

Fakultät Umweltwissenschaften, Fachrichtung Hydrowissenschaften  
Institut für Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft, Professur für Verfahrenstechnik in Hydrosystemen

## WavE-Abschlusskonferenz

### **innovat|ON**

Selektive Entfernung monovalenter Ionen aus  
salzhaltigen Wässern für die Grundwasseranreicherung  
und Trinkwasseraufbereitung

Prof. Dr.-Ing. André Lerch // Hanna Rosentreter

08.10.2024

# innovat|ON

Selektive Entfernung monovalenter Ionen aus salzhaltigen Wässern



... das sind 11 Partner aus  
Forschung und Praxis:



Präsenztreffen der innovat|ON-Partner  
beim OOWV, beim Kreisverband für  
Wasserwirtschaft Nienburg und bei  
FUMATECH (v.o.n.u)

# Problematik



Einleitung von Nitrat in das Grundwasser (GW)



Meerwasserintrusion

	Grenzwerte Trinkwasser	Grenzwerte Bewässerung	Nienburg, GW	Langeoog, GW
	TrinkwV, 2023; WHO, 2023	Ayers and Westcot, 1985	2014-2020, KWN	2021-2022, TUD-VTH
<b>TDS [mg/l]</b>	600	450	308	1279
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> [mg/l]</b>	50	130	<b>80</b>	<1
<b>Cl<sup>-</sup> [mg/l]</b>	250	106	45	<b>625</b>
<b>Na<sup>+</sup> [mg/l]</b>	200	69	23	<b>315</b>

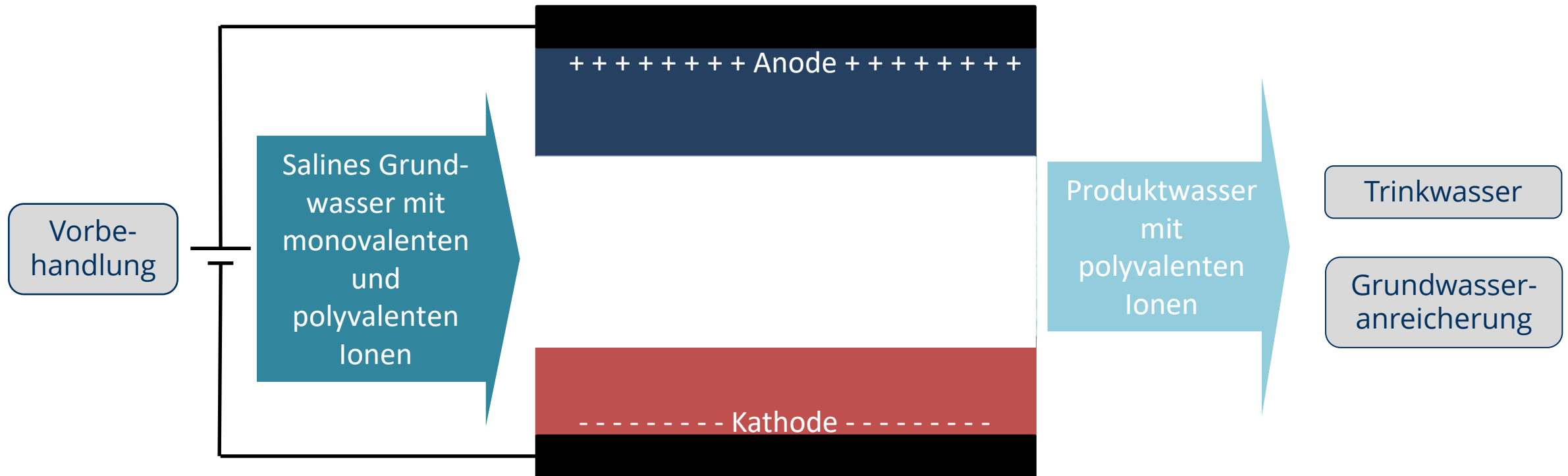
Trinkwasserverordnung, zuletzt geändert durch Verordnung vom 16. Januar 2023 (BGBl. I S. 114).

