

Abschätzung des Risikos einer Schwermetall-Akkumulation in Böden durch längerfristige Anwendung von Recycling-Phosphor-Düngemitteln

Weissengruber L¹, Friedel JK¹ & Möller K²

Keywords: heavy metals, phosphorus recycling, sewage sludge, phosphorus fertilizer, risk assessment.

Abstract

In order to assess the risk of the use of recycled phosphorus (P) fertilisers for organic farming, the potential accumulation of heavy metals in soil after a 200-year fertilizer application equivalent to 11 kg P ha⁻¹ yr⁻¹ was calculated in a mass balance approach. Both fertilizers currently allowed in organic farming and recycled P fertilizers were regarded. For heavy metals, four scenarios with two soil pH levels (pH 5 and pH 7) and two precipitation excess levels (F 0.1 and F 0.3 m yr⁻¹) were calculated. Recycled P fertilizers like struvite, meat- and bone meal, ashes, sewage sludge and digestate, as well as phosphate rock and triple superphosphate had a higher P content and a lower heavy metal-to-P ratio than composts. Consequently, compost application was associated with the highest pollution risk. Only the Cd accumulation with TSP was higher than that with compost. Model calculations do not indicate a significant risk of heavy metal accumulation in soil compromising food quality or soil fertility after long-term application for the assessed recycled P fertilizers.

Einleitung und Zielsetzung

Phosphor (P) ist ein essenzielles Element für alle Lebewesen. Es stammt aus Lagerstätten, die sich auf wenige Länder konzentrieren und die zunehmend mit Cadmium und Uran belastet sind. P wird in Europa nicht nachhaltig behandelt. Nach der Nutzung geht der Großteil des P durch die Verbrennung von Klärschlamm und Tiernebenprodukten zusammen mit Müll oder in Zementwerken verloren. Um einen Kreislauf für P zwischen der Nahrungsmittelproduktion und städtischen Regionen zu schaffen, muss P recycelt werden. Die wichtigsten potentiellen Quellen für P-Recyclingdünger sind Klärschlamm-basierte Rückstände, Schlachthausabfälle wie Fleisch- und Knochenmehl und organische Abfälle aus dem städtischen Bereich (van Dijk et al. 2016). Deren Anwendung in der Landwirtschaft ist jedoch eingeschränkt wegen Risiken durch Belastung mit potentiell schädigenden Stoffen wie Schwermetallen (SM), persistenten organischen Verbindungen und / oder hygienischen Risiken.

Es sollte das Risiko einer Akkumulation von SM im Boden eingeschätzt werden, das mit einer längerfristigen Anwendung von P-Recyclingdüngern und von im ökologischen Landbau zugelassenen P-Düngern verbunden ist, und wesentliche Faktoren für eine mögliche Schadstoffakkumulation sollten identifiziert werden.

Methoden

In einem Massenbilanz-Modell wurde die Auswirkung von 17 Düngern auf die Bodenkonzentration der Schwermetalle (SM) Cd, Cr, Pb, Ni, Cu und Zn in einem Massenbilanz-Modell über 200 Jahre berechnet. Die angenommene Düngermenge von $11 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bezieht sich auf das P-Bilanz-Defizit ökologischer Betriebe. P-Recyclingdünger wie Struvit, Klärschlamm, Klärschlammaschen, Gärrest, Fleisch- und Knochenmehl wurden mit klassischen Düngern wie Kompost, Rindermist, Rohphosphat und Tripel-Superphosphat (TSP) verglichen. Den Berechnungen zugrunde gelegt wurden die durchschnittlichen Hintergrundkonzentrationen dieser Schadstoffe in europäischen Böden (Salminen et al. 2005) und der atmosphärische Eintrag in den Boden (Nicholson et al. 2003, MSC-E 2016). Die Ergebnisse wurden mit den Vorsorgewerten des Joint Research Center der EU (Gawlik & Bidoglio 2006) verglichen. Das Modell berücksichtigt die jährliche SM-Zufuhr über atmosphärische Deposition, Kalkung und Dünger sowie die SM-Abfuhr über Ernteprodukte und Auswaschung (Smolders 2013). Für die SM-Aufnahme in die Pflanze wurde der Transferfaktor des jeweiligen Elements für Weizenkorn verwendet. Die Auswaschung von SM aus dem Boden wurde in Abhängigkeit vom pH-Wert des Bodens, ihres Verteilungskoeffizientens KD zwischen Bodenlösung und Festphase und der Sickerwasserbildung (precipitation excess F) ermittelt. Die SM-Aufnahme in die Pflanze und die Verlagerung mit dem Sickerwasser wurden in Abhängigkeit der aktuellen Bodenkonzentration berechnet, d.h. die Abfuhr mit der Ernte und Auswaschung nehmen bei Abreicherung im Boden ab. Für die SM wurden vier Szenarien mit Kombinationen der Boden-pH-Werte 5 und 7 mit niedriger ($F = 0,1 \text{ m a}^{-1}$) und hoher ($F = 0,3 \text{ m a}^{-1}$) Sickerwasserbildung berechnet. Die zur Berechnung verwendeten SM-Gehalte in den Düngern sind europäische Mittelwerte (Tabelle 1).

