

Schwefeldüngung zu Dauergrünland

Neue Versuchsergebnisse

von Dr. Michael Diepolder und Sven Raschbacher

Es werden vierjährige Ergebnisse (2004 - 2007) eines Grünland-Exaktversuchs auf einem Wiesenfuchsschwanz-Standort im Boden-Klimaraum Bayerischer Wald mit durchschnittlich vier Schnitten pro Jahr vorgestellt. Die neun geprüften Varianten unterschieden sich vor allem durch Art und Höhe ihrer Schwefeldüngung. Bei regelmäßiger Gülledüngung als Basis konnten durch zusätzliche mineralische S-Düngung die Erträge nicht gesteigert werden. Generell war bei allen Varianten die Schwefelversorgung der einzelnen Aufwüchse optimal. Im Mittel wurden bei einem hohen Ertragsniveau von 123 dt TM/ha pro Jahr 33 kg Schwefel/ha bzw. pro Aufwuchs ca. 7 - 11 kg S/ha entzogen. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass bei intensiv genutztem Dauergrünland (meist) kein Schwefelmangel zu befürchten ist, wenn eine regelmäßige Nährstoffrückführung durch die Wirtschaftsdünger erfolgt.

Einleitung

Da die Schwefel-Einträge aus der Luft im Bundesgebiet gegenwärtig auf ca. 5 kg S pro Hektar und Jahr gesunken sind, wird nach wie vor über Notwendigkeit, Art und Höhe einer Schwefeldüngung im Grünland diskutiert. Bereits nach kurzer Recherche im Internet und in der Fachliteratur fällt auf, dass Bedarfs- bzw. Empfehlungen dabei recht unterschiedlich ausfallen können. Dies mag einerseits angesichts der vielfältigen Ausprägung des „Grünlands“ im Bundesgebiet (Region, Intensitätsstufe, Dauergrünland, Wechselgrünland, Bodenart, etc.) in gewissem Maße erklärbar sein. Es lässt andererseits insbesondere in Zeiten eng begrenzter ökonomischer Handlungsspielräume (Produktionskosten) eine aus definierten mehrjährigen Versuchen heraus abgeleitete regionale Beratungsempfehlung besonders wichtig erscheinen. Dies auch deswegen, weil Schwefel ein für die Pflanzen- und Tierernährung lebenswichtiger Nährstoff ist, aber auch bei überbilanzierter Zufuhr verstärkt auswaschungsgefährdet ist (DIEPOLDER et al., 2006).

Für südbayerische Verhältnisse konnte anhand von ersten vierjährigen Versuchsergebnissen (DIEPOLDER, 2003) auf einem nativen Weidelgrasbestand im Allgäuer Alpenvorland gezeigt werden, dass bei intensiv genutztem Dauergrünland (vier Schnitte pro Jahr) der S-Entzug bei einem durchschnittlichen Jahresertragsniveau von 115 dt TM/ha im Mittel bei 31 kg S/ha bzw. bei rund 7 - 9 kg pro Aufwuchs lag. Einflüsse

auf S-Gehalte und S-Entzüge hatten – neben dem Einzeljahr – Art und Höhe der Düngung. Allerdings fielen auf dem kontinuierlich mit Gülle versorgten, ertragreichen Weidelgras-Standort die durch eine ergänzende mineralische Schwefeldüngung bewirkten Ertrags-effekte in Höhe von rund fünf Prozent nicht allzu hoch aus.

Es bestand nun die Frage, ob und inwieweit sich die damals gewonnenen Erkenntnisse für das (Intensiv-)Grünland in einem anderen Naturraum Bayerns mit anderem Pflanzenbestand bestätigen lassen. So wurde im westlichen bayerischen Vorwald zwischen Straubing und Cham im Jahr 2003 ein weiterer Exaktversuch angelegt, wobei auch zusätzlich neue Düngungsvarianten aufgenommen wurden. Nachfolgend werden aus diesem Versuch wichtige Ergebnisse der Jahre 2004 - 2007 zusammenfassend dargestellt; das Anlagejahr 2003 wurde wegen massiver Ertragsausfälle aufgrund extremer Sommertrockenheit in der Region nicht in die Auswertung einbezogen.

Im Hinblick auf die Diskussion der Ergebnisse sei auch explizit darauf hingewiesen, dass es sich auch hier um einen Versuch zu Dauergrünland mit etablierter Grasnarbe handelt. Daher sind die Ergebnisse nicht automatisch auf ackerbauähnliches „Grünland“ (Feldgras, Klee gras, Wechselgrünland, etc.) übertragbar.

