

Mineralische Ergänzungsdünger im Grünland

Walter Starz^{1*}, Andreas Steinwider¹, Daniel Lehner¹, Rupert Pfister¹ und Hannes Rohrer¹

Zusammenfassung

Im Bio-Grünland sind Wirtschaftsdünger die wichtigsten Düngestoffe. Doch ein genauer Blick auf die Hoftorbilanz von Betrieben verdeutlicht, dass nicht immer alle Nährstoffe ausgeglichen vorliegen. Für eine langfristige Aufrechterhaltung der Bodenfruchtbarkeit müssen daher auch einzelne Nährstoffe im Auge behalten werden. Im Dauergrünland sind dies besonders Phosphor und Schwefel, denen in Zukunft mehr Beachtung geschenkt werden sollte.

Schwefel ist ein wichtiger Pflanzennährstoff und die Immissionen aus der Atmosphäre gingen seit 1980 stark zurück. Unter diesen Rahmenbedingungen wurde der Einsatz eines biotauglichen elementaren Schwefeldüngers („Sulfogüll plus“ von BvG) auf einer 4-schnittigen Dauerwiese getestet. Vier Schwefeldüngungsstufen von 0 (S0), 30 (S30), 60 (S60) und 90 (S90) kg S/ha stellten die Versuchsvarianten dar. Variante S60 und S90 erreichten signifikant höhere TM- (S60 10.779 und S90 11.073 kg/ha), XP- (S60 1.749 und S90 1.798 kg/ha) und Energieerträge (S60 64.008 und S90 65.370 MJ/ha) als die Variante ohne S-Ergänzung (S0: TM: 9.947 kg/ha, XP: 1.569 kg/ha, Energie: 58.434 MJ NEL/ha). Ein Ziel der Bio-Landwirtschaft ist es, möglichst hohe Eiweißerträge aus dem Grünland zu erreichen, in diesem Fall wird die Beachtung der Schwefelversorgung in Zukunft eine wichtigere Rolle spielen.

Schlagwörter: Schwefel, Phosphor, Biologische Landwirtschaft, Nährstoffe, Düngung

Summary

In organic grassland, farm manures are the most important fertilizers. However, a closer look at the farm gate balance makes clear, not all nutrients are always well balanced. For this reason, some nutrients have to be kept in mind for long-term maintenance of soil fertility. In permanent grassland, especially phosphorus and sulphur should receive more attention in the future.

Sulphur is an important plant nutrient and immissions from the atmosphere decreased since 1980. In an experiment an elementary sulphur fertilizer („Sulfogüll plus“ from BvG) was tested on an organic 4-time cutting permanent grassland. Four sulphur fertilization levels of 0 (S0), 30 (S30), 60 (S60) and 90 (S90) kg S ha⁻¹ represented the variants. Variant S60 and S90 reached the significant highest DM- (S60 10,779 and S90 11,073 kg ha⁻¹), CP- (S60 1,749 and S90 1,798 kg ha⁻¹) and energy yields (S60 64,008 and S90 65,370 MJ ha⁻¹) compared to Variant S0 (DM: 9,947 kg ha⁻¹, XP: 1,569 kg ha⁻¹, energy: 58,434 MJ NEL ha⁻¹). One aim in organic farming is to obtain high yields of protein from the grassland and in this case, the sulphur supply should play an important role in future.

Keywords: sulfur, phosphorus, organic farming, nutrients, fertilization

Einleitung

Die Ziele im Bio-Grünland sind möglichst geschlossene Nährstoffkreisläufe sowie ein aktives Bodenleben zu erreichen. Damit sich diese Ziele erreichen lassen, sind die hofeigenen Wirtschaftsdünger die wertvollste Basis und damit ein unverzichtbarer Teil im Grünlandsystem. In jüngster Zeit wurde zunehmend deutlich, dass darüber hinaus aber auch die Einzelnährstoffbilanzierung am Bio-Betrieb wichtig ist. Nachhaltigkeit erfordert, dass über die Produkte exportierte Nährstoffe auch wieder in bodenschonender Form auf die jeweiligen Flächen zurückkommen müssen.

In erster Linie sind es Milch und Fleisch, die den Grünland-Betrieb verlassen. Die darin enthaltenen und exportierten Nährstoffe stellen eine nicht unwesentliche Größe dar (Tabelle 1).

Ein beispielhafter Grünland-Milchviehbetrieb mit 39 GVE,

der 150.000 kg Milch (mit 3,4 % Eiweiß), 6 Altkühe mit 600 kg, 6 Kalbinnen mit 580 kg und 12 Kälber mit 85 kg Lebendgewicht pro Jahr verkauft, exportiert pro Betrieb und Jahr ca. 1.010 kg N, 211 kg P, 239 kg K und 61 kg S (Tabelle 2). Bei einer Eigenfläche von 28 ha (1,4 GVE/ha) würden dies etwa 36 kg N, 8 kg P, 9 kg K und 2 kg S pro Hektar entsprechen.

Je nach Höhe der zugekauften Kraftfutter- und Mineralstoff-Futtermittel werden diese Nährstoff-Bilanzen etwas weniger negativ bis ausgeglichen (Wieser et al., 1996). Besonders zu beachten ist die Hoftorbilanz auf Gemischtbetrieben, wenn auch noch Marktfrüchte verkauft werden. Dies gilt darüber hinaus auch für Grünlandbetriebe welche Grundfutter oder Wirtschaftsdünger exportieren. Hier verlassen Nährstoffe auch über den Verkauf dieser Produkte den Betrieb. Damit sich die Betriebe nährstoffmäßig nicht nach unten schrauben und die Böden an Ertragsfähigkeit einbüßen, sind Anpassungs- und Optimierungsstrategien notwendig.

