

(Aus der Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, Direktor: HR
Dipl.-Ing. Dr. K. Chytil)

Wirksamkeit der Kalkdüngung auf Grünland

Von G. SCHECHTNER

(Mit 2 Abbildungen)

Zusammenfassung

Die Ergebnisse von sieben langfristigen Feldversuchen wurden zusammenfassend ausgewertet, um die Bedeutung der Kalkdüngung für das Grünland weiter abzuklären und die Richtlinien für die Kalkdüngung weiter zu präzisieren. Fünf der Versuche liefen auf Dauergrünland, zwei auf Ackergrünland. Die Böden der Versuchsflächen waren ausschließlich Mineralböden, hauptsächlich Braunerden. Es wurden vor allem folgende Ergebnisse erzielt:

1. Deutlich positive Effekte der Kalkdüngung — hinsichtlich Ertrag und Güte des Pflanzenbestandes — waren nur bei stark saurer Bodenreaktion zu erzielen, das heißt bei pH-Werten wesentlich unter 5,0.
2. Unter Klimabedingungen wie im Steirischen Ennstal besteht auch im Grünland die Gefahr, daß die pH-Werte früher oder später unter den Schwellwert von 5,0 absinken, wenn man die Kalkdüngung vernachlässigt.
3. Im besonderen bei Verwendung physiologisch sauer wirkender Stickstoffdünger, wie Harnstoff, ist bei Vernachlässigung der Kalkdüngung mit einer verhältnismäßig raschen Versauerung des Bodens zu rechnen.
4. Als Grundlage für leistungsfähiges Grünland genügt auf leichten bis mittelschweren Mineralböden ein pH-Wert zwischen 5,0 und 5,5. Bei höheren Aufkalkungszielen steigt der Düngebedarf an Kalk überproportional an. Um den pH-Wert von Braunerdeböden auch längerfristig in diesem Bereich zu halten, sind unter Klimabedingungen wie im Steirischen Ennstal durchschnittlich etwa folgende Zufuhren an CaO (+ MgO) je ha und Jahr erforderlich:

150 bis 200 kg CaO auf leichten Böden

200 bis 250 kg CaO auf mittelschweren Böden

Die Kalk- und Magnesiumzufuhren durch Stallmist und Rindergülle können bei Verwendung dieser Zahlen als Richtwerte für die Erhaltungsdüngung mit angerechnet werden, desgleichen die Kalkzufuhren durch physiologisch alkalisch wirkende Mineraldünger, wie Thomasphosphat und Hyperphosphat (mit entsprechender Berücksichtigung der Kalkwirkung dieser Düngemittel).

5. Kalkzufuhren, die diese Richtwerte für die Erhaltungsdüngung längerfristig stark überschreiten, sind nicht nur unwirtschaftlich, sondern können sich auch negativ auf den Ertrag und die Güte des Pflanzenbestandes auswirken. Das gilt nicht nur für Dauergrünland, sondern auch für Ackergrünland.

Schlüsselworte: pH-Wert des Bodens, Kalkbedarf, Borstgrasrasen, Dauerwiesen, Ackergrünland.

Efficiency of liming on grassland

Summary

The results of seven long-term field trials are summarized in order to clarify the role of liming on grassland and to improve the recommendations for liming. Four of the trials ran on permanent grassland, two on arable grassland (leys). The soils of the trial areas were exclusively mineral soils, mainly brown earth. Essentially the following results were gained:

1. Clear positive effects of liming — with respect to yield and the botanical composition of the sward — were only gained on strong acid soils, that means soil pH-values distinctly below 5.0.
2. Even on grassland it may occur under climatic conditions like in the Styrian Enns-valley that soil-pH is dropping below 5.0 in the course of time if fertilization with calcium is neglected.
3. Especially if acidifying nitrogen fertilizers like urea are used and liming is neglected soil acidity may increase relative quickly.
4. As basis for productive grassland a soil pH between 5.0 and 5.5 is sufficient on sandy and loamy soils. With higher pH targets lime requirements are increasing over-proportionally. To maintain pH of brown earth soils within this magnitude for a longer time on an average the following dressings of CaO (+ MgO) per ha and year are necessary under climatic conditions like in the Styrian Enns-valley:

150—200 kg CaO on sandy soils

200—250 kg CaO on loamy soils

The calcium and magnesium supplies by farmyard manure and cattle slurry may be taken into account by using these figures as guide lines for maintenance fertilization, just as the calcium supplies by basic acting fertilizers like basic slag or soft rock phosphates corresponding to their liming effects.

5. Calcium dressings which exceed these standard values for maintenance fertilization very much and for a longer time are not only uneconomic but may have unfavourable effects also to yield and the botanical composition of the sward. This valids not only for permanent grassland but also for leys.

Key-words: soil pH, lime requirement, Nardus grassland, permanent meadows, leys.

1. Einleitung

In Österreich wird schon seit längerem empfohlen, Grünland nur verhalten mit Kalk zu düngen. Das heißt Aufkalkung nur unter gewissen Voraussetzungen und nicht zu weit, Vermeidung relativ hoher Einzelgaben und Bevorzugung von langsam wirkenden Kalkdüngern, wie kohlensaurem Kalk oder kohlensaurem Magnesiakalk (SCHECHTNER 1972, 1974, 1977, FACHBEIRAT FÜR BODENFRUCHTBARKEIT UND BODENSCHUTZ 1989, 1991 und 1993).

Diese Empfehlungen beruhen zum Teil auf den Ergebnissen von Düngungsversuchen, mit ausschlaggebend war aber auch die Befürchtung, daß die Versorgung der Pflanzen und Tiere mit Makro- und Mikroelementen, wie Kalium, Magnesium, Bor, Mangan, Zink, Kupfer und Kobalt, durch überhöhte Kalkgaben in Mitleidenschaft gezogen werden könnte, unter Umständen auch die

Gesundheit und Fruchtbarkeit der Tiere. Literaturhinweise darauf gibt es genug (FRANZ 1960, HASLER et al. 1961, WHITEHEAD 1966, MENGEL 1968, MILLER 1970, GUNHOLD 1974, SEMBACH 1975, LOTHAMMER 1992).

Neuerdings ist jedoch in der Praxis und Beratung wieder eine größere Unsicherheit in der Frage der Kalkdüngung des Grünlandes entstanden. In diversen Fachartikeln werden wieder relativ hohe Kalkmengen und Aufkalkungsziele empfohlen (BAYER 1990 a, b; Eberhard 1990, Gerhold 1989 und 1991), in anderen wird dagegen vor der Kalkdüngung gewarnt und basisch silikatisches Steinmehl als Alternative empfohlen (ABERMANN 1992).

Im folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse von sieben langfristigen Kalkdüngungsversuchen in gestraffter Form präsentiert. Die Versuche sind überwiegend im Bereich des Steirischen Ennstales gelaufen und laufen zum Teil auch heute noch. Nur zwei dieser Versuche dienten allerdings ausschließlich oder vorwiegend der Lösung von Kalkdüngungsfragen. In den übrigen war diese Fragestellung mit eingebaut.

Fünf der sieben Versuche liefen auf Dauergrünland, und zwar als Exaktversuche mit in der Regel vier Wiederholungen (ausgenommen der Wiesendüngungsversuch Hall mit nur drei Wiederholungen). Bei den zweifaktoriellen Versuchen (Kalkdüngung in Ergänzung zu einer rein mineralischen PK- bzw. NPK-Düngung) ergaben sich insgesamt acht Wiederholungen (2×4). In den beiden Kalkdüngungsversuchen auf Ackergrünland, die im Rahmen von Fruchtfolgeversuchen liefen, dienten die Altersstufen des Ackergrünlandes als Wiederholungen. Im Versuch Piber war allerdings auch jede Altersstufe mit zwei Wiederholungen vertreten.

Die wichtigsten Standortdaten sind bei der Besprechung der Ergebnisse mit angeführt. Die mitgeteilten Ergebnisse beziehen sich hauptsächlich auf die Auswirkungen der Kalkdüngung auf den pH-Wert des Bodens, den Ertrag und die Artengruppenanteile (Gräser, Leguminosen und Kräuter). Diese Parameter gestatten normalerweise auch eine Beurteilung der Auswirkungen auf die Nährstoffverfügbarkeit, die Bodenfruchtbarkeit, die Bestandesbonität, die Futterqualität und nicht zuletzt auch der Wirtschaftlichkeit.

Die Ermittlung der Artengruppenanteile erfolgte bei jedem Futteraufwuchs durch Schätzung in Grünmasse-Gewichtsprozenten durch zwei jeweils unabhängig voneinander arbeitenden Personen.