Standort und Varianten

Der Versuchsstandort *Maierhofen* befin-

det sich im nördlichen Landkreis Straubing-Bogen und wird dem sog. Boden-Klimaraum „Bayerischer Wald“ (einer von elf Boden-Klimaräumen in Bayern; LFL, 2008) zugeordnet. Er liegt 460 m über NN, hat 850 mm mittleren Niederschlag und eine Jahresdurchschnittstemperatur von 7,5 °C. Granitverwitterung bildet das Ausgangsgestein für einen Ranker als Bodentyp, die Bodenart ist sandiger Lehm. Der Pflanzenbestand wies 24 Arten (neun Gras-, dreizehn Kräuterarten, Rot- und Weißklee) auf. Der Frischmasse-Ertrag des 2003/2004 bonitierten ersten Aufwuchses setzte sich aus 65 % Gräsern, 26 % Kräutern und 9 % Klee zusammen. Leitgras war mit 40 % Frischmasse-Anteil der Wiesenfuchsschwanz (*Alopecurus pratensis*). Als weiteres bestandsbildendes Gras war Knautgras (*Dactylis glomerata*) mit 10 % vorhanden, während Weidelgräser (*Lolium perenne* und *L. hybridum*) mit insgesamt 5 %, sowie Wiesen- (*Poa pratensis*) und Gemeine Rispe (*Poa trivialis*) mit je 3 % nur eine untergeordnete Rolle spielten. Als wichtigste Kräuter im ersten Aufwuchs waren mit 15 % Löwenzahn (*Taraxacum officinale*) und mit 5 % kriechender Hahnenfuß (*Ranunculus repens*) vertreten. Der Pflanzenbestand war damit klar als Wiesenfuchsschwanz-Wiese anzusprechen, typisch für intensiv genutztes „Milchviehgrünland“ in dieser Region.

Von der Versuchsstelle Steinach des Amtes für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Deggendorf (SG 2.1 P)

wurde innerhalb der Grünlandfläche eines Milchviehbetriebes ein Exaktversuch mit neun Düngungsvarianten in vierfacher Wiederholung angelegt und betreut.

Tabelle 1 zeigt die bei den jeweiligen Varianten verabreichten Düngerarten sowie die damit einhergehenden Nährstoffzufuhren. Dabei ist die mineralische Schwefeldüngung, welche in Form von Netzschwefel (2, 8) oder als Sulfat in Form von Superphosphat (4), Magnesiakainit (9) sowie Ammonsulfatsalpeter und Kornkali (5, 6) erfolgte, hervorgehoben. Die Gesamt-Zufuhr an Schwefel in organisch/mineralischer Form bewegte sich bei den Parzellen in einer großen Spannweite von jährlich 17 kg/ha (Var. 3, 7) bis hin zu 72 kg/ha (Var. 5, 6).

Ergänzend sind im Hinblick auf die Versuchsdurchführung sowie die Interpretation der Ergebnisse noch folgende Hinweise anzumerken:

Wie der *Übersichtstabelle 1* zu entnehmen ist, wurden bei den einzelnen Varianten nicht nur beim Schwefel, sondern auch bei anderen Nährstoffen, teilweise unterschiedliche Mengen ausgebracht. Insgesamt war man jedoch bei der Versuchskonzeption darum bemüht, dass bei der Bemessung der Stickstoff-, Phosphat-, Kali- und Magnesiumdüngung in Anlehnung an die Empfehlungen des „Gelben Heftes“ (LFL, 2007) keine gezielte Mangelsituation geschaffen wurde, die eine Versuchsauswertung im Hinblick auf „mögliche Schwefeleffekte“ über Gebühr strapaziert hätte.

Der Netzschwefel wurde bei Variante 2 per Hand in einer Mischung mit Sand (Streupräzision bei kleiner Menge) jeweils kurz vor der Güllegabe ausgebracht. Die Applikation der hohen Frühjahrsgabe bei Variante 8 erfolgte auf die gleiche Weise, jedoch einige Tage vor der Gülledüngung. Gleichzeitig zur Schwefeldüngung wurde beim Versuchsglied 8 kohlensaurer Magnesiumkalk (2,5 CaO dt/ha) ausgebracht.

Auch die Varianten 6, 7 und 9 wurden im Frühjahr gekalkt; allerdings wurde hier kohlensaurer Kalk (2,5 CaO dt/ha) eingesetzt. Damit sollten bei dem sauren

Granitboden auch von der Kalkversorgung her optimale Nährstoffverhältnisse geschaffen werden. Vor allem aber galt es im direkten Vergleich zwischen Variante 3 und 7 bzw. zwischen Versuchsglied 5 und 6 zu prüfen, ob und inwieweit bei physiologisch versauernd wirkenden N-Düngern (hier KAS und insbesondere ASS) eine Ausgleichskalkung erforderlich ist, worauf in der Literatur immer wieder hingewiesen wird. So wird für KAS ein Kalkverlust von 15 kg CaO, bei ASS sogar von 49 kg CaO je 100 kg Dünger ausgewiesen (LFL, 2007). Dies entspricht bei 80 kg N/ha KAS (27 % N) einer Düngermenge von rund 300 kg/ha, womit rechnerisch ein jährlicher Kalkverlust von rund 45 kg CaO/ha verbunden ist. Im Fall von Ammonsulfatsalpeter (ASS mit 26 % N) erreicht dagegen bei gleichem N-Einsatz der theoretische Kalkverlust (150 kg/ha und Jahr) in etwa die dreifache Höhe.

