



# Demonstration innovativer Technologien zur Nährstoff-Rückgewinnung in Verbindung mit einer Vergärung nährstoffreicher Substrate

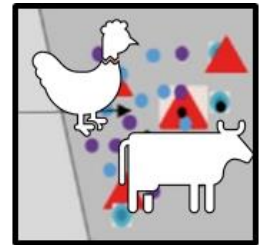
*Dr. Ute Bauermeister (GNS), Falko Niebling (GICON)*

**abonocare®-Konferenz**  
20.06.2023, Leipzig

- Motivation
- Herausforderungen
- Lösungsansatz => Demonstrator 3
- Ergebnisse der Technologiebausteine
- Erprobte Technologievernetzung
- Zusammenfassung

## Ökologisch und wirtschaftlich nachhaltige Vergärung von organischen Reststoffen erfordert zunehmend eine Gärrestaufbereitung:

- Entfrachtung der Vergärung nährstoffreicher Substrate
  - Beseitigung von Gärhemmungen (N)
  - Beseitigung von unerwünschten Fällungsreaktionen (P)
- Bindung der entfernten Nährstoffe in werthaltigen Düngemitteln
  - damit effektivere Düngung und Vermeidung von Emissionen
- Schließung von landwirtschaftlichen Nährstoffkreisläufen

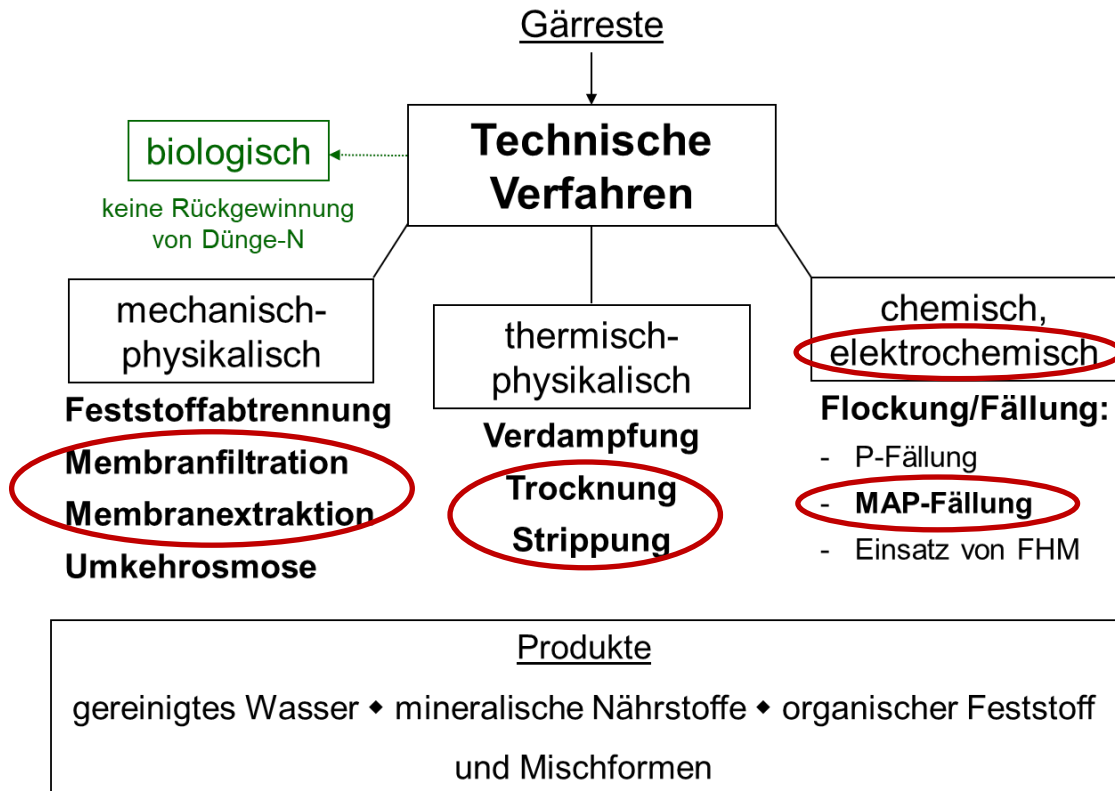




## Gärrestaufbereitung erfordert Vernetzung von Technologien und Beachtung der besonderen stofflichen Eigenschaften der Gärreste:

Einige Aspekte:

- Einerseits: Nährstoff-Schwankungen in Substraten
- Andererseits: Einhaltung von Nährstoffgehalten in den Produkten
- alle Stoffströme müssen sinnvoll nutzbar sein
- Synergien zwischen den Technologien nutzen



