

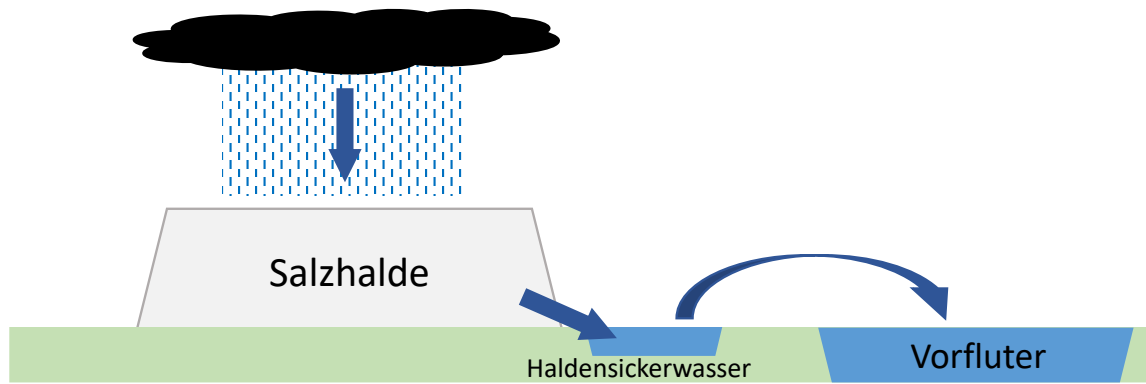
# HaSiMem

Wasserrückgewinnung aus Haldensickerwässern auf der Basis von Membrandestillationsprozessen und Kopplung mit Kristallisation