¹ HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut für Biologische Landwirtschaft und Biodiversität der Nutztiere, Raumberg 38, A-8952 Irnding-Donnersbachtal

* Ansprechpartner: DI Walter Starz, walter.starz@raumberg-gumpenstein.at

Tabelle 1: Durchschnittliche Exporte der vier Hauptnährstoffe Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K) und Schwefel (S) pro 1 kg Milch bzw. je 1 kg Lebendrind (Whitehead, 2000)

Nährstoffexport		pro 1 kg Milch	Nährstoffexport		pro 1 kg LG-Rind
N	g/l	5,45	N	g/kg LG	24
P	g/l	0,95	P	g/kg LG	8,6
K	g/l	1,5	K	g/kg LG	1,7
S	g/l	0,30	S	g/kg LG	1,3

Tabelle 2: Jährlicher Nährstoffexport über Verkaufsprodukte pro Hof bzw. pro ha Eigenfläche für einen Beispielsbetrieb mit 150.000 kg Liefermilch, 6 verkauften Altkühen, 6 Kalbinnen und 12 verkauften Kälbern pro Jahr bei 28 ha Eigenfläche

		Nährstoffexport Milch		Nährstoffexport pro Jahr (Beispielsbetrieb)	Nährstoffexport je ha u. Jahr (Beispielsbetrieb)
N	kg/Jahr	818	194	1.012	36
P	kg/Jahr	143	70	212	8
S	kg/Jahr	45	11	56	2
K	kg/Jahr	225	14	239	9

Von den Hauptnährstoffen ist der Stickstoff jener Nährstoff, der am Grünlandbetrieb am besten durch eine verlustarme Lagerung und Ausbringung beeinflussbar ist (Amon et al., 2005, Amon et al., 2006). Unvermeidbare Verluste sind am Bio-Betrieb nur über die Leguminosen auszugleichen. Daher muss auch am Grünlandbetrieb der Leguminosenförderung verstärktes Augenmerk geschenkt werden. Kalium ist am Grünlandbetrieb nicht, bzw. nur in den seltensten Fällen, im Mangel vorhanden. Die mineralischen Grünlandböden haben in der Regel ausreichend Vorräte und eine ergänzende Düngung ist meist nicht notwendig. Demgegenüber kann es bei Phosphor anders aussehen. Hier können die Vorräte im Boden auf einem deutlich niedrigeren Niveau sein und in den meisten Fällen weist dieser Nährstoff auf Bio-Betrieben, insbesondere bei geringem Kraftfutterzukauf, eine negative Hoftor-Bilanz auf (Starz et al., 2013). Phosphor ist neben Schwefel essentiell für ein optimales Wachstum der Leguminosen. Dabei ist es nicht die Pflanze an sich, die diese Stoffe zum überwiegenden Teil benötigt, sondern die Rhizobien in den Knöllchen der Wurzeln.

Tabelle 3: Durchschnittstemperaturen und Niederschlagssummen am Versuchstandort im langjährigen Mittel (1981-2010) sowie für die einzelnen Monate

Monat	Temperatur in °C				Niederschlag in mm			
	Mittel 1981-2010	2016	2017	2018	Mittel 1981-2010	2016	2017	2018
Jan	-3,5	-1,3	-6,26	0,26	65	99,4	39,8	99,4
Feb	-1,6	3,3	2,25	-3,10	50	104,8	32,8	17,9
Mär	2,5	4,7	7,15	3,25	82	13,5	98,4	38
Apr	6,9	9,4	7,86	12,65	57	46,1	94,4	17,2
Mai	12,1	12,6	14,01	15,15	98	122,6	48,3	80,6
Jun	15,1	17,1	18,93	17,28	138	161,4	124,3	155,1
Jul	16,8	19,0	18,62	18,61	167	169,7	239,2	83
Aug	16,2	17,9	19,37	19,67	149	147,5	195,7	111,7
Sep	12,1	15,6	11,70	15,36	113	73,8	90,6	50
Okt	7,4	8,4	10,05	11,05	81	67,1	130,6	155,5
Nov	1,8	2,6	2,90	4,99	71	28,2	69,8	24,2
Dez	-2,6	-0,1	-1,07	0,23	70	53,5	77	167
Jahr	6,9	9,1	8,8	9,6	1.142	1.088	1.241	1.000
Summe Jan-Okt:	8,4	10,7	10,4	11,0	1.000	1.006	1.094	808
Summe Apr-Okt:	12,4	14,3	14,4	15,7	803	788	923	653

Unter den in der Bilanzierung zu beachtenden Nährstoffen rückte gerade der Schwefel in den letzten Jahren wieder vermehrt in den Focus. Durch die Verbrennung fossile Energieträger gelangten bis in die 1980er Jahre hohe Mengen an Schwefeldioxid in die Atmosphäre (Anderl et al., 2016) und über Immissionen auf die Flächen zurück (40 bis 80 kg S pro ha), die Schwefeldüngung stellte lediglich ein Randthema dar. Im Dauergrünland reichte eine übliche Wirtschaftsdüngergabe zur ausreichenden S-Rücklieferung aus (Diepolder und Raschbacher, 2009). Da heute der Schwefeleintrag über Regen und „Feinpartikel“ im Bereich von unter 10 kg pro ha liegt, kann zum Beispiel auf ertragreichen und leichten, flachgründigen, humusarmen Böden ein Schwefelergänzungsbedarf bestehen. An der HBLFA Raumberg-Gumpenstein wurde beispielsweise im Jahr 2016 und 2017 ein S-Eintrag über Niederschlag von 2-3 kg S/ha festgestellt. In jüngster Zeit konnten in Versuchen mit Klee gras deutliche Ertragseffekte durch eine S-Düngung festgestellt werden (Böhm, 2016). Da sowohl Schwefel als auch Phosphor, neben anderen Mineralstoffen und Spurenelementen, essentiell für ein optimales Leguminosenwachstum sind, sollte diesen beiden Nährstoffen gerade in der Bio-Landwirtschaft vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt werden. Dies kann auch ein wichtiger Baustein zur Leguminosenförderung und somit auch zur Optimierung der N-Bilanz und Eiweißversorgung darstellen.

Material und Methoden

Folgend werden drei unterschiedliche Versuche beschrieben, die am Bio-Institut der HBLFA Raumberg-Gumpenstein am Standort Trautenfels durchgeführt wurden bzw. werden. Bei diesen stand bzw. steht die ergänzende Düngung mit Schwefel bzw. Phosphor im Vordergrund. Diese drei Versuche wurden auf einer zertifizierten Bio-Fläche durchgeführt und befanden sich in räumlicher Nähe zueinander (Breite: 47° 30' 52" N, Länge: 14° 3' 50" E, 740 m Seehöhe, 6,9 °C Ø Temperatur, 1.142 mm Ø Jahresniederschlag). Zwei der Versuche befanden sich auf einer langjährigen Dauergrünlandfläche, auf welcher sich die Versuchspartellen (4 x 4 m) befanden. Für die Anlage des dritten Versuchs wurde ein Grünlandumbruch durchgeführt und die Fläche mit einer Dauergrünlandmischung

(Nachsaatmischung VS und Ni der ÖAG) eingesät. Beim Bodentyp am Standort handelt es sich um einen Braunlehm (pH 6,2, 42,1 mg P/kg, 121 mg K/kg, 10,3 % Humus, 11,3 % Ton, 637 mg S/kg und 23,9 mg SO₄/kg). Die Witterung der Versuchsjahre 2016-2018 ist in Tabelle 3 dargestellt.

