

Abschlussbericht

Förderkennzeichen:	SAS-2015-IOW-LWC
Zuwendungsempfänger:	Uni Rostock/ AUF Prof. WW
Kooperationspartner:	Universität Rostock: Wolf (UR, Ernährungsphysiologie), Palm (UR, Aquakultur) Schulz (UR, Anorganische Chemie, LIKAT), Metges (FBN), Mohr (UR, Tiergesundheit), Schulz-Bull (IOW)
Vorhabensbezeichnung:	P-Recycling in der Tierproduktion
Laufzeit des Vorhabens:	01.09.2017-31.07.2018
Autoren:	S. Tränckner, J. Tränckner

Inhaltsverzeichnis

Kapitel	Seite
1 Zusammenfassung und Schlussfolgerung	1
2 Einleitung und Ziele des Projektes	1
3 Material und Methoden	2
4 Ergebnisse	4
5 Diskussion	7
6 weitere Leistungen aus dem Projekt*	9
7 Literaturverzeichnis	9
Danksagung	10

* z.B. Beiträge auf Konferenzen, Publikationen (mit Status), Drittmittelanträge (mit Status)

1 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Ziel dieses Vorhabens ist die Erarbeitung eines technologischen Konzeptes zur Nutzung der in Gülle und Schlämmen aus Fischzuchtanlagen enthaltenen Wertstoffe wie Phosphor. Die Konzepterstellung erfolgte laborgestützt um geeignete und einander passende Methoden für folgende technologische Fragestellungen zu entwickeln:

- Phasenseparation
- Aufschluss des Phosphors aus den in der Gülle enthaltenen Feststoffen
- Fällung des Phosphors v.a. mit Calcium
- Trocknung bzw. Separation der erhaltenen P-haltigen Rezyklate.

Zur Untersuchung einer möglichen Steigerung des Phosphor-Aufschlusses wurden die Proben einer anaeroben Vorbehandlung unterzogen. Durch die Vergärung wurde der Phosphorgehalt in der flüssigen Phase deutlich und der Phosphatgehalt etwas erhöht. Der Säureaufschluss des in den Proben enthaltenen Phosphors wurde mit Schwefelsäure, Zitronensäure und Salzsäure in verschiedenen Volumenanteilen untersucht. Die höchste Mobilisierung wurde mit Schwefelsäure erreicht, so dass bei einem Verhältnis von 1:0,8 nahezu der gesamte Phosphor mobilisiert werden konnte. Mit Zitronensäure und Salzsäure wurden maximal 80% des Phosphors mobilisiert. Die Fällung vorwiegend als Calciumphosphate erfolgte ab einem pH-Wert von 8. Die Verdaulichkeit der erhaltenen P-Rezyklate war bei geringen Trocknungstemperaturen mit 55% am höchsten, wobei kein Calciumhydroxid zu dosiert werden musste.

In Auswertung der Versuchsergebnisse wurde die Konzeption eines Verfahrens zur Phosphor-Rückgewinnung aus Gülle und ähnlichen Schlämmen erstellt. Dieses Konzept wurde mittelständischen Unternehmen vorgestellt und diskutiert, so dass im Ergebnis ein Forschungsantrag zur weiteren Verfahrensentwicklung gestellt werden konnte. Im Rahmen dieser bereits positiv bewerteten Projektskizze wird ein Prototyp zur Phosphor- und Stickstoff-Separation aus Gülle und ähnlichen Medien gebaut.

2 Einleitung und Ziele des Projektes

Die anfallenden Ausscheidungen in der Tierproduktion enthalten hohe P-Konzentrationen, welche ein direktes P-Recycling und die Wiederverwendung in der Tierernährung nahelegen. Im Bereich der kommunalen Abwasserreinigung sind die Technologien zum P-Recycling z.T. weit fortgeschritten. Die stofflichen und produktionstechnischen Randbedingungen sowie die Anforderungen an das Rezyklat im Bereich der Tierproduktion sind

davon sehr verschieden und benötigen innovative technologische und logistische Lösungen.