# Lösungskonzept:

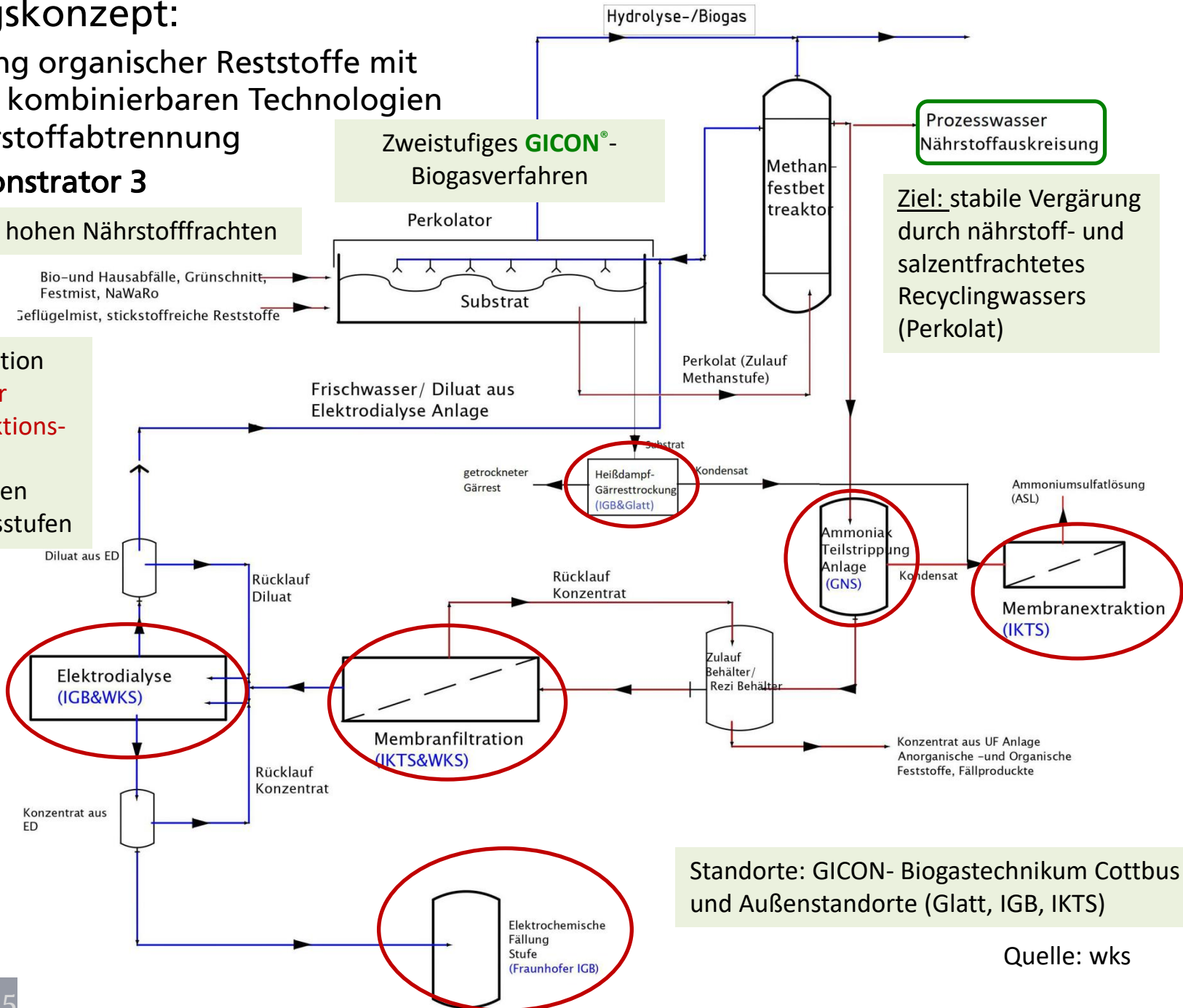
Vergärung organischer Reststoffe mit modular kombinierbaren Technologien zur Nährstoffabtrennung

## ⇒ Demonstrator 3

Substrate mit hohen Nährstofffrachten

Bio- und Hausabfälle, Grünschnitt,  
Festmist, NaWaRo  
Zeflügelmist, stickstoffreiche Reststoffe

Lösung: Integration  
6 verschiedener  
Nährstoffextraktions-  
verfahren mit  
unterschiedlichen  
Fraktionierungsstufen



Ziel: stabile Vergärung durch nährstoff- und salzentfrichtetes Recyclingwassers (Perkolat)

Standorte: GICON- Biogastechnikum Cottbus und Außenstandorte (Glatt, IGB, IKTS)

