

## Ökobilanzen von Recycling-Phosphor-Düngemitteln

Hörtenhuber S<sup>1,2</sup>, Theurl M<sup>1</sup> & Möller K<sup>3</sup>

*Keywords: phosphorous recycling, sewage sludge, organic urban waste, life cycle assessment.*

### Abstract

*Whereas fertilisers based on phosphate rock show a high abiotic resource depletion potential, phosphorous (P) recycling fertilisers such as struvite are related to a high fossil primary energy demand. Compost can result in very high acidification, eutrophication and global warming potentials. Sewage sludge, its ash and P-recycling fertilisers based thereon, Thomas phosphate or meat and bone meal as well as especially wood ash provide significantly lower environmental impacts but have partially other disadvantages, e.g. P-availability or pollutant accumulation. For future P-supply in agriculture, it is important to recover P from urban waste disposal. The life cycle assessment (LCA) represents an important contribution to analyse strengths and weaknesses of P-recycling pathways.*

### Einleitung und Zielsetzung

Mineralischer Phosphor (P) ist eine endliche Ressource mit enormer Bedeutung für den Stoffwechsel von pflanzlichen und tierischen Organismen. Geschlossene Stoffkreisläufe sind ein Grundprinzip des Biolandbaus. Böden laufen (besonders in viehlosen/-schwachen Biobetrieben) allerdings Gefahr, langfristig an P zu verarmen. Dies wird einerseits durch den ständigen Export über Ernteprodukte und andererseits durch begrenzte Möglichkeiten der Zufuhr von externen P-Düngemitteln bewirkt. Rohphosphat als endliche Ressource stellt derzeit die wichtigste externe P-Quelle für den ökologischen Landbau dar. Aufgrund der global begrenzten P-Ressourcen empfiehlt sich allerdings ein möglichst weitgehendes Schließen des P-Kreislaufs inklusive der Rückführung organischer Reststoffe aus dem Siedlungsbereich (z.B. organische Haushaltsabfälle, Klärschlämme und deren Aufbereitungsprodukte). Diese potentiellen Nährstoffquellen können auf vielfältige Art und Weise behandelt werden, um das Material zu hygienisieren, stabilisieren und ggf. dekontaminieren. Die Behandlungen sind gegebenenfalls mit Umweltbelastungen oder -entlastungen verbunden. Ziel dieses Beitrags ist der Vergleich wichtiger Umweltwirkungen von der Herstellung bis hin zur Ausbringung ausgesuchter Recycling-P-Düngemittel (RPD) mit jenen von mineralischen P-Düngern mittels einer Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA).

---

<sup>1</sup> FiBL – Forschungsinstitut für Biologischen Landbau Österreich, Doblhoffgasse 7/10, A-1010 Wien, Österreich, stefan.hoertenhuber@fibl.org, www.fibl.org/

<sup>2</sup> BOKU-Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Nutztierwissenschaften, Gregor-Mendel-Strasse 33, A-1180 Wien, Österreich

<sup>3</sup> Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Fachgebiet Düngung und Bodenstoffhaushalt, Fruwirthstr. 20, 70593 Stuttgart, Deutschland

## Methoden

Analytische P-Dünger und Datenherkunft: Für die LCAs wurden die Umweltwirkungen der Herstellung von RPD aus Klärschlamm und Klärschlammaufbereitungsprodukten (u.a. Struvit, Aschen, aufgeschlossene Aschen) und traditionellen Düngern wie Kompost (davon eine Variante teileingehaust/emissionsarm), Holzasche, Fleischknochenmehl, Thomasphosphat und Biogasgülle aus Reststoffen mit denen von Rohphosphat und Triplesuperphosphat verglichen. Die Daten zu P-Konzentrationen oder Trockenmassegehalten in Substraten sowie zu benötigten Produktionsmitteln, d.h. Energie und chemischen Stoffen, stammen von Möller & Schultheiss (2014), Möller (2015), Remy & Jossa (2015), Ecoinvent (2014), Blonk Agri-footprint BV (2014).