Die Anschubfinanzierung dient der laborgestützten Eruiierung potentiell geeigneter Recycling-Technologien für die Herstellung fütterungstechnisch nutzbarer P-Rezyklate aus unvergorener und vergorener Gülle sowie Klärschlamm aus Aquakulturanlagen mit Kreislaufführung des Haltungswassers (Recycling Aquaculture Systems, RAS). Angestrebt wird die Ausarbeitung eines technologischen Konzeptes zur Herstellung von in der Tierernährung einsetzbaren Kalzium-Phosphat-Verbindungen (CaP).

Die technologischen Herausforderungen eines solchen Konzeptentwurfes bestehen in der P-Anreicherung in der gelösten Phase, der Phasen-Separation, der Fällung und der Anreicherung und Reinigung des CaP zu einem technisch nutzbaren Futtermittel.

Im Projekt sind orientierende verfahrenstechnische Versuche zur Lösung der o.g. Herausforderungen geplant. Ansatzpunkte sind dabei:

- Überführung eines möglichst hohen Anteils des gesamten P in die flüssige Phase
- Abtrennung der festen Phase
- Ausfällung der Calciumphosphate aus der flüssigen Phase
- Prüfung der erhaltenen Produkte zur Verwendung als Zusatzstoff in der Tierernährung

3 Material und Methoden

Die Versuche wurden mit Gülle aus der Rinderhaltung sowie mit Schlamm aus einer Aufbereitungsanlage der Fischzucht (RAS-Anlage) durchgeführt. Die Materialien wurden frisch genommen und anschließend innerhalb von 1 Woche für die Versuche verwendet bzw. eingefroren gelagert.

Die Analytik wurde, wie im Abwasserbereich üblich, mit standardisierten Testverfahren für eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse durchgeführt. Dazu wurden die Küvettentest der Fa. Hach-Lange mit dem Photometer DR3900 VIS bzw. DR6000 UV + VIS entsprechend u.a. Tabelle 1 verwendet.

Als anaerobe Vorbehandlungsstufe wurden die Gülle und der RAS-Schlamm einer mesophilen Vergärung unter Sauerstoffabschluss bei einer Temperatur von 38°C unterzogen. Die organischen Verbindungen und der enthaltene Phosphor wurden aufgeschlossen und der anschließenden Phosphorfällung zugänglich gemacht. Dazu wurde ein 5L Anaerobreaktor zu 2/3 mit der Probe befüllt und durch eine Mantelheizung auf 37°C +/- 3°C temperiert. Die Durchmischung erfolgte diskontinuierlich. Das entstehende Gas wurde aufgefangen und analysiert. Die Probe wurde direkt aus dem durchmischten

Gärsubstrat entnommen und sofort auf die in Tabelle 1 aufgeführten Parameter analysiert.

Tabelle 1: Analyseparameter und Analysenmethode bzw. Probenvorbereitung

Parameter	Hach-Lange Küvettentest	Messbereich	Probenvorbereitung
CSB	LCK014	1000-10000	-
PO4-Pges	LCK350	2-20	filtrieren
PO4-Pgel	LCK350	2-20	-
Nges	LCK238	5-40	filtrieren
NH4-N	LCK303	2-47	-
NO2-N	LCK342	0,6-6	filtrieren
NO3-N	LCK340	5-35	filtrieren
SO4	LCK 353	2-20	filtrieren
S2-	LCK653	0,1-2	-
org. Säuren	LCK 365	50-2500	filtrieren



Abbildung 1: Anaerobreaktor zur mesophilen Vergärung der Gülle- und RAS-Schlammproben

Nach der Vergärung erfolgte der Säureaufschluss. Das Masseverhältnis zwischen Säuremenge und aufzuschließender Probe wurde nach Möglichkeit konstant gehalten. Der Aufschluss erfolgte mit verschiedenen Säuren (Schwefelsäure, Zitronensäure, Salzsäure) in verschiedenen Anteilen direkt im Zentrifugenröhrchen. Die Aufschlusszeit betrug 1,5h. Nach der Reaktionszeit von 1,5h wurde entmineralisiertes Wasser zugeben, um die Zentrifugation zu verbessern. Anschließend wurde der gesamte Aufschluss zentrifugiert, der Überstand mit einer Pipette abgenommen und als Mobilisat analysiert.

