

Teilentzsalzung einwertiger Ionen im Labor- und Pilotmaßstab mit der mMCDI

Rosentreter H.¹, Schödel D.¹ & Lerch A.¹

¹ Technische Universität Dresden

Monovalent Selektive Membrangestützte Kapazitive Deionisation

Süßwasser, das vom Meer oder von geogenen Salzvorkommen beeinflusst wird, enthält u. a. erhöhte Konzentrationen einwertiger (monovalenter) Ionen, wie Natrium und Chlorid, als auch mehrwertige (polyvalente) Ionen, wie Magnesium und Calcium. Hohe Nitrat- und Sulfatkonzentrationen resultieren hingegen meist aus landwirtschaftlichem Einfluss. Eine vollständige Entzsalzung ist nicht sinnvoll, sondern lediglich nur eine Verminderung der monovalenten Ionen nötig. Hierfür werden selektive Membranen für den spezifischen Transport monovalenter Ionen entwickelt und in neukonstruierten Modulen für den Einsatz als monovalent selektive membrangestützte Kapazitive Deionisation (mMCDI) in Labor- und Pilotanlagen verbaut (Abb. 1). Mit den Anlagen werden Untersuchungen zur Identifikation optimierter Prozess- und Anlagenparameter in Abhängigkeit unterschiedlicher Rohwasserqualitäten und Aufbereitungsziele durchgeführt.

Ergebnisse

Labor- und Pilotversuche

Im Rahmen von innovat|ON wurden zwei Laborversuchsanlagen und eine Pilotanlage mit integrierter Mess- und Fernsteuerungstechnik in Zusammenarbeit von der DEUKUM GmbH und der elkoplan staiger GmbH gebaut. Mit diesen Anlagen können 2-100 L/h Brackwasser zu Trinkwasser bzw. für die künstliche Grundwasseranreicherung aufbereitet werden. In Kurzzeitexperimenten an der TU Dresden wiesen die Ionenaustauschermembranen der FUMATECH BWT GmbH mit einer Polyamid-Beschichtung vom Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V. die höchste selektive Permeabilität durch die Membran für monovalente Anionen und Kationen und somit die höchste Entfernung dieser Ionen in der mMCDI auf. Mit diesen Membranen konnte mit der mMCDI ein bis zu 8-fach höherer Rückhalt an Nitrat und Chlorid im Vergleich zu Sulfat und ein bis zu dreifach höherer Rückhalt von Natrium im Vergleich zu Magnesium bei einem Energieverbrauch von max. 0,1 kWh/m³ bei einer Zulaufkonzentration von 0,3 g/L gemessen werden. Bei einer geringen Spannung (0,8 V) und einem hohen Durchfluss (5 L/h) konnte ein minimaler Energiebedarf von 2 Wh/g entfernten Nitrats gemessen werden.