Das Ziel der Arbeit bestand schließlich noch darin, die Richtlinien für die Kalkdüngung des Grünlandes nach Möglichkeit weiter zu präzisieren.

2. Wirksamkeit der Kalkdüngung auf einem extremen Borstgrasrasen

Schon in den Borstgrasbekämpfungsversuchen von ZÜRN auf der Kaiserau¹ (ZÜRN 1953, SCHECHTNER und WAGNER 1962) hat sich ergeben, daß die Umwandlung bodensaurer Magerrasen in futterbaulich wertvollere Pflanzenbestände durch eine zusätzliche Kalkdüngung (zur PK- bzw. NPK-Düngung) wesentlich beschleunigt werden kann, und daß damit zumindest in der Anfangsphase der Düngung auch zusätzliche Ertragssteigerungen zu erzielen sind.

Dasselbe hat sich im wesentlichen auch im Kalkdüngungsversuch „Zachenschöberl“ ergeben, der im Frühjahr 1964 in der weiteren Umgebung von Gumpenstein — im Gemeindegebiet von Niederöblarn — auf einem extremen Borst-

¹ „Kaiserau“ ist die Bezeichnung für eine südlich von Admont in etwa 1100 m Seehöhe gelegene Hochtalfäche. Die Versuche selbst liefen auf einer nach Süden exponierten Steilhangfläche am Rande der Kaiserau.

grasrasen in 1300 m Seehöhe angelegt worden ist, um in der Frage der Kalkdüngung von bodensauren Magerrasen auch in quantitativer Hinsicht weiterzukommen (im Bereich der Niederen Tauern, auf einem stark geneigten Südwesthang; pH-Wert des Bodens bei Versuchsbeginn: 3,8)². Der Hauptbestandesbildner, das Borstgras (*Nardus stricta*), war bei Versuchsbeginn mit etwa 60 Flächenprozenten vertreten. Der Rest bestand hauptsächlich aus anderen, futterbaulich minderwertigen Arten, wie Besenheide (*Calluna vulgaris*), diversen Beersträuchern (*Vaccinium* sp.), Blutwurz (*Potentilla erecta*), etc.

Tabelle 1

Wirksamkeit der Kalkdüngung im Kalkdüngungsversuch „Zachenschöberl“ (Borstgrasrasen)
(Versuchsbeginn 1964; jährlich zwei Schnitte)

PK-Serie	Trockensubstanzerträge in dt/ha					Ø 27 J.	Durchschnittl. Mehrerträge gegenüber PK
	I	II	III	IV	V		
PK	23,8	14,8	24,4	26,9	29,4	25,2	
PKCa ₁	19,5	13,3	27,3	28,1	30,0	25,2	± 0
PKCa ₂	22,5	16,9	28,2	29,2	29,6	26,4	+ 1,2
PKCa ₃	23,5	20,8	31,4	27,3	27,6	26,5	+ 1,3
Leguminosenanteile in Grünmasse-Gewichtsprozent							
PK	(1)	20	31	28	19	20	
PKCa ₁	(1)	20	36	29	22	22	
PKCa ₂	(2)	26	30	24	21	21	
PKCa ₃	(3)	34	36	24	21	23	
NPK-Serie	Trockensubstanzerträge in dt/ha					Ø 27 J.	Durchschnittl. Mehrerträge gegenüber PK
	I	II	III	IV	V		
NPK	35,6	30,0	36,3	38,8	38,9	36,7	
NPKCa ₁	37,2	31,9	38,1	41,3	41,2	38,8	+ 2,1
NPKCa ₂	39,2	32,9	39,8	38,9	39,1	38,3	+ 1,6
NPKCa ₃	39,3	32,7	38,5	39,6	39,4	38,3	+ 1,6
Leguminosenanteile in Grünmasse-Gewichtsprozent							
NPK	(1)	7	7	5	4	5	
NPKCa ₁	(1)	7	10	5	7	6	
NPKCa ₂	(1)	5	4	4	5	4	
NPKCa ₃	(1)	4	6	4	5	4	

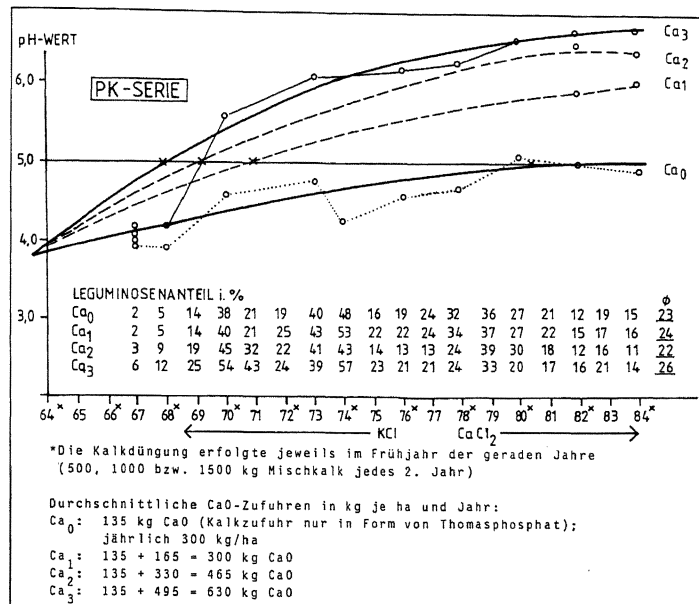
Versuchsabschnitte

I = 1964—1967 (4 Jahre) IV = 1976—1980 (5 Jahre)
 II = 1968—1971 (4 Jahre) V = 1981—1990 (10 Jahre)
 III = 1972—1975 (4 Jahre)

Die Mittelbildung innerhalb der einzelnen Versuchsabschnitte erfolgte arithmetisch, bei der Berechnung des 27jährigen Mittelwertes wurde die zum Teil unterschiedliche Dauer der einzelnen Versuchsabschnitte durch Bildung des gewogenen Mittelwertes berücksichtigt.

² Weitere Standortdaten: krumenvergleyte Felsbraunerde; Ausgangsmaterial: graphitischer Glimmerschiefer (+ Quarzphyllit); Profiltiefe bis zum grusig zersetzten Muttergestein: ca. 50 cm; lehmiger Sand; um 10 % Humus in Form von Moder im Oberboden; darunter Humusgehalt sehr stark abfallend und ebenfalls noch in Form von Moder.

Abb. 1: pH-Werte des Bodens im Kalkdüngungsversuch Zachenschöberl



Die wesentlichsten Ergebnisse des Versuches sind in der Tabelle 1 und Abbildung 1 zusammengefaßt, und zwar getrennt nach „PK“- und „NPK“-Serie, d. h. Kalkdüngung nur in Ergänzung zu einer rein mineralischen PK-Düngung bzw. in Ergänzung zu einer rein mineralischen NPK-Düngung (jährliche Grunddüngung in beiden Serien: 300 kg Thomasphosphat und 200 kg 40er Kali je ha; jährliche N-Düngung in der NPK-Serie: 80 [2 × 40] kg N je ha in Form von Nitramoncal). Zusätzliche Kalkdüngung bei den Varianten Ca₁, Ca₂ und Ca₃: 500, 1000 und 1500 kg Mischkalk jedes zweite Jahr.

In der PK-Serie hat es auf dem extremen Borstgrasrasen einige Jahre lang gedauert, bis die Kalkdüngung angesprochen hat. In den Folgejahren hat sie deutlich leguminosenfördernd und ertragssteigernd gewirkt, schließlich aber wieder stark nachgelassen, mit einer deutlichen Tendenz Richtung Ertragsdepression durch die höchste Kalkstufe in den letzten 10 bis 15 Versuchsjahren. In der NPK-Serie hat sie rascher angesprochen, dann aber ebenfalls nachgelassen, ausgenommen die niedrigste Kalkstufe Ca₁ (500 kg Mischkalk alle zwei Jahre, entsprechend einer zusätzlichen jährlichen Kalkdüngung in Höhe von durchschnittlich etwa 165 kg CaO je ha).

Der Hauptgrund für das starke Nachlassen der Wirksamkeit der höheren Kalkgaben mit zunehmender Versuchsdauer dürfte darin liegen, daß die jährliche Zufuhr von rund 300 kg Thomasphosphat (entsprechend einer jährlichen Kalkzufuhr von rund 135 kg CaO) je ha und Jahr genügte, um den pH-Wert des Bodens nach 15 bis 20 Jahren von 3,8 auf 5,0 anzuheben. Darin liegt auch eines der erstaunlichsten Ergebnisse dieses Versuches (Abb. 1; die darin dargestellte pH-Wertentwicklung bezieht sich nur auf die PK-Serie; die Entwicklung in der NPK-Serie war sehr ähnlich).

