

Phosphorversorgung und P-Kreisläufe auf österreichischen Bio-Grünlandbetrieben

Stefan Hörtenhuber^{1,2}, Rainer Weißhaidinger¹, Jürgen Friedel²,
Thomas Lindenthal^{1,2} und Werner Zollitsch²

Zusammenfassung

Im folgenden Beitrag wird der Frage nachgegangen, wie der Versorgungsstatus für Phosphor (P) auf österreichischen Bio-Grünlandbetrieben ist, und welche Konsequenzen sich hinsichtlich einer nachhaltigen Bewirtschaftung für Boden, Pflanzen, Tiere und Umwelt ergeben. Als Resultat weisen österreichische Bio-Grünlandbetriebe vorwiegend ausgeglichene (zumeist geringfügig negative, aber tolerierbare) P-Saldi auf, während konventionelle Grünlandbetriebe etwa gleich oft ausgeglichen bzw. leicht überschüssig bilanzieren. Beim Verbrauch von Phosphat aus Lagerstätten sowie beim Eutrophierungspotenzial zeigen Biobetriebe signifikante Vorteile gegenüber konventionellen Betrieben, wenngleich letzterer Indikator vor allem durch höhere potenzielle Stickstofffrachten und weniger durch die höheren potenziellen P-Frachten bestimmt wird. Trotz typischerweise etwas geringeren P-Gehalten biologischer Futtermittel ist keine generelle Unterversorgung der Tiere feststellbar.

Summary

The aim of this contribution was to analyse Austrian grassland-based organic dairy production systems concerning their phosphorus (P) status and the consequences this may have for a sustainable management concerning soil, plants, livestock and the environment. As a result, Austrian organic grassland farms mainly show balanced P inputs and outputs (usually slightly negative, but tolerable), while the P-balance of conventional grassland farms is usually close to zero or slightly positive. Organic farms possess significant advantages regarding their consumption of fossil phosphates and their eutrophication potential as compared to conventional farms; however, the latter is primarily determined by the higher potential nitrogen loads observed for conventional farms and less by higher P loads. Despite the typically lower P-content in organic feedstuffs, no general undersupply of livestock can be observed.

Einleitung - Grundlagen zu Phosphorbedarf für Pflanzen und Tiere sowie zu P-Vorräten und P-Kreislauf in Bio-Grünland (und Bio-Ackerland)

Das Makroelement Phosphor (P) ist ein wichtiger Baustoff aller Organismen (z.B. für Zucker in Pflanzen und für Knochengewebe) und bedeutender Wirkstoff für die pflanzliche und tierische Stoffwechselsteuerung, insbesondere die Energieübertragung. Für Pflanzen hat die Phosphorversorgung Bedeutung für Keimung, Wurzelbildung, Bestockung, Blüte und Reifung oder auch für die Stickstoffbindung von Leguminosen (Mengel, 1991). Phosphor ist jedoch in konzentrierter Form eine stark limitierte Ressource, die zudem hauptverantwortlich für die Eutrophierung von (Oberflächen-) Gewässern ist (Kummert und Stumm, 1989;

Götz und Zethner, 1996; Del Campillo *et al.*, 1999; Leinweber *et al.*, 1999; Frede und Dabbert, 1999; Wang und Wang, 2009; BMLFUW, 2010). Außerdem übt eine Überversorgung der Böden mit Phosphor potenziell negative Effekte auf die Biodiversität aus (Wassen *et al.*, 2005).

Deshalb bedarf es einer angepassten P-Versorgung aller Bedarfsstellen unter Einhaltung eines betrieblich bzw. regional möglichst geschlossenen Kreislaufs. Einerseits ist der betriebliche Kreislauf über den Verkauf pflanzlicher und tierischer Produkte nicht geschlossen, andererseits zeigt er sich auch wegen teils unvermeidlicher und ungewollter Verluste an die Umwelt (v.a. Gewässer) offen. Aus gesellschaftlicher Sicht könnte der den Betriebskreislauf verlassende Phosphor in Form von kommunalem Klärschlamm sowie von Haushaltsabfällen wieder rückgeführt werden; dies ist allerdings aufgrund der Problematik von Schwerme-

¹ Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) Österreich, Doblhoffgasse 7/10, A-1010 WIEN

² BOKU - Universität für Bodenkultur, Gregor Mendel Straße 33, A-1180 WIEN

* Ansprechpartner: Dr. Stefan HÖRTENHUBER, stefan.hoertenhuber@boku.ac.at



tallen, chemischen Rückständen oder unerwünschten organischen Verbindungen derzeit nur eingeschränkt der Fall. Für die Ausbringung von Klärschlamm gibt es nach Bundesländern regional verschiedene und nach Produktionsrichtlinien Regelungen. Für Biobetriebe das Ausbringen von Klärschlamm bzw. daraus gewonnenen Produkten gänzlich verboten. Die Rückführung von Nährstoffen wie P über Komposte von kommunalen Haushaltsabfällen ist für „Bio“ mit hohen Qualitätsanforderungen erlaubt (Komposte der Qualitätsklasse „A+“; BIO AUSTRIA, 2013) aber in Grünlandgebieten bislang nur eingeschränkt in der Praxis verbreitet.

Der Einsatz weicherdiger (schwer löslicher) Rohphosphate stellt eine in den Bio-Richtlinien erlaubte Möglichkeit dar, Phosphor über Mineraldünger auf die Bio-Flächen zu bringen. Alle anderen P-Mineraldünger wie z.B. (Triple-) Superphosphat sind im Biolandbau nicht erlaubt. Hinsichtlich des Einsatzes von Rohphosphaten gibt es neben teilweise hohen Cadmium-Gehalten zunehmend Bedenken bezüglich hoher Urangehalte. Die Uranbelastung der Rohphosphate hängt von deren Herkunft ab, wobei die häufigen sedimentären Lagerstätten höhere Urangehalte aufweisen als jene aus magmatischen Lagerstätten (Dienemann und Utermann, 2013). Urangehalte in den Düngemitteln können auch durch die Art der Verarbeitung und die Aufschlussmethode beeinflusst werden (Baturin & Kochenov, 2001). Zudem ist das P in Rohphosphat unter praxisüblichen Bedingungen (pH-Wert >6 und geringe Durchfeuchtung) häufig nur schwer pflanzenverfügbar (Leithold, 2002; BMLFUW, 2006) und zehrt jedenfalls an den endlichen Phosphorreserven. Die Weltvorräte an Phosphat aus Lagerstätten werden unter aktuellem Verbrauch häufig auf Zeiträume von etwa 60 bis 130 Jahre geschätzt (Steen, 1998; Smil, 2000; Gunther, 2005; Scheffer und Schachtschabel, 2010). Insofern wird auch von einem „Peak-Phosphorus“ gesprochen, der in bestimmten Studien (Modellierungen nach der Methode der sog. Hubbert-Kurve) bereits in wenigen Jahrzehnten erwartet wird; aktuelle dynamische Modelle gehen dagegen von längeren Zeiträumen, aber zukünftig ökonomisch limitierter Verfügbarkeit aus (Scholz *et al.*, 2013).

Demgegenüber stehen in Böden meist relativ große Vorräte an Gesamtposphor (P_{TOT}) zur Verfügung, die selbst bei negativen P-Bilanzen theoretisch über deutlich längere Zeitdauer eine Bewirtschaftung ermöglichen, als die Zeitspanne für verfügbare Vorräte aus Lagerstätten erwarten lässt. Hier stellt sich allerdings die Frage nach der Verfügbarkeit dieses zumeist gebundenen und mitunter in tiefen Bodenschichten gespeicherten Phosphors. Untersuchungen weisen darauf hin, dass 75 bis 90% der österreichischen Grünlandflächen mit pflanzenverfügbarem Phosphor „unterversorgt“ ist (gemäß der Calcium-Acetat-Lactat (CAL)-Methode (ÖNORM L 1087) in den Gehaltsklassen A und B), was verstärkt auch auf biologisch

bewirtschaftete Flächen zutrifft (Lindenthal, 2000; Heinzlmaier *et al.*, 2008, 2009; Huemer *et al.*, 2012). In einer Evaluierungsstudie zur ÖPUL-Maßnahme „Biologische Landwirtschaft“ wurden von Kranzler *et al.* (2012) auch Grünlandflächen analysiert (der Fokus der Untersuchung lag im Ackerbau). Die P_{CAL} -Gehalte von Bio-Grünlandparzellen rangierten zwischen 10,0 und 113,0 mg P/kg Feinboden (FB). Zwar liegt der Mittelwert (37 mg P/kg FB) in der Versorgungsklasse B, ein großer Teil der Proben kam jedoch in der Versorgungsklasse A zu liegen. Eine groß angelegte Untersuchung in Oberösterreich von Dersch *et al.* (2013; 3.610 Proben für konventionelles Grünland, sowie je nach Dauer seit der Umstellung 615 bzw. 1.035 Biogrünland-Proben) zeigte, dass die P-Gehalte im Mittel als niedrig (Stufe B, 27-46 mg P/kg FB) einzustufen sind. Im Vergleich zwischen konventionell und biologisch bewirtschaftetem Grünland sind die P_{CAL} -Gehalte bei Bio bei allgemein niedriger P-Versorgung der Grünlandflächen geringer - je nach Hauptproduktionsgebiet im Mittel zwischen -1 und -9 mg P/kg FB.

