



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

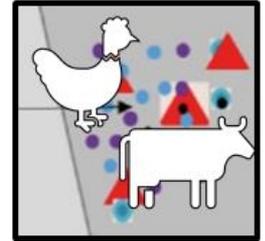
Dr. Ute Bauermeister (GNS), Falko Niebling (GICON)

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:

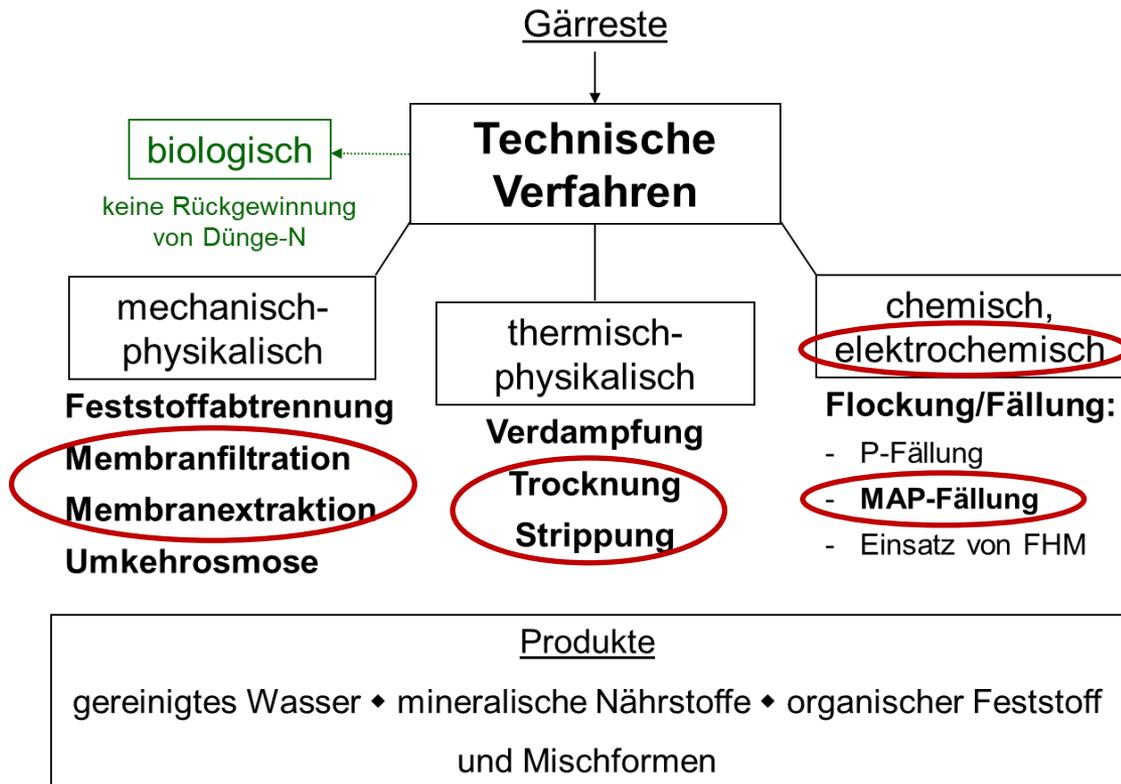
- Entfrachtung der Vergärung nährstoffreicher Substrate
 - Beseitigung von Gärhemmungen (N)
 - Beseitigung von unerwünschten Fällungsreaktionen (P)
- Bindung der entfernten Nährstoffe in werthaltigen Düngemitteln
 - damit effektivere Düngung und Vermeidung von Emissionen
- Schließung von landwirtschaftlichen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