Die Phasentrennung erfolgte über 30 min. mittels Zentrifuge bei 9500/min (relative Zentrifugalbeschleunigung von 10.595 RZB). Die Phasentrennung wurde in Form des Abscheidegrades durch Vergleich des TR-Gehaltes im Zentratwasser und in der nicht zentrifugierten Probe bestimmt. Der Trockenrückstand (TR) wurde entsprechend DIN EN 12880 und Trocknung mit einem halbautomatischen Heizgerät bei 105°C bestimmt. Der oTR-Gehalt wurde als Glühverlust nach 1h bei 550°C durch Wägung entsprechend DIN EN 15935 bestimmt.

4 Ergebnisse

Die Rückgewinnung des Phosphors aus Gülle oder RAS-Schlämmen ist nur dann sinnvoll, wenn mindestens die Hälfte des vorhandenen Phosphors rückgewonnen werden kann. Demnach ist der Mobilisierungsgrad des Phosphors entscheidend für die weitere Verfahrensentwicklung. In Abbildung 2 ist beispielhaft für Gülle die mit verschiedenen Säuren erreichbare P-Mobilisierung dargestellt. Erwartungsgemäß werden mit Schwefelsäure (H_2SO_4) die höchsten Mobilisierungsraten für Phosphor erreicht, wobei die Steigerung mit zunehmender Säuremenge moderat ausfällt. Bei Einsatz von Salzsäure (HCl) oder Zitronensäure ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) wird ebenfalls eine 80%ige Mobilisierung des Phosphors bestimmt, jedoch unter Einsatz wesentlich höheren Säuremengen. Trotzdem könnten sich beispielsweise durch Zitronensäure, welche als Pulver verfügbar ist, Vorteile hinsichtlich der Verfahrensführung ergeben. Die Zugabe von Schwefelsäure bewirkt weiterhin eine Verringerung des in der flüssigen Phase nachweisbaren CSB, so dass der oTR-Gehalt der festen Phase bei Zugabe von Schwefelsäure ansteigt. Das wiederum kann eine stärkere Verunreinigung der erhaltenen P-Rezyklate bedingen.

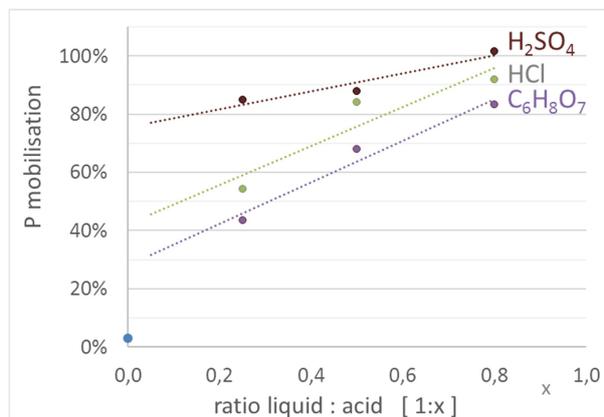


Abbildung 2: erreichte Mobilisierung des Phosphors aus anaerob vorbehandelten Gülleproben (feste Phase) in Abhängigkeit der Säuremenge

Um eine mögliche Steigerung der P-Mobilisierung zu untersuchen, wurden die Schlamm- und Gülleproben anaerob vorbehandelt. Der mehrstufige Vergärungsprozess konnte sehr gut verfolgt werden und führte vor allem für den RAS-Schlamm zu einer guten Methanentwicklung. Die CSB-Prozessrate ist mit 3,6 kg/d (Gülle) bzw. 6,3 kg/d (RAS-Schlamm) in den ersten 10 Tagen der Hydrolyse in etwa eine Potenz höher als während der Methanogenese (0,85 kgCSB/d für Gülle bzw. 0,35 kgCSB/d für RAS-Schlamm). Die Hydrolyse, die sich durch die Spaltung der hochmolekularen Verbindungen und der Bildung von organischen Säuren auszeichnet, ist somit in beiden Proben nach maximal 10 Tagen abgeschlossen. Der gesamte Phosphor als auch der als Phosphat gelöste Anteil sanken in diesem Zeitraum deutlich. Im RAS-Schlamm fiel der Phosphatrückgang besonders drastisch aus.