Ein mit der geringeren P-Versorgung einhergehender, relevanter Ertragsrückgang (bezogen auf das Ertragsniveau im Biolandbau) konnte für Flächen, die seit einigen Jahren biologisch bewirtschaftet wurden, im Ackerbau wie auch im Grünland nicht gefunden werden (Lindenthal, 2000). Studien verweisen darauf, dass die Einstufung nach der CAL-Methode die verfügbaren Fraktionen des organischen P nicht erfasst (Tiessen *et al.*, 1983; Görlitz, 1985; Sharpley, 1985; Steffens *et al.*, 2005, 2010), und dass deren Ergebnisse in Abhängigkeit von der Witterung bei der Probenahme mitunter deutlich schwanken (siehe Lindenthal, 2000). Diesbezüglich regt Bohner (2010) eine Überprüfung der aktuell gültigen Gehaltsklassen-Einstufung für den P_{CAL} -Gehalt von Grünlandböden - besonders hinsichtlich einer Grundlage für Düngempfehlungen - an. Haas (2006) zufolge führen u.a. die anhaltenden Diskussionen zur „richtigen“ P-Analysemethode und die mehrmals nach unten korrigierten Versorgungsklassengrenzen in den 1990ern für Deutschland zu einem Gefühl der Sicherheit unter biologisch wirtschaftenden Betriebsleitern. Dabei ist laut Haas (2006) jedoch zu beachten, dass Böden auf gewissen Standorten mit geringeren P-Mobilisierungsvermögen und/oder geringen P_{TOT} -Gehalte zumindest mittelfristig eine P-Zufuhr benötigen (welche in organischer Form besser als aus Rohphosphat verfügbar ist; Lindenthal, 2000).

Zahlreiche Studien zeigen, dass einige Jahre nach der Umstellung auf biologische Landwirtschaft ein Rückgang an P_{CAL} im Grün- und Ackerland auftreten kann (Leisen, 2013; Gosling und Shepard, 2005). Durch eine unter konventioneller Bewirtschaftung vor der Umstellung erfolgte P-Akkumulation im Boden (u.a. Tunney *et al.*, 2003) werden negative P-Saldi oft erst nach einigen Jahren bis ein, zwei Jahrzehnten ersichtlich.

Wenn auch Erträge bei geringerer P-Versorgung nicht gleich einbrechen, so weisen biologische Futtermittel vom Grünland unter österreichischen Bedingungen zumeist etwas geringere P-Gehalte auf (u.a. Resch *et al.*, 2010; Beispiel Grünlandsilage). Die Abweichungen fallen aber geringer als jene der leicht löslichen P-Fraktion im Boden aus (siehe auch Kapitel 2.4 zu Milchkühen). Für Nordwestdeutschland zeigen sich jedoch nach Leisen (2013) auf Basis fünfzehnjähriger Untersuchungen bei rückläufiger P-Versorgung der Flächen vorwiegend konstante P-Versorgungsgrade in Bio-Kleegras- und -Grünlandsilagen.

Es ist zu beachten, dass bei den zumeist organisch gebundenen P-Vorräten im Oberboden (20-80%; Steffens *et al.*, 2010) deutliche Varianzen auftreten können: So reichen bspw. die P-Vorräte im Oberboden oberösterreichischer Grünlandflächen (0-20cm) typischerweise von 840 bis 2.560 kg P_{TOT} je ha (AGES, 2010). Eine nachhaltige Produktivität trotz eines geringen P_{CAL} -Gehalts hängt von der Mineralisierung aus dem P_{TOT} -Pool des Bodens ab. Die Analyse des P_{TOT} -Gehaltes sollte daher bei Bodenuntersuchungen inkludiert werden (Lindenthal 2000), was mittlerweile auch in den Routinebodenanalysen für Biobetriebe in Österreich berücksichtigt wird. Bestimmte Kulturen, Zwischenfrüchte, Fruchtfolgen und Bewirtschaftungsmaßnahmen sowie im Grünland insbesondere die organische Düngung oder das Vermeiden von Bodenverdichtungen bewirken über verbesserte Bodeneigenschaften eine „aktive Nährstoffmobilisierung“. Dazu zählen ein hoher Humusgehalt und gute Humusqualität, ein pH-Wert im optimalen Bereich, ein gut durchwurzelbarer Boden, eine hohe Mykorrhizierung der Pflanzen sowie eine hohe Mikroorganismenaktivität und generell ein aktives Bodenleben („Lebendverbauung“). Damit zeigt sich einerseits ein enger Zusammenhang zwischen P-Verfügbarkeit und organischer Düngung bzw. Humusaufbau (vgl. Oberson *et al.*, 1996; Mäder *et al.*, 2002; Fließbach *et al.*, 2007). Andererseits sind Wirtschaftsweisen für die P-Verfügbarkeit im Boden förderlich, die Bodenerosion durch Wasser (und Wind) verringern bzw. vermeiden.

Im Ackerbau geschieht dies durch z.B. geringere Anteile an Hackfrüchten, oder durch Begrünungen und Untersaaten. So entspricht ein Bodenabtrag von 20 t einem durchschnittlichen Verlust von ca. 15 kg P. In ähnlicher Weise gelten diese Zusammenhänge auch für Grünlandbewirtschaftung, wo biologisch bewirtschaftete Flächen bei vielfältigeren Pflanzengesellschaften mit ausdifferenziertem Wurzelwerk besser vor Bodenerosion schützen und gleichzeitig den Wasserrückhalt bei Starkregen verbessern und somit den Abfluss des Wassers an der Bodenoberfläche reduzieren (BFW, 2013; BFW, 2005).

Schafft eine geringere bzw. eine standortgemäße abgestufte Nutzungsintensität biologisch bewirtschafteten Grünlands im Vergleich zu konventionellen

Flächen einen höheren (oberflächlichen) Pflanzenbedeckungsgrad, kann von weiterer Erosionsminderung ausgegangen werden (siehe BFW, 2013).

Die folgenden Kapitel gehen der Frage nach der Nachhaltigkeit biologischer Grünlandwirtschaft im Spannungsfeld zwischen P-Bedarfsdeckung von Pflanzen und Tieren einerseits sowie eines effizienten Ressourceneinsatzes und ökologischen Aspekten andererseits nach. Dies geschieht auf Basis von Phosphorbilanzen von Praxis-Milchviehbetrieben und davon abgeleiteten Indikatoren der Ökobilanz in einer Lebenszyklusanalyse (siehe Hörtenhuber *et al.*, 2013). Zusätzlich wird der P-Bedarf laktierender Milchkühe mit dem Angebot aus (Bio-) Futter verglichen.

Phosphor-Flüsse und Nachhaltigkeitskriterien: Fallbeispiele und Literaturbefunde

Eine umfassende Nachhaltigkeitsbewertung von 31 österreichischen Praxis-Milchviehbetrieben (davon sieben Biobetriebe) beschäftigte sich im Rahmen der ökologischen Indikatoren auch mit dem Element Phosphor (Hörtenhuber *et al.*, 2013). Von P betroffene Indikatoren zeigen größtenteils signifikante Unterschiede zwischen Betrieben mit konventioneller und biologischer Bewirtschaftung. Die Stichprobe der detailliert erhobenen Betriebe ist zwar relativ klein, die Ergebnisse decken sich allerdings sehr gut mit den wenigen Literaturbefunden. Vierzehn der 31 Betriebe, davon fünf Biobetriebe, verfügen ausschließlich über Grünland; diese liegen in den Produktionssystemen „Alpin“ (hoch-/alpine Milchviehbetriebe), „Berg-Intensiv“ (Grünlandbetriebe im Berggebiet mit verhältnismäßig hohen tierischen Leistungen, hoher Flächenproduktivität und hohem Kraftfutterimport) und „Hügel-Weide“ (Grünlandbetriebe im Berggebiet bzw. grünlanddominierte Milchviehbetriebe mit Ackerflächen in Übergangsregionen mit überdurchschnittlich hohen Weideanteilen). Weitere sechs Betriebe können als „Grünland-dominiert“ eingestuft werden und befinden sich in den Produktionssystemen „Hügel-Acker“ (fünf grünlanddominierte Milchviehbetriebe mit Ackerflächen in Übergangsregionen, davon ein Biobetrieb) sowie „Hügel-Weide“ (ein Biobetrieb). Daneben wurden in Hörtenhuber *et al.* (2013) elf konventionelle Gunstlagenbetriebe in den Produktionssystemen „Gunstlage-Gemischt“ (Gemischtbetriebe in der Gunstlage mit einem weiteren tierischen Betriebszweig neben der Milchproduktion) und „Gunstlage-Spezialisiert“ (spezialisierte Milchviehbetriebe in der Gunstlage, teilweise mit Marktfruchtanbau, aber keinem weiteren tierischen Betriebszweig) untersucht; diese werden aufgrund der nicht vergleichbaren Standortbedingungen sowie des durchschnittlichen Ackerflächenanteils von 50% nur am Beispiel des Verbrauchs an mineralischem Phosphat weiter betrachtet. Die Ergebnisse für die

Praxisbetriebe (Hörtenhuber *et al.*, 2013) werden im Folgenden Ergebnissen der Literatur nach verschiedenen Indikatoren gegenübergestellt.