07.02.2023

Marcus Weyd – Fraunhofer IKTS

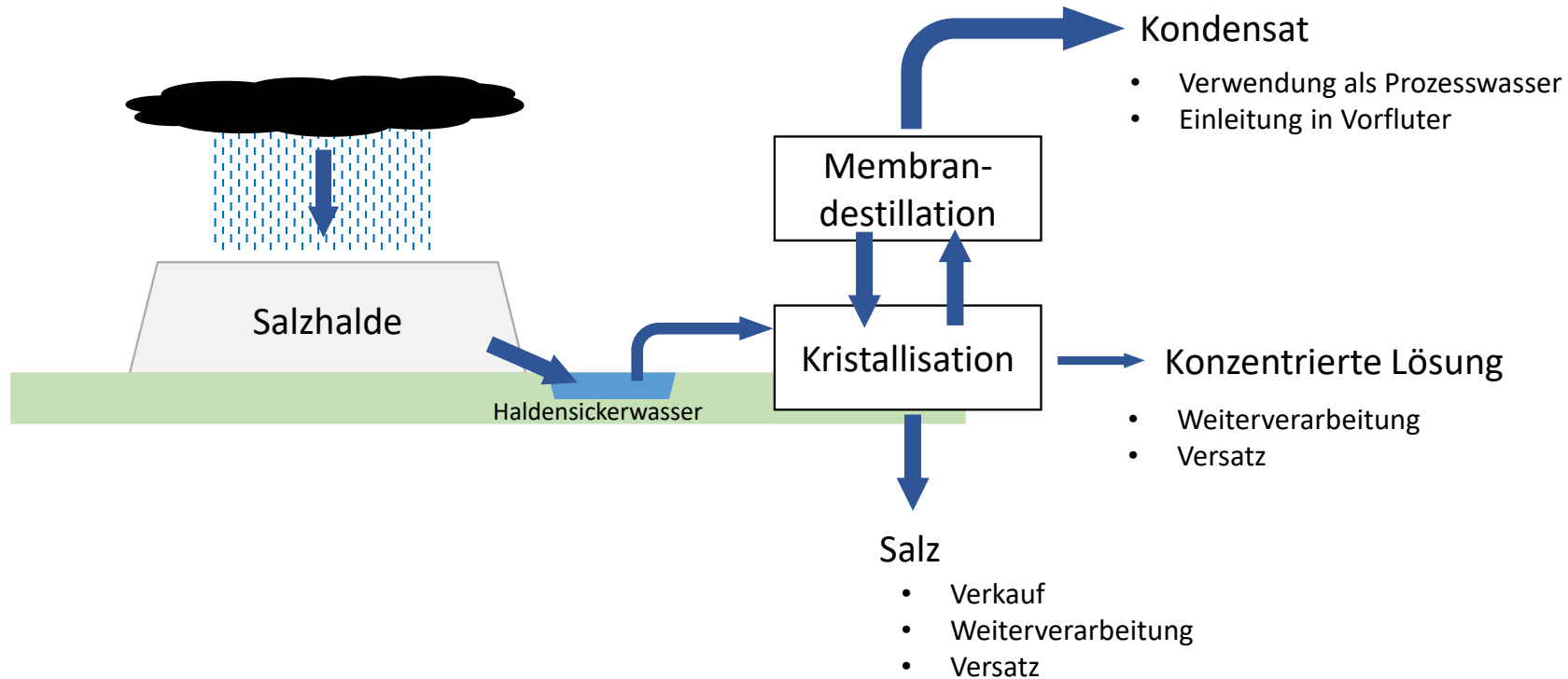
## Aufgabenstellung



### Haldensickerwasser:

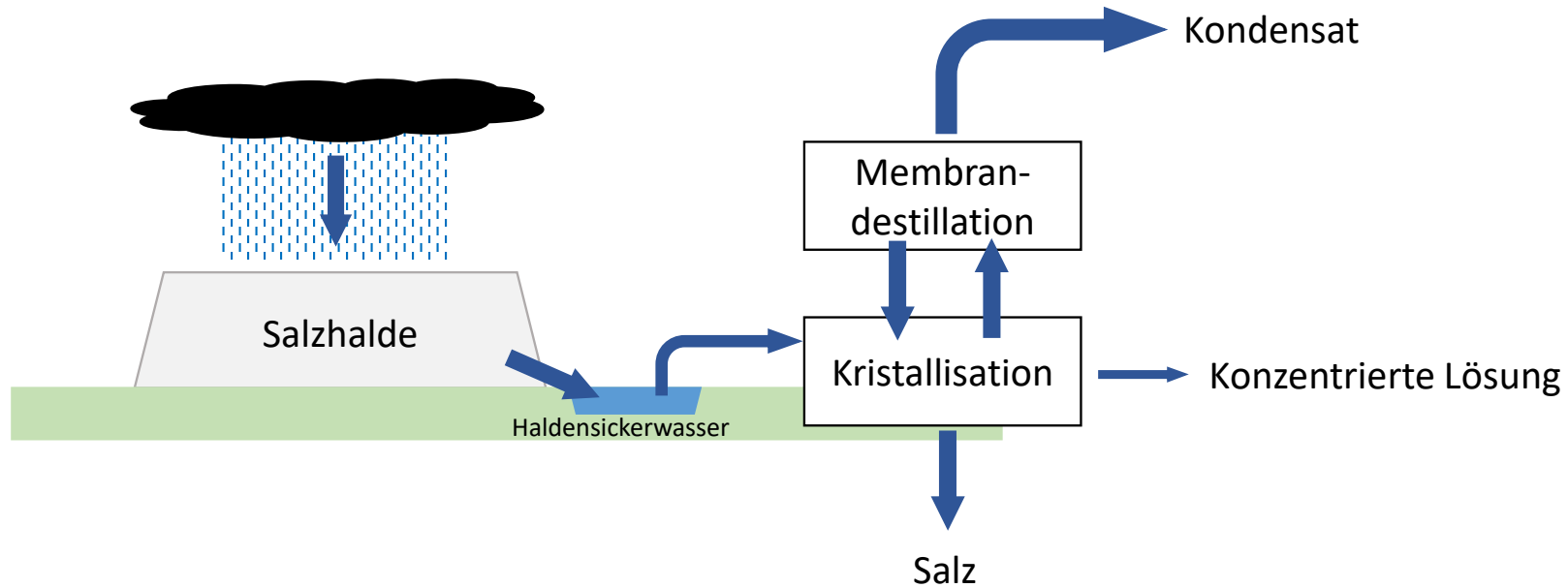
- Derzeit fallen insgesamt mehr als 2,5 Mio. m<sup>3</sup>/a an, die z.T. in Vorfluter eingeleitet werden.
- Einleitung bei Niedrigwasser / Trockenheit stark limitiert.
- Maßnahmen, wie z.B. Haldenabdeckungen, zur Reduktion der Menge sind nur langfristig wirksam oder, wie z.B. eine technische Eindampfung, mit hohen Investitionskosten verbunden.

## Lösungsansatz



→ Ist MD + Kristallisation eine wirtschaftliche Alternative zur Reduktion der einzuleitenden Salzfracht?

