

Phosphor-Bodenbilanzen von Grünland- und Ackerflächen auf einem ökologischen Milchviehbetrieb

Ohm, M.¹ Schüler M.¹ und Paulsen H.M.¹

Keywords: Bodenreserven, Ackerbau, P-Mobilisierung

Abstract

Mineral phosphorus (P) fertilizers from fossil reserves are finite which puts agriculture at risk of losing soil fertility. This study calculates P soil balances of an organic dairy farm in Northern Germany to focus on potentials and variations in the farm P cycle. P flows were different between the years because yield levels and amount of manure application varied. Different plant species showed different P export which depended mainly on biomass export. This can also be seen as their site specific mobilization potential. The highest mean P export between 2010 and 2012 was measured with maize (mean 30.4, range 17.7-38.2 kg P ha⁻¹ a⁻¹) and grass-clover (mean 23.7, range 17.3-29.5 kg P ha⁻¹ a⁻¹). By grazing, permanent grassland showed a mean P mobilization from soil P of 15.9 kg ha⁻¹ a⁻¹. The annual soil P balance was -7.96 kg P ha⁻¹ (range -6.16 to -9.3 kg P ha⁻¹) at permanent grassland and -11.1 kg P ha⁻¹ at arable land (range -1.5 to -17.7 kg P ha⁻¹). Because of the high ranges it is reasonable to analyze a few years to get a better view on P flows at farms. High P_{CAL} values from historical fertilizer inputs can be seen as a P source in short term and can especially be mobilized by permanent grassland. It is necessary to change the P flows into a more sustainable way before the P gap cannot be closed by soil reserves anymore and P deficit will limit plant growth.

Einleitung und Zielsetzung

Die effiziente Nutzung von Phosphor (P) ist aufgrund der sinkenden weltweiten P-Reserven erforderlich (Schröder *et al.* 2011). Durch die Abfuhr von Ernteprodukten von den Flächen kommt es zwangsläufig zu einem Verlust von Phosphor (P) aus dem System, wenn kein Ausgleich erfolgt. In Europa zeigen sich bei ökologischen Milchviehbetrieben oft leicht negative Bilanzen (Haas *et al.* 2007, Steinshamn *et al.* 2004). Dabei sind die Möglichkeiten eines P-Imports im Ökologischen Landbau im Vergleich zum konventionellen Landbau begrenzt. Die detaillierte Betrachtung der P-Bodenbilanzen eines Ökologischen Milchviehbetriebs mit ausreichender Versorgung an verfügbarem P im Boden (P_{CAL}) zeigt die Merkmale und Schwankungen der P-Ressourcennutzung in gesamtbetrieblichen Produktionsprozessen auf.

Methoden

Datengrundlage für die P-Bodenbilanzen sind Praxisdaten des Versuchsbetriebs des Thünen-Institutes für Ökologischen Landbau in Trenthorst (Schleswig-Holstein, 53°46'0", 10°30'N). Die Topographie der Untersuchungsflächen ist eben, sodass keine Erosionsverluste anzunehmen sind. Der Betrieb wird seit 2001 ökologisch bewirtschaftet und wurde davor konventionell genutzt. P-Dünger wurden seither nicht

¹ Thünen-Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847, Westerau, Deutschland, magdalena.ohm@ti.bund.de, www.ti.bund.de

importiert. Trotzdem ist die P-Versorgung der Böden noch relativ hoch. Die durchschnittlichen P_{CAL} -Gehalte in der Krume lagen zwischen 2010 und 2012 bei $6,7 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ für Acker (Gehaltsklasse C) und $14,7 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ für Grünland (Gehaltsklasse D). Der Betrieb unterteilt sich in verschiedene Betriebssysteme. Für diesen Beitrag werden nur die Flächen des Milchviehbetriebs in den Jahren 2010 bis 2012 betrachtet. Für 80 Milchkühe wurden 54 ha Dauergrünland zur Beweidung und Mahd genutzt. Die 13 Weideflächen beweideten die Milchkühe von Ende April bis Anfang Oktober im Rotationsverfahren 7 h pro Tag. Die Weideleistung wurde 2012 schlagspezifisch bestimmt (Ohm *et al.* 2013) und ebenso für 2010 und 2011 angenommen. Für die aufgenommene Biomasse wurde eine P-Verdaulichkeit von 45 % angenommen (Wu *et al.* 2001), sodass 55 % des aufgenommenen P als Exkretion auf der Weidefläche verbleibt. Auf 62 ha Acker war eine sechsgliedrige Fruchtfolge (Klee gras 1 – Klee gras 2 – Mais – Weizen – Bohnen/Hafer – Triticale) etabliert, die die Versorgung der Kühe decken soll. Mais wurde jedoch zum Teil von anderen Flächen importiert und Wirtschaftsdünger in die anderen Betriebsteile exportiert. Die Berechnung der P-Frachten ergibt sich aus der Multiplikation der von den Flächen abgefahrenen Erntemassen mit den standortspezifischen P-Konzentrationen.

