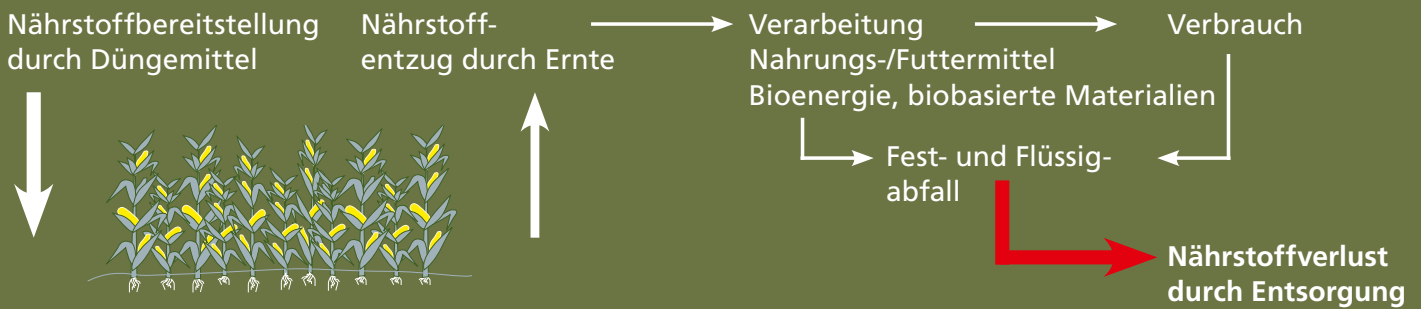


# RÜCKGEWINNUNG VON NÄHRSTOFFEN ZUR HERSTELLUNG VON DÜNGEMITTELN



## HERKÖMMLICHER NÄHRSTOFFFLUSS



1

# NÄHRSTOFFRECYCLING

## DER WEG ZUM NACHHALTIGEN NÄHRSTOFFMANAGEMENT

Nährstoffe wie Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K), Calcium (Ca) und Schwefel (S) sind für das Wachstum aller Lebewesen essenziell, besonders für Pflanzen. Deshalb sind Nährstoffe die Hauptbestandteile von Düngemitteln und somit unverzichtbar für die weltweite Nahrungsmittelproduktion. Bisher werden diese Nährstoffe aber nur teilweise in einem geschlossenen Kreislauf geführt. Stattdessen werden sie mit der Ernte der Pflanzen aus dem Agrarökosystem entfernt. Eine Rückführung der Nährstoffe über die Reststoffe der Nahrungsmittelproduktion findet praktisch nicht statt.

### Fluss der Nährstoffe

Der Nährstoffstrom beginnt mit dem Einbringen der Nährstoffe als Dünger in den Boden. Die Pflanzen nehmen die Nährstoffe auf, die dem Ökosystem Boden – Pflanze dann über die Ernte entzogen werden. Die Pflanzen werden anschließend als Nahrungs- oder Futtermittel, Industrierohstoff oder zur Gewinnung von Bioenergie genutzt. Dabei gehen die in den Pflanzen enthaltenen Nährstoffe gewöhnlich in den vorhandenen Abfallentsorgungssystemen verloren, da die Reststoffe nicht wieder in den Boden eingearbeitet werden. Nur ein Teil wird zurzeit als Mist oder Kompost zurückgeführt. Um diesen Nährstoffentzug auszugleichen, müssen ständig mineralische Düngemittel industriell hergestellt und dem Boden zugeführt werden (Abb. 1).

### Herkömmliche Nährstoffgewinnung

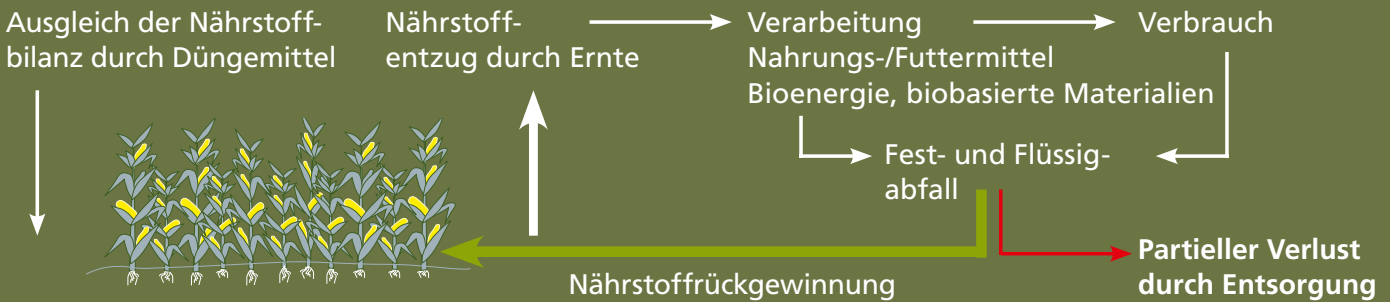
Die industrielle Produktion von Mineraldüngern basiert auf dem Einsatz nicht erneuerbarer Ausgangsstoffe. Phosphordünger stammen hauptsächlich aus dem Abbau von Rohphosphaten. Die Vorkommen an Rohphosphaten nehmen allerdings ab, gleichzeitig ist die Gewinnung dieses Materials mit großen Belastungen für die Umwelt verbunden<sup>1</sup>. Das Element Phosphor ist für das Leben unentbehrlich, da es weder aus einem anderen Element synthetisiert noch ersetzt werden kann.