## Zielsetzung



**Ziel: Pilotanlage mit 30 l/h Destillatleistung und einer Energieeffizienz einer 2-stufigen Verdampfung.**

## Projektpartner

**Membrandestillation**  
Entwicklung & Moduldesign



**Gesamtprozess**  
Entwicklung & Prozessdesign

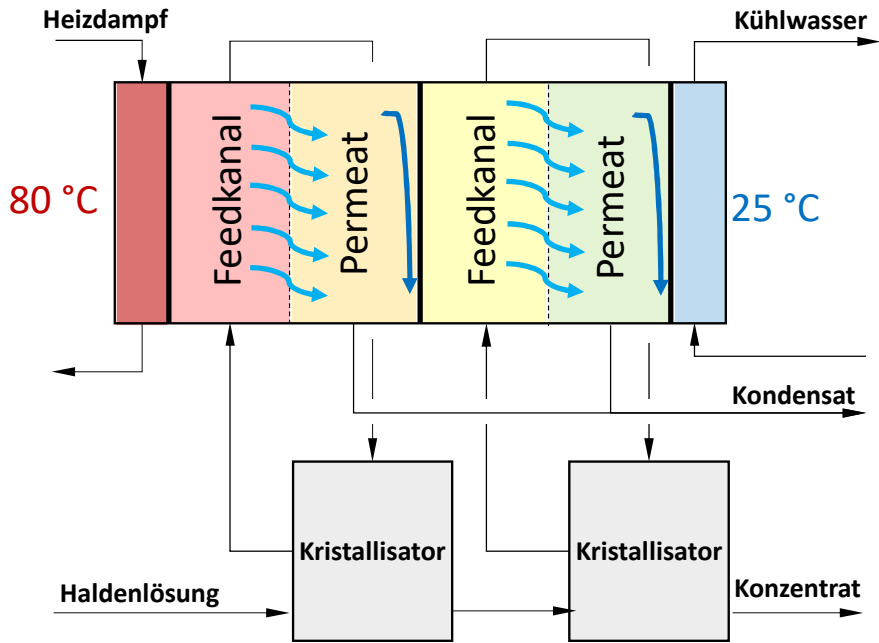


**Anwendung**  
Haldensickerwässer

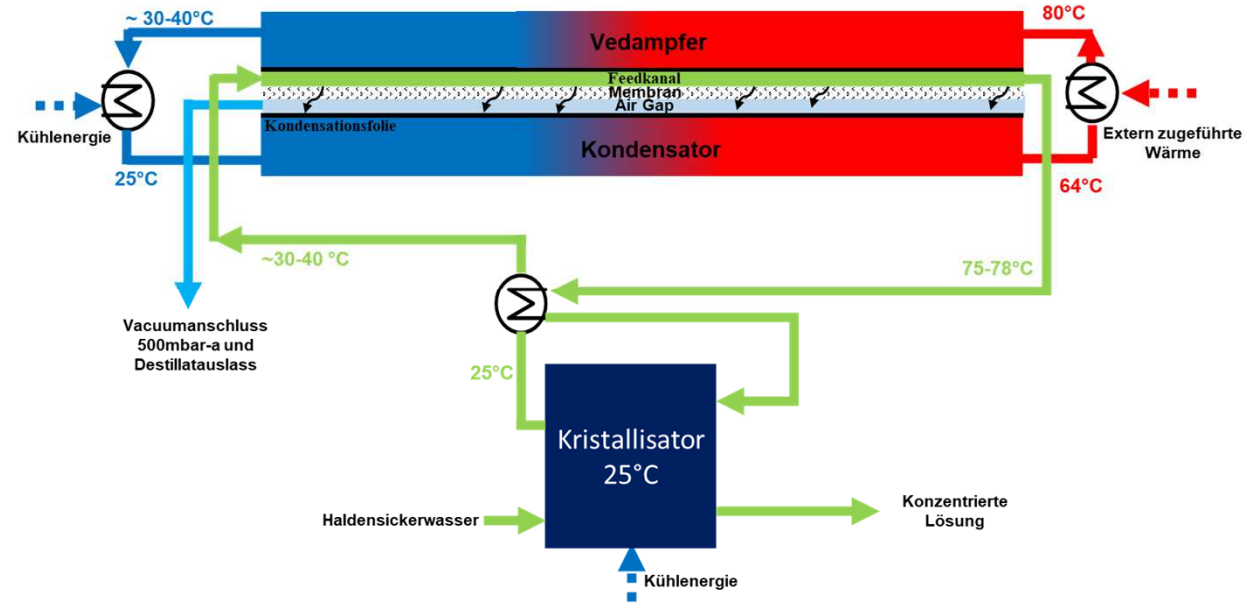


## Konzepte der Wärmerückgewinnung

### Stufen-Konzept

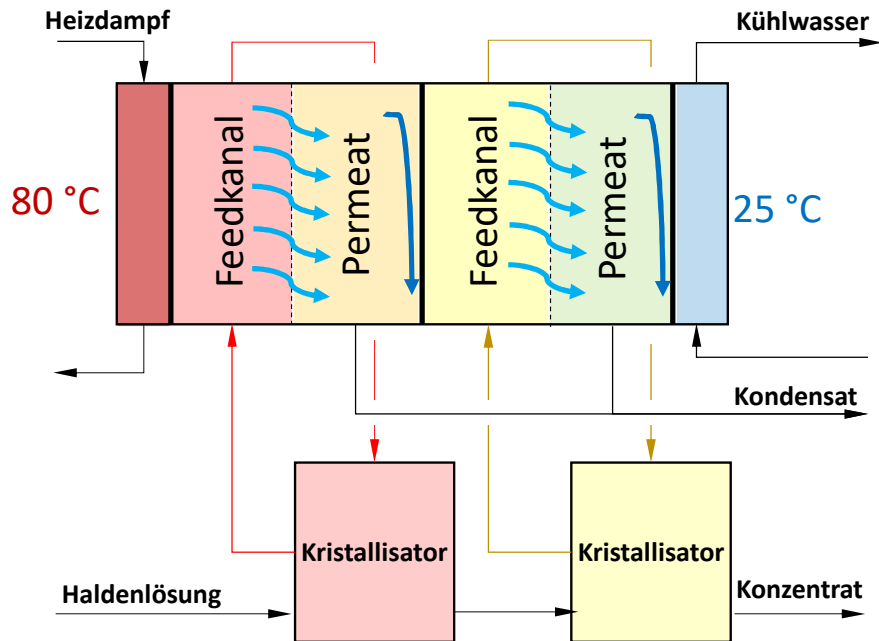


### Solar Spring Konzept



## Stufen-Konzept

### Stufen-Konzept (isotherm)

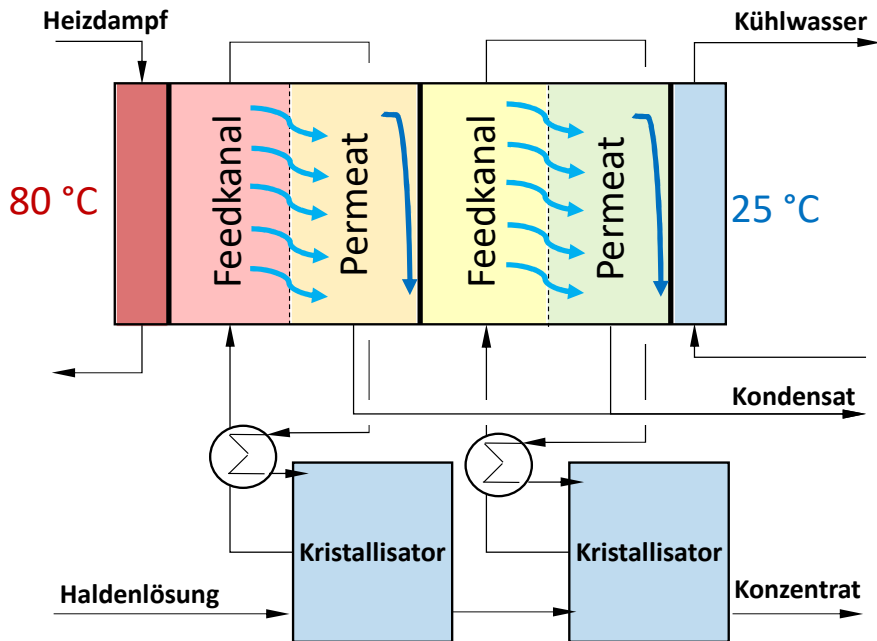


#### Idee:

- Erreichen einer leichten Übersättigung im MD-Modul
- Geringe Verweilzeit im MD-Modul (große Durchströmung), Übersättigung darf sich nicht an der Membran abbauen