Quelle: wks



# Ergebnisse Vergärung (GICON)

| INPUT |  |  | GICON®-Biogasverfahren |  |  | Kreislauf |  |  | OUTPUT |  |  |
|-------|--|--|------------------------|--|--|-----------|--|--|--------|--|--|
|-------|--|--|------------------------|--|--|-----------|--|--|--------|--|--|

| Substratmischung (HTK/RFM) |      |         |
|----------------------------|------|---------|
| Param.                     | Wert | Einheit |
| Last                       | 44,3 | %       |
| Menge                      | 316  | kg OM/d |
| TR                         | 58,5 | %       |
| oTR                        | 33,8 | %       |
| N <sub>ges</sub>           | 31,8 | g/kg TR |
| P <sub>ges</sub>           | 18,6 | g/kg TR |
| K <sub>ges</sub>           | 27,4 | g/kg TR |
| S <sub>ges</sub>           | 6,88 | g/kg TR |
| Mg <sub>ges</sub>          | 9,00 | g/kg TR |
| Ca <sub>ges</sub>          | 69,6 | g/kg TR |
| pH                         | 8,16 |         |
| NH <sub>4gel</sub>         | 13,1 | g/kg TR |

| Schwefelbinderzugabe |       |         |
|----------------------|-------|---------|
| Fe <sub>m</sub>      | Wert  | Einheit |
| Fe <sub>m</sub>      | 0,095 | g/kg TR |

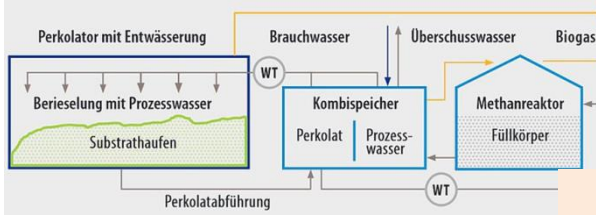
| Spurenstoffzugabe |      |         |
|-------------------|------|---------|
| Menge             | Wert | Einheit |
| Menge             | 3,65 | ml/t TR |

| Rücklauf aus Extraktion |      |                   |
|-------------------------|------|-------------------|
| Menge                   | Wert | Einheit           |
| Menge                   | n.b  | m <sup>3</sup> /h |

| Frischwasserszugabe |       |                   |
|---------------------|-------|-------------------|
| Menge               | Wert  | Einheit           |
| Menge               | 0,286 | m <sup>3</sup> /d |



SCHEMA DES GICON®-BIOGASVERFAHENS



|   |
|---|
| hydraulisches Volumen ~ 50 m <sup>3</sup> |
| Anzahl Perkolatoren: 2                    |
| AnMBBR mit verschiedenen Füllständen      |

| Perkolat zur Entsalzung |       |                   |
|-------------------------|-------|-------------------|
| Param.                  | Wert  | Einheit           |
| Menge                   | 0,021 | m <sup>3</sup> /h |
| TR                      | 4,60  | %                 |
| oTR                     | 21,0  | %                 |
| NH <sub>4gel</sub>      | 3,02  | g/l               |
| pH                      | 8,51  |                   |
| LF                      | 42,6  | mS/cm             |
| CSB                     | 32271 | mg/l              |

| fester Gärrest     |      |         |
|--------------------|------|---------|
| Param.             | Wert | Einheit |
| Menge              | 320  | kg OM/d |
| TR                 | 31,0 | %       |
| oTR                | 18,1 | %       |
| N <sub>ges</sub>   | 15,2 | g/kg TR |
| P <sub>ges</sub>   | 21,9 | g/kg TR |
| K <sub>ges</sub>   | 34,6 | g/kg TR |
| S <sub>ges</sub>   | 7,33 | g/kg TR |
| Mg <sub>ges</sub>  | 12,3 | g/kg TR |
| Ca <sub>ges</sub>  | 84,2 | g/kg TR |
| pH                 | 8,46 |         |
| NH <sub>4gel</sub> | 28,2 | g/kg TR |



Fester Gärrest bleibt stapelbar und kann weiter verarbeitet werden

| flüssiger Gärrest |      |         |
|-------------------|------|---------|
| Param.            | Wert | Einheit |

## Bewertung Verfahren:

- ✓ Zweistufiges GICON®-Kreislaufverfahren mit Stickstoffanreicherung funktioniert
- ✓ Kreislaufprozess ermöglicht Frischwassereinsparung
- ✓ Trockenfermentation von HTK und RFM mit Stickstoffrückgewinnung ist möglich