Von 2016 bis 2017 wurde im Rahmen einer Masterarbeit (Kiendler, 2018) eine Untersuchung zum Einsatz von elementarem Schwefel im Dauergrünland durchgeführt (**Versuch 1**). Dafür wurde eine einfaktorielle, randomisierte Blockanlage mit 4 Varianten und 4 Wiederholungen angelegt (in beiden Jahren auf denselben Parzellen). Die zusätzliche mineralische Ergänzung erfolgte in beiden Versuchsjahren im Frühling mit elementarem Schwefel (pulverförmiges Produkt „Sulfogüll plus“ der Firma BvG mit 90 % Rein-Schwefel, welches in die Gülle eingemixt wurde). Die Wirtschaftsdüngergabe wurde zu 5 Terminen mit Gülle durchgeführt (im Frühling und nach jedem der 4 Schnitte), wobei die auszubringende Menge mit 150 kg N/ha und Jahr (S-Eintrag über Gülle 16,3 kg/ha) festgesetzt wurde. Vier unterschiedliche Schwefel-Ergänzungsdünger-Niveaus 0 (**S0**), 30 (**S30**), 60 (**S60**) und 90 kg/ha (**S90**) bildeten dabei die Versuchsvarianten (kalkuliert auf Basis von Rein-Schwefel).

Der zweite, auf einer Dauergrünlandfläche angelegte und noch laufende Versuch, wird seit dem Jahr 2018 durchgeführt. Im Rahmen dieses Berichtes erfolgt die Darstellung der Ergebnisse aus dem ersten Versuchsjahr (**Versuch 2**). In einer zweifaktoriellen Spaltanlage wird der Effekt einer periodischen Nachsaat (keine, regelmäßig im Frühling oder im Herbst mit 10 kg/ha ÖAG-Mischung Ni), sowie einer ergänzenden mineralischen Düngung mit Phosphor und Schwefel getestet. Dabei bildeten die Nachsaatvarianten die Versuchsspalten und innerhalb der Spalte wurden die vier Düngervarianten (reine Gülle, Gülle + Phosphor, Gülle + Schwefel und Gülle + Phosphor und Schwefel) randomisiert. Alle Prüfglieder wurden vierfach wiederholt. Folgend wird nur auf den Faktor Düngung weiter eingegangen. Alle Versuchspartellen wurden mit Gülle zu fünf Terminen (im Frühling und nach jedem der 4 Schnitte) gedüngt. Dabei wurden 140 kg N/ha und Jahr aufgewendet. In der ersten Variante (**G**) wurde ausschließlich Gülle gedüngt. In der zweiten Variante (**GP**) erfolgte bei der Frühlingsgabe der Gülle eine zusätzliche Düngung mit 30 kg P/ha (Hyperkorn mehlflein

mit 29 % P₂O₅), welches vorab in Wasser eingerührt wurde und über speziell angefertigte Gölle gießkannen auf den Parzellen ausgebracht wurde. In Variante drei (**GS**) wurde im Frühling 50 kg S/ha (Sulfogüll plus pulverförmig der Firma BvG mit 90 % Rein-Schwefel) und in Variante vier (**GSP**) sowohl 50 kg S/ha als auch 30 kg P/ha in Wasser eingerührt und auf die Parzellen zusätzlich zur Göllegabe gedüngt.

Für den dritten Versuch wurde eine Dauergrünlandfläche im Sommer 2017 umgebrochen und im Anschluss mit den ÖAG Mischungen VS sowie Ni eingesät (**Versuch 3**). 2018 wurde das neu eingesäte Flächenstück als 4-Schnittwiese geführt und erst im Herbst 2018 erfolgte das Einmessen der 4 x 4 m Parzellen. Für die zweifaktorielle Blockanlage in 4-facher Wiederholung wurden 32 Parzellen angelegt. Dabei stellte ein Versuchsfaktor die Schwefeldüngung (keine S-Düngung, elementarer Schwefel, Gips oder Kieserit) und ein weiterer Versuchsfaktor der Zeitpunkt der Ausbringung der eingesetzten Schwefeldünger (Herbst oder Frühling) dar. Daraus ergaben sich je Zeitpunkt vier S-Düngerstufen mit 0 kg S/ha (0), 50 kg S/ha Ergänzungsdüngung über elementaren Schwefel (E, pulverförmig 90 % S), 50 kg S/ha über Gips (G, granuliert 15 % S) und 50 kg S/ha über Kieserit (K, granuliert 20 % S). Der pulverförmige elementare Schwefel wurde, wie bei den beiden vorhin beschriebenen Versuchen in Wasser eingerührt und mit Gölle gießkannen ausgebracht. Die granulierten Dünger Gips und Kieserit wurden mittels Hand auf den Versuchsflächen gleichmäßig ausgestreut. Die Wirtschaftsdüngergabe wurde bei allen Flächen einheitlich mit Gülle (140 kg N/ha aufgeteilt auf 5 Terminen, siehe oben).

