeinen aus diesen Ertragsbestimmungen eine geringere Wurzelentwicklung bei Kalk- und Kalidüngung gegenüber Ungedüngt und im speziellen eine stärkere Empfindlichkeit des Knaulgrases gegenüber der Kaliüberdüngung hervor. Das verschiedene Verhalten der beiden Grasarten weist einmal mehr darauf hin, daß die Gramineen auch in dieser Richtung kein einheitliches Versuchsmaterial darstellen.

Für die Bestimmungen der Mineralstoffe in der Trockensubstanz sind die Erträge der einzelnen Parallelgefässe zu einer Mittelprobe vereinigt worden. Die nachfolgenden Tabellen geben Aufschluß über den Gehalt der Erntesubstanzen an Phosphorsäure, Kali und Kalk.[1]

Tabelle 9.

Versuchsreihe 1935: Italienisches Raigras *(Lolium italicum)*.
Gehalt der oberirdischen Teile und der Wurzeln an P_2O_5, K_2O und CaO in Prozenten der Trockensubstanz.

Düngung	P_2O_5 %		K_2O %		CaO %	
	oberirdische Teile	Wurzeln	oberirdische Teile	Wurzeln	oberirdische Teile	Wurzeln
Ungedüngt . . .	1.17	0.87	4.54	1.73	1.27	0.89
2500 kg CaO . . .	1.30	1.02	5.40	1.67	1.30	1.00
5000 kg CaO . . .	1.31	0.95	5.47	1.81	1.31	0.95
5000 kg CaO . . . } 500 kg K_2O . . . }	1.19	0.90	5.53	2.12	1.24	0.90
500 kg K_2O . . .	1.23	0.97	5.71	2.12	1.23	0.75

Durch die Kalkdüngung ist der Kaligehalt der oberirdischen Teile ohne Ausnahme stark angestiegen. Der Gehalt an Kalk hat sich dagegen nicht nennenswert verändert, so daß im Verhältnis der beiden Mineralstoffe eine Verschiebung zugunsten des Kalis eingetreten ist. Die stärkste Zunahme des prozentischen Kaligehaltes hat sich erwartungsgemäß bei der Kalidüngung eingestellt. Was den Gehalt der Trockensubstanz an Phosphorsäure anbelangt, so scheint dieser durch die Kalkung eher begünstigt worden zu sein. Er hat sich aber nicht verändert, wenn gleichzeitig mit der Kalk- auch eine Kalidüngung erfolgte. Die Analysenergebnisse der Wurzeltrockensubstanz verlaufen ziemlich parallel mit denen der oberirdischen Teile. Größere Abweichungen zeigen sich nur darin, daß die einfache Kalkgabe den Kaligehalt der Wurzeln etwas gedrückt, und daß die Kalidüngung den Kalkgehalt der Wurzeln ebenfalls etwas heruntergesetzt hat.

---

[1] Sämtliche Aschenanalysen sind in verdankenswerter Weise von der Eidg. Landw. Versuchsanstalt Zürich-Oerlikon, Abteilung Agrikulturchemie (Adjunkt Dr. F. Werner) ausgeführt worden.

Im allgemeinen bestätigt der hohe Anteil des Kalis an der Trokkensubstanz den durch die Gülledüngung verursachten Kaliüberschuß im Boden.

Tabelle 10.

Versuchsreihe 1935: Knaulgras *(Dactylis glomerata)*.
Gehalt der oberirdischen Teile und der Wurzeln an P_2O_5, K_2O und CaO in Prozenten der Trockensubstanz.

Düngung	P_2O_5 %		K_2O %		CaO %	
	oberirdische Teile	Wurzeln	oberirdische Teile	Wurzeln	oberirdische Teile	Wurzeln
Ungedüngt . . .	0.91	0.61	4.53	1.42	0.88	0.83
2500 kg CaO . . .	0.98	0.71	5.19	1.13	0.93	0.77
5000 kg CaO . . .	0.85	1.20	4.45	1.57	0.86	0.83
5000 kg CaO . . . } 500 kg K_2O . . . }	0.86	0.61	5.36	1.61	0.86	0.76
500 kg K_2O . . .	1.01	0.88	6.13	—	0.92	0.96

Die Kalkdüngung hat nicht durchwegs zu einer Erhöhung des Kaligehaltes in den oberirdischen Teilen geführt. Bei der doppelten Kalkgabe ist eher ein schwacher Rückgang des Kaliwertes gegenüber Ungedüngt eingetreten. Es ist möglich, daß dieses Ergebnis mit den Erträgen im Zusammenhang steht. Das Knaulgras hat im Gegensatz zum italienischen Raigras bei der doppelten Kalkdüngung keine Ertragseinbuße gezeigt (Tabellen 8 und 9). Ein Einfluß der Kalkdüngung auf die Höhe des Kalkgehaltes in der Pflanze ist auch hier nicht festzustellen. Das gleiche gilt beim Knaulgras auch für die Phosphorsäure. Im Kaligehalt der Wurzeln zeigt sich eine ähnliche Erscheinung wie beim italienischen Raigras. Die einfache Kalkgabe hatte eine beträchtliche Senkung gegenüber Ungedüngt zur Folge. Die Gehaltszahlen der Wurzeln an Kalk

Tabelle 11.

Versuchsreihe 1936: Löwenzahn *(Taraxacum officinale)*.
Gehalt der oberirdischen Teile und der Wurzeln an P_2O_5, K_2O und CaO in Prozenten der Trockensubstanz.

Düngung	P_2O_5 %		K_2O %		CaO %	
	oberirdische Teile	Wurzeln	oberirdische Teile	Wurzeln	oberirdische Teile	Wurzeln
Ungedüngt . . .	0.72	0.67	6.10	2.12	2.24	0.52
2500 kg CaO . . .	0.66	0.68	6.24	2.21	2.16	0.53
5000 kg CaO . . .	0.72	0.68	6.30	2.52	2.28	0.54
5000 kg CaO . . . } 500 kg K_2O . . . }	0.69	0.81	6.77	2.74	2.16	0.53
500 kg K_2O . . .	0.68	0.59	6.63	2.10	2.18	0.48

verhalten sich dagegen beim Knaulgras anders. Bemerkenswert ist vor allem die relativ starke Kalkzunahme in den Wurzeln unter dem Einfluß der Kalidüngung. Wir haben bereits an anderer Stelle auf die größere Empfindlichkeit des Knaulgrases gegenüber der Kaliüberdüngung hingewiesen, und wir fragen uns, ob dieses Ergebnis nicht eine Folge dieser größeren Empfindlichkeit gegenüber dem Kali darstellt.

Die bloße Kaligabe hat auch beim Knaulgras eine starke Erhöhung des Kaligehaltes in der Trockensubstanz bewirkt.

Der Einfluß der Kalkdüngung im Sinne einer Erhöhung des Kaligehaltes in den oberirdischen Teilen ist beim Löwenzahn (Tabelle 11) wieder ausnahmslos festzustellen. Auf die Höhe des Kalk- und Phosphorsäuregehaltes haben Kalk- und Kalidüngung nicht nennenswert gewirkt. Die Ergebnisse der Wurzelanalysen zeigen mit Ausnahme einer kleinen Erhöhung des Phosphorsäuregehaltes bei der Kalk- und Kali- und eines stärkeren Rückgangs des Kaligehaltes bei der Kalidüngung nichts Besonderes. Auffallend ist hingegen, daß im Gegensatz zu den beiden Gräsern der Kaligehalt in den oberirdischen Teilen bei der Kaligabe nicht weiter angestiegen ist.

