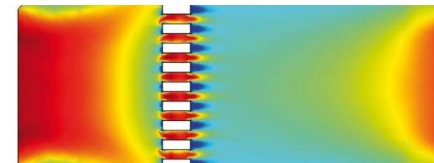
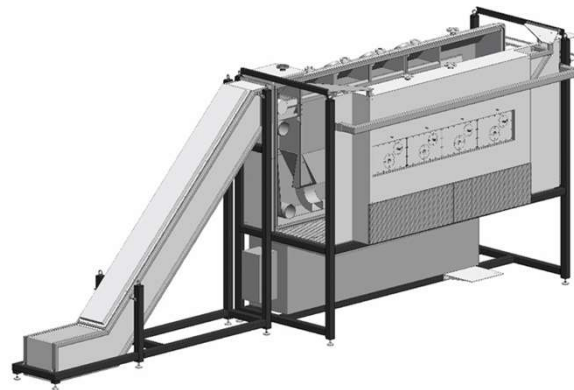


Stickstoffrückgewinnung aus Gärresten während der SHS – Trocknung mittels keramischer Membrankontaktoren

S. Dellien Bause (Fraunhofer IGB), S. Trepte (Fraunhofer IKTS)

TROCKNUNG MIT ÜBERHITZTEM WASSERDAMPF



- Die Trocknung ist ein sehr energieintensiver Prozess und wird häufig in verschiedenen Industriebereichen eingesetzt
 - Herkömmliche Trocknungsverfahren sind energieaufwendig und haben Nachteile (Emissionen, oxidative Reaktionen...)
 - Innovative und effiziente Technologien sind erforderlich, um die von der EU angestrebte Reduzierung der CO₂-Emissionen zu erreichen.
 - Das Fraunhofer IGB hat eine SHS - Trocknung entwickelt, die bei Atmosphärendruck arbeitet:
 - Effiziente Energienutzung
 - Effiziente Produktnutzung
- * SHS = überhitzter Wasserdampf



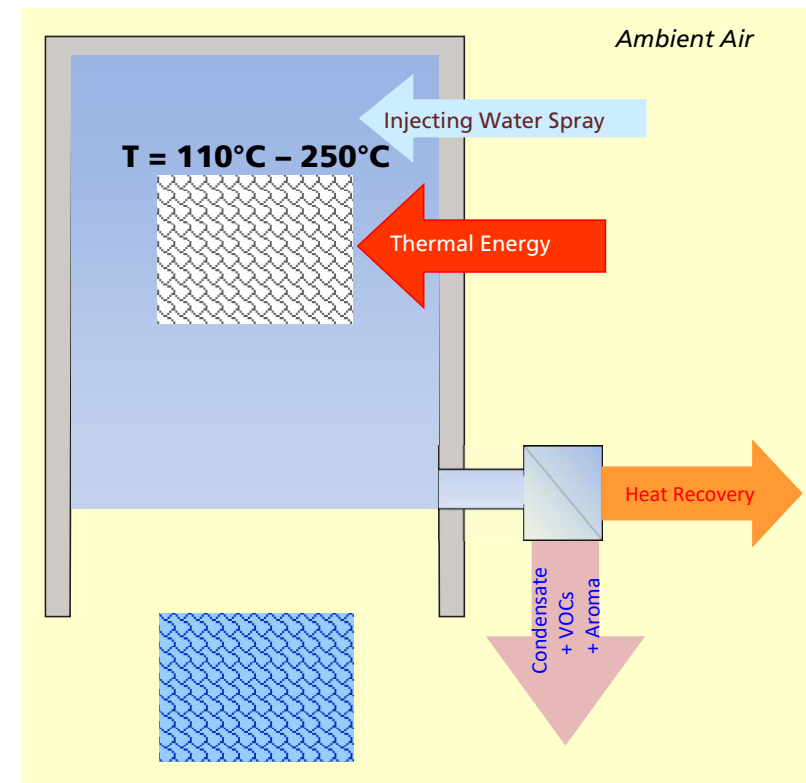
Arbeitsprinzip

Inbetriebnahme:

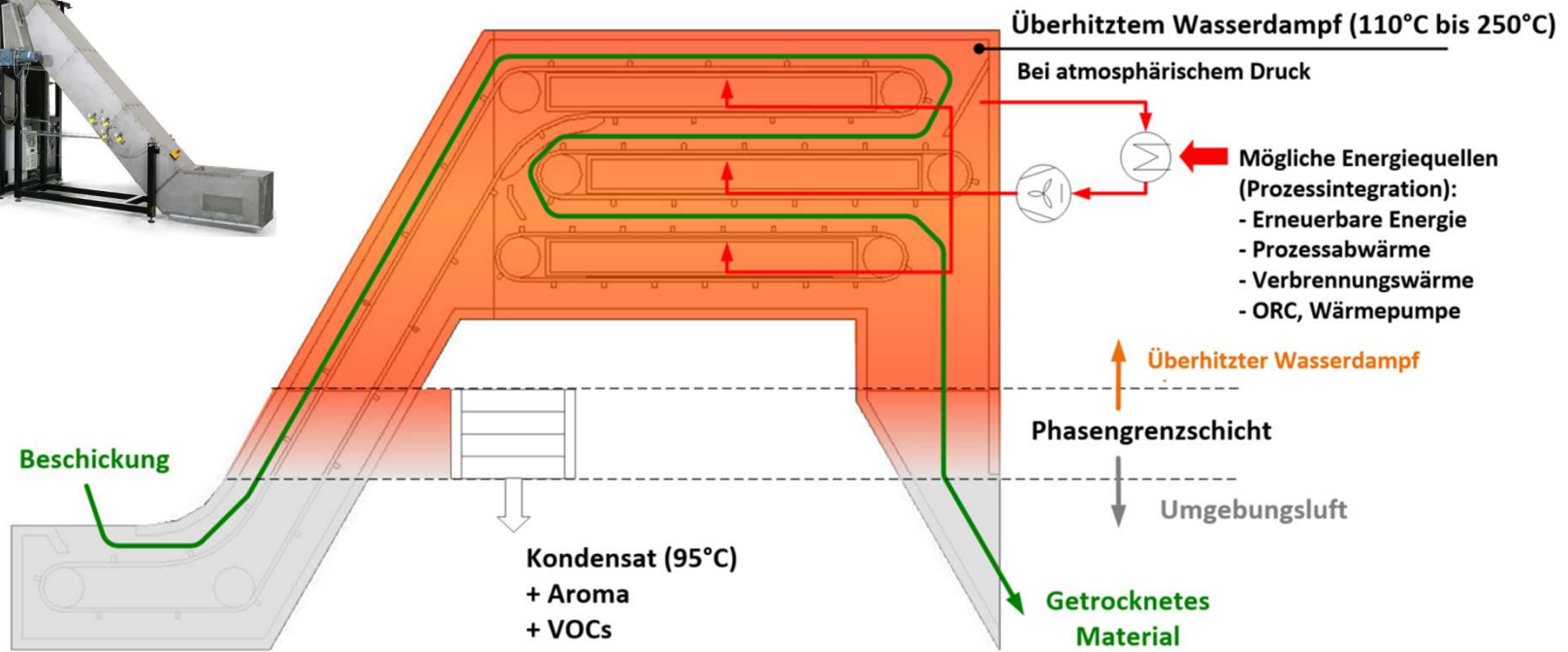
- Erwärmung der Trocknungskammer auf die gewünschte Betriebstemperatur
- Generation der Dampfatmosfera durch Eindüsung von Wasser

Kontinuierlicher Betrieb

- Beschickung des Materials in die Trocknungskammer,
- Erhöhung des Volumens von dem Wasserdampf durch die Verdampfung von der Feuchtegehalt des Produktes → Überschussiges Dampf,
- Regulierung der Phasengrenzschicht zwischen überhitztem Wasserdampf und Umgebungsluft durch die Kondensation → Rückgewinnung von Nährstoffen und Wärme,
- Materialaustrag
- und wieder Beschickung.