Verbrauch an mineralischem Phosphat

Im Gegensatz zu drei von 13 konventionellen grünlanddominierten Milchviehbetrieben beanspruchen die sieben analysierten Biobetriebe keine Lagerstätten-Phosphatressourcen zum Düngen, auch keine weicherdigen Rohphosphate (siehe *Abbildung 1*). Ein Biobetrieb aus „Hügel-Weide“ mit Ackerflächen verwendete in geringem Umfang Algenkalk (ca. 50 kg je ha und Jahr mit 18% Phosphat (P_2O_5)). Alle sieben Biobetriebe setzten jedoch - in geringerem Umfang als bei den 13 konventionellen Vergleichsbetrieben - phosphorhaltige Mineralstoffergänzungsfuttermittel ein. Etwas höhere Mengen an (Roh-) Phosphat je ha landwirtschaftlicher Fläche (LF) können potenziell dann ins Spiel kommen, wenn zur Produktion für zugekaufte Bio-Konzentratfuttermittel ausschließlich Rohphosphat als Düngemittel verwendet wurde (ohne P aus Kompost oder anderen Quellen; siehe fliederfarbener Balken in *Abbildung 1* mit Fragezeichen aufgrund des unbekanntenen, nicht quantifizierbaren P_2O_5 -Einsatzes). Der P-Reinährstoffbedarf wurde hierfür sowohl für „Bio“ als auch „Konventionell“ über den Nährstoffentzug angenommen.

Konventionelle Betriebe zeigen je ha hofeigene LF signifikant höhere P_2O_5 -Importe mit zugekauftem Konzentratfutter (*Abbildung 1*). Neben der höheren Menge an zugekauftem Konzentratfutter spielt diesbezüglich die Zusammensetzung eine wesentliche Rolle. Geringe P_2O_5 -Importe zeigen die drei konventionellen grünlanddominierten Betriebe mit hofeigener Ackerfläche, die jedoch P_2O_5 -Bedarf aus hofeigener

mineralischer Düngung aufweisen. Bei der Betrachtung des P_2O_5 -Verbrauchs je ha Gesamtbetriebsfläche (inklusive Flächen für zugekaufte Futtermittel) wird die Differenz zwischen „Bio“ und „Konventionell“ etwas verringert, bleibt durchschnittlich aber bei einem Faktor 2 signifikant bestehen. Die Kalkulation des Ressourcenverbrauchs je kg Milch über den Lebenszyklus (inkl. Aufzucht und exkl. Koppelprodukt Fleisch) gleicht aufgrund der geringeren Milchleistungen auf Bio-Betrieben den Unterschied zwischen den Wirtschaftsweisen teilweise aus, der P_2O_5 -Einsatz bleibt aber dennoch bei „Bio“ mit dem halben durchschnittlichen Verbrauchswert signifikant geringer.

Der P_2O_5 -Verbrauch zeigt eine Reihe von signifikanten Korrelationen mit anderen Indikatoren und Betriebsmerkmalen (siehe Hörtenhuber *et al.*, 2013): mit dem Flächenbedarf zur Erzeugung eines kg ECM (energiekorrigierte Milch) sowie dem Konzentratfuttermittelaufwand, Primärenergiebedarf, Versauerungs-, Eutrophierungs- und Treibhausgaspotenzial. Zum Teil beruhen diese Korrelationen jedoch nicht auf direkten Zusammenhängen, sondern sind von anderen Parametern (mit) beeinflusst. Eine weitere Korrelation lässt sich mit dem Anteil an „potenziellen Biodiversitätsflächen“ finden (Hörtenhuber *et al.*, 2013).

Biobetriebe produzieren folglich zumindest kurzfristig ressourcenschonender als vergleichbare konventionelle Betriebe. An diesen Befund schließt sich aber unmittelbar die Frage an, wie sich die Bilanzen darstellen und sich die P-Bodenvorräte langfristig entwickeln werden.

Phosphorbilanzen hofeigener Flächen und P-Deckung des Pflanzenbedarfs

Im Durchschnitt weisen die 20 grünlanddominierten Betriebe sehr ausgeglichene P_2O_5 -Düngung in Relation

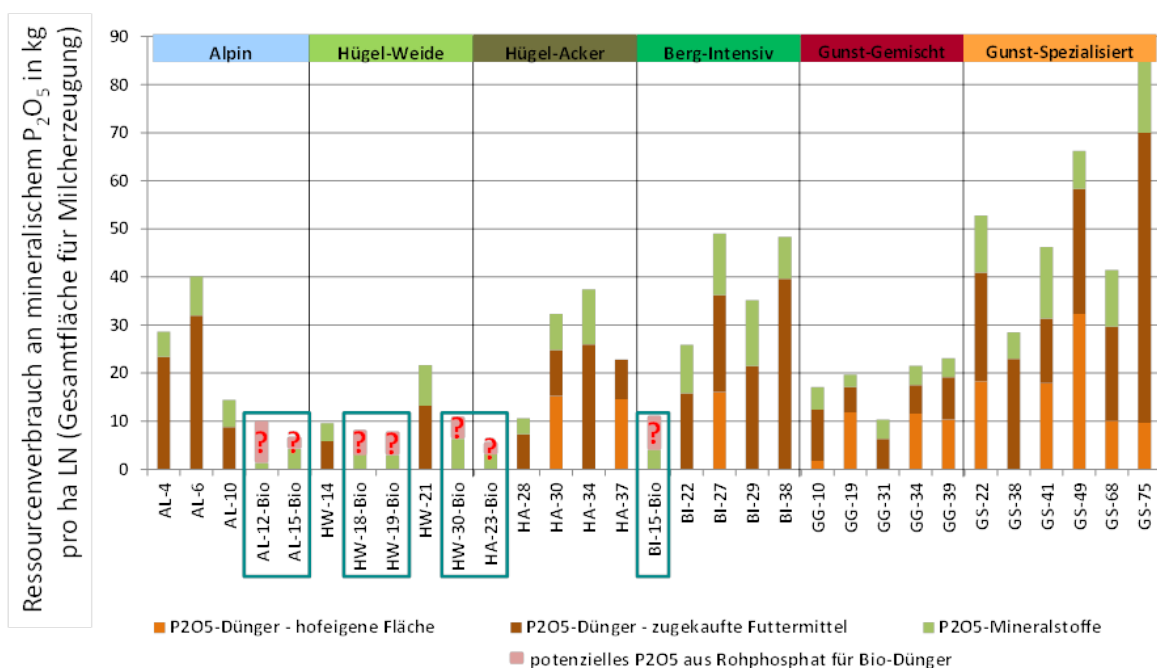
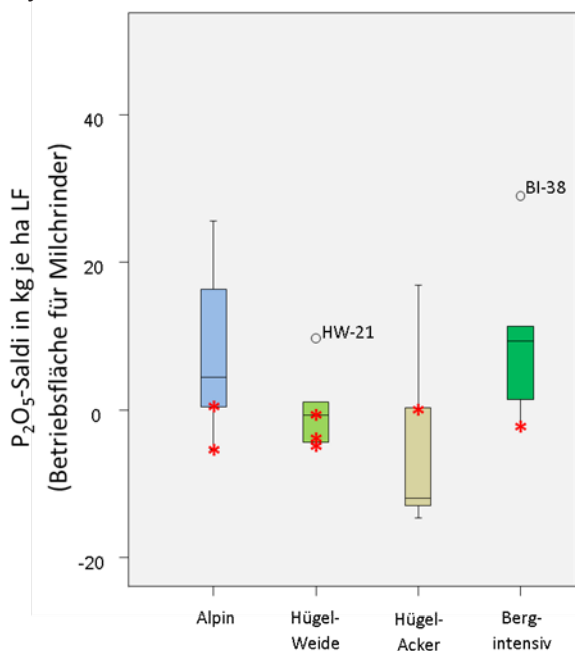


Abbildung 1: Verbrauch an mineralischem Phosphat (P_2O_5) je ha hofeigene Nutzfläche nach Hörtenhuber *et al.* (2013)

zum Pflanzenbedarf auf, jedoch mit hoher Schwankungsbreite von einer tendenziellen Unterversorgung für biologisch bewirtschaftete Pflanzenbestände zu tendenziell überversorgten konventionellen Pflanzenbeständen (Hörtenhuber *et al.*, 2013).