- Vorlage von Kristallisationskeimen im Kristallisator  
→ Kein Erwärmen und Abkühlen der Zirkulationslösung  
→ Energetisch vorteilhaftes Konzept

## Stufen-Konzept

### Stufen-Konzept (mit Kühlungskristallisation)



Idee:

- Kristallisation durch Kühlungskristallisation  
→ Keine Übersättigung im Membranmodul nötig

Voraussetzung:

- Energieeffizienz hängt stark von dem benötigten Zirkulationsstrom ab
- Je näher an die Sättigung aufkonzentriert werden kann, desto kleiner der Zirkulationsstrom und desto besser die Energieeffizienz

**Frage: Wie nahe können wir an die Sättigung?**



## Stufen-Konzept

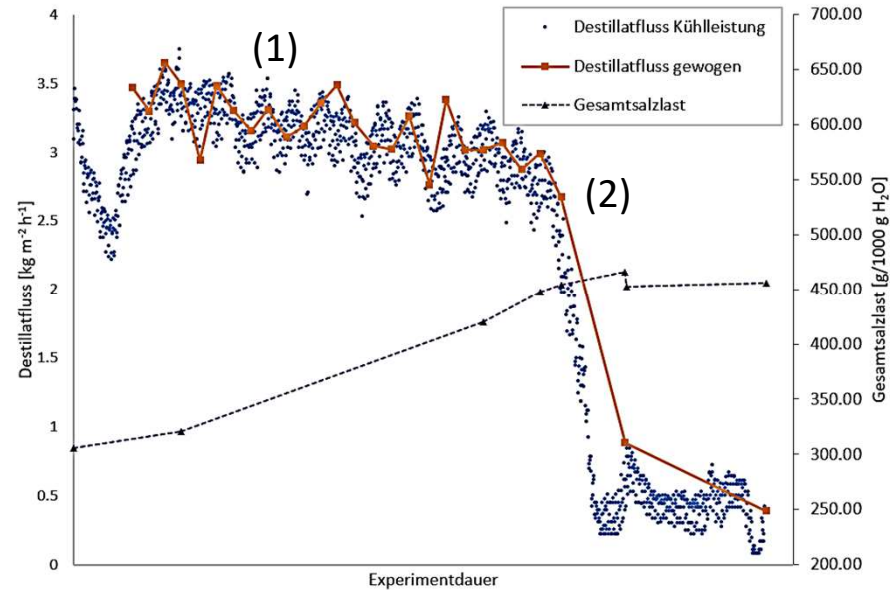
### Aufbau

Kommerzielles einstufiges MD-Plattenmodul (ca. 2 m<sup>2</sup> Membranfläche)