World Health Organization. (2017). Guidelines for drinking-water quality (4th ed., incorporating the 1st addendum). Geneva: World Health Organization.

Ayers, R.S.; Westcot, D.W. Water Quality for Agriculture; FAO Irrigation and Drainage Paper; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 1985

KWN: Messungen vom Kreisverband für Wasserwirtschaft Nienburg, TUD-VTH: eigene Messungen an der TU Dresden

# Monovalent selektive membrangestützte kapazitive Deionisation (**mMCDI**)



Funktionsweise der monovalent selektiven membrangestützten kapazitiven Deionisation (mMCDI)

# Ziele von innovatION

1. Entwicklung eines energieeffizienten, selektiven, **Entsalzungsverfahrens zur gezielten Entfernung monovalenter Ionen** aus salzhaltigem Grund- und Oberflächenwasser



2. Überprüfung **potenzieller Anwendungen und Einsatzgebiete** unter Berücksichtigung wasserchemischer, ökonomischer und ökologischer Aspekte.



3. Eruiierung der **resultierenden Effekte** und **Herausforderungen** möglicher Anwendungen.



4. Entwicklung einer ganzheitlichen ökonomisch-ökologischen **Nachhaltigkeitsbewertung** zur Steuerung der betrieblichen **Ressourceneffizienz**.



# Modul- und Anlagenbau



elkoplan  
staiger GmbH  
Automation

## Laborversuchsanlage:

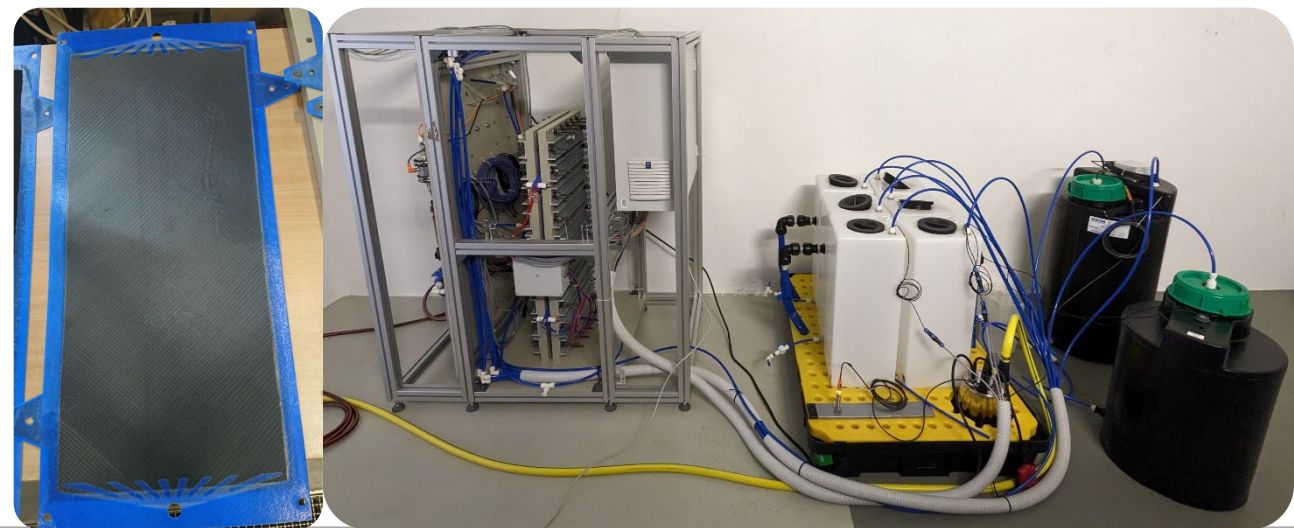
- 4 - 20 L/h
- Elektrodenfläche einer Zelle: 500 cm<sup>2</sup>
- Bis zu 6 Zellen