Die sieben untersuchten Biobetriebe importieren im Mittel jeweils 4% der P-Bilanzsumme hofeigener Flächen (Eingangsseite) mit Konzentratfütterung bzw. Mineralergänzungsfuttermittel. Auf der Ausgangsseite stehen im Durchschnitt 9,5% des P für verkaufte Mengen an Milch und Fleisch und 2,7% als „unvermeidlich“ berechnete Verluste. Damit erklärt sich der negative P-Saldo von durchschnittlich -1,7 kg P je Hektar und Jahr der sieben biologisch wirtschaftenden Betriebe (entspricht -4,0 kg P₂O₅; *Abbildung 2*). Einzelbetriebliche Ergebnisse für Bio-Grünlandbetriebe reichen von -5,6 bis +0,5 kg P je ha und Jahr.

Im Mittel der 13 konventionellen grünlanddominierten Betriebe stammen nur 3% der P-Gesamtbilanz (Eingangsseite) für hofeigene Flächen direkt von mineralischen Handelsdüngern (drei konventionelle Betriebe). Weitere 15% bzw. 5% gelangen im Mittel über Importe von konventionellem Konzentratfütterung sowie Mineralergänzungsfuttermittel dazu. Das restliche P stammt aus betriebsinternem Wirtschaftsdünger. Die Ausgangsseite verzeichnet im Mittel der konventionellen Betriebe -11,7% des P für verkaufte Mengen an Milch und Fleisch, sowie -2,2% als unvermeidlich berechnete Verluste. Damit ergibt sich der gefundene positive Saldo von durchschnittlich +3,2 kg P je ha und Jahr bei konventionellen Milchviehbetrieben (entspricht +7,5 kg P₂O₅; *Abbildung 2*). Die Spanne für konventionelle Einzelbetriebswerte liegt zwischen -6,3 und +12,5 kg P je ha und Jahr.



*Abbildung 2: P₂O₅-Saldi bei Berücksichtigung unvermeidlicher P₂O₅-Verluste je ha hofeigener Nutzfläche. Rote Sterne zeigen die Ergebnisse für die sieben Biobetriebe innerhalb aller 20 grünlanddominierten Betriebe (Hörtenhuber *et al.*, 2013)*

Die Unterschiede in den Bilanzsalden zwischen den Wirtschaftsweisen sind vorwiegend durch den Einsatz von mineralischen P₂O₅-Ressourcen bedingt. Der Vorteil eines geringeren Phosphateinsatzes bei „Bio“ in Kapitel 2.1 zeigt bei der Nährstoffsaldierung seinen Nachteil. Die Literatur beschreibt hierzu, dass sich das Agrar-Ökosystem, d.h. Boden, Pflanzen- oder Mikroorganismengesellschaften, an den geringen P₂O₅-Umsatz anpasst. Der Bedarf der Pflanzen kann zumindest teilweise mittels effizienterer Phosphornutzung durch höhere Bioaktivität der Bodenorganismen und Mykorrhizierung der Pflanzenwurzeln aus „betriebs eigenen Lagerstätten“ im Unterboden gedeckt werden (siehe u.a. Niggli *et al.*, 2009). Ein höherer Kleeanteil kann in den unteren Versorgungsklassen zu einer verbesserten Nutzung von Boden-P führen (Leisen, 2013).

Dennoch resultiert bei Biobetrieben - wie eingangs schon erwähnt - zumeist ein geringer Phosphorentzug aus dem Bodenvorrat.

Aus aktuellen nationalen Studien sind ähnliche Bilanzerggebnisse für (Bio-) Grünland zu entnehmen: eine Studie zu Nährstoffflüssen und Treibhausgasemissionen (Kasper *et al.*, 2012) untersuchte auch P-Bilanzen für Modellbetriebe in den österreichischen Hauptproduktionsgebieten. Für die Hauptproduktionsgebiete 1 und 2 („Hochalpen“ und „Voralpen“) resultierte für den betrachteten biologischen Grünland-Futterbaubetrieb ein Saldo von -5,3 kg P je ha und Jahr (Kasper, 2013; mündliche Mitteilung). Weißensteiner *et al.* (2013) zeigten zwischen -0,5 und -1 kg P je ha und Jahr für extensive Mutterkuhbetriebe und bis zu -7 kg P je ha und Jahr für extensive Bio-Milchkuhbetriebe. Intensive konventionelle Milchviehbetriebe wurden mit bis zu +8 kg P je ha und Jahr bei 7.000 kg Milch je Kuh und Jahr sowie 2 GVE je ha bewertet (Weißensteiner *et al.*, 2013). Freyer und Pericin (1993) stufen ein Saldo von ± 4,5 kg P je ha und Jahr als „ausgeglichen“ ein. Darunter gilt ein Saldo als „schwach defizitär“ (bis -13 kg P je ha und Jahr), darüber (bis +13 kg P je ha und Jahr) als „schwach überschüssig“.

Saldi unter -13 werden als „stark defizitär“ bezeichnet, über +13 als „stark überschüssig“. Dieser Einteilung zufolge sind die in den eigenen Berechnungen (Hörtenhuber *et al.*, 2013) gefundenen P-Saldi sowohl für Bio-Milchviehbetriebe als auch für Flächen konventioneller Betriebe im Mittel ausgeglichen. Die Ergebnisse der zwei anderen Studien für Bio-Milchviehbetriebe kamen dagegen, außer bei den intensiven Betrieben, vorwiegend im schwach defizitären Bereich zu liegen. Einzelbetriebliche

* Biobetriebe

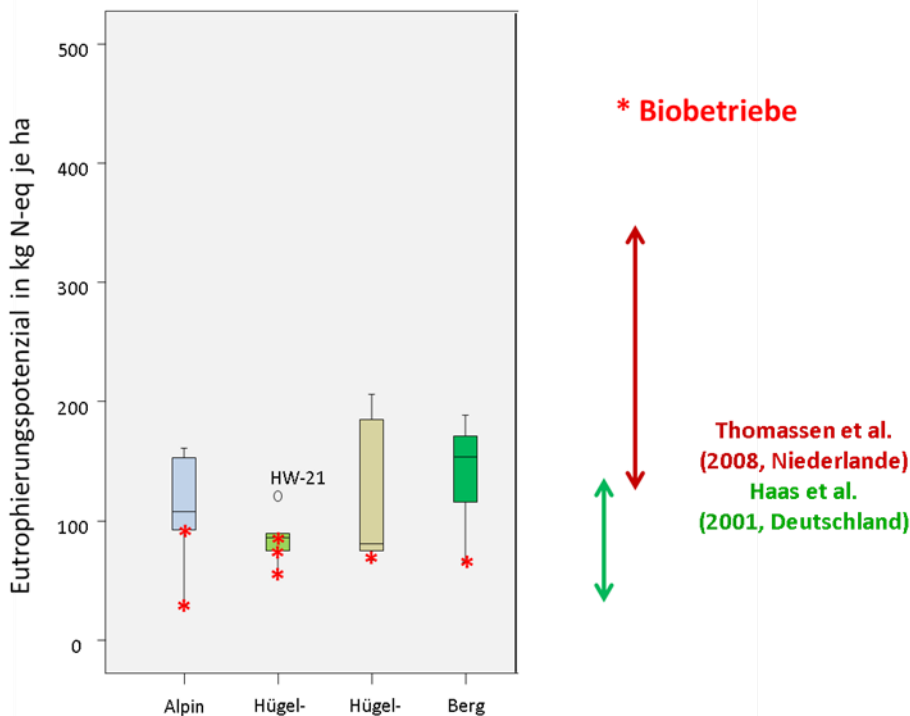


Abbildung 3: Eutrophierungspotenzial je ha gesamter Nutzfläche. Rote Sterne zeigen die Ergebnisse für die sieben Biobetriebe innerhalb aller 20 grünlanddominierten Betriebe (Hörtenhuber *et al.*, 2013)

Ergebnisse aus Hörtenhuber *et al.* (2013) zeigen für „Bio“ vorwiegend ausgeglichene P-Saldi (6 Betriebe; Ausnahme: ein schwach defizitärer Betrieb) und für konventionelle Betriebe sechsmal „ausgeglichen“, fünfmal „schwach überschüssig“ sowie zweimal „schwach defizitär“.