Ein weiterer Grund für das Nachlassen der Wirksamkeit der höheren Kalkgaben mit zunehmender Versuchsdauer dürfte darin liegen, daß es dadurch im Laufe der Zeit zu einer Verschlechterung der Spurenelementversorgung gekommen ist.

3. Wirksamkeit der Kalkdüngung auf Dauerwiesen

3.1 Wiesendüngungsversuche Admont (Versuchsfeld und Schultring)

In zwei langfristigen Admonter Wiesendüngungsversuchen, in denen die Wirksamkeit der Kalkdüngung ebenfalls als zusätzliche Düngung zu einer rein mineralischen PK- bzw. NPK-Düngung geprüft worden ist bzw. immer noch wird, haben sich im langjährigen Mittel überwiegend Ertragseinbußen durch die Kalkdüngung ergeben. Jährliche Grunddüngung in beiden Versuchen: 80 kg P_2O_5 und 120 kg K_2O in Form von Thomasphosphat und 40er Kali. Die NPK-Varianten erhielten dazu noch 80 kg N (2×40) in Form von Nitramoncal (alle Mengenangaben bezogen auf ein Hektar).

Die Kalkdüngung erfolgte in beiden Versuchen in Form von Mischkalk; Aufwandmenge im Versuch Schultring: 1000 kg je ha alle drei Jahre (im Jahresmittel etwa 215 kg CaO), im Versuch auf dem Admonter Hauptversuchsfeld dagegen 2000 kg je ha alle drei Jahre (im Jahresmittel etwa 430 kg CaO).

Im ersten dieser beiden Versuche, dem „Wiesendüngungsversuch Schultring“, der auf einer Dauerwiesenfläche unweit von Admont in der Zeit zwischen 1946 und 1982 gelaufen ist (Ausgangs-pH-Wert um 6,5)³, betrug der durchschnittliche jährliche Minderertrag durch die zusätzliche Kalkung 4,1 bzw. 4,4 dt Trockenmasse (bei zusätzlicher Düngung zur angeführten PK- bzw. NPK-Düngung).

Im „Wiesendüngungsversuch Admont“, der seit 1947 bis dato läuft (pH-Wert bei Versuchsbeginn um 5,8)⁴, betrug der durchschnittliche jährliche Minderertrag durch die zusätzliche Kalkdüngung im 44jährigen Mittel 5,4 bzw. 0,9 dt Trockenmasse (PK- bzw. NPK-Serie).

Tabelle 2

*Wirkung der Kalkdüngung im Wiesendüngungsversuch Admont
(Versuchsbeginn 1947; 15jährige Mittelwerte von 1976 bis 1990; 29. bis 44. Versuchsjahr)*

Art der Düngung	pH*	Gr	Leg	Kr	Trocken- masseertrag dt/ha	Durchschnittl. jährl. Mehr- u. Mindererträge durch die Kalk- düngung dt/ha
Ungedüngt	4,72	24	5	71	28,1	
CaO	6,07	22	6	72	30,8	+ 2,7
PK	5,21	22	20	58	66,1	
PK + CaO	6,31	21	20	59	59,2	– 6,9
NPK	5,39	32	4	64	72,0	
NPK + CaO	6,34	37	4	59	71,4	– 0,6

* pH ($CaCl_2$): Durchschnitt der Jahre 1977, 1979, 1981, 1983, 1985, 1987 und 1991.

Düngung:

PK: 80 kg P_2O_5 und 120 kg K_2O je ha und Jahr (in Form von Thomasphosphat und 40er Kali)

N: 80 kg je ha und Jahr (in Form von Nitramoncal) in zwei Teilgaben (2×40)

CaO: 2000 kg Mischkalk alle drei Jahre

³ Weitere Bodendaten zum Versuch Schultring: verbraunter, grauer Auboden; Enns-Alluvium; lehmiger Sand bis sandiger Schluff; kalkfrei; ca. 4 % Humus.

⁴ Weitere Bodendaten zum Versuch auf dem Admonter Hauptversuchsfeld („Hoffeld“): verbraunter Gley; lehmiger Schluff; kalkfrei; 4 bis 5 % Humus.

Die wesentlichsten Ergebnisse der letzten 15 Versuchsjahre des Wiesendüngungsversuches Admont sind in der Tabelle 2 zusammengefaßt. Bei zusätzlicher Kalkdüngung — zur PK-Düngung — ist demnach der Minderertrag gegenüber dem langjährigen Mittel in den letzten 15 Versuchsjahren noch etwas größer geworden, d. h. in den letzten 15 Versuchsjahren verursachte die Kalkdüngung in der PK-Serie des Versuches einen durchschnittlichen Minderertrag in Höhe von 6,9 dt TS je ha. Ohne zusätzliche Kalkdüngung, d. h. Kalkzufuhr im wesentlichen nur durch Thomasphosphat (damit jährlich etwa 240 kg CaO), ist der pH-Wert des Bodens nach rund 40 Versuchsjahren unter diesen Bedingungen allerdings von ursprünglich 5,8 auf rund 5,2 bzw. 5,4 abgesunken (bei PK- bzw. NPK-Düngung). Auf der völlig ungedüngten Variante ist er in diesem Zeitraum von ursprünglich 5,8 auf etwa 4,7 abgesunken.

3.2 Wiesendüngungsversuch Hall

Im Wiesendüngungsversuch Hall, der zwischen 1948 und 1983 auf einem süd-exponierten Steilhang im Gemeindegebiet Hall bei Admont gelaufen ist (Ausgangs-pH-Wert des Bodens um 4,4)⁵, wurde die Wirksamkeit der Kalkdüngung bei zusätzlicher Anwendung zu einer rein mineralischen PK-Düngung geprüft (jährlich 64 kg P₂O₅ in Form von Thomasphosphat und 120 kg K₂O in Form von 40er Kali je ha). Die durchschnittliche jährliche Kalkzufuhr durch die Phosphatdüngung betrug somit rund 200 kg CaO je ha. Die zusätzliche Kalkdüngung erfolgte in Form von Mischkalk (2000 kg je ha jedes zweite Jahr; durchschnittliche jährliche CaO-Zufuhr durch die zusätzliche Kalkdüngung demnach rund 650 kg je ha).

Im Mittel aller 36 Versuchsjahre ergab sich durch die Kalkdüngung unter den geschilderten Bedingungen ein minimaler Mehrertrag in Höhe von 0,9 dt TS je ha und Jahr (+ 1,8 dt im Mittel der ersten zwölf Versuchsjahre und minus 0,5 dt im Mittel der letzten zwölf Versuchsjahre; durchschnittlicher Ertrag der PK-Varianten im 36jährigen Mittel: 33,1 dt TS bei jährlich ein bis zwei Schnitten in den ersten zwölf Versuchsjahren und regelmäßig zwei Schnitten ab 1961).

Der pH-Wert des Bodens blieb bei der ungedüngten Variante im Bereich von 4,4. Bei der PK-Variante ist er schon nach fünf Jahren auf 5,0 angestiegen. Nach weiteren zehn Versuchsjahren erreichte er ein Niveau von 5,7 und dabei blieb es auch bis zum Abschluß des Versuches. Bei der zusätzlichen Kalkdüngung ist der pH-Wert schon nach wenigen Jahren auf 6,5 angestiegen. In den Folgejahren variierte er ständig zwischen 6,5 und 7,0.

Die Artengruppenanteile wurden erst ab 1967 laufend ermittelt. Die zusätzliche Kalkdüngung — zur PK-Düngung — führte demnach im Mittel der letzten 17 Versuchsjahre zu einer Erhöhung des Grasanteiles von 56 auf 64 und zu einer Verringerung des Leguminosenanteiles von 24 auf 19 %. Zurückzuführen ist diese etwas unerwartete Bestandesverschiebung wahrscheinlich auf eine Mobilisierung von Bodenstickstoff, möglicherweise aber auch auf eine Verschlechterung der Spurenelementversorgung durch die Kalkdüngung, oder auf beides.

3.3 Kalk- und Magnesium-Düngungsversuch Gumpenstein

Zur weiteren Abklärung der Kalkdüngungsfrage wurde im Jahr 1970 der Kalk- und Magnesium-Düngungsversuch Gumpenstein angelegt (teils auf einem typi-

⁵ Weitere Bodendaten zum Wiesendüngungsversuch Hall bei Admont: schwach entwickelte Braunerde auf Quarzit; lehmiger Sand mit relativ hohem Grus- und Steinanteil; ca. 10 % Humus (Moder bis Mull).