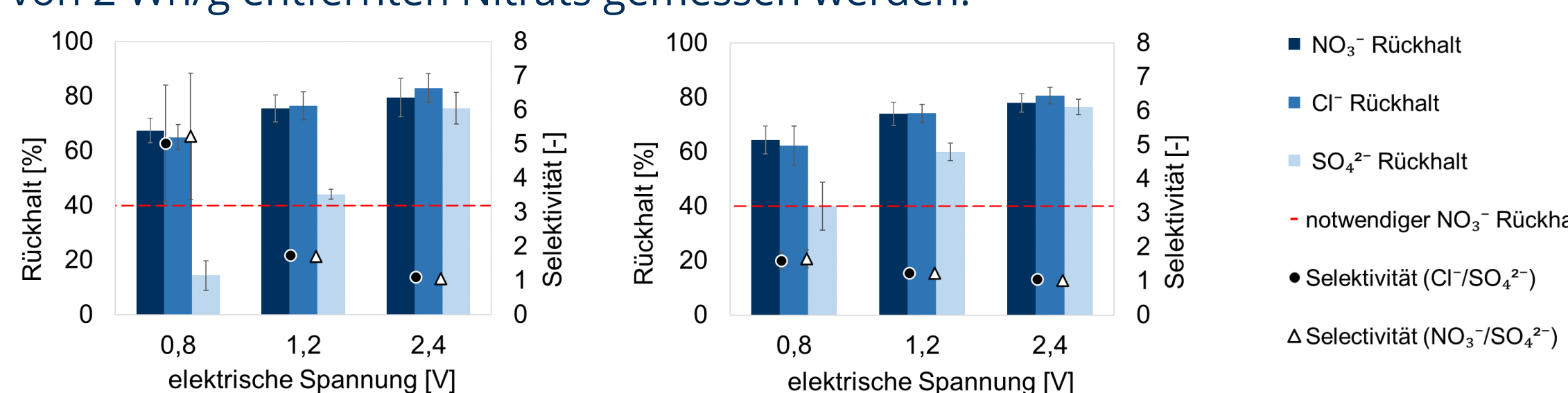


Abb.2 Rückhalt und Selektivität für Anionen mit beschichteten Ionenaustauschermembranen (links: Polyamid-Beschichtung, rechts: Neutral-Beschichtung)

Anionenaustauschermembranen mit einer Neutralbeschichtung zeigten ebenfalls einen stabilen hohen selektiven Transport von Chlorid und Nitrat in Langzeitexperimenten mit salinem Grundwasser auf Langeoog. In den Pilotversuchen am Standort Langeoog und in Nienburg zeigte sich aufgrund von Materialeinschränkungen eine geringere Selektivität im Vergleich zu den Laborversuchen. Durch die Strömungsmodellierung werden Ansätze geliefert, um die Energieeffizienz des Verfahrens weiter zu verbessern. Der Reinigungsbedarf mit Salzsäure und Natronlauge war in den Praxisversuchen sehr gering, wobei Calciumcarbonat und -hydroxidscaling an der Kathode irreversibel die Salzadsorptionskapazität verringern.

Zusammenfassung und Ausblick

Die mMCDI kann zukünftig dort eingesetzt werden, wo monovalente Ionen die Grenzwerte für Trinkwasser oder für die Bewässerung überschreiten oder wo eine Grundwasseranreicherung mit teilentsalztem Wasser notwendig ist. Ein energetischer Vorteil ergibt sich gegenüber der konventionellen Entzsalzung bei geringen salinen Konzentrationen <1 g/L.

Literature:

- Lerch, A.; Rosentreter, H.; Hubrich, M.; Linnartz, C.; Mankertz, L.; Schießler, Y.; Woyciechowski, M. (2024): Fact Sheet zum WavE Querschnittsthema „Technologien und Verfahren“: (Membrangestützte) Kapazitive Deionisationsverfahren. DECHEMA e.V. - „TransWavEplus“
- Rosentreter H., Schödel D. & Lerch A. <https://innovat-ion.de/en-US>