Im Gegensatz zu Phosphor ist Stickstoff in der Atmosphäre fast unbegrenzt verfügbar. Stickstoffdünger werden über das Haber-Bosch-Verfahren hergestellt, bei dem gasförmiger Stickstoff aus der Luft in Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) überführt wird. Die Herstellung dieses synthetischen  $\text{NH}_3$  erfordert allerdings einen sehr hohen Energieeinsatz (etwa zwei Prozent der Welt-Primärenergieerzeugung) und basiert außerdem auf dem Verbrauch von fossilem Erdgas (etwa fünf Prozent des weltweiten Verbrauchs)<sup>2</sup>. Mit kontinuierlich steigenden Energiekosten erhöhen sich ebenfalls die Produktionskosten für Düngemittel.

Aufgrund der wachsenden Weltbevölkerung steigt auch die Nachfrage nach Nahrungsmitteln, Bioenergie und biobasierten Materialien. Dies führt zu einer steigenden Nachfrage nach Düngemitteln und steigenden Düngemittelpreisen. Die Folge sind höhere Nahrungsmittelpreise, eine Abnahme der Versorgungssicherheit und wachsende soziale und wirtschaftliche Herausforderungen für die kommenden Generationen.

2

## INNOVATIVER NÄHRSTOFFKREISLAUF



2

### Nährstoffverluste

Obwohl die Rohstoffe für die Düngerproduktion immer knapper werden, gehen gleichzeitig große Nährstoffmengen über das Abwassersystem und unter weiterem Energieverbrauch verloren. Stand der Technik in den meisten kommunalen Kläranlagen ist die Entfernung von Stickstoffverbindungen wie Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) und Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) mithilfe von Nitrifikations- und Denitrifikationsprozessen. Unter hohem Energieverbrauch werden diese Verbindungen in gasförmigen Stickstoff umgewandelt, der in die Luft entweicht.

Phosphat wird mittels chemischer Fällung durch Zugabe von Aluminium- oder Eisensalzen entfernt. Diese Phosphatsalze werden deponiert, da sie nicht pflanzenverfügbar sind bzw. Eisen und Aluminium in für die Pflanzen toxischen Konzentrationen freisetzen können. Schätzungen gehen davon aus, dass auf diese Weise weltweit ca. 4,3 Millionen Tonnen Phosphor pro Jahr verloren gehen<sup>3</sup>.

### Überdüngung

Landwirtschaftlich genutzte Böden sind oft mit mineralischen Nährstoffen überdüngt. Falsch oder überschüssig aufgebrauchte Mineraldünger werden aus dem Boden ausgewaschen und gelangen so in das Grundwasser oder in Oberflächengewässer, wo der Nährstoffeintrag zu einer unerwünschten Eutrophierung führt. Der direkte Einsatz von Gülle oder Gärresten aus der Biogasproduktion als Düngemittel kann ebenfalls von Nachteil für den Boden sein, da die Nährstoffzusammensetzung von Stickstoff, Phosphor und Kalium (N:P:K) dieser organischen Reststoffe nicht dem jeweiligen Bedarf der Pflanzen entspricht. Beim Einsatz von Gülle oder Gärresten als Düngemittel wird daher ein Nährstoffbedarf berechnet, der nur auf einen Nährstoff, normalerweise Stickstoff, bezogen wird. Dies führt zu einer Überdosierung der anderen Nährstoffe im Boden. Der Einsatz unkontrollierter Nährstoffmengen in organischen Düngern kann insbesondere in Gebieten mit intensiver Tierhaltung zu einer Nährstoffübersättigung im Boden führen und damit Umweltschäden hervorrufen.

<sup>1</sup> Cordell, D., Neset, T. S. S. and Prior, T. (2009) The phosphorus mass balance: identifying 'hotspots' in the food system as a roadmap to phosphorus security. *Current Opinion in Biotechnology*

<sup>2</sup> Smith, Barry E. (2002) Nitrogenase reveals its inner secrets, *Science* 297 (5587), pp. 1654–1655

<sup>3</sup> Dockhorn, T. (2009) About the economy of phosphorus recovery. Conference proceedings: International Conference on Nutrient Recovery, Vancouver, Kanada

1 Nährstoffflussbild für herkömmliches System.

2 Nährstoffflussbild für nachhaltiges Kreislaufsystem.



### **Unser Ansatz: Nachhaltiges Nährstoffmanagement**

Für ein zukunftsfähiges Wirtschaften ist die Rückgewinnung von Nährstoffen essenziell (S. 3, Abb. 2). Das Fraunhofer IGB beschäftigt sich daher mit der Entwicklung und Umsetzung nachhaltiger, kosteneffizienter Technologien und Strategien für ein integriertes Ressourcenmanagement.

Schwerpunkt ist die Entwicklung neuartiger Technologien zur Rückgewinnung von Nährstoffen aus Abwasser und organischen Reststoffen. In den letzten Jahren haben wir Abwasser, Gülle und Gärreste sowie verschiedene weitere feste oder flüssige Reststoffe charakterisiert, in Hinblick auf die Rückgewinnung von Nährstoffen untersucht und erfolgreich patentierte Verfahren entwickelt.

