

Untersuchungen zur Schwefelbelastung des Sickerwassers unter Dauergrünland

M. Diepolder, B. Jakob und L. Heigl

Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz,
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising

Einleitung

Schwefel ist ein lebenswichtiges Element für Pflanzen und Tiere. Durch den immer geringeren S-Eintrag aus der Luft ist der Bedarf ergänzender mineralischer S-Düngung im Ackerbau seit längerem bekannt. Im Grünland wird dieser bei kontinuierlicher Zufuhr mit Wirtschaftsdüngern nur in bestimmten Fällen aus pflanzenbaulicher Sicht als notwendig für die Ertrags- und Qualitätssicherung angesehen. DIEPOLDER (2004) ermittelte bei einer vierschnittigen Weidelgraswiese im Allgäuer Alpenvorland im sechsjährigen Mittel einen Ertragseffekt von nur etwa 5 % (115 dt TM/ha gegenüber 110 dt TM/ha) durch ergänzende mineralische S-Düngung, jedoch Mehraufnahmen an Schwefel in den Aufwüchsen von ca. 45 % (38 kg S/ha gegenüber 26 kg S/ha und Jahr).

Im Sinne einer bilanzierenden, nachhaltigen, bedarfsgerechten und verlustminimierenden Düngung ist der S-Austragspfad über das Sickerwasser ein weiterer wichtiger Parameter. Hierzu werden die Ergebnisse eines Grünland-Düngungsversuchs auf einer Saugkerzenanlage im Allgäuer Alpenvorland vorgestellt und diskutiert.

Material und Methoden

Der Exaktversuch am Spitalhof/Kempton (730 m Höhe, 1290 mm Niederschlag, 7,0 °C Jahresdurchschnittstemperatur, Parabraunerde aus schluffigem Lehm mit ca. 10 % organischer Substanz in 0-10 cm Tiefe) besteht aus einer Blockanlage mit vier Wiederholungen. Die Varianten wurden viermal pro Jahr beerntet.

Tab. 1: Saugkerzenanlage Spitalhof/Kempton (Messzeitraum 2000 – 2004)

Art und Höhe der Düngung		Nährstoff-Zufuhr (kg/ha)	
		N / P ₂ O ₅ / K ₂ O	S
1	Ohne Düngung (Kontrolle)	-	-
2	min. Düngung (KAS, Superphosphat, Kornkali)	200 (4x50) / 100 / 220	ca. 85 mineralisch *
3	min. Düngung (KAS, Superphosphat, Kornkali)	300 (4x75) / 100 / 220	ca. 85, mineralisch *
4	Gülle (4x25m ³ , ca. 4,5% TS)	230 ** / 110 / 250	ca. 25, organisch
5	Stallmist (150 _{He.} + 80 _{nach l. S.} dt/ha)	130 ** / 120 / 210	ca. 20, organisch *

* Abgeleitet nach Literaturangaben ** Gesamt-N

Die fünf Düngungsvarianten sind in Tabelle 1 aufgeführt. Sie umfassen neben einer ungedüngten Kontrollparzelle (1), zwei Mineraldüngervarianten (2,3) mit differenzierter N-

Zufuhr, eine Parzelle mit Gülledüngung (4) und ein mit Stallmist gedüngtes Versuchsglied (5). Zu berücksichtigen sind die unterschiedlichen Schwefelformen und S-Mengen, die über die Düngung ausgebracht wurden. Dies betrifft insbesondere die Varianten 2 und 3, wo über die PK-Düngung (Superphosphat mit 12 % S, Kornkali mit 4 % S) nicht nur wesentlich mehr Schwefel appliziert wurde, sondern die S-Zufuhr zudem in leichtlöslicher mineralischer Form erfolgte.

Mit keramischen Saugkerzen nach CZERATTZKI (1971) wurde unter den jeweiligen Düngungsparzellen in 60 cm und 120 cm Tiefe kontinuierlich Bodenwasser gewonnen. An die Saugkerzen wurde mehrmals täglich ein Unterdruck von 0,5 bar angelegt, wodurch das frei bewegliche Bodenwasser erfasst wurde. Begleitend dazu wurde im Leitungswasser des Spitalhofs der S-Gehalt gemessen.

Die Bestimmung der Schwefel-Konzentrationen (Elementarform) erfolgte mittels eines induktiv gekoppelten Plasmaspektrometers (ICP) an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Aus den S-Konzentrationen wurden unter Berücksichtigung des Sickerwasseranfalls, welcher aufgrund von klimatischen Literaturangaben (MAIDL UND BRUNNER, 1998) für die Region abgeschätzt wurde, die Frachten an Schwefel für die jeweiligen Parzellen abgeleitet.

Die Auswertung zeigt das Mittel von fünf Untersuchungsjahren (2000 bis 2004). Die statistische Absicherung der Ergebnisse erfolgte mit dem SNK-Test. Unterschiedliche Kleinbuchstaben in den Tabellen 2 und 3 bedeuten signifikante Differenzen der Mittelwerte bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 %.