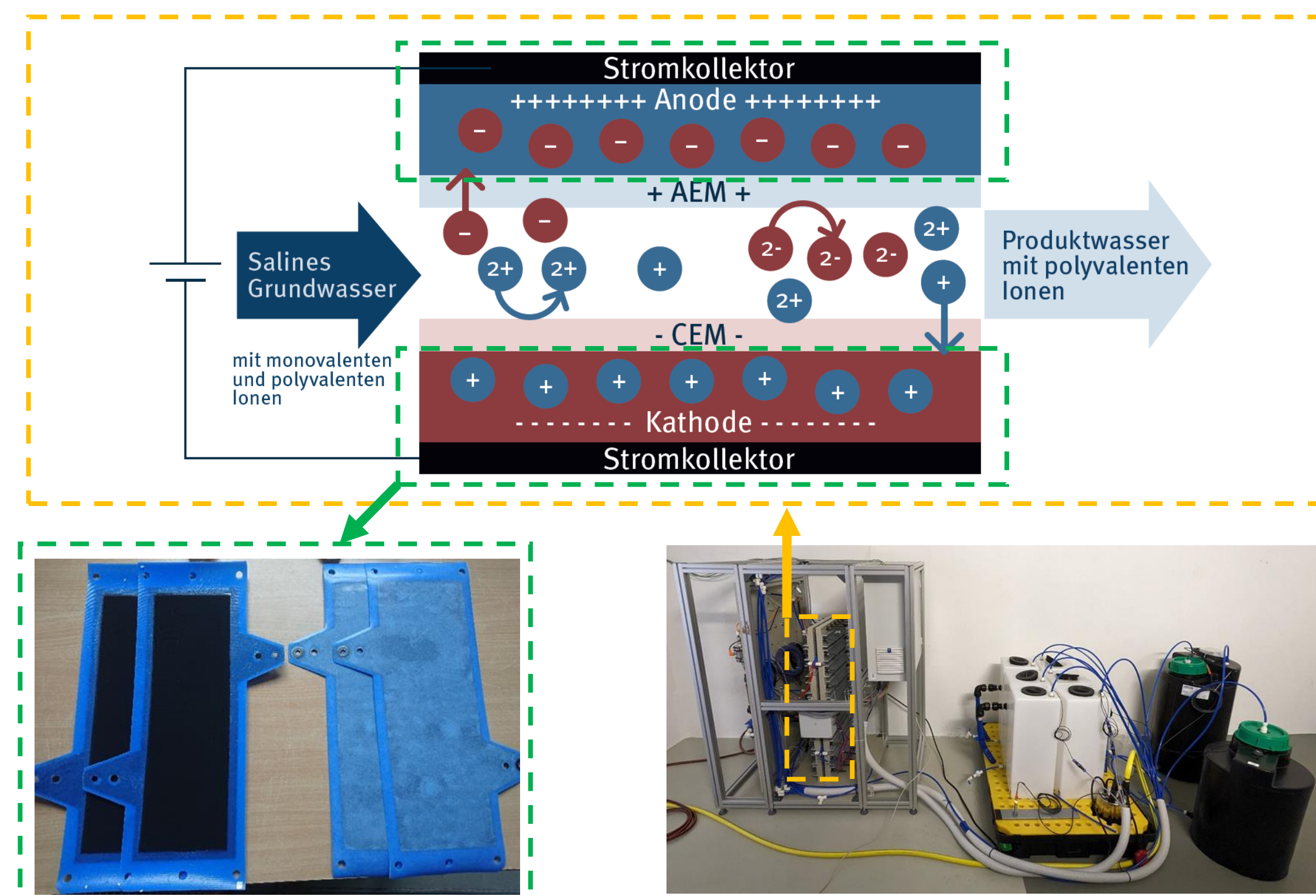


Abb.1 oben: Funktionsweise der mMCDI¹; links unten: Elektroden der DEUKUM GmbH; rechts unten: Pilotanlage der DEUKUM GmbH & elkoplan staiger GmbH

Modellierung

Begleitet wurden die Labor- und Pilotversuche durch CFD Modellierungen mit der Software ANSYS, um den Anlagenbau beim Design der Zelle zu unterstützen und verschiedene Betriebszustände zu simulieren. Für die Strömungssimulation wurde der Fließkanal innerhalb einer Zelle betrachtet und mit verschiedenen Ansätzen vereinfacht. Der Fließkanal und damit die einzelnen Filamente des Spacers wurden durch einen porösen Körper abstrahiert, wodurch Druckverluste simuliert werden können ohne die vollständige Geometrie auflösen zu müssen.