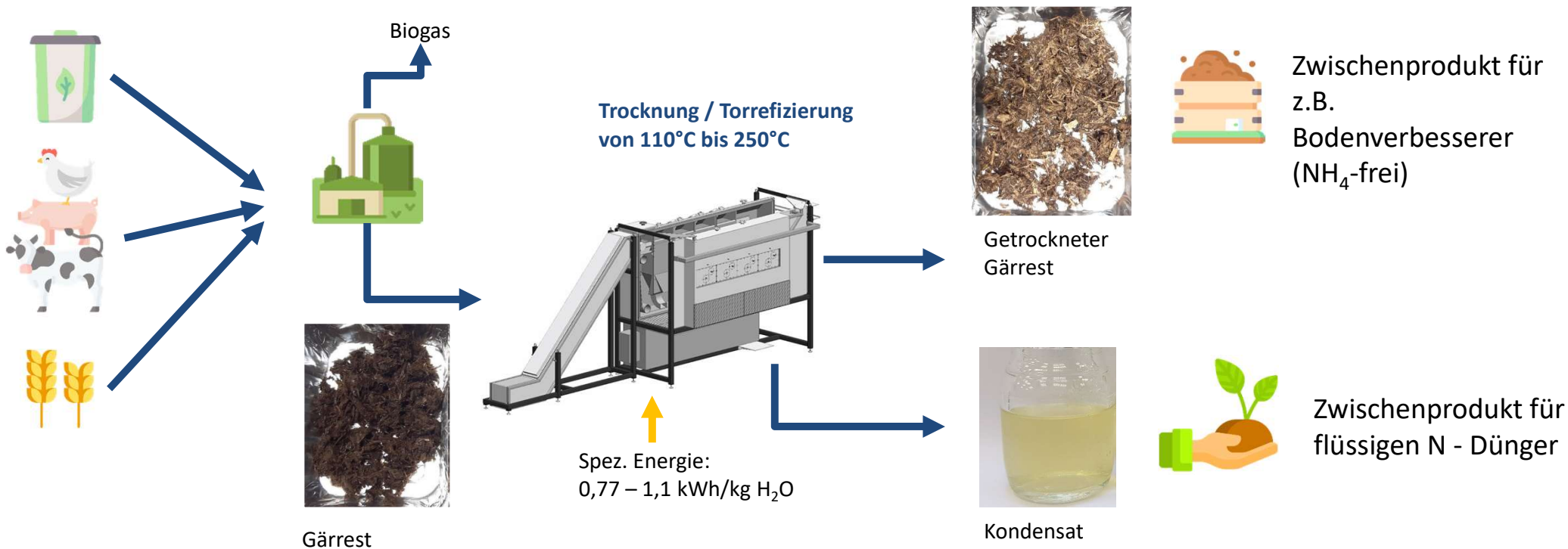
Arbeitsprinzip



*SHS = überhitztem Wasserdampf



Verwertung des Gärrestes mittels SHS Trocknung



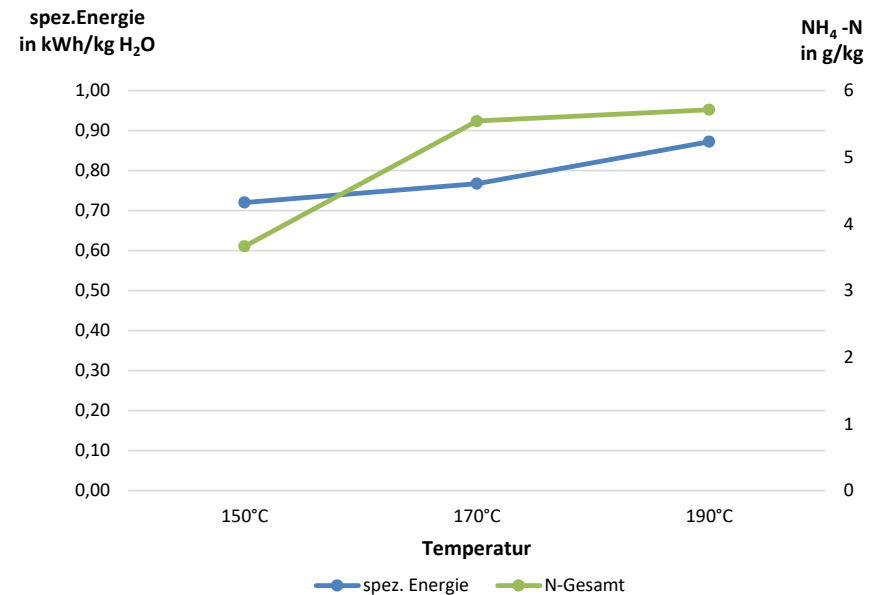
Ergebnisse aus dem abonocare® Projekt

Trocknungsversuche:

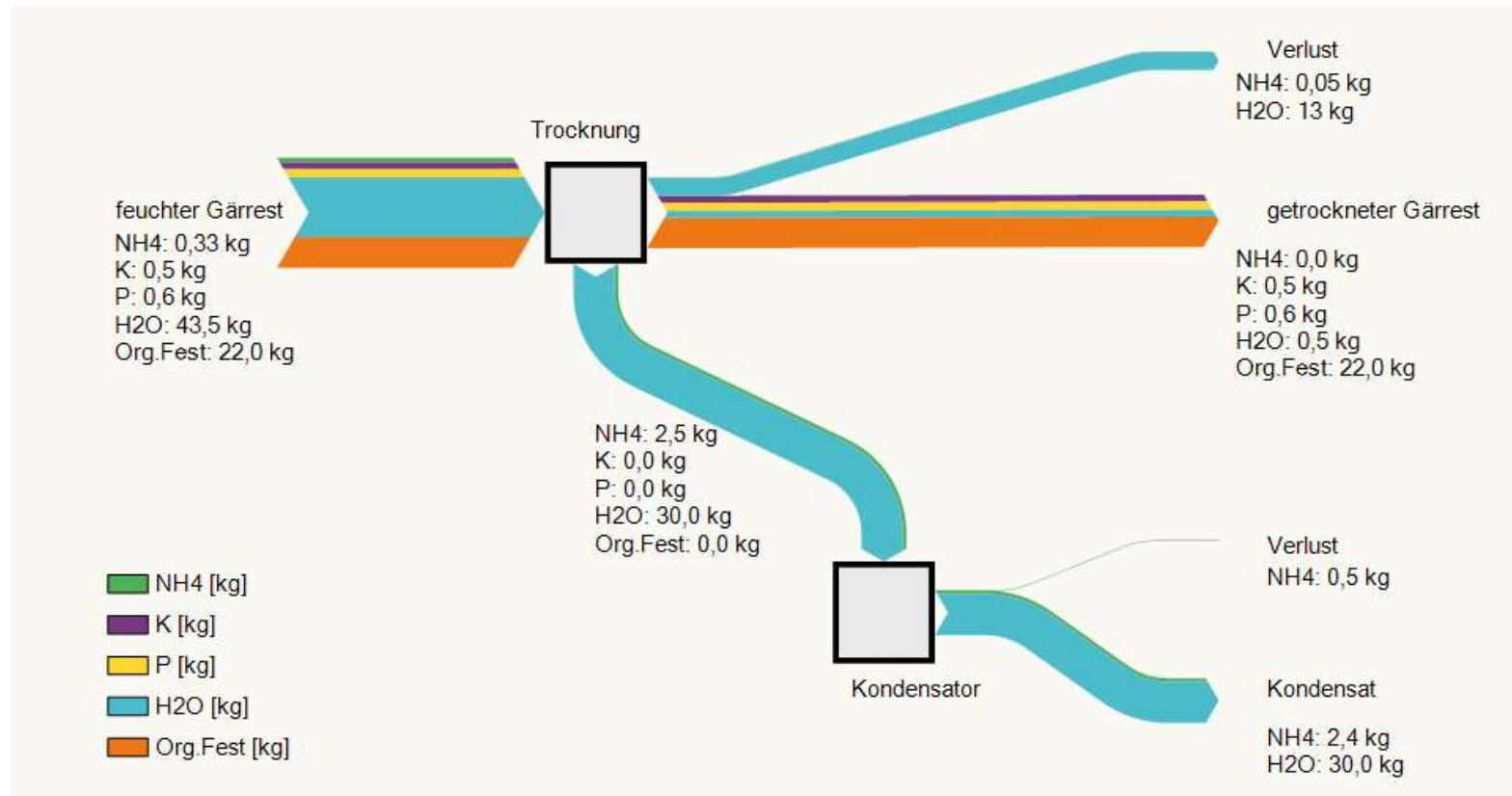
- Verschiedene Arten von Gärresten
- Pilotmaßstab (Prozesstechnische Optimierungspotentiale)
- Versuche bei 150 °C, 170 °C und 190 °C

