

Auswirkung der Düngung auf P-Gehaltswerte im Boden und Futter sowie P-Bilanzen von Grünlandflächen

Erich M. Pötsch^{1*}, Reinhard Resch¹ und Karl Buchgraber¹

Zusammenfassung

Ein hoher Anteil der österreichischen Grünlandböden weist eine niedrige Versorgungsstufe für Phosphor auf, der sowohl für die Ernährung von Pflanzen als auch für die Versorgung von Tier und Mensch essentiell ist. Auf Basis von Langzeitdüngungsversuchen werden die wichtigsten Zusammenhänge zwischen Phosphordüngung und den relevanten pflanzenbaulichen sowie bodenkundlichen Kennwerten dargestellt und die aktuelle Situation in der österreichischen Grünlandwirtschaft mittels mehrerer Feldstudien aufgezeigt. Lösungs- und Verbesserungsansätze im Bereich der Fütterung und Düngung werden unter Bezug auf die bestehenden Empfehlungen und Richtlinien vorgestellt und kritisch diskutiert. Es zeigt sich, dass die aktuellen Regelungen durchaus einen ausreichenden Handlungsspielraum bieten, um die von den Fütterungsexperten vorgegebenen Phosphorgehaltswerte im Grundfutter zu erreichen. Dies erfordert aber entsprechende Anpassungen bzw. Verbesserungen in der Düngung, Nutzung und Konservierung von Grünlandbeständen. Zu hinterfragen ist allerdings der Verzicht auf leicht lösliche Phosphordünger im Biolandbau und bei spezifischen Maßnahmen im Agrarumweltprogramm, der eine Verbesserung der Bodenphosphorversorgung bei Vorliegen hoher pH-Werte im Boden erschwert.

Schlagwörter: Phosphordüngung, Phosphormangel, Grundfutter, Grassilage, Heu

Summary

A high proportion of Austrian grassland soils offer low concentrations of plant-available phosphorus, which is essential both for plant nutrition as well as for the supply of animals and human beings. Based on long-term experiments the most relevant interactions between P-fertilization and parameters of plant production and soil condition are presented, furthermore the actual situation in Austrian grassland farming is outlined by means of several field studies. Different approaches and suggestions for improvement are introduced and critically discussed for the area of feeding and fertilization under consideration of existing recommendations and guidelines. It turns out that the actual regulations definitely offer sufficient scope to achieve the targeted values of phosphorus concentration in forage, specified by feeding experts. But this requires appropriate adaptation, respectively improvement in fertilization, utilization and conservation of grassland. The abdication of easy soluble phosphorus fertilizers in organic farming or in specific measures of the agri-environmental programme has to be scrutinized, considering the fact that these products can improve the soil phosphorus supply at high pH-values in soil.

Keywords: phosphorus fertilization, phosphorus deficiency, forage, grass silage, hay

Einleitung und Problemstellung

Das chemische Element Phosphor zählt zu den wichtigsten und essentiellen Pflanzennährstoffen und erfüllt eine Reihe wichtiger Funktionen im Kohlenhydrat-Haushalt, Energiestoffwechsel, Wasserhaushalt und bei der Photosynthese von Pflanzen. Unterschiedliche Phosphorverbindungen treten als zentrale Bestandteile von Nukleinsäuren, Lipiden sowie Co-Enzymen in Erscheinung und verleihen dem Nichtmetall Phosphor einen hohen Stellenwert in der Pflanzenernährung

(Ozanne, 1980; Maathuis, 2009; Wrage *et al.*, 2010; George *et al.*, 2011). Andererseits birgt Phosphor aber auch ein beachtliches Eutrophierungspotenzial für Gewässer (Lewis Jr *et al.*, 2011; Schilling *et al.*, 2011; Hahn *et al.*, 2012) und unterliegt daher wie auch der Stickstoff zahlreichen Reglementierungen im Bereich der landwirtschaftlichen Düngung (BMLFUW, 2006).

Im Gegensatz zum Stickstoff, der im Grünland neben den Wirtschaftsdüngern und mineralischen Düngemitteln auch über die biologische Fixierung des Luft-

¹ Institut für Pflanzenbau und Kulturlandschaft, LFZ Raumberg-Gumpenstein, Raumberg 38, A-8952 IRDNING

* Ansprechpartner: Univ.-Doz. Dr. Erich M. PÖTSCH, erich.poetsch@raumberg-gumpenstein.at



stickstoffs zur Verfügung steht, gilt Phosphor aufgrund seiner relativ niedrigen Konzentrationen im Boden und der auf nur wenige Länder begrenzten Lagerstätten als eine limitierte Ressource (Cordell *et al.*, 2009; Cooper *et al.*, 2011; Neset and Cordell, 2012). Die derzeit bekannten und erschlossenen Phosphatvorräte, vor allem jene Lagerstätten mit geringer Schwermetallbelastung, werden nach Expertenmeinung in wenigen Jahrzehnten erschöpft sein und daher könnte die Nutzung alternativer Phosphorquellen wie kommunale Abwässer, Klärschlamm, Schlachtabfälle oder Pflanzenasche zukünftig an Bedeutung gewinnen (Smit *et al.*, 2009; Weikard and Seyhan, 2009; Keyzer, 2010; Gronegger, 2011; Petzet and Cornel, 2013).

Auswertungen von Ergebnissen aus den Bodenzustandsinventuren sowie aus Routine - Bodenuntersuchungen belegen, dass in vielen Gebieten Österreichs ein hoher Anteil der Grünlandböden eine sehr niedrige (Gehaltsklasse A) bzw. niedrige (Gehaltsklasse B) P-Versorgung aufweist (Heinzlmaier *et al.*, 2009; Pötsch und Baumgarten, 2010; Baumgarten *et al.*, 2011). Der geringe P-Versorgungsgrad der Böden wird häufig mit einer niedrigen Ertragsleistung im Grünland, schlechten Wachstumsbedingungen für Leguminosen, mangelnder Futterqualität und in weiterer Folge mit sinkenden tierischen Leistungen in Verbindung gebracht (Gruber und Resch, 2009; Liebisch, 2011; Mackay and Lambert, 2011). Im nachfolgenden Beitrag werden daher wesentliche Zusammenhänge zwischen der Phosphordüngung im Grünland sowie den P-Gehaltswerten im Boden und Grundfutter aufbereitet und diskutiert sowie abschließend mögliche Lösungsansätze zur Verbesserung der aktuellen Versorgungslage aufgezeigt.

Material und Methoden

Die Daten für die Auswertungen und Analysen stammen einerseits aus Grünlanddauerversuchen mit exakt definierten Bewirtschaftungsbedingungen und bestens dokumentierten Erhebungen sowie aus diversen Feldstudien, die auch eine stärkere geographische und standörtliche Variation bieten.

Langzeitversuche am LFZ Raumberg-Gumpenstein

Insgesamt bestehen am LFZ Raumberg-Gumpenstein noch neun Langzeitversuche, die zwischen den Jahren 1946 und 1969 angelegt wurden. Zwei dieser Versuche wurden hinsichtlich der Phosphorthematik aktuell ausgewertet - es sind dies der Nährstoffmangelversuch sowie der Ertragsdynamische Wirtschaftsdüngerversuch, die beide am Hauptversuchsfeld in Gumpenstein auf einer Seehöhe von 710 m angelegt sind. Dieser Standort ist charakterisiert durch eine Jahresmitteltemperatur von 7,0°C und einer jährlichen Niederschlagsmenge von rund 1.000 mm. Der mittels drei Schnitten/Jahr genutzte Nährstoffmangelversuch

beinhaltet ausschließlich mineralisch gedüngte Varianten, wobei je ein Teil dieser dreifach wiederholten split-plot-Anlage ohne bzw. mit Stickstoff versorgt wird. Die P-Versorgung erfolgte bis zum Jahr 1997 mit Thomasphosphat und seit 1998 mittels Hyperphosphat, Kalium wird in Form von 40 %-igem Kalisalz gedüngt, die Stickstoffdüngung erfolgt in Form von Nitramoncal. Die Hauptintention dieses von Schechtner konzipierten und im Jahr 1960 angelegten Versuches, liegt darin, die Bedeutung der drei Hauptnährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium für die Produktivität von Grünland durch unterschiedliche Nährstoffkombinationen und Nährstoffniveaus aufzuzeigen und daraus auch konkrete Düngungsempfehlungen abzuleiten (Schechtner, 1993).