Die P-Bodenbilanz berechnet sich aus den P-Strömen mit folgenden Stoffen und Prozessen:

- (1) P-Bodenbilanz Grünland = (Gülle + atmosphärische Deposition + Exkretion auf der Weide) – (Beweidung + Mahd + Auswaschung)
- (2) P-Bodenbilanz Acker = (Gülle + Festmist + atmosphärische Deposition + Saatgut) – (Ernte der Feldfrüchte + Auswaschung)

Ergebnisse

Die P-Bodenbilanzen zeigten zwischen 2010 und 2012 deutliche Unterschiede. Die einzelnen Glieder sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Spannweite gibt die höchste und niedrigste P-Abfuhr der Feldfrüchte auf den verschiedenen Schlägen zwischen 2010 und 2012 an. Mais (Mittelwert (MW) $30,4 \text{ kg P ha}^{-1}$, Spanne $17,7 - 38,2 \text{ kg P ha}^{-1}$) und Klee gras (MW $23,9 \text{ kg P ha}^{-1}$, Spanne $18,4 - 31,4 \text{ kg P ha}^{-1}$) hatten unter Berücksichtigung der jahresspezifischen P-Konzentrationen die höchsten jährlichen P-Exporte pro ha. Der mittlere P-Export von den Flächen zur Kraffutterproduktion (Triticale, Hafer/Bohne, Weizen) lag mit $11,9 \text{ kg P ha}^{-1}$ (Spanne $8,6 - 17 \text{ kg P ha}^{-1}$) deutlich darunter. Bei der Beweidung wurden durch die Tiere $15,9 \text{ kg P ha}^{-1}$ aufgenommen. Davon wurden 55 % ($8,7 \text{ kg P ha}^{-1}$) wieder ausgeschieden und verbleiben auf der Fläche, sodass 45 % ($7,2 \text{ kg P ha}^{-1}$) exportiert wurden. Die Intensität der Beweidung und die Grünlanderträge unterschieden sich zwischen den Flächen, sodass P-Exporte zwischen $9,5$ und $20,7 \text{ kg P ha}^{-1}$ ermittelt wurden. Die Wirtschaftsdüngerabfuhr war zwischen den Jahren und in Grünland und Ackerbau deutlich verschieden. Nicht alle Flächen wurden jährlich gedüngt (Tab. 1). Der Wirtschaftsdünger wurde zu hohen Anteilen in andere Betriebsteile exportiert.

Die P-Bodenbilanzen zeigten durchweg negative Ergebnisse und schwankten zwischen den Jahren auf Grund der unterschiedlichen Erträge sowie Düngerrückführung deutlich. Es ergaben sich für das Grünland je nach Wirtschaftsdüngerabfuhr mittlere Werte von $-7,96 \text{ kg P ha}^{-1}$ (2010: $-8,37 \text{ kg P ha}^{-1}$; 2011: $-9,34 \text{ kg P ha}^{-1}$ und 2012: $-6,16 \text{ kg P ha}^{-1}$). Der Acker hatte eine

P-Bodenbilanz von durchschnittlich -11,07 kg P ha⁻¹ (2010: -1,53 kg P ha⁻¹; 2011: -13,94 kg P ha⁻¹ und 2012: -17,7 kg P ha⁻¹).