Hörtenhuber *et al.* (2013) identifizierten „ökologisch erfolgreiche“ Betriebe¹, die als Grundlage für ihr gutes Abschneiden u.a. deutlich bessere Resultate hinsichtlich P_2O_5 -Verbrauch und P-Saldi (tw. gleichermaßen für Stickstoff und Kalium) aufwiesen.

Eine statistische Auswertung zeigte hoch signifikante Korrelationen von geringen P-Bilanzsalden mit anderen Merkmalen und Indikatoren: mit der Wirtschaftsweise „Biologisch“, mit geringem Verbrauch von P_2O_5 aus Lagerstätten, mit geringem Konzentratfutter-Zukauf sowie Konzentratfutter-Einsatz je kg erzeugter ECM und mit klimatisch und produktionstechnisch benachteiligten Regionen (Hörtenhuber, 2013).

Im folgenden Kapitel ist der Einfluss der unterschiedlichen P-Bilanzen auf Umweltwirkungen dargestellt.

Eutrophierungspotenzial

Zusammen mit den hauptverantwortlichen Stickstoff (N)-Verlusten des Grünlands (siehe Hörtenhuber *et al.*, 2013) machen P-Verluste das Eutrophierungspotenzial aus. Hohe Mengen an P in Böden als Folge einer übermäßigen P-Versorgung, gehen durch Bodenerosion,

Abwaschung und Auswaschung (v.a. bei Drainagierung) potenziell an die Umwelt verloren.

Phosphorverluste verursachen vorwiegend eine Nährstoffanreicherung in Oberflächengewässern, während Stickstoffverluste in Form von Nitrat vor allem die Grundwasserqualität belasten. Aufgrund der in den Biobetrieben wegen niedrigerer Besatzdichte und geringerer externer Nährstoffzufuhr allgemein geringeren Befruchtung von Flächen mit Nährstoffen sind sowohl N- als auch P-Saldi geringer als bei konventioneller Bewirtschaftung. In Summe führt das zum signifikant geringeren Eutrophierungspotenzial für Bio-Grünlandbetriebe je ha Nutzfläche in *Abbildung 3*.

Dabei wurden in jedem der betrachteten vier Produktionssysteme die niedrigsten Ergebnisse

für Biobetriebe gefunden. Die farbigen Pfeile rechts der Boxplots (*Abbildung 3* und *4*) stellen den in der internationalen Literatur gefundenen Bereich für regional typische Produktionssysteme dar. Dabei zeigt sich allgemein eine gute Übereinstimmung (Details siehe in Hörtenhuber *et al.*, 2013).

Wird das Eutrophierungspotenzial je kg ECM betrachtet, so reduzieren sich aufgrund der geringeren Milchleistungen je Kuh und Jahr und der geringeren Besatzdichte die Vorteile aus dem flächenbezogenen Eutrophierungspotenzial deutlich (*Abbildung 4*). So verschiebt sich bspw. das Resultat eines Betriebs in „Hügelland-Weide“ sogar auf den schlechtesten Gruppenwert, während der Betrieb beim Bezug je ha Nutzfläche noch den mittleren Platz belegt hat.

Effekte geringer P-Gehalte in Futtermitteln auf Milchkühe

Wie schon in Kapitel 1 angesprochen, lassen sich bei Biofuttermitteln häufig niedrige Phosphorgehalte feststellen (siehe u.a. Resch *et al.*, 2010). Jedoch berichtet Leisen (2013) auf der Basis fünfzehnjähriger Untersuchungen von für die Tiere ausreichender und konstanter P-Versorgung aus Bio-Klee- und Grünlandsilagen. Niedrigere Gehalte sind dabei entweder auf betriebliches P-Management oder auf Trockenheit zurückzuführen (Leisen, 2013).

¹ D.h. vorteilhaft hinsichtlich Zielerreichungsgrade für eine Mehrzahl von betrachteten Indikatoren der Ökobilanz. Dies lässt sich entweder durch ein gutes Abschneiden je Produkteinheit und mäßiges bis gutes Abschneiden je Flächeneinheit erreichen oder umgekehrt mit guten Resultaten je Flächen- und mäßiger bis guten Ergebnissen je Produkteinheit. Ein Drittel der Betriebe (11 von 31) wurde als „ökologisch erfolgreich“ identifiziert, davon vier Biobetriebe und sieben konventionelle Betriebe.

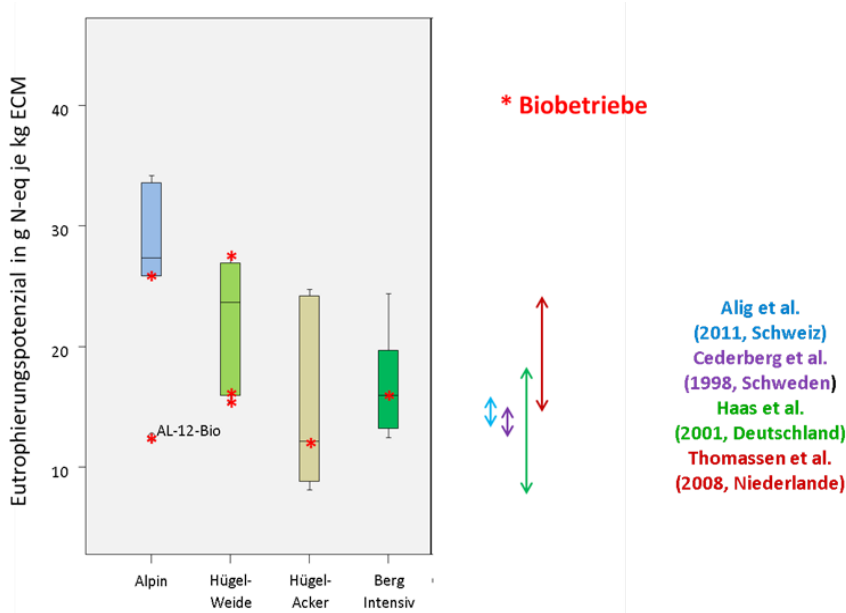


Abbildung 4: Eutrophierungspotenzial je kg energiekorrigierter Milch (ECM). Rote Sterne zeigen die Ergebnisse für die sieben Biobetriebe innerhalb aller 20 grünlanddominierten Betriebe (Hörtenhuber *et al.*, 2013)

Aus Praxis und Beratung wird des Öfteren ein Zusammenhang zwischen Erkrankungen der (meist frisch laktierenden) Milchkühe und einer Phosphor-Unterversorgung hergestellt. Die wissenschaftliche Literatur gibt dazu folgendes wieder: P-Mangel bei Milchkühen wird mit einer verminderten Futteraufnahme assoziiert (Goff, 2006). Der spezifische P-Bedarf der Pansenmikroben muss für funktionierende ruminale Fermentationsprozesse gedeckt sein (Karn, 2001), die wiederum auf die Futteraufnahme rückwirken. Es ist unklar, ob beschriebene P-Mangelsymptome wie Fruchtbarkeitsstörungen und Leistungsreduktion eine direkte Folge dieses Mangels sind, oder sekundär durch eine verminderte Futteraufnahme bedingt sind. Kirchgeßner (2011) verweist diesbezüglich eher auf die ungenügende Energie- und Proteinaufnahme bei geringen P-Gehalten im Futter. Aus verschiedenen Regionen der USA und Australiens wurden P-Mangelsituationen bei Rindern in Weidesystemen auf P-Mangelstandorten beschrieben. Mehrere wissenschaftliche Untersuchungen zeigten, dass eine P-Düngung auf diesen Standorten dazu führt, dass die Rinder das Futter auf den gedüngten Parzellen präferierten (Karn, 2001).

Alternativ zum Versuch der Anhebung der P-Gehalte im Grundfutter durch Düngung kann auch eine Ergänzung von Phosphor in Form von Mineralergänzungsfutter bei wachsenden Milchrindern und im Speziellen bei Milchkühen geringe P-Gehalte der Grundfuttermittel kompensieren, was üblicherweise auch in der biologischen Milchviehhaltung angewendet wird (siehe Abbildung 1). Das im Rind für physiologische Prozesse essentielle Element Phosphor gelangt - insofern es nicht in Milch oder Fleisch den Betriebskreislauf verlässt - mit dem Wirtschaftsdünger in den Boden.