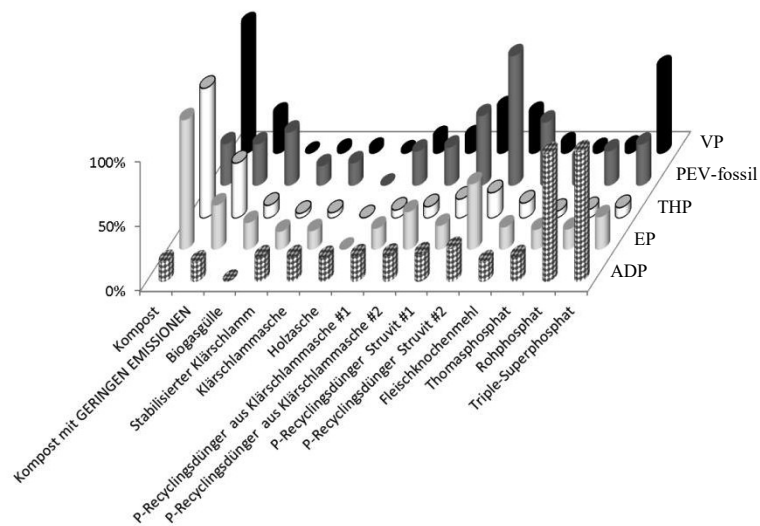
Verwendete Methodik und analysierte Umweltwirkungen sowie Systemgrenzen: Die Analyse der Datensammlungen/Inventaren für P-Dünger erfolgte mit der LCA-Software SimaPro (PRé Consultants, 2011) nach der Charakterisierungsmethode „CML“ (Guinée et al., 2002; mit dem aktuellen Stand der Charakterisierungsfaktoren). Die LCAs untersuchen fünf Indikatoren: den Verbrauch an Abiotischen Ressourcen (ADP; Sb-eq), Primärenergieverbrauch nicht erneuerbarer Energieträger (PEV-fossil; MJ), Treibhauspotenzial (THP, CO<sub>2</sub>-eq), Versauerungspotenzial (VP; SO<sub>2</sub>-eq) und Eutrophierungspotenzial (EP; PO<sub>4</sub><sup>-</sup>-eq), jeweils je kg Phosphor.

Infrastrukturprozesse wie z.B. Gebäude wurden nicht bewertet. Die Sammlung der Rohstoffe wurde dann angerechnet, wenn sie gezielt für die Produktion/Aufbereitung des P-Düngemittels erfolgt und nicht wenn sie ohnehin erfolgen müsste (wie bspw. für den Abtransport von Siedlungsabfall). Ab der Weiterverarbeitung des Rohstoffs, z.B. Speisereste in einer Kompostierungs- oder einer Biogasanlage, wurden Umweltwirkungen aber auch allfällige Ko-Effekte wie z.B. die Biogas-Energieerzeugung – letzteres mittels Substitution des deutschen Strommixes und ohne Berücksichtigung der Abwärme – berechnet. Für die Bereitstellung aller Abfälle inkl. Klärschlamm und dessen Asche wurde wie auch in ähnlichen Studien die Annahme zugrunde gelegt, dass sie keine Umweltbelastung aufweisen, weil diese der Entsorgung des vorherigen Produkts, z.B. Lebensmittel für Speisereste, zugerechnet werden. Die Systemgrenze endet mit der Berücksichtigung des Energiebedarfs für die Ausbringung des (P-) Düngers. Weitere Emissionen mit und nach der Ausbringung, z.B. aus dem Boden, liegen aufgrund der schwierigen Vergleichbarkeit und hohen Abhängigkeit der vorhandenen Technik und eingesetzter Verfahren außerhalb der Systemgrenze. Die Ko-Effekte der Stickstoff- und der Kalidüngewirkung (organischer) P-Dünger wurden über eine Substitution mittels Kali-Mineraldünger bzw. Vinasse (für N und K<sub>2</sub>O) berücksichtigt, um deren Einsatz im Biolandbau zu simulieren. Das Humus-sequestrierungspotenzial je kg P wurde für organische Dünger spezifisch in Abhängigkeit von P und organischem Kohlenstoff (C<sub>org</sub>) berechnet und berücksichtigt eine potenzielle Anreicherung des Humusgehalts über 100 Jahre um maximal 10 % des Ausgangswertes. Die 10 % basieren auf einem Versuch von Kluge (2006) mit langjähriger Ausbringung von 5 t TM Kompost je ha und Jahr.