# Bilanz/Ergebnisse Teilstrippung (GNS)

## INPUT aus Vergärung

| Perkolat-Annahme GNS    |      |         |
|-------------------------|------|---------|
| Param.                  | MW   | Einheit |
| Menge                   | 21   | l/h     |
| TR                      | 4,6  | %       |
| oTR                     | 21   | %       |
| NH <sub>4</sub> -N      | 3,49 | g/kg    |
| CO <sub>2</sub> -Gehalt | 0,29 | mol/kg  |

## Teilstrippung GNS



## OUTPUT Strippung

| Perkolat gestrippt      |      |         |
|-------------------------|------|---------|
| Param.                  | MW   | Einheit |
| Menge                   | 20   | l/h     |
| TR                      | 5,0  | %       |
| oTR                     | n.b. | %       |
| NH <sub>4</sub> -N      | 1,9  | g/kg    |
| CO <sub>2</sub> -Gehalt | 0,14 | mol/kg  |
| pH (25°C)               | 9,6  |         |
| LF (25°C)               | 38   | mS/cm   |

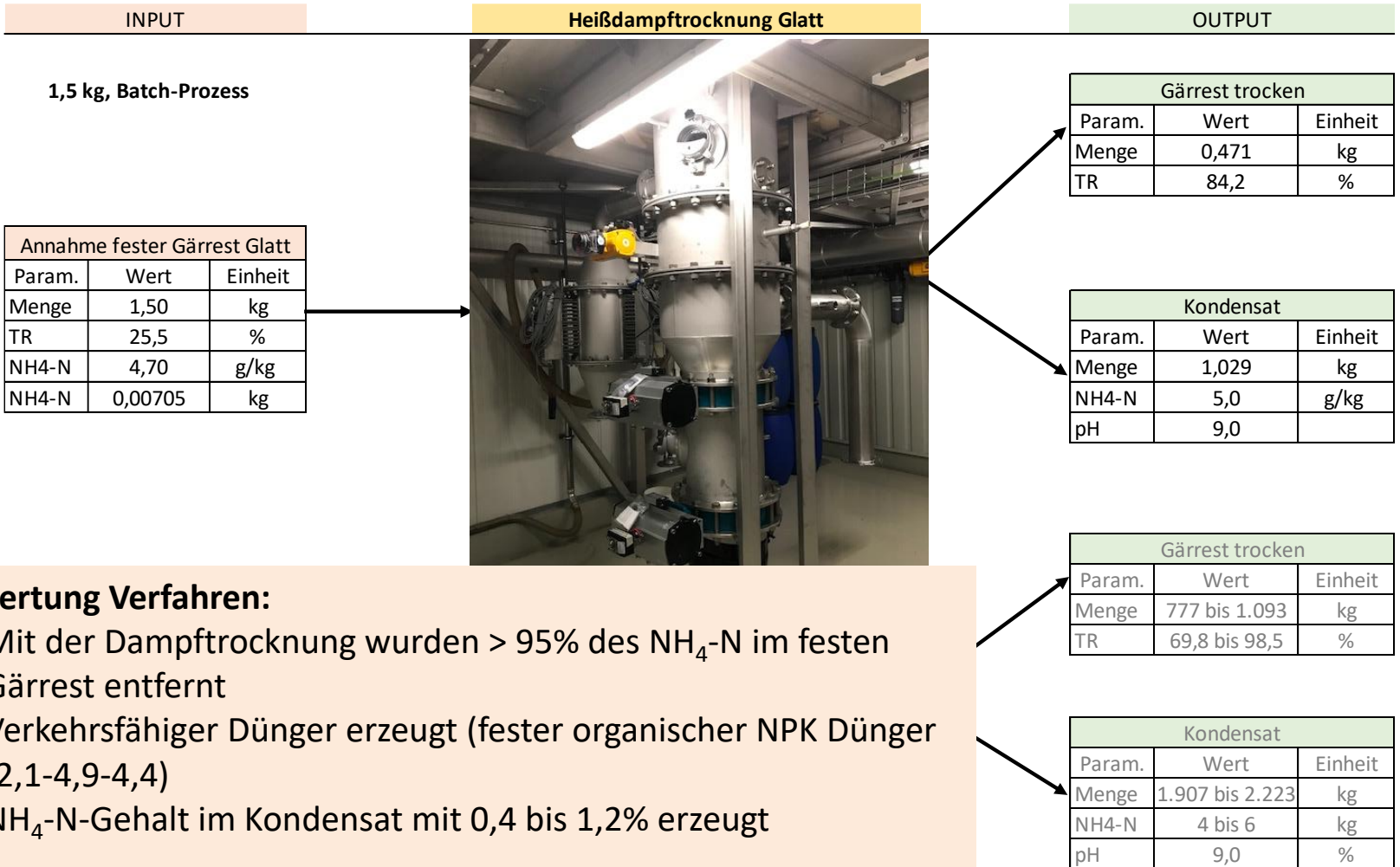
| Kondensat 1        |      |         |
|--------------------|------|---------|
| Param.             | MW   | Einheit |
| Menge              | 0,26 | l/h     |
| NH <sub>4</sub> -N | 28,1 | g/kg    |
| pH (25°C)          | 8,4  |         |
| LF (25°C)          | 139  | mS/cm   |