Zusammenfassung Ergebnisse

- Bewertung von Trocknungstechnologie:
 - Spez. Energiebedarf bei 150 °C am niedrigsten
 - Restfeuchte < 5% bei allen Temperaturen
- Bewertung von Stickstoffrückgewinnung
 - NH₄-N Konzentration bei 190 °C am höchsten
- Beste Kombination bei 170 °C (2% Feuchtegehalt)



Massenbilanz der Trocknung bei 170°C



Zusammenfassung

Zweck der Trocknung von Gärrest

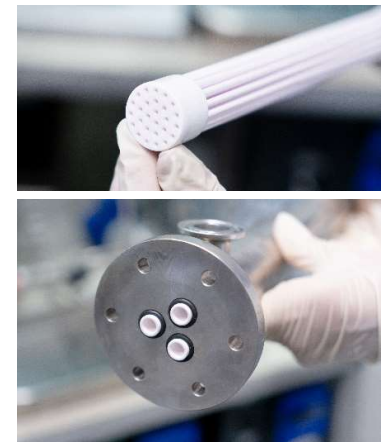
- Lagerung von Gärrest ohne Ammonium-Emissionen
- Rückgewinnung vom Stickstoffreichen Kondensat
- Hygienisierung von Gärrest

Vorteile der SHS - Trocknung

- Einfache Energierückgewinnung möglich durch Kondensation, Kopplung mit Wärmepumpe und Prozessintegration
- Anreicherung von Ammonium im Dampf: Rezirkulation des Dampfes im geschlossenen Kreislauf
- Einleitung des überschüssigen Dampf in Form von Kondensat in die Membranextraktion
- Verringerung der Explosionsgefahr
- Betrieb bei atmosphärischen Druck → Freie Wahl für die Auswahl eines Fördersystem
- Thermodynamische Eigenschaften des Dampfes im Vergleich zu Heißluft



KERAMISCHE MEMBRANKONTAKTOREN ZUR STICKSTOFFRÜCKGEWINNUNG



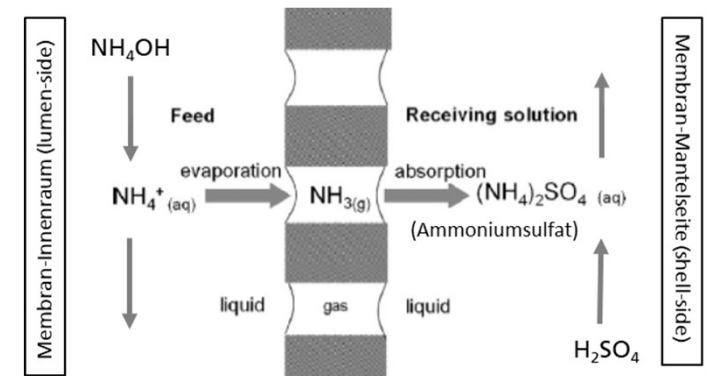
Stickstoffrückgewinnung mittels keramischer Membrankontaktoren

Funktionsprinzip der Membranextraktion

- nachschaltbares Verfahren zur N-Rückgewinnung aus flüssigen Stoffströmen
- hydrophobierte keramische Membranen in sog. „Membrankontaktoren“ ermöglichen die diffusive Extraktion von Ammonium-Stickstoff
- Überführung von $\text{NH}_4\text{-N}$ in ein Extraktionsmittel oder Spülgas

Mögliche Produkte:

- flüssige Düngemittel z. B. Ammoniumsulfatlösung (ASL)
- Ammonium oder Ammoniak als Wertstoff



