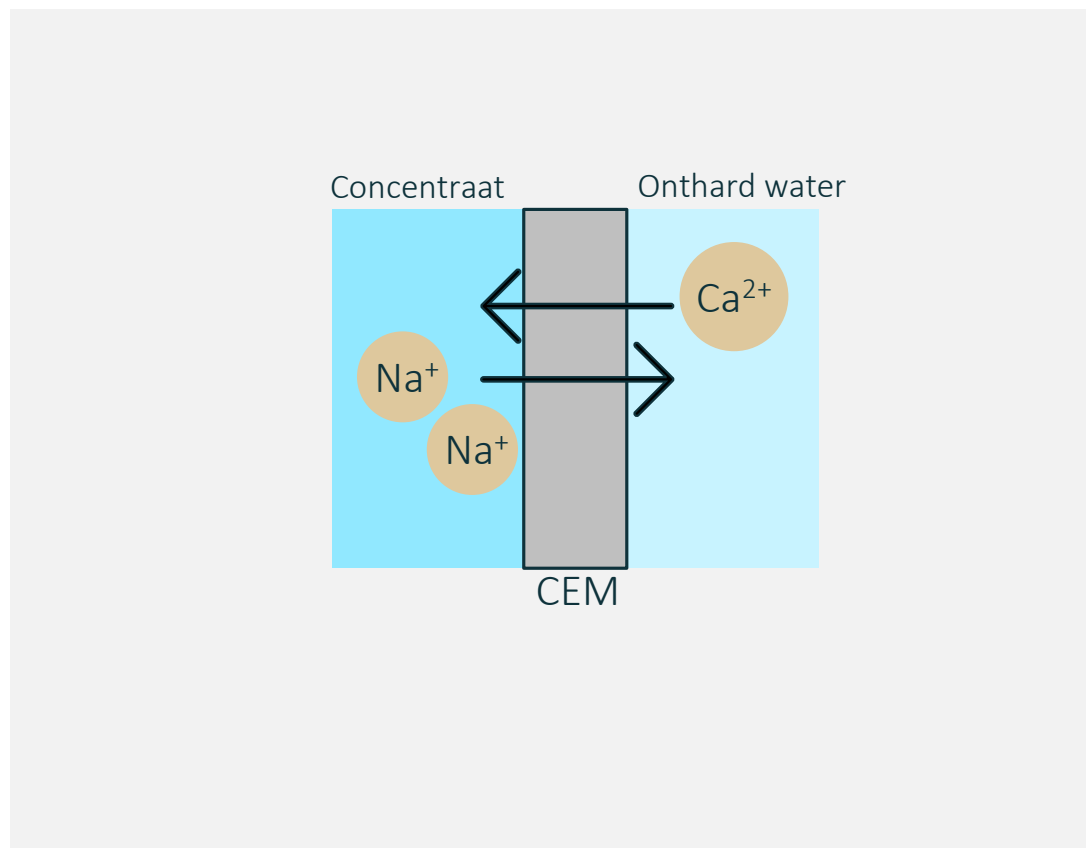




Trendalert Donnan Dialyse

Samenvatting

Donnan Dialyse (DD) is een recent opkomende technologie die mogelijkheden biedt voor de (drink)watersector voor hergebruik van mineralen (ionen). Het is een selectieve ionenwisseltechnologie op basis van ionenwisselmembranen. Deze technologie wordt vergeleken met andere ion-selectieve scheidingstechnologie zoals NF, IEX en ED op selectiviteit, productiviteit en TRL niveau. Een aantal relevante DD applicaties worden besproken zoals RO concentraat hergebruik en NH₄ verwijdering, waarin deze technologie veelbelovend lijkt op lab-schaal. Echter, DD is nog beperkt inzetbaar door relatief dure technologie gebaseerd op ED systemen. Mogelijk dat kosten-efficiëntere systemen (bv. spiraal-gewonden of holle vezels) hier mogelijkheden kunnen bieden.



Deze trendalert gaat over Donnan dialyse – een selectieve ionenwisseltechnologie.