Der Ertragsdynamische Wirtschaftsdüngerversuch wurde ebenfalls von Schechtner geplant und 1966 in vierfacher Wiederholung angelegt. Bei diesem heute mittels drei Schnitten (bis 1993 erfolgte eine Vierschnittnutzung) genutzten Versuch steht die Produktivität und Effizienz unterschiedlicher Wirtschaftsdünger im Vergleich zu mineralisch versorgten Vergleichsvarianten im Blickfeld der Betrachtungen. Ertragsdynamisch bedeutet, dass die Zufuhr von Phosphor und Kalium bzw. die Rücklieferung der Wirtschaftsdünger in Abhängigkeit des jeweils erzielten Ertrages erfolgt. Bis zum Jahr 1993 wurden dazu je 0,57 kg P (in Form von Thomasphosphat) je dt Futtertrockenmasse rückgeführt, seither sind es 0,4 kg P (in Form von Hyperphosphat) je dt Futtertrockenmasse, was damit weitestgehend den derzeit aktuellen Vorgaben der österreichischen Düngungsrichtlinien entspricht (BMLFUW, 2006).

Für beide Dauerversuche liegen durchgehende Ertragsdaten und in mehr oder weniger regelmäßigen Abständen auch Daten zur Futterqualität, zum Pflanzenbestand sowie zu den relevanten Bodennährstoffgehalten vor, die auch in die nachfolgenden Auswertungen miteinbezogen wurden.

Feldstudien

Im Gegensatz zu Exaktversuchen bieten derartige Studien zwar einen geographisch und standörtlich betrachtet breiteren Überblick, andererseits stellt dies aber meist nur eine Momentaufnahme dar, ohne einen detaillierten nutzungsgeschichtlichen Hintergrund zu geben. Zur gegenständlichen Thematik erscheinen aber auch Feldstudien von großer Bedeutung und werden daher in die nachfolgenden Betrachtungen miteinbezogen. Von 1997 bis 2001 wurden im Rahmen des **Man and Biosphere**-Projektes „Landschaft und Landwirtschaft im Wandel - Das Grünland im Berggebiet Österreichs“ zahlreiche Erhebungen und Untersuchungen auf Grünlandpraxisflächen und -betrieben in insgesamt 8 Untersuchungsgebieten durchgeführt und hinsichtlich unterschiedlichster Aspekte ausgewertet und analysiert (BAL, 2000). In den Jahren 2003, 2005 und 2007 wurden unter der

Planung und Leitung des LFZ Raumberg-Gumpenstein österreichweite Erhebungen und Beprobungen zur Produktion und Qualität von Grassilagen abgewickelt (Resch, 2010). Diese Projekte vermitteln ebenso wie die in den Jahren 2010 und 2012 durchgeführten Heuprojekte einen sehr guten und detaillierten Überblick über die aktuelle Grundfutterqualität in Österreich (Resch, 2013a).

Ergebnisse und Diskussion

Phosphor erfüllt neben anderen Mengen- und Spurenelementen auch wichtige Aufgaben beim Aufbau und im Stoffwechsel von landwirtschaftlichen Nutztieren. Eine bedarfsgerechte P-Versorgung ist daher eine wichtige Voraussetzung für die Aufrechterhaltung der Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Tiere. Wenngleich der tierische Organismus unterschiedliche Versorgungsbedingungen mittels unterschiedlicher Prozesse (z.B. Aufnahme aus dem Darm, Speicherung und Mobilisierung im Körper, Ausscheidung über Kot und Harn) innerhalb bestimmter Grenzen auszugleichen vermag, ist aus physiologischen und ökologischen Gründen eine möglichst bedarfsgerechte Versorgung mit Mineralstoffen anzustreben. Die in der Futterration erforderliche Konzentration an Mineralstoffen weist dabei eine starke Abhängigkeit vom jeweiligen Leistungsniveau auf. So steigt etwa der P-Bedarf für eine Tagesmilchleistung von 10 kg (Mutterkuh) auf 50 kg (Hochleistungskuh) von 32 auf 109 g/Tag an, was bei den jeweils zugrundeliegenden Futteraufnahmen eine Konzentration zwischen 2,5 und knapp 4 g P/kg TM in der Gesamtration erfordert (GfE, 2001; Gruber und Resch, 2009). In den österreichischen Grünland- und Milchviehbetrieben steht über einen weiten Leistungsbereich das wirtschaftseigene Futter von den Wiesen, Weiden und Ackerfutterflächen im Mittelpunkt der Rationsgestaltung. Der Mineralstoffgehalt von Grünfutter, Silage und Heu spielt daher eine wichtige Rolle in der Versorgung von raufutterverzehrenden Nutztieren. Ausschlaggebende Einflussfaktoren für die Mineralstoffkonzentration von

Grundfutter sind im allgemeinen dessen botanische Zusammensetzung, die geologischen Bedingungen des Standortes, die Bewirtschaftungsintensität hinsichtlich Düngung und Nutzungshäufigkeit, das jeweilige Vegetationsstadium, der Aufwuchs sowie die Konservierungsform.

Einfluss der Phosphordüngung auf die Ertragsleistung

Die Düngung nimmt in der Grünlandbewirtschaftung eine wichtige Rolle hinsichtlich der Ertragsbildung als auch der Qualität des Grundfutters ein. Zahlreiche vom LFZ Raumberg-Gumpenstein angelegte und betreute Feldversuche im Grünland beinhalten den Faktor Düngung und befassen sich dabei mit der Wirksamkeit unterschiedlicher Nährstoffe bzw. von Wirtschaftsdüngersystemen. Die in *Tabelle 1* angeführten Ergebnisse stammen vom sogenannten Nährstoffmangelversuch, einem der ältesten Langzeitversuche in Gumpenstein, dessen Versuchsdesign durchaus starke Ähnlichkeiten mit ebenfalls noch bestehenden Langzeitversuchen in Deutschland aufweist (Diepolder und Raschacher, 2011). Von den insgesamt 14 Versuchsvarianten wurden jene ausgewählt, die einen unmittelbaren Bezug zur Phosphordüngung aufweisen. Hinsichtlich des Ertrages weist die Zufuhr von Phosphor erst in Kombination mit einer Kaliumdüngung einen positiven Effekt auf, der im N-freien Vergleichsblock zwischen 44% (P₁-Stufe) und 53% (P₂-Stufe) und im N-gedüngten Vergleichsblock mit einem allerdings deutlich höheren Ausgangsniveau zwischen 21% (P₁-Stufe) und 27% (P₂-Stufe) beträgt. Die Ertragsdifferenz zwischen den P-Stufen 1 und 2 beläuft sich trotz einer Verdoppelung der Phosphorzufuhr auf nur bescheidene 6% im N-freien und knapp 5% im N-gedüngten Versuchsblock. Diesbezüglich ist anzumerken, dass die aktuelle Empfehlung zur Phosphordüngung für Dreischnittwiesen in mittlerer Ertragslage (= 60-80 dt TM/ha und Jahr) 65 kg Phosphat und in hoher Ertragslage (≥ 80 dt TM/ha und Jahr) 80 kg Phosphat/ha und Jahr beträgt. Die

Tabelle 1: Bodenkennwerte (Ø der letzten Versuchsdekade), Erträge, Leguminosenanteil, Futterinhaltsstoffe und P-Bilanzierungswerte aus dem Nährstoffmangelversuch Gumpenstein (Mittelwerte 1961-2010)

Parameter	Einheit	N ₀ P ₀ K ₀	N ₀ P ₂ K ₀	N ₁ P ₀ K ₀	N ₁ P ₂ K ₀	N ₀ P ₀ K ₂	N ₀ P ₁ K ₂	N ₀ P ₂ K ₂	N ₁ P ₀ K ₂	N ₁ P ₁ K ₂	N ₁ P ₂ K ₂
pH-Wert Boden		5,2	6,1	4,5	6,0	4,9	5,1	5,7	5,1	5,5	5,8
Phosphor (P nach CAL) Boden	mg/kg FB	23	159	24,5	160	25	49	116	24	34	90
Kalium (K nach CAL) Boden	mg/kg FB	64	61	49	27	420	279	317	199	137	142
TM-Bruttoertrag	dt/ha	29,1	28,7	42,9	42,8	45,3	65,1	69,2	73,3	88,4	93,3
Leguminosen	Gew. %	7,7	3,6	0,6	0,4	14,7	20,6	20,4	2,5	3,4	3,4
Rohprotein (XP) Futter	g/kg TM	132,5	129,1	147,9	149,7	127,7	133,0	131,1	129,5	116,4	115,0
Phosphor (P) Futter	g/kg TM	3,7	4,5	3,1	3,9	3,5	3,7	4,0	2,9	3,2	3,5
Kalium (K) Futter	g/kg TM	12,7	12,5	10,2	8,1	25,7	24,6	24,5	21,9	20,2	19,9
P-Zufuhr	kg/ha	0	52,3	0	52,3	0	26,3	52,3	0	26,2	52,3
P-Entzug	kg/ha	11,9	13,4	14,7	18,2	17,4	25,5	28,5	22,4	29,4	33,2
P-Bilanz	kg/ha	-11,9	38,9	-14,7	34,1	-17,4	0,8	23,8	-22,4	-3,2	19,1