## Pilotanlage:

- 20 - 100 L/h
- Elektrodenfläche einer Zelle: ca. 2700 cm<sup>2</sup>
- Bis zu 10 Zellen
- Selektivität von Präzision der Elektrodenherstellung abhängig!



links:  
Labor-  
versuchsanlage



rechts:  
Pilotanlage



# Membranentwicklung

Selektivität durch:

- Größenausschluss, Ladungsausschluss, Transporteffekte

Basismembran:

- Standard Elektrodialysmembran
- NF Membran FUMATECH
- Vliesmembran

Modifizierung durch:

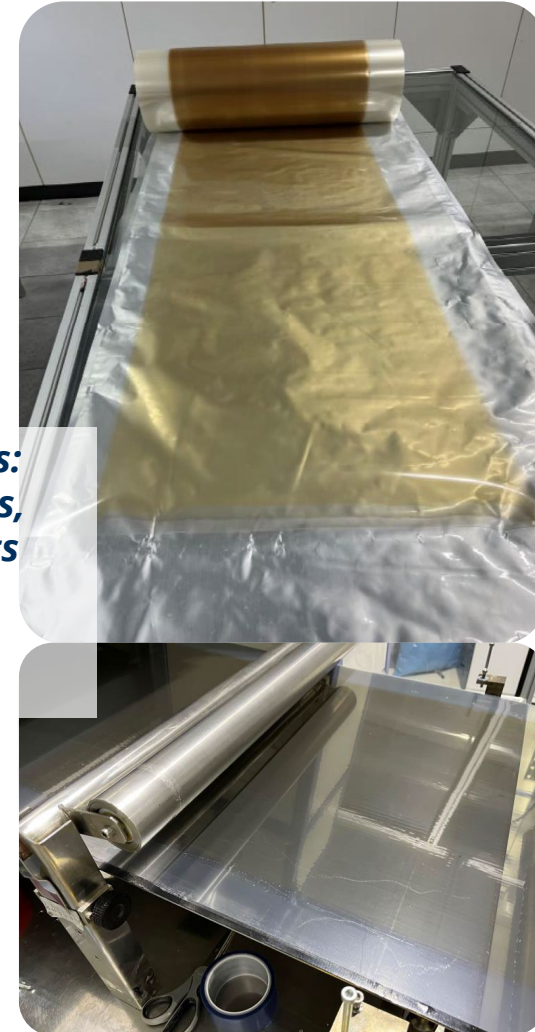
- Beladung mit Ionenaustauscherpolymeren
- Grenzphasenpolymerisation
- Aufbringung entgegengesetzter/neutraler Ladung
- ...



***Monovalent selective ion exchange membranes:  
a review on preparation processes, applications,  
performance criteria and sustainability aspects***

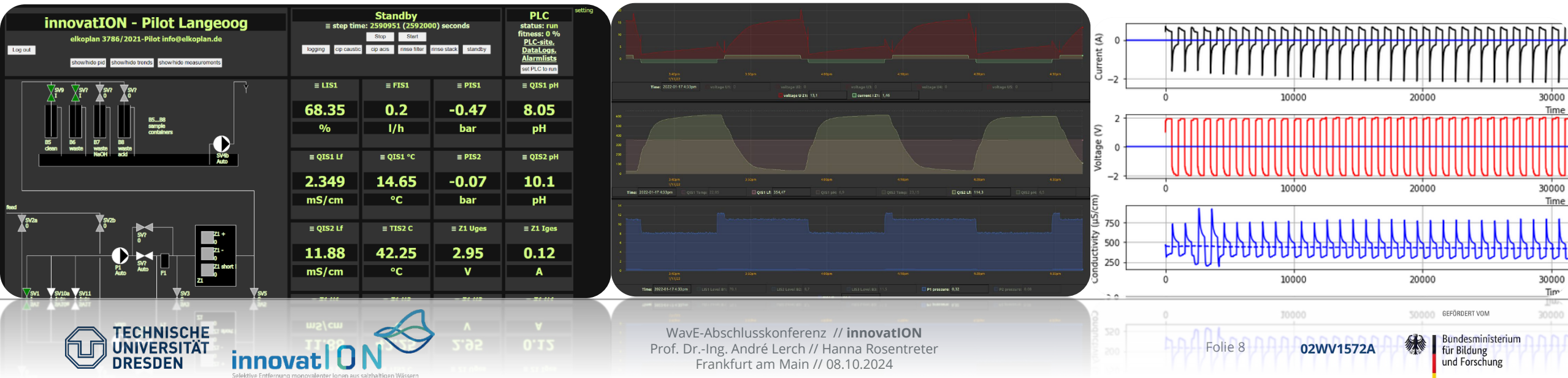
*H. Rosentreter, C. Scope, T. Oddoy, A. Lerch,  
J. Meier-Haack*

