

Phosphordünger aus Klärschlamm: Evaluierung von Pyrolysekohle und Alkalipyrolyse

Bünemann EK¹, Symanczik S¹, Koller M¹, Menold J^{1,2}, Oelmann Y² & Stemann J³

Keywords: biochar, soil pH, phosphorus, recycling.

Abstract

*Phosphorus (P) in sewage sludge holds the main proportion of P currently lost in waste streams, and options to recycle it for agriculture are needed. Pyrolysis is a promising local alternative to centralized sewage sludge incineration. Pathogens and organic pollutants are destroyed and a carbon-rich substrate known as biochar is formed. We evaluated pyrolysis of sewage sludge as well as sintering of pyrolysis char with alkali salts. The products were applied in a pot experiment with calcareous and acidic soils to determine P uptake by ryegrass (*Lolium multiflorum*) and changes in soil pH, available P and cation exchange capacity. Two products were also tested in a field experiment with maize (*Zea mays*) on a neutral soil. Cadmium and mercury were partly lost during pyrolysis. The pot experiment revealed interactions between soil pH and P use efficiency of the various products, including reference fertilizers permitted in organic farming. Pyrolysis changed plant P availability only slightly compared to the parent sewage sludge, but sintering with alkali salts increased plant P availability to levels comparable to triple superphosphate. Potential implications for organic agriculture are discussed.*

Einleitung und Zielsetzung

Phosphorbilanzen sind im Biolandbau häufig negativ. Für Deutschland wurden beispielsweise mittlere P-Salden von -9 bis -2 kg P pro ha und Jahr ermittelt (Kolbe, 2016). Eine niedrige P-Versorgung (Gehaltsklasse A) wurde auf 13 Prozent der Ackerschläge und 21 Prozent der Grünlandschläge festgestellt. Als Alternative zur endlichen Ressource Röhphosphat, die zudem häufig recht stark mit Cadmium und Uran belastet und auf Böden mit hohem pH Wert praktisch unwirksam ist, würden sich möglicherweise Recyclingdünger aus Klärschlamm, Grüngut und anderen organischen Abfällen anbieten. So könnten Nährstoffkreisläufe nicht nur innerhalb eines Betriebes, sondern auch auf Gesellschaftsebene geschlossen werden.

Da sowohl in der Schweiz als auch in Deutschland die Rückgewinnung von P aus Klärschlamm nach einer zehnjährigen Übergangsfrist ab 2026 Pflicht sein wird, müssen dringend Lösungen gefunden werden, wie Klärschlamm als Dünger eingesetzt werden kann, ohne Risiken für die Bodenfruchtbarkeit und Produktqualität einzugehen. Eine dezentrale Lösung für kleinere Kläranlagen könnte dabei in der Herstellung von Biokohle aus Klärschlamm in Pyrolyseanlagen bestehen.

¹ Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL, Ackerstrasse, 5070, Frick, Schweiz, else.buenemann@fibl.org

² Universität Tübingen, Professur für Geoökologie, Rümelinstr 19-23, 72070 Tübingen, Deutschland

³ Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut für Ecopreneurship, Gründenstr. 40, 4132 Muttenz, Schweiz

Das Ziel dieser Arbeit war die Evaluierung der agronomischen Wirksamkeit von zwei Pyrolyse-Verfahren, mit denen Phosphor aus Klärschlamm rückgewonnen und als möglicher Dünger eingesetzt werden könnte.

Methoden

Versuchsdesign

Die Phosphoraufnahme aus zwei Phosphordüngern aus Klärschlamm, die mit unterschiedlichen Pyrolyse-Verfahren hergestellt wurden, wurde in einem 6wöchigen Topfversuch und einem einjährigen Feldversuch im Vergleich zu mineralischen und organischen Referenzdüngern untersucht. Im Topfversuch wurden sieben Düngungsverfahren auf zwei verschiedenen Böden mit je sechs Wiederholungen getestet, während im Feldversuch fünf Düngungsverfahren mit vier Wiederholungen untersucht wurden (Tabelle 9). Parallel zum Topfversuch wurde ein Inkubationsversuch durchgeführt, um die Wirkung der Dünger auf ausgewählte Bodeneigenschaften zu erheben.