Die Schnittnutzung erfolgte in allen Versuchen mit derselben Methode. Zur Ernte wurde der Einachsmäher auf eine Schnitthöhe von 5 cm eingestellt. Vom frischen Erntegut wurden Proben mit einem Stecher gezogen und rasch weiterverarbeitet. Ein Teil dieser Probe wurde über 48 Stunden im Trockenschrank bei 105 °C auf Gewichtskonstanz getrocknet. Aus einem weiteren Teil der Probe wurden vom schonend getrockneten Material (bei 45 °C) die Rohnährstoffe und die Mineralstoffe (aus säurebehandelter XA im ICP) sowie mittels Regressionsgleichungen (DLG, 1997) die Verdaulichkeiten und Energiegehalte in MJ NEL aus den Rohnährstoffen errechnet. Die Bestimmung des Schwefelgehaltes erfolgte mittels

Tabelle 4: Mengen- und Qualitätserträge sowie Gehalte und Erträge an Schwefel (S) und Phosphor (P) für die vier Varianten und die beiden Versuchsjahre (Versuch 1)

Parameter	Einheit	Variante (V)				Jahr (J)		s _e	V	p-Wert	
		S0	S30	S60	S90	2016	2017			J	V x J
TM-Ertrag	kg TM/ha	9.947 ^b	10.361 ^{ab}	10.779 ^a	11.073 ^a	12.212 ^a	8.868 ^b	532	0,004	<0,001	0,341
	SEM	289	300	289	300	256	256				
XP-Ertrag	kg/ha	1.569 ^b	1.647 ^{ab}	1.749 ^a	1.798 ^a	1.950 ^a	1.431 ^b	114	0,005	<0,001	0,653
	SEM	59	62	59	62	52	52				
Energie-Ertrag	MJ NEL/ha	58.434 ^b	61.523 ^{ab}	64.008 ^a	65.370 ^a	72.110 ^a	52.558 ^b	3.174	0,002	<0,001	0,359
	SEM	1.492	1.563	1.492	1.563	1.264	1.264				
P-Gehalt	g/kg TM	4,62 ^a	4,52 ^{ab}	4,46 ^b	4,51 ^{ab}	4,66 ^a	4,39 ^b	0,11	0,042	<0,001	0,780
	SEM	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06				
P-Ertrag	kg/ha	45,6 ^b	46,4 ^{ab}	47,7 ^{ab}	49,5 ^a	56,0 ^a	38,6 ^b	2,28	0,025	<0,001	0,601
	SEM	1,52	1,56	1,52	1,56	1,41	1,41				
S-Gehalt	g/kg TM	2,87	2,91	2,96	2,94	2,62 ^b	3,22 ^a	0,10	0,380	<0,001	0,480
	SEM	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03				
S-Ertrag	kg/ha	27,9 ^b	29,4 ^{ab}	31,1 ^a	31,8 ^a	31,8 ^a	28,3 ^b	1,56	0,001	<0,001	0,164
	SEM	0,82	0,85	0,82	0,85	0,72	0,72				

Abkürzungen: p-Wert: Signifikanzwert, SEM: Standardfehler, s_e: Residualstandardabweichung, abc: Post-hoc-Test Tukey-Kramer
 TM: Trockenmasse, XP: Rohprotein, NEL: Netto Energie Laktation, P: Phosphor, S: Schwefel

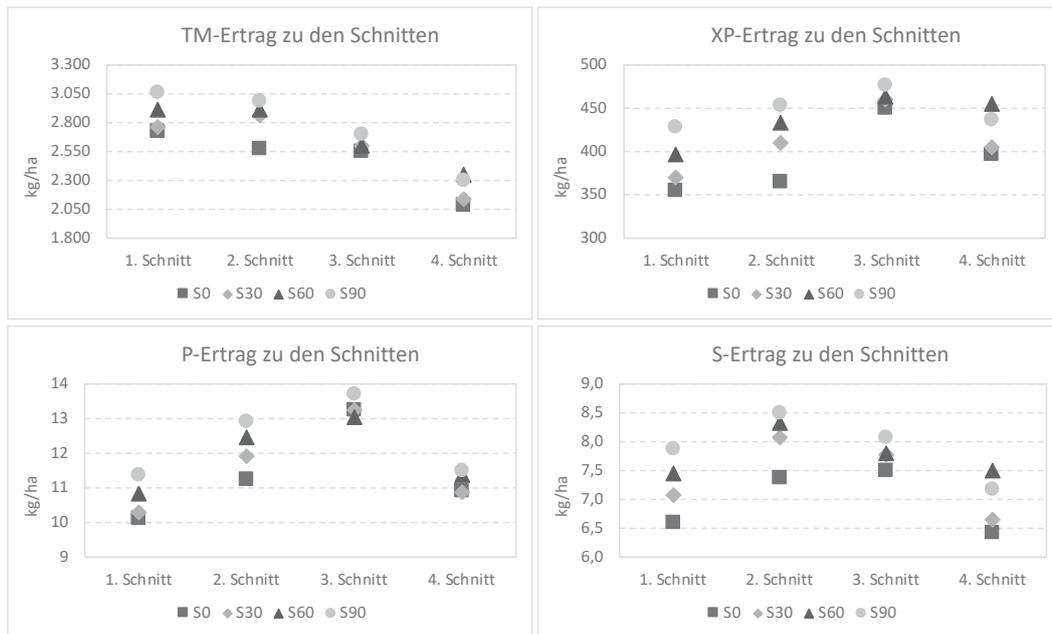


Abbildung 1: Mengen- und XP-Ertrag sowie P- und S-Ertrag zu jedem der vier Schnitte und für jede der vier S-Düngervarianten (S0-S90, Versuch 1)

Elementaranalyse im Vario max CNS (Firma Elementar). Für die statistische Auswertung der Daten wurde Proc Mixed (SAS 9.4) herangezogen. Bei den beiden Blockanlagen (Versuch 1 und 3) wurden die Wiederholung sowie die Versuchsspalte als zufällig (random) angenommen. Im Versuch 2 (Spaltanlage) wurde die Wechselwirkung aus Nachsaatstreifen und Düngung innerhalb eines jeden Streifen als Messwiederholung (repeated/subject) zusätzlich angegeben. Als Hauptfaktoren wurden in den Modellen die Düngermenge bzw. Düngerart, das Versuchsjahr, der Düngungszeitpunkt, der Aufwuchs (variiert je nach Versuch) sowie die Wechselwirkungen dieser herangezogen. Die Ergebnisse werden auf einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$ als Least Square Means mit dem Standardfehler angegeben.

Ergebnisse

Während der zweijährigen Düngung mit elementarem

erzielte die mit 90 kg S/ha und Jahr gedüngte Variante S90 im Mittel über beide Versuchsjahre einen um 229 kg höheren XP-Ertrag je ha. Der Gehalte an Phosphor war in der nicht gedüngten Kontrolle (S0) mit 4,62 g/kg TM am höchsten (Tabelle 4). Beim P-Ertrag wies die Variante S0 mit 45,6 kg/ha den geringsten Wert auf und lag signifikant unter dem P-Ertrag von 49,5 kg/ha der Variante S90. Der S-Gehalt unterschied sich nicht zwischen den Varianten, jedoch wurden beim S-Ertrag in den Variante S60 (31,1 kg/ha) und S90 (31,8 kg/ha) gegenüber der Variante S0 (27,9 kg/ha) die signifikant höchsten S-Erträge festgestellt. Die Effekte zeigten sich in beiden Versuchsjahren, es wurde keine signifikanten Wechselwirkungen von Variante und Jahr festgestellt (Tabelle 4). Bei Betrachtung der einzelnen Schnitte zeigten sich die stärksten Unterschiede zwischen der ungedüngten Kontrolle (S0) und der mit 90 kg S/ha gedüngten Variante (S90) beim ersten und zweiten Schnitt (Abbildung 1).