N₀ = kein Stickstoff; N₁ = 60 kg N/ha und Jahr

P₀ = kein Phosphor; P₁ = 60 kg Phosphat/ha und Jahr; P₂ = 120 kg Phosphat/ha und Jahr

K₀ = kein Kalium; K₂ = 240 kg Kali/ha und Jahr

Tabelle 2: Bodenkennwerte (Ø der letzten Versuchsdekade), Erträge, Leguminosenanteil, Futterinhaltsstoffe und P-Bilanzierungswerte aus dem Ertragsdynamischen Wirtschaftsdüngerversuch Gumpenstein (Mittelwerte 1967-2012)

Parameter	Einheit	N ₀ P ₀ K ₀	N ₀ P _d K _d	N ₁ P _d K _d	N ₂ P _d K _d	N ₃ P _d K _d	Rindergülle 1: 0,25	Harngülle 1:1	Rottemist + Jauche
pH-Wert Boden		5,0	5,0	5,3	5,3	5,1	5,3	5,2	5,7
Phosphor (P nach CAL) Boden	mg/kg FB	29	67	56	51	60	66	63	88
Kalium (K nach CAL) Boden	mg/kg FB	86	119	130	139	144	115	130	169
TM-Bruttoertrag	dt/ha	32,1	63,0	77,0	84,1	95,3	80,4	74,8	74,2
Leguminosen	Gew. %	12,5	24,8	12,5	6,2	4,0	15,2	14,8	17,0
Rohprotein (XP) Futter	g/kg TM	149,7	160,4	151,1	148,3	152,1	153,0	150,3	155,2
Phosphor (P) Futter	g/kg TM	4,0	4,1	4,0	3,8	3,6	4,1	3,9	4,0
Kalium (K) Futter	g/kg TM	17,1	24,3	25,3	24,9	24,6	22,9	25,9	25,2
P-Zufuhr	kg/ha	0,0	30,9	37,0	40,6	45,7	35,3	32,8	39,6
P-Entzug	kg/ha	15,1	29,6	33,3	33,7	35,3	35,2	32,3	31,4
P-Bilanz	kg/ha	-15,1	1,3	3,7	7,0	10,3	0,1	0,6	8,1

N₀ = kein Stickstoff; N₁ = 80 kg N/ha und Jahr; N₂ = 160 kg N/ha und Jahr; N₃ = 240 kg N/ha und Jahr

P_d = dynamische Rückführung gemäß Vorjahresertrag

K_d = dynamische Rückführung gemäß Vorjahresertrag

1:1, 1: 0,25 = Verdünnungsgrad mit Wasser

im Nährstoffmangelversuch geprüfte P₂-Stufe kommt heute in den aktuell gültigen, österreichischen Düngeempfehlungen nur bei sehr hoher Nutzungsfrequenz (6 Schnitte) in Kombination mit hoher Ertragslage zur Anwendung (BMLFUW, 2006).

Im Gegensatz zum Nährstoffmangelversuch erfolgte beim Ertragsdynamischen Wirtschaftsdüngerversuch (Tabelle 2) sowohl die Phosphor- als auch die Kaliumzufuhr in Abhängigkeit des im Vorjahr erzielten Ertrages. Die dynamisch kalkulierte Phosphorzufuhr lag im Durchschnitt des gesamten Versuchszeitraumes mit Ausnahme der höchsten N-Variante im Empfehlungsbereich für Dreischnitt- bis Vierschnittflächen. Mit Ausnahme der ungedüngten Variante und der PK-Variante, die hinsichtlich des Ertragsniveaus mit den korrespondierenden Prüfgliedern des Nährstoffmangelversuches gut vergleichbar sind, wurden hier alle Versuchspartellen auch mit Stickstoff versorgt. Die Erhöhung der N-Zufuhr bei den mineralisch gedüngten Varianten führte erwartungsgemäß zu einem Ertragsanstieg, der allerdings angesichts der eingesetzten N-Mengen relativ bescheiden ausfällt. Das Ertragsniveau der untersuchten Wirtschaftsdüngervarianten lag im langjährigen Durchschnitt etwa im Bereich der mit 80 kg mineralischem Stickstoff versorgten Variante. Die Variante Harngülle wurde in den ersten drei Versuchsdekaden mit mineralischem Phosphor ergänzt, um die P-Senke des Harns bzw. der Jauche auszugleichen. Das Ertragsniveau dieser Variante lag in diesem Zeitraum auch etwa auf jenem der Güllevariante. Das Auflösen der mineralischen P-Ergänzung ab dem Jahr 1999 resultierte dann trotz der nach wie vor ausreichenden P-Versorgung des Bodens in einem massiven Rückgang des Jahresertrages, der in der letzten Prüfperiode (2007-2012) nur mehr bei durchschnittlich 38 dt TM/ha lag. Betriebe mit Stallmist-Jauche-System sollten daher entweder beide Wirtschaftsdüngerarten alternierend/kombiniert einsetzen oder bei jauchedominiertem Einsatz unbedingt eine entsprechende P-Ergänzung sicherstellen.

Einfluss der Phosphordüngung auf den Leguminosenbesatz

Leguminosen und deren Fähigkeit zur biologischen N-Fixierung spielen in der Grünlandwirtschaft und hier speziell in biologisch bewirtschafteten Betrieben eine wichtige Rolle und zahlreiche Autoren betonen diesbezüglich auch die Bedeutung einer ausreichenden Versorgung mit Phosphor (Roscher *et al.*, 2011; Augusto *et al.*, 2013; Lüscher *et al.*, 2013; Suter *et al.*, 2013). Die Ergebnisse des Nährstoffmangelversuches zeigen, dass - wie auch beim Ertrag - erst die Kombination mit Kalium einen nennenswerten Anteil an Leguminosen ermöglicht. Dieser positive Effekt geht allerdings mit zunehmender N-Düngung und der damit verbundenen Konkurrenzwirkung zur legumen N-Bindung wieder verloren (siehe N-gedüngte Varianten im Nährstoffmangelversuch bzw. N-Steigerungsvarianten im ertragsdynamischen Wirtschaftsdüngerversuch). Die höchsten durchschnittlichen Leguminosengehalte traten bei der Rottemist+Jauche-Variante sowie bei ausschließlicher PK-Düngung auf, wobei letzteres eine praxisrelevante Option für kleereiche Feldfutterbestände darstellt.

Einfluss der Phosphordüngung auf den P-Gehalt im Boden

Die beiden in diesem Bericht vorgestellten Langzeitversuche liegen in unmittelbarer Nachbarschaft am Hauptversuchsfeld des LFZ Raumberg-Gumpenstein und sind daher nicht nur hinsichtlich der klimatischen Bedingungen sondern auch bzgl. der Ausgangsbodenverhältnisse (tiefgründige, kalkfreie Lockersediment-Braunerde) sehr gut vergleichbar. Die nachfolgenden Auswertungen wurden mit gepoolten Werten für jeweils eine Versuchsdekade (bzw. eine abschließende 6-jährige Periode für den Versuch 484) durchgeführt und der Versuch 432 nach dem Subfaktor Stickstoff aufgetrennt. Die Erhöhung der P-Zufuhr führte zu einem Anstieg der P-Gehaltswerte im Boden, wobei