## Ergebnisse

Herkömmliche Dünger auf Basis von phosphathaltigem Gestein, d.h. Triplesuperphosphat und Rohphosphat zeigen generell ein sehr hohes ADP (Abb. 1), Triplesuperphosphat zudem ein relativ hohes VP. Daher ist die Rückführung von Nährstoffen aus dem Siedlungsbereich von hoher Bedeutung. Die Verwertung organischer Siedlungsabfälle stellt sich für verwertbares Material, z.B. Haushaltsabfälle, in der Biogasanlage als günstiger gegenüber üblicher Kompostie-

zung dar, weil bei letzterer deutlich höhere Anteile an C und N verloren gehen und sich damit ungünstige Ergebnisse beim VP, THP und EP ergeben. In der Biogasanlage kann dagegen ein Teil des C in Energie umgewandelt und dem Gärrest damit eine Gutschrift gegeben werden. Wird der Kompostierungsprozess allerdings teilweise eingehaust und unter speziellen Folien geführt, resultieren deutlich geringere Emissionen. Aus Sicht der LCAs sind die Ausbringung von stabilisiertem Klärschlamm und dessen Asche günstiger als der Einsatz von daraus aufbereiteten RPD. Die zwei RPD auf Basis von aufgeschlossener Klärschlammasche zeigen sich dabei günstiger als die zwei Struvite, die abhängig vom Gewinnungsverfahren teilweise sehr hohen PEV-fossil und auch relativ hohes VP zeigen. Fleischknochenmehl und Thomasphosphat weisen generell moderate bis günstige LCA-Ergebnisse auf. Die in Summe geringsten Umweltwirkungen resultieren bei Holzasche (siehe relative Vorteile in Abb. 1).



**Abbildung 1: Relative Ergebnisse für die LCA-Indikatoren Verbrauch an Abiotischen Ressourcen (ADP), Eutrophierungspotenzial (EP), Treibhauspotenzial (THP), Primärenergieverbrauch nicht erneuerbarer Energieträger (PEV-fossil) und Versauerungspotenzial (VP) für die Herstellung und Ausbringung alternativer P-Dünger zwischen dem jeweils besten Ergebnis (mit „0%“ = geringe Umweltwirkungen) und dem schlechtesten (mit „100%“ = hohe Umweltwirkungen).**

### Diskussion

Bei organischen Düngern können Ko-Effekte für viele Indikatoren Nachteile deutlich ausbessern und zum Teil weisen sie dann auch negative Umweltwirkungen auf (d.h. höhere Gutschriften als negative Wirkungen). Wird bei der Substitution für die N-Düngewirkung ein Mineraldünger statt der Vinasse (für N und K) neben mineralischem Kalidünger (falls zusätzlich oder ausschließlich K ersetzt werden kann) angesetzt,

wären Gutschriften allgemein höher und die Reihung der günstigsten P-Dünger geringfügig anders. Struvite können teilweise moderate Umweltwirkungen ähnlich den RPD aus Klärschlammasche aufweisen, und sind im Mittel über alle Indikatoren ähnlich den mineralischen Düngern. Alle aufbereiteten RPD schließen, abhängig vom Herstellungsverfahren, im Vergleich zu Klärschlamm oder dessen unbehandelter Asche einen großen Teil der Schadstoffe aus. Die Ergebnisse des LCAs sind anderen Aspekten wie z.B. der Pflanzenverfügbarkeit der Nährstoffe gegenüberzustellen. Dabei zeigen sich teilweise sehr gegensätzliche Vorzüglichkeiten der Rohstoffe und Verfahren.