| Kondensat 2        |      |         |
|--------------------|------|---------|
| Param.             | MW   | Einheit |
| Menge              | 0,57 | l/h     |
| NH <sub>4</sub> -N | 27,5 | g/kg    |
| pH (25°C)          | 8,7  |         |
| LF (25°C)          | 121  | mS/cm   |

### Bewertung Verfahren:

- ✓ Durch Teilstrippung wurde 50 % Reduktion von NH<sub>4</sub>-N, CO<sub>2</sub> und Leitfähigkeit erreicht
- ✓ rückgeführtes Prozesswasser besitzt weiterhin Pufferkapazität für einen stabilen Biogasprozess
- ✓ Kondensat mit konstantem NH<sub>4</sub>-N-Gehalt von 3% erzeugt (großtechnisch > 5% erreichbar)

# Bilanz/Ergebnisse Dampftrocknung (Glatt)





# Bilanz/Ergebnisse Membranextraktion (IKTS)

## INPUT

### Kondensate:

IGB: Dampftrocknung  
Glatt: Dampftrocknung  
GNS: Teilstrippung

| Kondensate         |      |       |       |         |
|--------------------|------|-------|-------|---------|
| Param.             | IGB  | Glatt | GNS   | Einheit |
| Menge              | 2,00 | 2,00  | 2,00  | L       |
| pH (25°C)          | 9,21 | 11,19 | 8,77  |         |
| LF (25°C)          | 9,47 | 1,15  | 70,30 | mS/cm   |
| NH <sub>4</sub> -N | 1,81 | 6,16  | 13,18 | g/L     |
| TC                 | 1,57 | 0,12  | 8,97  | g/L     |

| Schwefelsäure |     |       |     |         |
|---------------|-----|-------|-----|---------|
| Param.        | IGB | Glatt | GNS | Einheit |
| Menge         |     |       |     |         |
| Mola          |     |       |     |         |

## Membranextraktion IKTS



## OUTPUT

Werte nach 5h Batch-Betrieb

| Entsticktes Kondensat |      |       |       |         |
|-----------------------|------|-------|-------|---------|
| Param.                | IGB  | Glatt | GNS   | Einheit |
| Menge                 | 2,00 | 2,00  | 2,00  | L       |
| pH (25°C)             | 8,82 | 8,85  | 8,40  |         |
| LF (25°C)             | n.b. | n.b.  | n.b.  | mS/cm   |
| NH <sub>4</sub> -N    | 1,12 | 0,71  | 10,07 | g/L     |
| TC                    | 1,25 | n.b.  | 6,52  | g/L     |

Abbruchkriterium: Zeit; Weitere NH<sub>4</sub>-N-Abkonzentration möglich  
Ziel: < 0,1 g NH<sub>4</sub>-N/L

| ASL 1              |          |       |       |         |
|--------------------|----------|-------|-------|---------|
| Param.             | IGB      | Glatt | GNS   | Einheit |
| Menge              | 2,00     | 4,00  | 5,00  | L       |
| pH (25°C)          | n.b.     | n.b.  | 1,10  |         |
| LF (25°C)          | n.b.     | n.b.  | n.b.  | mS/cm   |
| NH <sub>4</sub> -N | 0,29     | 2,96  | 0,14  | g/L     |
| TC                 | n.a. / 0 | n.b.  | 2,35  | g/L     |
| Sulfate            | 7,033    | 19,18 | 16,59 | g/L     |


Kriterium: Zeit; Weitere NH<sub>4</sub>-N-Aufkonzentration möglich  
e ASL, d. h. ca. 5 % N, ca. 6 % S

### Bewertung Verfahren:

- ✓ Membranextraktion erfolgreich zur Entfernung von NH<sub>4</sub>-N aus Kondensat und Überführung mit Schwefelsäure zu ASL eingesetzt
- ✓ Verbesserung der NH<sub>4</sub>-N-Abtrennung erforderlich und möglich
- ✓ Anforderungen an die Kondensat-Qualität