Bei den Versuchsgliedern 1 und 2 bestand die NPK-Versorgung ausschließlich aus Gülle. Deren Analyseergebnisse wiesen im Durchschnitt 6,8 % TS bei pH 7,2 und an Inhaltstoffen pro Kubikmeter 3,3 kg Gesamt-N und 0,43 kg S, ferner 1,63 kg P₂O₅, 4,29 kg K₂O, 1,02 kg MgO und 1,66 kg CaO auf. Damit erhielt ein Aufwuchs mit der im Versuch gewählten (praxisüblichen) Güllegabe u. a. 67 kg/ha Gesamt-N, wovon 50 kg N/ha als pflanzenverfügbar anzurechnen sind (LFL, 2007) sowie 8,5 kg Schwefel. Bei den übrigen sieben Varianten wurde bei den Sommeraufwüchsen mineralischer Stickstoff in Form KAS (Var. 3, 4, 7, 8, 9) oder von ASS (Var. 5, 6) ausgebracht. Die hier verabreichte jährliche Gülledüngung von insgesamt 40 m³/ha entsprach überschlägig der Menge, welche im Durchschnitt bei einem Milchviehbetrieb mit rund 1,4 GV/ha pro Jahr anfällt.

Alle neun Varianten wurden jeweils zum gleichen Zeitpunkt geerntet. Bei der Versuchskonzeption wurden vier Schnitte vorgesehen. Dies konnte jedoch nur in den ersten beiden Jahren eingehalten werden, während 2006 aufgrund von Trockenheit und spätem ersten Schnitt nur drei Aufwüchse genommen werden konnten, dagegen im darauffolgenden

Jahr wegen starker Wüchsigkeit im Sommer/Frühherbst fünf Ernten erforderlich waren. Teilweise waren daher in diesen beiden Jahren aus fachlichen bzw. versuchstechnischen Gründen nach dem ersten Schnitt geringfügige Modifikationen der organisch/mineralischen Düngung erforderlich, die jedoch für die Gesamtkonzeption der Düngungsstrategien und die dadurch gewonnenen Versuchsaussagen ohne Bedeutung blieben.

Generell sollte im Versuch durch eine große Bandbreite unterschiedlicher Schwefelversorgung (Art, Höhe) die Basis für eine mögliche Differenzierung der Varianten geschaffen werden. Deren Anzahl war jedoch wegen des sonst schnell ansteigenden Versuchsumfangs limitiert. Dies führt dazu, dass ein direkter Vergleich zwischen allen einzelnen Versuchsgliedern nicht möglich ist und man im Einzelfall auch mit „interpolierenden“ Versuchsaussagen arbeiten muss. Dennoch gestattet die Konzeption vier direkte Vergleiche zwischen folgenden Düngungsstrategien: Var. 1/2; Var. 3/4, 3/7 und Var. 5/6.

Ergebnisse und Diskussion

Jahreseffekte und Versuchsmittel

Wie *Tabelle 2* zeigt, streuten Ertrag und Nährstoffabfuhr des Gesamtversuchs in den vier einzelnen Versuchsjahren enorm. So lag die Spannweite beim Ertrag zwischen 107 dt TM/ha und 150 dt TM/ha, bei der N-Abfuhr zwischen 216 kg N/ha und 369 kg N/ha. Dies allein belegt schon, dass Versuchsaussagen (und damit verbundene Düngungsempfehlungen) nie aus Ergebnissen von Einzeljahren abgeleitet werden sollten – was leider durchaus vorkommt.

Die Schwefel-Entzüge bewegten sich in den Einzeljahren zwischen 27 kg S/ha und 40 kg S/ha, wobei der höhere Wert bei einem für Dauergrünland außerordentlich hohem Jahresertrag erreicht wurde. Auch die mittleren Rohprotein-Gehalte im Futter (12,6-17,6% i. d. TM) unterlagen großen Schwankungen, während dies für den Schwefelgehalt und die Energiekonzentration nicht bzw. nur wenig zutrif. Insgesamt entsprachen der mittlere Energie- und Rohproteingehalt

Tabelle 1: Versuchsvarianten und Nährstoffzufuhr

Variante		Nährstoffzufuhr (kg/ha)					
Nr.	Düngung	N gesamt	S org./min.	P ₂ O ₅ gesamt	K ₂ O gesamt	MgO gesamt	CaO gesamt
1	4 x 20 m ³ Rinder-Gülle (6,8 % TS)	267	34/0	130	344	82	186
2	4 x 20 m ³ /ha Rinder-Gülle (6,8 % TS) + 4 x 8 kg/ha S _{elementar} ¹⁾		34/32				
3	2 x 20 m ³ /ha Rinder-Gülle (6,8 % TS) zu 1./2. Aufwuchs + 2 x 40 kg N/ha als KAS (0 % S) zu 3./4. Aufwuchs + 50 kg P ₂ O ₅ /ha Triple-P (0 % S) + 100 kg K ₂ O/ha als 60er Kali (0 % S) ²⁾	213	17/0	115	272	41	93
4	2 x 20 m ³ /ha Rinder-Gülle (6,8 % TS) zu 1./2. Aufwuchs + 2 x 40 kg N/ha als KAS (0 % S) zu 3./4. Aufwuchs + 50 kg P ₂ O ₅ /ha Super-P (27 % S) + 100 kg K ₂ O/ha als 60er Kali (0 % S) ²⁾		17/28			41	
5	2 x 20 m ³ /ha Rinder-Gülle (6,8 % TS) zu 1./2. Aufwuchs + 2 x 40 kg N/ha als ASS (13 % S) zu 3./4. Aufwuchs + 50 kg P ₂ O ₅ /ha Triple-P (0 % S) + 100 kg K ₂ O/ha als Kornkali (4 % S) ²⁾		17/55			63	
6	Wie Variante 5, jedoch mit Kalk im Frühjahr ³⁾		17/55			63	
7	Wie Variante 3, jedoch mit Kalk im Frühjahr ³⁾		17/0			41	
8	Wie Variante 3, jedoch mit Kalk ⁴⁾ und 25 kg/ha S _{elementar} ⁵⁾ im Frühjahr	17/25	74	343 ³⁾			
9	Wie Variante 3, jedoch mit Kalk ³⁾ sowie statt 60er Kali Magnesiakainit (4 % S)	17/36	86				

