

Kalkdüngung zu Grünland - Versuchsergebnisse von zwei bayerischen Standorten

Diepolder, M. und Raschbacher, S.

Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz

Michael.Diepolder@lfl.bayern.de

Einleitung und Problemstellung

Im Jahre 2000 wurden im Rahmen des VDLUFA-Standpunkts „Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandflächen“ Richtwerte für das Rahmenschema zur Kalkbedarfsermittlung in Deutschland veröffentlicht. Bis zum Jahre 2004 erfolgte in Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Sachsen und Thüringen für Grünland eine Anpassung dieser Richtwerte hin auf süddeutsche Verhältnisse. Ergebnis war und ist bis dato eine gemeinsame Kalkbedarfsempfehlung für Grünland in der Fachberatung dieser fünf Bundesländer, insbesondere was den Bereich optimaler pH-Werte und der hierbei veranschlagten Erhaltungskalkung für die einzelnen Bodenartengruppen betrifft. Begleitend dazu wurden in einigen der genannten Bundesländer von den Landesfachbehörden neue Kalkdüngungsversuche auf Grünland angelegt, welche als Langzeitversuche konzipiert sind. Im Beitrag werden die wichtigsten Versuchsergebnisse zur Wirkung von Kalkdüngung auf Grünland dargestellt, welche in einem Zeitraum von 10-11 Jahren auf zwei hinsichtlich der Bodenart (leicht bis mittelschwer) ähnlichen, jedoch ansonsten stark unterschiedlichen bayerischen Standorten (Allgäu und Vorderer Bayerischer Wald) gewonnen wurden. Anhand des Vergleichs der pH-Werte, Erträge, Pflanzenbestände, Futterqualitäten und des Mineralstoffmusters von Varianten mit unterschiedlichen Kalkdüngungsmaßnahmen (Kalkart, Kalkmenge, Kalkhäufigkeit) sollen Aussagen getroffen werden, ob und inwieweit bei intensiv genutztem Grünland mit hohen Anteilen an Deutschem Weidelgras bzw. Wiesenfuchsschwanz eine Kalkung notwendig bzw. sinnvoll ist. Dies vor allem, wenn die Bestände weitgehend regelmäßig mit Gülle gedüngt werden, was wohl für sehr viele süddeutsche Betriebe zutrifft.

Material und Methoden

Tabelle 1 gibt einen Überblick zu beiden Versuchsstandorten, in Tabelle 2 sind die Versuchsvarianten aufgeführt. Diese wurden randomisiert in vierfacher Wiederholung angelegt. Mit Ausnahme der Varianten 7 und 8 am Spitalhof mit rein mineralischer Düngung (N-Düngung als Ammonsulfatpeter in Höhe von 175-180 kg N ha⁻¹ a⁻¹, aufgeteilt auf 4 Einzelgaben; PK-Düngung als Superphosphat mit 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ a⁻¹ plus Kornkali mit 300 kg K₂O ha⁻¹ a⁻¹) ist beiden Versuchskonzepten gemeinsam, dass die Düngung aller übrigen Varianten überwiegend mit Gülle erfolgte, ergänzt durch KAS. Hierbei wurden am Spitalhof mit 3x20 m³ dünner Rindergülle (4,6% TS) und einer KAS-Gabe von 40-50 kg N ha⁻¹ jährlich pro Hektar durchschnittlich 180 kg N_{gesamt}, davon nach LFL (2012) 155 kg N_{anrechenbar} sowie 70 kg P₂O₅ und 175 kg K₂O gedüngt. In Exlarn erfolgte die NPK-Düngung im ersten Versuchsjahr (2002) aufgrund der damals fehlenden Versuchsgüllentechnik ausschließlich mineralisch mit 4xKAS sowie Superphosphat und Kainit, dagegen in den Folgejahren 2003-2010 mit je 3x15 m³ Rindergülle (7,4% TS) u. einer KAS-Gabe mit 40 kg N ha⁻¹. Durchschnittlich wurden in Exlarn pro Hektar jährlich rund 180 kg N_{gesamt}, davon 145-150 kg N_{anrechenbar} sowie 70 kg P₂O₅ und 170 kg K₂O gedüngt. Auf beiden Standorten wurde die Höhe der Düngung im Vergleich zur veranschlagten N-Abfuhr bei vier- bis fünfmaliger Schnittnutzung (LFL 2012) knapp bemessen um ggf. ertragswirksame Kalkeffekte (Kleeanteil, Mineralisierung) nicht zu überdecken. In Tabelle 2 sind die im gesamten Untersuchungszeitraum gegebenen Kalkmengen (siehe rechte Spalte) stets als CaO-Äquivalente ausgewiesen, auch bei den Kalkformen Algenkalk (Exlarn, Spitalhof, Var. 5; Algenkalk granuliert mit 70% CaCO₃ und 6% MgCO₃) sowie kohlensaurem Magnesiumkalk (Exlarn, Var. 2, 60,5 % CaCO₃ und 31,6 % MgCO₃). Dabei wurde folgende Umrechnung zugrunde gelegt: CaCO₃x0,65 = CaO; MgCO₃x0,48 = MgO; MgOx1,39 = CaO.