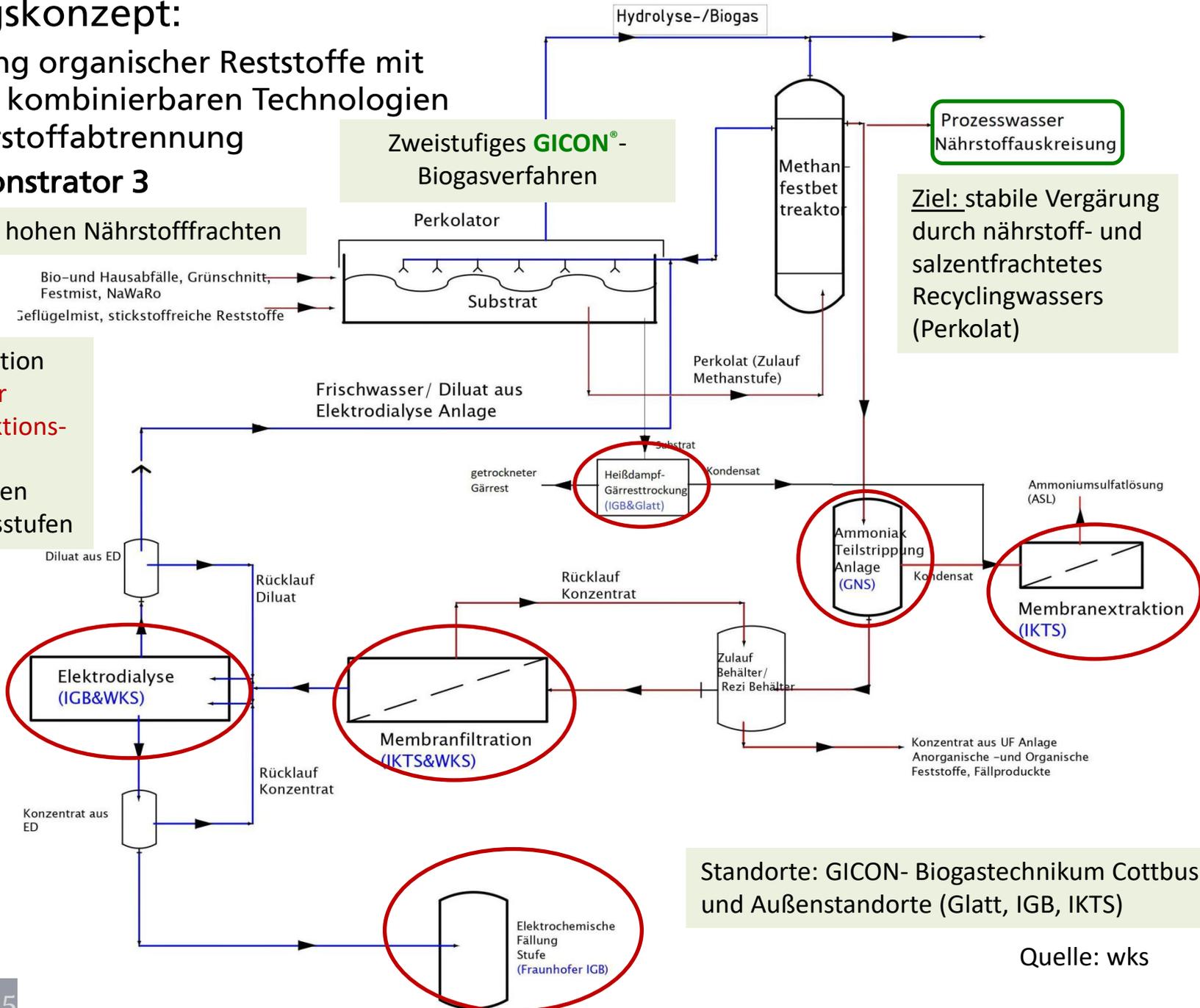
Vergärung organischer Reststoffe mit modular kombinierbaren Technologien zur Nährstoffabtrennung

⇒ Demonstrator 3

Substrate mit hohen Nährstofffrachten

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

Lösung: Integration 6 verschiedener Nährstoffextraktionsverfahren 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 _{ges}	31,8	g/kg TR
P _{ges}	18,6	g/kg TR
K _{ges}	27,4	g/kg TR
S _{ges}	6,88	g/kg TR
Mg _{ges}	9,00	g/kg TR
Ca _{ges}	69,6	g/kg TR
pH	8,16	
NH _{4gel}	13,1	g/kg TR

Schwefelbinderzugabe		
Fe _m	Wert	Einheit
	0,095	g/kg TR

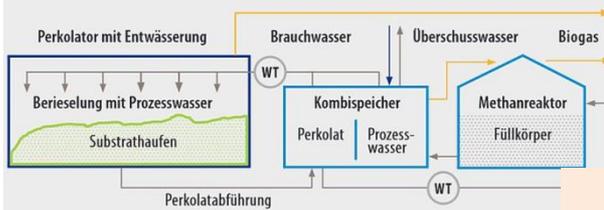
Spurenstoffzugabe		
Menge	Wert	Einheit
	3,65	ml/t TR