Tabelle 9: Düngungsverfahren in Topf- und Feldversuch

Verfahren	Topfversuch, Inkubation	Feldversuch
Null-P-Düngung (Kontrolle)	X	X
Tripelsuperphosphat (Konventionelle Kontrolle)	X	
Fleischknochenmehl (Referenzdünger Biolandbau, zugelassen bei Bio Suisse und EU BioV 889/2008)	X	
Hühnermistpellets (Organischer Referenzdünger Biolandbau)	X	X
Rohphosphat (Mineralischer Referenzdünger Biolandbau)	X	X
Pyrolysekohle (aus Klärschlamm)	X	X
Gesinterter Klärschlamm (Alkalipyrolyse)	X	X

Böden

Die beiden Böden im Topfversuch waren eher schwach mit Nährstoffen, insbesondere P, versorgt. Der saure Boden stammte vom Standort Le Caron im Jura (Schweiz) und enthielt 16% Ton, 21% Schluff und 63% Sand. Der Boden vom Standort Dompierre im Kanton Fribourg (Schweiz) enthielt 31% Ton, 63% Schluff und 6% Sand.

Der Feldversuch wurde bei Schwerzenbach im Kanton Zürich (Schweiz) auf einem neutralen Boden mit mäßiger Nährstoffversorgung durchgeführt (wasserlösliches Phosphat: Versorgungsklasse B; Ammoniumacetat-EDTA-Phosphat: C).

Nährstoffgaben

Im Topfversuch betrug die P-Gabe mit den Düngern 50 mg P pro kg Boden und die Dünger wurden gleichmäßig mit dem Boden vermischt. Der in den Hühnermistpellets enthaltene Stickstoff wurde in den anderen Verfahren in Form von Hornmehl verabreicht. Darüber hinaus wurden alle Verfahren gleichmäßig mit N, K, Mg, Ca und S in flüssiger Form versorgt, um anderen Nährstofflimitierungen als mit P vorzubeugen. Im Feldversuch betrug die P-Gabe 100 kg P₂O₅ pro ha (= 43.7 kg P pro ha). Die anderen Nährstoffe wurden in Form von Hornmehl, Kaliumsulfat und Kiserit ausgeglichen und in allen Verfahren auf 110 kg N pro ha und 220 kg K₂O pro ha ergänzt.

Versuchsdurchführung

Im Topfversuch wurden 325 g Boden pro Topf eingefüllt und *Lolium multiflorum* Lam. gesät und nach sechs Wochen oberirdisch geerntet. Die Parzellen im Feldversuch waren 6 m x 10 m gross. Der Mais (*Zea mays* L.) wurde nach vier Monaten als Silomais geerntet. Parallel zum Topfversuch wurde ein Inkubationsexperiment durchgeführt, mit denselben Verfahren wie im Topfversuch und destruktiver Probenahme.

Analysen

Im Topf- und im Feldversuch wurden die oberirdische Trockenmasse und P-Gehalte erhoben und die P-Aufnahme in die Pflanzen berechnet. Im Inkubationsexperiment wurden pH, elektrische Leitfähigkeit, Kationenaustauschkapazität, pflanzenverfügbare P (extrahierbar mit Anionenaustauschharzen) und mikrobiell gebundener P (Kouno et al. 1995) bestimmt.

Ergebnisse

Charakterisierung der Pyrolysekohle und des gesinterten Klärschlamm

Während der Pyrolyse nahm der Gehalt an Quecksilber ab, während weniger stark flüchtige Schwermetalle leicht angereichert wurden. Die Konzentrationen von polyaromatischen Kohlenwasserstoffen (PAKs) waren unter den für Pyrolysekohle geltenden Grenzwerten. Durch die Alkalisinterung wurden neben Quecksilber auch Cadmium, Blei und Zink stark angereichert.

Topfversuch

Gegenüber der ungedüngten Kontrolle wurde die P-Aufnahme auf dem sauren Boden durch Fleischknochenmehl ebenso stark gesteigert wie durch TSP. Hühnermistpellets und gesintertes Klärschlamm erreichten etwa 75% der P-Aufnahme von TSP, während Rohphosphat etwa halb so wirksam war. Im Unterschied zu vorherigen Versuchen erzielte die Pyrolysekohle keine zusätzliche P-Aufnahme zur ungedüngten Kontrolle.