Die statistische Verrechnung der Parameter erfolgte mit SAS und Anwendung des SNK-Tests ($\alpha = 0.05$). Auf statistisch signifikante Unterschiede wird aus Übersichtsgründen nicht in den Tabellen, sondern im Text hingewiesen.

Tab. 1: Charakterisierung der Versuchsstandorte Spitalhof und Exlarn

Standort Lkr. Erzeugungsgebiet	Spitalhof Kempten Allgäuer Alpenvorland	Exlarn Straubing-Bogen Westlicher Vorwald des Bayerischen Waldes
Höhenlage [m]	730	460
Jahresdurchschnittstemperatur [°C] ¹⁾	8,2	8,6
Mittlerer Jahresniederschlag [mm] ¹⁾	1.165	870
Geologische Formation	Würmeiszeitl. Moräne	Granitverwitterung
Sand/Schluff/Tonanteil _{0-20 cm} [%]	41 / 47 / 12	53 / 38 / 9
Bodenart _{0-20 cm}	Schluffig-lehmiger Sand (Slu)	Mittel lehmiger Sand (Sl3)
Bodentyp	Braun-/Parabraunerde	Ranker
Bodenuntersuchung ²⁾ [0-10 cm Tiefe]		
Humusgehalt _{0-10 cm} [%]; C/N	8,3; 10:1	4,1; 9:1
pH _{CaCl2}	~5,3	~5,3
P ₂ O ₅ _{CAL} [mg/100 g Boden]	13 (C)	5 (B)
K ₂ O _{CAL} [mg/100 g Boden]	19 (C)	8 (B)
Mg _{CaCl2} [mg/100 g Boden]	27 (D)	14 (C)
Grünlandbestand: Artenanteile ²⁾		
Gräser/Kräuter/Leguminiosen [% FM]	89 / 6 / 5	86 / 10 / 4
Hauptbestandsbildner	Dt. Weidelgras	Wiesenfuchsschwanz; Bastard-Weidelgras
Schnitte pro Jahr	5	4

1) Mittel im Versuchszeitraum: 2002-2012/2011

2) Zu Versuchsbeginn

Tab. 2: Versuchsvarianten am Spitalhof (2002-2012) und Exlarn (2002-2011)

Var.	Jährliche Basisdüngung	Kalkdüngung am Spitalhof im Versuchszeitraum	Σ CaO [dt/ha]
1	3 x Gülle + KAS ¹⁾	Ohne Kalk	0
2	3 x Gülle + KAS ¹⁾	Kohlensaurer Kalk; Ab 2005 8 x 2,5 dt CaO/ha	20
3	3 x Gülle + KAS ¹⁾	Kohlensaurer Kalk; 7 dt CaO/ha in 2002, 2006, 2010	21
4	3 x Gülle + KAS ¹⁾	Kohlensaurer Kalk, 10 dt CaO/ha in 2002, 2006, 2010	30
5	3 x Gülle + KAS ¹⁾	Algenkalk; jedes 2. Jahr; 6 x 2,6 dt CaO/ha ³⁾	15,5
6	3 x Gülle + KAS ¹⁾	Brantkalk, gekörnt, 10 dt CaO in 2002, 2006, 2010	30
7	ASS + PK ²⁾	Ohne Kalk	0
8	ASS + PK ²⁾	Kohlensaurer Kalk alle 3 Jahre; 4 x 10 dt CaO/ha	40