Schwefel (Versuch 1) erreichten die Düngerstufen 60 und 90 kg S/ha und Jahr mit 10.779 bzw. 11.073 kg TM/ha einen signifikant höheren Mengenertrag als die nicht gedüngte Variante S0 (Tabelle 4). Variante S30 zeigte hingegen keine Unterschiede zu allen übrigen Varianten. Dieselben Unterschiede konnten ebenfalls bei den Qualitätserträgen (XP und NEL) beobachtet werden. Im Vergleich zur nicht mit Schwefel gedüngten Kontrollvariante (S0)

Tabelle 5: Mengen- und Qualitätserträge bei unterschiedlichen mineralischen Ergänzungen von Schwefel und Phosphor im Versuchsjahr 2018 (Versuch 2)

Parameter	Einheit	Düngung				s _e	N	p-Wert		
		G	GP	GS	GSP			D	WH	N*D
TM-Ertrag	kg TM/ha	9.547	10.157	10.058	10.368	782	0,561	0,133	<0,001	0,906
	SEM	222	222	222	222					
XP-Ertrag	kg/ha	1.626	1.773	1.803	1.880	181	0,775	0,113	<0,001	0,987
	SEM	58,3	58,3	58,3	58,3					
Energie-Ertrag	MJ NEL/ha	58.504	62.324	61.503	63.045	4.745	0,432	0,137	<0,001	0,784
	SEM	1.294	1.295	1.295	1.295					
P-Ertrag	kg/ha	39,5	41,9	41,0	41,5	4,09	0,438	0,416	0,214	0,501
	SEM	1,01	1,01	1,01	1,01					
S-Ertrag	kg/ha	32,1	34,3	35,2	35,1	3,03	0,519	0,070	<0,001	0,805
	SEM	0,79	0,79	0,79	0,79					

Abkürzungen:

N: Nachsaatzeitpunkt (ohne, Frühling oder Sommer - nicht Teil dieses Beitrages), D: Düngung (ohne und mit Phosphor bzw. Schwefel Ergänzung), WH: Wiederholung, N*D: Wechselwirkung aus Nachsaatzeitpunkt und Düngung
 Düngungsfaktor - G: 140 kg N/ha über Gülle, GP: 140 kg N/ha über Gülle + 30 kg P/ha im Frühling, GS: 140 kg N/ha über Gülle + 50 kg S/ha im Frühling, GSP: 140 kg N/ha über Gülle + 30 kg P/ha und 50 kg S/ha im Frühling
 S: Schwefel, P: Phosphor, p-Wert: Signifikanzwert, SEM: Standardfehler, s_e: Residualstandardabweichung, abc bzw. ABC: Post-hoc-Test Tukey-Kramer jeweils innerhalb der Variante bzw. der Jahre

Nach dem ersten Versuchsjahr zeigte im zweiten, aktuell noch laufenden Versuch, weder die Schwefel- (GS) noch die Phosphordüngung (GP) signifikante Effekte beim Mengenertrag (**Versuch 2**). Auch die Kombination der beiden Dünger (GSP) zeigte noch keine Unterschiede, wobei numerisch Variante GSP mit 10.368 kg TM/ha die höchsten Erträge aufwies (Tabelle 5). Generell wurde in jenen Varianten mit einer mineralischen Ergänzungsdüngung (GP, GS und GSP) numerisch höhere Mengenerträge als in der Kontrollgruppe (G) festgestellt. Beim Rohproteinertrag erreichte ebenfalls die Variante mit der Schwefel- und Phosphorkombination (GSP) mit 1.880 kg/ha numerisch den höchsten Ertrag. Diese numerischen höheren Erträge zeigten sich auch in allen übrigen in Tabelle 5 dargestellten Parametern. Bei Betrachtung der Ergebnisse zu den einzelnen Schnittermitteln fällt auf, dass sich Unterschiede zwischen den Düngervarianten erst ab dem zweiten Schnitt zeigten (Abbildung 2). Vergleichbar mit den Ergebnissen in **Versuch 1** erreichte die ausschließlich mit Schwefel gedüngte Variante GS zum 2. und 3. Schnitt mit 9,0 und 10,6 kg S/ha die höchsten Schwefel-Erträge. Im Vergleich dazu lag die nicht mineralisch ergänzte Variante G bei 7,9 und 9,2 kg S/ha. Ein ähnliches Bild zeigten auch die Rohprotein- (2. Schnitt GSP 502 kg XP/ha und G 404 kg XP/ha) sowie die Phosphor-Erträge (2. Schnitt GSP 11,4 kg P/ha und G 10,1 kg P/ha). Neben elementarem Schwefel werden auf Bio-Betrieben auch die Sulfatdünger Gips (Calcium-Sulfat) und Kieserit (Magnesium-Sulfat) angewendet. Da diese eine mehr oder weniger gute Wasserlöslichkeit aufweisen und das Sulfat in einer pflanzenverfügbaren Form vorliegt, wurde bei folgendem Versuch eine Ausbringung dieser Dünger im Herbst (2018) sowie im Frühjahr (2019) getestet (**Versuch 3**). Für diesen Bericht liegen erst die Mengenerträge für das erste Versuchsjahr (2019) für die vier Versuchsvarianten (0: keine S-Düngung, E: 50 kg S/ha