Auf dem alkalischen Boden betrug die P-Aufnahme aus dem gesinterten Klärschlamm etwa 60% der P-Aufnahme aus TSP und die aus den Hühnermistpellets etwa 50%. Alle anderen P-Dünger (Rohphosphat, Fleischknochenmehl, Pyrolysekohle) waren praktisch unwirksam.

Inkubationsexperiment

Es wurden nur sehr geringe Unterschiede im pH, in der elektrischen Leitfähigkeit und in der Kationenaustauschkapazität gefunden, die z.T. eher auf die Ergänzungsdünger

als auf die P-Dünger aus Klärschlamm zurückzuführen waren. Die P-Aufnahme der Pflanzen korrelierte in beiden Böden mit dem pflanzenverfügbaren P-Gehalt im Boden. Die Gehalte an mikrobiell gebundenem P wurden durch die Düngung auf keinem der Böden signifikant beeinflusst.

Feldversuch

Im Feldversuch wurden keine signifikanten Unterschiede im Maisertrag oder in der P-Aufnahme gefunden.

Diskussion

Eine zufriedenstellende Wirkung als P-Dünger aus Klärschlamm wurde nur beim gesinterten Klärschlamm beobachtet. Es muss diskutiert werden, ob diese chemische Behandlung für den Biolandbau akzeptabel ist.

Die geringe P-Düngewirkung der Pyrolysekohle ohne Alkalisierung war unabhängig vom pH-Wert des Bodens. In vorherigen Versuchen mit anderen Chargen der Pyrolysekohle war eine grössere P-Düngewirkung gefunden worden. Die geringe Wirkung in dieser Studie könnte mit schwankenden Herstellungsbedingungen zusammenhängen. Da keine Auswirkungen der Pyrolysekohle auf Bodenparameter wie pH-Wert und mikrobiell gebundenem P festgestellt wurden, kann der Einsatz der untersuchten Pyrolysekohle basierend auf dieser Studie weder zur P-Versorgung noch als Bodenverbesserungsmittel empfohlen werden.

Der Topfversuch zeigte deutlich, dass die Wirksamkeit im Biolandbau zugelassener P-Dünger wie Fleischknochenmehl, Rohphosphat und zu einem gewissen Grad auch Hühnermistpellets stark vom pH-Wert des Bodens beeinflusst wird. Insofern wäre der gesinterte Klärschlamm insbesondere auf alkalischen Böden von Interesse, auch wenn die P-Ausnutzung dort etwas geringer war als auf dem sauren Boden.

Schlussfolgerungen

Mit Alkalisalzen gesintertes Klärschlamm könnte eine gute P-Düngewirkung erzielen, die relativ wenig vom Boden-pH abhängen würde. Zudem entspricht das Produkt dem Kreislaufgedanken des Biolandbaus und bringt deutlich weniger Cadmium und Uran in den Boden als Rohphosphat. Durch den Einsatz von Alkalisalzen während der Sinterung ist das Verfahren aber möglicherweise nicht zulassungsfähig für den Biolandbau. Pyrolysekohle aus Klärschlamm zeigte in diesen Versuchen weder eine Wirkung als P-Dünger noch eine Verbesserung der Bodenqualität.

Danksagung

Dieses Projekt wurde durch die Kommission für Technik und Innovation (KTI) der Schweizerischen Eidgenossenschaft gefördert.

Literatur

- Kolbe H (2016) Nährstoff- und Humusversorgung im Ökolandbau. Der kritische Agrarbericht 2016, 168-174. Online verfügbar unter http://www.kritischer-agrarbericht.de/fileadmin/Daten-KAB/KAB-2016/KAB2016_Kap4_168_174_Kolbe.pdf (12.8.2016).
- Kouno K, Tuchiya Y and Ando T (1995) Measurement of soil microbial biomass phosphorus by an anion exchange membrane method. *Soil Biology & Biochemistry* 27: 1353-1357.