# Bilanz/Ergebnis Ultrafiltration (wks)

| INPUT                        |       |         | Ultrafiltration  | OUTPUT                       |       |         |
|------------------------------|-------|---------|--|------------------------------|-------|---------|
| Perkolat (aus Teilstrippung) |       |         |  | Permeat (zur Elektrodialyse) |       |         |
| Parameter                    | Wert  | Einheit |  | Parameter                    | Wert  | Einheit |
| Durchsatz                    | 70    | L/h     |  | Durchsatz                    | 50    | L/h     |
| CSB                          | 34440 | mg/L    |  | CSB                          | 25830 | mg/L    |
| TS                           | 5100  | mg/L    |  | TS                           | 410   | mg/L    |
| TR                           | 43630 | mg/L    |  | TR                           | 35041 | mg/L    |
| pH                           | 9,54  |         |  | pH                           | 8,3   |         |
| NH <sub>4</sub> -N           | 1688  | mg/L    |  | NH <sub>4</sub> -N           | 1608  | mg/L    |
| PO <sub>4</sub> -P           | 306   | mg/L    |  | PO <sub>4</sub> -P           | 131,5 | mg/L    |
| K <sup>+</sup>               | 9976  | mg/L    |  | K <sup>+</sup>               | 9800  | mg/L    |
| Ca <sup>2+</sup>             | 317   | mg/L    |  | Ca <sup>2+</sup>             | 136   | mg/L    |
| Na <sup>+</sup>              | 2023  | mg/L    |  | Na <sup>+</sup>              | 2020  | mg/L    |
| Fe <sup>2+</sup>             | 82    | mg/L    |  | Fe <sup>2+</sup>             | 50    | mg/L    |
| Cl <sup>-</sup>              | 3387  | mg/L    | Cl <sup>-</sup>  | 3209                         | mg/L  |         |

## Bewertung Verfahren:

- ✓ Ultrafiltration als Vorstufe zur Elektrodialyse geeignet
- ✓ 90% der Feststoffe wurden erfolgreich entfernt
- ✓ Störstoffe, gelöste Organik sowie anteilig N, P verbleiben im Konzentrat (ca. 29% vom Input)

| Konzentrat (Rezyklierung, Verwertung) |       |         |
|---------------------------------------|-------|---------|
| Parameter                             | Wert  | Einheit |
| Menge                                 | 20    | L/h     |
| CSB                                   | 51660 | mg/L    |
| TS                                    | 23560 | mg/L    |
| TR                                    | 62540 | mg/L    |
| pH                                    | 8,35  |         |
| NH <sub>4</sub> -N                    | 1750  | mg/L    |
| PO <sub>4</sub> -P                    | 420   | mg/L    |
| K <sup>+</sup>                        | 10000 | mg/L    |
| Ca <sup>2+</sup>                      | 521   | mg/L    |
| Na <sup>+</sup>                       | 2250  | mg/L    |
| Fe <sup>2+</sup>                      | 128   | mg/L    |
| Cl <sup>-</sup>                       | 3200  | mg/L    |



# Bilanz/Ergebnis Elektrodialyse (IGB)

## INPUT

## Elektrodialyse

## OUTPUT

### Permeat aus Ultrafiltration

| Parameter          | Wert  | Einheit |
|--------------------|-------|---------|
| mittlere Menge     | 29,2  | kg/h    |
| CSB                | 25830 | mg/kg   |
| TS                 | 410   | mg/kg   |
| TR                 | 35041 |         |
| pH                 | 8,3   |         |
| NH <sub>4</sub> -N | 1608  | mg/kg   |
| PO <sub>4</sub> -P | 131,5 | mg/kg   |
| K <sup>+</sup>     | 9800  | mg/kg   |
| Ca <sup>2+</sup>   |       |         |
| Na <sup>+</sup>    |       |         |
| Fe <sup>2+</sup>   |       |         |
| Cl <sup>-</sup>    |       |         |
| Leitfähigkeit      |       |         |
| Dichte             |       |         |



| Diluat             |       |         |
|--------------------|-------|---------|
| Parameter          | Wert  | Einheit |
| mittlere Menge     | 21,4  | kg/h    |
| NH <sub>4</sub> -N | 361,6 | mg/kg   |
| PO <sub>4</sub> -P | 86,4  | mg/kg   |
| K <sup>+</sup>     | 1704  | mg/kg   |
| Na <sup>+</sup>    | 686   | mg/kg   |
| Cl <sup>-</sup>    | 41    | mg/kg   |
| Leitfähigkeit      | 7     | mS/cm   |

| Konzentrat (zur MAP Fällung) |       |         |
|------------------------------|-------|---------|
| Parameter                    | Wert  | Einheit |
| mittl. Menge                 | 7,8   | kg/h    |
| NH <sub>4</sub> -N           | 4964  | mg/kg   |
| PO <sub>4</sub> -P           | 145   | mg/kg   |
| K <sup>+</sup>               | 22890 | mg/kg   |
| Na <sup>+</sup>              | 5073  | mg/kg   |
| Cl <sup>-</sup>              | 9435  | mg/kg   |
| Leitfähigkeit                | 90    | mS/cm   |

