



Abbildung 1: Vereinfachte Darstellung der jährlichen Phosphorflüsse zwischen Stadt und Land im Raum Berlin-Brandenburg (2010/2011) auf Grundlage der Daten der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2013)

## Neue Wege im regionalen Phosphor-Management

### Phosphor-Recycling aus dem Abwasser birgt Potenziale für die Landwirtschaft

**Phosphor (P) ist ein wichtiger Pflanzennährstoff. Unabhängig davon, ob Pflanzen für Lebens- und Futtermittel oder für biobasierte Stoffe und Energie angebaut werden – es geht nicht ohne die Zufuhr von Phosphor. Ähnlich wie Kohle oder Erdöl ist auch die Ressource Phosphor endlich, die Vorräte schwinden. Nach Schätzungen sind die wirtschaftlich erschließbaren Vorkommen bei gegenwärtigem Verbrauch in wenigen hundert Jahren erschöpft. Das Recycling von Phosphor – zum Beispiel aus Abwässern und Reststoffen – wird daher immer interessanter. Wissenschaftler am Potsdamer**

**Leibniz-Institut für Agrartechnik haben im Rahmen des Forschungsprojekts ELaN für Nachhaltiges Landmanagement beispielhaft für die Region Berlin-Brandenburg ausgelotet, welche Potenziale sich durch das Phosphor-Recycling aus dem Abwasser für die Landwirtschaft erschließen könnten.**

In der Landwirtschaft sind die wichtigsten phosphorhaltigen Düngemittel nach wie vor Wirtschaftsdünger wie Mist oder Gülle. Im Land Brandenburg machen diese 61 Prozent (17.000 Tonnen pro Jahr) der gesamten Phosphorzufuhr aus, mineralische Düngemittel haben einen

Anteil von 23 Prozent. Zu 16 Prozent stammt der eingesetzte Phosphor aus Klärschlämmen. Klärschlamm fällt bei der Abwasserreinigung an. Er ist u. a. reich an Stickstoff, Phosphor und anderen Nährstoffen und besitzt damit wertvolles Düngungspotenzial für den Pflanzenbau. Entsprechend des Düngemittelgesetzes ist allerdings vorauszusetzen, dass der Einsatz von Klärschlamm das Pflanzenwachstum wesentlich fördert und seuchen- und pflanzenhygienisch unbedenklich ist.

#### Phosphorströme – im Verbund von Stadt und Land

Angesichts der weltweit schwindenden Phosphorreserven kann das Recycling von Phosphor aus dem Abwasser dazu beitragen, die Einfuhr von mineralischen Phosphor-Düngemitteln zu reduzieren und den Austrag von Phosphor mit dem gereinigten Abwasser noch weiter zu senken.

Wie viel Phosphor lässt sich aus dem Abwasser einer Metropolregion zurückgewinnen? Die wesentlichen Phosphor-Pfade an der Schnittstelle Siedlungswasserwirtschaft und Landwirtschaft sind beispielhaft für die Region Berlin-Brandenburg in Abb. 1 dargestellt, ohne den Anspruch einer umfassenden Bilanz zu erheben.

Phosphor ist elementarer Bestandteil unserer Lebensmittel. Pro Person und Tag bringen wir durchschnittlich 1,8 Gramm Phosphor über das häusliche Abwasser in die öffentlichen Kläranlagen ein. Allein auf die Berliner Bevölkerung hochgerechnet, sind das täglich etwa sechs Tonnen Phosphor. Sie sollten aus den Kläranlagen zurückgewonnen werden. Phosphor lässt sich aus der flüssigen Phase der Abwasserbehandlung, dem entwässerten Klärschlamm oder aus der Klärschlammasche zurückgewinnen.

Der Ausbau von Kläranlagen und effiziente Verfahren der Phosphorelimination haben die Wasserqualität deutlich verbessert und auch die Phosphorkonzentrationen in unseren Gewässern deutlich vermindert. Dennoch liegen die Phosphorkonzentrationen in den Abläufen der Kläranlagen derzeit bei 0,7 bis 0,8 Milligramm Gesamtphosphor pro Liter. Bei einer jährlichen Einleitung von 1,6 bis 1,8 Milliarden Kubikmeter gereinigten Abwassers in die Flüsse Berlins und Brandenburgs entspricht dies einer Fracht von 1.290 Tonnen Phosphor jährlich, die in die Nord- und Ostsee gelangen kann: nicht genutztes Potenzial des Wertstoffs Phosphor, dessen umweltbelastende Wirkung in Gewässern in Algenblüten zum Ausdruck kommt.