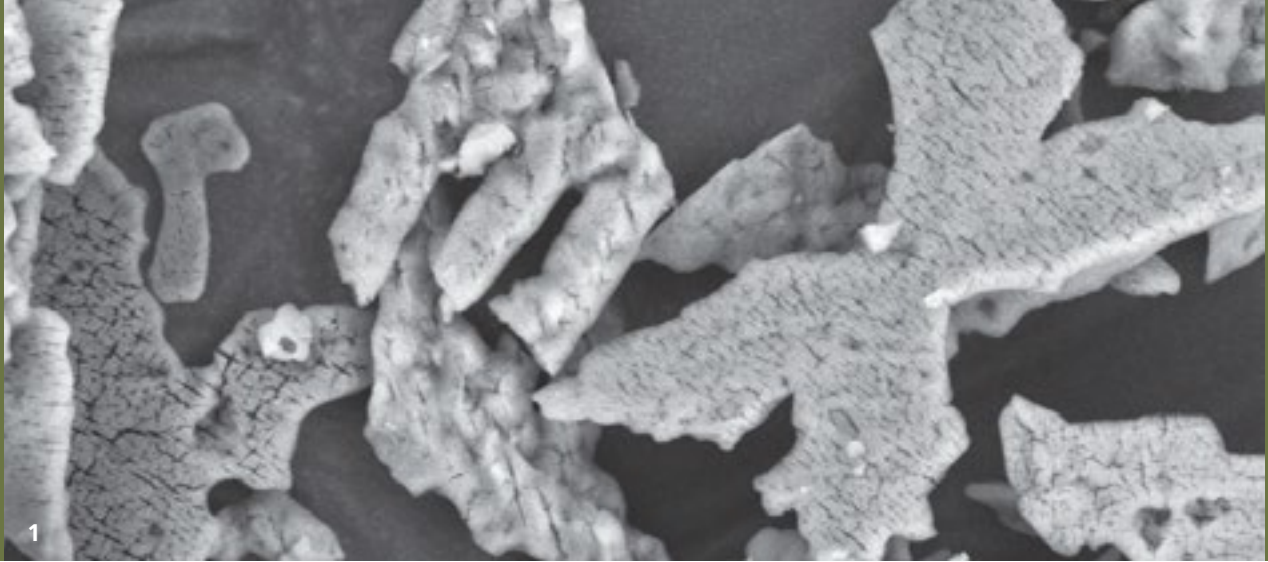
### **Unsere Leistung: Prozessentwicklung von der Rückgewinnung zur Anwendung**

In unseren Produktionsprozessen werden die Nährstoffe so ausgefällt oder pelletiert, dass sie als vollwertiges und spezifisches Produkt durch Industriepartner vermarktet und in verschiedenen landwirtschaftlichen Sektoren eingesetzt werden können. Wir können unsere Produkte auch zu einer je nach Pflanzenart und Bodenbeschaffenheit abgestimmten Nährstoffzusammensetzung vermischen.

Düngemittel können sowohl als Feststoff als auch in flüssiger Form hergestellt und vertrieben werden. Wir bieten die Möglichkeit, entsprechende Produktformulierungen zu entwickeln, Mustermengen herzustellen und entsprechend zu charakterisieren.

- 1 *Aus Abwasser zurückgewonnenes Struvit kann als langsam N und P freisetzender Dünger eingesetzt werden.*
- 2 *Organische Düngemittel-Pellets aus vergorenen Reststoffen der Olivenölproduktion.*
- 3 *Organischer Flüssigdünger wird über einem Feld verteilt.*





# ePHOS®

## ELEKTROCHEMISCHES VERFAHREN ZUR PHOSPHORRÜCKGEWINNUNG

Um Phosphor und Stickstoff aus einer Flüssigphase (Prozess- oder Abwasser) zurückzugewinnen, bietet sich die Kristallisation von P, N und Magnesium (Mg) als Struvit (Magnesium-Ammonium-Phosphat:  $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ ) an. Bei der herkömmlichen Fällung von Struvit muss Magnesium als limitierender Reaktant in Form einer Lösung von  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  oder  $\text{MgO}$  zudosiert werden. Zudem muss z. B. mit Natronlauge der pH-Wert angehoben werden.

Zur Rückgewinnung von Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) und Phosphat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) aus Filtratwasser der kommunalen Abwasserreinigung hat das Fraunhofer IGB einen neuartigen elektrochemischen Prozess entwickelt und patentieren lassen. Beim ePhos®-Verfahren erfolgt die Phosphatfällung elektrochemisch unter vollständigem Verzicht auf Chemikalien. Phosphat und Ammonium werden dabei mit einer Magnesium-Elektrode als Magnesium-Ammonium-Phosphat ( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ , Struvit) ausgefällt.

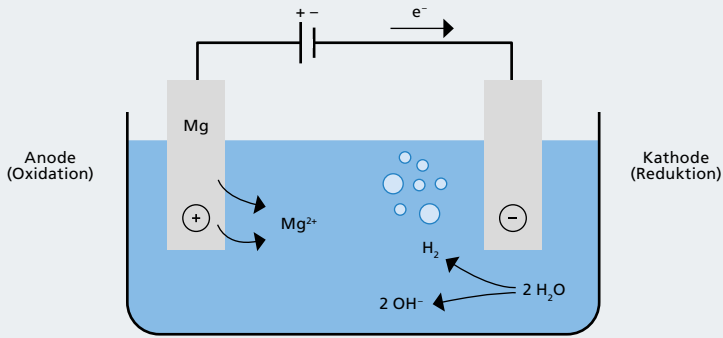
### Hochwertiger Dünger Struvit

Das Produkt Struvit ist in der Landwirtschaft direkt und als hochwertiger, langsam Nährstoffe freisetzendes Düngemittel einsetzbar. Struvit wurde in Topfexperimenten mit Pflanzen getestet. Ertrag und Nährstoffaufnahme der Pflanzen waren beim Einsatz von Struvit bis zu viermal höher als mit kommerziell erhältlichen Mineraldüngern (Ammoniumnitrat und Tripel-superphosphat). Die Ergebnisse verdeutlichen, dass Struvit gut pflanzenverfügbar ist und das Wachstum der Pflanzen fördert.