Tabelle 1: Daten für P-Bilanzberechnung im Boden

Produkt	Ort	ha	Jahr	Bezug	Masse [kg]	P-Konz. [g kg ⁻¹]	Summe [kg P]	kg P ha ⁻¹		
Input	Saatgut	A	62,0	2010	FM	727	3,0 - 6,4 ⁴ Ackerfrüchten entsprechend	30,1	0,5	
			62,0	2011	FM	675		26,9	0,4	
			62,0	2012	FM	727		26,7	0,4	
	Gülle	A	G	52,0	2010	FM	3.309.914	0,154 ¹ ±0,02 n=3	511,6	9,8
				14,0					342.282	52,7
		A	32,0	2011	FM	1.133.980	0,151 ¹ ±0,03 n=6	171,4	5,4	
		G	32,5	2012	FM	2.055.129	0,148 ¹ ±0,045, n=3	303,5	9,3	
			30,0					1.162.000	172,0	5,7
	Festmist	A	20,5	2010	FM	281.798	1,01 ¹ (1,004 &1,017)	284,8	13,9	
		A	10,8	2011	FM	254.936		257,7	23,9	
	Atmosph. Depos.	A	62,0	a ⁻¹	ha		0,2 ⁵	12,4	0,2	
		G	54,0					10,8		
	Exkretion ⁷	G	39,5	2012	TM			345,0	8,7	
	Output	Beweidung	G	39,5	2012	TM	160.062	3,92 ¹ ±0,6 n=17	627,0	15,9
Silage						TM			55.408	217,2
Kleegrassilage		A	21,7	2010	TM	153.913	3,1 ¹ ±0,2 n=2	477,1	22	
			21,3	2011	TM	122.413	3,2 ¹ ±0,4 n=3	391,7	18,4	
			20,5	2012	TM	214.591	3,0 ¹ ±0,3 n=5	643,8	31,4	
Mais-silage		A	8,7	2010	TM	55.033	2,8 ¹ ±0,4 n=4	154,1	17,7	
			10,7	2011	TM	163.141	3,1 ¹ (2,9&3,3)	377,6	35,3	
			10,6	2012	TM	121.800	2,5 ¹ (2,4&2,5)	407,9	38,5	
Krafftutter		A	31,2	2010	TM	76.329	2,78 - 6,75 ^{2,3}	268,0	8,6	
			30,9	2011	TM	128.349	Ackerfrüchten	524,5	17	
			30,6	2012	TM	84.592	entsprechend	304,6	10	
Stroh		A	18,7	2010	TM	23.908	0,65 - 1,3 ^{2,4}	19,3	1	
			17,8	2011	TM	25.958	Ackerfrüchten	20,1	1,1	
			19,3	2012	TM	35.373	entsprechend	31,9	1,4	
Auswaschung	A	62,0	a ⁻¹	ha		0,3 ⁶	18,6	0,3		
	G	54,0					16,2			

TM = Trockenmasse, FM = Frischmasse, MW = Mittelwert, G=Grünland, A= Acker
¹betriebspezifische Daten, ²Paulsen und Schochow 2006, ³Böhm 2007, ⁴Kape *et al.* 2008,
⁵Landesamt für Landwirtschaft Umwelt und ländliche Räume 2014, ⁶Modin-Edman *et al.* 2007, ⁷55
 % des aufgenommenen P wird auf der Fläche wieder ausgeschieden

Diskussion

Aufgrund der hohen Bodenversorgung mit pflanzenverfügbarem P (P_{CAL}) wurde eine ausreichende Versorgung der Pflanzen mit P auf allen Flächen unterstellt. Die P-Bodenbilanz gibt einen Hinweis auf die P-Mengen, die für eine ausreichende P-Versorgung der Pflanzen mindestens aus dem Boden mobilisiert wurden. Die Betrachtung mehrerer Jahre ist auf Grund der hohen Ertragsschwankungen, insbesondere bei Mais und Kleegrassilage (Tab. 1) und der Wirtschaftsdüngerausbringung über Systemgrenzen hinweg wichtig, um solide Informationen über mögliche Potentiale zu gewinnen. 2010 zeigte sich für den Acker (alle Feldfrüchte) aufgrund niedriger Erträge und hoher Düngerrückführung eine fast ausgeglichene Bilanz, 2012