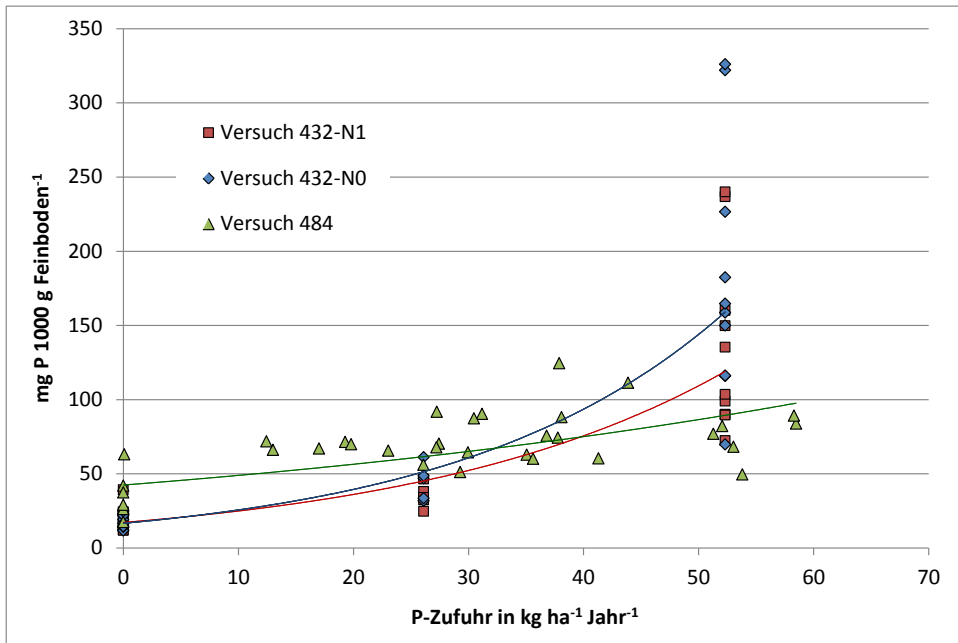


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen P-Zufuhr und P-Gehaltswerten im Boden (Nährstoffmangelversuch 432 und Ertragsdynamischer Wirtschaftsdüngerversuch 484, Gumpenstein)

diese Entwicklung bei NPK-versorgten Versuchsvarianten aufgrund höherer P-Entzüge über den Ertrag schwächer ausgeprägt ist, als bei mangelversorgten Varianten (Abbildung 1).

Nur bei einer P-Zufuhr über dem für die vorliegende Nutzungsfrequenz empfohlenen Wertebereich kam es im Versuchszeitraum zu teilweise extremen Anstiegen des P-Gehaltes im Boden von mehr als 300 mg P/1.000 g Feinboden (Variante $N_0P_2K_0$). Der Boden der ungedüngte Variante sowie sämtlicher nicht mit Phosphor gedüngten Varianten des Nährstoffmangelversuchs lagen im gesamten Versuchszeitraum in der sehr niedrig versorgten Gehaltsklasse „A“ (<26 mg P/1.000 g Feinboden), der Boden der ungedüngten Variante des ertragsdynamischen Wirtschaftsdüngerversuches hingegen lag im unteren Bereich der niedrig versorgten Gehaltsklasse „B“ (26-46 mg P/1.000 g Feinboden). Die dynamische Rücklieferung von Phosphor im Versuch 484 mündete in der letzten Versuchsperiode in Bodenphosphorwerten der Gehaltsklasse „C“, mit Ausnahme der Rottemist-Jauche-Variante, die Gehaltswerte im unteren Bereich der hohen Versorgungsstufe aufwies (siehe auch Tabelle 2).

Die Erstellung einer P-Bilanz als Differenz zwischen P-Zufuhr (aus Wirtschaftsdünger bzw. Mineraldünger) und P-Entzug über die geerntete Biomasse ergab für die zugrundeliegenden Versuche ein ausgeglichenes Ergebnis bei einer Zufuhr von knapp 25 kg P/ha und Jahr, was etwa der P_1 -Stufe im Nährstoffmangelversuch entspricht. Bis zu dieser P-Zufuhr erreichten die Bodengehaltswerte die Obergrenze der Gehaltsklasse „C“ und erst bei steigender P-Düngung kam es zu einer teilweise starken P-Anreicherung im Boden.

Die Langzeitversuchsergebnisse zeigen einmal mehr die Bedeutung der Anpassung der Düngungsintensität an die vorliegenden Standortbedingungen als auch die Wichtigkeit eines ausgewogenen Verhältnisses der Hauptnährstoffe zueinander. Damit kann einerseits langfristig ein gutes Ertragsniveau erzielt und zum anderen eine ökologisch bedenkliche als auch wirtschaftlich unnötige Anreicherung von Nährstoffen sowie daraus resultierende Umweltbelastungen vermieden werden (Schilling *et al.*, 2011).

Einfluss der Phosphordüngung auf den P-Gehalt im Futter

Bei allen drei Teilauswertungen zeigt sich mit zunehmender P-Düngung ein tendenzieller Anstieg der P-Gehaltswerte im Futter (gewichtetes Mittel der Einzelaufwüchse). Die höchsten Gehaltswerte (zwischen 3,3 und 5,0 g P kg⁻¹ TM) ergaben sich im N-freien Block des Nährstoffmangelversuchs, gefolgt vom Wirtschaftsdüngerversuch (zwischen 2,6 und 4,6 g P kg⁻¹ TM) mit der ertragsdynamischen Bemessung der Phosphordüngung. Der N-gedüngte Versuchsblock des Nährstoffmangelversuchs wies mit Werten zwischen 2,7 und 4,4 g P kg⁻¹ TM die niedrigsten Gehaltswerte auf, wobei hier offensichtlich ein gewisser Verdünnungseffekt durch die N-Zufuhr zum Tragen kommt.

Die in den dargestellten Dauerversuchen langjährig erzielten P-Konzentrationen im Futter decken mit wenigen Ausnahmen durchaus den P-Bedarf auch für mittlere bis hohe Milchleistungen, wobei in der Fütterungspraxis vor allem im höheren Leistungsbereich eine P-Ergänzung durch Eiweißkraftfutter bzw. Mineralstoffmischungen erfolgt (Gruber und Resch, 2009).

Abbildung 3 stellt den Zusammenhang zwischen Boden- und Futtergehaltswerten dar. Während in beiden Teilblöcken des Nährstoffmangelversuchs mit zunehmendem P-Gehalt des Bodens ein Anstieg der Futtergehaltswerte ersichtlich ist, zeigt sich diesbezüglich beim Wirtschaftsdüngerversuch innerhalb der eingengten Variationsbreite bei den Boden-P-Werten keinerlei Zusammenhang. Diesbezüglich ist allerdings festzustellen, dass der Kurvenverlauf im Nährstoffmangelversuch stark geprägt ist von jenen Wertepaaren mit einer hohen P-Anreicherung im Boden,

die aufgrund der ertragsdynamischen P-Düngung im ertragsdynamischen Wirtschaftsdünger-versuch nur in einem deutlich geringeren Ausmaß aufgetreten ist.

Multivariate Auswertungen von Praxisdaten hinsichtlich der maßgeblichen Einflussfaktoren auf den Mengen- und Spurenelementgehalt von Grünfutter weisen für Phosphor signifikante Effekte für Boden-gehaltswert, Geologie und Nutzungshäufigkeit auf (Resch *et al.*, 2009). Der durchschnittliche P-Gehalt von insgesamt knapp 1.800 Futterproben lag bei $3,0 (\pm 1,0)$ mit einem etwas höheren Wert auf kalkhaltigem gegenüber silikatischem Ausgangsgestein.

Einfluss der botanischen Zusammensetzung, der Nutzungshäufigkeit und des Nutzungszeitpunktes auf den P-Gehalt im Grünlandfutter

Aus artenspezifisch differenzierten Futteranalysen lässt sich ableiten, dass kleereiche und vor allem kräuterreiche Grünlandbestände deutlich höhere Gehaltswerte an Kalzium, Magnesium, Kalium und in abgeschwächtem Ausmaß auch an Phosphor aufweisen (Pötsch und Resch, 2005; Pirhofer-Walzl *et al.*, 2011). Dies spricht neben einigen anderen Aspekten einmal mehr für Mischbestände im Dauergrünland mit einem starken Gräsergerüst (50-60%), das durch Leguminosen (10-30%) sowie Futterkräutern (bis zu 30%) ergänzt wird.