Tabelle 12.

Versuchsreihe 1936: Wucherblume *(Chrysanthemum Leucanthemum)*.
Gehalt der oberirdischen Teile und der Wurzeln an P_2O_5, K_2O und CaO in Prozenten der Trockensubstanz.

Düngung	P_2O_5 %		K_2O %		CaO %	
	oberirdische Teile	Wurzeln	oberirdische Teile	Wurzeln	oberirdische Teile	Wurzeln
Ungedüngt . . .	1.69	1.70	10.13	6.67	2.35	1.50
2500 kg CaO . . .	1.69	1.66	9.81	6.54	2.38	1.57
5000 kg CaO . . .	1.79	1.67	10.00	6.95	2.44	1.77
5000 kg CaO . . . 500 kg K_2O . . .	1.49	1.19	9.53	6.62	2.09	1.29
500 kg K_2O . . .	1.72	1.61	10.16	6.92	2.25	2.26

Die Wucherblume zeichnet sich vorerst durch einen außerordentlich hohen Kaligehalt aus. Besondere Wirkungen der Kalkdüngung sind jedoch hier nur insofern zu erkennen, als bei gleichzeitiger Kalk- und Kalidüngung eine Abnahme des Kaligehaltes in der Trockensubstanz eingetreten ist. Dieselbe Düngungsweise hat aber auch zu einem erheblichen Rückgang des Phosphorsäure- und Kalkgehaltes geführt. Man kann sich vielleicht diese stärkere Abweichung aus den größeren Ertragsdifferenzen erklären, die zwischen den einzelnen Parallelgefäßen bei der Ernte vorgelegen haben. Die Trockensubstanzerträge betrugen nämlich bei dieser Düngung: 17.0 g im Gefäß 1, 22.2 g im Gefäß 2 und 33.5 g im Gefäß 3. Der Entwicklungsvorsprung der Pflanzen im dritten

Gefäß hat wahrscheinlich den Mineralstoffgehalt der Gesamtprobe, namentlich was den P_2O_5- und K_2O-Gehalt anbelangt, im Sinne einer Erniedrigung beeinflußt. Noch eine weitere Besonderheit ergibt sich aus den Zahlen dieser Tabelle. Es betrifft dies das starke Ansteigen des Kalkwertes in den Wurzeln unter dem Einfluß der Kalidüngung. Es scheint, als ob diese beträchtliche Zunahme eine Schutzmaßnahme der Pflanze gegen eine Kaliüberschwemmung darstelle.

Tabelle 13.

Verhältniszahlen $CaO : K_2O$ ($CaO = 100$).

Pflanzenart	Ungedüngt	2500 kg CaO	5000 kg CaO	5000 kg CaO 500 kg K_2O	500 kg K_2O
It. Raigras					
oberirdische Teile . .	357	415	417	446	464
Wurzeln	194	167	190	236	283
Knaulgras					
oberirdische Teile . .	515	558	517	623	667
Wurzeln	171	147	189	212	—
Löwenzahn					
oberirdische Teile . .	272	289	276	313	304
Wurzeln	408	417	467	517	437
Wucherblume					
oberirdische Teile . .	431	412	410	456	452
Wurzeln	438	416	392	513	306

Eine Verbesserung des Verhältnisses zwischen Kalk und Kali als Folge der Kalkdüngung kann nur in zwei Fällen (Wucherblume) festgestellt werden. Bei den übrigen Arten hat es sich mehr oder weniger zugunsten des Kalis verschoben. Die bei der Besprechung der Tabellen 8, 9, 10 und 11 erwähnten Besonderheiten kommen in dieser Zusammenstellung deutlich zum Ausdruck. Wir verweisen auf das engere Verhältnis in den Wurzeln der beiden Gräser bei der einfachen Kalkgabe, das durch ein Sinken des Kaligehaltes bei annähernd gleichbleibendem Kalkgehalt entstanden ist und ganz besonders auf die wesentlich niedrigere Verhältniszahl, die sich für die Wurzeln der Wucherblume bei der Kalidüngung ergibt und die eine Folge der Kalkzunahme in den Wurzeln darstellt. Bemerkenswert erscheinen ferner die Unterschiede, die zwischen den beiden Pflanzenfamilien der Gräser und Kompositen hinsichtlich ihrer Verhältniszahlen für die oberirdischen Teile und für die Wurzeln bestehen. Wir finden in den Wurzeln der Gräser ein bedeutend engeres Verhältnis als in den oberirdischen Teilen, während für die beiden Kompositen, besonders aber für Löwenzahn, der umgekehrte Fall vorliegt. Dieses gegensätzliche Verhalten dürfte wohl

mit der Reservestoffspeicherung in Wurzeln und Grundachsen im Zusammenhang stehen.

Feldversuch.

Tabelle 14.

Italienisches Raigras *(Lolium italicum)*.
Gehalt der oberirdischen Teile an P_2O_5, K_2O und CaO in Prozenten der Trockensubstanz.

Düngung	3. 4. 1936				20. 5. 1936			
	Trockensubstanz %	P_2O_5	K_2O	CaO	Trockensubstanz %	P_2O_5	K_2O	CaO
Ungedüngt.	17.76	1.00	4.58	0.80	20.28	0.76	3.42	0.59
1500 kg CaO	18.84	1.07	4.42	0.96	21.68	0.67	3.38	0.57
3000 kg CaO	17.10	1.00	4.76	0.93	21.08	0.66	3.25	0.67
5000 kg CaO	18.75	0.89	4.38	0.92	20.04	0.73	3.40	0.61

Der Kaligehalt hat durch die Kalkdüngung keine wesentliche Veränderung erfahren. Dagegen ist namentlich in der jungen Pflanze der Gehalt an Kalk eindeutig angestiegen. Obwohl das italienische Raigras anläßlich der zweiten Probeentnahme noch nicht in Blüte gewesen ist, ist in der Zeit von wenigen Wochen eine beträchtliche Abnahme im Kalkgehalt eingetreten. Wir verweisen in diesem Zusammenhang auf die Ergebnisse einer Arbeit von O. de Vries (1934), aus denen bei Gräsern mit fortschreitender Entwicklung ein Rückgang des CaO-Gehaltes hervorgeht. Ebenfalls in rückläufigem Sinne bewegen sich zwischen der ersten und zweiten Untersuchung auch die Gehaltszahlen an Phosphorsäure und Kali. Auf die Phosphorsäureaufnahme scheint die Kalkdüngung nicht nachteilig gewirkt zu haben.

Tabelle 15.

Großer Ampfer *(Rumex obtusifolius)*.
Gehalt der oberirdischen Teile an P_2O_5, K_2O und CaO in Prozenten der Trockensubstanz.

Düngung	3. 4. 1936				20. 5. 1936			
	Trockensubstanz %	P_2O_5	K_2O	CaO	Trockensubstanz %	P_2O_5	K_2O	CaO
Ungedüngt.	12.70	1.32	5.35	0.84	11.32	1.21	5.30	0.69
1500 kg CaO	13.15	1.27	5.32	0.88	12.10	1.11	5.34	0.73
3000 kg CaO	13.00	1.28	5.44	0.98	11.84	1.05	5.41	0.68
5000 kg CaO	13.50	1.23	5.18	0.93	11.32	1.13	4.86	0.81

Eine Beeinflussung des Kaligehaltes durch die Kalkdüngung in einer bestimmten Richtung läßt sich an Hand dieser Ergebnisse nicht

nachweisen. Im Gegensatz zum italienischen Raigras ist der Kalkgehalt nur in einem bescheidenen Maße angestiegen, und zwar wiederum etwas ausgesprochener in der jüngeren Pflanze. Die Phosphorsäurewerte sind eher etwas gesunken. Wesentliche Veränderungen im Mineralstoffgehalt zwischen der jungen und der schnittreifen Pflanze (noch nicht in Blüte) sind nur im Kalkgehalt festzustellen, der wie beim italienischen Raigras mit fortschreitender Entwicklung abnehmende Tendenz aufweist.