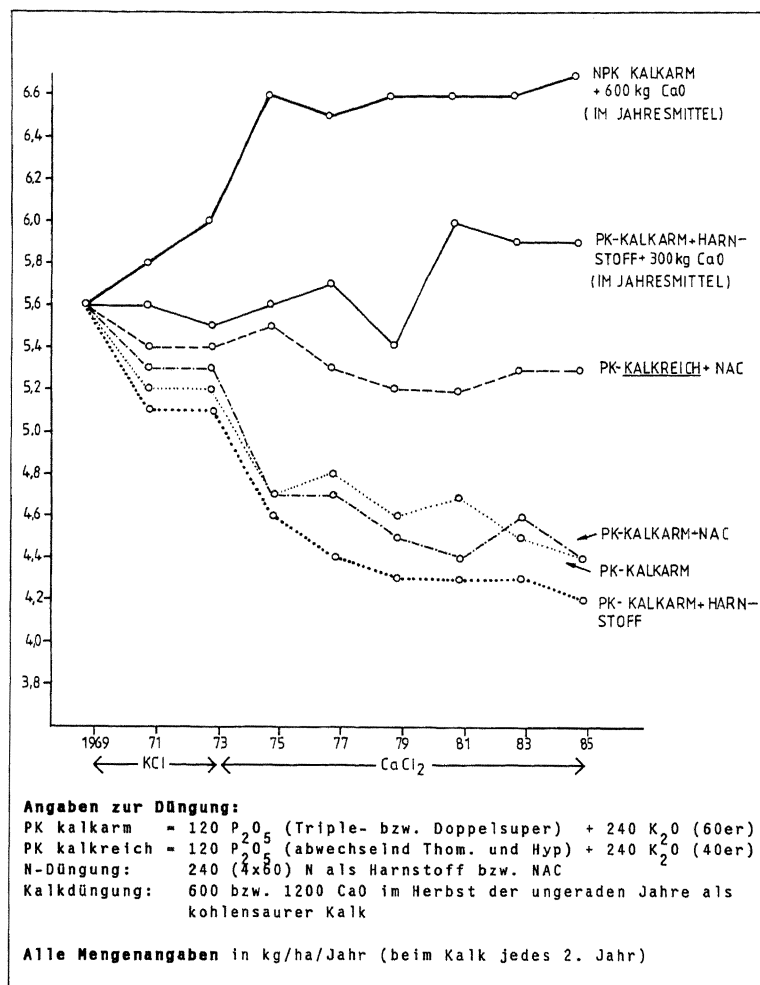


Abb. 2: Entwicklung der pH-Werte im Kalk- und Magne-siumdüngungs-versuch Gum-penstein (Durchschnitt der Dauer- und Wechselwiesen-varianten)

schen Dauerwiesenbestand, teils auf derselben Fläche nach Erneuerung des Ausgangsbestandes durch Umbruch und Neuansaat)⁶.

In der Abbildung 2 sind die Auswirkungen von einigen der geprüften Düngungsmaßnahmen auf den pH-Wert des Bodens bis zum Jahr 1985 dargestellt. Besonders auffallend ist dabei das starke Absinken des pH-Wertes bei der „kalkarmen“ PK-Düngung in Form von Doppelsuper- bzw. Triplephosphat und 60er Kali, und zwar sowohl bei ausschließlicher PK-Düngung als auch bei zusätzlicher Stickstoffdüngung in Form von Harnstoff (von ursprünglich 5,6 auf 4,4 bzw. 4,2).

Die Kalkdüngung in Höhe von durchschnittlich 300 kg CaO je ha und Jahr — in Form von kohlensaurem Kalk zusätzlich zur physiologisch sauer wirkenden NPK-Düngung (PK-kalkarm + Harnstoff) — hat dagegen den pH-Wert des Bodens von ursprünglich 5,6 auf etwa 5,9 angehoben.

⁶ Standortdaten: Silikatische, kalkfreie Lockersediment-Braunerde; lehmiger Feinsand; 5 bis 6 % Humus.

Bei der „kalkreichen“ NPK-Düngung (PK-kalkreich + NAC) — Kalkzufuhr dabei im wesentlichen nur durch die Phosphatdünger (im Jahresmittel etwa 250 kg CaO je ha) — ist der pH-Wert von 5,6 auf etwa 5,3 abgesunken. In den Folgejahren — ab 1985 — erfolgte allerdings ein Wiederanstieg auf etwa 5,6. Es ist daher anzunehmen, daß sich der pH-Wert unter den gegebenen Bedingungen bei einer jährlichen Zufuhr von 250 kg CaO je ha längerfristig etwa im Bereich von 5,5 einpendelt.

In der Tabelle 3 sind wesentliche Ergebnisse der letzten zehn Versuchsjahre des Kalk- und Magnesium-Düngungsversuches Gumpenstein zusammengefaßt. Besonders bemerkenswert ist dabei die deutliche Überlegenheit jener Variante, bei der versucht wurde, die Kalkversorgung nur über physiologisch neutral bzw. alkalisch wirkende Einzeldünger sicherzustellen (PK-kalkreich + Nitramoncal). Gegenüber der kalkarmen, physiologisch sauer wirkenden NPK-Düngung (PK-kalkarm + Harnstoff) mit einer zusätzlichen Kalkdüngung in Höhe von durchschnittlich 300 kg CaO je ha und Jahr) ergab sich im Mittel der letzten zehn Versuchsjahre ein Mehrertrag von 10,6 dt Trockenmasse je ha und Jahr! Diese große Differenz ist sicherlich zu einem guten Teil auf die bessere Wirksamkeit des Kalkammonsalpeters gegenüber dem Harnstoff zurückzuführen, denn bei „kalkarmer“ PK-Grunddüngung war die Nitramoncalvariante der Harnstoffvariante um 5,6 dt Trockensubstanz je ha und Jahr überlegen, ziemlich sicher aber auch auf andere Faktoren, wie eine bessere Nebennährstoff- und Spurenelementversorgung durch die im Rahmen der „kalkreichen“ NPK-Düngung verwendeten Einzeldünger. Möglicherweise hat aber auch eine Rolle gespielt, daß die Kalkzufuhr bei der „kalkreichen“ NPK-Düngung gleichmäßiger erfolgte als bei der physiologisch sauren NPK-Düngung in Verbindung mit einer Kalkdüngung alle zwei Jahre.

Tabelle 3

Auswirkungen diverser Düngungsmaßnahmen auf den pH-Wert des Bodens, den Pflanzenbestand und den Ertrag im Kalk- und Magnesiumdüngungsversuch Gumpenstein (Versuchsbeginn: 1970; zehnjährige Mittelwerte des zweiten Versuchsabschnittes von 1981 bis 1990; seit Versuchsbeginn jährlich vier Schnitte)

Art der Düngung	pH	Gr	Leg	Kr	Trockenmasse- ertrag dt/ha
PK-kalkarm	4,52	33	19	48	54,5
PK-kalkarm + 240 N (Harnstoff)	4,22	68	1	31	84,1
PK-kalkarm + 240 N (NAC)	4,48	64	2	34	89,7
PK-kalkreich + 240 N (NAC)	5,40	51	5	44	98,8
PK-kalkarm + 240 N (Harnstoff) + 300 CaO (kohlensaurer Kalk)	5,98	49	4	47	88,2
PK-kalkarm + 240 N (Harnstoff) + 600 CaO (kohlensaurer Kalk)	6,70	52	3	45	86,8

Anmerkungen zur Düngung (Mengenangaben in kg je ha und Jahr):

PK-kalkarm: 120 kg P₂O₅ (Doppelsuper- bzw. Triplephosphat)

+ 240 kg K₂O (60er Kali)

PK-kalkreich: 120 kg P₂O₅ (abwechselnd Thomas- und Hyperphosphat)

+ 120 kg K₂O (40er Kali)

N: 4 × 60 in Form von Harnstoff bzw. Nitramoncal (NAC)

Kalk: Die Düngung erfolgte alle zwei Jahre in Höhe von 600 bzw. 1200 kg CaO je ha

Anmerkungen zu den Ergebnissen:

Sämtliche Werte sind das Mittel der D- und W-Varianten (altes bzw. regeneriertes Dauergrünland; je zwei Wiederholungen)

pH: Durchschnitt der Jahre 1981, 1983, 1985, 1987 und 1990

Artengruppenanteile: Schätzwerte in Grünmasse-Gewichtsprozenten

Jedenfalls geht auch aus diesen Ergebnissen eindeutig hervor, daß man durch Wahl entsprechender Einzeldünger viel zur Aufrechterhaltung eines entsprechenden Reaktionszustandes des Bodens beitragen kann, und daß es auch im Hinblick auf das Ertragsgeschehen notwendig ist, dafür zu sorgen, daß der pH-Wert des Bodens nicht allzu stark absinkt. Dazu genügt unter Bedingungen wie im Ca- und Mg-Versuch Gumpenstein — bei Verzicht auf physiologisch sauer wirkende Düngemittel — eine Kalkdüngung in der Größenordnung von durchschnittlich etwa 200 kg CaO je ha und Jahr in Form von Kalkdüngern und/oder anderen Düngemitteln mit deutlicher Kalkwirkung.