Ein sehr starker Einfluss auf den Phosphorgehalt zeigt sich auch vor allem im Jahresverlauf der unterschiedlichen Aufwüchse. Während etwa der Primäraufwuchs von Dauerwiesen nur $2,5 \text{ g P/kg TM}$ (Basis Grünfutter) enthielt, stieg der Gehalts-

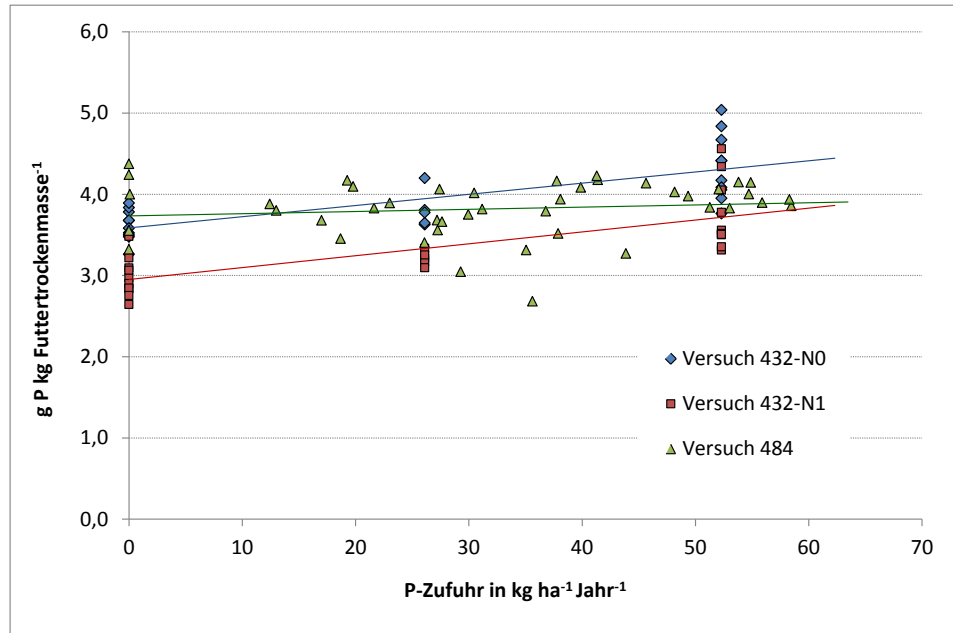


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen P-Zufuhr und P-Gehaltswerten im Futter (Nährstoffmangelversuch 432 und Ertragsdynamischer Wirtschaftsdüngerversuch 484, Gumpenstein)

wert beim zweiten und dritten Aufwuchs auf $2,9$ bzw. $3,2 \text{ g P/kg TM}$ an und lag ab dem vierten Aufwuchs bereits bei durchschnittlich $3,8 \text{ g P/kg TM}$ (Daten aus dem Man and Biosphere-Projekt „Landschaft und Landwirtschaft im Wandel - Das Grünland im Berggebiet Österreichs“ aus insgesamt 8 Untersuchungsregionen - Resch *et al.*, 2009).

Einen ebenso deutlichen Gradienten hinsichtlich der Aufwüchse - allerdings auf einem höheren Niveau - zeigt ein Blick auf die Daten der aktuellen österreichischen Futterwerttabelle, in der allerdings sämtliche Folgeaufwüchse bei Mehrschnittflächen zusammengefasst sind (Resch *et al.*, 2006). Pirhofer-Walzl *et al.*

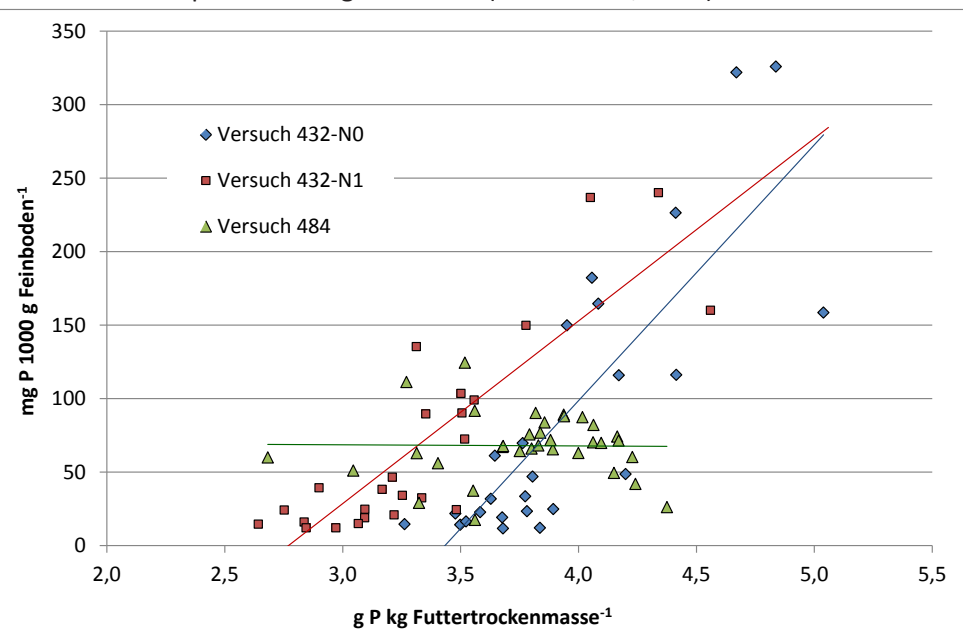


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen P-Gehaltswerten im Boden und P-Gehaltswerten im Futter (Nährstoffmangelversuch 432 und Ertragsdynamischer Wirtschaftsdüngerversuch 484, Gumpenstein)

(2011) weisen ebenfalls eine Konzentrationszunahme im Verlauf der Aufwüchse für alle von ihnen untersuchten Gräser-, Leguminosen- und Kräuterarten nach, wobei die Wegwarte (*Cichorium intybus*) und Wiesenkümmel (*Carum carvi*) im dritten Aufwuchs mit 5,5 bzw. 9,9 g P/kg TM die jeweils höchsten Gehaltswerte zeigten. Die genannten Autoren sprechen sich aufgrund ihrer Ergebnisse für den verstärkten Einsatz von kräuterreichen Grünlandmischungen aus, um unter anderem deren positiven Effekt auf den Mineralstoffgehalt des Grundfutters zu nutzen.

Innerhalb der einzelnen Aufwüchse beeinflusst der jeweilige Nutzungszeitpunkt sehr stark den Gehalt an Phosphor im Grünfutter. Zwischen den Vegetationsstadien „Schossen“ und „Ende Blüte“ nimmt die P-Konzentration im Futter ab, wobei die Reduktion bei extensiver Nutzungsfrequenz (Einschnitt- und Zweischnittflächen) am schwächsten und bei höheren Nutzungshäufigkeiten am stärksten ausgeprägt ist. Diese Konzentrationsabnahme tritt jedoch bei den Primäraufwüchsen deutlich stärker in Erscheinung als bei den nutzungselastischeren Folgeaufwüchsen (Resch *et al.*, 2006). Hinsichtlich einer möglichst hohen Phosphorkonzentration im Grundfutter spricht dies unabhängig von der Nutzungsfrequenz in jedem Fall für eine möglichst rechtzeitige Nutzung der Wiesen und Weiden, was ja zugleich auch eine bessere Verdaulichkeit der organischen Masse und höhere Energiekonzentrationen im Grundfutter gewährleistet.

Einfluss der Futterkonservierung auf den P-Gehalt von Grünland- und Feldfutter

Hinsichtlich des Einflusses der Futterkonservierung auf den Mineralstoffgehalt von Grünlandfutter zeigen sich teilweise etwas divergierende Ergebnisse, da insbesondere bei der Silageproduktion der Verschmutzungsgrad über die Erhöhung des Rohaschegehaltes eine große Rolle spielt. Grundsätzlich ist allerdings davon auszugehen, dass gegenüber den Werten von Grünfutter der P-Gehalt von Silagen und Heu/Grummet abnimmt, was vorwiegend auf Bröckelverluste von Blattmasse am Feld zurückzuführen ist. Je nach Ausgangsbestand können diese Verluste beim Dauergrünland zwischen 15 und 30% sowie bei Rotklee gras

bzw. Luzerne zwischen 20 und 35% betragen (Resch *et al.*, 2006). Eine schonende Futterwerbung und -konservierung sollte daher zur Verringerung dieser Verluste im Futter sowie zur Vermeidung von Futterverschmutzung unbedingt angestrebt werden.

Im Rahmen einer umfassenden Serie zur Erhebung der Qualität österreichischer Grassilagen zeigt sich unabhängig von der Wirtschaftsweise der Praxisbetriebe ebenfalls sehr klar die Zunahme der P-Konzentration vom 1. bis zum 4. Aufwuchs (\emptyset aus den vier Untersuchungsjahren 2003, 2005, 2007, 2009), wobei allerdings die Anzahl der Proben des vierten Aufwuchses allgemein sehr gering war (Tabelle 3). Auffallend ist bei dieser Auswertung der signifikante Einfluss der Wirtschaftsweise auf den P-Gehalt der Silagen mit den niedrigsten Gesamtwerten bei biologischer Wirtschaftsweise und den höchsten Konzentrationswerten bei Nicht-ÖPUL-Betrieben. Die weiteren im Zuge einer GLM-Analyse ermittelten, signifikanten Einflussfaktoren auf den P-Gehalt der Grassilagen waren das Jahr, der Aufwuchs, Mäh- und Erntetechnik sowie die Verweilzeit am Feld, wobei mit dem Modell nur insgesamt nur rund 30% der Wertestreuung erklärt werden konnten.