Während dieser Phase wurde auch der größte Anteil des ebenfalls in den Proben enthaltenen Sulfats reduziert. Die sekundäre Gärung, also die Bildung von Acetat und CO_2 ist mit Wasserstoff-verbrauchenden Prozessen wie Methanbildung oder die Sulfatreduktion syntroph assoziiert. Der Grund liegt in der Regeneration der für die Elektronenbifurkation notwendigen Coenzyme durch Wasserstoff. Die Elektronenbifurkation ist für die meisten Gärprozesse aus energetischer Sicht zwingende Voraussetzung. Da die Sulfatreduktion in Konkurrenz zur Methanogenese stattfindet, kann die Methanbildung im RAS-Schlamm, der kein bzw. wenig Sulfat enthielt, schneller stattfinden. Bei der Vergärung der Gülle fand die Methanbildung erst nach vollständiger Reduktion der hohen Sulfatmengen statt, da beide Prozesse um die Wasserstoffionen konkurrieren und die Sulfatreduktion der Methanbildung energetisch überlegen ist. Die Bilanzierung der gelösten und der in der kontinuierlich produzierten Gasphase enthaltenen Massen zeigt einen vollständigen Umsatz des in der Gülle enthaltenen Sulfats zu Schwefelwasserstoff. Damit wird der bei der Phosphorfällung störende Einfluss des Sulfats weitestgehend vermieden.

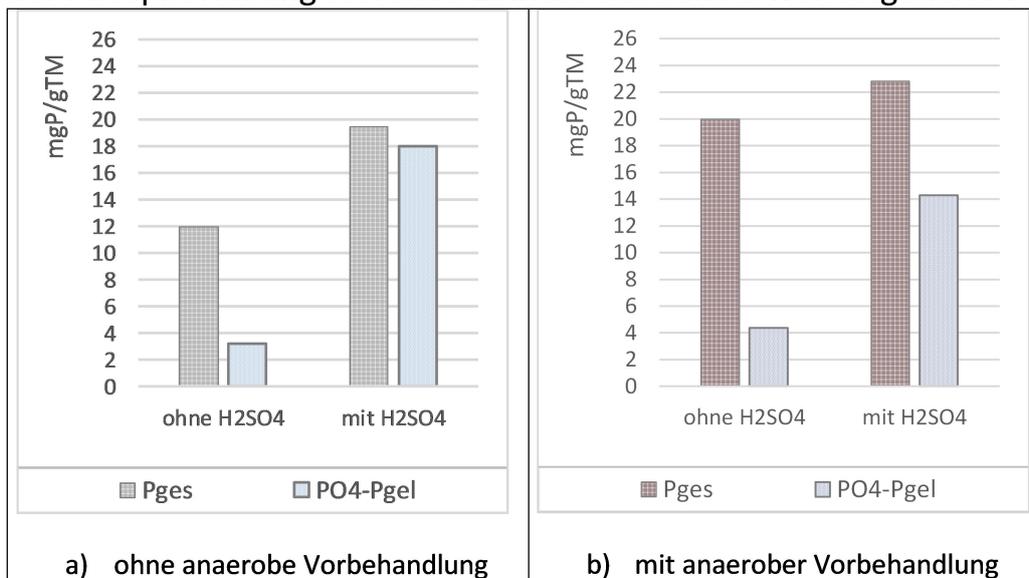


Abbildung 3: Vergleich der Phosphorgehalte mit/ ohne anaerobe Vorbehandlung und mit/ohne Säureaufschluss des RAS-Schlammes

Aus Abbildung 3 wird deutlich, dass durch die anaerobe Vorbehandlung der gelöste Phosphat-Anteil nicht wesentlich erhöht wird. Eine deutliche Wirkung der anaeroben Vorbehandlung wird hinsichtlich des mit der beschriebenen Analyseverfahren analysierbaren Gesamtposphors (TP) in der flüssigen Phase erreicht. Der TP-Gehalt steigt durch die Vergärung um 40%, jedoch konnte er mit der Schwefelsäure nicht vollständig mobilisiert bzw. aufgeschlossen werden. Im Rahmen der Effizienzsteigerung sind weitere Untersuchungen für einen geeigneten Aufschluss des durch die Vergärung veränderten Phosphors notwendig.