mit $-17,7 \text{ kg P ha}^{-1}$ ein deutliches Defizit. Auf dem Acker zirkulierten mit den biomassestarken Früchten Mais und Klee gras hohe P-Mengen. Das beweidete Grünland (39,5 ha der 54 ha Grünland) zeigte ertragsabhängig und damit schlagspezifisch große Unterschiede. Auf Grund der hohen P_{CAL} -Gehalte in den Grünlandflächen ist der Export von P aus Grünlandflächen auch 10 Jahre nach Umstellung auf Ökologischen Landbau unkritisch zu sehen und trägt zur P-Versorgung der Ackerflächen bei. Dieses P-Defizit kann allerdings nicht mittel- bis langfristig vom Boden ausgeglichen werden.

Schlussfolgerungen

Die detaillierte Betrachtung der P-Massenflüsse des Ökologischen Milchviehbetriebs Trenthorst zeigte deutliche Unterschiede zwischen den Jahren. Daher ist eine mehrjährige Betrachtung sinnvoll. Die Unterschiede sind besonders über schwankende Erträge sowie die Ausbringung des Wirtschaftsdüngers über Systemgrenzen hinweg zu erklären. Insgesamt ergibt sich durch Export von Milch, Tieren und Wirtschaftsdünger eine Versorgungslücke, die durch P Bodenvorräte aus dem Boden geschlossen wird. Ohne eine Veränderung der Massenflüsse wird P langfristig zu einem limitierenden Produktionsfaktor werden.

Literatur

- Böhm H (2007) Mineralstoffgehalte in Körnerleguminosen und Sommergetreide. 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Universität Hohenheim, Deutschland, 20.-23. März 2007
- Haas G, Deitert C, Köpke U (2007) Farm-gate nutrient balance assessment of organic dairy farms at different intensity levels in Germany. *Renew Agr Food Syst* 22(3):223-232
- Kape H-E, Wulffen von U, Roschke M (2008) Richtwerte für die Untersuchung und Beratung zur Umsetzung der Düngeverordnung in Mecklenburg-Vorpommern. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern
- Landesamt für Landwirtschaft Umwelt und ländliche Räume Schleswig Holstein (2014) Nährstoffe in Gewässern Schleswig-Holsteins Entwicklung und Bewirtschaftungsziele. Schriftreihe LLUR SH- Gewässer, D 24
- Modin-Edman A-K, Öborn I, Sverdrup H (2007) FARMFLOW – A dynamic model for phosphorus mass flow, simulating conventional and organic management of a Swedish dairy farm. *Agr Syst* 94(2):431-444
- Ohm M, Felix J, Schüler M, Paulsen HM (2013) Eignung von Methoden zur Ermittlung des Massenaufwuchses von Grünland am Beispiel eines ökologischen Milchviehbetriebes Kongressband VDLUFA 2013 Berlin:342-349
- Paulsen HM, Schochow M (2006) Anbau von Mischkulturen mit Ölpflanzen zur Verbesserung der Flächenproduktivität im ökologischen Landbau: Nährstoffaufnahme, Unkrautunterdrückung, Schaderregerbefall und Produktqualitäten. Abschlussbericht zum Forschungsprojekt gefördert mit Mitteln des Bundesprogramms Ökologischer Landbau (Projekt Nr. 03OE113). Braunschweig: FAL, Landbauforsch. Völknerode SH 309:142
- Schröder JJ, Smit AL, Cordell D, Rosemarin A (2011) Improved phosphorus use efficiency in agriculture: A key requirement for its sustainable use. *Chemosphere* 84(6):822-831
- Steinshamn H, Thuen E, Bleken MA, Brenøe UT, Ekerholt G, Yri C (2004) Utilization of nitrogen (N) and phosphorus (P) in an organic dairy farming system in Norway. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 104(3):509-522
- Wu Z, Satter LD, Blohowski AJ, Stauffacher RH, Wilson JH (2001) Milk Production, Estimated Phosphorus Excretion, and Bone Characteristics of Dairy Cows Fed Different Amounts of Phosphorus for Two or Three Years. *J Dairy Sci* 84(7):1738-1748