### Schlussfolgerungen

Organische Dünger inklusive emissionsarm produziertem Kompost sind aus der Perspektive der gegenständlichen Ökobilanz in vielen Umweltwirkungen mineralischen Düngern (Rohphosphat für Bio) vorzuziehen. Hinsichtlich des Risikos von Schadstoffanreicherungen, z.B. Schwermetalle oder Pathogene in Böden und Produkten, können Klärschlamm und dessen Asche Nachteile aufweisen, die jedoch mit aufbereiteten RPD stark reduziert werden. Mit dieser Aufbereitung gehen zwar auch Nachteile einher, allerdings wird damit eine mengenmäßig äußerst wichtige P-Quelle aus den Siedlungen für die Rückführung in die (Bio?-)Landwirtschaft verfügbar.

### Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der FiBL-Kollegin Mag.<sup>a</sup> Theresia Markut, bei den KollegInnen des FP7 ERA-Net CORE Organic II-Projektes „IMPROVE-P“ (Projekt Nr. 249667) und den nationalen Finanzierungsstellen. Für weitere Informationen: [www.coreorganic2.org](http://www.coreorganic2.org) bzw. die Projektwebsite <https://improve-p.uni-hohenheim.de/>

### Literatur

- Blonk Agri-footprint BV (2014) Agri-Footprint - Part 2. Description of data - Version 1.0. Gouda, Niederlande. Online verfügbar unter <http://www.agri-footprint.com/assets/Agri-footprint%202.0%20-%20Part%202%20Description%20of%20data.pdf> (08.08.2016).
- Ecoinvent Centre (2014) Ecoinvent data v 3.1. Dübendorf, Schweiz.
- Guinée JB, Gorrae M, Heijungs R, Huppes G, Kleijn R, de Koning A, van Oers L, Wegener Sleeswijk A, Suh S, Udo de Haes HA, de Bruijn H, van Duin R & Huijbregts MAJ (2002) Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: Operational annex. III: Scientific background. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Kluge R (2006) Key benefits of compost use for the soil-plant system. In: Ecologically Sound Use of Biowaste in the EU. Tagungsbeitrag. Brüssel, 31. Mai – 1. Juni 2006. Online verfügbar unter [http://kompost.de/uploads/media/key\\_benefits\\_of\\_compost\\_use.pdf](http://kompost.de/uploads/media/key_benefits_of_compost_use.pdf) (10.08.2016).
- Möller K (2015) Compost and Digestates from Urban Organic Wastes. Assessment of Alternative Phosphorus Fertilizers for Organic Farming. FiBL Fact Sheet. <https://shop.fibl.org/en/article/c/fertilization/p/1699-compost-and-digestates.html> (08.08.2016)
- Möller K & Schultheiss U (2013) Organische Handelsdüngemittel tierischer und pflanzlicher Herkunft für den ökologischen Landbau - Charakterisierung und Empfehlungen für die Praxis. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) e.V., Darmstadt.
- PRé Consultants (2011) SimaPro, Life Cycle Assessment software package. Version 7.3. Amersfoort, Niederlande.
- Remy C & Jossa P (2015) Life Cycle Assessment of selected processes for P recovery from sewage sludge, sludge liquor, or ash. Deliverable D 9.2 from P-REX project. Online verfügbar unter [http://p-rex.eu/uploads/media/P-REX\\_D9\\_2\\_Environmental\\_Impact\\_Assessment\\_LCA\\_Remy\\_2015.pdf](http://p-rex.eu/uploads/media/P-REX_D9_2_Environmental_Impact_Assessment_LCA_Remy_2015.pdf) (10.08.2016)