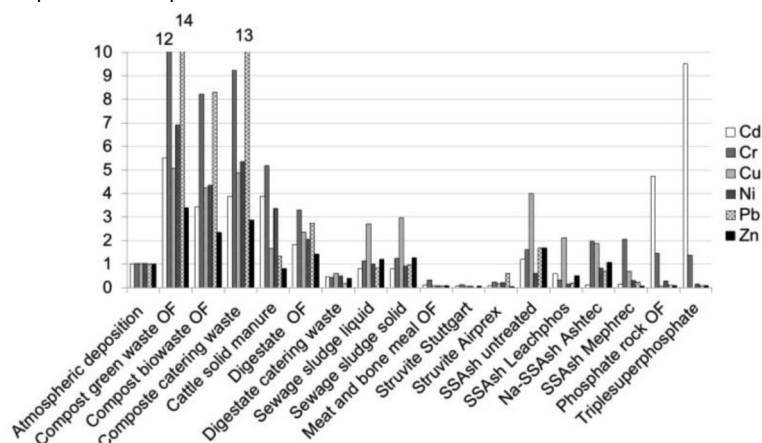
Tabelle 1: Schwermetall- und P-Gehalte in ausgewählten Düngern [$\text{mg kg}^{-1} \text{ DM}$]

	Cd	Cr	Ni	Pb	Cu	Zn	P	Refs.
Grüngutkompost (bio)	0.4	23	14	32	34	154	2200	[1]
Rindermist	0.8	28	19	9	32	107	6313	[2]
Gärrest (bio)	0.4	19	13	20	49	200	6800	[1]
Klärschlamm fest	1.0	37	29	37	327	937	35700	[3]
Fleisch-Knochenmehl (bio)	0.2	14	3	3	11	109	53100	[1]
Struvit Stuttgart	0.4	14	5	6	19	260	169630	[1] [4] [5]
Klärschlammasche (KA)	2.8	96	37	129	875	2479	70900	[6] [5]
KA Leachphos	2.6	34	14	25	851	1390	131000	[5] [7]
KA Mephrec	0.3	89	14	13	107	69	51976	[7] [8]
Rohphosphat (bio)	19	152	28	12	17	221	124431	[9]
Triple Superphosphat	62	229	21	15	15	354	198653	[10]

[1] Möller & Schultheiß (2014), [2] AROMIS (2016), [3] Wollmann (2015), [4] Pinnekamp et al. (2011), [5] Steinmetz et al. (2014), [6] Langeveld (2014), [7] Herzel et al. (2015), [8] Scheidig (2009), [9] Kratz & Schnug (2005), [10] Dittrich & Klose (2008)

Ergebnisse

Nach 200 Jahren war der SM-Eintrag über Komposte, Rindermist und Gärrest generell höher als der aus atmosphärischer Deposition (Abbildung 1). Bei den anderen Düngern, auch bei Klärschlamm, war der Eintrag mit Ausnahme von Cd bei TSP geringer als bei Komposten und Rindermist. Gärrest aus Lebensmittelabfällen, Fleisch- und Knochenmehl und Struvit hatten einen geringeren SM-Eintrag als der aus atmosphärischer Deposition.



Digestate: Gärrest; catering waste: Lebensmittelabfälle; Sewage sludge: Klärschlamm; SSAsh: Klärschlammmasche; OF: Dünger im ökologischen Landbau zugelassen.

Abbildung 1: Verhältnis von Schwermetallzufuhr mit P-Düngern zu atmosphärischer Deposition nach 200 Jahren bei einer jährlichen Düngung von 11 kg P pro ha.

Die Modellberechnungen für Cd, Pb, Cr, Ni und Cu ergaben eine leichte Veränderung der SM-Konzentrationen im Boden gegenüber der Ausgangssituation, eine etwaige Zunahme der SM-Konzentration betrug nur einen kleinen Teil der Differenz vom Hintergrund- zum Vorsorgewert (Ergebnisse nicht dargestellt). Nur für Zn kann die Zunahme bedeutend sein und etwa 65 % der Differenz zwischen Hintergrund- und Vorsorgewert ausmachen bei den Düngern mit den höchsten auf die P-Gehalte bezogenen Zn-Gehalten. Dies betrifft Komposte bei pH 7 und geringer Sickerwasserbildung. Das Element Cr stellt eine Ausnahme dar, weil die derzeitigen Hintergrundwerte über den Vorsorgewerten liegen. Zu einer weiteren, geringen Cr-Anreicherung im Boden kam es bei Düngung mit Komposten, Rindermist und Gärrest.