Zu 1): Netzschwefel jeweils kurz vor Güllegabe (siehe auch Text)

Zu 2): Als Grunddüngung im Frühjahr

Zu 3): Bei Varianten 6, 7 und 9 zusätzlich jeweils 2,5 dt CaO/ha als kohlensaurer Kalk im Frühjahr

Zu 4): Bei Variante 8 als kohlensaurer Magnesiumkalk (2,5 dt CaO/ha) im Frühjahr (siehe auch Text)

Zu 5): Netzschwefel zusammen mit Kalkung ausgebracht, einige Tage vor Güllegabe (siehe auch Text)

Tabelle 2: Jahresmittel

Jahr (Schnitte)	Erträge		Nährstoffabfuhr		Mittlere Gehalte im Futter				
	TM	Energie	Stickstoff	Schwefel	Energie- konzentration	Roh- protein	Gesamt- Schwefel	Anorg. ¹⁾ Schwefel	N:S- Verhältnis
	(dt/ha)	(GJ NEL/ha)	(kg N/ha)	(kg S/ha)	(MJ NEL/kg TM)	(% in TM)			
2004 (4)	106,9	65,7	216	29	6,15	12,6	0,27	0,21	7,5
2005 (4)	150,3	90,3	329	40	6,01	13,7	0,27	0,20	8,3
2006 (3)	103,7	63,2	233	27	6,09	14,0	0,26	0,19	8,6
2007 (5)	130,8	84,0	369	35	6,42	17,6	0,27	0,18	10,7
Mittel	122,9	75,8	287	33	6,17	14,6	0,27	0,19	8,8

Zu 1): Anorganischer Schwefel; errechnet aus Gesamt-S minus [Rohprotein * 0,005]; nach RÜHLICKE und RUTZMOSER, 2000

Tabelle 3: Ertrag, N-Abfuhr, S-Abfuhr, S-Saldo, N:S-Verhältnis und Bodenwerte (Mittel der Jahre 2004 - 2007)

Variante	TM-Ertrag (dt/ha)	Energieertrag (GJ NEL/ha)	N-Abfuhr (kg N/ha)	S-Abfuhr (kg S/ha)	S-Saldo (kg S/ha)	N:S- Verhältnis	Boden ¹⁾		
							pH	P ₂ O ₅	K ₂ O
							(CaCl ₂)	(mg/100 g Boden)	
1	125,4 a	77,8 a	297 a	32 bc	+ 2	9,2 ab	5,3	5,4	8,2
2	118,9 ab	74,0 a	293 a	34 b	+32	8,5 b	5,2	5,6	7,2
3	125,0 a	76,9 a	293 a	29 cd	-12	10,0 a	5,3	7,4	9,8
4	126,7 a	77,5 a	294 a	33 bc	+12	8,9 b	5,4	6,8	9,2
5	124,2 a	75,8 a	278 ab	38 a	+34	7,4 c	5,1	7,2	8,6
6	126,1 a	77,3 a	288 ab	38 a	+34	7,6 c	5,6	7,4	8,4
7	117,1 b	72,7 a	269 b	27 d	-10	10,0 a	5,6	7,4	8,4
8	126,0 a	77,7 a	292 a	34 b	+ 8	8,6 b	5,5	7,8	8,8
9	117,0 b	72,7 a	275 ab	31 bc	+22	8,8 b	5,7	9,0	8,8
Mittel	122,9	75,8 a	287	33	+13	8,8	5,4	7,1	8,6

Zu 1): Bodenart sandiger Lehm; bei pH-Wert, P- und K-Versorgung Mittel aus fünf Untersuchungen in den Jahren 2003 - 2007

Magnesiumversorgung durchschnittlich bei 16 mg Mg/100 g Boden; Spannweite Varianten (15 - 17 mg/100 g)

Unterschiedliche Kleinbuchstaben bedeuten signifikante Unterschiede bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %

Beratung und Bildung

im vierjährigen Durchschnitt den Werten, die man häufig bei obergrasreichen Grünlandbeständen findet, wobei das Einzeljahr mit fünf Nutzungen (2007) herausragt.