Tabelle 16.

Scharfer Hahnenfuß *(Ranunculus acer)*.

Gehalt der oberirdischen Teile an P_2O_5, K_2O und CaO in Prozenten der Trockensubstanz.

Düngung	3. 4. 1936				20. 5. 1936			
	Trockensubstanz %	P_2O_5	K_2O	CaO	Trockensubstanz %	P_2O_5	K_2O	CaO
Ungedüngt.	11.28	1.52	5.22	1.29	17.00	0.90	3.53	1.90
1500 kg CaO	13.20	1.28	4.62	1.36	16.52	0.79	3.07	1.95
3000 kg CaO	13.74	1.27	4.38	1.47	17.56	0.79	3.51	1.97
5000 kg CaO	13.20	1.20	5.30	1.50	17.82	0.77	3.43	2.05

Hervorzuheben ist in dieser Zusammenstellung besonders das regelmäßige Ansteigen des Kalkgehaltes in beiden Untersuchungsfällen, wobei sich die stärkere Zunahme in der jungen Pflanze auch für den Hahnenfuß wiederholt. In Abweichung zu den beiden vorstehenden Arten zeichnet sich der Hahnenfuß im späteren Entwicklungsstadium (Stadium der Fruchtbildung) durch einen erheblich höheren Kalkgehalt aus. Phosphorsäure und Kali hingegen sind in der älteren Pflanze mit geringeren Prozentsätzen vertreten. Die Kaliwerte haben durch die steigenden Kalkgaben ebenfalls keine einheitliche Beeinflussung erfahren, obwohl zwar bei der kleinen und mittleren Gabe eine Abnahme

Tabelle 17.

Weißklee *(Trifolium repens)*.

Gehalt der oberirdischen Teile an P_2O_5, K_2O und CaO in Prozenten der Trockensubstanz.

Düngung	3. 4. 1936				20. 5. 1936			
	Trockensubstanz %	P_2O_5	K_2O	CaO	Trockensubstanz %	P_2O_5	K_2O	CaO
Ungedüngt.	13.90	1.52	5.80	2.53	11.94	0.98	3.95	1.96
1500 kg CaO	15.40	1.08	4.37	2.01	13.42	0.88	3.93	2.03
3000 kg CaO	15.48	0.97	3.85	2.20	11.97	0.91	3.94	1.75
5000 kg CaO	14.67	0.96	3.88	2.27	12.57	0.88	3.60	2.16

des Kaligehaltes eingetreten ist. Die Wirkungen der Kalkdüngung im Sinne einer Reduktion des Phosphorsäuregehaltes bestätigen sich auch für diese Art.

Bei Weißklee (Tabelle 17) läßt sich ein deutlicher Einfluß der Kalkdüngung auf den Kaligehalt der Pflanze herauslesen. Dieser nimmt mit steigender Kalkgabe ab, wobei allerdings die Differenz zwischen Ungedüngt und der höchsten Kalkgabe im fortgeschrittenen Entwicklungszustand kleiner wird. Eine weitere Ausnahme ergibt sich für den Weißklee auch in dem Umstand, daß wir als Folge der Kalkdüngung mehrheitlich einen Rückgang des Kalkgehalts in der Pflanze feststellen können. Nur die mit steigenden Kalkgaben kleiner werdenden Phosphorsäurewerte stehen in Übereinstimmung zu den Ergebnissen der bisher besprochenen Arten. Der allgemeine Rückgang des Gehaltes an Mineralstoffen, der sich beim Weißklee mit fortschreitender Entwicklung einstellt, wurde auch beim italienischen Raigras beobachtet.

Tabelle 18.

Wiesenkerbel *(Anthriscus silvestris)*.
Gehalt der oberirdischen Teile an P_2O_5, K_2O und CaO in Prozenten der Trockensubstanz.

Düngung	3. 4. 1936				20. 5. 1936			
	Trockensubstanz %	P_2O_5	K_2O	CaO	Trockensubstanz %	P_2O_5	K_2O	CaO
Ungedüngt.	12.40	1.62	6.81	1.71	15.97	1.10	4.20	2.21
1500 kg CaO	12.50	1.66	6.40	1.70	13.90	1.09	4.54	2.60
3000 kg CaO	13.10	1.52	6.54	1.77	13.58	0.98	5.16	2.24
5000 kg CaO	—	—	—	—	—	—	—	—

Auffallend ist in diesen Resultaten vor allem der verschiedene Verlauf der Kali-Ergebnisse in den beiden Untersuchungsfällen. Während beim Wachstumsbeginn die Wirkungen der Kalkdüngung im Sinne eines Rückganges des Kaligehaltes zur Geltung kommen, findet sich bereits in der blühenden und abgeblühten Pflanze die entgegengesetzte Erscheinung, d. h. eine Zunahme des Kaligehaltes mit steigenden Kalkgaben. Phosphorsäure- und Kaliwerte sind in der blühenden und samenbildenden Pflanze niedriger als in der jungen; der Kalkgehalt dagegen stellt sich für die erstere wesentlich höher. Das Verhalten des Wiesenkerbels stimmt in dieser Beziehung mit demjenigen des scharfen Hahnenfußes überein.

Der Entwicklungsverlauf des Bärenklaus (Blüten- und Samenbildung im zweiten Schnitt) läßt vermuten, daß zwischen ihm und den bisher besprochenen Arten auch gewisse Unterschiede im Mineralstoffgehalt

Tabelle 19.

Bärenklau *(Heracleum Sphondylium).*

Gehalt der oberirdischen Teile an P_2O_5, K_2O und CaO in Prozenten der Trockensubstanz.

Düngung	3. 4. 1936				20. 5. 1936			
	Trockensubstanz %	P_2O_5	K_2O	CaO	Trockensubstanz %	P_2O_5	K_2O	CaO
Ungedüngt.	13.26	1.46	4.93	1.80	12.80	1.13	6.17	1.82
1500 kg CaO	—	—	—	—	11.70	1.02	6.79	1.87
3000 kg CaO	14.15	1.16	4.96	1.47	12.78	0.85	6.39	1.91
5000 kg CaO	13.15	1.49	5.90	1.83	12.24	0.98	7.27	1.73

vorliegen. Die Ergebnisse von Tabelle 19 zeigen, daß sich diese Unterschiede vor allem auf das Kali beziehen, und zwar ist zunächst im Kaligehalt, im Gegensatz zu den übrigen Arten, in der älteren Pflanze ein starker Anstieg zu beobachten. Ebenso auffallend ist aber auch die Tatsache, daß die Kalkdüngung bereits in der jungen Pflanze zu einer Erhöhung des Kaligehaltes geführt hat. Während die Kalkdüngung an und für sich nur wenig auf die Höhe des Kalkgehaltes eingewirkt hat, ist auch in der Zeit zwischen der ersten und zweiten Probeentnahme keine wesentliche Änderung im Gehalt an diesem Mineralstoff eingetreten.

Tabelle 20.

Löwenzahn *(Taraxacum officinale).*

Gehalt der oberirdischen Teile an P_2O_5, K_2O und CaO in Prozenten der Trockensubstanz.