Diskussion

In den letzten Jahren haben gesetzliche und technische Maßnahmen den Gehalt an SM in Klärschlamm deutlich verringert (Herter und Külling 2003). Ursache der relativ hohen SM-Einträge bei der Düngung mit Kompost und Rindermist ist deren geringer P-Gehalt im Vergleich zu den anderen P-Düngemitteln. Dies hat ein hohes Verhältnis von SM- zu P-Gehalten und damit einen hohen SM-Eintrag bei Komposten und Rindermist zur Folge.

Schlussfolgerungen

Die längerfristige Anwendung der betrachteten Recycling-P-Düngemittel stellt kein bedeutendes Risiko einer Akkumulation von SM in Böden dar, von der eine Beeinträchtigung von Nahrungsmittelqualität oder Bodenfruchtbarkeit ausgehen könnte. Zahlreiche derzeit im Ökolandbau nicht erlaubte Recycling-P-Düngemittel wie Struvit, Gärreste aus Speiseresten, Fleisch- und Knochenmehl, gereinigte Klärschlammaschen weisen ein geringeres Akkumulationsrisiko für Schwermetalle auf als derzeit erlaubte (z.B. Komposte). Selbst das SM-Akkumulationsrisiko heutiger Klärschlämme ist geringer als das von Grüngut- oder Hausmüllkomposten. Sowohl Ausgangssubstrate als auch Behandlungsverfahren der Recycling-P-Düngemittel beeinflussen deren Schadstoffkonzentration im Verhältnis zum P-Gehalt wesentlich. Daher hängt das Risiko einer SM-Akkumulation von der SM-Konzentration der Dünger bezogen auf deren P-Konzentration ab. Wir benötigen nährstoffbezogene Maßzahlen zur Bewertung von Schadstoffkonzentrationen in Düngemitteln; Grenzwerte bezogen auf die Trockenmasse sind eher nicht zur Abschätzung geeignet.

Literatur

- AROMIS Database (2016) Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Deutschland. <http://daten.ktbl.de/romis/heavyMetal.do>.
- Dittrich B, Klose R (2008) Schwermetalle in Düngemitteln. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 3.
- Eriksen GS et al. (2009) Risk assessment of contaminants in sewage sludge applied on Norwegian soils. Norwegian Scientific Committee for Food Safety, Oslo.
- Gawlik BM & Bidoglio G (2006) Background values in European soils and sewage sludges, Part 3. Results of a JRC-coordinated study on background values, European Commission.
- Herter U & Külling D (2003) Risikoabschätzung zur landwirtschaftlichen Abfalldüngerwertung. Schriftenreihe der FAL 48. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau.
- Herzel H, Stemann J, Nättorp A & Adam C (2015) P-Recovery Technologies and Products. http://p-rex.eu/uploads/media/2_P-REX_Recovery_Technologies_Amsterdam_Herzel.pdf
- Kratz S, Schnug E (2005) Schwermetalle in Düngern. Landbauforschung Völkerode, Issue 286.
- Langeveld K (2014) The use of secondary phosphates at ICL Fertilizers Europe. Workshop Abwasser - Phosphor – Dünger, BAM, 28./29. Januar 2014, Berlin.
- Möller K & Schultheiß U (2014) Organische Handelsdüngemittel im ökologischen Landbau, KTBL-Schrift 499. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft.
- MSC-E (2013) Meteorological Synthesizing Centre - East (MSC-E), Deposition to temperate crops Germany 2013. <http://www.msceast.org/index.php/germany> (Februar 2016).
- Nicholson FA, Smith SR, Alloway BJ, Carlton-Smith C, Chambers BJ (2003) An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *Sci Total Environ.* 311: 205-219.
- Pinnekamp J, et al. (2011) Phosphorrecycling - Ökologische und wirtschaftliche Bewertung verschiedener Verfahren und Entwicklung eines strategischen Verwertungskonzepts für DE.
- Salminen R, Batista MJ, Bidovec M, Demetriades A, De Vivo B, De Vos W, Duris M, Gilucis A, Gregorauskiene V, Halamic J, et al. (2005) FOREGS Geochemical Atlas of Europe. Part 1: Background Information, Methodology and Maps. Espoo, Geological Survey of Finland.
- Scheidig K (2009) Metallurgisches Phosphor-Recycling, 9. Gutachtersitzung BMBF/BMU-Förderinitiative P-Recycling, Berlin, Ingenieurbüro für Gießereitechnik GmbH Leipzig.
- Smolders E (2013) Revisiting and updating the effect of phosphorus fertilizer on cadmium accumulation in european soils. International Fertiliser Society, Windsor, UK, on 23rd May.
- Steinmetz H, Meyer C & Reinhardt T (2014) Interkommunales Projekt zur Phosphorrückgewinnung aus Klärschlammaschen in Baden-Württemberg.
- van Dijk KC, Lesschen JP & Oenema O (2016) Phosphorus flows and balances of the European Union Member States. *Sci Total Environ.* 542: 1078-1093.
- Wollmann I & Möller K (2015) Assessment of Alternative Phosphorus Fertilizers for Organic Farming: Sewage Precipitation Products. <http://orgprints.org/28142/>.