### Verfahrensprinzip

Die elektrochemische Phosphorfällung findet in einer Elektrolysezelle statt, die aus einer inerten Kathode und einer Opferanode aus Magnesium besteht.

Durch die kathodische Reduktion werden Wassermoleküle gespalten, wobei Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) und  $\text{OH}^-$ -Ionen gebildet werden. Die  $\text{OH}^-$ -Ionen erhöhen den pH-Wert des Abwassers, der bei pH 9 konstant bleibt. Hierdurch entfällt beim ePhos®-Verfahren die Einstellung des pH-Wertes durch Dosierung von Laugen für den Fällungsprozess. An der Anode findet eine Oxidation statt: Magnesiumionen gehen in Lösung und reagieren mit dem im Wasser enthaltenen Phosphor und Stickstoff zu Struvit.



2



3

### Machbarkeitsstudie in Pilotanlage

Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie wurde das Verfahren in einer Pilotanlage mit einem Durchfluss von bis zu 1 m<sup>3</sup>/h auf einer Kläranlage mit biologischer Phosphorelimination getestet. Die Phosphorkonzentration im Zentratwasser der Faulschlammmentwässerung wurde von durchschnittlich 180,0 mg/L auf 20,8 mg/L reduziert. Das heißt, dass die Phosphor-Eliminationsrate bzw. Phosphor-Umsetzung zu Struvit durchschnittlich mehr als 80 Prozent betrug. Die Phosphorfracht, die bei der Rückführung des Filtratwassers nicht mehr behandelt werden muss, sinkt dabei um 37 Prozent, beträgt 9284 Kilogramm jährlich und führt zu einer Reduzierung der Schlammproduktion um 7 Prozent. Die Auslegung des Verfahrens für die Anlage des Kunden ergab, dass die elektrochemische Phosphatfällung jährlich ca. 10 Tonnen Magnesium in Form von Opferelektroden benötigte, mit denen sich ca. 73 Tonnen Struvit gewinnen ließen. Die auf der Kläranlage einzusetzende Chemikalienmenge sank um 40 Tonnen bzw. 20 Prozent pro Jahr.

### Großtechnische Umsetzung mit Flachreaktoren

Aufgrund der Quaderform der als Opferanode eingesetzten Magnesium-Barren wurde das entwickelte Reaktorkonzept von einer ursprünglich tubularen auf eine kubische Geometrie umgestellt. Mit den Erkenntnissen der ersten Pilotierung wurde das Verfahren für die großtechnische Umsetzung mit Flachreaktoren weiterentwickelt.

### Vorteile

Das ePhos<sup>®</sup>-Anlagenkonzept basiert auf der parallelen Serienschaltung der Elektrolysezellen. Da es sich um ein rein elektrochemisches Verfahren handelt, können die Zellen bzw. die Straßen von Zellen dem Bedarf entsprechend durch ein Prozessleitsystem zu- und abgeschaltet werden. Diese Betriebsweise und der effiziente, chemikalienfreie Betrieb stellen wettbewerbsfähige Alleinstellungsmerkmale dar.

Je höher die Konzentration an Ionen im Abwasser ist, desto weniger Strom ist für die elektrochemische Fällung erforderlich. Bei allen bisher untersuchten Abwässern lag die erforderliche Leistung im Bereich von 0,78 Kilowattstunden pro Kubikmeter Abwasser und war damit niedrig.

- 1 Gefällte Struvitkristalle, REM-Aufnahme.
- 2 Verfahrensprinzip der elektrochemischen Struvitfällung.
- 3 Mobile Versuchsanlage zur elektrochemischen Struvitfällung.



### Markteinführung

Mit der US-amerikanischen Firma OVIVO, einem etablierten Anbieter für Ausrüstungen und Systeme der Wasserwirtschaft, haben wir einen Lizenznehmer für den Markt in den USA, Kanada und Mexiko gewinnen können. Durch strenge Grenzwerte bei der Abwasseraufbereitung besteht hier ein großer Bedarf an effizienten Möglichkeiten zur Phosphorrückgewinnung.

Kläranlagenbetreiber sind durch ePhos® in der Lage, die Abwasserreinigung mit einer wertschöpfenden Düngemittelproduktion zu verbinden. Das Verfahren ist auch für die Lebensmittelindustrie und die landwirtschaftliche Biogasproduktion geeignet, deren Abwässer reich an Ammonium und Phosphat sind. Das ePhos®-Verfahren soll zudem durch weitere Prozessmodule ergänzt werden, um zukünftig auch Ammonium zurückzugewinnen.

- 1 *Visualisierung einer großtechnischen ePhos®-Anlage.*
- 2 *Bodendegradation.*
- 3 *Bei der Produktion von Olivenöl fallen feste und flüssige Reststoffe an.*





# NÄHRSTOFFRÜCKGEWINNUNG AUS AGRARABFÄLLEN

Das Ausbringen von Gülle, Gärresten aus Biogasanlagen und anderen landwirtschaftlichen Abfällen versorgt Ackerböden mit wertvollen organischen Bestandteilen und notwendigen Nährstoffen. So kann einerseits der Nährstoffbedarf der Pflanzen gedeckt, andererseits die Fruchtbarkeit der Böden erhalten werden<sup>4</sup>. In Gegenden mit intensiver Tierhaltung ist die Ausbringung auf dem Feld allerdings nicht immer möglich, da die Böden bereits einen sehr hohen Nährstoffgehalt aufweisen. Eine konventionelle landwirtschaftliche Biogasanlage mit einer Leistung von 500 kW<sub>el</sub> erzeugt mittels Vergärung beispielsweise ca. 100 Tonnen Stickstoff (N) pro Jahr. Bei einer Düngung mit 170 kg N/ha wären 588 Hektar Landfläche nötig, um die erzeugte Menge an Stickstoff aufzunehmen<sup>5</sup>. Deshalb müssen Gärreste und überflüssige Gülle aus Regionen mit intensiver Tierhaltung entweder in weniger belastete Regionen mit Bedarf an Gülle abtransportiert oder für lange Zeit gelagert werden.