Var.	Jährliche Basisdüngung	Kalkdüngung in Exlarn im Versuchszeitraum	Σ CaO [dt/ha]
1	3 x Gülle + KAS ¹⁾	Ohne Kalk	0
2	3 x Gülle + KAS ¹⁾	Kohlensaurer Mg-Kalk ²⁾ ; In 2002 9,70 dt CaO/ha, ab 2006 7 x 4,05 dt CaO/ha	34
3	3 x Gülle + KAS ¹⁾	Kohlensaurer Kalk; Je 7 dt CaO/ha in 2002 und 2006	14
4	3 x Gülle + KAS ¹⁾	Kohlensaurer Kalk; Je 10 dt CaO/ha in 2002 und 2006	20
5	3 x Gülle + KAS ¹⁾	Algenkalk; jedes 2. Jahr; 5 x 2,6 dt CaO/ha ³⁾	13

Hinweis zu ^{1, 2, 3}: Siehe Text Material und Methoden

Ergebnisse und Diskussion

In Tabelle 3 sind die wichtigsten Versuchsergebnisse als jeweilige Mittel des elfjährigen (Spitalhof) bzw. zehnjährigen Versuchszeitraums (Exlarn) dargestellt. Rohprotein- und Mineralstoffgehalte sind dabei als gewichtete Mittel mit Berücksichtigung des Ertragsanteils der Schnitte angegeben.

Tab. 3: Ergebnisse Spitalhof (Mittel 2002-2012) und Steinach (Mittel 2002-2011)

Var.	Σ CaO [dt ha ⁻¹]	pH _{CaCl2}	Ø Futter- wertzahl	Ertrag		Rohprotein- und Mineralstoffgehalte					
				TM	XP	XP	Ca	Mg	K	P	
				[dt ha ⁻¹]		[g kg ⁻¹ TM]					
Var.	Spitalhof										
1	0	5,2	7,34	103,8	18,7	181	8,5	3,3	21,4	4,3	
2	20	5,5	7,22	104,1	18,5	178	10,1	3,0	20,9	4,3	
3	21	5,6	7,25	103,9	18,4	177	8,5	3,1	23,1	4,5	
4	30	5,8	7,25	101,0	17,8	177	9,0	3,1	22,9	4,6	
5	15,5	5,5	7,27	104,2	18,5	178	8,6	3,2	22,0	4,4	
6	30	5,6	7,34	103,5	18,4	178	8,9	3,1	22,3	4,5	
7	0	5,0	7,51	123,0	21,9	179	6,5	2,8	30,5	4,9	
8	40	5,4	7,51	123,9	22,3	180	7,6	2,8	29,1	4,8	
Var.	Exlarn										
1	0	5,4	5,92	105,1	14,3	138	7,9	3,0	20,0	2,7	
2	34	5,6	5,90	103,8	13,9	136	8,5	3,7	19,5	2,8	
3	14	5,4	5,90	105,9	14,1	136	8,9	2,9	19,9	2,8	
4	20	5,5	5,96	105,3	14,0	135	8,5	2,9	19,7	2,8	
5	13	5,4	5,92	105,4	14,1	136	8,2	2,9	19,3	2,7	

Hinweise zu Tabelle 3:

- Ertragsverteilung in % TM am Spitalhof: 19:22:23:22:15; in Exlarn: 31:29:25:15, später 1. Schnitt
- pH Spitalhof Mittel aus 16 Messungen, Exlarn: Mittel aus 11 Messungen
- FwZ: Spitalhof und Exlarn: Mittel aus 5 Aufnahmen, 1. Aufwuchs
- Ø Energiegehalte in MJ NEL/kg TM: Spitalhof Var. 1-6: 6,43-6,49; Var. 7,8 6,32-6,33; Exlarn: 6,17

pH-Werte: Am Spitalhof lag der mittlere pH-Wert der Kontrollvariante 1, d. h. ohne gezielte Kalkdüngung, mit pH 5,2 knapp unterhalb der Gehaltsklasse C, die nach Faustzahlen (LFL, 2012) für schluffig-lehmige Sande bei etwa pH 5,4-5,7 angesetzt wird. Dagegen bewegte sich in Exlarn ein mittlerer pH-Wert von pH 5,4 bei Variante 1 innerhalb des für mittel-lehmige Sande veranschlagten optimalen pH-Bereichs von etwa pH 5,3-5,6. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass auf beiden Standorten bei güllebasierter Düngung auch ohne gezielte Kalkgaben über die Jahre hinweg keine Abnahme, vielmehr eine leichte Zunahme der pH-Werte (Spitalhof: $\text{pH} = 5,2 + 0,005 \text{ a}^{-1}$, n.s.; Exlarn $\text{pH} = 5,4 + 0,011 \text{ a}^{-1}$, n.s.) beobachtet werden konnte. Übereinstimmend mit den Ergebnissen von KERSCHBERGER und SCHRÖTER (2015) kam es damit bei vorwiegend organischer Düngung zu keiner Bodenversauerung, obwohl nach Faustzahlen für den Untersuchungszeitraum eine Erhaltungskalkung von rund 12-17 kg CaO/ha zu veranschlagen gewesen wäre, zuzüglich rund 2,5 dt CaO bei Berücksichtigung von Kalkverlusten (LFL 2012) durch die KAS-Ergänzung. Kalkung führte am Spitalhof zwar zur signifikanten Anhebung des pH-Werts (Var. 2-6 vs. Var. 1 bzw. Var 8 vs. Var 7), allerdings ließen sich Effekte zwischen den Kalkvarianten 2-6 nur teilweise absichern (Var. 4 vs. Var 2, 5). Dies ist umso bemerkenswerter, da die im Untersuchungszeitraum ausgebrachten Kalkmengen (siehe Tab. 3, 2. Spalte) um den Faktor 1,5-1,9 differierten und die Kalkzufuhr bei den Varianten 4 und 6 weit über der empfohlenen Erhaltungskalkung lag. In Exlarn betrug die Differenzen zwischen den mittleren pH-Werten der Varianten maximal 0,2 pH-Einheiten, signifikante pH-Unterschiede bestanden dabei nur zwischen Variante 2 mit der höchsten Kalkgabe im Versuch gegenüber den Varianten 1, 3 und 5.

Sowohl am Spitalhof als auch in Exlarn ließ sich nur bei Variante 2 (8 Kalkgaben im Untersuchungszeitraum) ein linearer Anstieg des pH-Werts (Spitalhof: $\text{pH} = 5,2 + 0,058 a^{-1}$; $r^2 = 0,47$; Exl. $\text{pH} = 5,4 + 0,050 a^{-1}$; $r^2 = 0,38$) signifikant abgesichern. Insgesamt beeinflusste Kalkung den pH-Wert in Exlarn weit weniger als am Spitalhof, obwohl in Exlarn der Standort etwas leichter und deutlich niederschlagsärmer war. So lag in Exlarn die durchschnittliche Kalkwirkung nur bei +0,04 (max. 0,07) pH-Einheiten pro im Untersuchungszeitraum gegebener Tonne CaO, dagegen am Spitalhof bei +0,16 (max. ca. 0,2) pH-Einheiten pro Tonne CaO.