Rechts: Herstellung Ionenaustauschermembranen [Jeske, FUMATECH]



- Webvisualisierung zur Anlagenbedienung und grafische Trends
- Fernsteuerung über VPN möglich
- Vollautomatisierte Steuerungstechnik inklusive automatisierten Reinigungsschritten
- Pulsverfahren, Fitnesslevel, ...

Grafische Umsetzung des Mess- und Steuerungssystems der Pilotanlage, Überwachung der Trends und grafische Auswertung mit Python (v.l.n.r.) [Staiger, elkoplan & Rosentreter TUD]

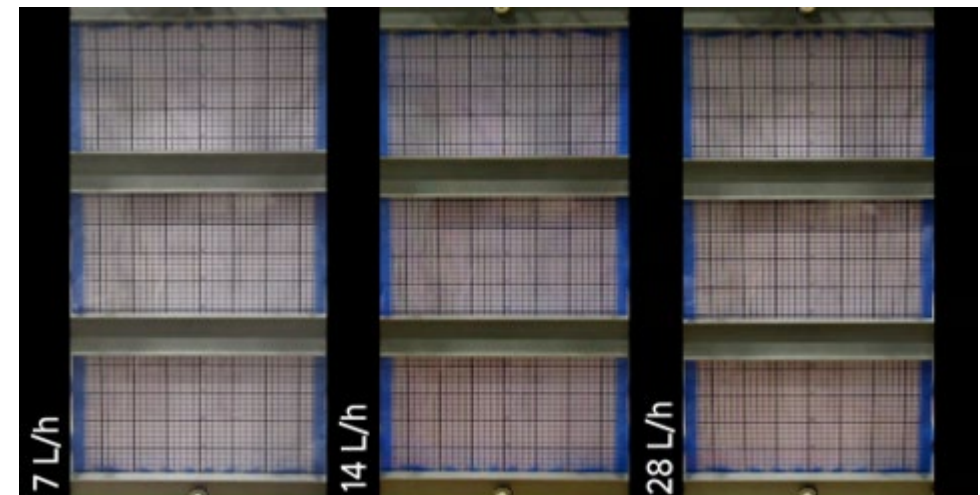




- bis zu 20-mal höherer Rückhalt von monovalenten Ionen im Vergleich zu polyvalenten Ionen
  - 0,05-0,1 kWh/m<sup>3</sup> für 0,3 g/L Zulauf ( $\leq$  NF90, BWRO)
  - 0,50-2,0 kWh/m<sup>3</sup> für 1,3 g/L ( $\approx$  NF90)
- geringe elektr. Spannung und hoher Durchfluss wirken sich positiv auf Selektivität aus
- Ausbeute bis 70% in Praxisversuchen
- Scaling durch Calcium-, Magnesium-, Silizium- und (Eisen-) Verbindungen an Membranen und Elektroden
  
- Strömungsmodelle zur Ermittlung und Optimierung der Strömungsverteilung
- Modellierung der Adsorptionskapazität zum Ableiten von geeigneten Betriebsparametern (Betriebsintervalle, Betriebsspannung, ...)