Rücklauf aus Extraktion		
Menge	Wert	Einheit
	n.b	m ³ /h

Frischwasserszugabe		
Menge	Wert	Einheit
	0,286	m ³ /d



SCHEMA DES GICON®-BIOGASVERFAHENS



hydraulisches Volumen ~ 50 m ³
Anzahl Perkolatoren: 2
AnMBBR mit verschiedenen Füllständen

Perkolat zur Entsalzung		
Param.	Wert	Einheit
Menge	0,021	m ³ /h
TR	4,60	%
oTR	21,0	%
NH _{4gel}	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 _{ges}	15,2	g/kg TR
P _{ges}	21,9	g/kg TR
K _{ges}	34,6	g/kg TR
S _{ges}	7,33	g/kg TR
Mg _{ges}	12,3	g/kg TR
Ca _{ges}	84,2	g/kg TR
pH	8,46	
NH _{4gel}	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 ₄ -N	3,49	g/kg
CO ₂ -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 ₄ -N	1,9	g/kg
CO ₂ -Gehalt	0,14	mol/kg
pH (25°C)	9,6	
LF (25°C)	38	mS/cm

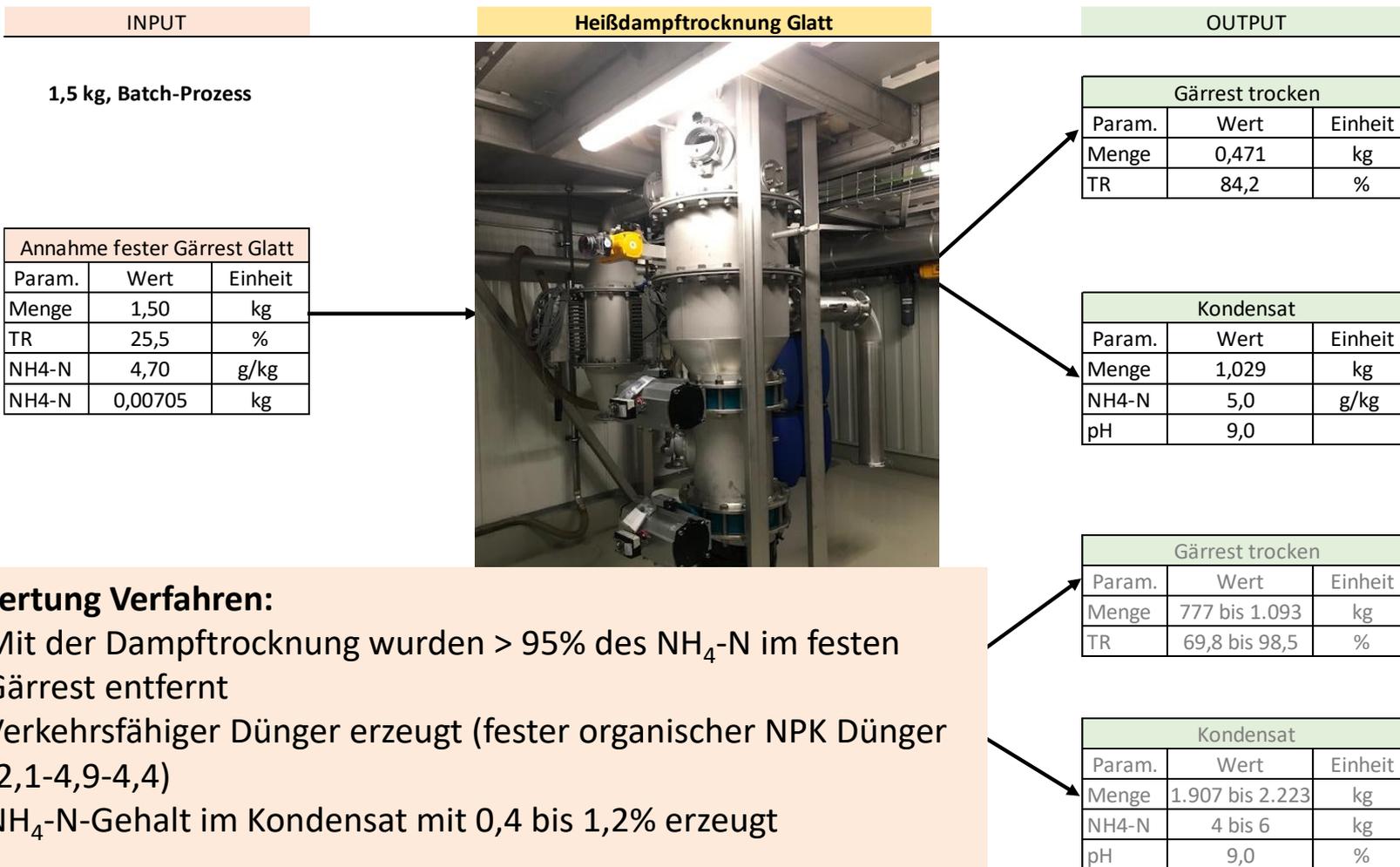
Kondensat 1		
Param.	MW	Einheit
Menge	0,26	l/h
NH ₄ -N	28,1	g/kg
pH (25°C)	8,4	
LF (25°C)	139	mS/cm