Trotz der an den Ertragsschwankungen erkennbaren unterschiedlichen „Umwelten“, d. h. der Interaktion von Standort und Jahreswitterung, war der Versuch in allen Jahren mehr als ausreichend mit Schwefel versorgt. Dies belegen sowohl die Schwefelgehalte als auch das N:S-Verhältnis. Diese Parameter werden als Kriterien zur Beurteilung der Schwefelversorgung im Grünland herangezogen, wobei Gehalte von mehr als 0,15 % (1,5 g/kg TM) anorganischem Schwefel (nicht aminosäuregebundener Schwefel als Vorrat für Proteinaufbau im Zellsaft) bzw. ein N:S-Verhältnis von unter 12:1 eine reichliche Schwefelversorgung anzeigen und als optimal gelten (RÜHLICKE und RUTZMOSER, 2000). Von konkretem Schwefelmangel wäre bei einem N:S-Verhältnis von über 15:1 oder bei S-Gehalten von deutlich unter 0,2 % Gesamt-S bzw. unter 0,1 % anorganischem Schwefel auszugehen.

Als erste Kernaussage des Versuchs lässt sich anhand *Tabelle 2* bereits festhalten: Im vierjährigen Durchschnitt wurden bei sehr hohem Ertragsniveau von 123 dt TM/ha und optimaler S-Versorgung des Versuchsstandortes pro Jahr vom Hektar 33 kg Schwefel abgefahren. Diese Zahlen stimmen in ihrer Größenordnung sehr gut mit den im Allgäuer Naturraum gewonnenen Werten überein (115 dt TM/ha; 31 kg S/ha; DIEPOLDER, 2003). Geht man davon aus, dass in der Praxis gegenüber Versuchsbedingungen (optimale Düngungs- und Schnitt-Termine, verlustfreie Ernte) die mittleren Erträge rund 10 - 20 % niedriger anzusetzen sind, so kann für intensiv genutztes Dauergrünland eine durchschnittliche jährliche Schwefelabfuhr von rund 25 - 30 kg/ha angegeben werden.

Einfluss der Varianten

Die in *Tabelle 3* dargestellten Ergebnisse (Mittel aus vier Jahren) der neun Versuchsvarianten ergeben im direkten Vergleich der Versuchsglieder in be-

stimmten Fällen ein widersprüchliches Bild, insbesondere wenn man die erzielten Erträge mit der jeweils verabreichten Schwefeldüngung bzw. dem S-Saldo in Beziehung zu setzen versucht. Jedoch lassen sich bei näherer Betrachtung wesentliche Erkenntnisse ableiten.

Zunächst ist festzustellen, dass bei allen gewählten Düngungsstrategien im Mittel der Jahre das N:S-Verhältnis deutlich enger als 12:1 war und damit die Schwefelversorgung weit im optimalen Bereich lag. Dies trifft auch für diejenigen Varianten zu, welche nur zweimal Gülle, darüberhinaus aber keine weitere S-Düngung erhielten (Variante 3 und 7) und negative S-Salden aufwiesen. Auch ist *Tabelle 3* zu entnehmen, dass die Varianten mit der höchsten Zufuhr an organisch/mineralischem Schwefel in Höhe von 72 kg S/ha (Var. 5 und 6) zwar signifikant die höchsten S-Entzüge aufwiesen, jedoch keinen Ertragsvorteil verbuchen konnten. So blieben von der gegebenen überhöhten Düngung letztendlich 34 kg S/ha „im Boden“. Dort unterliegt Schwefel als Sulfat der Auswaschungsgefahr, was auch durch Untersuchungen von DIEPOLDER et al. (2006) untermauert wird.

Interessant ist ferner beim Vergleich der beiden Varianten 5 und 6, die sich nur durch die Kalkzufuhr (Var. 6) in ihrer Düngung unterscheiden, dass bei saurer Düngung (ASS) trotz des suboptimalen pH-Wertes von 5,1 bei der ungekalkten Variante (Var. 5) kein Minderertrag zu verzeichnen war. Das heißt, der Kalkausgleich erbrachte im Versuchszeitraum keinen positiven Effekt. Dies wurde übrigens auch beim Allgäuer Versuch festgestellt (DIEPOLDER, 2003).

Wie der Vergleich der Varianten 3, 4 und 5 zeigt, brachte der Einsatz von schwefelhaltigem Mineraldünger (Superphosphat, ASS, Kornkali) in *Maierhofen* keinen Ertragszuwachs. Bei dem Allgäuer Versuch hingegen kam es bei den Varianten mit kombinierter Düngung bei Einsatz sulfathaltiger Dünger im günstigsten Fall zu Mehrerträgen von bis zu 9 % (im vierjährigen Mittel) gegenüber reiner Gülledüngung bzw. schwefelfreier Mineraldüngerergänzung. Allerdings

war davon – bei gleichfalls nur mittlerer P-Versorgung des Bodens – ein Teil auf die positive Wirkung von schnell löslichem Phosphat zurückzuführen, während der Schwefeleffekt (Sulfat-S) alleine rund 5 % Mehrertrag ergab.