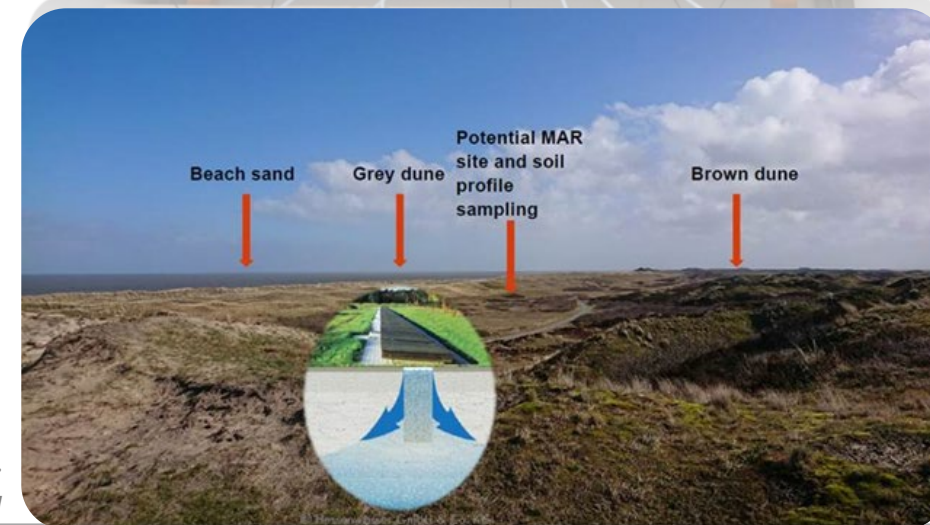
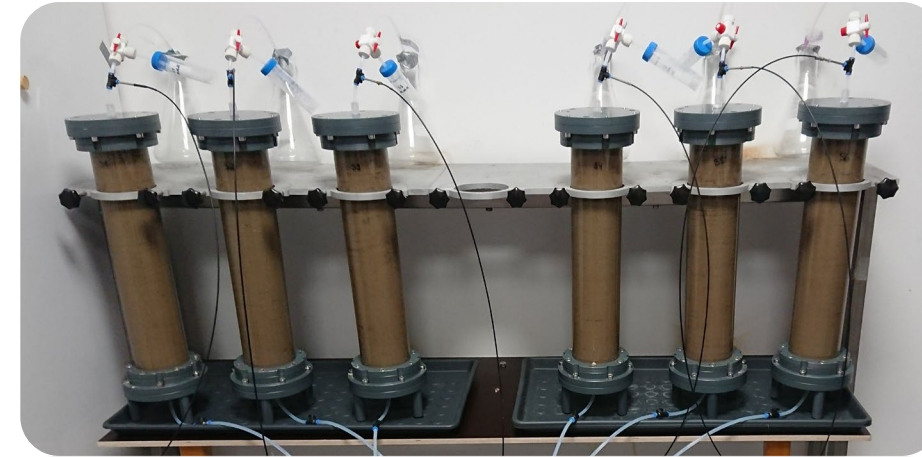
- bis zu 20-mal höherer Rückhalt von monovalenten Ionen im Vergleich zu polyvalenten Ionen
  - 0,05-0,1 kWh/m<sup>3</sup> für 0,3 g/L Zulauf ( $\leq$  NF90, BWRO)
  - 0,50-2,0 kWh/m<sup>3</sup> für 1,3 g/L ( $\approx$  NF90)
- geringe elektr. Spannung und hoher Durchfluss wirken sich positiv auf Selektivität aus
- Ausbeute bis 70% in Praxisversuchen
- Scaling durch Calcium-, Magnesium-, Silizium- und (Eisen-) Verbindungen an Membranen und Elektroden
  
- Strömungsmodelle zur Ermittlung und Optimierung der Strömungsverteilung
- Modellierung der Adsorptionskapazität zum Ableiten von geeigneten Betriebsparametern (Betriebsintervalle, Betriebsspannung, ...)