Für den von Praktikern gelegentlich beschriebenen, direkten kausalen Zusammenhang zwischen einer Phosphor-Unterversorgung in der Trockenstehzeit und dem Auftreten von Hypocalcämie (Milchfieber) nach dem Abkalben fehlen eindeutige wissenschaftliche Belege, wenngleich diesbezüglich Interaktionen in Hinblick auf den Erfolg einer Intervention im Erkrankungsfall bestehen dürften (Ménard und Thompson, 2007). Durch zu niedrige Blut-Phosphorgehalte verursachtes Festliegen von Milchkühen, häufig als sekundäre Erkrankung nach einer Hypocalcämie, wird ebenfalls beschrieben (Goff, 2006). Eine genetische Disposition für Festliegen von Kühen nach geringer P-Versorgung (und zumeist einer Hypocalcämie) ist wahrscheinlich (Kirchgeßner, 2011).

Einer Übersichtsarbeit zu Optionen der Prophylaxe von Milchfieber (DeGaris und Lean, 2009) lässt sich jedoch entnehmen, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Hypocalcämien mit einem hohen P-Gehalt in der Ration ansteigt. Demnach sollte auf eine bedarfsdeckende Versorgung bei trockenstehenden Tieren geachtet werden (siehe auch Kirchgeßner, 2011), allerdings keine Überversorgung erfolgen. Eine hohe P-Versorgung in der Trockenstehzeit beeinträchtigt jedenfalls die Calcium-Homöostase. Dieses teilweise indifferente Bild unterstreicht die Bedeutung einer insgesamt ausgewogenen Versorgung mit Mineralstoffen, der eine Fokussierung auf ein einzelnes Element nicht gerecht wird.

Losand (2008) empfiehlt in der Praxis eine P-Supplementierung mit geeignetem Ergänzungsfutter nur nach P-Analysen des Grundfutters und Berechnungen für P-Gehalte des eingesetzten Konzentratfutters zu verabreichen. In Modellrechnungen zeigt sich, dass - besonders bei konzentratreicher Fütterung - die P-Versorgung üblicherweise auch ohne weitere Zusätze gesichert sein sollte; dies gilt trotz der als gering angenommenen P-Gesamtverwertung in aktuell gültigen P-Bedarfsempfehlungen (GfE, 2001) mit nur 70% und trotz grundsätzlich ausgeprägter Homöostase für die Versorgung der Kühe mit Phosphor (siehe Losand, 2008). In gleicher Weise zeigen eigene Modellrechnungen auf Basis der Deckung des Energie- und Proteinbedarfs für Bio-Milchkühe mit 6.000 und 8.000 kg ECM je Kuh und Jahr im Jahresmittel eine gegenüber den Bedarfsempfehlungen (GfE, 2001) ungefähr ausreichende P-Versorgung aus Grund- und Konzentratfuttermitteln. Für die P-Gehalte der Grundfuttermittel wurde stellvertretend der mehrjährige Durchschnittswert für Bio-Silage aus Resch *et al.* (2010) verwendet,

Tabelle 1: P-Versorgung aus zwei Bio-Beispielsrationen

kg Jahresmilchleistung (ECM)	6.000	8.000
kg Tagesgemelk je Durchschnittstag und Kuh	16,44	21,92
kg Grundfutter T pro Kuh und Tag (Silage)	11,80	13,45
kg Konzentratfutter T pro Kuh und Tag	3,06 ^a	3,93 ^b
Bedarf g P je kg Futter T (Gesamtration)	3,08	3,37
P-Lieferung je kg T aus Grund- und Konzentratfutter	3,04	3,42
mit Mineralstoffergänzung aufgewerteter P-Gehalt der Gesamtration je kg T	3,47	3,89

^a zum Bedarfsausgleich stark energiebetonte Futtermittel, vorwiegend Getreide (Gerste, Weizen; dazu knapp 10% Grünflohobst sowie geringfügig Erbse/Ackerbohne/Rapskuchen)

^b zum Bedarfsausgleich stark eiweißbetonte Futtermittel, ca. 58,5% Getreide (Gerste, Weizen), 12,5% Sojakuchen, 10,5% Rapskuchen, 8% Sonnenblumenkuchen, 5,5% Grünflohobst 5% Erbse/Ackerbohne. Die hohen Gehalte alternativer proteinreicher Konzentrate bewirken für die zweite Beispielsration eine gute P-Versorgung trotz des geringen Konzentratanteils an der Gesamtration

für Konzentratfuttermittel wurden Gehalte aus der Schweizer Futtermittel-Datenbank (Agroscope, 2013) einbezogen. Die unterstellte Ration wurde zudem mit der Software „Superration“ (Gsöls und Heidenbauer, 2003) überprüft. Bei geringer P_2O_5 -Ergänzung (3% des Konzentratfutters als Mineralstoffergänzungsfutter mit durchschnittlich 7% P) zeigt sich noch Spielraum: im Falle geringerer P-Gehalte für biologische Konzentratfuttermittel oder einzelbetrieblich geringen P-Gehalten für biologische Grundfuttermittel könnte der P-Gehalt der Gesamtration noch um etwa 12% absinken, um ohne zusätzliche P-Ergänzungen dennoch den P-Bedarf zu decken (siehe Ergebnisse in *Tabelle 1*). Andererseits erscheint es günstig, hochleistende Kühe vor allem zu Beginn der Laktation, der durch einen sprunghaften Anstieg des Bedarfs an P und Calcium gekennzeichnet ist, hinsichtlich Mineralstoffen mit geeigneten Ergänzungsfuttermitteln über die potenziell kritische Phase zu begleiten.

Schlussfolgerungen, Praxisempfehlungen und Ausblick

Entgegen verbreiteter Befürchtungen scheint aus unserer Sicht der aktuelle Status der Bio-Grünlandbetriebe hinsichtlich P-Versorgung nicht generell problematisch, sondern ist im Gegenteil auch mit potenziell positiven Konsequenzen in Richtung Nachhaltigkeit und Umweltschutz versehen. Es sind keine Probleme in Verbindung mit dem Phosphorkreislauf zu erwarten, sofern einige Punkte beachtet werden:

① Es sollte über die Fruchtfolge ein möglichst ausgeglichener P-Saldo ($\pm 4,5$ kg P je ha) erreicht werden, so wie er auch für sechs von sieben analysierten Bio-Grünlandbetrieben (Hörtenhuber *et al.*, 2013) anzutreffen war. Günstig zur Erreichung einer hohen P-Effizienz wäre in der Praxis eine regelmäßige (z.B. jährliche) Berechnung von Hoftorbilanzen und ggf. von Schlagbilanzen für P, d.h. eine betriebs- bzw. flächenindividuelle Identifizierung des optimalen P-Managements unter Berücksichtigung von Bodenmerkmalen (pH, Humusgehalt, Bodenstruktur, etc.). Die Einstufung der Grünlandböden in Gehaltsklassen gemäß den derzeitigen „Richtlinien für die Sachgerechte Düngung“ (BMLFUW, 2006) - besonders nach der

P_{CAL} -Methode - kann nur als ein sehr grobes Hilfsmittel für Düngempfehlungen betrachtet werden (Bohner, 2010). Ergänzend dazu sind die P-Gesamtgehalte des Bodens sowie Zeigerpflanzen zur Ermittlung eines Nährstoffbedarfs in der Grünlandpraxis wichtig.

② Für laktierende Kühe (und evtl. wachsende Rinder) sind keine Probleme bei geringeren P-Gehalten der Grünland-Futtermittel zu erwarten, sofern ein hoher P-Bedarf aufgrund hoher (Milch)-Leistung und/oder geringe Grundfutter-P-Gehalte über Mineralstoffergänzungsfutter in Abstimmung auf die P-Zufuhr durch Konzentratfuttermittel adäquat ausgeglichen werden. Eine Überprüfung des Bedarfs vor der Verfütterung der Mineralstoffzusätze erscheint schon aus ökonomischen Gründen als sinnvoll. Trockenstehende Kühe sollten bedarfsdeckend versorgt, aber nicht überversorgt werden.

③ Bei deutlich negativen P-Hoftorbilanzen kann bei zusätzlich geringen P-Gehalten in analysierten Futterproben und unter Berechnung des P-Bedarfs der Tiere - eine Düngung einzelner Schläge oder Kulturen sinnvoll sein. Hier sollten aber eventuell - sofern dies für die Versorgung mit anderen Nährstoffen (v.a. N) sinnvoll erscheint - zugekaufte Komposte, Wirtschaftsdünger etc. den zumeist Cadmium- und uranhaltigen und zudem schwer verfügbaren Rohphosphaten vorgezogen werden.

④ Für die Umwelt sind keine Probleme durch P-Eutrophierung zu erwarten, sofern keine (hohen) Überschüsse in angrenzende Ökosysteme ausgetragen werden (Grenzwert der P-Bilanzierung für „noch ausgeglichenen Saldo“ $+4,5$ kg P je ha und Jahr). Im Ackerbau sollte mit Maßnahmen wie bspw. ganzjähriger Begrünung durch Winterbegrünungen oder Untersaaten P-Verlusten (Bodenerosion und Abwaschung) gegengesteuert werden. Im Grünland schützen vielfältige Pflanzengesellschaften mit ausdifferenziertem Wurzelwerk und ein hoher (oberflächlicher) Pflanzenbedeckungsgrad vor allem in Hanglagen vor Erosion und folgendem P-Austrag.