Die Auswertungen der vier Silageprojekte zeigten insgesamt für Silagen aus Dauerwiesen mit \emptyset 3,1 g/kg TM etwas geringere P-Gehaltswerte als für jene aus Feldfutterbeständen mit \emptyset 3,2 g/kg TM. Die untersuchten Siliersysteme (Fahrsilo, Silohaufen, Hochsilo und Ballensilage) wiesen hingegen keinen Einfluss auf den P-Gehalt der untersuchten Silagen auf (Resch, 2010). Der für Silagen angestrebte Orientierungswert von $>3,0$ g/kg TM konnte jedenfalls mit Ausnahme des 1. Aufwuchses bei biologischer Wirtschaftsweise weitestgehend erreicht werden (Resch *et al.*, 2011).

Eine aktuelle Auswertung von Heu- bzw. Grummetproben aus den vom LFZ Raumberg-Gumpenstein gemeinsam mit den Landwirtschaftskammern und den Milchvieharbeitskreisen organisierten Heuprojekten zeigt, dass der für Raufutter geforderte Mindestgehalt von 2,5 g P/kg TM nur bei 36% der untersuchten Heuproben bzw. 50% der Grummetproben erreicht wurde (Resch, 2013). Die GLM-Analyse zeigt einen signifikanten Einfluss der Faktoren Jahr, Wirtschafts-

Tabelle 3: P-Gehaltswerte von Grassilagen aus österreichischen Praxisbetrieben (Resch, 2010)

	Biologische Wirtschaftsweise		Verzicht auf ertragssteigernde Betriebsmittel ¹		UBAG ² , Öko-Punkte ³		keine ÖPUL-Teilnahme	
	n	\emptyset	n	\emptyset	n	\emptyset	n	\emptyset
1. Aufwuchs	293	2,8	655	3,0	637	3,1	358	3,2
2. Aufwuchs	57	3,1	108	3,2	98	3,2	57	3,4
3. Aufwuchs	21	3,5	19	3,5	26	3,5	16	3,5
4. Aufwuchs	4	3,7	9	3,7	7	4,0	2	3,7
Gesamt	396	2,9	837	3,0	841	3,1	492	3,2

¹ ÖPUL-Maßnahme für Ackerfutter- und Grünlandflächen

² umweltgerechte Bewirtschaftung von Acker- und Grünlandflächen

³ nur in Niederösterreich angebotene ÖPUL-Maßnahme

Tabelle 4: P-Gehaltswerte von Heu und Grummet (\bar{x} 2007-2012) aus österreichischen Praxisbetrieben in Abhängigkeit des Trocknungsverfahrens (Resch, 2013b)

	Bodentrocknung		Kaltbelüftung		Warmbelüftung	
	n	\bar{x}	n	\bar{x}	n	\bar{x}
1. Aufwuchs	210	2,1 (\pm 0,5)	367	2,4 (\pm 0,5)	268	2,7 (\pm 0,6)
2. Aufwuchs	183	2,8 (\pm 0,6)	230	2,9 (\pm 0,7)	195	3,1 (\pm 0,7)
3.-6. Aufwuchs	28	3,3 (\pm 0,7)	61	3,2 (\pm 0,7)	111	3,3 (\pm 0,7)

weise und Trocknungsverfahren auf den P-Gehalt von Heuproben (= 1. Aufwuchs) mit insgesamt knapp 44% Erklärungsanteil für die Wertestreuung. Biobetriebe wiesen dabei mit \bar{x} 2,5 g/kg TM die geringsten P-Gehaltswerte auf, gefolgt von Nicht-ÖPUL-Betrieben mit \bar{x} 2,7 und UBAG-Betrieben mit \bar{x} 2,8 g/kg TM. Warmbelüftetes bzw. mit Luftentfeuchter behandeltes Raufutter wies durch die schonendere Behandlung gegenüber bodengetrocknetem Heu insbesondere bei den ersten beiden Aufwüchsen höhere P-Gehaltswerte auf (Tabelle 4).

Jedenfalls zeigen die umfangreichen Untersuchungen aus der österreichischen Grünlandpraxis, dass die P-Gehaltswerte des Grundfutters teilweise ein sehr niedriges Niveau aufweisen. Im Gegensatz zu den Ergebnissen aus den Exaktversuchen fehlen hier allerdings konkrete Angaben zur P-Düngung bzw. zum P-Gehalt der jeweiligen Böden. Jedoch kann davon ausgegangen werden, dass in den betreffenden Erhebungsgebieten ein den gesamtösterreichischen Verhältnissen entsprechender, niedriger P-Versorgungsgrad in den Böden vorliegt.

Schlussfolgerungen und Lösungsansätze für die Praxis

Analysen von Grünlandexaktversuchen und praxisrelevanten Feldstudien zeigen die wesentlichen Zusammenhänge und Einflussfaktoren auf den P-Gehalt von Grundfutter als zentrale Grundlage der Rationsgestaltung in österreichischen Grünland- und Milchviehbetrieben. Während die P-Gehaltswerte von Grundfutter bei gezielter und den österreichischen Düngungsnormen entsprechender P-Zufuhr durchaus annehmbare Werte erreichen, liegen diese in der Praxis auf einem teilweise sehr niedrigen Niveau. Unter diesem Gesichtspunkt werden daher nachfolgend mögliche Lösungsansätze diskutiert und die österreichischen Empfehlungsgrundlagen zur P-Versorgung des BMLFUW (2006) kritisch hinterfragt.

Bedarfsnormen und Ergänzungsfütterung

An möglichen Optionen zur Verbesserung der Situation bietet sich im Bereich der Fütterung die gezielte, bedarfsgerechte Ergänzung von Phosphor mittels Kraftfutter bzw. Mineralstoffmischungen an. Insbesondere der Einsatz von Proteinkraftfutter wie z.B. Raps- und Sojaextraktionsschrot oder Getreideschlempe trägt maßgeblich zur Phosphorversorgung bei (Gruber

und Resch, 2009). In diesem Zusammenhang gilt es allerdings auch kritisch zu hinterfragen, wie weit die für Phosphor bestehenden Bedarfsnormen dem aktuellen Wissenstand in der Ernährungsphysiologie entsprechen. So zeigen sich bei vergleichbaren Leistungsniveaus teilweise gravierende Länderunterschiede in den P-Bedarfsnormen für Milchkühe (Schlegel und Lobsiger, 2010; von Ah und Kohler, 2012). Beim Einsatz von Ergänzungsfutter ist jedenfalls zu berücksichtigen, dass damit das Nährstoffniveau im Betrieb angehoben wird und dies in Regionen mit einer aufgrund der vorliegenden Standortverhältnisse, niedrigen Ertragslage mittel- und langfristig zu Problemen im Grünlandökosystem führen kann.

Phosphordüngung und Düngungsempfehlungen

In der Grünlanddüngung bietet sich primär die ergänzende Zufuhr von mineralischem Phosphor an, wobei hier einerseits die nach Ertragslage und Nutzungsform/-frequenz orientierten Empfehlungswerte nach den Richtlinien für die sachgerechte Düngung (BMLFUW, 2006) als auch die maßnahmenbezogenen Auflagen bei Teilnahme am Agrarumweltprogramm zu berücksichtigen sind. Die im Zuge des MaB-Projektes durchgeführten Erhebungen auf rund 200 Praxisbetrieben im Testgebiet Ennstal zeigten, dass bezogen auf den gesamten eingesetzten Phosphor 23% in mineralischer Form zugeführt wurde, also in der Grünland- und Milchwirtschaft durchaus von der Möglichkeit einer Ergänzungsdüngung Gebrauch gemacht wird (Pötsch and Buchgraber, 1999). Insgesamt ist allerdings festzuhalten, dass der Absatz von mineralischen Düngemitteln in Österreich seit Jahren eine abnehmende Tendenz aufweist und in der letzten Dekade allein bei Phosphor um knapp 40% zurückgegangen ist (BMLFUW, 2012).