Düngung	3. 4. 1936				20. 5. 1936			
	Trockensubstanz %	P_2O_5	K_2O	CaO	Trockensubstanz %	P_2O_5	K_2O	CaO
Ungedüngt.	12.00	1.27	4.67	1.24	12.35	0.86	3.95	1.21
1500 kg CaO	12.44	1.24	4.57	1.30	12.04	0.97	4.03	1.50
3000 kg CaO	12.56	1.25	4.85	1.37	11.84	0.84	4.70	1.38
5000 kg CaO	13.60	1.17	4.37	1.51	11.32	0.87	4.12	1.42

Eine Wirkung der Kalkdüngung auf die Höhe des Kaligehaltes in einer bestimmten Richtung ist aus diesen Ergebnissen nicht ersichtlich. Dasselbe gilt für den Gehalt der Pflanzen an Phosphorsäure. Der Kalkanteil ist dagegen durchwegs etwas gestiegen. Die vergleichende Betrachtung der Ergebnisse aus beiden Untersuchungen zeigt für die Blätter der abgeblühten Pflanze einen geringeren Gehalt an Phosphorsäure und Kali. Der Kalkgehalt hat weder zu- noch abgenommen.

Besondere Zusammenhänge zwischen der Höhe des Trockensubstanz- und des Mineralstoffgehaltes lassen sich im allgemeinen nicht nachweisen. Wir haben die Trockensubstanzwerte angeführt, um über die Einheitlichkeit des Analysenmaterials Aufschluß zu geben. Es soll damit namentlich gezeigt werden, daß beim Sammeln der Pflanzen darauf geachtet worden ist, ein Untersuchungsmaterial zu erhalten, das innerhalb einer Art hinsichtlich des Entwicklungszustandes keine allzu großen Differenzen aufwies. Wir wissen, daß bei einer Vernachlässigung des Alters der Pflanzen große Fehlerquellen entstehen können. Um so mehr wurde daher danach getrachtet, ein in bezug auf die jahreszeitliche Entwicklung gleichmäßiges Material zu gewinnen.

Tabelle 21.

Verhältniszahlen CaO : K_2O (CaO = 100).

Pflanzenart	3. 4. 1936				20. 5. 1936			
	0	1500 CaO	3000 CaO	5000 CaO	0	1500 CaO	3000 CaO	5000 CaO
Italienisches Raigras . .	573	460	512	476	580	593	485	557
Großer Ampfer	637	605	555	557	768	731	796	600
Scharfer Hahnenfuß . .	405	340	298	353	186	157	178	167
Weißklee	229	217	175	171	201	194	225	167
Wiesenkerbel	398	376	369	—	190	175	230	—
Bärenklau	274	—	337	323	339	363	335	420
Löwenzahn	377	351	354	289	326	269	340	290

Aus dieser Übersicht geht hervor, daß eine im Januar vorgenommene Kalkung das Verhältnis zwischen Kalk und Kali in der Trockensubstanz der bei Beginn des Frühlingswachstums untersuchten Pflanzen mit einer Ausnahme (Bärenklau) enger gestaltet hat. Im allgemeinen ist aber diese Erscheinung nicht auf eine starke Reduktion des Kaligehaltes, sondern auf die Erhöhung des Kalkgehaltes zurückzuführen. Die gleiche Tendenz ist auch im späteren Entwicklungsstadium (Heuschnittreife), wenn auch in schwächerem Maße, zu beobachten. Die stärkere Zunahme des Kalkgehaltes einerseits und der Rückgang des Kaligehaltes in der Zeit zwischen der ersten und zweiten Probeentnahme anderseits bedingen die wesentlichen Differenzen in den Verhältniszahlen von Hahnenfuß und Wiesenkerbel. Beim großen Ampfer ist es die Abnahme des Kalkgehaltes, die das bedeutend weitere Verhältnis bei der zweiten Untersuchung verursacht hat.

In den folgenden drei Tabellen sind die Ergebnisse der dritten Untersuchung, die auf drei Pflanzenarten beschränkt wurde, zusammengestellt. Die Probeentnahme fand am 24. Juni 1937 (2. Schnitt) statt:

Tabelle 22.

Großer Ampfer *(Rumex obtusifolius)*.

Gehalt der oberirdischen Teile an P_2O_5, K_2O und CaO in Prozenten der Trockensubstanz und Verhältniszahlen CaO : K_2O.

Düngung	Trockensubstanz %	P_2O_5	K_2O	CaO	Verhältniszahl CaO : K_2O
Ungedüngt . . .	13.9	0.98	4.47	1.49	300
1500 kg CaO . . .	14.4	0.89	3.92	1.61	234
3000 kg CaO . . .	14.8	0.88	3.51	1.43	245
5000 kg CaO . . .	14.25	0.90	4.02	1.76	228

Tabelle 23.

Weißklee *(Trifolium repens)*.

Gehalt der oberirdischen Teile an P_2O_5, K_2O und CaO in Prozenten der Trockensubstanz und Verhältniszahlen CaO : K_2O.

Düngung	Trockensubstanz %	P_2O_5	K_2O	CaO	Verhältniszahl CaO : K_2O
Ungedüngt . . .	18.45	0.75	2.36	2.79	85
1500 kg CaO . . .	18.55	0.68	2.65	2.69	98.5
3000 kg CaO . . .	17.85	0.73	2.47	2.78	89
5000 kg CaO . . .	16.86	0.76	2.14	2.66	81

Tabelle 24.

Löwenzahn *(Taraxacum officinale)*.

Gehalt der oberirdischen Teile an P_2O_5, K_2O und CaO in Prozenten der Trockensubstanz und Verhältniszahlen CaO : K_2O.

Düngung	Trockensubstanz %	P_2O_5	K_2O	CaO	Verhältniszahl CaO : K_2O
Ungedüngt . . .	15.20	1.40	2.71	2.18	124
1500 kg CaO . . .	14.95	1.45	3.27	2.28	143
3000 kg CaO . . .	14.80	1.57	3.56	2.07	172
5000 kg CaO . . .	15.10	1.42	3.75	2.38	158

Wenn wir dieses Zahlenmaterial zunächst mit demjenigen der beiden ersten Untersuchungen vergleichen, so fällt in erster Linie eine durchgehende Erhöhung des Kalkgehaltes und ein allgemeiner Rückgang des Kaligehaltes gegenüber den Ergebnissen des Vorjahres auf.

Im einzelnen zeigt sich als Folge der Kalkdüngung beim großen Ampfer ein deutlicher Rückgang des Kaligehaltes, während die gleiche Art im Vorjahre lediglich durch eine unbedeutende Erhöhung des Kalk-

gehaltes auf die Düngung reagiert hatte. Beim Weißklee ist weder im Kali- noch im Kalkgehalt eine Wirkung der Kalkdüngung zu erkennen, obwohl diese Art im ersten Jahre starke Ausschläge gezeigt hatte, und beim Löwenzahn tritt augenfällig eine Beeinflussung im Sinne einer Erhöhung des Kaligehaltes mit steigenden Kalkgaben in Erscheinung. Auch der Gehalt an Kalk hat bei dieser Art teilweise etwas zugenommen. Den auffallend niedrigen Phosphorsäuregehalt des Weißklees bringen wir damit in Zusammenhang, daß für die Analysen nur Blätter verwendet worden sind. Die Pflanzen hatten aber zur Zeit der Probeentnahme reichlich Blüten gebildet und dürften den größeren Phosphorsäurebedarf für die Samenbildung zum Teil schon aus den Blättern gedeckt haben. Das gleiche mag, wenn auch nicht so ausgeprägt, auch beim großen Ampfer, der ebenfalls in Blüte stand, der Fall gewesen sein. Entsprechend den Veränderungen im Gehalt der Pflanzen an den einzelnen Mineralstoffen haben sich auch die Verhältniszahlen verändert. Sie erweisen sich im allgemeinen als durchwegs günstiger, insbesondere, was das Kalk-Kali-Verhältnis anbetrifft. Dafür scheint aber mehr das Entwicklungsstadium der Pflanzen als die Kalkdüngung verantwortlich zu sein.