⑤ Der Verbrauch von Ressourcen sollte reduziert bzw. optimiert werden und die Schließung des regionalen P-Kreislaufs vorangetrieben werden. Die Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm-Produkten

wie aufgereinigten Klärschlammaschen wird aktuell - auch für „Bio“, jedoch teilweise mit ökologischen und systemaren Vorbehalten - verstärkt diskutiert. Es besteht aus Sicht der Nachhaltigkeit ein dringender Bedarf, Wege zur Substitution fossiler durch alternative P-Düngemittel und für die Schließung der P-Kreisläufe zwischen der Landwirtschaft und den Siedlungsgebieten zu finden.

Probleme in der Phosphor-Versorgung von Biogrünlandbetrieben (wie auch von Acker- und Gemischtbetrieben) zeigen oft gesamtbetriebliche Probleme auf, die mit einer punktuellen Maßnahme wie der P-Düngung nicht auf Dauer gelöst werden können. Punktueller Maßnahmen bewirken häufig Folgeprobleme (z.B. hinsichtlich anderer Nährstoffe, für Biodiversität oder Bodenfruchtbarkeit). Daher sind die Grundsätze der biologischen Landwirtschaft mit ihrer Fokussierung auf Bodenfruchtbarkeit, standortgerechte Bewirtschaftung und artgerechte Nutztierhaltung aktueller denn je.

Literatur

- AGES Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit; Hrsg., 2010: Status der Bodenqualität auf repräsentativen Acker- und Grünlandstandorten Oberösterreichs in Beziehung zu den ÖPUL-Maßnahmen, 38 S.
- Agroscope Hrsg., 2013: Futtermittelkatalog [online]. http://www.feed-alp.admin.ch/fmkatalog/katalog/de/html/unit_einfuehrung.html (zuletzt aufgerufen: 2013-09-18)
- Baturin, G.N., Kochenov, A.V., 2001: Uranium in Phosphorites. *Lithology and Mineral Resources* 36 (4), 303-321.
- BFW Bundesamt für Wald; Hrsg., 2005: Zusammenspiel von Vegetation & Abfluss. In: M. Pirc (CIPRA), V. Gaube (Institut für Soziale Ökologie, Wien), W. Pfefferkorn (CIPRA), 2009: Naturschutz im Klimawandel. Ein Hintergrundbericht der CIPRA. COMPACT NR 03/2009. CIPRA International, 30 pp. Online: <http://proclimweb.scnat.ch/portal/ressources/1335.pdf> (zuletzt aufgerufen: 2013-09-18).
- BFW Bundesforschungszentrum für Wald, Hrsg., 2013: Zusammenspiel von Vegetation & Abfluss. Online: <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=5753> (zuletzt aufgerufen: 2013-09-18).
- BIO AUSTRIA, Hrsg., 2013: Produktionsrichtlinien Fassung September 2010, Revision 2013. 100 pp. Online: http://www.bio-austria.at/content/download/28687/207257/file/RILI%20Jaenner_Revi.3_2013.pdf (zuletzt aufgerufen: 2013-09-20).
- BMLFUW, 2006. Richtlinien für die sachgerechte Düngung. Hrsg.: Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, 6. Auflage, Wien, 80 S.
- BMLFUW Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft; Hrsg., 2010: Wassergüte in Österreich - Jahresbericht 2010. BMLFUW in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt. 214 pp. Online: <http://www.umweltbundesamt.at/jb2010> (zuletzt aufgerufen: 2013-09-20).
- Bohner, A., 2010: Zeigerpflanzen für die Beurteilung des Bodenzustandes im Wirtschaftsgrünland. In: Tagungsband 2. Umweltökologisches Symposium 2010, Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, 111-120. ISBN: 978-3-902559-41-8.
- DeGaris, P.J., Lean, I.J., 2009: Milk fever in dairy cows: A review of pathophysiology and control principles. *The Veterinary Journal* 176, 58-69.
- Del Campillo, M.C., Van Der Zee, S.E.A.T.M., Torrent, J., 1999: Modelling long term phosphorus leaching and changes in phosphorus fertility in excessively fertilized acid sandy soils. *European Journal of Soil Science*, 50, 391-399.
- Dersch, G., Spiegel, H., Hösch, J., Haslmayr, H.-P., Baumgarten, A., Scheriau, S., Hölzl, F.X., Recheis-Kienesberger, J., 2013: Humusgehalt, Säuregrad und pflanzenverfügbare Phosphor- und Kaliumgehalte auf Acker- und Grünland in Oberösterreich: Aktueller Status auf Basis der Landesbodenuntersuchungsaktion 2009 in Abhängigkeit von Region, Betriebstyp (Tierhaltung und/oder Marktfruchtbetrieb), Bewirtschaftungsform (konventionell vs. biologisch) und weiterer ÖPUL-Maßnahmen sowie Ableitung von Entwicklungstrends seit Einführung des ÖPUL auf Basis von Bodendaten aus der Praxis von den Perioden 1991-1995 und 2008-2011 und der Bodenzustandsinventur ÖÖ 1993. Erstellt für das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft laut BMLFUW-LE.1.3.7/0014-II/5/2011. Wien, 128 S.
- Dienemann, C., Utermann, J., 2012: Uran in Boden und Wasser. *Umweltbundesamt (Deutschland). Texte* 37/2012. Dessau-Roßlau, Deutschland, 30 pp. Online: <http://www.uba.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4336.pdf> (zuletzt aufgerufen: 2013-09-20).
- Fließbach, A., Oberholzer, H.-R., Gunst, L., Mäder, P., 2007: Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture Ecosystems & Environment* 118, 273-284.
- Frede, G., Dabbert, S. Hrsg., 1999: Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft. Ecomed, 2. Aufl., Landsberg, Deutschland, 452 S.
- Freyer, B., Pericin, C., 1993: Methoden der Nährstoffbilanzierung und ihre Anwendung am Beispiel von drei Bio-Betrieben. *Landwirtschaft Schweiz* 6 (10), 611-614.
- GfE Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, Hrsg., 2001: Empfehlungen zu Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. DLG-Verlag, Frankfurt/Main, Deutschland, 135 S.
- Goff, J.P., 2006: Macromineral physiology and application to the feeding of the dairy cow for prevention of milk fever and other periparturient mineral disorders. *Animal Feed Science and Technology*, 126(3-4), 237-257. doi: 10.1016/j.anifeeds.2005.08.005.
- Görlitz, H., 1985: Untersuchungen zur Nutzung des Phosphors aus organischen Düngern und seines Einflusses auf den Gehalt des Bodens an laktatlöslichem P. *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* 29/4, 211-216.
- Götz, B., Zethner, G., 1996: Regionale Stoffbilanzen in der Landwirtschaft - Der Nährstoffhaushalt im Hinblick auf seine Umweltwirkung am Beispiel des Einzugsgebietes Strem. *Umweltbundesamt (Hrsg.), Monographie* 78, Wien.
- Gsöls, F., Heidenbauer, G., LWK Steiermark, 2003: Milchrinder-Fütterungssoftware Superration, Programmierstand 19.12.2003.
- Gunther, F., 2005: A solution to the heap problem: the doubly balanced agriculture: integration with population. Online: <http://www.holon.se/folke/kurs/Distans/Ekofys/Recirk/Eng/balanced.shtml> (zuletzt aufgerufen: 2013-09-20).
- Heinzlmaier, F., Dersch, G., Baumgarten, A., Gerzabek, M.H., 2009: Entwicklung der Grundnährstoffgehalte in Böden Österreichs. *Die Bodenkultur* 60 (2), 17-27.
- Heinzlmaier, F., Freudenschuß, A., Gerzabek, M.H., 2008: Der Versorgungszustand österreichischer Böden mit Pflanzennährstoffen - Ergebnisse der österreichischen Bodenzustandsinventuren. *Die Bodenkultur* 59 (1-4), 45-55.
- Hörtenhuber, S., Kirner, L., Neumayr, C., Quendler, E., Strauss, A., Drapela, T., Zollitsch, W., 2013: Integrative Bewertung von Merkmalen der ökologischen, ökonomischen und sozial-ethischen Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Produktionssysteme am Beispiel von Milchproduktionssystemen („Nachhaltige Milch“). Endbericht Forschungsprojekt Nr. 100783 im Auftrag des BMLFUW, September 2013. In Bearbeitung.
- Huemer, C., Bohner, A., Liebhard, P., 2012: Einfluss der Bewirtschaftungsintensität auf den Phosphoreintrag in Acker und Grünlandböden. In: ALVA (Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen; 2012): Ernährung sichern - trotz begrenzter Ressourcen Tagungsberichte zur 67. ALVA-Tagung, Juni 2012, Lehr- und Forschungszentrum für Gartenbau, Schönbrunn. 189-191. ISSN 1606-612X. Online: http://www.alva.at/images/Publicationen/Tagungsband/Tagungsband_2012.pdf (zuletzt aufgerufen: 2013-09-20).
- Karn, J. F., 2001: Phosphorus nutrition of grazing cattle: a review. *Animal Feed Science and Technology*, 89, 133-153.
- Kasper, M., Schmid, H., Freyer, B., Hülsbergen, K.-J., Amon, B., Friedel, J.K., 2012: HUMUS - Datengrundlagen für treibhausgasrelevante Emissionen und Senken in landwirtschaftlichen Betrieben und Regionen Österreichs. Abschlussbericht des KLI.EN-Projekts. Universität für Bodenkultur Wien. 41 S.
- Kasper, M., 2013: mündliche Mitteilung, 16.9.2013.