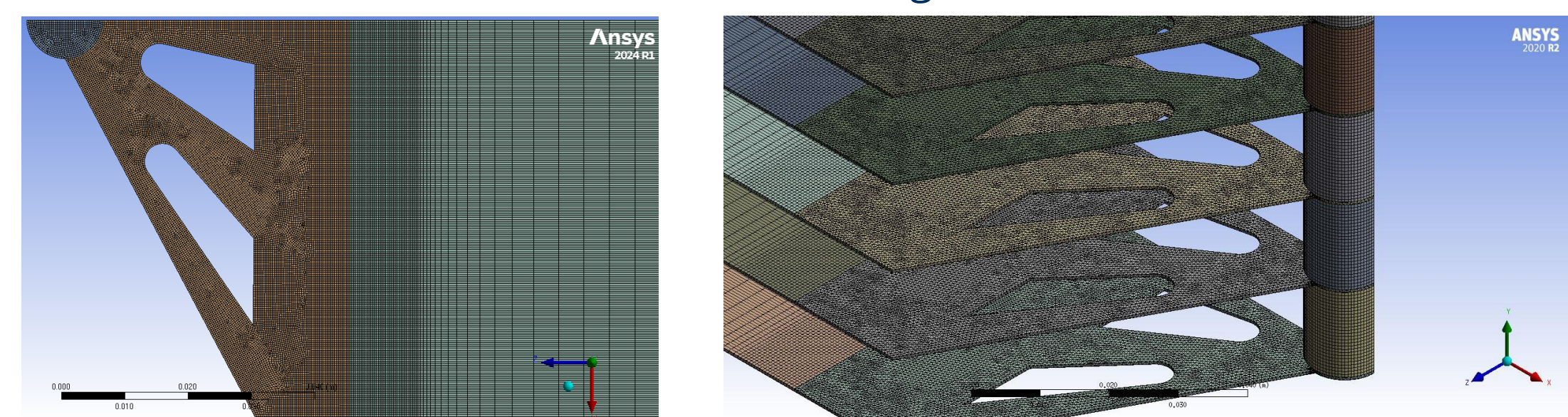


Abb.3 links: Rechenetz im Einlaufbereich einer Zelle in der Draufsicht; rechts: Rechenetz im Stack aus mehreren Zellen

Die Kalibrierung erfolgte anhand von Experimenten zum Druckverlust bei verschiedenen Durchflüssen und Simulationen von Ausschnitten des Spacers. Das Strömungsmodell ermöglichte eine Optimierung der Einlaufgeometrie (Reduzierung des Druckverlust um über 20 %) und zeigte eine gleichmäßige Strömungsverteilung innerhalb des Spacers. Die Strömungsverteilung innerhalb der Zellen wurde mit optischen Tracern erfasst, wobei sich unter verschiedenen getesteten Tracern Tinte als am besten geeignet gezeigt hat. Im Labormaßstab wurde eine vollständige Durchströmung der Zelle ermittelt, allerdings zeigten sich für die Pilotzelle im Randbereich einige stagnierende Bereiche.

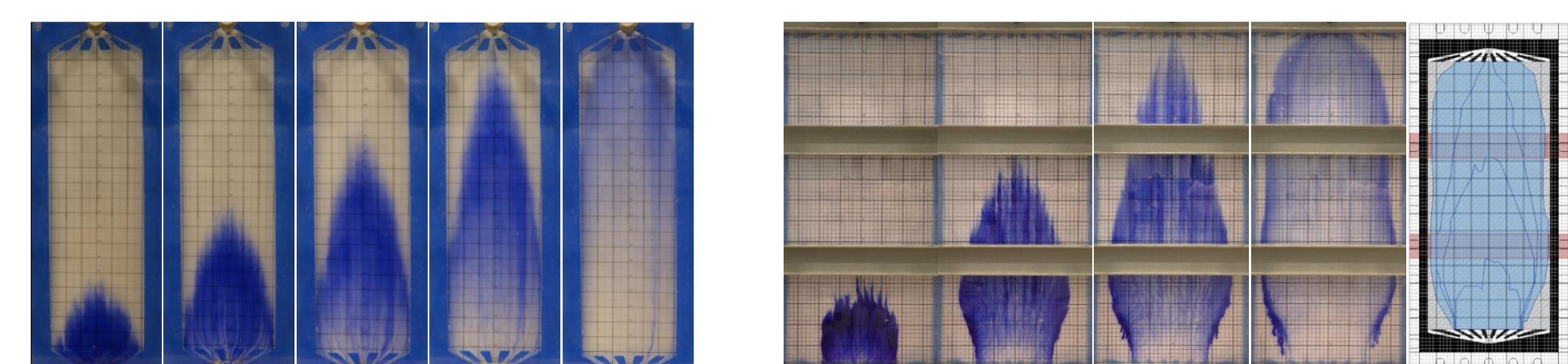


Abb.4 Tintentracer in der Laborzelle (links) und Pilotzelle (rechts) zu verschiedenen Zeitpunkten nach Aufgabe des Tracers

Zur Simulation der elektrochemischen Entzsalzung wurde eine Methodik zur Ermittlung der Ablaufkonzentration anhand gemessener Leitfähigkeiten und dem pH-Wert als experimentelle Datengrundlage implementiert. Das Guoy-Chapman-Stern Modell, womit Ionenkonzentrationen an Grenzflächen beschrieben werden, konnte als User Defined Function integriert werden.

Mit dem entwickelten Strömungsmodell können zukünftige Zellgeometrien im Hinblick auf Druckverluste und Strömungsverteilung bewertet und optimiert werden. Für die Modellierung von Transportprozessen in Multi-Ionen-Lösungen zur Simulation der Entzsalzung realer Wässern ist aufgrund der komplexen Interaktionen von verschiedenen Ionenarten weitere Forschungsarbeit notwendig.