*Strömungsverteilung bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten in der transparenten Pilotzelle (unten) [Schödel, Kiene und Schmidtgen, TUD]*



# Grundwasseranreicherung - Experimente & Modellierung

- Säulenversuche zur experimentellen Analyse von geochemischen Wechselwirkungen → geringere Arsenmobilisierung mit monovalent-teilentsalztem Wasser als mit vollentsalztem Wasser
- Analyse der Sedimenteigenschaften aller Standorte auf Langeoog → Graudüne am geeignetsten für Infiltration
- Künstliche Grundwasseranreicherung mit einem monovalent-teilentsalztem Wasser auf Langeoog könnte die Süßwasserlinse stabilisieren




*Bodensäulenversuche (oben) und möglich Infiltrationsmethode: Sickerschlitzgräben im Graudünenbereich auf Langeoog [Bräunig, UOL]*

# Nachhaltigkeitsbewertung

- Ökonomische und ökologische Nachhaltigkeitsbewertung → starker Einfluss der **Membranproduktion**
- Erstellung von Prozessketten → Ziel ist die Durchführung einer Multikriterienanalyse
- Vergleich mMCDI und Umkehrosmose
  - Geringer Chemikalieneinsatz
  - Hoher Einfluss der Lebensdauer der Elektroden auf Kosten

openLCA - EF 3.1 Method (adapted)	Isopropanol 1 kg	Toluene 1 kg	Ethanol-water 1 kg	NMP 1 kg	Reference unit
<i>Impact category</i>	<i>Result</i>				
<b>Acidification</b>	7,91E-03	4,51E-03	8,47E-04	2,42E-02	mol H <sup>+</sup> -Eq
<b>Climate change (GWP100)</b>	1,96E+00	1,56E+00	2,42E-01	6,24E+00	kg CO <sub>2</sub> -Eq
Climate change - Biogenic (GWP100)	1,92E-03	1,08E-03	2,42E-04	7,92E-03	kg CO <sub>2</sub> -Eq
Climate change - Fossil (GWP100)	1,96E+00	1,55E+00	2,42E-01	6,23E+00	kg CO <sub>2</sub> -Eq
<b>Ecotoxicity, freshwater</b>	3,44E+00	2,37E-01	4,34E-01	2,00E+01	CTUe
Eutrophication, freshwater	2,15E-04	9,85E-06	9,51E-05	1,92E-03	kg P-Eq
Eutrophication, marine	9,79E-04	8,07E-04	1,55E-04	5,15E-03	kg N-Eq
<b>Human toxicity, carcinogenic</b>	4,19E-10	1,09E-10	6,27E-11	4,12E-09	CTUh
Human toxicity, non-carcinogenic	1,08E-08	1,25E-09	1,68E-09	6,55E-08	CTUh
Ionising radiation (human health)	8,11E-02	1,17E-04	4,40E-03	6,36E-01	kBq U235-Eq
Land use	1,84E+00	1,23E-02	3,85E-01	1,89E+01	dimensionless
Ozone depletion	2,30E-08	2,84E-10	2,03E-09	1,55E-07	kg CFC-11-Eq
Particulate matter	7,93E-08	5,45E-08	9,94E-09	2,76E-07	disease incidence
Photochemical ozone formation	8,08E-03	4,35E-03	1,19E-03	2,05E-02	kg NMVOC-Eq
<b>Resource use, fossils</b>	5,91E+01	5,98E+01	8,62E+00	1,11E+02	MJ, net calorific value
Resource use, minerals and metals	8,97E-06	3,66E-08	1,60E-06	4,25E-05	kg Sb-Eq
<b>Water use (user deprivation potential)</b>	6,45E-01	1,51E+00	1,10E-01	1,18E+01	m3 world eq. deprived



openLCA 2.2.0  
Copyright (c) 2007 - 2024 GreenDelta. All rights reserved.  
Visit <http://openlca.org> and <http://greendelta.com>  
This product includes software developed in the openLCA project and other open source software.

