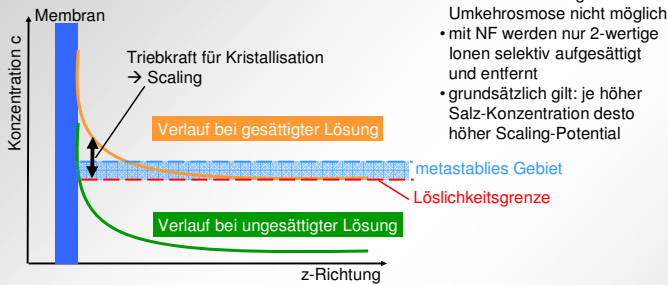


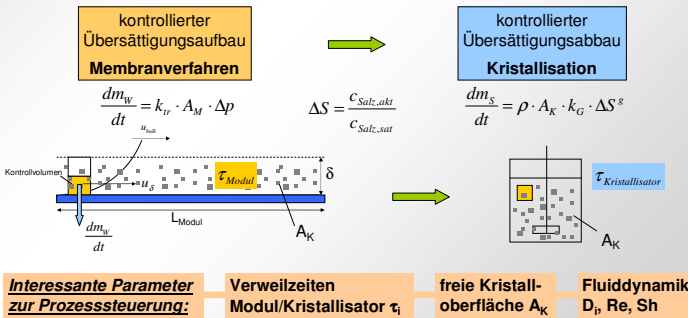
- Zielstellung:**
- Hybridverfahren Nanofiltration (NF) und Kristallisation
  - Entfernung schwerlöslicher Salze aus konzentrierten Salzlösungen
  - Quantifizierung der gekoppelten Massenströme von NF und Kristallisation

## Grundlagen und Problemstellung

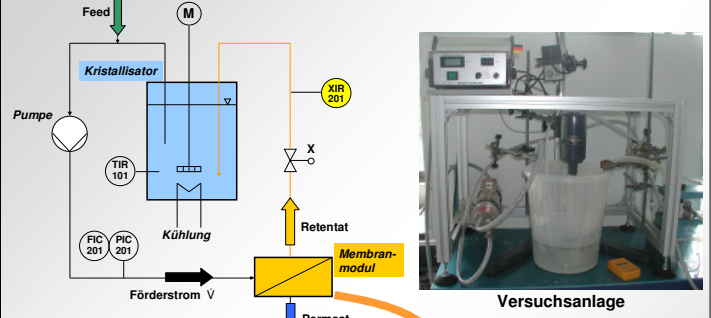
### Konzentrationspolarisation und Scaling:



### Verfahrenstechnischer Ansatz: Trennung Übersättigungsaufbau und Übersättigungsabbau



## Methodik und Experimentelles

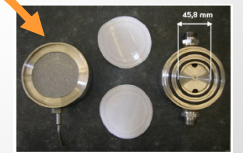


### Modellsystem:

$CaSO_4 \cdot 2H_2O / H_2O$   
Membran NF270 (Dow)

### Messgrößen:

- Konzentration (rel. Übersättigung  $\sigma$ )
- Permeatmassenstrom (Membranleistung)
- Rückhalt (Produktqualität)



### Varierte Versuchsparameter:

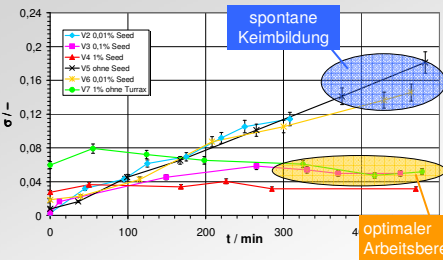
- Saatkristallanteil  $w_{Seed}$
- Eintrag an Dissipationsenergie  $\epsilon_{diss}$

### Konstante Versuchsparameter:

- Druckdifferenz  $\Delta p = 4$  bar
- Temperatur  $T = 25$  °C
- Förderstrom  $\dot{V} = 0,43$  m<sup>3</sup>/h
- NF:  $\tau_{Modul} = 0,001$  s ; Krist:  $\tau_{Kристallisator} = 42$  s

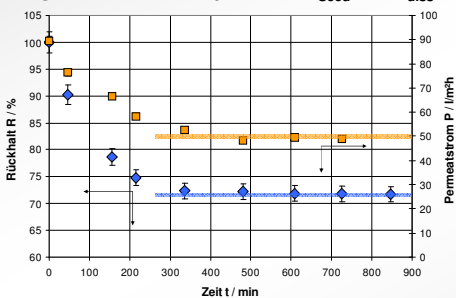
## Ergebnisse

### Übersättigung = f(t) ; Variation von $w_{Seed}$ und $\epsilon_{diss}$



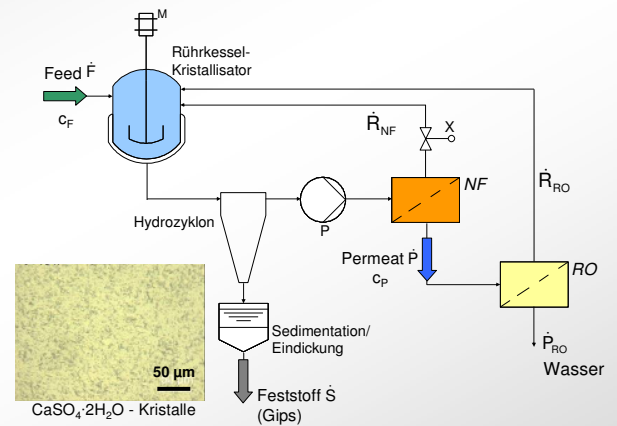
- optimaler Arbeitsbereich:**
- Permeatstrom  $P = 50$  l/m<sup>2</sup>h
  - Saatkristallanteil  $w_{Seed} = 0,1$  %
  - Saatkristallgröße:  $L = 2-8$   $\mu m$
  - konstante rel. Übersättigung  $\sigma = 5$  %
  - Überschuss an Saatkristallen:  $\frac{\dot{m}_{Kристallisator, produziert}}{\dot{m}_{Kристallisator, Seed}} \ll 1$

### Langzeitversuch bei optimalen $w_{Seed}$ und $\epsilon_{diss}$ :



- Ziel:** Abbau der Übersättigung bei maximalem Rückhalt
- nach Einlaufphase stellen sich konstante Werte ein
  - Rückhalt  $R = 72$  %
  - Permeatstrom  $P \approx 50$  l/m<sup>2</sup>h

### Verfahrenstechnischer Lösungsvorschlag:



$\dot{F} = 1000$  kg/h  
 $c_F = 2,14$  g/l =  $c_{sat}$

$\dot{S} = 2$  kg/h

$\dot{P} = 998$  kg/h  
 $c_P = 0,61$  g/l

- Kombination NF – Kristallisation
- Kombination NF – RO
- NF-Stufe: Abreicherung einer gipsgesättigten Feedlösung auf 30 % von  $c_{sat}$

- Fazit:**
- Hybridverfahren zur Wasseraufarbeitung; stabile Betriebsbedingungen im Zeitraum  $t > 14$  h
  - Ausblick: Testung technischer Salzlösungen, weitere schwerlösliche Salze

**Literatur:** Kümmler, R.; Hoffmann, A.; Tschernjaew, J.: *Chemie Ingenieur Technik*, 69 (1997), S. 831-833  
Harries, R. C.: *Desalination*, 56 (1985), S. 227-236  
Habbe, Rainer: RWTH Aachen, Dissertation, Aachen, 1993