Bsp. Funktionsprinzip Membranextraktion von Ammonium-Stickstoff zur Herstellung von ASL (Hasanoğlu et al., 2010, modifiziert)



Membrankontaktor mit 3 keramischen Einkanalrohren



Keramisches Kapillarbündel

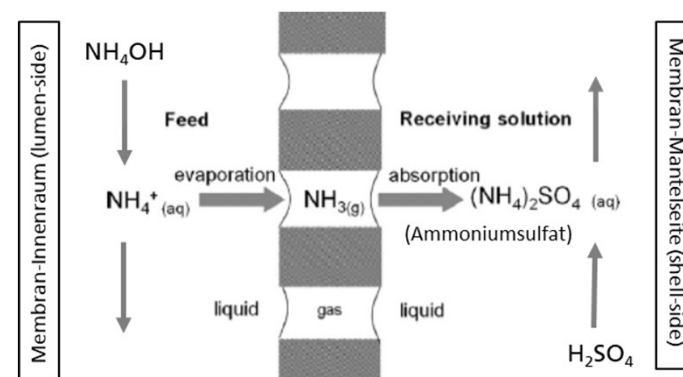
Stickstoffrückgewinnung mittels keramischer Membrankontaktoren



Feed

H₂SO₄

Technikumsanlage zur Membranextraktion (Q bis 700 L/h)



Bsp. Funktionsprinzip Membranextraktion von Ammonium-Stickstoff zur Herstellung von ASL (Hasanoğlu et al., 2010, modifiziert)



Membrankontaktor mit 3 keramischen Einkanalrohren

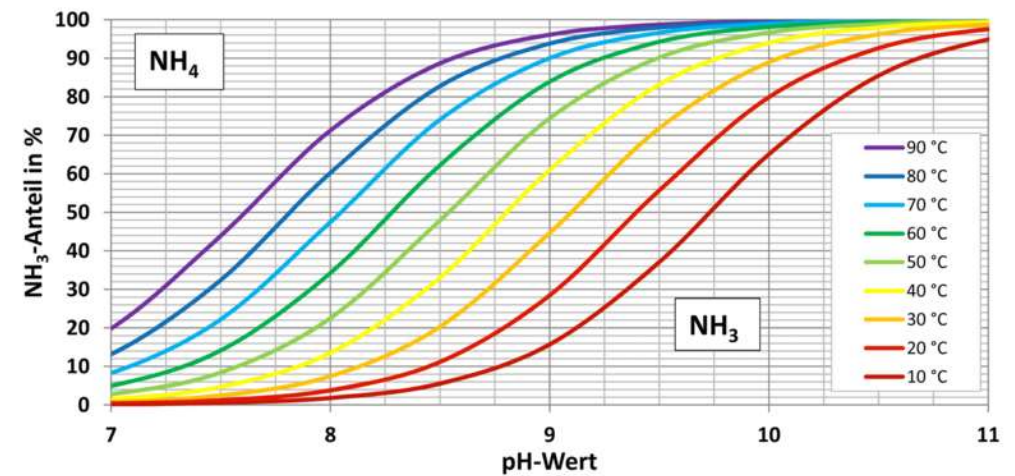


Keramisches Kapillarbündel



Einflussgrößen auf die Prozesseffektivität

- Membraneigenschaften
 - offene Porosität, Wanddicken, Hydrophobizität, ...
- Stoffstromeigenschaften
 - pH-Wert, NH_4 -Konzentration, enthaltene Organik, Partikel, ...
- Betriebsbedingungen
 - Erwärmung der Medien, Volumenstrom/Pumpleistung, ...

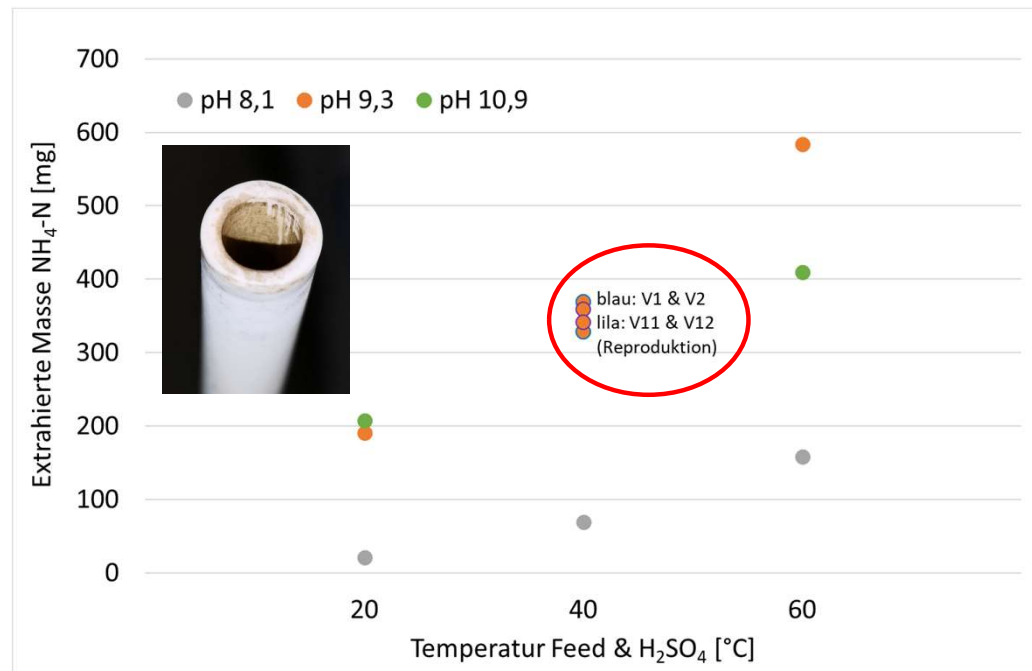


Ammonium-Ammoniak-Dissoziationsgleichgewicht (PONDUS Verfahrenstechnik GmbH, o. J.)



Untersuchungen zur $\text{NH}_4\text{-N}$ -Extraktion aus Kondensaten der SHS Trocknung

- max. Extraktionsleistung im untersuchten Parameterfeld (linkes Diagramm) mit EKR: **3,8 g $\text{NH}_4\text{-N}/\text{m}^2\text{h}$**
- max. Extraktionsleistung im Projekt mit Kapillaren: **49,5 g $\text{NH}_4\text{-N}/\text{m}^2\text{h}$**
- Membranen zeigten Tendenz zu guter Langzeitperformance
- Deckschichtbildung auf Membraninnenseite über die Zeit
 - Abreinigung mittels z. B. enzymatischer Reiniger möglich

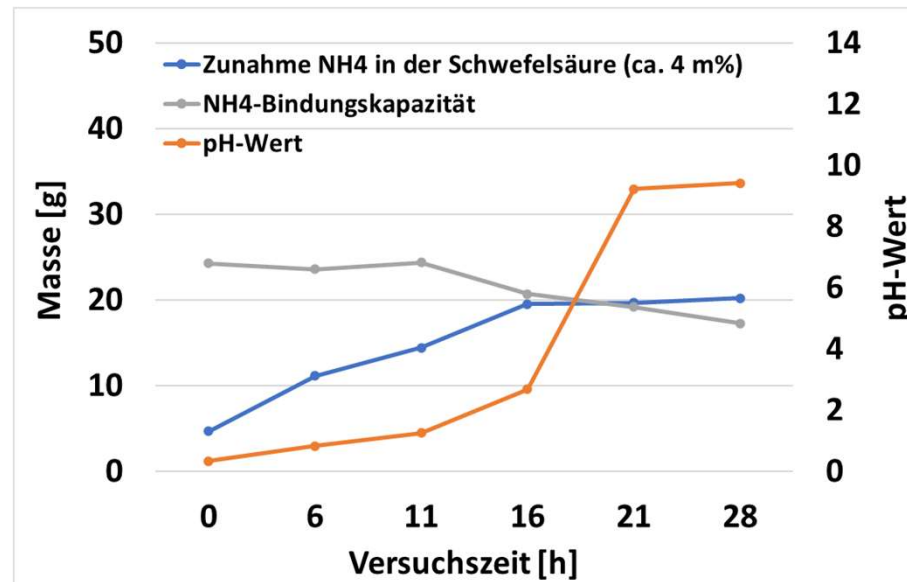


Exemplarische Versuchsergebnisse bei Einsatz von 3 Einkanalrohrmembranen (EKR)

$t = 5 \text{ h}$; $A_{M,i} = 310 \text{ cm}^2$; $c_{0,\text{Kondensat}} = 1.200 \dots 3.000 \text{ mg } \text{NH}_4\text{-N}/\text{L}$; $\text{pH}_{\text{Kondensat}} = 9,3$;
 $Q_{\text{Kondensat}} = 595 \text{ L/h}$; $Q_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 245 \text{ L/h}$

Erzeugung von düngemittel-fähigen Produkten

- Herstellung im ersten Schritt von knapp 6%iger ASL
- Zum aktuellen Zeitpunkt und Ergebnisstand wird davon ausgegangen, dass mit dem Verfahren die Herstellung von mindestens 25%iger ASL möglich ist, solange extrahierbarer ammoniakalischer Stickstoff in der Feed-Lösung vorliegt.



Extraktion von $\text{NH}_4\text{-N}$ in 4%ige Schwefelsäure zur Erzeugung von ASL
Sättigung nach 21 h Versuchszeit erreicht \rightarrow 6 m% ASL



Erzeugte Ammoniumsulfatlösung (ASL)



Stickstoffrückgewinnung mittels keramischer Membrankontaktoren

Vorteile der Stickstoffrückgewinnung mittels Membrankontaktoren

- Erzeugung von reinen, flüssigen Düngeprodukten in einem Verfahrensschritt
- Geringes Risiko der Verschleppung von Verunreinigungen in das Produkt durch räumliche Trennung der Stoffströme
- Kompakte, platzsparende, einfach skalierbare Bauweise von Membranverfahren
- Vermeidung der Entsorgung von stickstoffhaltigen Abwässern bzw. potenziellen Treibhausgasemissionen
- geringer thermischer Energiebedarf
- direkte Kopplung mit vorgeschalteten Verfahren möglich → Ausnutzung von Synergien (z. B. thermische Energie von Trocknungsverfahren)
- Anwendung für vielfältige flüssige und ggf. gas-/dampfförmige, ammoniumhaltige Reststoffströme möglich



Vielen Dank an das BMBF für die Förderung der abonocare® Projekte!

Wir danken zudem:

- allen Kollegen und Kolleginnen des Fraunhofer IGB und IKTS, die an der Vorbereitung und Bearbeitung des Projektes beteiligt waren,
- unseren Verbundprojektpartnern und der Verbundprojektleiterin Frau Dr. Bauermeister für die gute Zusammenarbeit,
- der Bündnisleitung für die Koordination und
- allen, die zur Organisation dieser und auch vergangener Veranstaltungen, Messeauftritte etc. beigetragen haben.

Bildquellen:

Hasanoğlu, A., Romero, J., Pérez, B., & Plaza, A. (2010). Ammonia removal from wastewater streams through membrane contactors: Experimental and theoretical analysis of operation parameters and configuration. *Chemical Engineering Journal*, 160(2), S. 530–537.
PONDUS Verfahrenstechnik GmbH. (o.J.). Stickstoffrückgewinnung aus Schlämmen und Abwässern. URL: <http://www.pondus-verfahren.de/pondus-n-stickstoffelimination-diagramm-ammoniak-nh3-ammonium-nh4.jpg>.





Kontakt

M.Sc. Stephanie Dellien

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB
Technologiescale-up und –transfer | Thermische Trennverfahren
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart, Germany
Handy +49 1735312523
stephanie.dellien.bause@igb.fraunhofer.de
www.igb.fraunhofer.de



M.Sc. Sarah Trepte

Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS
Systemtechnik Wasser und Abwasser
Winterbergstr. 28, 01277 Dresden, Germany
Telefon +49 351 2553-7327
sarah.trepte@ikts.fraunhofer.de
www.ikts.fraunhofer.de