## Abnahme der organischen Bodensubstanz

In Europa wird die Bodendegradation aufgrund der wachsenden Nachfrage an Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen und Bioenergie zu einem ernsthaften Problem. In den vergangenen Jahren wurden zahlreiche Waldflächen und Dauergrünlandflächen in Ackerland umgewandelt. Dies führt zu einer Abnahme der organischen Bodensubstanz und in Verbindung damit zu einem verminderten Wasserrückhaltevermögen, niedrigerer Bodenfruchtbarkeit und einer Unterbrechung der Nährstoffkreisläufe<sup>6</sup>. Zurzeit ist der Verlust der Bodenfruchtbarkeit durch die Überdüngung mit synthetischen Düngemitteln noch überkompensiert – allerdings ohne die Verluste an organischer Substanz auszugleichen. Auf lange Sicht jedoch wird der Eintrag mineralischer Düngemittel nicht ausreichen, um die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten. Der Rückgang der Bodenfruchtbarkeit wird sich unmittelbar auf die Sicherung der Nahrungsmittelproduktion auswirken, zumal Boden keine erneuerbare Ressource ist<sup>7</sup>.

Das Fraunhofer IGB entwickelt daher auch Technologien zur Rückgewinnung von Nährstoffen und organischen Bestandteilen aus landwirtschaftlichen Abfällen, um neben mineralischen auch hochwertige und kompakte organische Düngemittel zu erzeugen.

<sup>4</sup> Stoll, M. S. et al. (2012) Evaluation of treated manure as fertilizer. Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference ORBIT 2012; Rennes, Frankreich 12. – 15. Juni 2012

<sup>5</sup> Fuchs, W. and Drosig, B. (2010) Technologiebewertung von Gärrestbehandlungs- und Verwertungskonzepten, pp 10. Universität für Bodenkultur Wien, Wien, Österreich

<sup>6</sup> Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Thematic strategy for soil protection (2006)

<sup>7</sup> Soil. European Commission: Environment [http://ec.europa.eu/environment/soil/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/soil/index_en.htm) Access Date: February 10, 2012



1

### Pilotanlage zur Gülleaufbereitung liefert Mineraldünger und Bodenverbesserer

Gülle enthält wertvolle Pflanzennährstoffe, vor allem Stickstoff und Phosphor, und unverdauliche Futterreste wie Pflanzenfasern. In dem von der EU geförderten Projekt BioEcoSIM (Förderkennzeichen 308637) wurden daher verschiedene Verfahren zur Aufarbeitung von Gülle zu hochwertigen Produkten entwickelt und als separate Module in eine Anlage für die Verarbeitung der Gülle vor Ort integriert.

Die im Rahmen des Projekts gebaute Pilotanlage zur Gülleaufbereitung verarbeitet – direkt am Ort ihres Entstehens – pro Stunde beispielhaft und zur Demonstration 50 Kilogramm Schweinegülle zu etwa 500 Gramm mineralischem Phosphatdünger, 500 Gramm mineralischem Stickstoffdünger (Ammoniumsulfat) sowie 900 Gramm organischer Biokohle.

#### Kombinierte Verfahren

In einem ersten Schritt wird die wässrige Gülle vorbehandelt, damit sich Phosphor vollständig löst, und über eine grobe Filtration in eine feste und eine flüssige Phase getrennt. Die entwässerte feste Phase wird dann mit einem am Fraunhofer IGB entwickelten Verfahren getrocknet, das mit überhitztem Wasserdampf in einem geschlossenen System und daher besonders energieeffizient arbeitet (siehe Seite 12). Anschließend werden die getrockneten organischen Bestandteile bei über 300 °C mittels Pyrolyse – wie im Trocknungsschritt in einer Atmosphäre aus überhitztem Wasserdampf – zu organischer Biokohle umgesetzt. Mikroorganismen werden hierbei vollständig zerstört.



2

Die flüssige Güllefraktion enthält reichlich gelöste anorganische Nährstoffe. In einem Fällungsreaktor wird zunächst Phosphor recycelt und in Form von Phosphatsalzen gefällt und abfiltriert. Stickstoff wird in einem zweiten Schritt zurückgewonnen. Hierzu wird die wässrige Fraktion in eine Membranzelle geleitet. Im Wasser gelöstes Ammoniak diffundiert über die Membran, wird als Ammoniumsulfat gewonnen und in einem weiteren Schritt kristallisiert. Übrig bleibt Wasser, das nur noch Spuren von Phosphor und Stickstoff enthält, aber reich an Kalium ist – und optimal zur Bewässerung eingesetzt werden kann.

#### Vorteile und Ausblick

Umfangreiche Untersuchungen und Feldstudien haben gezeigt, dass die aus Gülle aufbereiteten mineralischen Düngemittel und organischen Bodenverbesserer direkt als gut verfügbare Dünger und humusbildende Substrate in der Landwirtschaft eingesetzt werden können. Zudem entspricht die Masse der entwässerten und aufbereiteten Produkte nur noch etwa vier Prozent der ursprünglichen Güllemenge. Geplant ist es, die Anlage für eine Serienproduktion weiter zu entwickeln.