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

Bewertung Verfahren:

- ✓ Durch Teilstrippung wurde 50 % Reduktion von NH₄-N, CO₂ und Leitfähigkeit erreicht
- ✓ rückgeführtes Prozesswasser besitzt weiterhin Pufferkapazität für einen stabilen Biogasprozess
- ✓ Kondensat mit konstantem NH₄-N-Gehalt von 3% erzeugt (großtechnisch > 5% erreichbar)

Bilanz/Ergebnisse Dampftrocknung (Glatt)



Bewertung Verfahren:

- ✓ Mit der Dampftrocknung wurden > 95% des NH₄-N im festen Gärrest entfernt
- ✓ Verkehrsfähiger Dünger erzeugt (fester organischer NPK Dünger (2,1-4,9-4,4))
- ✓ NH₄-N-Gehalt im Kondensat mit 0,4 bis 1,2% erzeugt



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 ₄ -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 ₄ -N	1,12	0,71	10,07	g/L
TC	1,25	n.b.	6,52	g/L

Abbruchkriterium: Zeit; Weitere NH₄-N-Abkonzentration möglich

Ziel: < 0,1 g NH₄-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 ₄ -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 NH₄-N-Aufkonzentration möglich

ASL, d. h. ca. 5 % N, ca. 6 % S

Bewertung Verfahren:

- ✓ Membranextraktion erfolgreich zur Entfernung von NH₄-N aus Kondensat und Überführung mit Schwefelsäure zu ASL eingesetzt
- ✓ Verbesserung der NH₄-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 ₄ -N	1688	mg/L		NH ₄ -N	1608	mg/L
PO ₄ -P	306	mg/L		PO ₄ -P	131,5	mg/L
K ⁺	9976	mg/L		K ⁺	9800	mg/L
Ca ²⁺	317	mg/L		Ca ²⁺	136	mg/L
Na ⁺	2023	mg/L		Na ⁺	2020	mg/L
Fe ²⁺	82	mg/L		Fe ²⁺	50	mg/L
Cl ⁻	3387	mg/L	Cl ⁻	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 ₄ -N	1750	mg/L
PO ₄ -P	420	mg/L
K ⁺	10000	mg/L
Ca ²⁺	521	mg/L
Na ⁺	2250	mg/L
Fe ²⁺	128	mg/L
Cl ⁻	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 ₄ -N	1608	mg/kg
PO ₄ -P	131,5	mg/kg
K ⁺	9800	mg/kg
Ca ²⁺		
Na ⁺		
Fe ²⁺		
Cl ⁻		
Leitfähigkeit		
Dichte		

1 kg entspricht ca. 1 Liter



Diluat

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

Bewertung Verfahren:

- ✓ Elektrodialyse reduziert die Konzentrationen im Diluat (gereinigtes Wasser/Prozesswasser) um:
 - 75 - 80% NH₄-N
 - 30 - 40% für PO₄-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

Konzentrat (zur MAP Fällung)

Parameter	Wert	Einheit
mittl. Menge	7,8	kg/h
NH ₄ -N	4964	mg/kg
PO ₄ -P	145	mg/kg
K ⁺	22890	mg/kg
Na ⁺	5073	mg/kg
Cl ⁻	9435	mg/kg
Leitfähigkeit	90	mS/cm