4. Wirksamkeit der Kalkdüngung auf Ackergrünland

Mit der Wirksamkeit der Kalkdüngung auf Ackergrünland hat man sich zumindest in Österreich noch relativ wenig befaßt. Es wurden daher in die Kombinierten Grünlandversuche Gumpenstein (Anlage 1966)⁷ und Piber (Anlage 1968)⁸ einige Varianten eingebaut, um diese Frage abzuklären. Beide Versuche laufen auch heute noch. Die Prüfung der Kalkfrage erfolgte allerdings in beiden Versuchen nur bis 1986. Dann wurden die dafür verwendeten Teilflächen zur Prüfung anderer Fragen umgestellt.

In beiden Versuchen wurde die Wirksamkeit der Kalkdüngung im Rahmen einer sehr einfachen, sechsschlägigen Fruchtfolge geprüft, nämlich fünf Jahre Ackergrünland (einschließlich des Anlagejahres) und anschließend ein Jahr Kartoffeln.

Das Ackergrünland bestand im ersten Zyklus aus Luzernegras, im zweiten aus Weißkleegras und im dritten Zyklus neuerlich aus Luzernegras. Daraus resultierten im Verlaufe der 19- bzw. 21jährigen Versuchsdauer folgende Fruchtfolgevarianten (Hauptvarianten):

Fruchtfolge	1. Zyklus	2. Zyklus	3. Zyklus
Ackergrünland im 1. HNJ	LG	WG	LG
Ackergrünland im 2. HNJ	LG	WG	LG
Ackergrünland im 3. HNJ	LG	WG	LG
Ackergrünland im 4. HNJ	LG	WG	LG
Kartoffeln	Kart.	Kart.	—
Ackergrünland im Anlagejahr	WG*	LG	—

HNJ = Hauptnutzungsjahr, LG = Luzernegras, WG = Weißkleegras

* Einstieg in den Weißkleegraszyklus an beiden Versuchsstellen einheitlich mit der ersten Weißkleegrasanlage im Frühjahr 1972

Wie die meisten Fruchtfolgeversuche des Verfassers wurden allerdings auch diese Versuche nach einem Verfahren angelegt, das es ermöglicht, Fruchtfolgefragen sehr flächensparend zu lösen, indem alljährlich nicht sämtliche Versuchsglieder geprüft werden, sondern jährlich alternierend jeweils nur die Hälfte. Diese „Fruchtfolgehalbierung“ ermöglicht eine Reduzierung des erforderlichen Flächenbedarfes auf die Hälfte. Im konkreten Fall wurde folgendermaßen verfahren:

⁷ Bodendaten zum Kombinierten Grünlandversuch Gumpenstein: Schwach entwickelte Braunerde auf fluvioglazialen Sedimenten; kalkfrei (bis kalkarm); pH-Wert normalerweise um 5,7; lehmiger Feinsand im Oberboden, darunter feinsandiger Schluff; 4 bis 5 % Humus.

⁸ Bodendaten zum Kombinierten Grünlandversuch Piber: Brauner Auboden; kalkarm bis schwach kalkhaltig; pH-Wert bei Versuchsbeginn: um 5,4; sandiger Schluff bis sandiger Lehm; 4 % Humus.

Fruchtfolgehälften	Gumpenstein	Piber
Fruchtfolgeglieder in den ungeraden Jahren		
Ackergrünland im 1. HNJ	ab 1967	ab 1969
Ackergrünland im 3. HNJ	ab 1969	ab 1971
Kartoffeln	ab 1967	ab 1969
Fruchtfolgeglieder in den geraden Jahren (ab 1968)		
Ackergrünland im 2. HNJ	ab 1968	ab 1970
Ackergrünland im 4. HNJ	ab 1970	ab 1972
Ackergrünland im Anlagejahr	ab 1966	ab 1968

Die Frage der Kalkdüngung wurde in Form folgender vier Subvarianten geprüft:

- PK (ohne zusätzliche Kalkung)
- PK + durchschnittlich 200 kg CaO/ha und Jahr*
- PK + durchschnittlich 400 kg CaO/ha und Jahr*
- PK + durchschnittlich 600 kg CaO/ha und Jahr*

* Im Mittel der gesamten Fruchtfolge; bezogen auf die Ackergrünland-Hauptnutzungsjahre betragen die durchschnittlichen jährlichen Aufwandmengen 300, 600 und 900 kg CaO je ha.

Die Kalkdüngung erfolgte in Form von Mischkalk; Aufwandmenge 600, 1200 bzw. 1800 kg CaO/ha im Herbst des Grünland-Anlagejahres und im Herbst nach dem zweiten Hauptnutzungsjahr (in Form von Mischkalk; angenommener CaO-Gehalt 65 %).

Die PK-Düngung erfolgte ertragsdynamisch, das heißt in Abhängigkeit von den jeweils erzielten Vorjahrserträgen. Bei Mehr- oder Mindererträgen durch die Kalkdüngung wurden demnach auch die P- und K-Zufuhren im selben Ausmaß angehoben bzw. verringert. Damit sollte einerseits eine vergleichbare P- und K-Versorgung bei allen Kalkdüngungsvarianten sichergestellt, andererseits aber auch die Langzeitwirkung der Kalkdüngung noch deutlicher herausgestrichen werden als bei konstanter P- und K-Düngung.

Die ertragsdynamische PK-Düngung erfolgte aber auch aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit mit den anderen Varianten der Kombinierten Grünlandversuche Gumpenstein und Piber, bei denen es hauptsächlich um die Wirksamkeit einer stark differenzierten Stickstoffdüngung bei Dauer- und Wechselwiesenbeständen ging. In diesem Falle ist eine ertragsbezogene PK-Düngung besonders vorteilhaft.

Berechnungsgrundlage für die P- und K-Düngung in den Hauptnutzungsjahren war — in Abhängigkeit von der Nutzungsintensität — eine Zufuhr von 1,2 bis 1,4 kg P₂O₅ und 2,4 bis 2,8 kg K₂O je dt im Vorjahr (Gumpenstein) bzw. vor zwei Jahren (Piber) erzielter Futter-Trockensubstanz. Abgezogen davon wurden allerdings jene P- und K-Gaben, die in Form von Wirtschafts- und Mineraldüngern bei den Kartoffeln zur Anwendung gelangten. Daraus resultierten in einigen Hauptnutzungsjahren der Weißklee- und Luzernegrasmischungen relativ geringe P-Zufuhren — im besonderen im zweiten und vierten Hauptnutzungsjahr in Piber —, es waren aber alle Kalkdüngungsvarianten in gleicher Weise davon betroffen.

Das Prinzip der ertragsdynamischen Düngung führte zwar insbesondere im Kombinierten Grünlandversuch Gumpenstein mit zunehmender Versuchsdauer

auch zu einer mäßigen Verringerung der P- und K-Zufuhren bei den Kalkdüngungsvarianten, verursacht wurde diese Aufwandsverringerung aber letzten Endes ausschließlich durch die zunehmend schlechter werdenden Auswirkungen der zusätzlichen Kalkdüngung auf den Ertrag. Konkret wurden folgende Mengen an Phosphat und Kalium gedüngt:

Gumpenstein	Luzernegras 1. Zyklus		Weißklee-gras 2. Zyklus		Luzernegras 3. Zyklus	
	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. und 3. HNJ						
Ca ₀	109	268	101	256	101	276
Ca ₁	111	270	96	245	103	280
Ca ₂	108	266	93	238	91	255
Ca ₃	116	280	92	235	85	242
2. und 4. HNJ						
Ca ₀	146	320	135	277	138	308
Ca ₁	154	338	137	282	140	314
Ca ₂	148	324	127	261	132	296
Ca ₃	148	325	123	254	126	281
Ø Ca ₀	128	294	118	267	120	292
Ca ₁	133	304	117	264	122	297
Ca ₂	128	295	110	250	112	276
Ca ₃	132	303	108	245	106	262
Piber	Luzernegras 1. Zyklus		Weißklee-gras 2. Zyklus		Luzernegras 3. Zyklus	
	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. und 3. HNJ						
Ca ₀	134	268	149	299	144	288
Ca ₁	129	258	146	291	137	274
Ca ₂	131	261	148	295	145	288
Ca ₃	129	258	145	289	135	269
2. und 4. HNJ						
Ca ₀	53	202	43	213	65	228
Ca ₁	53	201	41	206	64	224
Ca ₂	52	195	41	203	63	218
Ca ₃	53	199	40	202	62	217
Ø Ca ₀	94	235	96	256	105	258
Ca ₁	91	230	94	249	101	249
Ca ₂	92	228	95	249	104	253
Ca ₃	91	229	93	246	99	243

Im Gumpensteiner Versuch erfolgte die P-Düngung in den Ackergrünland-Hauptnutzungsjahren ausschließlich in Form von Thomasphosphat, in Piber dagegen jährlich abwechselnd in Form von Thomasphosphat (im ersten und dritten Hauptnutzungsjahr) und Superphosphat (zweites und viertes Hauptnutzungsjahr). In Gumpenstein betrug demnach die durchschnittliche jährliche Kalkzufuhr durch die Phosphatdünger in den Ackergrünland-Hauptnutzungsjahren rund 370 kg CaO, in Piber dagegen nur 230 kg/ha.

Weder im Anlagejahr noch in den Hauptnutzungsjahren wurden die Luzerne- und Weißklee-grasbestände mit Stickstoff gedüngt, auch nicht in Form von Wirtschaftsdüngern.

Die Ergebnisse beider Versuche stimmen relativ gut überein (Tab. 4 und 5). Die zusätzliche Kalkdüngung hat die Erträge des Ackergrünlandes — im besonderen bei den höheren Aufwandmengen — überwiegend deutlich gedrückt. Vor-

nehmlich das Weißklee gras hat ungünstig darauf reagiert, in Gumpenstein mit zunehmender Versuchsdauer auch das Luzerne gras. In Gumpenstein haben die überhöhten Kalkgaben längerfristig auch zu einer Verringerung der Leguminosenanteile geführt (im letzten Versuchsabschnitt von 57 auf 51 Grünmasse-Gewichtsprozente). In Piber wurde der Luzerneanteil durch die zusätzliche Kalkdüngung im letzten Versuchsabschnitt zwar leicht angehoben (von 51 auf 56 Grünmasse-Gewichtsprozente), die Auswirkungen auf den Ertrag waren aber dennoch eher negativ. Trotz des wesentlich schwereren Bodens als in Gumpenstein war demnach die zusätzliche Kalkung auch in Piber ein Mißerfolg, selbst beim Luzerne gras.

Tabelle 4

*Wirkung der Kalkdüngung im Kombinierten Grünlandversuch Gumpenstein
(bei Luzerne- und Weißklee gras in den Hauptnutzungsjahren)*

Fruchtfolgezyklen und Ackergrünlandaltersstufen	TS-Erträge dt/ha					Leguminosenanteile in Gew.-%				
	Ca ₀	Ca ₁	Ca ₂	Ca ₃	Ø	Ca ₀	Ca ₁	Ca ₂	Ca ₃	Ø
1. Zyklus — Luzerne gras, jährlich drei Schnitte; drei Versuchsjahre je Altersstufe										
1. HNJ	127,8	131,2	133,5	131,1	130,9	70	71	71	65	69
2. HNJ	138,1	135,5	137,9	140,1	137,9	74	75	73	74	74
3. HNJ	124,5	135,5	123,9	125,8	127,4	73	74	69	72	72
4. HNJ	128,7	128,8	128,9	132,1	129,6	68	69	64	69	68
Ø	129,8	132,8	131,1	132,3	131,5	71	72	69	70	71
2. Zyklus — Weißklee gras, jährlich fünf Schnitte; drei Versuchsjahre je Altersstufe										
1. HNJ	91,7	96,4	90,8	86,6	91,4	32	34	34	34	34
2. HNJ	90,8	85,0	82,2	79,2	84,3	37	37	39	37	38
3. HNJ	99,3	93,1	88,0	84,0	91,1	35	36	33	32	34
4. HNJ	94,9	94,2	87,0	80,7	89,2	42	39	41	37	40
Ø	94,2	92,2	87,0	82,6	89,0	37	37	37	35	37
3. Zyklus — Luzerne gras, jährlich drei Schnitte; drei Versuchsjahre je Altersstufe										
1. HNJ	124,3	124,3	109,9	106,5	116,3	69	66	63	62	65
2. HNJ	110,5	110,0	100,5	99,5	105,1	56	53	52	51	53
3. HNJ	119,0	115,5	108,6	93,4	109,1	57	59	55	51	56
4. HNJ	95,0	90,1	76,1	70,8	83,0	47	49	36	39	43
Ø	112,2	110,0	98,8	92,6	103,4	57	57	52	51	54
Mittel der drei Serien*										
	Ca ₀	Ca ₁	Ca ₂	Ca ₃		Ca ₀	Ca ₁	Ca ₂	Ca ₃	
	112,1	111,7	105,6	102,5		55	55	53	52	

* Jeder dieser Werte stützt sich auf 36 Ackergrünland-Hauptnutzungsjahre.

Der pH-Wert des Bodens ist an beiden Versuchsstellen auch ohne die zusätzliche Kalkdüngung — das heißt Kalkzufuhr im wesentlichen nur über die Phosphatdünger — leicht angestiegen (in Gumpenstein von 5,7 auf 5,9, in Piber von 5,4 auf 5,6). In der Kalkdüngungsstufe Ca₃ (zusätzliche Kalkzufuhren im Fruchtfolgemittel 600 kg CaO je ha und Jahr) erfolgte ein weiterer Anstieg des pH-Wertes auf 6,4 in Gumpenstein und auf 6,8 in Piber.

Insbesondere auf dem relativ leichten Boden in Gumpenstein dürfte der zusätzlich verabreichte Kalk größtenteils ausgewaschen worden sein. Trotzdem hat sich das Überangebot an Kalk speziell in Gumpenstein deutlich negativ auf die Erträge des Ackergrünlandes ausgewirkt.

Tabelle 5

*Wirkung der Kalkdüngung im Kombinierten Grünlandversuch Piber
(bei Luzerne- und Weißklee gras in den Hauptnutzungsjahren)*

Fruchtfolgezyklen und Ackergrünlandaltersstufen	TS-Erträge dt/ha					Leguminosenanteile in Gew.-%				
	Ca ₀	Ca ₁	Ca ₂	Ca ₃	Ø	Ca ₀	Ca ₁	Ca ₂	Ca ₃	Ø
1. Zyklus — Luzernegrass, jährlich drei Schnitte; zwei Versuchsjahre je Altersstufe										
1. HNJ	128,7	122,5	123,3	119,6	123,5	72	71	72	72	72
2. HNJ	142,2	144,3	136,8	139,5	140,7	69	69	70	70	70
3. HNJ	145,0	148,1	138,9	144,5	144,1	77	78	77	78	78
4. HNJ	149,1	150,1	140,0	148,6	147,0	69	67	68	68	68
Ø	141,3	141,3	134,8	138,1	138,8	72	71	72	72	72
2. Zyklus — Weißklee gras, jährlich vier Schnitte; drei Versuchsjahre je Altersstufe										
1. HNJ	108,4	108,5	112,7	109,6	109,8	34	36	35	34	35
2. HNJ	89,5	86,3	89,9	84,4	87,5	33	33	33	32	33
3. HNJ	104,2	93,5	102,0	91,8	97,8	37	37	37	36	37
4. HNJ	95,0	85,8	84,6	80,5	86,5	31	31	34	33	32
Ø	99,2	93,5	97,3	91,6	95,4	34	34	35	34	34
3. Zyklus — Luzernegrass, jährlich drei Schnitte; drei Versuchsjahre je Altersstufe										
1. HNJ	120,7	118,0	119,3	119,0	119,3	45	48	49	50	48
2. HNJ	124,0	128,1	121,1	126,9	125,0	48	48	49	53	50
3. HNJ	143,5	137,0	131,2	133,0	136,2	57	60	57	60	59
4. HNJ	135,6	129,8	131,0	132,1	132,1	55	58	57	59	57
Ø	131,0	128,2	125,7	127,8	128,2	51	54	53	56	54
Gewogenes Mittel der drei Serien*										
	Ca ₀	Ca ₁	Ca ₂	Ca ₃		Ca ₀	Ca ₁	Ca ₂	Ca ₃	
	121,7	118,5	117,3	116,8		50	51	51	52	

* Jeder dieser Werte stützt sich auf 32 Ackergrünland-Hauptnutzungsjahre und zwei Wiederholungen.

