

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

# innovatION

Selektive Entfernung monovalenter Ionen aus salzhaltigen Wässern



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



Präsenztreffen der innovatION-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>

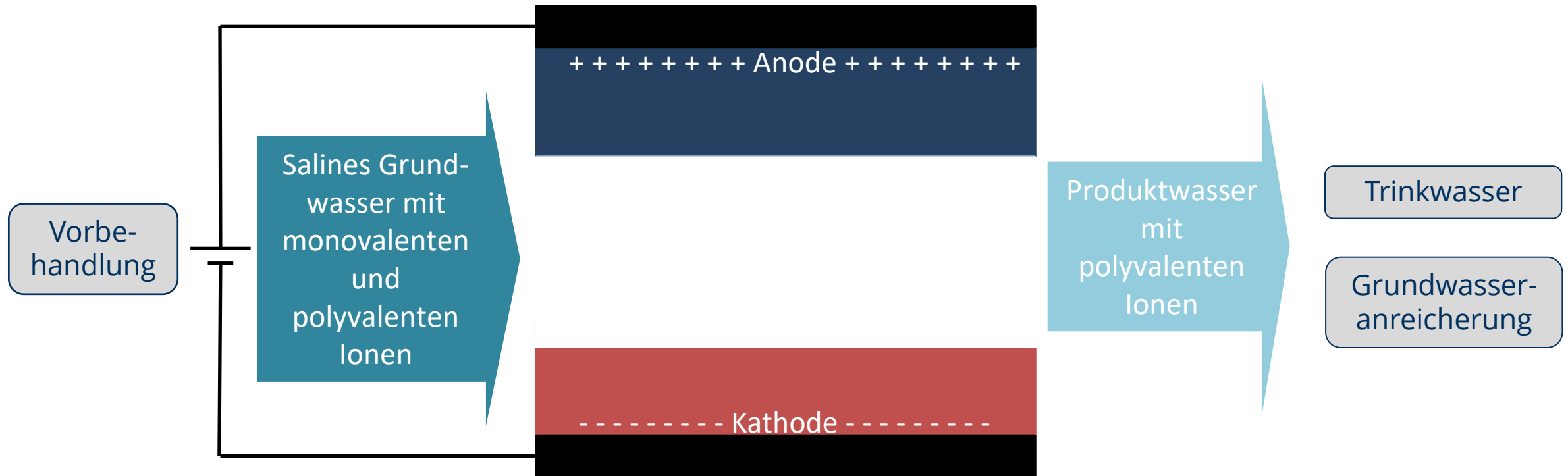
Trinkwasserverordnung, zuletzt geändert durch Verordnung vom 16. Januar 2023 (BGBl. I S. 114).

