

Phosphorspeicherkapazität und Phosphorsättigungsgrad – Eine Fallstudie in Grünlandböden des Steirischen Ennstals und Steirischen Salzkammerguts

Phosphorus sorption capacity and degree of phosphorus saturation – A case study in grassland soils of the Styrian Enns valley and Styrian Salzkammergut

Christine Weißensteiner^{1*}, Andreas Bohner² und Jürgen Kurt Friedel¹

Einleitung

Phosphor (P) stellt für alle Lebewesen ein essentielles Nährelement dar (MARSCHNER 1995). Kommt es demnach zu einem Austrag von P aus dem Boden (z.B. Sickerwasser), so kann dieser in aquatischen Ökosystemen zur Eutrophierung führen (BRADY und WEIL 2002). Der P-Austrag mit dem Sickerwasser wird im Grünlandboden vor allem vom Vorrat an schnell mobilisierbarem P, von der Sickerwassermenge, vom Relief und den Bodeneigenschaften (z.B. Speicherung & Mobilisierung) beeinflusst. Ebenso sind die Bewirtschaftungsmaßnahmen (Nutzung, Düngung) von Bedeutung, die vor allem im Oberboden zu einer P-Anreicherung führen können (FROSSARD et al. 2004, BOHNER 2008). Die P-Austräge aus dem Boden können nicht allein aufgrund des leicht mobilisierbaren wasserlöslichen P und des P_{CAL} -Gehalts abgeschätzt werden (PHIL und WERNER 1993). Die Phosphorspeicherkapazität (PSC) und der Phosphorsättigungsgrad (DPS) gelten hingegen als geeignete Kennzahlen (LEINWBER et al. 1999). Da für das österreichische Grünland diesbezüglich kaum publizierte Untersuchungen vorliegen, stellt sich diese Arbeit folgende Fragen: In welcher Größenordnung liegen die PSC und der DPS in repräsentativen Böden des österreichischen Dauergrünlandes vor? Beeinflussen Bewirtschaftungsmaßnahmen den DPS? Unterscheiden sich die Bodentypen hinsichtlich ihrer PSC?

Material und Methoden

Untersuchungsgebiet: Die Untersuchungen wurden vorwiegend im Steirischen Ennstal und Steirischen Salzkammergut durchgeführt. Diese Gebiete sind repräsentativ für das österreichische Grünland im Berggebiet und werden geologisch den Nördlichen Kalkalpen und der Grauwackenzone zugeordnet (SCHUSTER et al. 2013). Die Probeflächen befanden sich auf einer Seehöhe von 600 - 1920 m (Tal-, Alm- & Gebirgsstandorte). In den Tal- und Beckenlagen reichte der Jahresniederschlag im langjährigen Mittel von 970 - 1532 mm und die Jahresmitteltemperatur von 5,9 - 7,3 °C (ZAMG 2002). Es wurden alle im Untersuchungsgebiet bedeutenden Bewirtschaftungsformen und Nutzungsintensitäten erfasst. Zu den untersuchten Bodentypen zählten diverse Rendzinen, Braunerden, Kalkbraunlehme, Auböden, Gleye und carbonathaltige Niedermoore. Die Bodenreaktion reichte von stark sauer bis schwach alkalisch und der organische Kohlenstoffgehalt von 2,4 - 55,1 %.

Methoden: Die Bodenproben (n = 239) wurden in der Vegetationsperiode (Mischprobe, Tiefenstufe: 0 - 10 cm) entnommen. Der für die Düngeempfehlung in Österreich übliche Calcium-Acetat-Lactatlösliche P (P_{CAL}) wurde nach ÖNORM L 1087 ermittelt. Die oxalatlöslichen Phosphor-, Aluminium-, Eisen- und Mangangehalte (P_{ox} , Al_{ox} , Fe_{ox} , Mn_{ox}) wurden nach SCHWERTMANN (1964) analysiert. Der P_{ox} -Gehalt repräsentiert den vor allem an pedogene Al-, Fe- und Mn-Oxide adsorbierten P. Die Phosphorspeicherkapazität und der Phosphorsättigungsgrad wurden wie folgt berechnet: $PSC (mmol\ kg^{-1}) = 0,5 \times (Al_{ox} + Fe_{ox} + Mn_{ox})$; $DPS (\%) = 100 \times P_{ox} / PSC$ (ECKHARDT und LEINWBER 1997). Für die PSC sind die amorphen Al- und Fe-Oxide die wichtigsten Sorbenten (FREESE et al. 1992). Eigentlich gilt die PSC nur für carbonatfreie, sandige Böden (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 2002). In der vorliegenden Arbeit wurden auch carbonathaltige Böden betrachtet, um in diesen die Bedeutung der amorphen Sesquioxide für die P-Speicherung beurteilen zu können.