IV. Besprechung der Ergebnisse.

Wir haben bereits an anderer Stelle die wichtigsten Faktoren erwähnt, die auf die Höhe des Mineralstoffgehaltes und das Verhältnis der Mineralstoffe in der Pflanze von Einfluß sind. Weil diese die Grundlage für die Besprechung der vorliegenden Ergebnisse bilden, sollen sie hier nochmals angeführt werden. Es sind :

1. Art und Menge der Düngung;
2. Eigenschaften und Düngungszustand des Bodens;
3. die Art der Pflanze.

Wir sind uns bewußt, daß es sich mit der Nennung dieser drei Faktorengruppen um eine ganz summarische Gruppierung handelt. Eine exakte Faktorentrennung wurde auch nicht bezweckt, denn unsere Arbeit stellt sich nicht zur Aufgabe, rein theoretische Probleme zu lösen, sondern sie will lediglich ein Versuch sein, bisherige Kenntnisse für die Praxis richtig auszuwerten. Aus diesem Grunde ist die Besprechung der Versuchsergebnisse mit wesentlichen Schwierigkeiten verbunden, die naturgemäß um so größer sind, je mehr die Versuchsbedingungen mit den natürlichen Verhältnissen übereinstimmen.

Wir wollen zunächst an Hand der Ergebnisse folgende Frage zu beantworten versuchen : Hat die Kalkdüngung unmittelbar die Höhe des Mineralstoffgehaltes der Pflanzen beeinflußt ? Von einer Kalkzufuhr zu einem mit Kali übersättigten Boden könnten wir nach den Kenntnissen über die Nährstoffaufnahme der Pflanze einen auf dem Ionen-

antagonismus Ca : K beruhenden Rückgang der Kaliaufnahme erwarten. Ein solcher tritt auch ein, wenn durch die Kalkdüngung eine Erhöhung der Ca-Ionenkonzentration in der von der Pflanze aufgenommenen Nährlösung erfolgt. Die direkte Wirkung der Kalkdüngung auf die Höhe des Mineralstoffgehaltes der Pflanzen ist daher zunächst von den Löslichkeitsverhältnissen des Kalkes abhängig. Diese wiederum sind nicht nur durch die Art des Kalkdüngers bedingt, sondern durch eine ganze Reihe weiterer Faktoren, die namentlich von H. Kuron (1936) näher untersucht worden sind. Anderseits ist aber ebenfalls zu berücksichtigen, daß der Kalk auch die Löslichkeit der vom Boden festgehaltenen Nährstoffe begünstigen kann. Diese Eigenschaft bezieht sich vor allem auf die Mobilisierung des Bodenkalis. Der gleichzeitige Ablauf dieser Vorgänge bewirkt nun, daß der unmittelbare Einfluß einer Kalkdüngung auf Grund der Mineralstoffanalyse der Pflanze nur schwer erfaßt werden kann. Mit einem solchen darf noch am sichersten dann gerechnet werden, wenn als Folge der Kalkdüngung in der Pflanzenasche eine Erhöhung des Kalkgehaltes feststellbar ist. Sie darf ferner auch in jenem Falle noch mit einiger Sicherheit angenommen werden, wenn durch die Kalkung eines kalireichen Bodens keine Zunahme des Kaligehaltes in der Pflanze eintritt. Man kann nämlich in diesem Falle annehmen, daß sich mittelbare Folgen der Kalkdüngung in Form einer Kalimobilisierung und unmittelbare im Sinne einer Erhöhung der Ca-Ionenkonzentration gegenseitig aufheben, woraus nur unbedeutende Veränderungen im Mineralstoffgehalt der Pflanze resultieren müssen. Endlich zeigen gerade unsere Ergebnisse, daß für die Beurteilung der direkten Wirkung der Kalkdüngung auch die botanische Zusammensetzung des Futters, das heißt die Art der Pflanze, eine gewisse Rolle spielt. Auf Grund dieser Überlegungen fällt daher die Antwort auf die weiter oben gestellte Frage nicht eindeutig aus. Sie lautet je nachdem verschieden, ob die Ergebnisse des Vegetationsversuches oder diejenigen des Feldversuches betrachtet werden. Wir müssen daher zunächst auf die im vorliegenden Falle zum vornherein bestehenden Unterschiede zwischen Vegetations- und Feldversuch hinweisen. Im Vegetationsversuch, in dem in jeder Beziehung optimale Bedingungen vorliegen, ist der Verlauf der möglichen Reaktionen viel intensiver und rascher. Eine Düngung von 5000 kg CaO pro Hektar im Vegetationsversuch liefert ein Ergebnis, das sich kaum mit demjenigen gleicher Kalkmengen im Feldversuch vergleichen läßt. Außerdem erfolgte die Kalkdüngung im Vegetationsversuch in Form von Calciumkarbonat, während sie im Feldversuch in der rascher löslichen Form von Kalkhydrat verabreicht wurde. Ein weiterer wichtiger Unterschied besteht darin, daß die Kalkmengen im Vegetationsversuch mit der Versuchserde gründlich durchmischt worden sind und damit viel ausgiebiger zur Wirkung gelangen konnten als im Feldversuch, wo die Kalkdüngung nur auf die Ober-

fläche erfolgte und der Kalk vorerst durch die Niederschläge in den Boden eingespült werden mußte, ein Vorgang, der nach den Untersuchungen von O. de Vries (1934) nur sehr langsam vor sich geht.

Im Vegetationsversuch ist unter den vier Pflanzenarten, die zwei verschiedenen Familien angehören, bei keiner als Folge der Kalkdüngung eine Zunahme des Kalkgehaltes in der Pflanze zu verzeichnen. Ebenso wenig ist auch eine direkte Wirkung des Kalkes im Sinne einer Beeinträchtigung des Kaligehaltes nach unten zu erkennen. Im Feldversuch dagegen haben von sieben Pflanzenarten sechs durch eine Erhöhung des prozentischen Kalkgehaltes in der Trockensubstanz reagiert, wovon zwei gleichzeitig auch einen geringeren Kaligehalt aufweisen. Dieses Resultat läßt sich vielleicht dadurch erklären, daß im Vegetationsversuch durch das Mischen des Kalkes mit der Versuchserde die indirekten Wirkungen des Kalkes vorwiegen, während durch das oberflächliche Ausbringen im Feldversuch mehr die direkten Einflüsse zur Wirkung gelangten. Das Kalkhydrat auf der Oberfläche ist nur langsam durch die Niederschläge in den Boden eingespült worden. Es ist daher in einem viel geringeren Maße mit den Bodenteilchen, die im Wurzelbereich einer Pflanze sich vorfinden, in Berührung getreten. Seine bessere Löslichkeit hat aber offenbar bewirkt, daß in den obersten Bodenschichten, aus denen die Hauptnährstoffmengen entnommen werden, eine Erhöhung der Ca-Ionenkonzentration der Nährlösung entstehen konnte, und daß in diesem kleineren Wirkungsbereich eine Mobilisierung der Nährstoffe, bzw. eine indirekte Wirkung verhältnismäßig gering ausfallen mußte. Im Vegetationsversuch aber ist der Kalk mit der Gesamterde, in der die Pflanzen ihre Wurzeln ausbreiten, in Berührung gekommen. Begünstigt durch die übrigen optimalen Bedingungen, hat der Kalk zu einer stärkeren Mobilisierung des Bodenkalis geführt, was auch in den zum Teil beträchtlich höheren Kaliwerten in der Pflanzenasche zum Ausdruck kommt.

Die durch die Kalkdüngung zugeführten Ca-Ionen tauschen mit den K-Ionen der Bodenkolloide um und führen zu einer Anreicherung der Nährlösung an K-Ionen. Sind nun in dieser neben vielen Kaliumionen verhältnismäßig wenig Ca-Ionen vorhanden, so macht sich die auf chemisch-physikalischen Eigenschaften beruhende raschere Diffundierbarkeit der K-Ionen geltend. Sie erlangen in der Zelle der Pflanze bald das Übergewicht, und da die Aufnahme der Nährstoffe in die Zelle in erster Linie durch die Mengen der dort bereits vorhandenen Ionen und erst in zweiter Linie durch das jeweilige Mengenverhältnis K : Ca in der Nährlösung bestimmt wird, so bringen die eingedrungenen K-Ionen das Protoplasma zur Quellung und erhöhen dessen Durchlässigkeit, was wiederum für die beweglicheren K-Ionen von Vorteil ist (vgl. Truninger [1937], S. 77). Soweit sich nun überhaupt aus den Aschenanalysen Schlüsse ziehen lassen, darf angenommen werden, daß die im

Vegetationsversuch eingetretene Erhöhung des Kaligehaltes in der Trockensubstanz der Pflanze und der Rückgang dieses Mineralstoffes in der Pflanzenasche im Feldversuch mit den vorstehenden Ausführungen in Zusammenhang gebracht werden können. Es mag gerade hier noch auf einen weiteren Unterschied zwischen Vegetations- und Feldversuch hingewiesen sein. Im ersten Fall befinden sich die Pflanzen schon kurz nach der Keimung in ihrem Versuchsmilieu und wachsen in diesem heran, während im zweiten Fall die veränderten Bedingungen auf eine bereits vorhandene Pflanze einwirken. Die hohe Kalikonzentration der Nährlösung im ersten Entwicklungsstadium hat vielleicht diese Verschiedenheit der Ergebnisse ebenfalls begünstigt.

Die Höhe der Kalkgaben scheint diese Vorgänge nur wenig beeinflußt zu haben. Immerhin liegen gewisse Unterschiede zwischen den einzelnen Pflanzenarten vor.

Aus zahlreichen Untersuchungen geht ferner hervor, daß der Gehalt an Mineralstoffen und besonders das Verhältnis unter diesen zunächst je nach der Pflanzenart verschieden ist. Wir haben schon in einem andern Zusammenhang auf die Besonderheiten einzelner Arten hingewiesen. Der Mineralstoffgehalt einer Pflanze ist aber auch im Laufe der Entwicklung mehr oder weniger großen Schwankungen unterworfen. Ebenso sind Änderungen je nach den Wachstumsbedingungen, dem Standort usw. zu erwarten. Artbedingte Eigenschaften treten aber trotz dieser verschiedenen Einflüsse doch immer wieder hervor. Diese Tatsache erfordert unbedingt die Berücksichtigung der botanischen Zusammensetzung des Futters, wenn aus der Aschenanalyse auf die Wirkungen einer Düngung geschlossen werden soll. Besonders in unserem Falle, wo durch die einseitige Gülledüngung stärkere Veränderungen in der botanischen Zusammensetzung eines Pflanzenbestandes auftreten, darf dieser Gesichtspunkt nicht außer acht gelassen werden.

Damit die Unterschiede, die sich in unserer Untersuchung zwischen den einzelnen Arten ergeben haben, an Übersichtlichkeit gewinnen, ist der Einfluß der Kalkdüngung auf den Gehalt an Mineralstoffen in den nachfolgenden Tabellen in Verhältniszahlen dargestellt, wobei die Phosphorsäure-, Kali- und Kalkwerte in den ungedüngten Gefässen, bzw. Parzellen, den Wert 100 erhalten haben.

Hinsichtlich der Wirkungen der Kalkdüngung auf den Phosphorsäuregehalt der oberirdischen Teile verhalten sich die einzelnen Arten mehr oder weniger übereinstimmend. Obwohl sich dieser zwar eher etwas erhöht hat, sind die Differenzen gegenüber ungedüngt nicht so groß, daß hier von einer Mobilisierung oder Festlegung der Phosphorsäure durch die Kalkdüngung gesprochen werden könnte. Italienisches Raigras, Knaulgras und Löwenzahn zeigen im Gegensatz zur Wucherblume in den Wurzeln fast durchwegs einen stärkeren Anstieg des Phosphorsäuregehaltes als in den oberirdischen Teilen, das heißt sowohl die Kalk-

Tabelle 25.

Vegetationsversuch: Verhältniszahlen P_2O_5, K_2O und CaO. Ungedüngt = 100.

Pflanzenart	P_2O_5				K_2O				CaO			
	2500 CaO	5000 CaO	5000 500 CaO + K_2O	500 K_2O	2500 CaO	5000 CaO	5000 500 CaO + K_2O	500 K_2O	2500 CaO	5000 CaO	5000 500 CaO + K_2O	5000 K_2O
Italienisches Raigras												
Oberirdische Teile . .	111	112	102	105	119	120	122	126	102	103	98	97
Wurzeln	118	109	103	112	96.5	105	122	122	112	107	101	84
Knaulgras												
Oberirdische Teile . .	108	93.5	94.5	111	114	98	118	135	106	98	98	104
Wurzeln	116	197	100	144	79.5	110	113	—	93	100	91.5	116
Löwenzahn												
Oberirdische Teile . .	92	100	96	94.5	102	103	111	109	96	102	96	97
Wurzeln	101	101	121	88	104	119	129	99	102	104	102	92
Wucherblume												
Oberirdische Teile . .	100	106	88	102	97	99	94	100	101	104	89	96
Wurzeln	97.5	98	70	95	99.5	106	101	105	105	118	86	150

als auch die Kalidüngung haben bewirkt, daß der Phosphorsäuregehalt der Wurzeln, wenn eine Erhöhung in den oberirdischen Teilen eingetreten ist, prozentual stärker zugenommen hat. Sofern sich aber durch die Düngung ein Rückgang des Phosphorsäuregehaltes in den oberirdischen Teilen ergab (teilweise bei Knaulgras und Löwenzahn), war dieser in den Wurzeln prozentual niedriger oder überhaupt nicht vorhanden. Bei der Wucherblume ist in dieser Hinsicht das Gegenteil festzustellen. Der Phosphorsäuregehalt der Wurzeln ist dort bei annähernd unveränderten Gehaltszahlen der oberirdischen Teile gesunken.

Der Kaligehalt der oberirdischen Teile hat mit Ausnahme der Wucherblume bei allen Arten eine kleine Erhöhung erfahren, wobei die Höhe der Kalkgaben ohne Einfluß geblieben ist. Zwischen Kalkdüngung einerseits und Kalidüngung anderseits ergeben sich im Gehalt der oberirdischen Teile nur geringe Unterschiede. Lediglich das Knaulgras scheint mit einer stärkeren Zunahme auf die Kaligabe reagiert zu haben. Auffallend sind hingegen die Differenzen, die im Kaligehalt der Wurzeln vorkommen. Bei den Gräsern hat dieser im Verhältnis zu den oberirdischen Teilen weniger zugenommen, während für die Kompositen in den Wurzeln eine stärkere Anreicherung festzustellen ist.