Bei der Teilnahme an den Maßnahmen biologische Wirtschaftsweise oder Verzicht auf ertragssteigernde Betriebsmittel ist aber grundsätzlich nur der Einsatz von weicherdigen Phosphaten (Hyperphosphat, Hyperkorn) erlaubt. Eine Ausnahme besteht jedoch für die Maßnahme Verzicht auf ertragssteigernde Betriebsmittel, sofern mittels einer Bodenuntersuchung nachgewiesen wird, dass ein pH-Wert $>6,0$ vorliegt und der P-Gehalt des Bodens der Gehaltsklasse A oder B zuzuordnen ist. In diesem Fall, darf auch eine Ergänzungsdüngung mittels leicht löslicher Phosphordünger (z.B. Superphosphat) im Ausmaß von maximal 30 kg Phosphat/ha und Jahr erfolgen. Mit dieser

Regelung wird der schlechten Löslichkeit weicher-diger Phosphate bei höheren pH-Werten Rechnung getragen. Für die biologische Landwirtschaft zeichnet sich diesbezüglich trotz immer wiederkehrenden Anfragen aus der Praxis aber keine derartige Lösung ab, obwohl gerade für diese Form der Bewirtschaftung die Grundfutterqualität eine ganz besondere Rolle spielt. Neben den im Handel erhältlichen Phosphordüngern bietet sich zunehmend auch der Einsatz von Pflanzenaschen aus der Verbrennung in Bioheizwerken auf Grünland- und Ackerflächen an (Schiemanz, 2011). Allerdings weisen die meisten Pflanzenaschen je nach Anlage und eingesetztem Ausgangsmaterial nur relativ niedrige P-Werte meist aber sehr hohe pH-Werte auf, die einen Einsatz nur auf sehr sauren Standorten sinnvoll erscheinen lassen. Wie weit und unter welchen Bedingungen Phosphor aus Recyclingprozessen zukünftig als Düngernährstoff zur Verfügung steht, ist derzeit Gegenstand zahlreicher Projekte und Studien (Gronegger, 2011; Petzet and Cornel, 2013).

Die Empfehlungen zur P-Düngung von Grünland wurden in den vergangenen 20 Jahren schrittweise angehoben und liegen heute je nach Nutzungsart, Nutzungstyp, Nutzungsfrequenz und Ertragslage bei Vorliegen der Bodengehaltsklasse C zwischen 10 und 120 kg P_2O_5 /ha und Jahr. Die P-Empfehlungen basieren auf Entzugszahlen, wobei je 100 kg Trockenmasse mit einem P_2O_5 -Entzug von 0,7 bis 1,0 kg gerechnet wird. Dieser Entzug kann in der Praxis aufgrund der Nachlieferung aus dem Boden aber auch etwas höher sein. Des Weiteren wird darauf hingewiesen, dass die anfallenden Wirtschaftsdünger wie Stallmist, Jauche, Stallmistkompost und Gülle im Grünland die Hauptquellen für eine kontinuierliche Versorgung der Böden und Pflanzen mit organischer Substanz, Hauptnährstoffen (und damit auch Phosphor) sowie Spurenelementen darstellen - eine mineralische P-Düngung wird nur dann empfohlen, wenn:

a) eine Anwendung von Wirtschaftsdüngern nicht möglich ist, b) die P-Gehaltswerte im Boden die Gehaltsklasse C unterschreiten oder c) der Ausgleich eines ungünstigen P/K-Verhältnisses im Wirtschaftsdünger (z.B. bei Jauche) notwendig erscheint.

Bodenphosphoranalysen, Gehaltsklassen- und Zuschlagssystem

Im Zusammenhang mit der Phosphorproblematik im Grünland wird auch immer wieder über die Analysemethoden zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphors im Boden sowie über das bestehende Gehaltsklassensystem in den aktuellen Düngungsrichtlinien diskutiert. Die Bodenuntersuchung stellt gemäß dieser Richtlinie ein wichtiges Instrument für die Erstellung einer Düngeempfehlung und damit für die Steuerung der Nährstoffzufuhr dar. Die Bestimmung des „pflanzenverfügbaren“ Gehaltes an Phosphor erfolgt heute nur mehr nach der Calcium-Acetat-Lactat

(CAL)-Methode (ÖNORM L 1087), wobei dieser Anteil im Vergleich zum organisch gebundenen Phosphor ein sehr geringes Ausmaß einnimmt. Die ermittelten P_{CAL} -Werte werden einem fünfteiligen Gehaltsklassenschema zugeordnet. Die Gehaltsklassen A und B blieben seit 1991 unverändert, nur die Gehaltsklasse C (ausreichend) und D (hoch) wurden 1996 angepasst (Pötsch und Baumgarten, 2010). Die Einengung der Gehaltsklasse C und die damit verbundene Ausweitung der Gehaltsklasse D bewirkte eine Verschiebung der Beurteilungshäufigkeit zwischen diesen beiden Klassen, ab diesem Zeitpunkt wurden also im Verhältnis mehr Böden als hoch mit Phosphor versorgt beurteilt. Nur in den Gehaltsklassen A, B und C darf heute neben dem Wirtschaftsdünger auch noch eine mineralische P-Ergänzung erfolgen (BMLFUW, 2006). Bis 1996 war sogar noch bei Vorliegen der Gehaltsklasse D eine P-Ergänzung zulässig (BMLFUW, 1989).

Das Gehaltsklassensystem dient aber nicht nur einer Klassifizierung der P-Versorgung von Böden, sondern bietet auch die Möglichkeit von Zuschlägen im Rahmen der Düngungsplanung. Bei Vorliegen der Gehaltsklasse A können im Grünland zusätzlich zur bestehenden P-Empfehlung (auf Basis der Gehaltsstufe C = ausreichend versorgt) 40% aufgeschlagen werden, bei Vorliegen der Gehaltsstufe B sind es immerhin noch 20%. Ein Blick in die Praxis zeigt jedoch, dass dieses Zuschlagssystem entweder nicht ausreichend bekannt ist oder zumindest nur wenig genutzt wird - diese Tatsache wird auch seitens der pflanzenbaulichen Beratung bestätigt und bietet durchaus einen guten Handlungsspielraum zur Verbesserung der Situation.

Mehrere Autoren verweisen auf die Notwendigkeit zur Verbesserung und Erhöhung der Phosphoreffizienz im Pflanzenbau und Gesamtbetrieb. Hier geht es beispielsweise um die züchterische Behandlung von Pflanzen hinsichtlich deren Wurzelmorphologie und -architektur zur Effizienzerhöhung bei niedrigen P-Gehalten im Boden. Neben einigen Getreidearten konnten diesbezüglich auch bei Weißklee bereits konkrete Erfolge erzielt werden. Ein Thema ist auch die verbesserte Nutzung des organischen Phosphors, wobei hier neben spezifischen Bewirtschaftungsmaßnahmen auch der Einsatz von Pflanzen bzw. Mikroorganismen, welche zu einer verstärkten Mineralisation führen, genannt werden. Für intensiv bewirtschaftete und nährstoffmäßig gut versorgte Agrarökosysteme hingegen, zielt die Verbesserung der Effizienz darauf ab, durch höhere Erträge und Phosphorentzüge das Potenzial für P-Verluste in die Umwelt zu reduzieren (Richardson *et al.*, 2011; Simpson *et al.*, 2011).

Literatur

Augusto, L., Delerue, F., Gallet-Budynek, A., Achat, D.L., 2013: Global assessment of limitation to symbiotic nitrogen fixation by phosphorus availability in terrestrial ecosystems using a meta-analysis approach. *Global Biogeochemical Cycles*, 27, doi: 10.1002/gbc.20069.