Ergebnisse und Diskussion

In Tabelle 1 sind die untersuchten P-Fractionen, die ermittelten PSC und DPS für terrestrische und hydromorphe Talböden sowie Alm- und Gebirgsböden (Tiefenstufe 0 - 10 cm) angeführt. Erwartungsgemäß wiesen die einzelnen Werte aufgrund des sehr weiten Spektrums an untersuchten Böden und Bewirtschaftungsmaßnahmen eine große Spannweite auf. Die terrestrischen Talböden wiesen im Mittel signifikant höhere P_{ox} -Gehalte und DPS als die hydromorphen Talböden auf. Hauptverantwortlich dafür dürften die höheren Düngergaben in den intensiver genutzten terrestrischen Talböden sein.

Tabelle 1: Ausgewählte Phosphorfraktionen, Phosphorspeicherkapazität und Phosphorsättigungsgrad in terrestrischen und hydromorphen Talböden, Alm- und Gebirgsböden in der Tiefenstufe 0 - 10 cm

	terrestrische Talböden (n = 106)				hydromorphe Talböden (n = 106)				Alm- und Gebirgsböden (n = 27)			
	P _{CAL} mg kg ⁻¹	P _{ox} mg kg ⁻¹	PSC mmol kg ⁻¹	DPS %	P _{CAL} mg kg ⁻¹	P _{ox} mg kg ⁻¹	PSC mmol kg ⁻¹	DPS %	P _{CAL} mg kg ⁻¹	P _{ox} mg kg ⁻¹	PSC mmol kg ⁻¹	DPS %
Median	21	540	102	20	21	279	101	10	28	865	178	17
MW	27	599	97	21	28	331	111	11	34	942	175	18
V (%)	90	54	34	50	84	66	63	53	55	36	30	41
Min	1	67	24	3	1	54	19	1	6	399	76	9
Max	204	1881	164	52	111	1051	347	28	82	1583	248	42

n = Anzahl der Bodenanalysen; MW = arithmetischer Mittelwert; V (%) = Variabilitätskoeffizient; Min = Minimum; Max = Maximum; P_{CAL} = CAL-löslicher Phosphorgehalt; P_{ox} = Gehalt an oxalateextrahierbarem Phosphor; PSC = Phosphorspeicherkapazität; DPS = Phosphorsättigungsgrad

Insgesamt waren die P_{CAL}- und P_{ox}-Gehalte in den Alm- und Gebirgsböden signifikant höher als in den Talböden. Dies ist auf die hohen Humusgehalte, den geringen Entzug durch die Gebirgspflanzen aber auch die niedrigen pH-Werte zurückzuführen. So begünstigen stark saure Bedingungen die Löslichkeit (WELP et al. 1983) und Pflanzenverfügbarkeit von P. Es wird daher angenommen, dass stark saure Alm- und Gebirgsböden einen geringen P-Düngerbedarf aufweisen. Aufgrund der hohen Gehalte an amorphen Sesquioxiden wiesen die untersuchten Böden meist eine hohe PSC auf. Der Median variierte von 101 bis 178 mmol kg⁻¹ (siehe Tabelle 1), wobei sowohl in den Tal- als auch in den Gebirgsböden das oxalateextrahierbare Eisen den mengenmäßig größten Anteil an den Sesquioxiden (Sorbenten) einnahm (Ergebnisse nicht dargestellt).