Bezüglich des oTR-Gehaltes wird durch die anaerobe Vorbehandlung eine deutliche Verringerung von 62%TR (0,36% absolut) im Rohschlamm auf 51%TR bzw. 0,12% absolut erreicht. Eventuell störende Matrixeffekte bei der Phosphorfällung können somit durch den verminderten oTR-Gehalt vermieden werden.

Die Ausfällung der mobilisierten Phosphorverbindungen wurde durch eine Verschiebung des pH-Wertes erreicht. Die Zugabe von Kalkmilch war aufgrund der Kalziumgehalte in den Proben nicht unbedingt notwendig (vgl. Abbildung 4), um Kalziumphosphate zu fällen. Das ausgefällte Produkt wurde in verschiedenen Trocknungsstufen aufbereitet. Wichtig für die Verwendung in der Tierernährung ist die Erhaltung der Verdaubarkeit der Kalziumphosphate. Als maximale Trocknungstemperatur wurde deshalb 60°C eingehalten. Entsprechend Abbildung 4 wird deutlich, dass die Verdaubarkeit der P-Produkte sehr stark vom eingestellten Ca:P-Verhältnis und der Trocknungstemperatur abhängig ist. Die gelartige Probe, die bei der Mobilisierung der abzentrifugierten festen Phase ohne Zugabe von Calciumhydroxid entstanden ist und bei max. 25°C getrocknet wurde, weist eine um 20% bessere Verdaubarkeit auf, als die gleiche Probe, die bei 60°C unter Zugabe von Calciumhydroxid getrocknet worden ist. Mit einer deutlich geringeren Verdaubarkeit schneiden die P-Rezyklate ab, die bei der Mobilisierung der Rohgülle entstanden sind. Mit diesen Proben wird der Einfluss des pH-Wertes auf die Verdaubarkeit der Calciumphosphate deutlich. So sinkt die Verdaubarkeit mit steigendem pH-Wert deutlich, was u.a. mit der Verschiebung des Dissoziationsgleichgewichts von Di- zu Tricalciumphosphat erklärbar sein könnte.

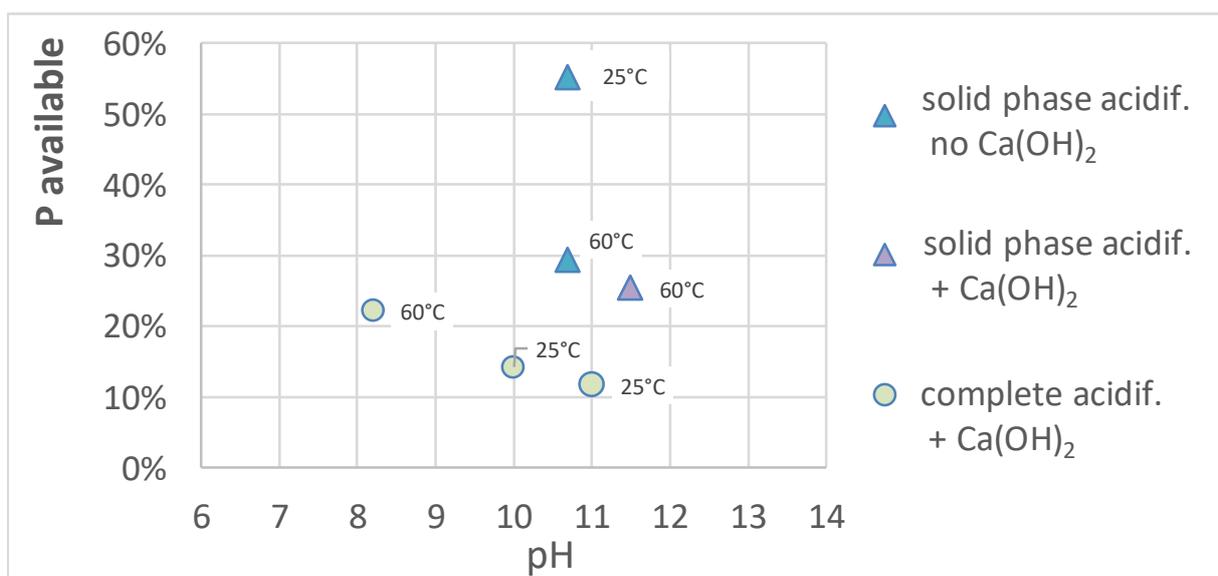


Abbildung 4: Verdaubarkeit der erhaltenen P-Rezyklate nach Trocknung bei 25°C bzw. 60°C im Vergleich mit P-Mobilisierung aus der festen Phase (solid phase acidification) oder aus der Rohgülle (complete acidification)

5 Diskussion

Aus Sicht des Ressourcenschutzes sollte v.a. der wertvolle Phosphor der Gülle dem Nährstoffkreislauf nicht entzogen werden. Phosphor wird derzeit vor allem aus phosphorhaltigen Mineralien gewonnen. Weltweit werden 90-95% des abgebauten Phosphors in der Landwirtschaft verbraucht. Etwa 85% gehen in die Düngeproduktion und ca. 5 % direkt in die Tierernährung (Cordell et al. 2009). Zu beachten ist dabei, dass auch das Gestein nicht nur Phosphor enthält und bei dem Leaching des Gesteins mit Schwefelsäure auch Schwermetalle wie Cadmium, Zink, Kupfer, Strontium oder Uran in Lösung gehen. Bei der Düngemittelherstellung werden diese nicht bzw. wenig abgereinigt. So sind im fertigen Dünger beispielsweise Uran in Konzentrationen von 60-100mg/kg oder 6-20mg/kg Cadmium enthalten (Sattouf et al., 2007, Hooda et al., 2010).

Neben dem Phosphor ist auch die organische Substanz der Gülle zum Erhalt der Humusbilanz der landwirtschaftlich genutzten Böden unverzichtbar, so dass eine Verbrennung der Gülle weder energetisch noch landwirtschaftlich sinnvoll erscheint. Unter diesem Gesichtspunkt ist auch die anaerobe Vorbehandlung der Gülle kritisch zu bewerten.

Um Gülle, aber auch andere nährstoffhaltige Schlämme ressourcen-, boden- und gewässer-schonend zu bewirtschaften, ist deshalb eine Fraktionierung in ihre Hauptbestandteile

- Phosphor
- Stickstoff
- organische Kohlenstoffverbindungen

geboten. Durch Anreicherung des Phosphors und Stickstoffs in hochkonzentrierten Rezyklaten ist eine bedarfsgerechte Verwertung möglich. Die ebenfalls zurückgewonnene organische Substanz kann zum Humusaufbau eingesetzt werden, ohne dass schädliche Stickstoff-Emissionen in das Grundwasser und die Atmosphäre zu besorgen sind.

Dieser Ansatz ist grundsätzlich nicht neu und es existieren bereits einige Verfahren zur P-Rückgewinnung (s.a. Leinweber et al., 2018) aus Gülle und einzelne Ansätze zum Recycling des Stickstoffs. Die bisherigen Verfahren fokussieren aber entweder einseitig auf die Rückgewinnung des Phosphors oder sind wie im Fall von BioEcoSim wirtschaftlich v.a. im industriellen Maßstab darstellbar. Die ganzheitliche Nutzung der gesamten in Gülle oder Schlämmen enthaltenen Nährstoffe plus der organischen Substanz ist bisher nicht für den direkten Einsatz in der Landwirtschaft konzipiert. Die ersten Erfahrungen mit den Vorgaben der im Jahr 2017 novellierten DÜV zeigen jedoch die

Notwendigkeit einer solchen, gesetzeskonformen und ökologisch sinnvollen Nutzung. Diese sollte wirtschaftlich sein und auf der Ebene eines Landwirtschaftsbetriebs ohne weite Transportstrecken erfolgen. Somit bedarf es verfahrenstechnisch einfacher Lösungen und idealerweise die direkte Rückführung der erhaltenen Produkte in den eigenen Wirtschaftskreislauf.

Die kurz vorgestellten Versuchsergebnisse mündeten in der Erarbeitung eines technologischen Konzeptes zur Aufbereitung von Gülle und anderen P-haltigen Medien wie Schlämme aus der Fischzuchtanlage oder Gärreste aus Biogasanlagen. Das Verfahren soll sich durch Einfachheit, Robustheit und der Herstellung von direkt verwertbaren Produkten auszeichnen. Dadurch werden lange Transportwege und die Abhängigkeit von Verwertungsketten vermieden. Neben ackerbaulich nutzbaren Düngern soll auch die Möglichkeit eines Einsatzes der Produkte in der Tierernährung geprüft werden. Deswegen zielt das Verfahren auf die Produktion von verdaulichen Calciumphosphaten und nicht von unverdaulichen Magnesium-Ammonium-Phosphaten wie übliche Dünger ab. Aufgrund der durch die DÜV Novellierung veränderten Bedingungen könnte zukünftig die Entkopplung der Stickstoff- von der Phosphordüngung noch wichtiger werden, so dass die MAP-Produktion nicht so zukunftssträftig erscheint. Im Jahr 2016 betrug der Anteil der Stickstoffdünger ca. 70% und der Phosphordünger etwa 10% der gesamten ausgebrachten Düngemittel von etwa 2,3 Mio t (FAOSTAT).

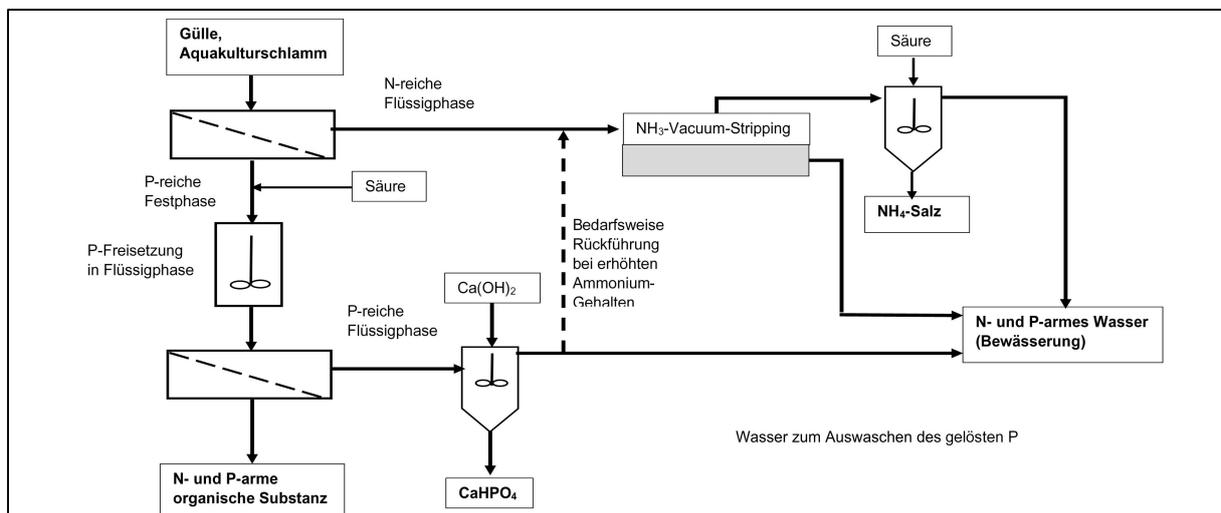


Abbildung 5: Schema des erarbeiteten Konzeptes zur Trennung von Phosphor, Stickstoff und Kohlenstoff aus Gülle und ähnlichen Medien