### **Organischer Bodenverbesserer aus Reststoffen der Olivenölproduktion**

In dem von der Europäischen Union geförderten Projekt En-X-Olive (Förderkennzeichen 2184442-2) haben wir zusammen mit Partnern aus Spanien, Italien, Griechenland und Frankreich die Gewinnung von Biogas, Polyphenolen und Düngemitteln aus Rückständen der Olivenölproduktion erforscht (S. 9, Abb. 3). Ziel des Arbeitspakets »Düngemittelnrückgewinnung« war es, einen kompakten organischen Bodenverbesserer aus Reststoffen der Olivenölproduktion herzustellen. Hierzu haben wir feste Gärrestrückstände von flüssigen getrennt, anschließend getrocknet und pelletiert. Das Ergebnis war ein wettbewerbsfähiger Dünger, der stabil und lagerfähig ist, sich leicht transportieren lässt und mit der üblichen Streutechnik auf Ackerflächen aufgebracht werden kann (S. 4, Abb. 2).

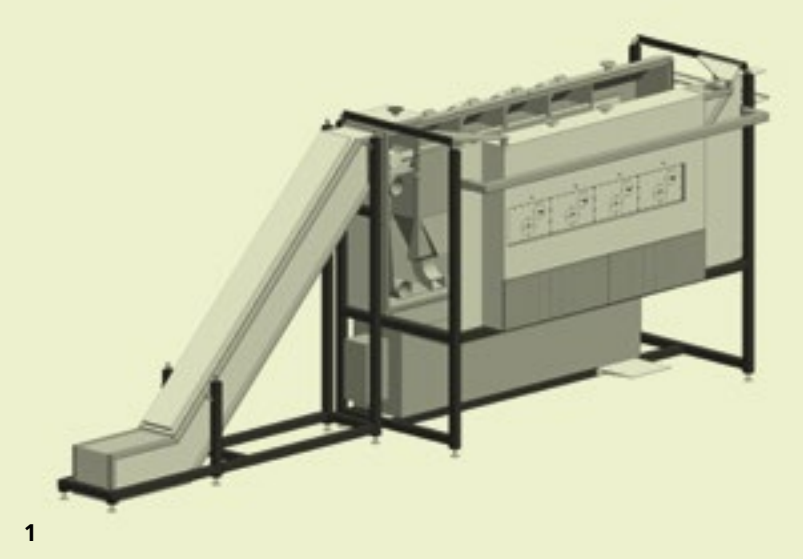
### **Düngemittel-Pellets mit Insekten-Repellent-Wirkung für den biologischen Landbau**

Immer mehr Kunden bevorzugen biologisch angebautes Gemüse, weil beim Anbau auf Pestizide verzichtet wird und die Produkte nicht mit Chemikalien belastet sind. Werden die Kulturen von Biobauern allerdings von Schädlingen befallen, gibt es nur wenige Möglichkeiten, die Ernteerträge zu sichern. Beispielsweise wird Bio-Kohl häufig von der Kohlflye befallen, einem bekannten Schädling, wodurch Ernteerträge deutlich gemindert werden.

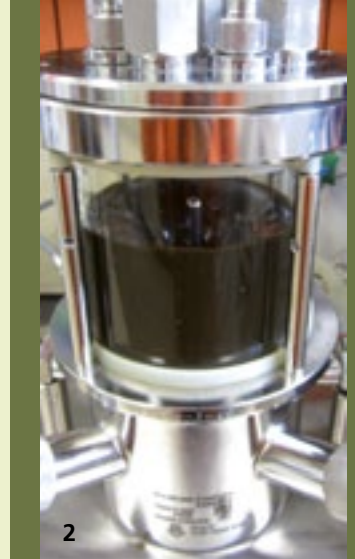
Zukünftig können Bauern ihre Kulturen verlässlich gegen die Kohlflye schützen und trotzdem weiterhin Biolandbau betreiben. In Zusammenarbeit mit Kollegen der Universität West-Ungarn und dem Forschungsinstitut Nortek in Oslo haben wir im Auftrag verschiedener landwirtschaftlicher Bioverbände Pellets entwickelt, die eine düngende Wirkung besitzen und gleichzeitig die Kohlflye abwehren (Projekt EcoBug, Förderkennzeichen 218467-2). Die Pellets bestehen aus getrockneten Resten aus der Vergärung der Gülle und zu 0,1 Prozent aus getrockneten Cyanobakterien. Werden die Pellets bei frisch gepflanztem Kohl ausgebracht, bauen Bodenlebewesen die Cyanobakterien ab. Dabei wird ein Duft freigesetzt, der die Kohlfiegen erfolgreich vertreibt. Zudem düngen die nährstoffreichen Gärreste die Pflanzen. Die Pellets sind einfach in der Anwendung und die enthaltenen Nährstoffe sind gut pflanzenverfügbar.

Die düngende und insektenabwehrende Wirkung des Produkts wurde durch unsere Projektpartner in Spanien und Ungarn in Feldversuchen nachgewiesen: Die mit EcoBug-Pellets gedüngten Weißkohlpflanzen wuchsen deutlich besser als nicht gedüngte Pflanzen. Keine der mit dem Kombinationsdünger bestreuten Pflanzen wurde von der Kohlflye befallen.