Wenngleich Versuchsglied 1 aufgrund unterschiedlicher Nährstoffzufuhren nicht direkt mit den Varianten 3 - 6 zu vergleichen ist, so gibt das gleich hohe Ertragsniveau dieser Variante mit ausschließlicher Gülledüngung zu jedem Aufwuchs dennoch einen Hinweis auf die positive Wirkung des „Mehrnährstoffdüngers Gülle“ selbst bei suboptimalem pH-Wert und Phosphatgehalt des Bodens. Umso erstaunlicher ist, dass zusätzlich kurz vor der Güllegabe verabreichter elementarer Schwefel (Netzschwefel) zu einem tendenziellen, d. h. gerade knapp unter der Signifikanzgrenze liegenden Minderertrag führte (Variante 2 vs. 1). Andererseits ergab sich bei hoher Düngung mit Netzschwefel und ebenfalls erfolgter Kalkgabe im Frühjahr keine Ertragsdepression, wie der Vergleich von Variante 8 mit Variante 3 belegt. Eine zumindest fachlich etwas nachvollziehbare Erklärung für diese Zusammenhänge könnte möglicherweise in der Schwefeldynamik im Boden zu finden sein: Bekannt ist, dass Schwefelbakterien im Boden unter aeroben Verhältnissen den dort vorhandenen organischen Schwefel, Metallsulfide oder Schwefelwasserstoff über zu elementarem Schwefel und diesen dann weiter zu Sulfat oxidieren um daraus ihre Energie, z. B. für die Bildung von Kohlenhydraten, zu gewinnen. So wird auch dem Boden verabreichter elementarer Schwefel bei Anwesenheit von Sauerstoff und Bodenwasser zu Sulfat umgesetzt. Die dazu gehörige Gleichung lautet: $2 S + 2 H_2O + 3 O_2 \rightarrow 2 H_2SO_4 + \text{Energie}$. Entscheidend ist, dass hierbei Säure (Protonen) freigesetzt werden, ein Umstand, den man sich auch zu gezielten – allerdings kostspieligen – pH-Senkung alkalischer Böden/Substrate durch elementarem Schwefel zunutze macht (siehe dazu auch AMBERGER, 1983). Obwohl im Versuch bei der Ausbringung vergleichsweise geringer Mengen an elementarem Schwefel mit keiner nennenswerten Versauerung des Bodens zu

rechnen war bzw. auch nicht durch die Bodenanalyse festgestellt werden konnte, so wäre zumindest theoretisch eine kurzfristige pH-Senkung im Wurzelraum mit nachteiligen Folgen denkbar. Diese These gewinnt dadurch etwas an Halt, dass im Falle einer zeitgleichen Kalkgabe zur Düngung mit elementarem Schwefel die Ertragsdepression ausblieb (vergleiche Variante 8 vs. Variante 3).

Erstaunlich jedoch sind die signifikanten Mindererträge bei den beiden Varianten 7 und 9. Das dies evtl. in monokausalem Zusammenhang mit der erfolgten Kalkung zu sehen sein könnte, ist wenig wahrscheinlich. Es wäre fachlich nicht erklärbar, warum vergleichsweise niedrige (empfohlene) Mengen an kohlensaurem Kalk zu Ertragseinbußen von ca. 8 dt TM/ha führen sollten (vergleiche Variante 3 und 7 bzw. 9). Auch der Vergleich von Variante 5 (ungekalkt) mit Variante 6 (gekalkt) lässt keinen „negativen Kalkeffekt“ dieser ansonsten identisch gedüngten Parzellen erkennen. Die Ursache muss also woanders zu suchen sein. Eine relativ einfache Erklärung findet sich für das schlechte Abschneiden von Variante 9: Die Absicht war hier, die mineralische Kaligabe in Höhe von 100 kg K₂O/ha zusammen mit einer Sulfat-, Magnesium-, Natrium- und Chloridzufuhr im Frühjahr zu verbinden, um evtl. dadurch weitere positive Effekte zu erzielen. Dazu mussten von Magnesiakainit, welches nur einen Durchschnittsgehalt von 11 % K₂O aufweist, rund 900 kg/ha Dünger ausge-

bracht werden. Diese Menge lag um ca. das Doppelte höher als der empfohlene Einsatz. Die Folge dieser Überdüngung dürfte daher eine durch Salzscha-den verursachte Ertragsdepression gewesen sein. Komplizierter gestaltet sich hingegen die Begründung für den Ertragsabfall, der bei Variante 7 gegenüber Variante 3 auftrat und irgendwie doch auf eine „negative Nährstoffkombination“ hinweist. Wenngleich eine absolut sichere Erklärung für den Ertragsabfall bei Variante 7 letztendlich nicht gegeben werden kann, so könnte die Ursache dennoch in einer nicht optimalen Magnesiumaufnahme zu sehen sein, obwohl – wie bei allen anderen Varianten auch – die Gehalte des Bodens (ca. 15 mg Mg/100 g Boden) stets auf eine optimale Versorgung hinwiesen. Es wird vermutet, dass der Einsatz von hochkonzentriertem Kalidünger (60-er Kali) plus Kalk bei der Nährstoffaufnahme zu einem Antagonismus zwischen Kalium und Calcium mit Magnesium führte. Dies könnte sich auch deshalb negativ auf den Ertrag ausgewirkt haben, da die Magnesiumzufuhr über Gülle beim Versuchsglied 7 etwas unter dem (veranschlagten, siehe LFL 2007) Entzug durch die Pflanzen gelegen haben dürfte.