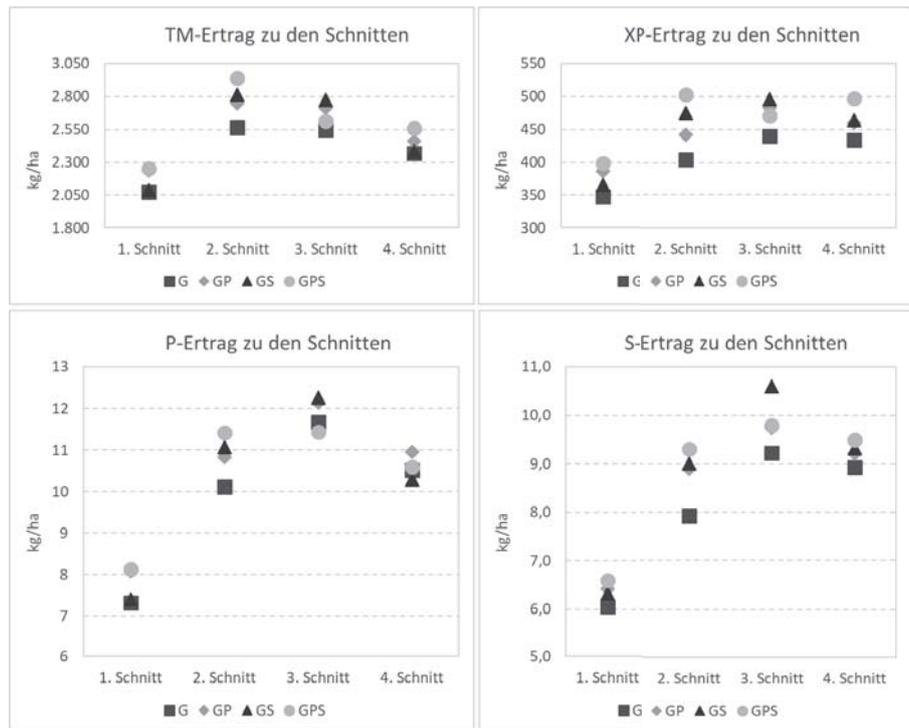


Abbildung 2: Mengen- und XP-Ertrag sowie P- und S-Ertrag zu jedem der vier Schnitte und für jede der vier Ergänzungsdüngervarianten (G, GP, GS und GPS, Versuch 2)

als elementarer Schwefel, G: 50 kg S/ha als Gips, K: 50 kg S/ha als Kieserit) vor. Im Ersten Versuchsjahr zeigten sich keine signifikanten TM-Ertragsunterschiede. Auch für den Ergänzungsdünger-Ausbringungszeitpunkt wurden im ersten Jahr keine signifikanten Effekte festgestellt. Numerisch erzielten die S-Ergänzungsgruppen höhere Mengenerträge (Tabelle 6). Dabei erreichte die Variante mit elementarem Schwefel (E) mit 14.434 kg TM/ha numerisch die höchsten Erträge. Die nicht mit Schwefel zusätzlich gedüngte Gruppe (0) lag bei 13.520 kg TM/ha. Hinsichtlich Düngungszeitpunkt lag der Mengenertrag bei der Herbstdüngung mit elementarem Schwefel (15.196 kg TM/ha) und bei der Frühlingsdüngung mit Gips (15.544 kg TM/ha) numerisch am höchsten (Tabelle 6). Die Schwefeldüngung im Frühjahr zeigte zum ersten Schnitt bei der Gips-Variante (G) mit 5.477 kg TM/ha numerisch höhere Erträge als in der ungedüngten Kontrolle (0) mit 4.902 kg TM/ha (Abbildung 3). Beim zweiten und dritten Schnitt ergaben sich bei der S-Düngung im Frühjahr kaum Ertragsunterschiede. Erst beim 4. Schnitt hatte die Gipsvariante

als elementarer Schwefel, G: 50 kg S/ha als Gips, K: 50 kg S/ha als Kieserit) vor. Im Ersten Versuchsjahr zeigten sich keine signifikanten TM-Ertragsunterschiede. Auch für den Ergänzungsdünger-Ausbringungszeitpunkt wurden im ersten Jahr keine signifikanten Effekte festgestellt. Numerisch erzielten die S-Ergänzungsgruppen höhere Mengenerträge (Tabelle 6). Dabei erreichte die Variante mit elementarem Schwefel (E) mit 14.434 kg TM/ha numerisch die höchsten Erträge. Die nicht mit Schwefel zusätzlich gedüngte Gruppe (0) lag bei 13.520 kg TM/ha. Hinsichtlich Düngungszeitpunkt lag der Mengenertrag bei der Herbstdüngung mit elementarem Schwefel (15.196 kg TM/ha) und bei der Frühlingsdüngung mit Gips (15.544 kg TM/ha) numerisch am höchsten (Tabelle 6). Die Schwefeldüngung im Frühjahr zeigte zum ersten Schnitt bei der Gips-Variante (G) mit 5.477 kg TM/ha numerisch höhere Erträge als in der ungedüngten Kontrolle (0) mit 4.902 kg TM/ha (Abbildung 3). Beim zweiten und dritten Schnitt ergaben sich bei der S-Düngung im Frühjahr kaum Ertragsunterschiede. Erst beim 4. Schnitt hatte die Gipsvariante

Tabelle 6: Mengenerträge bei drei unterschiedlichen Schwefeldüngern (elementarer S, Gips und Kieserit) sowie deren Einfluss bei unterschiedlichen Ausbring-Zeitpunkten (Frühling oder Herbst, Versuch 3)

Parameter	Einheit	Düngung				Zeitpunkt		s _e	D	p-Wert	D*Z
		0	E	G	K	Frühling	Herbst				
TM- Ertrag	kg TM/ha	13.520	14.434	14.281	14.000	13.864	14.253	641	0,088	0,195	0,062
	SEM	518	518	528	520	490	490				
Parameter	Einheit	0		E		G		K			
		Frühling	Herbst	Frühling	Herbst	Frühling	Herbst	Frühling	Herbst		
TM- Ertrag	kg TM/ha	13.321	13.719	13.673	15.196	15.544	14.018	13918	14082		
		SEM	597	571	572	593	597	571	593	572	

Abkürzungen:

S-Düngung - 0: keine S-Düngung, E: 50 kg S/ha als elementarer Schwefel, G: 50 kg S/ha als Gips, K: 50 kg S/ha als Kieserit

p-Wert: Signifikanzwert, SEM: Standardfehler, s_e: Residualstandardabweichung

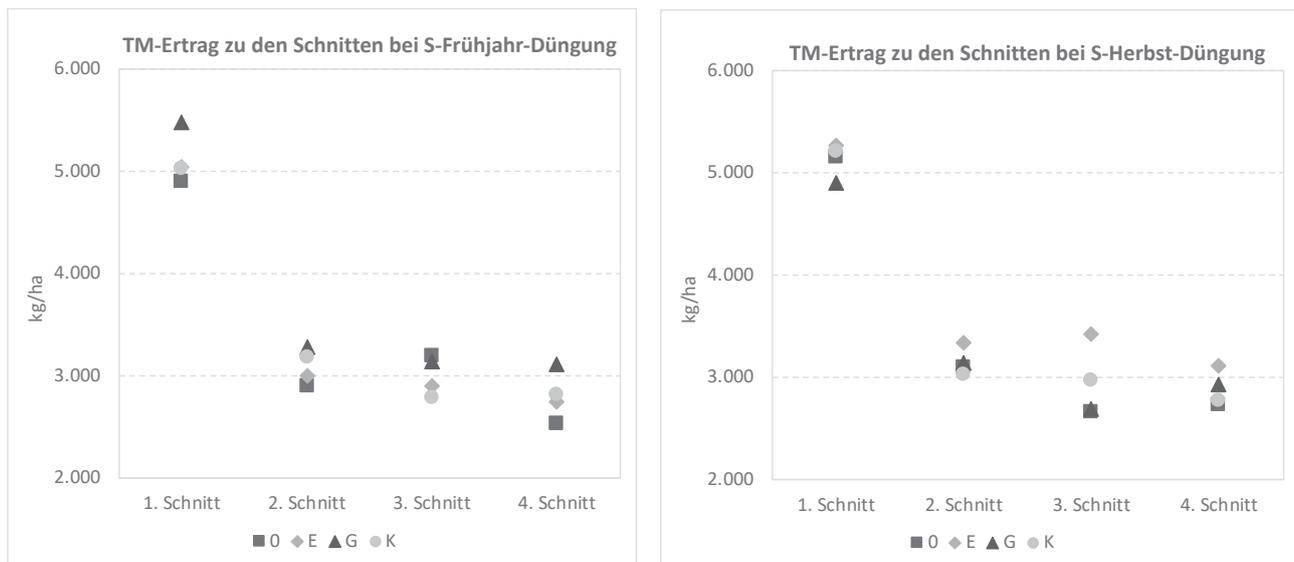


Abbildung 3: Mengenertrag zu den einzelnen Schnitten im Versuchsjahr 2019 für die unterschiedlichen Schwefeldünger und Düngungszeitpunkte (0: keine S-Düngung, E: 50 kg S/ha als elementarer Schwefel, G: 50 kg S/ha als Gips, K: 50 kg S/ha als Kieserit, Versuch 3)

(G) mit 3.114 kg TM/ha wieder einen numerisch höheren Ertrag als in der der Schwefel ungedüngten Variante (0) mit 2.540 kg TM/ha. Bei der Ausbringung der Schwefeldünger im Herbst, erreichte die Variante mit elementarem Schwefel (E) zum zweiten (3.331 kg TM/ha), dritten (3.415 kg TM/ha) und vierten (3.115 kg TM/ha) Schnitt die höchsten Erträge. Beim ersten Schnitt lagen alle Varianten praktisch gleichauf.

Diskussion

Der Einfluss einer Düngung mit elementarem Schwefel zeigte im ersten Versuch ab der Düngerstufe mit 60 kg Rein-Schwefel je Hektar signifikante Steigerungen des Mengen- und Qualitätsertrages. In einem Klee gras-Versuch ermittelte Böhm (2016) einen Mehrertrag von 225-330 kg TM/ha bei einem Düngungs niveau von 30-60 kg S/ha, wobei schnell wirksame Schwefeldünger als Kalzium- und Magnesiumsulfat verwendet wurden. Im Versuch von Böhm (2016) wurden deutlich höhere XP-Erträge von 2.028 kg/ha (ohne S-Düngung) und 2.741 kg/ha (60 kg S/ha als $MgSO_4$) ermitteln, was durch die Kultur Klee gras begründet werden kann. In einem bayrischen Versuch (Diepolder und Raschbacher, 2009) zeigten die mit 25 kg/ha elementaren Schwefel gedüngten Klee gras-Parzellen keine Ertragssteigerung und erreichten einen Mengenertrag von 12.600 kg TM/ha sowie einen Energieertrag von 77.700 MJ NEL/ha. Diese Erträge lagen deutlich über den ermittelten Werten der vorliegenden Untersuchung. Dies dürfte maßgeblich auf das höhere Düngungs niveau (Bayern: 213 kg N/ha) und Standortunterschiede (Witterung etc.) zurückzuführen sein. Wie die in der vorliegenden Arbeit festgestellten Erträge zu den einzelnen Schnitten zeigten (Abbildung 1), waren die Mehrerträge bei S-Ergänzungsdüngung in erster Linie auf den ersten und zweiten (Versuch 1) bzw. zweiten und dritten (Versuch 2) Schnitttermin zurückzuführen. Eine mögliche Erklärung dafür könnte in der mikrobiellen Aktivität der Böden liegen. Zu Beginn der Vegetationsperiode steigert sich die Aktivität langsam (Subler und Kirsch, 1998) und das höhere S-Angebot in der Bodenlösung dürfte sich hier positiv auf die Entwicklung der Bestände auswirken.

Da von den anderen beiden Düngerversuchen mit elementarem Schwefel und Rohphosphat (Versuch 2) sowie mit den drei Schwefeldüngerarten (elementarer S, Gips und Kieserit; Versuch 3) für diesen Beitrag erst ein Versuchsjahr vorlag, muss dies bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden. Numerisch erzielten alle Varianten (bei den beiden einjährigen Versuchen 2018 und 2019) mit einer mineralischen Ergänzung höhere Mengen- und Qualitätserträge. Signifikante Mehrerträge, wie dies in Tastversuchen in Bayern (Urbatzka et al., 2014) der Fall war, konnten in den beiden noch laufenden Versuchen im ersten Jahr jedoch noch nicht beobachtet werden. In den vorliegenden Untersuchungen zeigte sich bei der Ausbringung von elementarem Schwefel im Herbst numerisch positive Ertragseffekte. Urbatzka et al. (2019) stellten fest, dass im ersten Hauptnutzungs jahr die schnell pflanzenverfügbaren Schwefeldünger zu höheren Erträgen als bei Düngung mit elementarem Schwefel führten. Im zweiten Jahr der Klee grasnutzung glichen sich die Erträge an und die Erträge aller Schwefeldünger-Varianten unterschieden sich nicht mehr.

Die in der vorliegenden Untersuchung (Versuch 3) gemessenen Erträge (von 4 Schnitten) von 13.520 kg TM/ha in der ungedüngten Kontrolle und 14.434 kg TM/ha in der mit elementarem Schwefel gedüngten Variante sind für Dauergrünland als äußerst hoch einzustufen. In einer Studie von (Böhm, 2017) wurde im Mittel bei Rotklee gras Erträge von 10.470 kg TM/ha (ungedüngt) und 11.520 kg TM/ha bei einer Gabe von 60 kg S/ha (als Gips) festgestellt. Die für Dauergrünland überdurchschnittlich hohen Erträge dürften durch den Effekt der Neuansaat begründet sein. Weitere Versuchsjahre werden die Entwicklung der Bestände mit den jeweiligen Schwefel-Düngern aufzeigen.

Schlussfolgerungen

Schwefel und Phosphor, als essentielle Nährstoffe für das Bodenleben und die Kulturpflanzen, werden in der Nährstoffbilanzierung auch am intensiv genutzten Dauergrünland wieder mehr in den Fokus rücken. Anhand der

vorliegenden Ergebnisse zeigt sich, dass gerade für den Ertrag und die Proteinbildung Schwefel eine wichtige Rolle im mehrschnittigen Dauergrünland spielen dürfte. Das Potential von biotauglichen, mineralischen Ergänzungsdüngern wird dann gut ausgeschöpft, wenn in der Bewirtschaftung die Aktivierung des Bodenlebens im Vordergrund steht. Daher steht der optimale Einsatz der Wirtschaftsdünger immer an erster Stelle. Viele der in der Bio-Landwirtschaft verfügbaren mineralischen Düngemittel sind nicht unmittelbar pflanzenverfügbar und müssen zuerst vom Bodenleben aufgeschlossen werden. Dadurch zeigen diese auch ein geringes Auswaschungsrisiko. Werden demgegenüber biotaugliche und rasch pflanzenverfügbare Dünger (wie z.B. Gips oder Kieserit) eingesetzt, dann sind kleine Teilgaben während der Wachstumsperiode notwendig. Das Bio-Grünlandssystem basiert auf einer ordentlichen Wirtschaftsdünger-Planung, -Lagerung und -Ausbringung. Eine mineralische Ergänzungsdüngung kann dies keinesfalls ersetzen, sondern maximal sinnvoll ergänzen.

Literatur

- Amon, B.; Kryvoruchko, V.; Amon, T. und Boxberger, J. (2005): Wirkung der Abdeckung auf NH₃-, N₂O- und CH₄-Emissionen während der Lagerung von Milchviehflüssigmist. *Landtechnik. Fachzeitschrift für Agrartechnik und ländliches Bauen* 60 (4), 216-217.
- Amon, B.; Kryvoruchko, V.; Amon, T. und Zechmeister-Boltenstern, S. (2006): Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 112 (2-3), 153-162.
- Anderl, M.; Gangl, M.; Haider, S.; Moosmann, L.; Pazdernik, K.; Poupá, S.; Purzner, M.; Schieder, W.; Stranner, G. und Zechmeister, A. (2016): Emissionstrends 1990–2014 Ein Überblick über die Verursacher von Luftschadstoffen in Österreich, Umweltbundesamt GmbH, Wien.
- Böhm, H. (2016): Einfluss einer Schwefeldüngung auf die Ertragsleistung und ausgewählte Inhaltsstoffe von Klee gras im Ökologischen Landbau. Tagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V., Gießen, Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e. V., 28. 27.-29.9.2016, 297.
- Böhm, H. (2017): Die Wirkung einer Schwefeldüngung auf Ertrag und Qualitätsparameter von Klee grasbeständen im ersten und zweiten Hauptnutzungsjahr. 13. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Ökologischen Landbau weiterdenken - Verantwortung übernehmen - Vertrauen stärken, Freising-Weihenstephan, Verlag Dr. Köster, 07.-10.03.2017, 32-35.
- Diepolder, M. und Raschbacher, S. (2009): Schwefeldüngung zu Dauergrünland - Neue Versuchsergebnisse. *Schule und Beratung 4-5, Informationsschrift des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Landshut, III-14-19.*
- Kiendler, S. (2018): Auswirkungen einer Düngung mit elementarem Schwefel am Dauergrünland auf Ertrag und Futterqualität. Master-Thesis, Universität für Bodenkultur, Department für Nachhaltige Agrarsysteme, Institut für Nutztierwissenschaften, Wien, 93 S.
- Starz, W.; Steinwider, A.; Zollitsch, W.; Jandl, S.; Pfister, R. und Rohrer, H. (2013): Nährstoffbilanzen von Bio-Milchviehbetrieben im Dauergrünlandgebiet bei reduzierter Kraftfutterfütterung. Fachtagung für biologische Landwirtschaft - Grünlandbasierte BIO-Rinderhaltung, Irnding, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 07.11.2013, 107-110.
- Subler, S. und Kirsch, A.S. (1998): Spring dynamics of soil carbon, nitrogen, and microbial activity in earthworm middens in a no-till cornfield. *Biology and Fertility of Soils* 26 (3), 243-249.
- Urbatzka, P.; Offenberger, K.; Schneider, R. und Jacob, I. (2014): Schwefeldüngung zu Leguminosen im ökologischen Pflanzenbau. *Angewandte Forschung und Beratung für den ökologischen Landbau in Bayern*, 132-138.
- Urbatzka, P.; Eckl, T.; Miederer, W.; Urgibl, A. und Uhl, J. (2019): Ertrag des Klee grasses im ersten und zweiten Hauptnutzungsjahr in Abhängigkeit des Schwefeldüngers und der Düngungshöhe. 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Kassel, 5. bis 8. März 2019, Innovatives Denken für eine nachhaltige Land- und Ernährungswirtschaft, Kassel, Verlag Dr. Köster, 05.-08.03.2019, 228-231.
- Whitehead, D.C. (2000): Nutrient Elements in Ruminant Animals: Nutrient Elements in Grassland: Soil-Plant-Animal Relationships, CABI, 70-94.
- Wieser, I.; Heß, J. und Lindenthal, T. (1996): Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumbilanzen ökologisch wirtschaftender Grünlandbetriebe im oberösterreichischen Voralpengebiet. *Die Bodenkultur - Journal for Land Management, Food and Environment* 47 (2), 81-88.