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



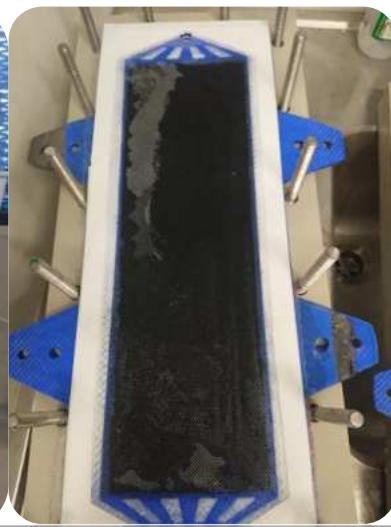
elkoplan  
staiger GmbH  
Automation

## 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:

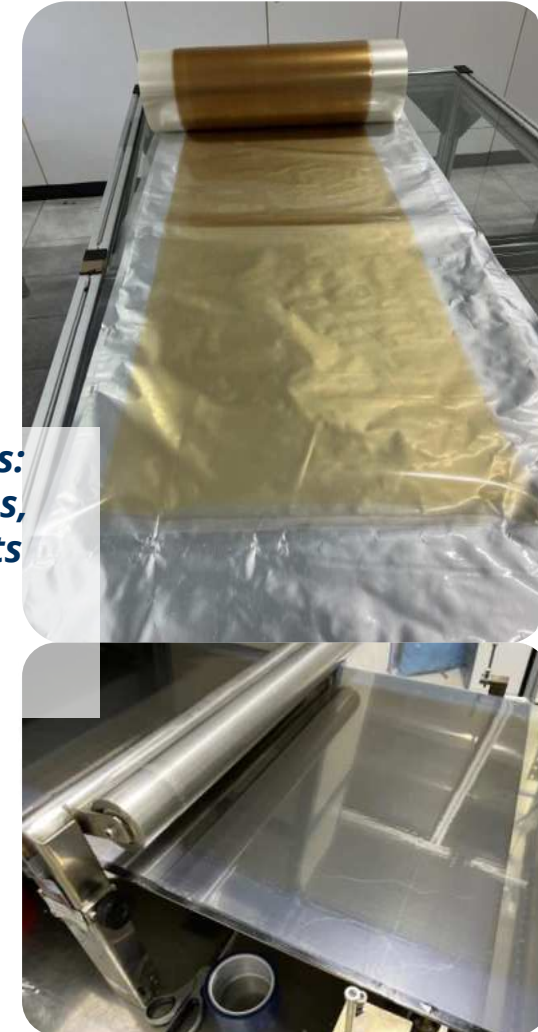
- Beladung mit Ionenaustauscherpolymeren
- Grenzphasenpolymerisation
- Aufbringung entgegengesetzter/neutraler Ladung
- ...



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

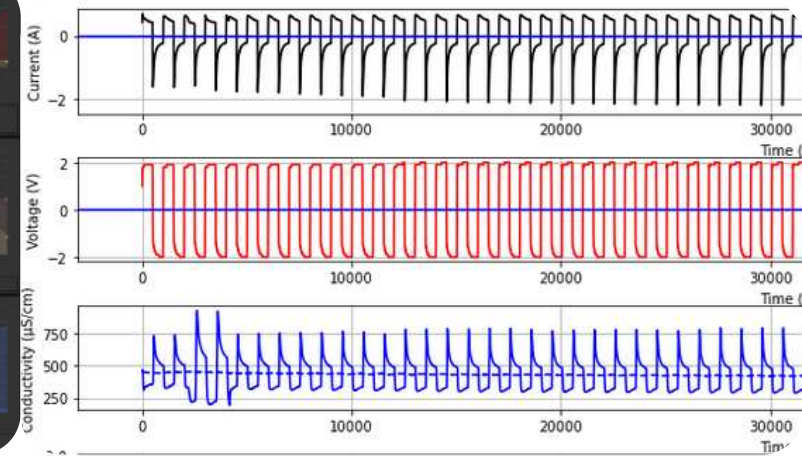
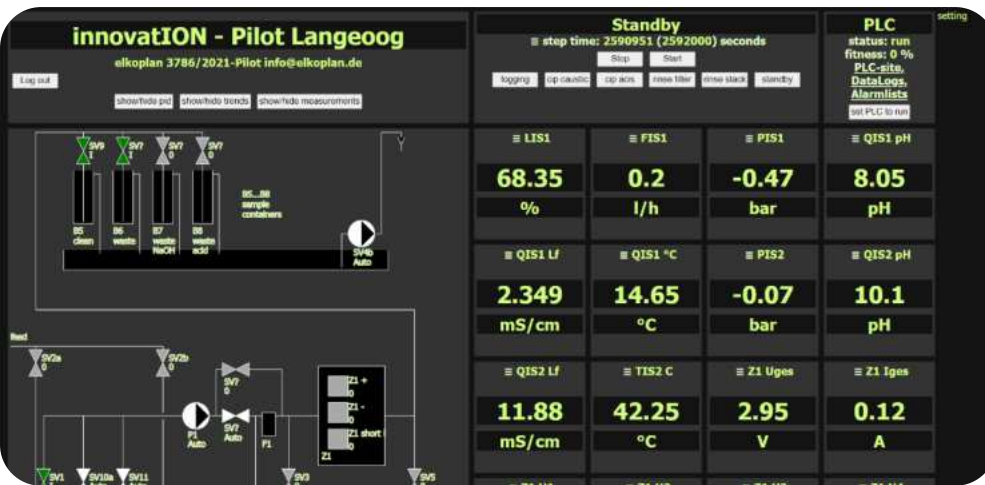
*H. Rosentreter, C. Scope, T. Oddoy, A. Lerch,  
J. Meier-Haack*

Rechts: Herstellung Ionenaustauschermembranen [Jeske, FUMATECH]



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

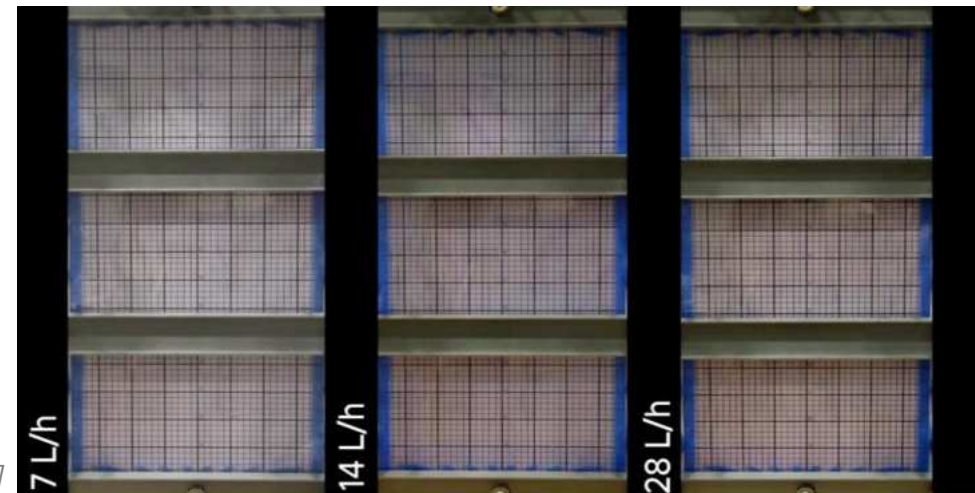
Grafische Umsetzung des Mess- und Steuerungssystems der Pilotanlage, Überwachung der Trends und grafische Auswertung mit Python (v.l.n.r.) [Staiger, elkoplan & Rosentreter TUD]



- 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, ...)

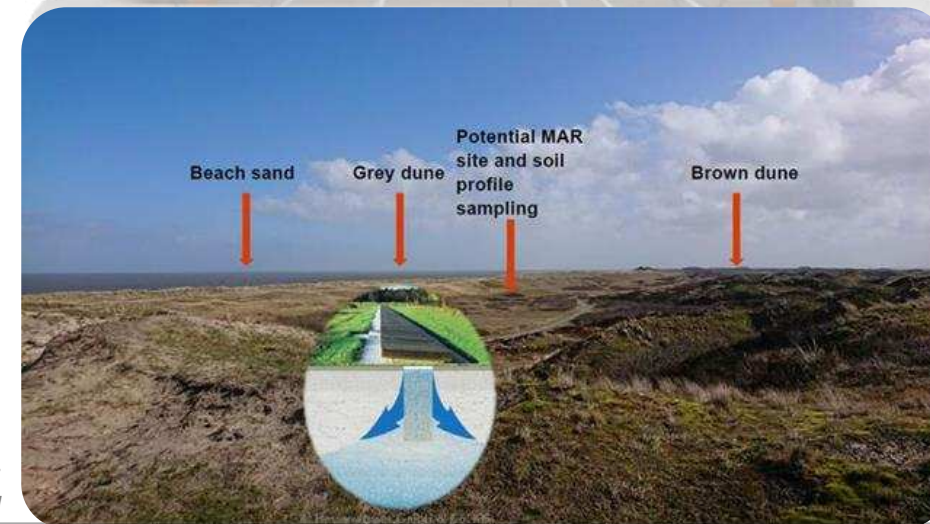
- bis zu 20-mal höherer Rückhalt von monovalenten Ionen im Vergleich zu polyvalenten Ionen
  - 0,05-0,1 kWh/m<sup>3</sup> für 0,3 g/L Zulauf ( $\leq$  NF90, BWRO)
  - 0,50-2,0 kWh/m<sup>3</sup> für 1,3 g/L ( $\approx$  NF90)
- geringe elektr. Spannung und hoher Durchfluss wirken sich positiv auf Selektivität 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 innovat|ON am 05.09.2024