- 1 *BioEcoSIM-Pilotanlage.*
- 2 *Mineralischer Phosphatdünger, mineralischer Stickstoffdünger und organische Biokohle.*
- 3 *Kombiniertes Dünge- und biologisches Pflanzenschutzmittel: EcoBug-Pellets aus Resten der Güllevergärung, angereichert mit insektenabwehrenden Cyanobakterien.*



1



2

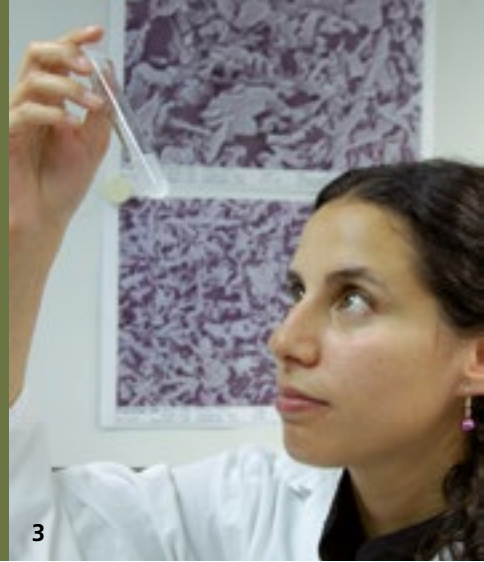
### Trocknung von biologischen Abfallstoffen und Cyanobakterien mit überhitztem Wasserdampf

Die Trocknung der Gärreste und Cyanobakterien im Projekt EcoBug wurde mit einem neuartigen Trockner mit überhitztem Wasserdampf durchgeführt (Superheated Steam Dryer, SHSD). Der am Fraunhofer IGB entwickelte Trockner bietet wesentliche Vorteile gegenüber üblichen Trocknern mit Heißluft. Durch die bessere Wärmeübertragung von Wasserdampf sind mit dem SHSD bei gleicher Temperatur höhere Trocknungsraten erreichbar als mit Heißlufttrocknern. Dies führt zu einem niedrigeren spezifischen Energieverbrauch von 0,75–0,90 kWh/kg entfernten Wasser im Vergleich zu Heißlufttrocknern mit 1,10–1,70 kWh/kg Wasser<sup>8</sup>. Des Weiteren ermöglicht die höhere thermische Leitfähigkeit und Wärmekapazität von überhitztem Wasserdampf eine verbesserte Wärmeübertragung auf Mikroorganismen, wodurch diese inaktiviert werden und die Produkte pasteurisiert oder sterilisiert werden können. Da der überhitzte Wasserdampf in einem geschlossenen Kreislauf wieder aufgeheizt wird, entsteht überschüssiger Wasserdampf, der gemeinsam mit NH<sub>3</sub> (aus den Gärresten) und leicht flüchtigen organischen Verbindungen (VOCs) aus dem SHSD abgeleitet wird. Im SHSD können die flüchtigen Substanzen dann aus dem überhitzten Dampf kondensiert werden. Dies ermöglicht es, wertvolle Substanzen wie flüchtige Fettsäuren (VFA) und NH<sub>3</sub> zurückzugewinnen. Zusätzlich wird beim SHSD, im Vergleich zu konventionellen Heißlufttrocknern, das Problem von VOC- und NH<sub>3</sub>-Emissionen vermieden.

### Rückgewinnung von organischem Phosphor für die verbesserte Phosphatfällung

In vielen organischen Abfällen liegt Phosphor sowohl anorganisch als auch organisch gebunden vor. Die Phosphorverbindungen sind in der Natur teilweise sehr stabil, weshalb die Phosphordüngung bei der Applikation von Gülle oder Gärresten nur schwer kontrolliert werden kann. Häufig wird Phosphor daher übermäßig in den Boden eingetragen – mit negativen Folgen für die Umwelt. Der natürliche biologische Abbauprozess wandelt organische Bestandteile in anorganische pflanzenverfügbare Ionen um (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>). Diese Prozesse können mehrere Monate oder Jahre in Anspruch nehmen und hängen von örtlichen Gegebenheiten wie Humusgehalt, Temperatur, Feuchtigkeit und der Aktivität der Mikroorganismen ab. Eine eigens entwickelte analytische Methode erlaubt uns, die Art der Phosphorverbindungen in organischen Abfällen zu bestimmen. Für die in landwirtschaftlichen Reststoffen enthaltenen organischen Phosphate haben wir einen biokatalytischen Prozess zur Mineralisierung der Phosphate und zu deren Rückgewinnung als hochwertiger Dünger entwickelt.

<sup>8</sup> Desai, D.K. et al. (2009) Superheated steam drying of Brewer's Spent Grain in a rotary drum, *Advanced Powder Technology* 20 (3), pp. 240–244



### Formulierung und Stabilitätsuntersuchungen von Düngemitteln zur Blattdüngung

Pflanzen können nicht nur über den Boden, sondern ebenso über das Blatt gedüngt werden. Im Gegensatz zur Bodendüngung ermöglicht die Blattdüngung eine gezielte und exakt dosierbare Gabe einzelner Nährelemente zu einem festen Zeitpunkt. Prozesse im Boden, welche die Nährstoffverfügbarkeit beeinflussen, etwa die Fixierung von Nährstoffen oder ihre Auswaschung, können dabei umgangen werden. Die Nährstoffe werden in verdünnter Form direkt auf die Blätter der Pflanze gespritzt und aufgenommen. Dabei werden sowohl die klassischen Makronährstoffe (N, P, K, Ca, Mg und S) zur Blattdüngung verwendet als auch Mikronährstoffe wie Mangan und Eisen sowie weitere Spurenelemente, die einen positiven Beitrag zum Pflanzenwachstum leisten.

Für einen Auftraggeber aus der Industrie hat das Fraunhofer IGB die Zusammensetzung von Blattdüngern auf der Basis natürlicher Rohstoffe überprüft. Das Hauptziel hierbei war, das optimale Verhältnis von Wirkstoff und Lösemittel zu bestimmen, um eventuell auftretende Nebenreaktionen zu verhindern. Des Weiteren konnten wir mittels Stabilitätsuntersuchungen zeigen, dass die Produkte die nach CIPAC (Collaborative International Pesticides Analytical Council) geforderte Lagerstabilität von zwei Jahren aufweisen und sich nach EU-Öko-Verordnung 834/2007 zertifizieren lassen.