isopropanol production | isopropanol | Cutoff, U

toluene production, liquid | toluene, liquid | Cutoff, U

ethanol, without water, in 99.7% solution state, from ethylene & tap water | RER

N-methyl-2-pyrrolidone production | N-methyl-2-pyrrolidone | Cutoff, U

Ökobilanz für die Auswahl nachhaltiger Lösungsmittel basierend auf Ecoinvent v 3.91 mit openLCA 2.2; GrenDelta (2024) [Scope, TUD]

# Öffentlichkeitsarbeit

 TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN



**Anforderungen an die selektive Entsalzung in der Praxis**

Online Workshop am 07.03.2022

GEFÖRDERT VOM  Bundesministerium für Bildung und Forschung



Online-Workshop

 TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN



**Selektive Entsalzung mit der mMCDI - Ergebnisse und Erfahrungen**

Online-Abschlusskonferenz von innovatION am 05.09.2024

GEFÖRDERT VOM  Bundesministerium für Bildung und Forschung



Online-Abschlussveranstaltung

[www.innovat-ion.de](http://www.innovat-ion.de)

DEU ENG BARRIEREFREIHEIT

PROJEKT VERÖFFENTLICHUNGEN VERBUNDPARTNER

innovatION

Gefördert vom  Bundesministerium für Bildung und Forschung

Eine Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung



Projektkoordination  TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Technische Universität Dresden  
Prof. Dr.-Ing. André Lerch  
Professor für Verfahrenstechnik in Hydrosystemen  
Tel.: +49 351 463-37537  
E-Mail: andre.lerch@tu-dresden.de

News

- 05.09.2024 **Hybride Abschlusskonferenz von L...**  
AM 05. SEPTEMBER 2024 FAND DIE ABSCHLUSSKONFERENZ DES VOM BMBF GEFÖRDERTEN VERBUNDPROJEKTS INNOVATION STATT. FÜR DAS TREFFEN KAME...  
Weiterlesen [Bearbeiten](#) [Löschen](#)
- 24.07.2024 **Einladung zu unserer Online-Absc...**  
WIR MÖCHTEN SIE IM RAHMEN DES VOM BMBF GEFÖRDERTEN VERBUNDPROJEKTS INNOVATION IN DER FÖRDERMASSNAHME WASSERTECHNOLOGIEN...  
Weiterlesen [Bearbeiten](#) [Löschen](#)
- 09.07.2024 **Treffen der Praxispartner in Niemb...**  
AM 9.7.24 TRAFEN SICH DIE PROJEKTPARTNER VON INNOVATION BEIM KREISVERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT IN...  
Weiterlesen [Bearbeiten](#) [Löschen](#)

Projekt innovatION

Kurzbeschreibung	Ziele	Arbeitsschwerpunkte	Hintergrundinformationen
<a href="#">Kurzbeschreibung</a>	<a href="#">Ziele</a>	<a href="#">Arbeitsschwerpunkte</a>	<a href="#">Hintergrundinformationen</a>

# Zusammenfassung & Ausblick

- Energieeffiziente Teilentsalzung mit der mMCDI (besonders für geringe Konzentrationen)
- Selektiv entsalztes Wasser ist für Trinkwasser als auch für Grundwasseranreicherung geeignet
- Konzentratverwertung abhängig von regionalen Bedingungen
- Vergleich zur Elektrodialyse und Untersuchung weiterer Prozessbedingungen notwendig
- Weitere Optimierung des Verfahrens durch Modellierung, Elektroden- und Membranherstellung