- Kirchgeßner, M., *et al.*, 2011: Tierernährung. 13. neu bearbeitete Auflage. DLG-Verlag, Frankfurt/Main, Deutschland, 648 pp. ISBN: 978-3-7690-0803-6.
- Kranzler, A., Surböck, A., Weissshaidinger, R., Baumgarten, A., Fischl, M., 2012: Einfluss der ÖPUL-Maßnahme „Biologische Wirtschaftsweise“ auf Parameter der Bodenfruchtbarkeit. Bericht im Auftrag des BM-LFUW. Wien, 10 S.
- Kummert, R., Stumm, W., 1989: Gewässer als Ökosysteme. Grundlagen des Gewässerschutzes. Teubner Verlag, 331 S.
- Leinweber, P., Meissner, R., Eckhardt, K.-U., Seeger, J., 1999: Management effects on forms of phosphorus in soil and leaching losses. *European Journal of Soil Science* 50, 413-424.
- Leisen, E., 2013: Veränderung von Mineralstoffgehalten in Böden und Pflanzen von Öko-Milchviehbetrieben in den letzten 15 Jahren. In: D. Neuhoff, C. Stumm, S. Ziegler, G. Rahmann, U. Hamm & U. Köpke (Hrsg.; 2013): Ideal und Wirklichkeit - Perspektiven Ökologischer Landwirtschaft. Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bonn, 5. - 8. März 2013. Verlag Dr. Köster, Berlin, 150-153 Online: http://orgprints.org/21459/1/21459_Leisen.pdf (zuletzt aufgerufen: 2013-09-19).
- Leithold, G., 2002: Ökologischer Landbau - umweltgerechte Lebensmittelproduktion und Ernährungssicherung. Tagungsbeitrag. Online: http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2003/1283/pdf/Leithold-2002_VortragHST.pdf (zuletzt aufgerufen: 2013-09-20).
- Lindenthal, T., 2000: Phosphorvorräte in Böden, betriebliche Phosphorbilanzen, und Phosphorversorgung im Biologischen Landbau - Ausgangspunkte für die Bewertung einer großflächigen Umstellung ausgewählter Bundesländer Österreichs auf Biologischen Landbau hinsichtlich des P-Haushaltes. Dissertation, Univ. f. Bodenkultur Wien. 290 S.
- Losand, B., 2008: Mineralstoffversorgung - wieviel ist sinnvoll? Vortrag zu 9. Dummerstorfer Seminar Futter und Fütterung, 3. Dezember 2008, Dummerstorfer Mühlenstuben. 29 pp. Online: http://www.landwirtschaft-mv.de/cms2/LFA_prod/LFA/content/de/Fachinformationen/Tierproduktion/Futter_und_Fuetterung/9Seminar_Futter/Losand.pdf (zuletzt aufgerufen: 2013-09-20).
- Mäder, P., Fließbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., Niggli, U., 2002: Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. *Science* 296, 1694-1697.
- Ménard, L., Thompson, A., 2007: Milk fever and alert downer cows: does hypophosphatemia affect the treatment response? *The Canadian veterinary journal. La revue veterinaire canadienne* 48(5), 487-491.
- Mengel, K. (1991): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. 7. überarbeitete Auflage, Gustav Fischer Verlag, Jena, 466 S.
- Niggli U, Schmid, O., Stolze, M., Sanders, J., Schader, C., Fließbach, A., Mäder, P., Klocke, P., Wyss, G., Balmer, O., Pfiffner, L., Wyss, E., 2009: Gesellschaftliche Leistungen der biologischen Landwirtschaft. Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL, Frick, Schweiz. 35 pp. Online: <http://orgprints.org/15397/2/niggli-et-al-2009-gesellschaftlicheleistungen.pdf> (zuletzt aufgerufen: 2013-09-20).
- Oberson, A., Besson, J.M., Maire, N., Sticher, H., 1996: Microbiological processes in soil organic phosphorus transformations in conventional and biological cropping systems. *Biol. Fert. Soils* 21, 138-148.
- Resch, R., Wiedner, G., Tiefenthaler, F., Wurm, K., Stromberger, W., Frank, P., Meusburger, C., 2010: Abschlussbericht Silageprojekt. Qualitätsbewertung von österreichischen Grassilagen und Silomais aus Praxisbetrieben. Wissenschaftliche Tätigkeit Nr. 3561 (100535). Lehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irdning. 87 pp. Online: https://www.dafne.at/prod/dafne_plus_common/attachment_download/642258a284a998db9b801de08cc3d2eb/Abschlussbericht_Silageprojekt-2009.pdf (zuletzt aufgerufen: 2013-09-20).
- Scheffer, F., Schachtschabel, P., 2010: Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage, Enke Verlag, Stuttgart.
- Scholz, R., Ulrich, A., Eilittä, M., Roy, A. 2013: Sustainable use of phosphorus: A finite resource. *Science of the Total Environment* 461-462, 799-803.
- Sharpley, A.N., 1985: Phosphorus Cycling in Unfertilized and Fertilized Agricultural Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49, 905-911.
- Smil, V., 2000: Phosphorus in the environment: natural flows and human interferences. *Annual Review of Energy and the Environment* 25, 53-88.
- Steen, I., 1998: Phosphorus availability in the 21st Century: management of a non-renewable resource. *Phosphorus and Potassium* 217, 25-31.
- Steffens, D., Leppin, T., Luschin-Ebengreuth, N., Zhi Min Yang, Schubert, S., 2010: Organic soil phosphorus considerably contributes to plant nutrition but is neglected by routine soil-testing methods. *J. Plant Nutr. Soil Sci* 173, 765-771.
- Steffens, D., Stamm, R., Yan, F., Leithold, G., Schubert, S., 2005: Rohphosphatmobilisierung von Sommerweizen, Weißer Lupine und Ackerbohne in der Fruchtfolge. In: J. Heß, G. Rahmann (Hrsg.; 2005): Ende der Nische. Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. März 2005, Kassel, Deutschland. Universitätsverlag kassel university press, 684 pp, ISBN 3-89958-115-6. 213-216.
- Tiessen, H., Stewart, J.W.B., Moir, J.O., 1983: Changes in organic and inorganic phosphorus composition of two grassland soils and their particle size fractions during 60 - 90 years of cultivation, *Journal of Soil Science* 34, 815-823.
- Tunney H., Csatho, P., Ehlert, P., 2003: Approaches to calculating P balance at the field-scale in Europe. *Journal of Plant Nutrients and Soil Science* 166, 438-446.
- Wang, H., Wang, H., 2009: Mitigation of lake eutrophication: Loosen nitrogen control and focus on phosphorus abatement. *Progress in Natural Science* 19(10): 1445-1451.
- Wassen, M.J., Venterink, H.O., Lapshina, E.D., Tanneberger, F., 2005: Endangered plants persist under phosphorus limitation. *Nature* 437 (7058), 547-550. Online: http://igitur-archive.library.uu.nl/milieu/2006-0801-204757/Wassen_nature03950.pdf (zuletzt aufgerufen: 2013-09-20).
- Weißensteiner, C., Böhner, A., Friedel, J.K., 2013: Phosphor in österreichischen Grünlandböden. In: ALVA (Arbeitsgemeinschaft für Lebensmittel-, Veterinär- und Agrarwesen; 2013): Pflanzenschutz als Beitrag zur Ernährungssicherung. Tagungsberichte zur 68. ALVA-Tagung, Mai 2013, Lehr- und Forschungszentrum für Wein- und Obstbau, Klosterneuburg. 189-191. ISSN 1606-612X. Online: http://www.alva.at/images/Publikationen/Tagungsband/tagungsband_2013_fr%20homepage.pdf (zuletzt aufgerufen: 2013-09-20).