## Stufen-Konzept

- (1) Guter Permeatfluss, solange die Sättigung nicht erreicht ist
- (2) Noch deutlich bevor die Sättigung in der Bulkphase erreicht ist, kristallisiert aufgrund von Polarisierungseffekten in der Grenzschicht Salz auf der Membran und der Fluss bricht ein



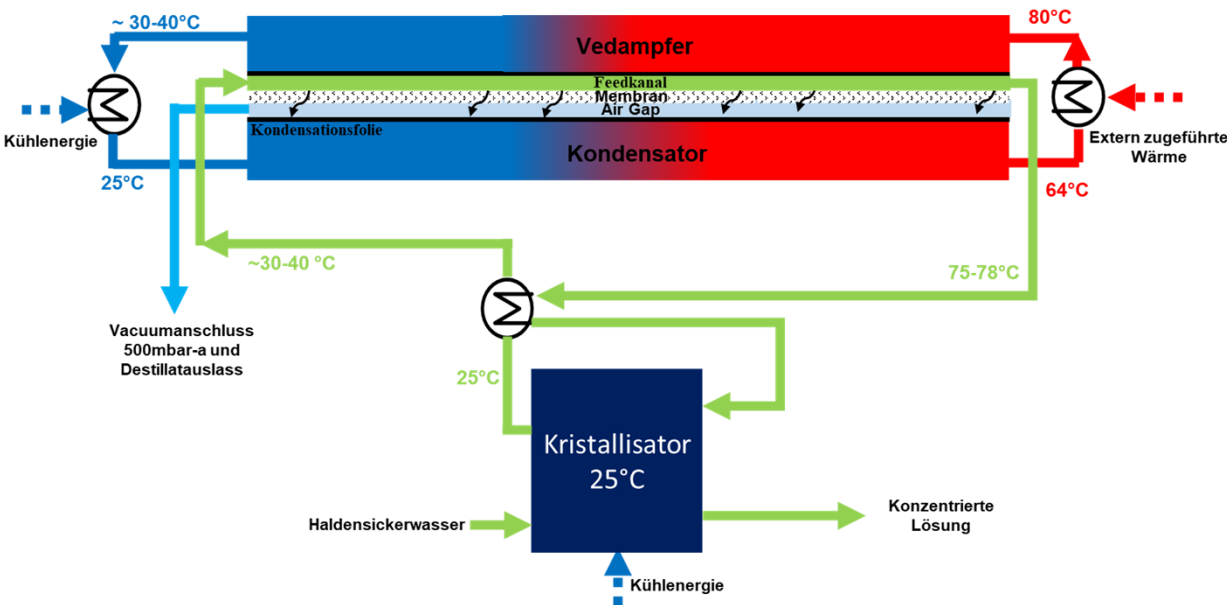
- Laminare Strömungsverhältnisse → hohe Konzentrationspolarisation → Sättigungsgrenze im Bulk nicht erreicht
- Membran regeneriert sich nicht nach Wasserzugabe
- Mit dem verwendeten kommerziellen Plattenmodul ist ein *isothermer* Betrieb nicht möglich.
- Hoher Zirkulationsstrom bei der Kombination mit *Kühlungskristallisation* erforderlich, wodurch diese energetisch ineffizient wird

## SolarSpring-Konzept

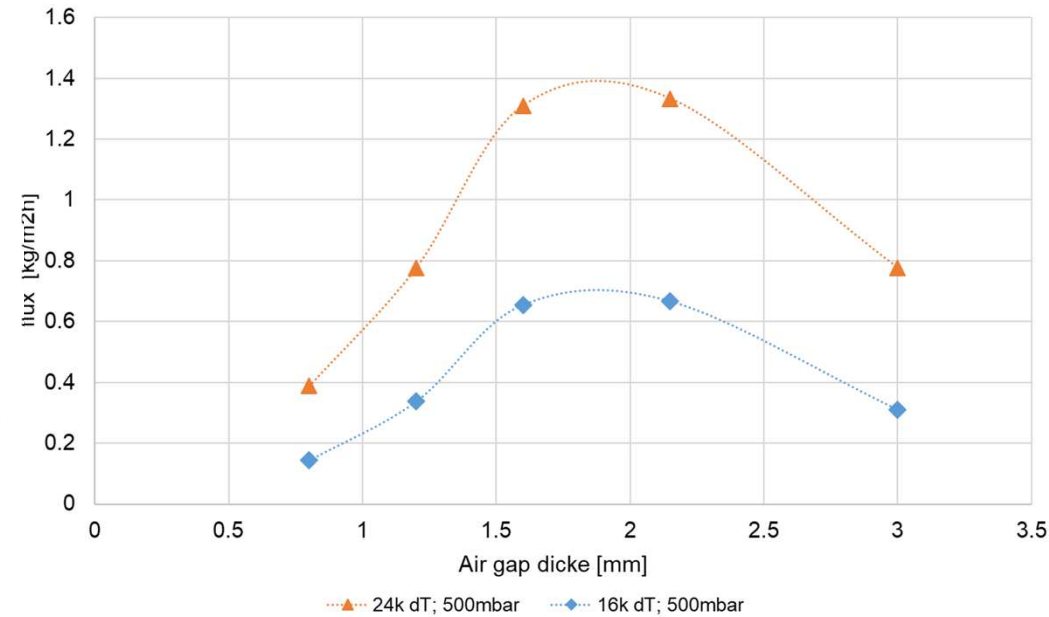
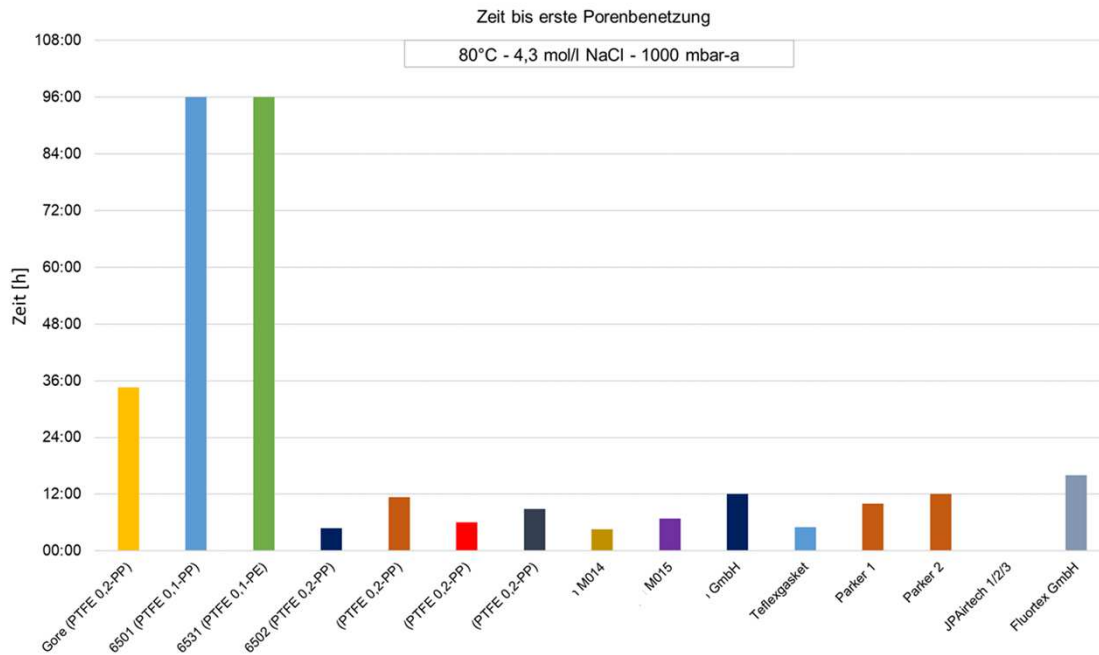
### Idee:

Es wurde ein neues Konzept (FeedGap- Air Gap MD) zur Behandlung des Haldensickerwassers entwickelt. Die Herausforderung besteht darin

- die notwendige Wasserrückgewinnung in Verbindung mit einer Wärmerückgewinnung zu erreichen
- Die gesamte Aufkonzentrierung in einem Durchgang mit FEED-Temperaturerhöhung entlang der Kanallänge zu erreichen, um unter dem Sättigungspunkt zu bleiben
- Vakuumstabilität



## SolarSpring – grundlegende Versuche



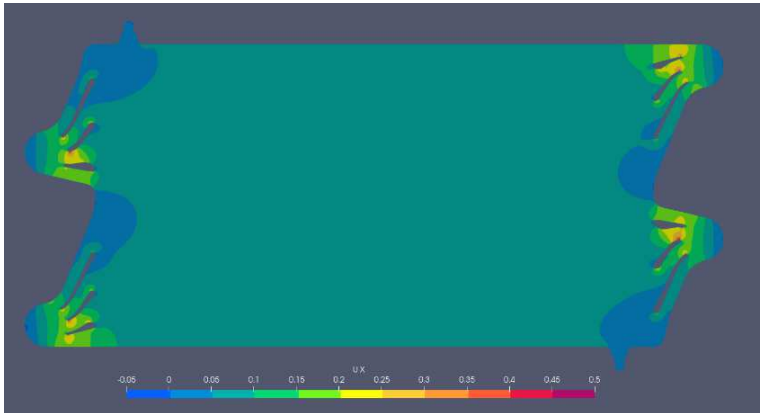
Ein Membranbelastungstest wurde mit Vakuum modifiziert, um neue und aktuelle Membranen zu testen, die für diese Anwendung geeignet sind.

Die Membran mit den kleineren Poren erwies sich als besser geeignet

Grundlegende Parameter wie die Air Gap Breite wurden variiert, um den Sweetspot für diese Anwendung zu finden

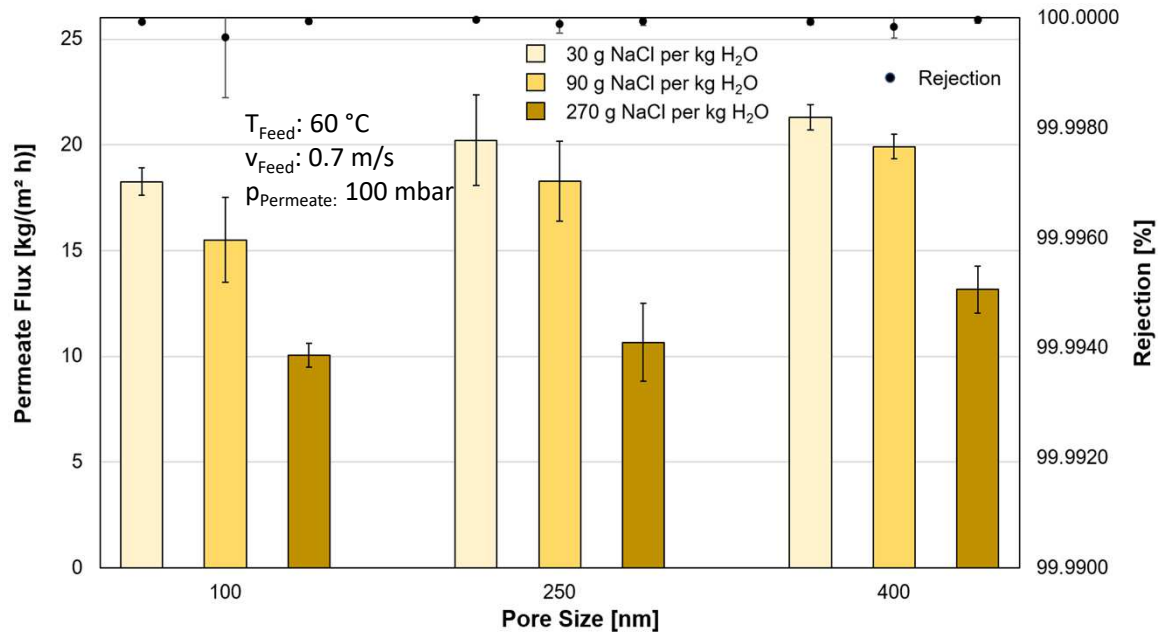
Die Geometrie des Spacers unterscheidet sich ebenfalls völlig von den Standard-MD-Fällen

## SolarSpring-Prototyp-MD-Module



- Die Strömungskanäle im Modul wurden mithilfe einer CFD-Software optimiert, um Totzonen zu beseitigen und die Turbulenz zu erhöhen.
- Erste Prototyp-Module in AGMD-Form wurden erfolgreich getestet, auch im Vakuum
- Der nächste Schritt ist der Test eines Prototyps mit dem 4-Kanal-Aufbau mit der echten Salzlösung

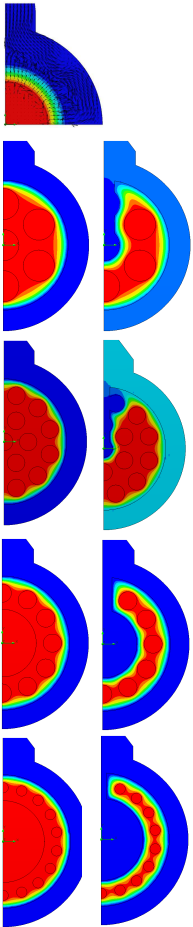
## Ergebnisse zur Entwicklung eines keramischen MD-Moduls



### Erprobung keramischer Membranen:

- Synthese von hydrophoben keramischen Membranen (Variation Geometrie, Trägermaterial, Hydrophobierung)
- Charakterisierung und Erprobung
  - Permeatfluss sinkt mit steigender Salinität
  - Perfekte Selektivität
  - LEP > 7 bar

## Ergebnisse zur Entwicklung eines keramischen MD-Moduls

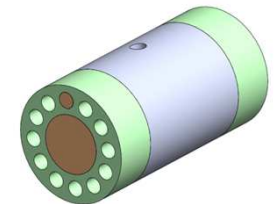


Geometrie	Fluss simuliert [kg/m <sup>2</sup> h]	Fluss gemessen [kg/m <sup>2</sup> h]
EKR	12,5	12,5
7KR	4,8	3
7KR gebohrt	5,2	5,2
19KR	3,8	2,5
19KR gebohrt	12,8	4,4
RKR12	4,8	2,5
RKR12 gebohrt	12,8	6,7
RKR18	2,2	3
RKR18 gebohrt	25,4	9