Diese Vorüberlegungen führen zu einem Konzept (s. Abbildung 5), welches sich in wesentlichen Punkten von bisherigen Ansätzen unterscheidet:

- Entwässerung der P-reichen Festphase vor dem Ansäuerungsschritt → Minimierung des Säure- und Laugeneinsatzes
- Vakuum NH₄-Strippung in der erhaltenen Flüssigphase mit dem PONDUS-N-Verfahren → hohe Ammoniak-Konzentration, da keine Verdünnung mit Strippluft erfolgt, Verzicht auf teure und anfällige Membran-Technik
- Herstellung von Calcium-Phosphat → geeignet als Mineralstoff im Ackerbau und der Tierernährung
- Bereitstellung einer N- und P-abgereicherten organischen Festphase (Kompost) → flexible Verwendung als Bodenverbesserer ohne Konflikt mit Dünge- und Wasserrecht oder als Einstreu in der Tierproduktion

6 Weitere Leistungen aus dem Projekt

Neben der Erstellung des technologischen Konzeptes eines möglichen Verfahrens zum P-Recycling aus Gülle und Schlämmen aus einer Fischzuchtanlage ist es gelungen, einen Projektantrag für ein Nachfolgeprojekt im Rahmen eines KMU-Förderprogrammes des BMBF zu stellen. Die eingereichte Skizze wurde positiv bewertet, so dass die Beantragungsphase mit den eingebundenen mittelständischen Unternehmen derzeit läuft. Es ist gelungen, drei Unternehmen zu finden, die das mit dieser Anschubfinanzierung erarbeitete technologische Konzept zur Aufbereitung von Gülle umsetzen. Im Rahmen des Folgeprojektes erfolgt die Konzeptumsetzung mit der Fertigung und Erprobung eines Prototypen zur mobilen Gülleaufbereitung.

Dieses Projekt wird parallel und unterstützend zur beantragten Forschergruppe des Clusters II: Sufficiency and efficiency of P utilisation, P recycling - Agricultural P Recycling Options bearbeitet.

Weiterhin wurde eine Masterarbeit im Rahmen dieses Anschubprojektes erstellt. Derzeit ist eine Veröffentlichung der Ergebnisse mit einer internationalen Publikation in Arbeit.

7 Literaturverzeichnis

Cordell, D., Drangert, J., White, S. (2009): The story of phosphorus: Global food security and food for thought. AR/Global Environmental Change 19; 292–305

DÜMV (2017): Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung - DüMV) vom 5. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2482), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 26. Mai 2017 (BGBl. I S. 1305) geändert worden ist"

DüV (2017): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen vom 26.05.2017; BGBl. I S. 1305

FAOSTAT (2016): Food and Agriculture Organization of the United Nations; <http://www.fao.org/faostat/en/#data> Zugriff am 28.08.2018

Hooda, Peter S. (2010): Trace Elements in Soils. Editor: Peter S. Hooda; Wiley ISBN: 9789004310087

Leinweber P., Bathmann U., Buczko U., Douhaire C., Eichler-Löbermann B., Frossard E., Ekardt F., Jarvie H., Krämer I., Kabbe C., Lennartz B., Mellander P.-E. Nausch G., Ohtake H., Tränckner J. (2018) Handling the phosphorus paradox in agriculture and natural ecosystems: Scarcity, necessity, and burden of P, AMBIO, 47 (Suppl. 1), 3-19, DOI 10.1007/s13280-017-0968-9

Sattouf, M. S. Kratz, K. Diemer, O. Rienitz, J. Fleckenstein, D. Schiel and E. Schnuget (2007): Identifying of origin of rock phosphates and phosphorus fertilizers through high-precision measurement of the strontium isotopes ⁸⁷Sr and ⁸⁶Sr: Landbauforschung Völkenrode 1 / 2007 (57):01-11

Danksagung

Wir danken der Leibniz-Gesellschaft für die Förderung dieses Vorhabens.

Weiterhin gilt unser Dank unseren Kooperationspartnern für die Unterstützung der Untersuchungen.