5. Schlußfolgerungen

Aussichten auf einen wirtschaftlichen Erfolg der Kalkdüngung bestehen aufgrund der hier präsentierten Ergebnisse insbesondere dann, wenn der pH-Wert des Bodens durch längerfristige Vernachlässigung der Kalkdüngung — in welcher Form auch immer — unter 5,0 abgesunken ist. Im extremen Borstgrasrasen des Kalkdüngungsversuches Zachenschöberl bewirkte die zusätzliche Kalkdüngung — in Ergänzung zu einer rein mineralischen PK-Düngung auf der Basis von Thomasphosphat und 40er Kali — z. B. eine deutliche Beschleunigung des Aufkommens der Leguminosen. Im Kalk- und Magnesiumdüngungsversuch Gumpenstein waren vor allem in ertraglicher Hinsicht wesentliche Vorteile einer physiologisch alkalisch wirkenden Düngung gegenüber einer physiologisch sauer wirkenden Düngung zu verzeichnen. Eine gute Wirksamkeit der Kalkdüngung im stark sauren Bereich hat sich auch in einer Reihe anderer Versuche ergeben (MOTT 1962, ZÜRN 1962 und 1968, GRUNDLER und VOIGTLÄNDER 1979, VOIGTLÄNDER 1987).

Kalkgaben, die den Erhaltungsbedarf normal versorgter Grünlandflächen stark überschritten, haben dagegen nichts oder nur wenig gebracht. Längerfristig waren die Auswirkungen überhöhter Kalkgaben sogar überwiegend negativ, im besonderen hinsichtlich des Ertrages, zum Teil auch hinsichtlich des Pflanzenbestandes.

In quantitativer Hinsicht wurde die verbreitete Auffassung bestätigt, daß die Kalkansprüche des Grünlandes wesentlich geringer sind als die des Ackerlandes

(RIEDER 1983, VOIGTLÄNDER 1987). Das Grünland dürfte sich somit diesbezüglich ähnlich verhalten wie die Wald-Ökosysteme, deren Optimum nach ULRICH (1983) in einem pH-Wertbereich zwischen 5,0 und 6,2 liegt. Für die praktische Gestaltung der Grünlanddüngung sind daraus insbesondere folgende Schlußfolgerungen zu ziehen:

5.1 Aufkalkungsziele

Als erstrebenswert oder optimal für Grünland auf Mineralböden wird in Österreich schon seit längerem ein pH-Wert zwischen 5,0 und 6,0 hingestellt, und zwar in Abhängigkeit von der Schwere des Bodens (SCHECHTNER 1972, 1974 und 1977, FACHBEIRAT FÜR BODENFRUCHTBARKEIT UND BODENSCHUTZ 1989, 1991 und 1993). Diese Empfehlung stützt sich zum Teil auf frühere Ergebnisse der hier beschriebenen Versuche, zum Teil auch auf deutsche Ergebnisse und Erfahrungen, bei Moorböden ausschließlich auf letztere (BADEN 1954, BERGMANN 1963, NIESCHLAG 1966, ZIE-MER 1968, VETTER und FRÜCHTENICHT 1973).

Durch die mitgeteilten Versuchsergebnisse wurde erhärtet, daß es nicht sinnvoll ist, leichte bis mittelschwere Grünlandböden stärker aufzukalken als in einen pH-Bereich zwischen 5,0 und 5,5. Ob es tatsächlich zweckmäßig ist, die schwereren Böden auf 6,0 aufzukalken — wie bisher überwiegend empfohlen —, muß mangels eigener Erfahrung mit diesen Böden dahingestellt bleiben. Gefordert wird eine stärkere Aufkalkung dieser Böden nicht selten auch im Grünland aus Gründen der Bodenstruktur. Ob man damit aber wirklich viel erreicht, ist nach BECHER und SCHWERTMANN (1973) noch nicht sicher erwiesen. Jedenfalls dürfte es zweckmäßiger sein, bodenschonend zu wirtschaften, als Gründlandböden durch Befahren bei feuchten und nassen Boden- und Witterungsverhältnissen (mit Güllefässern, Ladewagen etc.) zu vergewaltigen und einen relativ hohen Kalkaufwand zu betreiben, um derartige Schäden möglicherweise wieder zu reparieren. Dasselbe gilt sinngemäß auch für die Weidenutzung, im besonderen bei relativ hohem Viehbesatz.

Ein Aspekt erscheint in diesem Zusammenhang besonders beachtenswert. Die erforderlichen Kalkmengen steigen mit zunehmenden Aufkalkungszielen überproportional an. Das ist nicht nur aus den eigenen Ergebnissen zu schließen, sondern besonders deutlich auch aus jenen von SCHWERTMANN und ATTENBERGER (1979). Überhöhte Aufkalkungsziele erfordern demnach nicht nur einmalig, sondern auch laufend einen relativ hohen Aufwand an Kalk.

5.2 Aufkalkungsmengen

Die eigenen Versuche haben die Lehrmeinung bestätigt, daß es im allgemeinen auch im Grünland zweckmäßig ist, eine Aufkalkung zu betreiben, wenn der pH-Wert auf Mineralböden wesentlich unter den Schwellwert von 5,0 abgesunken ist. Die Anhebung auf diesen Schwellwert kann zwar grundsätzlich auch mit physiologisch alkalisch wirkenden Düngemitteln erfolgen, bei bedarfsgerechter Anwendung dieser Düngemittel kann es aber lange dauern, bis man dieses Ziel erreicht. Im Kalkdüngungsversuch Zachenschöberl waren dazu 15 bis 20 Jahre erforderlich, trotz der für diesen Standort relativ hohen Aufwandsmengen von 300 kg Thomasphosphat je ha und Jahr.

In einem bayrischen Wiesendüngungsversuch, beschrieben von GRUNDLER und VOIGTLÄNDER (1979) bzw. VOIGTLÄNDER (1987) und durchgeführt auf einem Gleyboden, dauerte es bei ausschließlicher Anwendung einer alkalisch wirkenden NPK-Düngung (mit jährlich 80 kg P_2O_5 in Form von Thomasphosphat) etwa 20 Jahre, um den pH-Wert des Bodens von 3,9 auf 5,0 anzuheben.

Durch zusätzliche Kalkung sind diese Zeiträume wesentlich zu verkürzen. Die Kalkdüngung kann unter diesen Bedingungen auch zu wirtschaftlichen Vorteilen führen, im besonderen durch erhebliche Ertragssteigerungen und einer rascheren Verbesserung des Pflanzenbestandes.

Nach wie vor offen ist allerdings die Frage, ob man relativ hohe Aufwandsmengen (Einzelgaben) anwenden soll, um den angestrebten pH-Wert möglichst rasch zu erreichen, oder ob man sich auch diesbezüglich Zurückhaltung auferlegen soll. In der österreichischen Düngeberatung neigte man bisher überwiegend zu letzterem, das heißt Beschränkung der Einzelgaben auf ein Niveau von maximal 1000 bis 1500 kg CaO je ha im Abstand von zwei bis drei Jahren (SCHECHTNER 1976 und 1977, FACHBEIRAT FÜR BODENFRUCHTBARKEIT UND BODENSCHUTZ 1989, 1991 und 1993).

Der Hauptgrund für diese Zurückhaltung war die Befürchtung ungünstiger Auswirkungen zu hoher Einzelgaben auf die Pflanzen- und Tierernährung (durch Nährstoffantagonismen, Spurenelementfestlegungen, etc.). Das hier präsentierte Datenmaterial und die aus der Literatur bekannten Ergebnisse reichen leider nicht aus, um diese Frage sicher beantworten zu können. Es wären dazu weitere Versuche mit einer speziell auf die Lösung dieser Frage ausgerichteten Versuchsanstellung erforderlich.

5.3 Erhaltungskalkung

Zur Ermittlung der Aufwandsmengen für die Erhaltungskalkung wurden nicht nur die hier präsentierten Versuchsergebnisse herangezogen, sondern auch die Ergebnisse einer Reihe anderer langfristiger Düngungsversuche der BAL Gumpenstein. Auf Braunerdeböden und unter Klimabedingungen wie im Steirischen Ennstal genügen demnach durchschnittlich etwa folgende Kalkzufuhren je ha und Jahr, um den pH-Wert in einem Bereich zwischen 5,0 und 5,5 zu halten:

150 bis 200 kg CaO auf leichten Böden,
200 bis 250 kg CaO auf mittelschweren Böden.