	SUP	MAP	Zulässige Gehalte an Schwermetallen in Düngemitteln
g kg <sup>-1</sup>			
Phosphor (P)	84	91	
Stickstoff (N)	3	43	
Kalium (K)	7	0,5	
Schwefel (S)	116	1,2	
Magnesium (Mg)	3,6	70	
Kalzium (Ca)	212	8,4	
mg kg <sup>-1</sup>			
Cadmium (Cd)	15,5	0,3	3 (75 kg <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>a</sup> )
Chrom (Cr)	65,9	11	100 (2500 <sup>a</sup> )
Kupfer (Cu)	51,3	39	-
Nickel (Ni)	36	2	100
Blei (Pb)	4	5	100
Zink (Zn)	312	100	-

<sup>a</sup> Mineralische Düngemittel mit mehr als 5 Prozent P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

Abbildung 2: Superphosphat (SUP), ein weit verbreiteter Dünger, kann im Vergleich zu Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP) hohe Schwermetallgehalte aufweisen, wie der Vergleich der chemischen Zusammensetzung zeigt.

### Klärschlamm – Wertstoff oder Abfall

Klärschlämme enthalten wichtige Nährstoffe wie Stickstoff, Kalium und Magnesium und auch Phosphor (Abb. 1). Etwa 27 Prozent des klärschlambürtigen Phosphors können nach gegenwärtiger Rechtslage direkt landwirtschaftlich eingesetzt werden. Für die anfallenden Aschen aus der Klärschlammverbrennung, die eine zwei- bis dreifache Menge an Phosphor enthalten, gilt dies jedoch nicht. Die Aschen fallen bei der energetischen Nutzung des Klärschlammes an. Mehr als zwei Drittel der in Berlin und Brandenburg anfallenden Klärschlämme werden heute aber bereits auf diese Weise verwertet. Ohne kostenaufwändige Aufbereitung gelten Klärschlammaschen allerdings als entsorgungspflichtiger Abfall.

Ob Klärschlamm weiter im jährlichen Umfang von 714 Tonnen als Düngemittel in der Landwirtschaft genutzt wird, ist unsicher. Eine seit Jahren angekündigte Novellierung der Abfall- und Klärschlammverordnung ist noch nicht erfolgt. Nach der gegenwärtigen Regelung werden ab 2015 die strengeren Grenzwerte sämtlicher Parameter der Düngemittelverordnung auch für Klärschlamm und andere organische Reststoffe gelten. Dies dürfte zu einer Einschränkung der Klärschlammverwertung in der Landwirtschaft in Deutschland führen und neue Strategien zur Verwertung von Klärschlämmen nach sich ziehen.



### Schadstoffe in Klärschlämmen und Phosphordüngemitteln

Klärschlämme sind nicht nur nährstoffreich, sie enthalten auch Schadstoffe wie Schwermetalle oder Arzneimittel. Gut untersucht ist die Schwermetallproblematik, für die belegt ist, dass Schwermetalle auch durch Einträge aus der Luft und insbesondere über organische und mineralische Düngemittel auf landwirtschaftliche Nutzflächen gelangen können. Vor allem Phosphordünger wie Superphosphat zeichnen sich durch z.T. hohe Gehalte an Schwermetallen aus (Abb. 2). Das Problem gewinnt an Brisanz je mehr Rohphosphate aus sedimentären Lagerstätten Nordafrikas mit relativ hohen Cadmiumgehalten zur Herstellung von Phosphordüngemitteln herangezogen werden. Darüber hinaus ist die Gewinnung von Rohphosphaten mit dem Anfall radioaktiv belasteter Rückstände in den Herkunftsgebieten verbunden. Dauerhafte Lösungen für umweltfreundliche Erschließungsverfahren und künftige Engpässe im Angebot schwermetallarmer Phosphordüngemittel sind somit dringend gefragt.

### MAP – ein neues Phosphordüngemittel

Eine Möglichkeit zur Herstellung eines phosphorhaltigen Düngers aus dem Abwasser ist das von den Berliner Wasserbetrieben entwickelte nasschemische Verfahren zur Gewinnung von Magnesium-Ammonium-Phosphat (NH<sub>4</sub>MgPO<sub>4</sub> \* 6 H<sub>2</sub>O), einem Kristallisationsprodukt aus Klärschlamm, das als MAP bezeichnet wird (Abb. 3).