Pflanzenbestand, Ertrag: Im Gegensatz zum pH-Wert konnten auf beiden Standorten durch Kalkdüngung unterschiedlichster Art und Höhe weder die Erträge noch der botanische Futterwert angehoben werden. Unverändert (hier nicht eigens dargestellt) blieb der Anteil an Gräsern, Klee und Kräutern. Auffallend ist ferner, dass am Spitalhof die Variante 4 mit einer Kalkdüngung weit über der Empfehlung (LFL 2012) zwar höchsten pH-Wert, jedoch tendenziell den niedrigsten TM-Ertrag und den signifikant niedrigsten XP-Ertrag aufwies. Am Spitalhof erzielten die beiden mineralisch gedüngten Varianten 7 und 8 (bei insgesamt höherer Düngung) den höchsten Ertrag und lagen auch in der Futterwertzahl etwas über den Güllevarianten. Dabei ist bemerkenswert, dass auch bei der gezielt sauer gedüngten Variante 7 der Ertrag und die Futterwertzahl trotz des sehr niedrigen pH-Wertes von 5,0 sehr hoch lagen und auch hier Kalk (Var. 8) bisher keine weitere Verbesserung brachte. Das gleiche Resultat zeigte auch ein weiterer Versuch am Spitalhof (DIEPOLDER *et al.*, 2006). Demgegenüber traten bei einem über 50jährig mineralisch gedüngtem Grünlanddauerversuch in Rotthalmünster eindeutig negative Effekte durch eine langjährig saure Düngung hinsichtlich pH-Wert, Humusqualität, Pflanzenbestand und Ertrag und damit positive Kalkeffekte auf (SCHNELLHAMMER und SIRCH, 2015; 2006, zit. bei DIEPOLDER *et al.*, 2006).

Rohprotein und Mineralstoffgehalte: Auf beiden Standorten bewirkte die Kalkdüngung keine Steigerung der Rohproteingehalte im Futter sowie nur teilweise Veränderungen im Mineralstoffmuster. Signifikante Unterschiede zwischen den Varianten beschränkten sich dabei am Spitalhof meist auf die Art der NPK-Düngung (Spitalhof: Var. 2 vs. 7 bei Ca; Var 1-6 vs. Var 7, 8 bei Mg und K, Var 7 vs. 1, 2, 5 bei P). In Exlarn lagen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten beim Ca (Var. 3 vs. 1, 5) vor. Variante 2 mit der höchsten Mg-Düngung hatte in Exlarn auch den höchsten Mg-Gehalt, während der Grund für die generell recht niedrigen P-Gehalte vermutlich der späte erste Schnitt sowie die niedrige P-Versorgung des Bodens (siehe auch Tab 1) sind.

Schlussfolgerungen

Bei zwei hinsichtlich der Bodenart (leicht bis mittelschwer) ähnlichen, jedoch ansonsten stark unterschiedlichen Standorten (Allgäu und Bayerischer Wald) mit 5 bzw. 4 Schnitten pro Jahr zeigten sich durch unterschiedliche Kalkungsstrategien (Kalk-Menge, Art, Verteilung) in Ergänzung zur Gülle-/ KAS-Düngung zwar teilweise Auswirkungen auf den pH-Wert, jedoch waren positive Effekte auf Pflanzenbestand, Futterwertzahl und Ertrag nicht nachweisbar. Hinsichtlich künftiger länderübergreifender Kalkdüngungsempfehlungen für Grünland ergeben sich daraus erste Anhaltspunkte, zumindest für leicht bis mittlere Bodenartgruppen die empfohlenen optimalen pH-Bereiche und die zu veranschlagende Erhaltungskalkung keinesfalls zu erhöhen, vielmehr neu zu diskutieren, insbesondere wenn die Düngung auf Grünland vorwiegend organisch erfolgt.

Literatur

- DIEPOLDER, M., JAKOB, B. & RASCHBACHER, S. (2006): Dauerversuch zur Wirkung saurer und alkalischer Düngung im Grünland. Tagungsband der 50. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau (AGGF). Hsg: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Schriftenreihe 17/2006, 166-169
- KERSCHBERGER und M, SCHRÖTER, H. (2015): Von wegen sauer! DLG-Mitteilungen 3/2015, 26-29
- LFL, BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2012): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland – Gelbes Heft; 10. unveränderte Auflage 2012 (mit aktualisiertem Anhang), LfL-Information, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan
- SCHNELLHAMMER, R und SIRCH, J. (2015): Grünlandversuche – statischer Dauerdüngungsversuch mit physiologische alkalisch und physiologisch sauer wirkenden Düngern, Versuchsanlage 1961. In: Versuchsbericht der Höheren Landbauschule Rotthalmünster, 210-213