GEFÖRDERT VOM

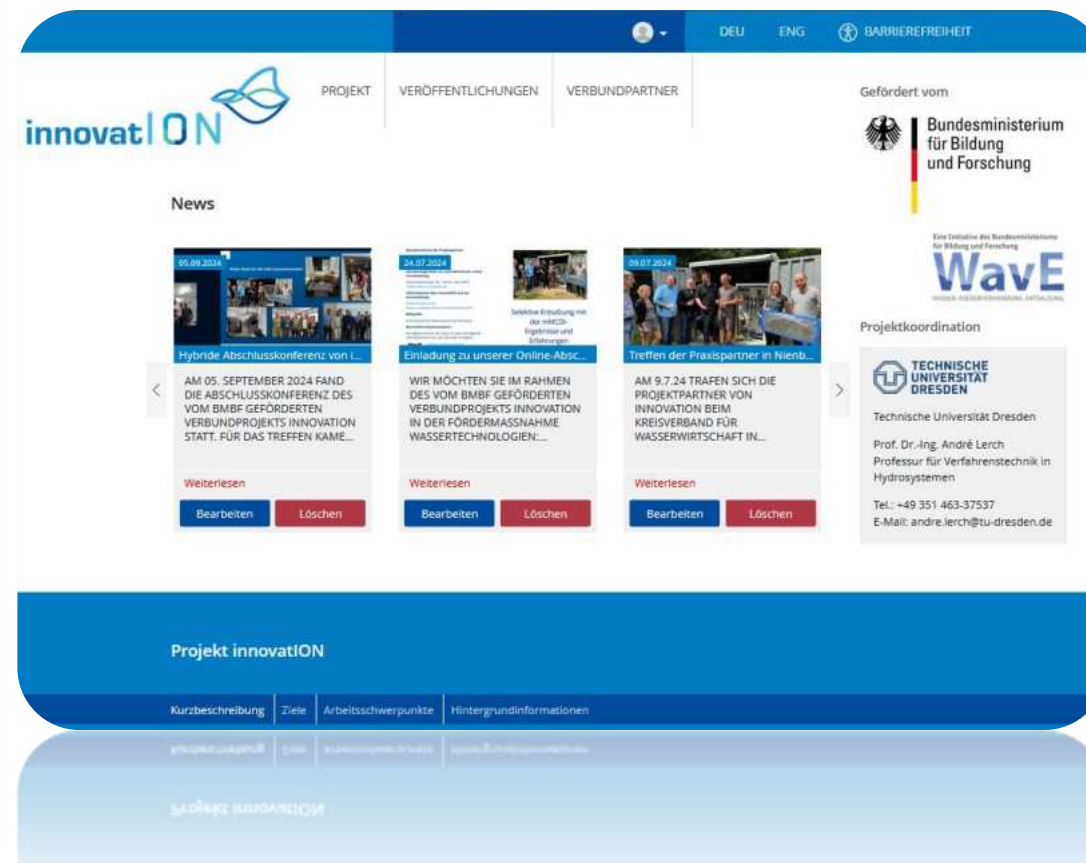


Bundesministerium für Bildung und Forschung



Online-Abschlussveranstaltung

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



The screenshot shows the website interface with a navigation bar (DEU, ENG, BARRIEREFREIHEIT), a main menu (PROJEKT, VERÖFFENTLICHUNGEN, VERBUNDPARTNER), and a news section with three articles. The right sidebar includes logos for the funding ministry and WavE, and contact information for Prof. Dr.-Ing. André Lerch. The bottom section features a 'Projekt innovat|ON' overview with tabs for description, goals, and background information.

# 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



WavE | innovatION

### Wechselwirkungen zwischen Boden und Wasser bei der Infiltration eines monovalent-teilsalzen Wassers in Dünenböden von Langeoog

Abhängig von den Bodenbedingungen und der Infiltrationsgeschwindigkeit...

**Methodik**

**Ergebnisse**

**Schlussfolgerungen**

WavE | TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN | innovatION

### Teilsalzung einwertiger Ionen im Labor- und Pilotmaßstab mit der mMCDI

Monovalent selective Membranzugabe

**Einleitung**

**Laborm- und Pilotversuche**

**Modellierung**

**Zusammenfassung und Ausblick**

ipf | WavE | innovatION

### Novel ion exchange Hybrid IEM-NF-Membrane for mMCDI process

Introduction

Results

Summary/Conclusion

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung



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

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