Ergebnisse und Diskussion

Bei der ungedüngten Kontrollvariante (1) wurden im fünfjährigen Durchschnitt pro Hektar und Jahr ca. 57 dt TM/ha bzw. ca. 36 GJ NEL berechnet (siehe Tabelle 2). Eine mittlere N-Abfuhr durch das Erntegut von 99 kg N/ha deutet auf ein hohes natürliches Stickstoff-Nachlieferungsvermögen des Standortes hin.

Tab. 2: Erträge und N-Aufnahme (Mittel 2000 – 2004)

Vgl	TM-Ertrag (dt /ha)	Energie-Ertrag (GJ NEL/ha)	N-Abfuhr (kg N/ha)
1	57,1 d	35,8 d	99 d
2	114,5 b	68,3 b	254 b
3	130,8 a	77,8 a	308 a
4	95,0 c	57,7 c	216 c
5	81,3 c	49,8 c	187 c

Bei den einzelnen Düngungsvarianten (2-5) umfasste die Spannweite der erzielten Erträge eine Größenordnung von ca. 50 dt TM/ha bzw. 28 GJ NEL/ha. Dabei wurde auf der weidelgrasreichen Wiese mit viermaliger Nutzung bei einem mineralischen N-Aufwand (KAS) von 4x75 kg N/ha, welcher in etwa in der Höhe der N-Abfuhr lag, ein mittleres Brutto-Ertragsniveau von über 130 dt TM/ha und ca. 78 GJ NEL/ha erzielt. Eine Reduzierung der N-Düngung um 100 kg N/ha (Vgl. 2) führte zu einem signifikanten Ertragsrückgang in einer Größenordnung von etwa 15 dt TM/ha bzw. knapp 10 GJ NEL/ha. Die Be-

deutung einer ausreichenden Stickstoffversorgung – trotz der hohen bodenbürtigen N-Nachlieferung – verdeutlichen auch die beiden organisch gedüngten Versuchsglieder.

Aus den Zahlen in Tabelle 2 lassen sich auch die mittleren Rohproteingehalte und Energiekonzentrationen ableiten. Interessant hierbei ist, dass bei fehlender Düngung (1) bei niedrigem Ertrag auch der Rohproteingehalt stark gegenüber den gedüngten Varianten absank (ca. 11 % gegenüber ca. 14-14,5 %), jedoch die aus den Rohnährstoffen berechnete Energie-Konzentration (6,25 MJ NEL/kg TM gegenüber 6,0-6,1 MJ NEL/kg TM) die höchsten Werte aufwies.

Tab. 3: S-Gehalt im Bodenwasser und kalkulierte S-Fracht (Mittel 2000 – 2004)

Vgl.	Probenzahl	S-Gehalt im Bodenwasser (mg S/l)		mittlere S-Fracht * (kg S/ha u. Jahr)
		Mittel	50 %-Quantile	
1	752	0,68 c	0,35 – 0,75	4
2	746	8,49 a	2,59 – 11,58	54
3	732	7,72 b	2,25 – 10,14	49
4	711	0,65 c	0,36 – 0,82	4
5	751	0,92 c	0,50 – 1,10	6
LW	200	3,88	2,88 – 4,52	-

* Abgeleitet nach geschätzter Sickerwassermenge (siehe Text) von 630 mm/ha u. Jahr

** Leitungswasser des Spitalhofs/Kempton

Tabelle 3 zeigt signifikante Effekte auf den mittleren Schwefelgehalt im aufgefanganem Bodenwasser unter dem Wurzelraum in Abhängigkeit von der Düngung, somit von der Schwefelzufuhr der einzelnen Varianten (siehe auch Tabelle 1).

Selbst bei der ungedüngten Kontrollparzelle (1) wurden (geringfügige) Konzentrationen gemessen, woraus sich ein mittlerer S-Austrag aus dem Wurzelraum von 4 kg/ha und Jahr ableitete. Dies zeigt, dass auch bei ungedüngten Grünlandsystemen ein Teil des in der Bodenmatrix gelösten Schwefels nicht von den Pflanze vollständig aufgenommen wird und demnach der Auswaschung unterliegt. Nach DIEPOLDER ET. AL. (2004) liegt bei Intensiv-Grünland in Gunstlagen die jährliche S-Nachlieferung des Bodens bei ca. 15-25 kg/ha. Obwohl im vorliegenden Versuch der Schwefelentzug nicht in den Aufwüchsen bestimmt wurde, lässt sich unter Annahme eines N/S-Verhältnisses von 10-20 : 1 für die ungedüngte Variante 1 anhand ihres N-Entzugs (99 kg N/ha) eine S-Aufnahme im Erntegut von etwa 5-10 kg S abschätzen, welche damit unter der vermuteten S-Mineralisierung liegt und eine Erklärung für die (geringfügigen) S-Austräge liefert.