Werte in dieser Größenordnung wurden auch von anderen Autoren ermittelt (BÄRMANN 1973, SCHWERTMANN und ATTENBERGER 1979). Die praktische Bedeutung dieser Zahlen liegt darin, daß sie es ermöglichen, eine ausreichende Basenversorgung des Grünlandes auch längerfristig mit relativ geringem Aufwand und auf relativ einfache Weise sicherzustellen. Es ist dabei allerdings unterstellt, daß man auf die Anwendung physiologisch sauer wirkender Düngemittel — wie Ammonsulfat oder Harnstoff — im Grünland verzichtet, wie dies aufgrund der Ergebnisse des Kalk- und Magnesiumdüngungsversuches Gumpenstein ohnehin zweckmäßig erscheint.

Physiologisch alkalisch wirkende Düngemittel, wie Thomasphosphat und Hyperphosphat, können bei Verwendung dieser Richtwerte mit den bekannten Kalkwirkungswerten mit angerechnet werden. Dasselbe gilt — aufgrund diverser eigener Versuche mit Wirtschaftsdüngern — auch für die Kalk- und Magnesiumzufuhren durch Stallmist und Vollgülle aus der Rinderhaltung.

Literatur

- ABERMANN, G., 1992: Basenersatz für Acker und Grünland. *Tiroler Bauernzeitung* 86, 12.
BADEN, W., 1954: Auch bei der Grünlandkalkung muß man auf Moor-, anmoorigen und selbst auf manchen humosen Böden anders überlegen und verfahren wie auf Mineralböden. *Das Grünland* 3, 28—31.
BÄRMANN, C., 1973: Untersuchungen über die Veränderung der pH-Werte im Boden nach Düngung mit Thomasphosphat. *Phosphorsäure* 30, 91—105.

- BAYER, U., 1990 a: Kalkdüngung brachte den Erfolg. Bayer. Landw. Wochenblatt 180, 24.
- BAYER, U., 1990 b: Klee macht das Grünland sauer. Bayer. Landw. Wochenblatt 180, 24.
- BECHER, H. H. und U. SCHWERTMANN, 1973: Der Einfluß einer Kalkung auf Aggregatstabilität und Eindringwiderstand zweier Lößböden. Zeitschr. Pfl.-Ernährg., Düng. u. Bodenk. 136, 120—129.
- BERGMANN, W., 1963: Die Kalkung des Dauergrünlandes. Die Deutsche Landwirtschaft 13, 535—538.
- EBERHARD, G., 1990: Zunehmende Bodenstrukturschäden auch im Grünland. Allgäuer Bauernblatt Nr. 12 vom 22. 3. 1990, Sdr.
- FACHBEIRAT FÜR BODENFRUCHTBARKEIT UND BODENSCHUTZ, 1989, 1991, 1993: Richtlinien für die sachgerechte Düngung. 1. Aufl., 2. Aufl., 3. Aufl.
- FRANZ, H., 1960: Feldbodenkunde. Verlag G. Fromme & Co., Wien und München.
- GERHOLD, K. H., 1989: Kalkdüngung ist in vielen Gebieten nötig. Prakt. Landtechnik 42, 374—376.
- GERHOLD, K. H., 1991: Ist Strukturwirkung des Kalks auf Grünland entbehrlich? Prakt. Landtechnik 44, 18—19.
- GRUNDLER, T. und G. VOIGTLÄNDER, 1979: Die Wirkung langjähriger Kalkung bei physiologisch alkalischer und saurer NPK-Düngung auf Futterqualität und Heuertrag einer Feuchtwiese. Bayer. Ldw. Jahrbuch 56, 337—350.
- GUNHOLD, P., 1974: Neue Erkenntnisse über den Einfluß der Mineralstoffe und Spurenelemente auf die Fruchtbarkeit der Rinder im Zusammenhang mit Düngung und Fütterung. Salzburger Bauer 29, 23, 2; 24, 8; 25, 11; 26, 10.
- HASLER, A., R. ZUBER und H. PULVER, 1961: Über die Boraufnahme und das Kalzium: Bor-Verhältnis in verschiedenen Futterleguminosen. Schweiz. Landw. Monatshefte 39, 2—15.
- LOTTHAMMER, K.-H., 1992: Fütterung und Fruchtbarkeit von Milchrindern. Züchtungskunde 64, 432—446.
- MENGEL, K., 1968: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. G. Fischer-Verlag, Stuttgart.
- MILLER, W. J., 1970: Zinc nutrition of cattle: A review. J. Dairy Sci. 53, 1123—1135.
- MOTT, N., 1962: Der Einfluß physiologisch saurer und alkalischer Düngemittel auf die Zusammensetzung des Pflanzenbestandes von Wiesen. Ber. Europäische Konferenz f. Naturfutterbau in Berglagen. AGFF, Zürich.
- NIESCHLAG, F., 1966: Bodenuntersuchung auf Grünland. Landwirtschaftsblatt Weser-Ems Nr. 15, 1011. Zit.: PILASKI, W., 1967: Mineralstoffgehalt des wirtschaftseigenen Futters und Gesundheit der Tiere. Phosphorsäure 27, 172—185.
- RIEDER, J., 1983: Dauergrünland. BLV-Verlagsgesellschaft mbH, München.
- SCHECHTNER, G., 1972: Das 1 x 1 der Grünlandwirtschaft — besser düngen! Beratungsschrift 31, BM Land-Forstwirtschaft, Wien.
- SCHECHTNER, G., 1974: Grünlanddüngung mit dem Rechenstift. Landkalender 37, 101—110.
- SCHECHTNER, G., 1976: Neuere Erfahrungen zur Verbesserung von Borstgrasrasen. Vortr. 11. Arb.Tag. FAO-Studiengruppe Bergweiden, Lausanne, 14. bis 17. Juli 1976; vervielfält. Vortragsmanuskript, BVA Gumpenstein.
- SCHECHTNER, G., 1977: Der Nährstoffbedarf des Grünlandes als Grundlage für die Wirtschaftsdünger- und Mineraldüngeranwendung. Förderungsdienst 25, 142—149.
- SCHECHTNER, G. und H. WAGNER, 1962: Pflanzenbestandsveränderungen in den Borstgrasbekämpfungsversuchen Kaiserau. Ber. Europäische Konferenz f. Naturfutterbau in Berglagen. AGFF, Zürich.
- SCHWERTMANN, U. und E. ATTENBERGER, 1979: Veränderungen von Bodeneigenschaften durch langjährige pH-verändernde Düngung. Landwirtsch. Forsch. 32, 119—128.
- SEMBACH, W., 1975: Kreislauf Boden — Pflanze — Tier. Kärntner Bauer 132, 313—315.
- ULRICH, B., 1983: Stabilität von Waldökosystemen unter dem Einfluß des „sauren Regens“. Allgem. Forstzeitschrift 26/27, 670—671.
- VETTER, H. und K. FRÜCHTENICHT, 1973: Aufkalkungsziele bei steigendem Humus- und Tongehalt. Kali-Briefe Hannover, Fachgeb. 1, 7. Folge.
- VOIGTLÄNDER, G., 1987: Kalkdüngung. 156—160. In: VOIGTLÄNDER, G. und H. JACOB, 1987: Grünlandwirtschaft und Futterbau. Verlag E. Ulmer, Stuttgart.
- WHITEHEAD, D. C., 1966: Nutrient minerals in grassland herbage. Mimeographed Public. No. 1. Commonwealth Agric. Bureaux, Bucks.
- ZIEMER, F.-H., 1968: Kalkdüngemittel. 1268—1316. In: SCHARRER-LINSER, 1968: Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung. 2. Bd. Boden und Düngemittel, 2. Hälfte. Springer-Verlag, Wien; New York.
- ZÜRN, F., 1953: Mittel und Wege zur Steigerung der Almerträge. Veröffentl. Bundesanstalt f. alpine Landwirtschaft, Admont. Heft 7.

- ZÜRN, F., 1962: Die Wirkung von Kalk bei physiologisch saurer und alkalischer Düngung auf den Ertrag von Wiesen. Ber. Europäische Konferenz f. Naturfutterbau in Berglagen. AGFF, Zürich.
- ZÜRN, F., 1968: Neuzeitliche Düngung des Grünlandes. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt/Main.

(Manuskript eingelangt am 10. Februar 1993, angenommen am 30. März 1993)

Anschrift des Verfassers:

Ao. Univ.-Prof. Hofrat Dr. Giselher SCHECHTNER, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, A-8952 Irdning