### Herstellung von Pflanzenstärkungsmitteln

Nicht nur Düngemittel werden vermehrt für die landwirtschaftliche Produktion nachgefragt, sondern auch sogenannte Pflanzenstärkungsmittel. Diese Präparate haben keine düngende Wirkung, sorgen aber dafür, dass die Pflanzen Nährstoffe besser und schneller aufnehmen. Weiterhin wird die Pflanze nachweislich resistenter gegen Schädlingsbefall und Krankheitserreger. Somit stellen Pflanzenstärkungsmittel – vor allem, wenn sie aus natürlichen Substanzen gewonnen werden – eine sinnvolle und ökologische Alternative zu klassischen Pestiziden und Herbiziden dar.

In einem Industrieprojekt haben wir die Extraktion eines Pflanzenstärkungsmittels aus einem natürlichen Rohstoff untersucht. Das Produkt wurde zuvor als Feststoff vertrieben und sollte nun als direkt einsetzbare Suspension auf den Markt gebracht werden. Neben Versuchsreihen zur Ermittlung der idealen Extraktionsbedingungen haben wir auch hier die Lagerstabilität des Produkts ermittelt.

- 1 *Trockner, der mit überhitztem Dampf bei atmosphärischen Druck trocknet.*
- 2 *Reaktor für die biokatalytische Rückgewinnung von organischen Phosphorverbindungen.*
- 3 *Untersuchung im Labor.*

# UNSER LEISTUNGSANGEBOT

## Forschung und Entwicklung

- Untersuchung des unbehandelten Materials oder Reststoffes hinsichtlich des Nährstoffgehalts mittels instrumenteller Analytik
- Entwicklung von Strategien und Technologien für eine optimale Rückgewinnung von Nährstoffen und organischer Substanz
- Simulation des Reaktionsverhaltens, statistische Versuchsplanung, Versuche im Labormaßstab, Scale-up der Anlagen
- Durchführung von Machbarkeitsstudien zur Umsetzung geeigneter Rückgewinnungsverfahren, einschließlich Versuchen mit unserer Struvitfällungsanlage und zur Trocknung mit überhitztem Dampf in Labor- und Technikumsmaßstab
- Thermodynamische und kinetische Analyse der Fällung verschiedener Salze zur Beurteilung kompetitiver Reaktionen
- Entwicklung und Herstellung von Mehrkomponentendüngern aus flüssigen und festen Materialien mit Repellent-Eigenschaften
- Herstellung organischer Flüssigdünger und Pflanzenstärkungsmittel im Extraktions- und Suspensionsverfahren
- Stabilitäts- und Alterungsversuche von Flüssigdüngern nach CIPAC

## Apparative Ausstattung

- Labors mit Apparaten für Extraktions- und Dispergierversuche sowie für Stabilitätsuntersuchungen von Flüssigdüngern
- Laborgeräte für die Online-Partikelmessung und -charakterisierung von Kristallen (1  $\mu\text{m}$ –2,5 mm)
- Versuchs- und Demonstrationsanlagen zur Trocknung mit überhitztem Dampf (Superheated Steam Dryer, SHSD)
- Pelletierung
- Mobile Demonstrationsanlage zur elektrochemischen Fällung von Magnesium-Ammonium-Phosphat (Struvit) und weiteren Nährstoffsalzen

## Kontakt



**B. Sc. Michael Bohn**  
Telefon +49 711 970-4244  
[michael.bohn@igb.fraunhofer.de](mailto:michael.bohn@igb.fraunhofer.de)



**Dr.-Ing. Marius Mohr**  
Leiter Innovationsfeld  
Wassertechnologien und  
Wertstoffrückgewinnung  
Telefon +49 711 970-4216  
[marius.mohr@igb.fraunhofer.de](mailto:marius.mohr@igb.fraunhofer.de)

**Fraunhofer-Institut  
für Grenzflächen- und  
Bioverfahrenstechnik IGB**  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Telefon +49 711 970-4401  
Fax +49 711 970-4200  
info@igb.fraunhofer.de  
www.igb.fraunhofer.de

### **Fraunhofer IGB Kurzprofil**

Das Fraunhofer IGB entwickelt und optimiert Verfahren, Produkte und Technologien für die Geschäftsfelder Gesundheit, Chemie und Prozessindustrie sowie Umwelt und Energie. Wir verbinden höchste wissenschaftliche Qualität mit professionellem Know-how in unseren Kompetenzfeldern – stets mit Blick auf Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit. Komplettlösungen vom Labor- bis zum Pilotmaßstab gehören dabei zu den Stärken des Instituts. Kunden profitieren auch vom interdisziplinären Austausch zwischen den fünf FuE-Abteilungen in Stuttgart und den Institutsteilen an den Standorten Leuna und Straubing. Das konstruktive Zusammenspiel der verschiedenen Disziplinen am Fraunhofer IGB eröffnet neue Ansätze in Bereichen wie Medizintechnik, Nanotechnologie, industrieller Biotechnologie oder Umwelttechnologie. Das Fraunhofer IGB ist eines von 72 Instituten und Forschungseinrichtungen der Fraunhofer-Gesellschaft, Europas führender Organisation für angewandte Forschung.

[www.igb.fraunhofer.de](http://www.igb.fraunhofer.de)

Bleiben Sie mit uns in Verbindung:

