



G.E.O.S.

INGENIEUR-
GESELLSCHAFT MBH

SULFAMOS

Verbundprojekt SULFAMOS Wave II Statuskonferenz

07.02.2023

Eine Initiative des Bundesministeriums
für Bildung und Forschung

Wave
Wassertechnologien: Wiederverwendung



SULFAMOS

Projekthintergrund

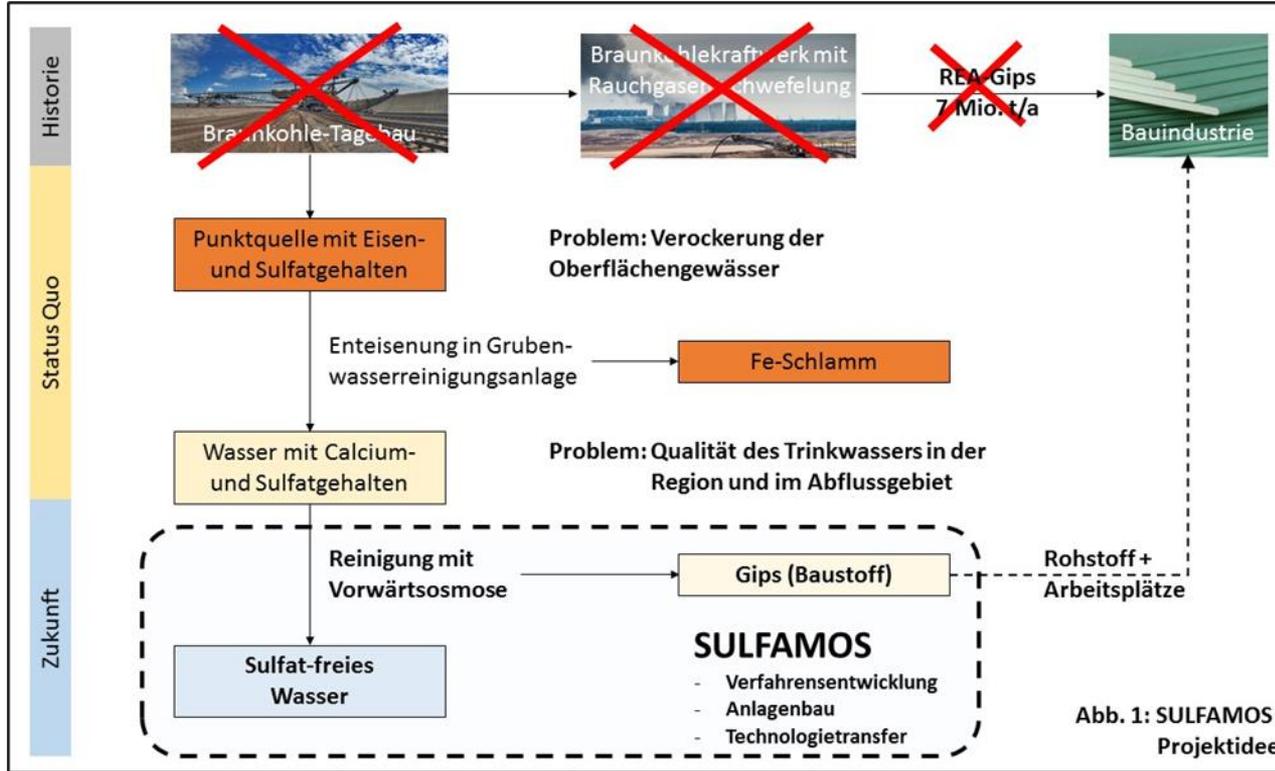
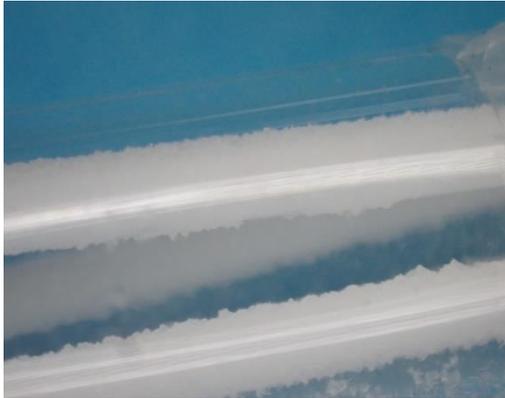


Abb. 1: SULFAMOS Projektidee

Problemstellung



Quelle: fluvicon

Vorwärtsosmotischer Entzug von Wasser aus Sulfatlösungen führt zu massiven Ausfällungen in und an VO-Membranen



Quelle: fluvicon

Ausfällungen führen zu Verblockung von VO-Modulen und Anlagenkomponenten

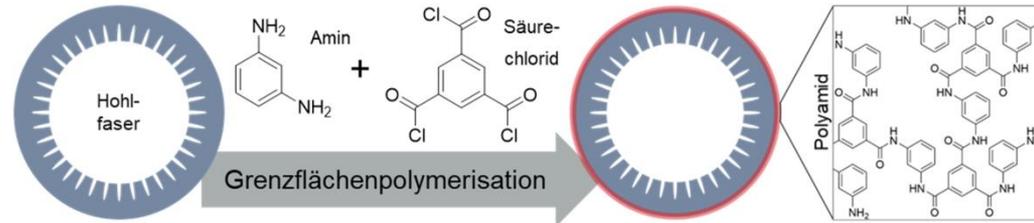


Quelle: fluvicon

Lösungsidee: Kombination der VO mit Fällungsmodul und Steuerung des Fällungsregimes

Erster Ansatz: Herstellung von TFC (thin film composite) -Hohlfasermembranen

- Grenzflächenpolymerisation auf PES(Polyethersulfon) - Hohlfasermembran

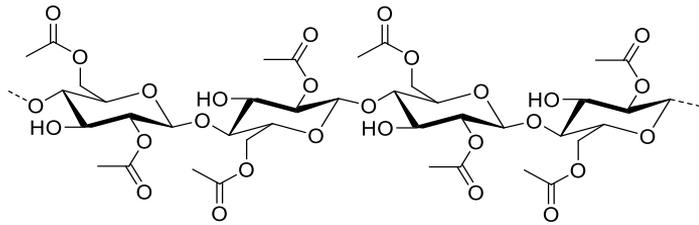


Herausforderung:

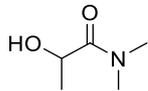
- Verfügbarkeit kommerzieller HF auf Rolle
- Mechanische Stabilität
- Schwankende Ergebnisse in der VO, Reproduzierbarkeit zu gering

→ Entwicklung von VO-Hohlfasermembranen aus Celluloseacetat (CA)

Nass-Spinnen der VO-Hohlfasermembranen aus Celluloseacetat (CA)



cellulose acetate (CA)



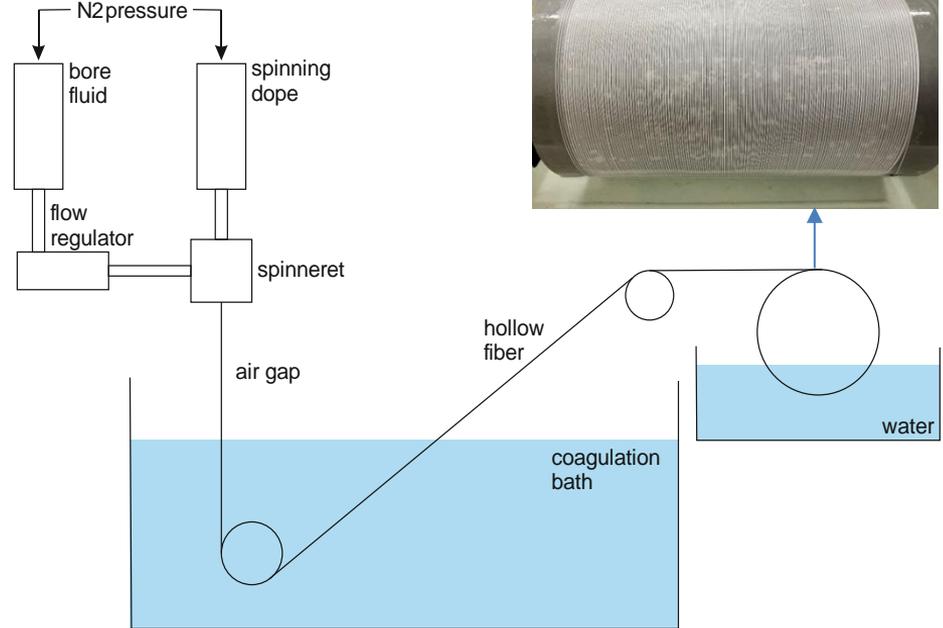
Agnique® AMD 3 L (AMD)*

*N,N-Dimethylacetamide zur Verfügung gestellt von BASF



Acetone (Ace)

Quelle: Fraunhofer IGB



Quelle: Fraunhofer IGB

Thermische Nachbehandlung der gesponnenen VO-Hohlfasermembranen

- Tempern der Fasern zur Herstellung einer dichten, selektiven Membranoberfläche

(a) in Wasser



Quelle: Fraunhofer IGB

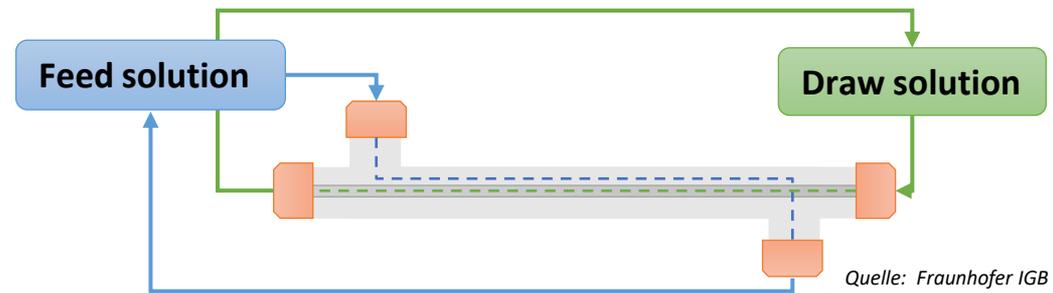
(b) in Klimakammer



Quelle: Fraunhofer IGB

Performance der CA-Hohlfasermembranen

- Untersuchung der Membranperformance als outside-in Filtration mit 3 Fasern pro Modul, Druck = 1,5 bar
- Cross-flow Konfiguration
- Durchfluss = 5 mL/min (je für Zuglösung und Feed)
- Kontinuierliche Messung
 - des Gewichts der Zuglösung
 - der elektrischen Leitfähigkeit des Feeds



Untersuchungen der Performance für unterschiedliche Zuglösungen

NaCl und Reinstwasser:

Modul	Zuglösung	Wasser flux VO [LMH]	Reverse salt flux [GMH]
1	1 M NaCl	4.50	4.13
2	1 M NaCl	2.87	1.00
3	1 M NaCl	2.71	1.36
4	1 M NaCl	3.49	1.96
5	1 M NaCl	4.23	2.07
6	1 M NaCl	3.45	3.05
7	1 M NaCl	3.61	2.34

Quelle: Fraunhofer IGB

Na₂SO₄ und Reinstwasser:

Modul	Zuglösung	Wasser flux VO [LMH]	Reverse salt flux [GMH]
1	0.5 M Na ₂ SO ₄	2.22	7.08
2	0.5 M Na ₂ SO ₄	1.82	0.33
3	0.5 M Na ₂ SO ₄	1.89	1.70

Quelle: Fraunhofer IGB

Einheiten:

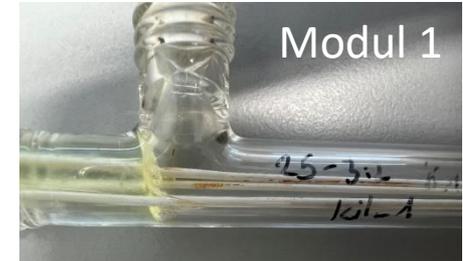
LMH = L m⁻²h⁻¹

GMH = g m⁻²h⁻¹

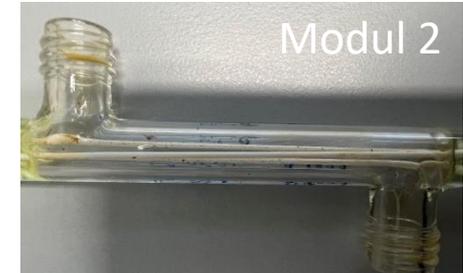
Untersuchungen mit Grubenwasser

Modul	Feed	Zuglösung	Wasser flux VO [LMH]	Reverse salt flux [GMH]
1	Reinstwasser	1 M NaCl	2.91	0.22
	Zulauf WBA	1 M NaCl	3.06	-
	Ablauf WBA	1 M NaCl	3.47	-
2	Reinstwasser	1 M NaCl	4.47	0.39
	Zulauf WBA	1 M NaCl	3.99	-
	Ablauf WBA	1 M NaCl	4.10	-
3	Reinstwasser	1 M NaCl	3.02	0.68
	Zulauf WBA	1 M NaCl	2.15	-
	Ablauf WBA	1 M NaCl	2.21	-

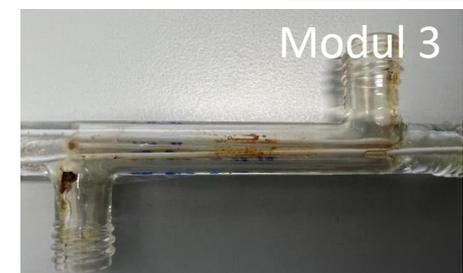
Quelle: Fraunhofer IGB



Quelle: Fraunhofer IGB

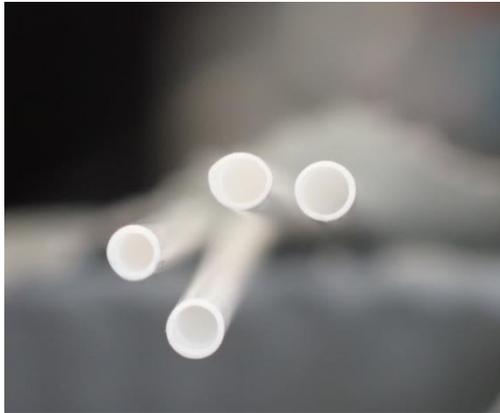


Quelle: Fraunhofer IGB



Quelle: Fraunhofer IGB

Vergleichender Membrantest im Mini-VO-Modul



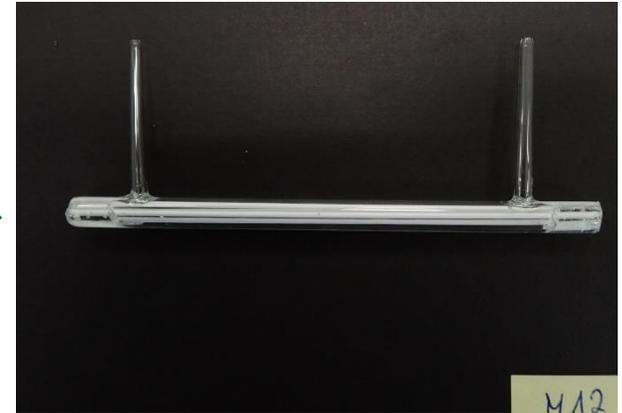
Quelle: fluvicon

2 Typen von
Hohlfasermembranen:
TFC, CA



Quelle: fluvicon

Konstruktion und Herstellung
von Miniatur-Testmodulen
(Faserlänge 8 cm)



Quelle: fluvicon

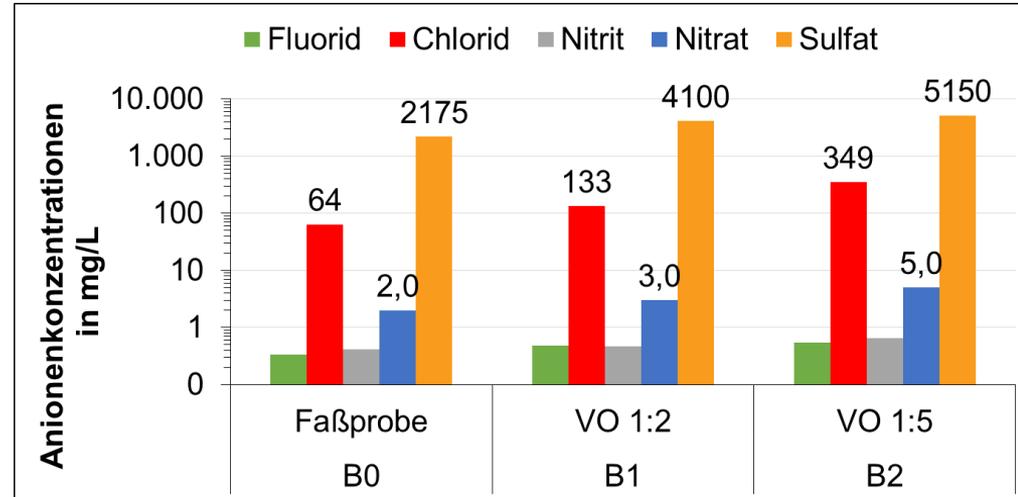
Vergleichende Tests der
Fasertypen

Erste Tests der Module

Bau eines 10 lagigen Test-Tauchmoduls von 15 cm x 15 cm und Untersuchungen zur Performance ohne Crossflow:

- mit unterschiedlichen Zuglösungen (NaCl sowie Na_2SO_4) und Reinstwasser
- mit Na_2SO_4 und Ablauf einer Grubenwasserreinigungsanlage (GWRA) (hohe Sulfatkonzentration, niedrige Eisenkonzentration)

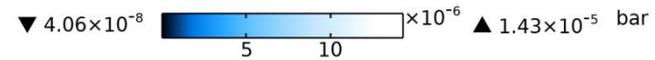
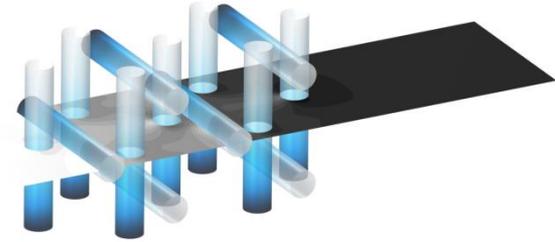
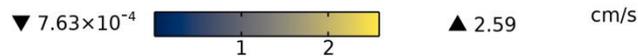
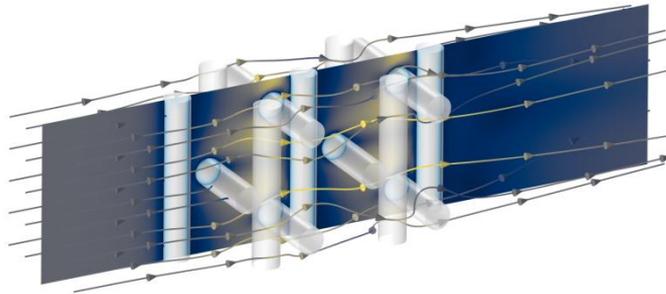
Analysenergebnisse der HTW Dresden bei Behandlung Ablauf GWRA:



Müller et al. (2022)

Numerische Simulation der Strömungsverhältnisse mit COMSOL zur Optimierung der Faseranordnung im Modul

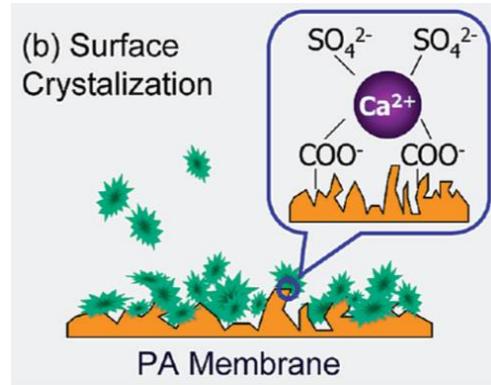
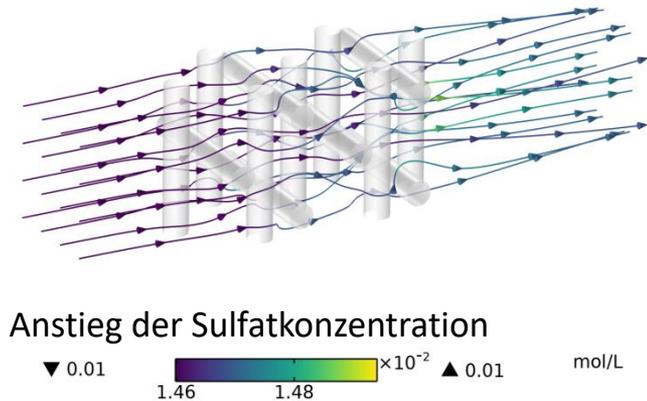
- Strömung in Rohwasser und Zuglösung mittels Navier-Stokes-Gleichung
- Konzentration von Sulfat und Gips mittels Konvektions-Diffusions-Gleichung



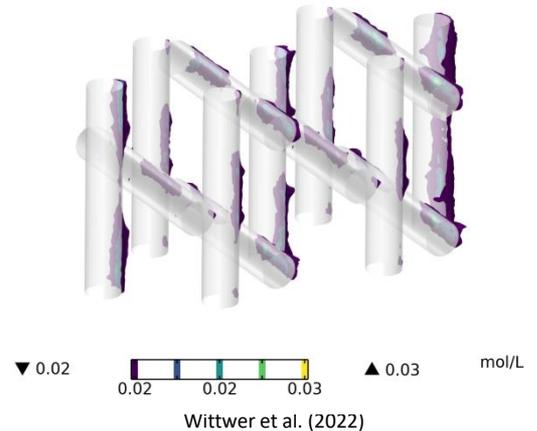
Wittwer et al. (2022)

Numerische Simulation der Strömungsverhältnisse mit COMSOL zur Optimierung der Faseranordnung im Modul

- Ermittlung potentieller Ablagerungsbereiche an den Hohlfasermembranen
- CA-Membranen neigen weniger zum Gips-Scaling als TFC-Membranen



Mi & Elimelech (2010)

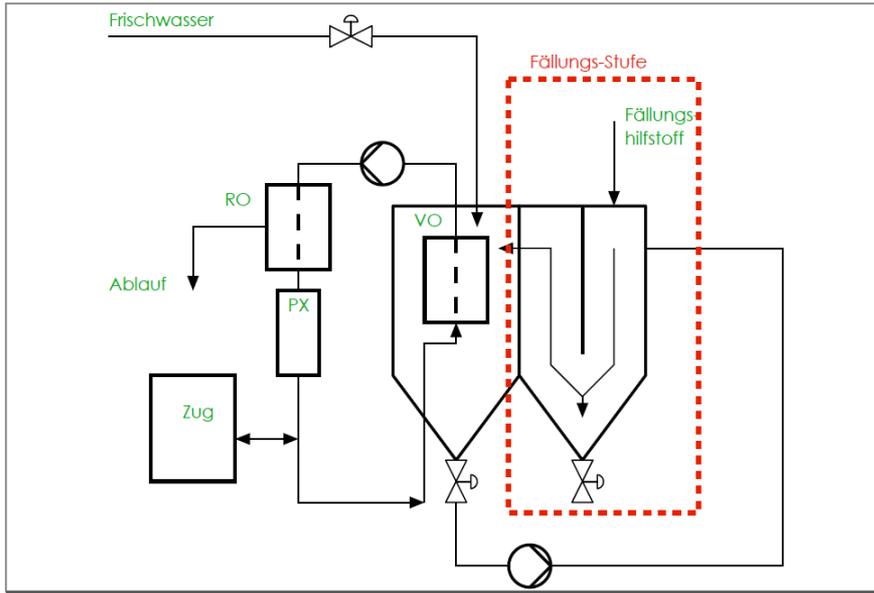


Mi, B.; Elimelech, M. (2010) Gypsum scaling and cleaning in forward osmosis: measurements and mechanisms. EST 44(6), 2022-2028, doi:10.1021/es903623r.

Membrananlage

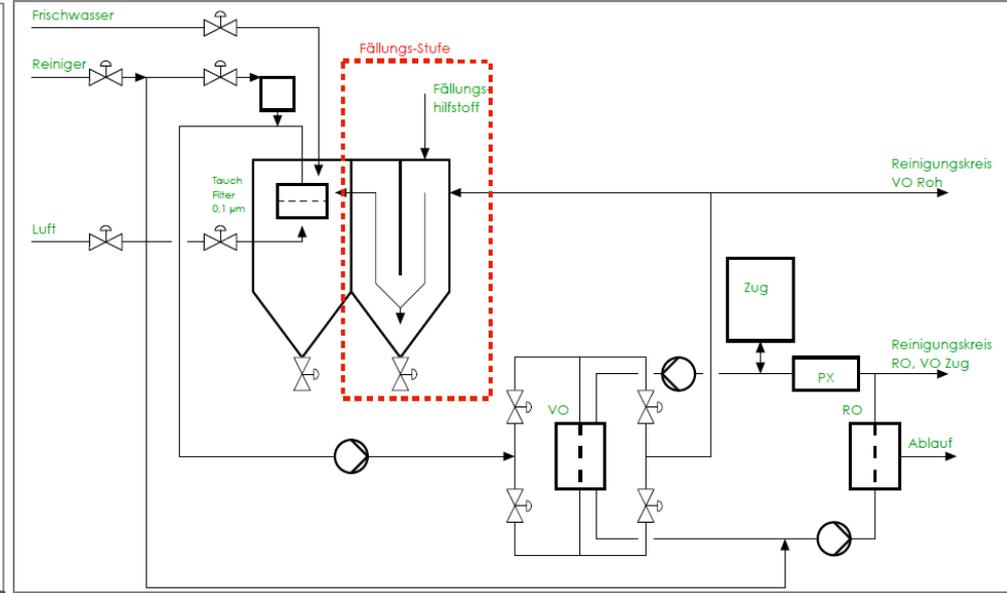
Prozessschema

Sulfamos-Anlage mit getauchtem VO-Modul



Quelle: mionTec

Sulfamos-Anlage mit externem VO-Modul



Quelle: mionTec

Design und Bau des Demonstrators

- Permeatfluss der eingesetzten Membranen bisher vergleichsweise gering:
 - CA getaucht: 1.3 LMH, CA Crossflow: 4 LMH
 - Aquaporin Inside® : 11 LMH
- Versuchsanlage als Hybridanlage ausgelegt:
 - Tauchmodul mit entwickelten HF-Membranen
 - kommerzielles Membranmodul (Aquaporin Inside®)
- Hybridvariante zur vergleichenden Untersuchung und Produktion eines hohen Konzentratvolumenstroms zur anschließenden Gipsfällung



Hybride Sulfamos- Versuchsanlage

Zum Schutz der kommerziellen Membranen vorgeschalteter Keramiktauchfilter (SiC < 1 µm):

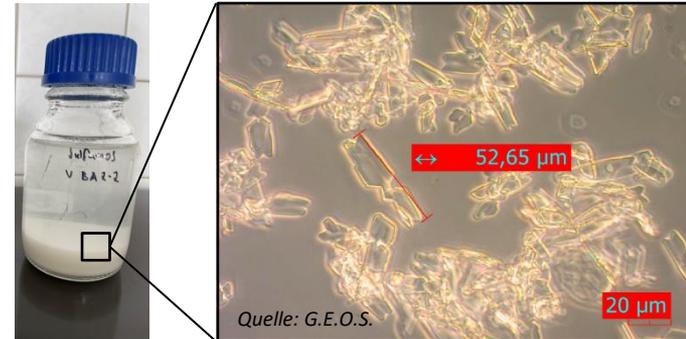


Fällungsversuche (Batch)

- Ziel: Ermittlung von Randbedingungen zur optimierten Fällung
- Untersuchung von
 - Modellwässern
 - Konzentraten aus der Behandlung von Grubenwasser mit dem entwickelten VO-Tauchmodul
- Fällung für Sulfatkonzentrationen von 2-4 g/L im Konzentrat demonstriert

Kontinuierliche Fällungsversuche

- Untersuchungen erfolgen nach Erhalt des Testmoduls



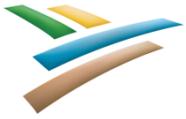
- Kontinuierliche Membranfertigung zur Bestückung der Pilotanlage
- Untersuchung von Membranreinigungsroutinen
- Untersuchungen zur kontinuierlichen Gipsfällung mit Test-Tauchmodul
- Vertiefende Fällungsversuche im Labor (Beeinflussung durch Kontaminanten)
- Auslegung des Gipsfällungsmoduls
- Wiederholung von Stabilitätstests mit Prototypen des entwickelten Tauchmoduls
- Vervollständigung der modularen Pilotanlage um Fällungsstufe
- Einsatz der Pilotanlage an 3 Demonstrationsstandorten
- Untersuchungen Gipsqualität + Aufbereitung (Abbindezeiten, Verunreinigungen, Festigkeit)

Förderkennzeichen 02WV1573

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

SULFAMOS





G.E.O.S.

INGENIEUR-
GESELLSCHAFT MBH

**Sie sehen Aufgaben.
Wir Lösungen.**

Ihr Ansprechpartner:

Dr.-Ing. Roland Mayer

Telefon: +49 (0)3731 369-140

E-Mail: r.mayer@geosfreiberg.de

www.geosfreiberg.de