Schwefel in einzelnen Aufwüchsen

Tabelle 4 zeigt für sechs unterschiedlich gedüngte Varianten deren mittlere Schwefelgehalte bzw. S-Abfuhr im Jahresverlauf. Zunächst fällt auf, dass Schwefelkonzentrationen der einzelnen Aufwüchse deutlich über 0,2 % S

(> 2 g S/kg TM) liegen und damit auf eine ausreichende Schwefelversorgung hinweisen. Dies trifft selbst für das Versuchsglied zu, welches Schwefel nur zweimal pro Jahr über Gülle zum ersten und zweiten Aufwuchs erhielt (Variante 3) und einen negativen S-Saldo aufwies. Weiterhin deutet sich bei Variante 1 beim zweiten Schnitt ein höherer S-Gehalt als bei der gleichfalls bis zu diesem Schnitt identisch gedüngten Variante 3 an. Dies könnte auf eine Nachwirkung des im Vorjahr gegebenen Gülle-S hinweisen.

Allgemein fällt ein Anstieg der Schwefelgehalte während des Jahres auf, was mit den Ergebnissen von DIEPOLDER (2003) im Allgäu übereinstimmt. Dabei sind die höheren Schwefelgehalte der Folgeschnitte gegenüber dem ersten Aufwuchs auch auf die Bereitstellung von Schwefel durch Mineralisierung zurückzuführen. Daraus ergibt sich, – wie auch an Variante 5 ersichtlich – dass eine mineralische S-Ergänzungs-Düngung im Sommer zu ertragsunwirksamen und unnötig hohen S-Gehalten im Futter führt.

Abbildung 1 zeigt für die Variante 3 mit rein organischer S-Düngung und insgesamt vergleichsweise niedriger S-Zufuhr, dass der Gesamt-Gehalt an Schwefel in der Futtertrockenmasse des Aufwuchses im Trend [R² (Bestimmtheitsmaß) = 52 %; signifikant] mit ansteigendem Ertragsniveau abnahm. Die Begründung dafür dürfte ein ge-

Beratung und Bildung

Tabelle 4: Schwefelgehalte und -abfuhr bei ausgewählten Varianten im Jahresverlauf (Mittel der Jahre 2004 - 2007)

Var.	Charakteristik, insbesondere ergänzende mineralische S-Düngung	Erster Aufwuchs		Zweiter Aufwuchs		Ø Folgeaufwüchse 3-5	
		S-Gehalt (% in TM)	S-Abfuhr (kg S/ha)	S-Gehalt (% in TM)	S-Abfuhr (kg S/ha)	S-Gehalt (% in TM)	S-Abfuhr (kg S/ha)
1	4 x Gülle; kein min. S.	0,22	9,3	0,27	7,8	0,29	7,6
3	2 x Gülle (1./2. Aufwuchs); kein min. S.	0,22	9,3	0,23	6,6	0,26	6,8
4	2 x Gülle; 28 kg min. S/ha zum 1. Aufwuchs	0,24	10,4	0,26	7,4	0,28	7,6
5	2 x Gülle; 15/40 kg min. S/ha zum 1./3. Aufwuchs	0,27	10,4	0,28	8,0	0,35	9,5
8	2 x Gülle; 25 kg min. S/ha zum 1. Aufwuchs; Kalk	0,27	11,1	0,28	8,3	0,28	7,2
9	2 x Gülle; 36 kg min. S/ha zum 1. Aufwuchs; Kalk	0,27	10,2	0,26	6,9	0,27	7,0

wisser Verdünnungseffekt sein. Jedoch wurden „kritische Konzentrationen“ von deutlich unter 0,2 % S/kg TM bei keiner der 16 Ernten erreicht.

Fazit

Aufgrund der Ergebnisse von zwei mehrjährigen Versuchen zur Wirkung ergänzender Schwefeldüngung in unterschiedlichen Naturräumen Bayerns lässt sich folgern: Sowohl bei weidelgrasreichen als auch obergrasreichen Dauergrünlandbeständen werden selbst bei intensiver Nutzung, hohen Erträgen von über 110 dt TM/ha und optimalem S-Angebot nur ca. 30 kg Schwefel pro Hektar und Jahr abgefahren. Bei regelmäßiger Güllendüngung und durch die Humusmineralisierung dürfte daher eine zusätzlich verabreichte mineralische Schwefeldüngung in den vielen Fällen zu keinem positivem Ertrags- und Qualitätseffekt führen. Hohe zusätzliche S-Gaben sind unproduktiv und unnötig, erst recht, wenn sie im Sommer gegeben werden. Eine gezielte Schwefelzufuhr über Minereraldünger mag bei Dauergrünland am ehesten noch bei der Frühjahrsdüngung sinnvoll sein, wenn durchlässige Böden, lange nasse Winter und fehlende organische Düngung die Versorgung knapp werden lassen könnten. Aus fachlicher Sicht scheint in diesen Fällen der Einsatz von Sulfaten sinnvoll, die – im Gegensatz zu elementarem Schwefel – sofort direkt von den Pflanzen aufgenommen werden können. Die eingesetzte Menge sollte sich dabei am Entzug orientieren, der pro Aufwuchs etwa bei rund 7 - 11 kg S/ha liegt.