- BAL, 2000: Das Grünland im Berggebiet Österreichs. MAB-Forschungsbericht „Landschaft und Landwirtschaft im Wandel“. BAL Gumpenstein, 195 S.
- Baumgarten, A., Dersch, G., Hösch, J., Spiegel, H., Freudenschuss, A., Strauss, P., 2011: Bodenschutz durch umweltgerechte Landwirtschaft. In: Wien, A. (Ed.). Hrsg.: AGES Wien, 17 S.
- BMLFUW, 1989: Richtlinien für die sachgerechte Düngung, 3. Auflage. Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, Wien, 37 S.
- BMLFUW, 2006: Richtlinien für die sachgerechte Düngung. Hrsg.: Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, 6. Auflage, Wien, 80 S.
- BMLFUW, 2012: Grüner Bericht 2012 - Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 336 S.
- Cooper, J., Lombardi, R., Boardman, D., Carliell-Marquet, C., 2011: The future distribution and production of global phosphate rock reserves. Resources, conservation and recycling 57, 78-86.
- Cordell, D., Drangert, J.-O., White, S., 2009: The story of phosphorus: Global food security and food for thought. Global environmental change 19, 292-305.
- Diepolder, M., Raschacher, S., 2011. Bei Phosphor dranbleiben. dlz, 64-69.
- George, T., Fransson, A.-M., Hammond, J., White, P., 2011: Phosphorus Nutrition: Rhizosphere Processes, Plant Response and Adaptations. In: Bünemann, E., Oberson, A., Frossard, E. (Eds.), Phosphorus in Action. Springer Berlin Heidelberg, 245-271.
- GfE, 2001: Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 8: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. DLG-Verlag, Frankfurt/Main, p. 135.
- Gronegger, I., 2011: Von der Düngung zum Phosphor-Recycling. Wasserwirtschaft Wassertechnik, 42.
- Gruber, L., Resch, R., 2009: Mineralstoffversorgung von Milchkühen aus dem Grund- und Kraftfutter. Der Fortschrittliche Landwirt Sonderbeilage 10/2009, 8 S.
- Hahn, C., Prasuhn, V., Stamm, C., Schulin, R., 2012: Phosphorus losses in runoff from manured grassland of different soil P status at two rainfall intensities. Agriculture, Ecosystems & Environment 153, 65-74.
- Heinzlmaier, F., Dersch, G., Baumgarten, A., Gerzabek, M., 2009: Entwicklung der Grundnährstoffgehalte in Böden Österreichs. Die Bodenkultur 17, 2; 17-27.
- Keyzer, M., 2010: Towards a closed phosphorus cycle. De Economist 158, 411-425.
- Lewis Jr, W.M., Wurtsbaugh, W.A., Paerl, H.W., 2011: Rationale for control of anthropogenic nitrogen and phosphorus to reduce eutrophication of inland waters. Environmental science & technology 45, 10300-10305.
- Liebisch, F., 2011: Plant and soil indicators to assess the phosphorus nutrition status of agricultural grasslands. Diss., Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich, Nr. 19573.
- Lüscher, A., Mueller-Harvey, I., Soussana, J.F., Rees, R.M., Peyraud, J.L., 2013: Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe. In: Helgadottir, A., Hopkins, A. (Eds.), 17th EGF Symposium "The role of grasslands in a green future - threats and perspectives in less favoured areas". Grassland Science in Europe, Akureyri, Island, 3-29.
- Maathuis, F.J.M., 2009: Physiological functions of mineral macronutrients. Current Opinion in Plant Biology 12, 250-258.
- Mackay, A., Lambert, M., 2011: Long-term changes in soil fertility and pasture production under no, low and high phosphorus fertiliser inputs. New Zealand Grassland Conference, Gisborne. New Zealand Grassland Association, 37-42.
- Neset, T.S.S., Cordell, D., 2012: Global phosphorus scarcity: identifying synergies for a sustainable future. Journal of the Science of Food and Agriculture 92, 2-6.
- Ozanne, P., 1980: Phosphate nutrition of plants-a general treatise. Khasawneh, FE; Sample, EC; Kamprath, EJ: The role of phosphorus in agriculture., 559-589.
- Petzet, S., Cornel, P., 2013: Phosphorus Recovery from Wastewater. Waste As a Resource 37, 110.
- Pirhofer-Walzl, K., Sjøgaard, K., Høgh-Jensen, H., Eriksen, J., Sanderson, M., Rasmussen, J., 2011. Forage herbs improve mineral composition of grassland herbage. Grass and Forage Science 66, 415-423.
- Pötsch, E.M., Baumgarten, A., 2010: Phosphorproblematik im Grünland. Der fortschrittliche Landwirt Heft 18, 30-31.
- Pötsch, E.M., Buchgraber, K., 1999: Ökologische Milchproduktion im Alpenländischen Grünland. DLG-Grünlandtagung, 99: Perspektiven einer umweltgerechten und effektiven Milchproduktion auf dem Grünland. DLG, Betzigau/Allgäu, 75-80.
- Pötsch, E.M., Resch, R., 2005: Einfluss unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen auf den Nährstoffgehalt von Grünlandfutter. 32. Viehwirtschaftliche Fachtagung. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 1-14.
- Resch, R., 2010: Qualitätsbewertung von österreichischen Grassilagen und Silomais aus Praxisbetrieben. Abschlussbericht WT 3561 (DaFNE 100535). LFZ Raumberg-Gumpenstein, 86 S.
- Resch, R., 2013a: Einfluss des Konservierungsmanagements auf die Qualität von Raufutter österreichischer Rinderbetriebe - Ergebnisse aus LK Heuprojekten. Bericht zur 40. Viehwirtschaftlichen Fachtagung, 57-72.
- Resch, R., 2013b: Einfluss des Managements auf die Raufutterqualität von Praxisbetrieben. Abschlussbericht der wissenschaftlichen Tätigkeit Nr. 3603 (100842). LFZ Raumberg-Gumpenstein, 25 S.
- Resch, R., Adler, A., Frank, P., Pöllinger, A., Peratoner, G., Tiefenthaller, F., Meusburger, C., Wiedner, G., Buchgraber, K., 2011: Top-Grassilage durch optimale Milchsäuregärung. Der fortschrittliche Landwirt ÖAG-Sonderbeilage 7/2011, 11 S.
- Resch, R., Buchgraber, K., Pötsch, E.M., Gruber, L., Guggenberger, T., Wiedner, G., 2009: Mineralstoffe machen das Grund- und Kraftfutter wertvoll. Der fortschrittliche Landwirt ÖAG Sonderbeilage 8/2009, 8 S.
- Resch, R., Guggenberger, T., Wiedner, G., Kasal, A., Wurm, K., Gruber, L., Ringdorfer, F., Buchgraber, K., 2006: Futterwerttabellen für das Grundfutter im Alpenraum. Der fortschrittliche Landwirt 24, 20 S.
- Richardson, A.E., Lynch, J.P., Ryan, P.R., Delhaize, E., Smith, F.A., Smith, S.E., Harvey, P.R., Ryan, M.H., Veneklaas, E.J., Lambers, H., 2011: Plant and microbial strategies to improve the phosphorus efficiency of agriculture. Plant and Soil 349, 121-156.
- Roscher, C., Thein, S., Weigelt, A., Temperton, V.M., Buchmann, N., Schulze, E.-D., 2011: N₂-fixation and performance of 12 legume species in a 6-year grassland biodiversity experiment. Plant and Soil 341, 333-348.
- Schechtner, G., 1993: Bedarfsgerechte Grünlanddüngung mit Phosphor, Kalium, Nebennährstoffen und Spurenelementen. Veröffentlichungen Heft 19. BAL Gumpenstein, 181 S.
- Schiemenz, K., 2011: Nutzung von Biomasseaschen für die Phosphor-Versorgung im Pflanzenbau. Universität Rostock, 167 S.
- Schilling, C., Zessner, M., Kovacs, A., Hochedlinger, G., Windhofer, G., Gabriel, O., Thaler, S., Parajka, J., Natho, S., 2011: Stickstoff- und Phosphorbelastungen der Fließgewässer Österreichs und Möglichkeiten zu deren Reduktion. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 63, 105-116.
- Schlegel, P., Lobsiger, M., 2010: Bedarf an Phosphor unter die Lupe nehmen. BauernZeitung, Schweiz, 19.
- Simpson, R.J., Oberson, A., Culvenor, R.A., Ryan, M.H., Veneklaas, E.J., Lambers, H., Lynch, J.P., Ryan, P.R., Delhaize, E., Smith, F.A., 2011: Strategies and agronomic interventions to improve the phosphorus-use efficiency of farming systems. Plant and Soil 349, 89-120.
- Smit, A.L., Bindraban, P.S., Schröder, J., Conijn, J., Van Der Meer, H., 2009: Phosphorus in agriculture: global resources, trends and developments. Report to the Steering Committee Technology Assessment of the Ministry of Agriculture, The Netherlands, Wageningen.
- Suter, M., Connolly, J., Finn, J.A., Helgadottir, Á., Golinski, P., Kirwan, L., Loges, R., Kadziuliene, Z., Sebastião, M.T., Taube, F., Lüscher, A., 2013: Grass-legume mixtures enhance yield of total nitrogen and uptake from symbiotic N₂ fixation: Evidence from a three-year multisite experiment. In: Helgadottir, A., Hopkins, A. (Eds.), 17th EGF Symposium "The role of grasslands in a green future - threats and perspectives in less favoured areas". Grassland Science in Europe, Akureyri, Island, 76-78.
- von Ah, E., Kohler, S., 2012: Deckung des Mineralstoffbedarfs bei Kühen - Beitrag des Wiesenfutters. Ostschweizer AGFF-Tagung, Schweigersholz, 22.08.2012.
- Weikard, H.-P., Seyhan, D., 2009: Distribution of phosphorus resources between rich and poor countries: The effect of recycling. Ecological Economics 68, 1749-1755.
- Wrage, N., Chapuis-Lardy, L., Isselstein, J., 2010: Phosphorus, Plant Biodiversity and Climate Change. In: Lichtfouse, E. (Ed.), Sociology, Organic Farming, Climate Change and Soil Science. Springer Netherlands, pp. 147-169.