



# Gärproduktaufbereitung: aktuelle Techniken zur effizienten Nährstoffrückführung und -aufbereitung

Wolfgang Gabauer  
Universität für Bodenkultur Wien  
Interuniversitäres Department für Agrarbiotechnologie, IFA-Tulln  
Konrad Lorenz Str. 20, 3430 Tulln  
Tel.: +43 1 47654-97424  
E-Mail: [wolfgang.gabauer@boku.ac.at](mailto:wolfgang.gabauer@boku.ac.at)

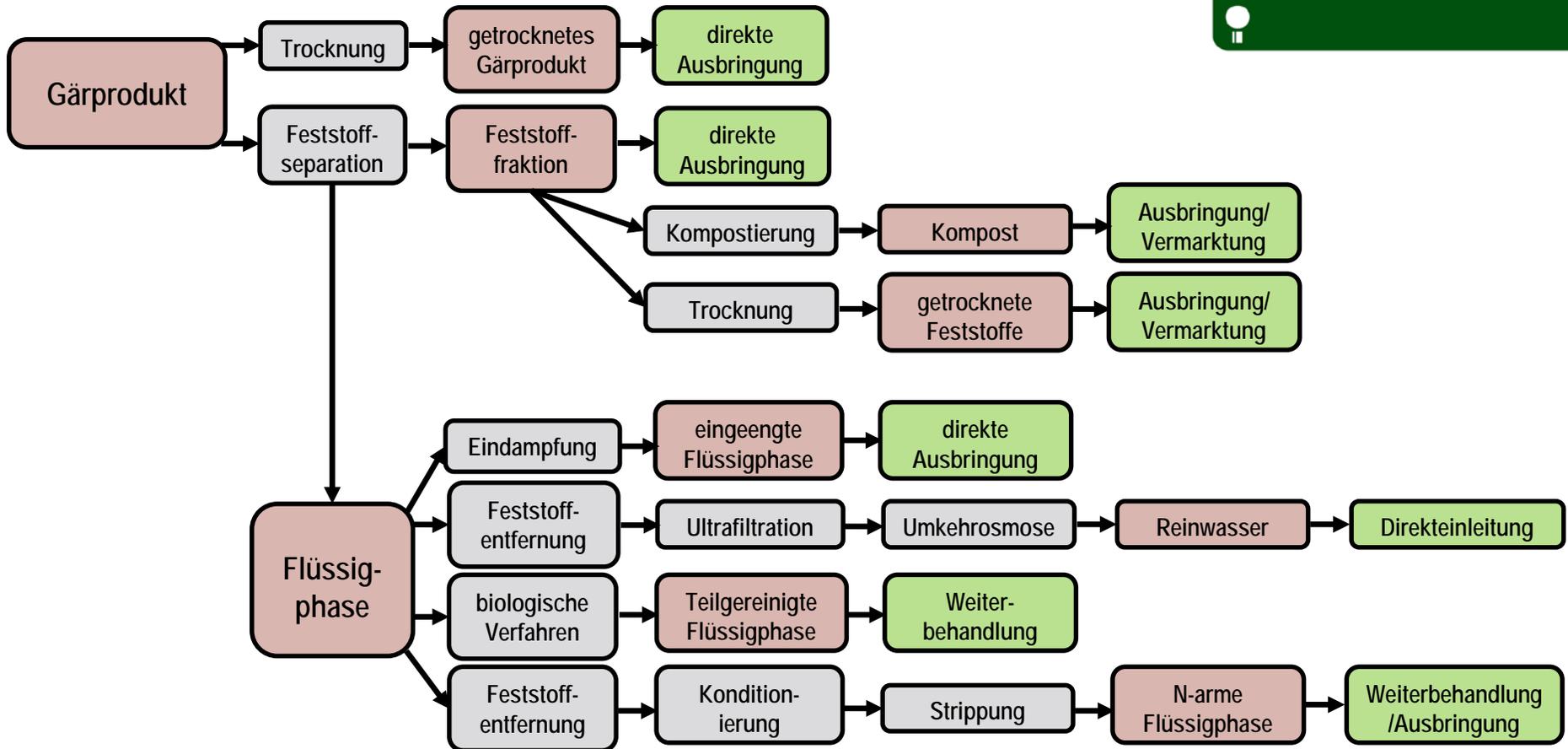
St. Pölten, 3. Dezember 2019

# Warum Gärproduktaufbereitung?



- keine ausreichenden regionalen Flächen zur Nährstoffversorgung
- Reduzierung der auszubringenden Gärproduktmenge
- Verminderung von Lagerungs- und Ausbringkosten
- Abtrennung von Nährstoffen und ihre Überführung in transport- und verkaufsfähige Verwertungsformen
- Reduzierung von Umweltbelastungen (NH<sub>3</sub>-Emissionen, Geruchsreduktion, Energiebedarf für Mineraldüngerproduktion)

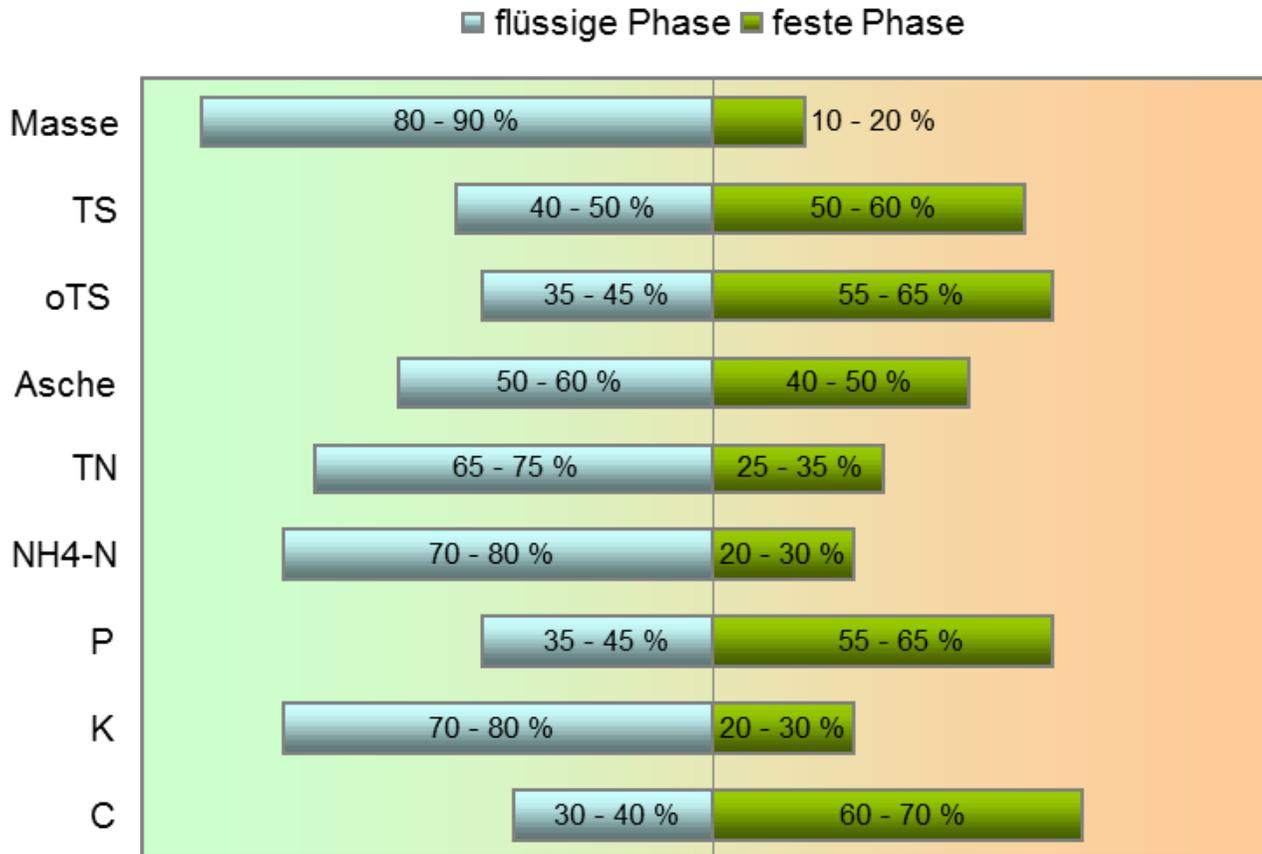
# Technologien/Verfahrenskombinationen



Quelle: adaptiert nach Fuchs, Drosch, IFA-Tulln, 2010

# Feststoffseparation

## Verteilung der wichtigsten Parameter



Quelle: Fuchs, Drosch, IFA-Tulln, 2010

# Fallbeispiele Gärproduktaufbereitung

Anlagen 1,3,4: Italien

Anlage 2: Deutschland



Anlage	Aufbereitungs- technologie	Substrate	Anlagengröße Biogas [ MW <sub>el</sub> ]	Anteil behandeltes Gärprodukt	Produkte
1 <sup>1)</sup>	<b>Trocknung: Bandrockner + Schwefelsäurewäscher</b>	Schweinegülle, Hühnermist, Energiepflanzen	1 MW	fester + Teil flüssiges Gärprodukt	Ammoniumsulfat, trockener organisches Gärprodukt
2 <sup>2)</sup>	<b>Verdampfung Dosierung Säure mehrstufig</b>	Maissilage, Grassilage	2 MW	flüssiges Gärprodukt	eingeeengte Flüssigphase, Brüdenkondensat
3 <sup>1)</sup>	<b>Strippung Luftstrippung + Schwefelsäurewäscher</b>	Rindergülle, Schweinegülle, Energiepflanzen	0,6 MW	flüssiges Gärprodukt	Ammoniumsulfat
4 <sup>1)</sup>	<b>Membranaufbereitung: Flockung + Ultrafiltration + 2 stufige RO</b>	Schweinegülle, Energiepflanzen	1 MW	flüssiges Gärprodukt	Konzentrat Umkehrosiose, Ammoniumsulfat, Wasser

<sup>1)</sup>Quelle: Bolzonella et al. 2017)

<sup>2)</sup>Quelle: Fuchs, Drosig, IFA-Tulln, 2013

# Anlage 1: Trocknung

## Feststoffseparation + Bandrockner + Schwefelsäurewäscher



<b>Eckdaten:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Versuche/Monitoring rund 6 Monate</li><li>• Mischung aus getrocknetem Gärprodukt und Flüssiganteil (12% TS)</li><li>• Heißluft aus Abgaswärmetauscher durchströmt Gärrest mit 70-80°C</li><li>• NH<sub>3</sub> beladene Abluft durchströmt Schwefelsäurewäscher</li><li>• „Faustregel“: gesamte Abwärme reicht für Verdunstung von rund 25-50% des Wassers</li></ul>
<b>Ergebnisse:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Wärmebedarf Verdampfen von 1,00 t Wasser rund 1,10 MWh</li><li>• Rund 26 m<sup>3</sup>/Tag Wasser konnten entfernt werden (rund 20-30% von Gesamtanfall)</li><li>• Ammoniumsulfat-Konzentration von 25% (rund 5,5% N)</li><li>• Nährstoffverteilung im Endprodukt:<ul style="list-style-type: none"><li>• Gesamtstickstoff (N): 43% in Ammoniumsulfat, 47% in getrocknetem Gärprodukt</li><li>• Gesamtphosphor (P): gesamt in getrocknetes Gärprodukt</li></ul></li></ul>
<b>Kostenschätzung:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Investitionskosten Bandrockner: rund 300.000 € (Durchsatz – 30 m<sup>3</sup> Gärprodukt/Tag)</li><li>• Abschreibungsdauer: 10 Jahre</li><li>• Kosten pro m<sup>3</sup> behandelter Gärprodukt:<ul style="list-style-type: none"><li>• Abschreibung: 2,74 €/m<sup>3</sup></li><li>• Energiekosten: 1,00 €/m<sup>3</sup></li><li>• Chemikalienkosten: 1,00 €/m<sup>3</sup></li><li>• Personalkosten: 1,30 €/m<sup>3</sup></li><li>• <b>Gesamtkosten: rund 6,04 €/m<sup>3</sup></b></li></ul></li></ul>



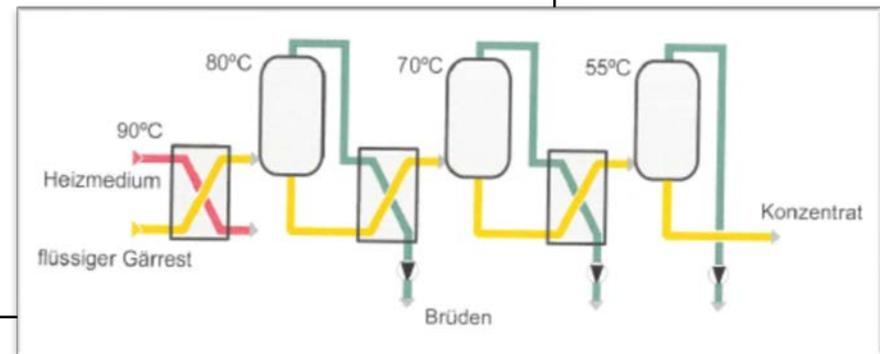
Quelle: NEW eco-tec Verfahrenstechnik GmbH, Symbolfoto

# Anlage 2: Verdampfung

## Feststoffseparation + Schwingsieb + Eindampfung



<b>Eckdaten:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dosierung von Schwefelsäure um pH zu senken (NH<sub>4</sub>-N verbleibt im Konzentrat, keine Strippung des Ammoniaks)</li> <li>• Mehrstufiges System mit Nutzung des entstehenden Wasserdampfes zur Heizung der weiteren Stufen</li> <li>• Da Unterdruck angelegt wird – „Verdampfung“ hier unter 100°C</li> </ul>
<b>Ergebnisse:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumenreduktion behandelter Gärrest um rund 50% - Produkt pumpfähig</li> <li>• Brüdenkondensat anstelle von Ammoniumsulfat</li> <li>• Nährstoffverteilung im Endprodukt:             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesamtstickstoff (N): 95% in eingedickten Gärprodukt, 4,00% in Festanteil nach Schwingsieb, 1,00% in Brüdenkondensat</li> <li>• Gesamtphosphor (P): 83% in eingedickten Gärprodukt, 17% in Festanteil nach Schwingsieb, 0% in Brüdenkondensat</li> </ul> </li> </ul>
<b>Kostenschätzung:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investitionskosten: rund 445.000 € (Schneckenpresse, Schwingsieb, Eindampfung)</li> <li>• Abschreibungsdauer: 10 Jahre</li> <li>• Kosten pro m<sup>3</sup> behandelter Gärprodukt:             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abschreibung: 2,30 €/m<sup>3</sup></li> <li>• Energiekosten: 0,54 €/m<sup>3</sup></li> <li>• Entsorgung Brüden: 0,56 €/m<sup>3</sup></li> <li>• Chemikalienkosten: 0,71 €/m<sup>3</sup></li> <li>• Personalkosten: 0,65 €/m<sup>3</sup></li> <li>• Sonst. Kosten: 1,29 €/m<sup>3</sup></li> <li>• <b>Gesamtkosten: rund 6,05 €/m<sup>3</sup></b></li> </ul> </li> </ul>



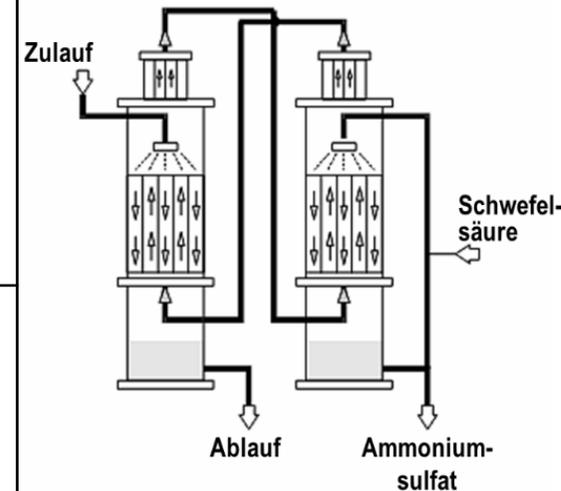
# Anlage 3: Strippung

## Schneckenpresse + Lamellenklärer + Luftstrippung



<b>Eckdaten:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Versuche/Monitoring rund 6 Monate</li> <li>• Luftstrippung mit 2 Kolonnen: Strippkolonne + Waschkolonne</li> <li>• Erhöhung pH mit gelöschtem Kalk auf mind. 9,00 – Erhöhung NH<sub>3</sub> Anteil</li> <li>• 1. Kolonne Warme Luft (60-70°C) durchströmt Kolonne</li> <li>• 2. Kolonne: NH<sub>3</sub> beladene Luft durchströmt Schwefelsäure-Wäscher</li> </ul>
<b>Ergebnisse:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laufzeit Kolonne 24 Stunden/Tag – Leistungsaufnahme: 40 kW<sub>el.+therm.</sub></li> <li>• 17% des Ausgangsstickstoffs finden sich im Ammoniumsulfat</li> <li>• Flüssigphase wird nicht aufkonzentriert</li> <li>• Nährstoffverteilung im Endprodukt:             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesamtstickstoff (N): 17% im Ammoniumsulfat, 60% in Flüssigphase, 23% in Festanteilen</li> <li>• Gesamtphosphor (P): 0% im Ammoniumsulfat, 36% Flüssiganteil, 64% Festanteile</li> </ul> </li> </ul>
<b>Kostenschätzung:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investitionskosten Strippung: rund 750.000 € (Durchsatz – 100 m<sup>3</sup>/Tag)</li> <li>• Abschreibungsdauer: 10 Jahre</li> <li>• Kosten pro m<sup>3</sup> behandelter Gärprodukt:             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abschreibung: 1,58 €/m<sup>3</sup></li> <li>• Energiekosten: 1,06 €/m<sup>3</sup></li> <li>• Chemikalienkosten: 1,5 €/m<sup>3</sup></li> <li>• Personalkosten: 1,30 €/m<sup>3</sup></li> <li>• <b>Gesamtkosten: rund 5,44 €/m<sup>3</sup></b></li> </ul> </li> </ul>

### Luftstrippung



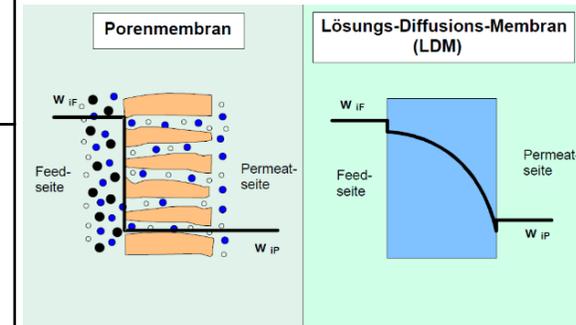
Quelle: Fuchs, Drosig 2013

# Anlage 4: Membranverfahren

Schneckenpresse + Polymer + Zentrifuge + Ultrafiltration  
+ Umkehrosmose



<p><b>Eckdaten:</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Versuche/Monitoring rund 6 Monate</li> <li>• Schneckenpresse + Flockung + Dekanterzentrifuge + Umkehrosmose</li> <li>• Maximaler Durchsatz: 100 m<sup>3</sup> Gärprodukt/Tag</li> </ul>
<p><b>Ergebnisse:</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 46% des Gesamtvolumens nach Umkehrosmose (RO) als Reinwasser/Prozesswasser verfügbar</li> <li>• Großteil der gelösten Nährstoffe in Konzentrat der RO</li> <li>• Nährstoffverteilung im Endprodukt:             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesamtstickstoff (N): 16% RO Permeat, 40% RO Konzentrat, 44% Festanteile aus Feststoffseparation</li> <li>• Gesamtphosphor (P): 0% RO Permeat, 5% RO Konzentrat, 95% Festanteile aus Feststoffseparation</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>Kostenschätzung:</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investitionskosten Membranverfahren: bis zu 1 Mio. € für Anlagen mit 100 m<sup>3</sup> Durchsatz/Tag</li> <li>• Abschreibungsdauer: 10 Jahre</li> <li>• Kosten pro m<sup>3</sup> behandelter Gärprodukt:             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abschreibung: 2,74 €/m<sup>3</sup></li> <li>• Energiekosten: 1,58 €/m<sup>3</sup></li> <li>• Chemikalienkosten: 0,33 €/m<sup>3</sup></li> <li>• Personalkosten: 2,05 €/m<sup>3</sup></li> <li>• <b>Gesamtkosten: 6,97 €/m<sup>3</sup></b></li> </ul> </li> </ul>



Quelle: LW-Ministerium NRW, 2002



Quelle: Gabauer IFA-Tulln, 2019, Symbolfoto

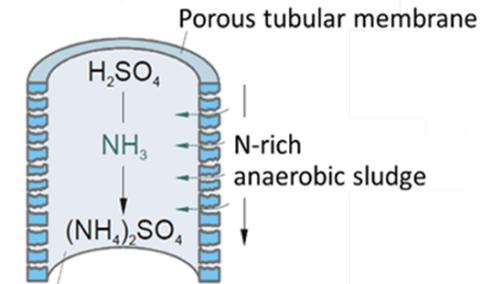
# Vergleich Verfahrenstechniken



<b>Trocknung</b>	
<b>+</b>	<b>-/?</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzung vorhandener Abwärme</li> <li>• Geringe Investitionskosten</li> <li>• Marktfähiges Verfahren</li> <li>• thermischer Energiebedarf</li> <li>• Keine Partikelentfernung nötig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sehr hoher thermischer Energieaufwand</li> <li>• Sehr geringe Volumenreduktion</li> <li>• Hoher Anteil unbehandelte Flüssigphase</li> <li>• Staubentwicklung</li> </ul>
<b>Verdampfung</b>	
<b>+</b>	<b>-/?</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzung vorhandener Abwärme</li> <li>• Geringere Investitionskosten</li> <li>• Unterdruck – Verdampfung unter 100°C</li> <li>• Relative wartungsarme Technik</li> <li>• Falls Wäscher: Ammoniakwasser, Ammoniumsulfat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• höherer thermischer Energieaufwand</li> <li>• Welche Volumenreduktion ist möglich?</li> <li>• Verblockung der Wärmetauscherflächen – Feststoffentfernung</li> <li>• Viskosität des eingedickten Gärprodukt</li> </ul>
<b>Strippung</b>	
<b>+</b>	<b>-/?</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzung vorhandener Abwärme</li> <li>• „Produktvarianten“: Ammoniakwasser, Ammoniumsulfat</li> <li>• Effizient bei hohen Ammoniakgehalten im Gärprodukt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Höhere Investitionskosten</li> <li>• Hohe Austauschflächen nötig – Füllkörper nötig</li> <li>• Durch Füllkörper Gefahr der Verblockung – Feststoffentfernung</li> <li>• Hoher Mitteleinsatz (Kalk, Natronlauge), um Ammoniak-Konzentration zu erhöhen</li> </ul>
<b>Membranverfahren</b>	
<b>+</b>	<b>-/?</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kleinstpartikel und gelöste Stoffe werden abgetrennt</li> <li>• Großteil der gelösten Nährstoffe in Konzentrat der RO</li> <li>• Endprodukt ist Reinwasser/Vorflutertauglichkeit</li> <li>• Geschlossenes System (keine Emissionen in Luft)</li> <li>• Geringer Platzbedarf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Höhere Investitionskosten</li> <li>• hoher elektrischer Energieaufwand – Druckaufbau/Pumpen</li> <li>• Fouling/Scaling – Rückgang Durchfluss/Flux</li> <li>• Gefahr der Verblockung – Partikelentfernung/Flockung</li> </ul>

# Weitere Aufbereitungstechnologien

- Membrankontaktoren
- MAP-Fällung (Magnesiumammoniumphosphat)
- „ANAStrip“-Prozess
- Ionenaustauschverfahren
- Hydrothermale Carbonisierung (HTC)
- Forward-Osmosis
- Biologische Verfahren
- Membrandestillation



Shell side of membrane with adsorbant solution

Abbildung 1: Membrankontaktor

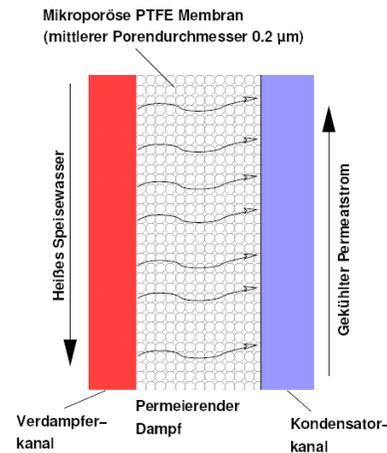


Abbildung 2: Membrandestillation



Abbildung 3: MAP aus Fermenter

# Schlussfolgerungen/Fragestellungen



- Hohe Investitions- und Betriebskosten für Gärproduktaufbereitung
- Technologien kommen durchwegs aus Klärschlamm- und Güllebehandlung - noch zu wenig Erfahrung im Umgang mit Gärprodukten?
- Für Biogasgroßanlagen, die nicht lokal produzierte Substrate verwerten?
- Wie hoch sind meine derzeitigen Ausbringkosten?
- Welche Gärproduktmengen fallen an und hoch ist der Nährstoffgehalt?
- Welche Mengen können regional ausgebracht werden?
- Teilaufbereitung (Volumenreduktion) oder Vollaufbereitung (Behandlung Flüssiganteil)?
- Gibt es ausreichend Überschusswärme?
- Kann ich einen marktfähigen Dünger produzieren (Vermarktungsstrategien)?
- Angebotene Technologien werden optimiert – neue Technologien erforscht
- „Flaschenhals“ bei Großteil der Aufbereitungstechnologien – **effiziente Feststoffentfernung**

# Neues Projekt „BioFLOCK“



kompost  
& biogas  
verband



## ■ Konsortium:

- Projektleitung: KBVÖ
- Subauftragnehmer: BOKU, IFA-Tulln
- Firmenpartner, Biogasanlagenbetreiber

## ■ Ziele des Projektes (Start Dezember 2019):

- Optimierung der Feststoffabtrennung/Feinpartikel aus Gärprodukten
- Einsatz alternativer Flockungsmittel (Stärke, Chitosan) anstelle von PAM
- Minimierung des Einsatzes von Haupt- und Hilfsflockungsmittel

## ■ Durchführung:

- Screening Gärprodukte (Partikelverteilung, Salzkonzentration, TS/OTS,..)
- Labor-Versuche: Flockungsversuche („Jar-Tests“) mit unterschiedlichen konventionellen und alternativen Flockungsmitteln in Kombination mit Zentrifugation (unterschiedliche g-Kräfte)
- Pilot-Versuche: sind Labor-Versuche vielversprechend → Pilotversuche bei Biogasanlagen
- Methodenentwicklung um Flockung zu optimieren → Einflussfaktoren auf Flockung verstehen





Vielen Dank!

# Gärproduktaufbereitung: aktuelle Techniken zur effizienten Nährstoffrückführung und -aufbereitung

Wolfgang Gabauer

Universität für Bodenkultur Wien

Interuniversitäres Department für Agrarbiotechnologie, IFA-Tulln

Konrad Lorenz Str. 20, 3430 Tulln

Tel.: +43 1 47654-97424

E-Mail: [wolfgang.gabauer@boku.ac.at](mailto:wolfgang.gabauer@boku.ac.at)

St. Pölten, 3. Dezember 2019