Abbildung 3: Aus dem Abwasser gewonnen: nährstoffreiches MAP Granulat

Als erstes Klärwerk in den Ländern Berlin und Brandenburg führte die Kläranlage Waßmannsdorf südlich von Berlin das Verfahren ein, mit dem heute zwei bis drei Tonnen MAP täglich aus dem Klärschlamm gewonnen werden. Dabei wird MgCl<sub>2</sub> zur Fällung von Phosphor eingesetzt. Mit der Bindung an Magnesium ist Phosphor im Faulschlamm weniger fest gebunden, als wenn eisen- und aluminiumhaltige Fällungsmittel zur Phosphor-Elimination eingesetzt werden. Nach Abtrennung der organischen Fraktion liegt ein mineralischer Langzeitdünger vor, der eine landwirtschaftliche Verwertung verspricht. Darüber hinaus weist MAP geringere Schwermetallgehalte auf als herkömmliche Phosphordünger (Abb. 2).

Der Magnesiumanteil erhöht zudem den Düngewert des Fällungsprodukts MAP, das einen Gesamtgehalt an Phosphor von etwa neun Prozent und nach weiterer Prozessoptimierung sogar bis zu 12 Prozent aufweisen kann (Abb. 2). Davon liegen fast 100 Prozent in einer gut pflanzenverfügbaren Form vor, was in Gefäßversuchen mit Weizen und Mais bereits nachgewiesen werden konnte.

Vor dem Einsatz neuartiger Düngemittel wie MAP ist neben einer guten Pflanzenverfügbarkeit auch die seuchen- und pflanzenhygienische Unbedenklichkeit sicherzustellen. Erste ökotoxikologische Untersuchungen mit MAP-Dünger zeigten, dass eine MAP-Gabe in Höhe von 309 Kilogramm pro Hektar und Jahr mit einem Phosphorgehalt von 9,1 Prozent im MAP unbedenklich ist. Diese Menge entspricht einer jährlichen Düngungsrate von 28,2 Kilogramm Phosphor pro Hektar und liegt im Rahmen der allgemein üblichen Düngungspraxis. Allerdings sind in der Landwirtschaft Aufwandmengen bis zu 50 Kilogramm Phosphor pro Hektar zulässig, so dass weitere Untersuchungen erforderlich sind,

um eine umfassende ökologische Bewertung des Einsatzes von MAP zu ermöglichen. Die aktuell laufenden Feldversuche (Abb. 4) sollen hierüber Aufschluss geben.

### Eine Frage der Wirtschaftlichkeit

Inzwischen ist MAP als Düngemittel zugelassen, leistet bisher aber noch keinen nennenswerten Beitrag zur Phosphorversorgung im Pflanzenbau. Etwa sechs Prozent der mineralischen Phosphordüngemittel lassen sich in Deutschland durch Recycling von abwasserbürtigem MAP einsparen.

Langfristig wird der Phosphorbedarf im Pflanzenbau weiterhin im Wesentlichen durch Wirtschafts- und Mineraldünger zu decken sein. Neue Düngemittel wie MAP haben erst dann eine Chance, konkurrenzfähig zu werden, wenn sich die Verknappung der Rohphosphat-Vorräte noch weiter zuspitzt, und wenn an alle Düngemittel gleichermaßen hohe Qualitätsanforderungen gestellt werden. Ehedem als Sekundärrohstoffdünger bezeichnete Stoffe werden nur dann als Düngemittel Anwendung finden, wenn durch ihren Einsatz die Pflanzenernährung sichergestellt ist, die Bodenfruchtbarkeit erhalten bleibt und keine gesundheitliche Gefährdung für Mensch und Tier zu befürchten ist.

Zurzeit liegt der Preis pro Kilogramm Phosphor bei etwa zwei Euro, so dass bei einem durchschnittlichen Mineraldüngereinsatz von sechs Kilogramm Phosphor pro Hektar und Jahr (2011, Deutschland) Kosten in Höhe von etwa 12 Euro pro Hektar anfallen. Wenn sich zu diesen Preisen Reststoffe zu handelsüblichen Mineraldüngern aufbereiten lassen, ist der Weg für den Ersatz mineralischer Phosphordüngemittel durch alternative phosphorhaltige Dünger frei. Dies wäre auch ein wichtiger Beitrag zum nachhaltigen Ressourcenmanagement im Sinne geschlossener Kreisläufe.



Tim Theobald<sup>1</sup>, Elisabeth Richter<sup>2</sup>,  
Anja Coors<sup>2</sup>, Jürgen Kern<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.

Abteilung Bioverfahrenstechnik, Potsdam

<sup>2</sup> ECT Oekotoxikologie GmbH

E-Mail: jkern@atb-potsdam.de