### Bewertung Verfahren:

- ✓ Elektrodialyse reduziert die Konzentrationen im Diluat (gereinigtes Wasser/Prozesswasser) um:
  - 75 - 80% NH<sub>4</sub>-N
  - 30 - 40% für PO<sub>4</sub>-P
  - 70...98% Na, K, Cl
- ✓ im Konzentrat (27% vom Input) erfolgt hingegen eine Aufkonzentration der Nährstoffe um den Faktor 1 bis 3, geeignet für MAP-Fällung

1 kg entspricht ca. 1 Liter





# Bilanz/Ergebnis ePhos-Fällung (IGB)

INPUT

elektrochemische P-Fällung (ePhos®)

OUTPUT

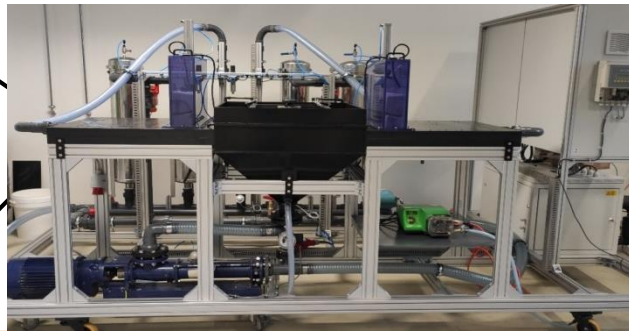
## Laborzelle (Batch)

### Perkolat (nicht-gestrippt) (1)

| Parameter | Wert | Einheit |
|-----------|------|---------|
| Menge     | 0,5  | L       |
| pH        | 8,5  |         |
| NH4-N     | 4100 | mg/kg   |
| PO4-P     | 220  | mg/kg   |
| Mg        | 5,1  | mg/kg   |

### Perkolat (gestrippt) (2)

| Parameter | Wert | Einheit |
|-----------|------|---------|
| Menge     |      |         |
| pH        |      |         |
| NH4-N     |      |         |
| PO4-P     |      |         |
| Mg        |      |         |



| Flüssigphase |          |          |         |
|--------------|----------|----------|---------|
| Parameter    | Wert (1) | Wert (2) | Einheit |
| Menge        | 0,48     | 0,49     | L       |
| pH           | 9        | 9,15     |         |
| NH4-N        | 4140     | 366      | mg/kg   |
| PO4-P        | 37       | <12,3    | mg/kg   |
| Mg           | 41,6     | 45       | mg/kg   |