Auf gleichem Niveau wie bei der Kontrollparzelle bewegten sich die S-Konzentrationen im Saugkerzenwasser und die S-Frachten bei den Varianten mit Gülle- (4) oder Stallmistdüngung (5). Der Schwefelgehalt im Sickerwasser unter organisch gedüngtem Grünland lag deutlich unter dem von Leitungswasser (siehe Tabelle 3 unten).

Im Gegensatz zu den Versuchsgliedern 1, 4 und 5 wurden bei den beiden Mineraldüngervarianten 2 und 3, bei denen über die P-Düngung (Superphosphat) jährlich ca. 65 kg S/ha und über die K-Düngung (Kornkali) ca. 20 kg S/ha ausgebracht wurden, Konzentrationen

im Bodenwasser von 8,5 (2) bzw. 7,7 (3) mg S/l gemessen. Diese, sowie die daraus abgeleiteten mittleren jährlichen S-Frachten von rund 50-55 kg S/ha lagen damit in ihrer Größenordnung um rund eine Zehnerpotenz höher als die Werte bei den ungedüngten bzw. organisch gedüngten Parzellen.

Die Ergebnisse belegen demnach einen engen Zusammenhang zwischen Art und Höhe der S-Zufuhr, dem Ertragspotenzial bzw. dem S-Entzug und der Auswaschungsgefährdung von Schwefel. Der Einfluss des Ertrags geht aus dem Vergleich der Varianten 2 und 3 hervor, welche sich in ihrer Düngung nur durch die Höhe des N-Einsatzes unterschieden. So wies bei höherer N-Versorgung das Versuchsglied 3 (300 kg N/ha) mit einem 14 % höherem Ertrag bzw. 21 % höheren N-Entzug gegenüber Variante 2 (200 kg N/ha) eine signifikant geringere Belastung des Sickerwassers auf. Entscheidend für die wesentlich höheren Schwefelverluste dieser beiden Mineraldüngervarianten (2, 3) gegenüber den übrigen Versuchsgliedern (1, 4 und 5) dürfte aber deren starke Diskrepanz zwischen der mit PK-Düngung ausgebrachten Schwefelmenge und -art (Sulfatform) und dem S-Entzug durch die Biomasse sein. Es lassen sich in Anlehnung an frühere Versuchsergebnisse von DIEPOLDER (2004) am Spitalhof bei den Varianten 2 und 3 mittlere S-Entzüge von rund 35-40 kg/ha, bei ausschließlicher Gülledüngung (4) hingegen nur etwa 25 kg/ha unterstellen. Demnach deutet der einfache Schwefel-Saldo (S-Zufuhr minus geschätzter S-Abfuhr) bei der Güllevariante auf eine ausgeglichene S-Bilanz, bei den Mineraldüngervarianten 2 und 3 jedoch auf eine mit 45-50 kg S/ha und Jahr erhebliche Überversorgung hin, welche deren hohen S-Frachten in gleicher Größenordnung erklärt.

Auf einem anderen Standort im bayerischen Alt-Moränenland mit wesentlich geringeren Sickerwasserraten (300 mm bei Grünland, 390 mm bei Acker) ermittelte HEIGL (2006, PERSÖNLICHE MITTEILUNG) S-Konzentrationen im Bodenwasser von ca. 4-5 mg/l unter Grünland bei unterschiedlicher Düngung und solche von 3,0-4,7 mg S/l unter einer Silomais-Winterweizenfruchtfolge. Die entsprechenden mittleren jährlichen S-Frachten bewegten sich in einer Größenordnung von 12-15 kg S/ha (Grünland) bzw. von 12-18 kg S/ha (Acker).

Fazit

Die Ergebnisse belegen, dass bei intensiv genutztem Wirtschaftsgrünland bei organischer Düngung die Schwefel-Austräge aus dem Wurzelraum deutlich unter 10 kg S/ha und Jahr liegen können. Die Gefahr von wesentlich höheren S-Verlusten nimmt jedoch bei überbilanzierter S-Düngung in leicht verfügbarer mineralischer Form stark zu.

Literatur

- DIEPOLDER, M (2004): Ergebnisse eines Schwefeldüngungsversuchs im intensiv genutztem Dauergrünland. Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau Band 6, 2004, Seite 209 bis 212.
- DIEPOLDER, M., JAKOB, B. und SCHWERTFIRM, R. (2004): Monitoring im Intensiv-Grünland, Teil 2: Bodenproben. Schule und Beratung, Heft 10/04, Seite III-8 bis III-16, Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten.
- CZERATZKI, W. (1971): Saugvorrichtung für kapillar gebundenes Bodenwasser. Landbau-forschung Völkenrode 21, 1971, Seite 13-14.
- MAIDL, F.X. und BRUNNER, H. (1998): Strategien zur gewässerschonenden Landbewirtschaftung in Bayern. KTBL-Arbeitspapier 252, 230 Seiten, KTBL-Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverlag Münster.