Tabelle 2: Bodenkennwerte in Abhängigkeit von der Düngung und Nutzungsintensität (Mediane in der Tiefenstufe 0 - 10 cm)

	P _{CAL} mg kg ⁻¹	P _{ox} mg kg ⁻¹	PSC mmol kg ⁻¹	DPS %
ungedüngt (n = 66)	13	325	90	11
gedüngt (n = 110)	22	570	105	19
extensiv (n = 95)	14	407	100	15
intensiv (n = 74)	24	629	105	21

n = Anzahl der Bodenanalysen; P_{CAL} = CAL-löslicher Phosphorgehalt; P_{ox} = Gehalt an oxalateextrahierbarem Phosphor; PSC = Phosphorspeicherkapazität; DPS = Phosphorsättigungsgrad, extensive Nutzung = Streu-, ein- und zweischneittige Wiesen, Alm- und Hutweiden, intensive Nutzung = drei- und mehrschneittige Wiesen, Mäh- und Kulturweiden

Durchschnitt (48 %) vergleichsweise höher (KELLER und VAN DER ZEE 2004). In der internationalen Literatur spricht man von einem mit P gesättigten Boden, wenn der DPS den Wert 30 % erreicht (DE SMET et al. 1996, LEINWEBER et al. 1997). Neun Prozent der untersuchten Bodenproben überschritten diesen Wert. Hohe DPS wurden dabei vor allem in übernutzten Weiden und stark gedüngten Wiesen festgestellt, womit in diesen ein erhöhtes P-Austragspotenzial einhergeht. Dies bestätigt, dass ständig überhöhte Düngergaben die Sorbenten zunehmend sättigen (DPS), womit in der Regel die P-Konzentration in der Bodenlösung und somit die Gefahr einer P-Auswaschung steigen (PIHL und WERNER 1995). Die Düngergaben sollten somit in diesen Flächen reduziert werden. Abgesehen davon dürfte in den untersuchten Grünlandböden ein P-Austrag mit dem Sickerwasser bei einer standortangepassten Bewirtschaftung und durchschnittlichen Witterungsverhältnissen meist gering sein. Dies bestätigen auch die Lysimeteruntersuchungen von BOHNER et al. (2007). In Tabelle 2 sind ausgewählte Bodenkennwerte in Abhängigkeit von Nutzung und Düngung angeführt. Wie erwartet wiesen regelmäßig gedüngte bzw. intensiv genutzte Böden signifikant höhere P_{CAL}- und P_{ox}-Gehalte sowie DPS als ungedüngte bzw. extensiv genutzte Böden auf. In den Oberböden intensiv genutzter Böden hat somit vermutlich eine P-Anreicherung durch die Düngung stattgefunden (BOHNER 2005, 2008). Langjährig gedüngte bzw. intensiv genutzte Böden weisen somit in der Regel ein höheres P-Auswaschungspotential als extensiv genutzte bzw. ungedüngte Böden auf. Dennoch lagen selbst in den regelmäßig gedüngten bzw. intensiv genutzten Böden, gemäß den „Richtlinien für die sachgerechte Düngung“ im Median sehr niedrig P_{CAL}-Gehalte (< 26 mg kg⁻¹)

Der Median variierte von 101 bis 178 mmol kg⁻¹ (siehe Tabelle 1), wobei sowohl in den Tal- als auch in den Gebirgsböden das oxalateextrahierbare Eisen den mengenmäßig größten Anteil an den Sesquioxiden (Sorbenten) einnahm (Ergebnisse nicht dargestellt). KELLER und VAN DER ZEE (2004) fanden in den obersten 5 cm intensiv genutzter schweizerischer Grünlandböden durchschnittliche PSC von 91 mmol kg⁻¹. Der DPS war in den vorliegenden Grünlandböden meist niedrig und schwankte im Median zwischen 10 und 20 %. In den schweizerischen Böden (0 - 5 cm) war der DPS hingegen im