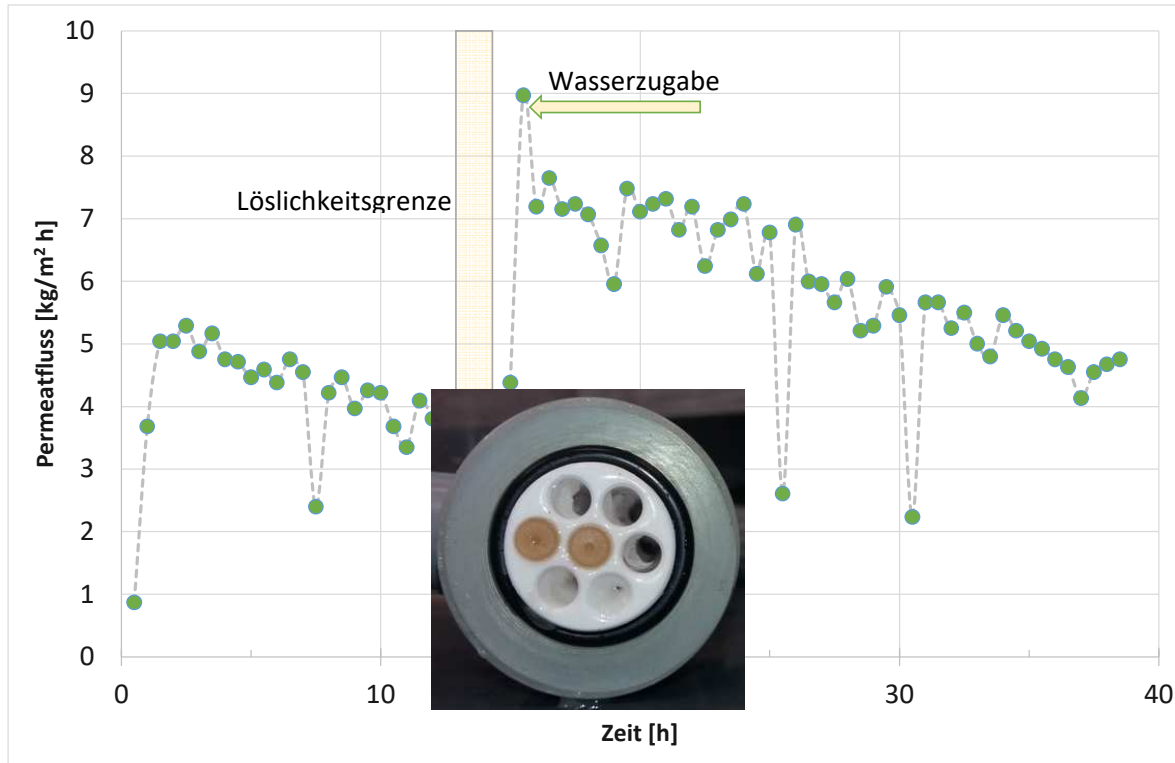
60 °C, 100 nm/200 nm, 30 g NaCl/kg Wasser

### Optimierte Geometrien für die MD:

- Übertragung der Membransynthese auf Mehrkanalrohre
- Erprobung in MD und Simulation des Stofftransports/Druckverlust im porösen Membranträger
- Einführung von permeatabführenden Kanälen erlaubt hohe spezifische Permeatflüsse auch bei Mehrkanalgeometrien



## Ergebnisse zur Entwicklung eines keramischen MD-Moduls



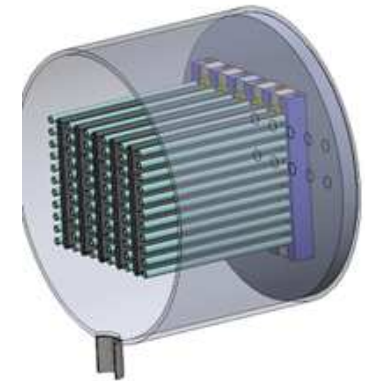
Feedtemperatur: 70 °C, 100 mbar, 100 nm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Membran

Hochkonzentrierte Salzgemische und keramische Membran

- Versuchsdurchführung mit verschiedenen Salzgemischen und Membranen
- Permeatfluss bei Erreichen der Kristallisationsgrenze
- Starker Wasserentzug, teilweise Versuchsabbruch durch Verstopfung der Feedleitungen
- Vollständige Regeneration des Permeatflusses nach Wasserzugabe



- Bau und Erprobung des Prototyp Moduls mit 0,1  $\mu\text{m}$  Membran durch Solarspring
- MD Modul im industriellen Maßstab von Solarspring
- Optimierung der Verschaltung Kristallisation/Membrandestillation
- Skalierung von keramischer Membran + keram. Modul, Energierückgewinnung
- Entwicklung und Aufbau der Pilotanlage
- Pilotierung vor Ort



**Vielen Dank  
für  
Ihre Aufmerksamkeit**

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung**

## Zielsetzung

### Pilotanlage

Destillatmenge: 30 l/h Kondensat

Energieeffizienz von GOR  $\geq 2$

$$\text{GOR} = \frac{\dot{m} \cdot \Delta h^{LV}}{\dot{Q}_{\text{Heiz}}} = \frac{\text{Kondensationswärme ohne Wärmerückgewinnung}}{\text{Benötigte Heizenergie}}$$