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

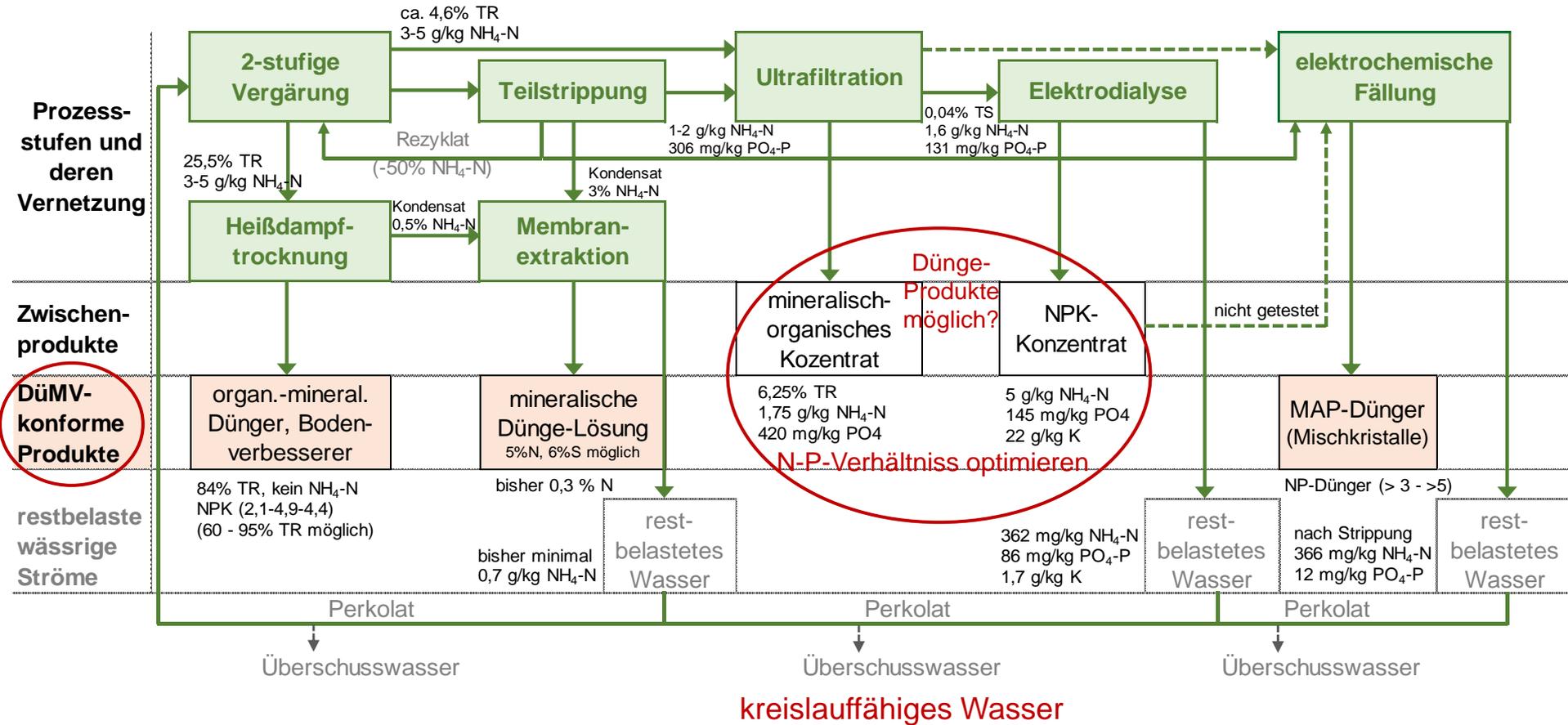
Feststoff			
Parameter	Wert (1)	Wert (2)	Einheit
Menge	1,23	0,25	g
PO4-P	105,5	147	g/kg
NH4-N	51,1	67	g/kg
Mg	68,9	128	g/kg
Ca	29,2	23	g/kg
K	11,7	15	g/kg
MAP	696		g/kg

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



Falko Niebling

GICON[®]-Großmann Ingenieur Consult GmbH

Am Großen Spreewehr 6, 03044 Cottbus

F.Niebling@gicon.de

Tel.: +49 355 494967 20

www.gicon-consult.de