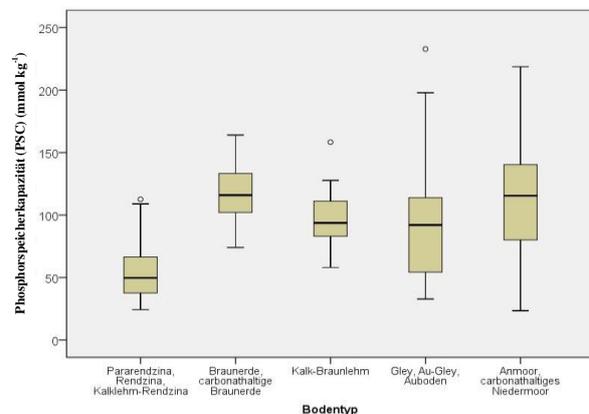


Abbildung 1: Phosphorspeicherkapazität in Abhängigkeit des Bodentyps

vor. Abbildung 1 zeigt die PSC in Abhängigkeit des Bodentyps. In den carbonathaltigen A-C-Böden (Rendzinen) war die PSC wie erwartet am niedrigsten. In diesen wird P aber auch an Carbonate gespeichert oder mit Calcium ausgefällt. Von einem erhöhten P-Auswaschungspotential in A-C-Böden ist somit nicht auszugehen. In Anmooren und carbonathaltigen Niedermooren war die PSC hingegen unerwartet hoch. Vor allem carbonathaltige Niedermoore wiesen sehr hohe Gehalte an amorphen Fe-Oxiden auf, die P gut speichern können. Ebenso dürfte die Komplexbindung von Fe und Al mit der organischen Bodensubstanz einen Beitrag zur P-Bindung leisten. In sauren Mooren liegen hingegen meist kaum amorphe Sesquioxide vor, weshalb das P-Auswaschungspotential relativ hoch ist (KUNTZE und SCHEFFER 1979). Dies gilt es bei der Düngung zu beachten. Kalk-Braunlehme, vor allem aber die im österreichischen Grünland flächenmäßig sehr bedeutenden Braunerden wiesen ebenso hohe PSC auf. Aus Sicht der Gewässereutrophierung und Nutzungstolaranz sind Braunerden somit als besonders günstig zu bewerten. Insgesamt zeigen die meist ausreichend hohen PSC und niedrigen DPS (Tiefenstufe 0-10 cm), dass in den untersuchten Grünlandböden bei standortangepasster Bewirtschaftung kein erheblicher P-Austrag auftreten sollte. Für eine bessere Aussagekraft ist in künftigen Untersuchungen allerdings auch der Unterboden (verschiedene Tiefenstufen) zu berücksichtigen, um vertikale P-Flüsse, vor allem aufgrund von Makroporen feststellen und somit den P-Austrag besser beurteilen zu können.

Zusammenfassung

Die Phosphorspeicherkapazität (PSC) und der Phosphorsättigungsgrad (DPS) gelten in der internationalen Literatur als Kennzahlen, mit deren Hilfe das P-Auswaschungspotential abgeschätzt werden kann. Anhand einer umfangreichen Erhebung (239 Bodenproben) in einem repräsentativen Grünlandgebiet Österreichs (Tal- & Gebirgsstandorte) sollte ein Überblick über die genannten Kennzahlen und deren Einflussfaktoren in österreichischen Grünlandböden geschaffen werden.

In den untersuchten Grünlandböden konnten in den obersten 10 cm meist hohe PSC festgestellt werden, die vorrangig auf die sehr hohen Gehalte an amorphen Eisenoxiden zurückzuführen waren. Hohe PSC lagen vor allem in den Braunerden, carbonathaltigen Niedermooren und in den sauren Alm- und Gebirgsböden vor. Die untersuchten Böden wiesen vorwiegend niedrige DPS auf. Dies weist auf ein geringes P-Auswaschungspotential mit dem Sickerwasser hin, sofern eine standortangepasste Bewirtschaftung und durchschnittliche Witterungsverhältnisse vorliegen. Regelmäßig gedüngte und intensiv genutzte Grünlandböden wiesen allerdings vergleichsweise höhere DPS als ungedüngte und extensiv genutzte Böden auf, womit sich in diesen das Potenzial der P-Auswaschung erhöht.

Abstract

According to the international literature, the phosphorus sorption capacity (PSC) and the degree of phosphorus saturation (DPS) are considered as indicators to estimate the potential of P leaching. A comprehensive survey (about 239 grassland soil samples) in a representative grassland area of Austria (valley & mountain sites) should give a first overview about these indicators and factors influencing them. Due to the very high content of amorphous iron oxides in the layer of 0 - 10 cm, most of the investigated grassland soils exhibited high PSC. Especially in Cambisols, calcareous Histosols and acid mountain soils, the PSC was very high. The DPS was usually low. This indicates a low risk of phosphorus losses via leaching, as long as a site adapted grassland management and average weather conditions are present. However, regularly fertilized and intensively used grassland soils showed higher DPS than unfertilized and extensively used soils. Therefore, intensively used sites have an increased potential of P leaching.

Literatur

Die Literatur kann bei den Autoren eingesehen werden.

Adressen der Autoren

¹ Universität für Bodenkultur Wien

² LFZ Raumberg – Gumpenstein Irnding

* Ansprechpartner: Christine WEIßENSTEINER, MSc; christine-weissensteiner@gmx.at