Aus einem Vergleich der Beziehungen zwischen Düngung und Kalkgehalt ergibt sich eine Übereinstimmung im Verhalten des italienischen Raigrases und des Löwenzahns. Beide Arten zeichnen sich durch eine größere Zunahme des Kalkgehaltes in den Wurzeln aus, während dieser durch die Kalidüngung gesunken ist. Im Gegensatz dazu weisen das Knaulgras und die Wucherblume bei Kalidüngung eine stärkere Zunahme des Kalkgehaltes in den Wurzeln auf. Es scheint nicht ausgeschlossen zu sein, daß bei diesen beiden Arten eine gewisse Beziehung zwischen Kalidüngung und Kaliaufnahme einerseits und dem Kalkgehalt der Wurzeln anderseits besteht. Wir haben bereits darauf aufmerksam gemacht, daß die Kalidüngung beim Knaulgras den Gehalt an Kali in den oberirdischen Teilen am stärksten erhöht hat. Die Wucherblume zeigt schon in den ungedüngten Gefäßen einen derart hohen Kaligehalt, daß eine weitere Kalianreicherung in der Trockensubstanz kaum ohne empfindliche Schädigungen der Pflanzen möglich gewesen wäre. Die Zunahme des Kalkgehaltes in den Wurzeln darf daher wohl als eine Reaktion der Pflanze gegen einen für sie schädlichen, übermäßigen Kalikonsum betrachtet werden. Wenn wir aber die Ergebnisse der Wurzelanalysen in diese Betrachtung nicht einschließen, so können wir bei allen vier Arten eine ähnliche Reaktion auf die Düngung feststellen.

Die vergleichende Betrachtung der Phosphorsäurewerte (Tabelle 26) zeigt für alle Arten eine übereinstimmende Tendenz. Sie sind unter dem Einfluß der Kalkdüngung fast durchwegs gesunken, wobei aber wiederum die Höhe der Kalkgabe nicht zum Ausdruck kommt. Die stärkste Re-

Tabelle 26.

Feldversuch: Verhältniszahlen P_2O_5, K_2O und CaO. Ungedüngt = 100.

Pflanzenart	P_2O_5			K_2O			CaO		
	1500 CaO	3000 CaO	5000 CaO	1500 CaO	3000 CaO	5000 CaO	1500 CaO	3000 CaO	5000 CaO
Italienisches Raigras									
I. Untersuchung	107	100	89	96.5	106	96	120	116	115
II. Untersuchung	88	87	96	99	93.5	99.5	96.5	113	103
Großer Ampfer									
I. Untersuchung	96	97	93	99.5	102	97	105	117	111
II. Untersuchung	92	87	93	101	102	92	106	98.5	117
Scharfer Hahnenfuß									
I. Untersuchung	84	83.5	79	88.5	84	101	105	114	116
II. Untersuchung	88	88	85.5	87	99.5	97	103	104	108
Weißklee									
I. Untersuchung	71	64	63	75	66.5	67	79.5	87	90
II. Untersuchung	90	93	90	99.5	100	91	103	89	110
Wiesenkerbel									
I. Untersuchung	102	94	—	94	96	—	99.5	103	—
II. Untersuchung	99	89	—	108	123	—	118	101	—
Bärenklau									
I. Untersuchung	—	79.5	102	—	101	120	—	82	102
II. Untersuchung	90	75	87	110	104	118	103	105	95
Löwenzahn									
I. Untersuchung	98	98.5	92	98	104	93.5	105	110	122
II. Untersuchung	113	98	101	102	119	104	124	114	117

duktion des Phosphorsäuregehaltes ist beim Weißklee eingetreten; doch scheinen sich die Differenzen mit fortschreitender Entwicklung immer mehr auszugleichen. Die kleineren Schwankungen in den Ergebnissen der übrigen Arten können durch die Beschaffenheit des Untersuchungsmaterials bedingt sein.

Hinsichtlich der Kaliwerte erscheint das Bild weniger einheitlich. Hervortretend ist das besondere Verhalten des Bärenklaus, dessen Gehalt an Kali ausnahmslos zugenommen hat. Eine ähnliche Tendenz zeigt sich auch für den Löwenzahn, während beim italienischen Raigras, dem großen Ampfer und Wiesenkerbel die Kaliwerte sich kaum wesentlich verändert haben. Eine teilweise Abnahme ist nur beim scharfen Hahnenfuß und beim Weißklee festzustellen. Im allgemeinen sind die Fälle, wo der Kaligehalt unter dem Einfluß der Kalkung ansteigt, beim Versuchsmaterial der zweiten Probeentnahme häufiger als bei demjenigen der ersten. Es erhebt sich daher die Frage, ob in dieser Feststellung die kalimobilisierende Wirkung des Kalkes in der Zeit zwischen der ersten und der zweiten Probeentnahme zum Ausdruck kommt. Wir müssen dies um so mehr annehmen, als die in der Entwicklung fortgeschrittenere Pflanze in der Regel einen geringeren Kaligehalt aufweist als die junge Pflanze. Der Kaligehalt ist, wie die Verhältniszahlen darlegen, mit fortschreitender Entwicklung der Pflanze unter dem Einfluß der Kalkung etwas weniger gesunken als bei Ungekalkt. Das Verhalten des großen Ampfers, dessen Kaliwerte bei der dritten Untersuchung eine deutliche Kalkwirkung im Sinne eines Rückganges des Kaligehaltes erkennen lassen, scheint allerdings dieser Annahme zu widersprechen.

In der Beeinflussung des Kalkgehaltes durch die Düngung sind wesentliche Unterschiede zwischen den einzelnen Arten nicht festzustellen. Nur der Weißklee hat sich durch eine Abnahme des Kalkgehaltes in der ersten Untersuchung etwas abweichend verhalten. Auch hier kommt in den Ergebnissen die Höhe der Kalkgaben nicht zur Geltung.

V. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen.

Der Mineralstoffgehalt des Futters einer einseitig mit Gülle gedüngten Wiese zeichnet sich durch sehr hohe Kali- und vielfach auch durch relativ geringe Kalkwerte aus. Der übermäßig hohe Kaligehalt ist bedingt durch die mit der Gülle zugeführten großen Kalimengen einerseits und durch den Luxuskonsum, den die Pflanze mit diesem Nährstoff treibt, anderseits. Teilweise sind es auch einzelne durch die Gülledüngung begünstigte Pflanzenarten, die durch einen besonders hohen Kaligehalt den Gehalt des Futters an diesem Mineralstoff erhöhen. Wenn eine Abnahme des Kalkgehaltes festgestellt werden kann, so beruht diese in den meisten Fällen auf den durch die Gülledüngung verursachten Veränderungen des Pflanzenbestandes. Der abnormal hohe Kaligehalt

des Futters und das ungünstige Verhältnis zwischen den einzelnen Mineralstoffen sollen sich auf die Dauer für das Tier als gesundheitsschädlich erweisen. Unter den Maßnahmen, die zur Behebung dieser Schäden vorgeschlagen werden, steht neben einer Einschränkung der Gülledüngung besonders die Kalkdüngung im Vordergrund. Die Wirkungen der letzteren sind aber namentlich in bezug auf die Verbesserung des Mineralstoffverhältnisses vielfach umstritten. Ihre richtige Deutung stößt insofern auf Schwierigkeiten, als eine Kalkdüngung auch mannigfaltige indirekte Wirkungen zur Folge hat. Aber auch der direkte Einfluß kann nur dann richtig erfaßt werden, wenn das Verhalten der einzelnen Pflanzenarten gegenüber der Kalkdüngung bekannt ist; denn allfällige, in dieser Richtung vorhandene Unterschiede können je nach der botanischen Zusammensetzung des Futters zu verschiedenen Schlußfolgerungen führen. Die vorliegende Arbeit stellte sich zur Aufgabe, diese Frage für die besonderen, bei der einseitigen Gülledüngung vorliegenden Verhältnisse zu klären. Ihre Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen :

1. Im Vegetationsversuch ist bei einer Kalkdüngung in Form von Kalkkarbonat bei italienischem Raigras *(Lolium italicum)*, Knaulgras *(Dactylis glomerata)*, Löwenzahn *(Taraxacum officinale)* und Wucherblume *(Chrysanthemum Leucanthemum)* keine Erhöhung des Kalkgehaltes in der Trockensubstanz der oberirdischen Teile, dagegen bei den drei ersten Arten eine deutliche Zunahme des Kaligehaltes eingetreten. Die Kalkdüngung hat zu einer Mobilisierung des Bodenkalis geführt. Das Mineralstoffverhältnis ist durch die weitere Erhöhung des Kaligehaltes noch ungünstiger geworden. Bei der Wucherblume erreichte der Kaligehalt ohne Kalkdüngung eine Höhe von zirka 10 % der Trockensubstanz. Hier ist durch die Kalkzufuhr keine weitere Erhöhung des Kaligehaltes eingetreten. An Hand der Ertragsermittlungen und der Mineralstoffanalysen der Wurzeln konnten gewisse Unterschiede zwischen den einzelnen Arten festgestellt werden, die aber vorderhand mehr theoretisches als praktisches Interesse besitzen.

2. Im Feldversuch, wo die Düngung in Form von Kalkhydrat erfolgte, sind sieben verschiedene Pflanzenarten in zwei kurz aufeinanderfolgenden Zeitpunkten (2½ und 4 Monate nach der Kalkung) auf ihren Mineralstoffgehalt untersucht worden. Eine dritte Untersuchung fand an drei Arten 17 Monate nach der Düngung statt. Die erste Untersuchung, die kurz nach Vegetationsbeginn durchgeführt worden ist, ergab die stärkste Beeinflussung des Mineralstoffgehaltes. Bei vier Arten (italienisches Raigras, großer Ampfer, scharfer Hahnenfuß und Löwenzahn = *Lolium italicum, Rumex obtusifolius, Ranunculus acer* und *Taraxacum officinale)* ist der Kalkgehalt in der Trockensubstanz gegenüber Ungedüngt deutlich angestiegen, bei zwei Arten (Wiesenkerbel, Bärenklau = *Anthriscus silvestris, Heracleum Sphondylium)* ist

er ungefähr gleich geblieben, und bei der siebenten Art (Weißklee = *Trifolium repens)* hat er abgenommen. Der Kaligehalt ist nur bei Bärenklau angestiegen; bei vier Arten (italienisches Raigras, großer Ampfer, Wiesenkerbel und Löwenzahn) blieb er nahezu unverändert, und bei zwei Arten (scharfer Hahnenfuß und Weißklee) ist er eher zurückgegangen. Das Verhältnis zwischen Kalk und Kali hat sich mit einer einzigen Ausnahme (Bärenklau) bei allen Arten verbessert. Eine ähnliche Tendenz zeigt sich auch bei der zweiten Untersuchung, nämlich mehrheitlich eine kleine Erhöhung des Kalkgehaltes und ein unveränderter Kaligehalt, wobei sich allerdings nicht nur eine Zunahme bei Bärenklau, sondern auch bei Wiesenkerbel und Löwenzahn ergibt. Diese Ergebnisse sind durch die Höhe der Kalkgaben nicht wesentlich beeinflußt worden. In der dritten Untersuchung konnte für den großen Ampfer eine deutliche Abnahme des Kaligehaltes, bei Löwenzahn dagegen eine Zunahme als Folge der Kalkdüngung festgestellt werden. Beim Weißklee war eine deutliche Wirkung der Kalkdüngung nicht mehr nachzuweisen.

3. Es wurde versucht, die Unterschiede zwischen den Ergebnissen des Vegetations- und des Feldversuches zu erklären. Sie scheinen auf der verschiedenen Löslichkeit der Kalkdünger, den verschiedenen Düngungsmengen und nicht zuletzt auf den verschiedenen Bedingungen, die für die Reaktionen des Kalkes im Boden in beiden Versuchen vorlagen, zu beruhen. Sie weisen daher darauf hin, daß je nach den vorliegenden Bedingungen eine Beeinflussung des Mineralstoffgehaltes durch die Kalkdüngung in verschiedener Richtung erfolgen kann.

4. Die wiederholte Ausbreitung der Kalkdünger in kleineren Mengen scheint nach den vorliegenden Ergebnissen die Aufgabe einer Verbesserung des Mineralstoffverhältnisses im Futter besser erfüllen zu können als eine einmalige starke Kalkdüngung.

Zitierte Literatur.

Ehrenberg, P., 1920: Das Kalk-Kali-Gesetz. Neue Ratschläge zur Vermeidung von Mißerfolgen bei der Kalkdüngung. Landw. Jahrbücher 54, 1—160.

Gallay, R., 1937: Comment faut-il chauler? Conseils pour la pratique. Landw. Vorträge, Heft 13. Verlag Huber & Cie., Frauenfeld.

Gehring, A., Creuzburg, U., Pommer, E., v. Stockhausen, H. und Wehrmann, O., 1933: Weitere Untersuchungen über die Wirkung des Magnesiums auf den Ernteertrag des Bodens. Zeitschrift f. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde. A. 29, 335—380.

Kauter, A., 1935: Der Aschengehalt des Heugrases in seiner Abhängigkeit von Pflanzenbestand und Bodenreaktion. Landw. Jahrbuch der Schweiz 49, 69—86.

Kuron, H., 1936: Die Umsetzungen des Düngerkalkes im Erdboden. Landw. Jahrbücher 83, 601—710.

Liechti, P. und Ritter, E., 1921: Über die Wiesendüngung mit Gülle, unter besonderer Berücksichtigung der Verwertung des Güllestickstoffes bei der Grünfuttererzeugung. Landw. Jahrbuch der Schweiz 35, 1—66.

Truninger, E., 1937: Kalk und Pflanze. Landw. Vorträge, Heft 13. Verlag Huber & Cie., Frauenfeld.

— und von Grünigen, F., 1935: Über den Mineralstoffgehalt einiger unserer wichtigsten Wiesenpflanzen mit besonderer Berücksichtigung der physiologischen Bedeutung des Kalis im Wiesenfutter. Landw. Jahrbuch der Schweiz 49, 129—146.

Tschumi, L. und Stalé, J., 1935: Enquête sur les prairies naturelles du canton de Fribourg en 1932—1933—1934. Landw. Jahrbuch der Schweiz 49, 129—146.

de Vries, O., 1934: Einige Beiträge zur Kalkfrage auf Grasland. Verhandlungsbericht des III. Grünlandkongresses, 53—64.

Wahlen, F. T., 1934: Tagesfragen aus dem schweiz. Futterbau. Schweiz. Landw. Monatshefte XII.