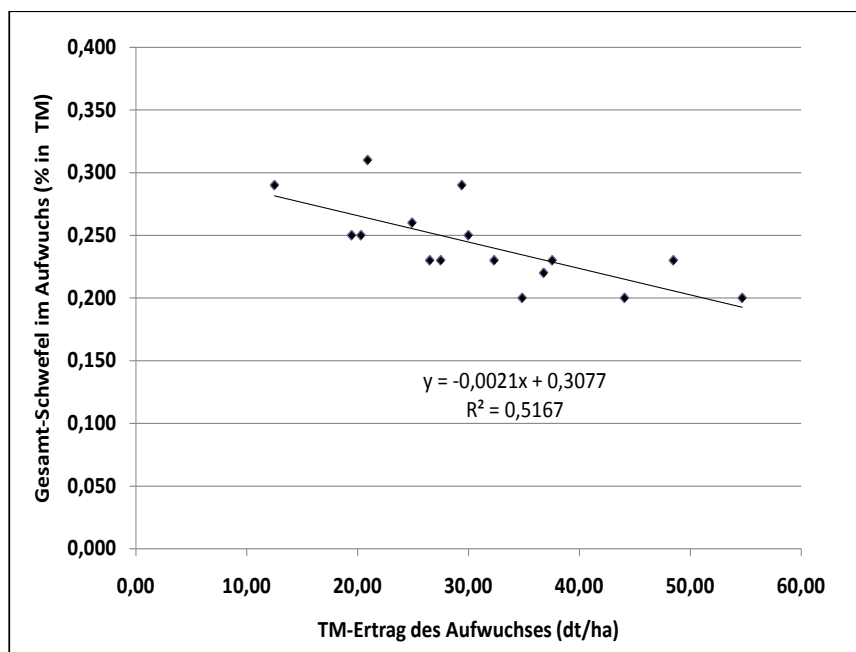
Danksagung

Den Autoren ist es ein Anliegen, für die Versuchsdurchführung, Laboranalysen und Datenaufbereitung den Kolleginnen und Kollegen der Versuchsstelle Steinach (AELF Deggendorf), der Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen (AQU) sowie dem Sachgebiet Versuchswesen und Biometrie herzlich zu danken. Dank gebührt auch Herrn Dr. Gudwin Rühlicke für die kritische Diskussion der Ergebnisse.

Literaturhinweise

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland

Abbildung 1: Beziehung zwischen TM-Ertrag und dem Gehalt an Gesamt-Schwefel im Aufwuchs (Variante 3; alle Aufwüchse und Jahre)



„Gelbes Heft“ 8. überarbeitete Auflage, 98 Seiten, Teil Grünland, Seite 73, 2007.

AMBERGER, A.: Pflanzenernährung. 2. Auflage, S. 165/166, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 1983.

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL): Pflanzenbauversuche in Bayern, Planung 2008; LfL-Information „Integrierter und Ökologischer Pflanzenbau in Bayern – Planung der Feldversuche 2007/2008 in Zusammenarbeit mit den Ämtern für Landwirtschaft und Forsten“, 235 Seiten, 2008.

DIEPOLDER, M. und SCHRÖPEL, R.: Schwefeldüngung. In: Berichte und Versuchsergebnisse Spitalhof Kempten (2002), S. 28 - 31; Hsg.: Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Tierhaltung und Grünlandwirtschaft Spitalhof Kempten in Zusammenarbeit mit der Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur, 2002.

DIEPOLDER, M.: Aspekte zur Rolle der Schwefeldüngung im Dauergrünland. „Schule und Beratung“, Heft 7/03, Seite III-9 bis III-16; Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, München; siehe ebenfalls unter www.lfl.bayern.de/iab/gruenland/, hier unter Versuchsergebnisse und Praxisbeobachtungen zu Düngung und

Nährstoffausnutzung, 2003.

DIEPOLDER, M., JAKOB, B. und HEIGL, L.: Untersuchungen zur Schwefelbelastung des Sickerwassers unter Dauergrünland. In: Tagungsband der 50. Jahrestagung der AGGF, Seite 170-174, LfL-Schriftenreihe 17/2006, ISSN 1611-4159. Siehe ebenfalls unter www.stmelf.bybn.de/, hier Postersammlung der LfL sowie unter www.lfl.bayern.de/iab/gruenland/, hier unter Versuchsergebnisse zu Düngung und Umwelt, 2006.

RÜHLICKE, G. und RUTZMOSER, K.: Futteranalyse zeigt Schwefelversorgung. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt, Heft 46, 18. November 2000, S. 34 - 35, 2000.

STEINACHERGRÜNLANDEHEFT: Ergebnisse der Grünland- und Futterbauversuche, 5. Ausgabe 2008, 148 Seiten, S. 89 - 91, Hsg.: Amt für Landwirtschaft und Forsten Deggendorf, 2008.

Dr. Michael Diepolder, Landwirtschafts-oberrat, und **Sven Raschbacher**, Landwirtschaftsamtmann; beide Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz, Lange Point 12, 85354 Freising