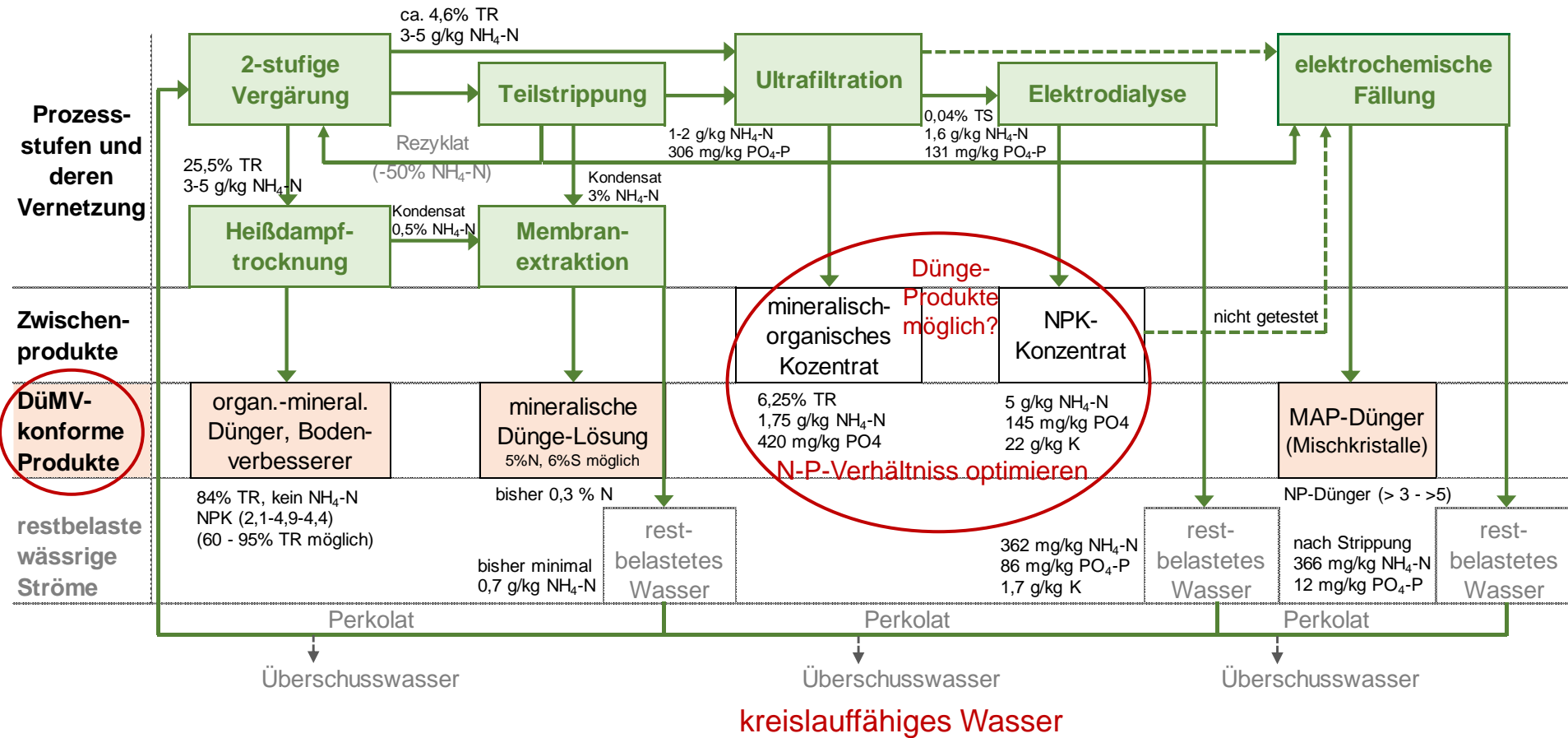
| Feststoff |          |          |         |
|-----------|----------|----------|---------|
| Parameter | Wert (1) | Wert (2) | Einheit |
| Menge     | 1,23     | 0,25     | g       |
| PO4-P     | 105,5    | 147      | g/kg    |
| NH4-N     | 51,1     | 67       | g/kg    |
| Mg        | 68,9     | 128      | g/kg    |
| Ca        | 29,2     | 23       | g/kg    |
| K         | 11,7     | 15       | g/kg    |
| MAP       | 696      |          | g/kg    |

## Bewertung Verfahren:

- ✓ ePhos-Verfahren ist nach Ultrafiltration und Elektrodialyse geeignet, um ein verkehrsfähiges Düngeprodukt (N,P-Dünger 5-10 und >) zu erzeugen
- ✓ das verbleibende Wasser ist ohne Strippung noch stärker N-belastet
- ✓ NP-Verhältnisses im Input sowie die Vernetzung der Technologien beeinflussen das Ergebnis



# Erprobte Technologievernetzung



## Zusammenfassung

- Im Demonstrator 3 wurden sieben verschiedene Verfahren mit Realmedien betrieben.
- Die Entwicklung erfolgte innerhalb von drei Jahren in zwei Schritten:
  - von der Machbarkeitsprüfung mit Realmedien im Labormaßstab (TRL 4 – 5)
  - bis zur technischen Demonstrationsstufe (TRL 6 – 7).
- Die Technologien sind flexibel einsetzbar und können mit einer Bandbreite von Prozessschwankungen umgehen.
- Bei stickstoff- und feststoffreichen Inputstoffen kann ein kreislauffähiges Wasser und werthaltige Dünge-Produkte erzeugt werden.
- Einfluss und Einstellung z.B. des N-P-Verhältnisses im Substrat auf die Prozesse und die Düngeprodukte muss mehr beachtet werden.
- Nutzung von Synergien bei der Technologievernetzung erforderlich, um Werthaltigkeit der Produkte zu gewährleisten und zu verbessern.





**Dr. Ute Bauermeister**

Gesellschaft für  
Nachhaltige  
Stoffnutzung mbH



**GNS – Gesellschaft für Nachhaltige  
Stoffnutzung mbH**

Weinbergweg 23, D-06120 Halle  
u.bauermeister@gns-halle.de  
Tel.: +49 345 - 5583 754

[www.gns-halle.de](http://www.gns-halle.de)



**Falko Niebling**

**GICON<sup>®</sup>-Großmann Ingenieur Consult GmbH**

Am Großen Spreewehr 6, 03044 Cottbus

F.Niebling@gicon.de

Tel.: +49 355 494967 20

[www.gicon-consult.de](http://www.gicon-consult.de)