Consequenties voor u

	Laag	Middel	Hoog	Beknopte uitleg
Impact				
Zekerheid				



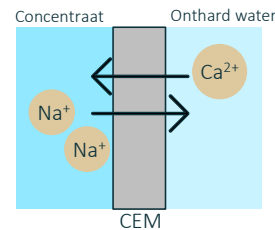
Trendbeschrijving en achtergrond

In de laatste jaren is er een ontwikkeling gaande om nutriënten en mineralen in reststromen van waterzuiveringstechnieken geschikt te maken voor hergebruik in plaats van het als afvalstroom af te voeren. Daarvoor wordt gebruik gemaakt van verschillende technologieën die deze stoffen op ion-niveau kunnen scheiden. Deze trendalert gaat over Donnan Dialyse, een opkomend alternatief voor bestaande ion-selectieve scheidingen.

Wat is Donnan Dialyse?

Donnan Dialyse (DD) is een technologie waarbij continue ionen-wisseling plaats vindt, door middel van ionen-wisselmembranen. Deze membranen worden ook toegepast in elektrolyse (ED) om waterstromen te ontzouten en/of zoute stromen verder te concentreren. Donnan dialyse werkt niet met een opgelegd elektrisch potentiaal (zoals bij ED), maar werkt op basis van concentratieverschillen (vergelijkbaar met FO (forward osmose)). De stroom met de te behandelen ionen wordt via een membraan in contact gebracht met een concentraatstroom waaruit ionen worden uitgewisseld. Een voorbeeld van Donnan Dialyse is het ontharden van een te behandelen voedingsstroom door deze in contact te brengen met een concentraatstroom die rijk is aan enkelwaardige zouten (bv. NaCl). Op deze manier worden Ca^{2+} uitgewisseld voor 2 Na^{+} (om

elektroneutraliteit te behouden) en wordt het water onthard.

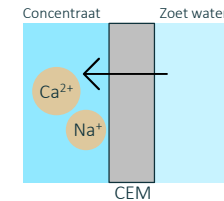


Het Donnan evenwicht geeft inzicht in welke ionen welke richting op transporteren, en kan een goede inschatting geven van de toepasbaarheid (Chen, H., et al. (2023).)

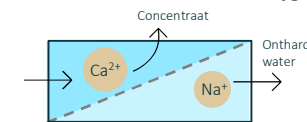
$$\left(\frac{[Ca]_{Draw}^{2+}}{[Ca]_{Feed}^{2+}}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{[Na]_{Draw}^{+}}{[Na]_{Feed}^{+}}\right)^{\frac{1}{1}}$$

Hoe verhoudt DD zich tot andere processen die op ion-niveau scheiden (zoals NF, IEX, ED)?

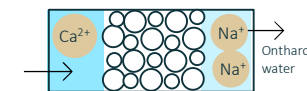
Elektrodialyse (ED) transporteert alle ionen naar de concentraatstroom, onder invloed van aangelegd elektrisch veld. Selectieve verwijdering is mogelijk door selectieve membranen te gebruiken, bijvoorbeeld membranen die alleen monovalente ionen doorlaten, en daardoor hardheid in het te behandelen water laten zitten. Goed voorbeeld hiervan is het selectief verwijderen van natriumchloride uit gietwater in kassen.



Nanofiltratie (NF) is een druk-gedreven membraanproces, waarbij organische stoffen en divalente ionen tegen worden gehouden door het membraan, en water met monovalente zouten (en eventueel kleine organische moleculen) door het membraan kan. Een voorbeeld van zo'n applicatie is ruw water filteren en tegelijkertijd ontharden, waardoor je zacht en zuiver water krijgt.



Als laatst, is ionenwisseling (IEX) ook een sterk vergelijkbaar proces met DD. Bij ion exchange gebruik je een hars (vaak van hetzelfde type materiaal als de membranen die voor DD en ED worden gebruikt) om bepaalde ionen uit te wisselen voor andere ionen in een kolom. Voorbeeld hiervan is calcium vervangen door natrium om zacht water te maken.





Het verschil van Donnan Dialyse met deze technieken is dat je een unieke scheiding mogelijk maakt door selectief multivalente ionen uit te wisselen. Monovalente ionen (zeker als die hetzelfde zijn als in het concentraat) en andere / grotere organische componenten (mogelijk resulterend in vervuiling) worden niet uitgewisseld (zoals bij NF wel het geval is). Echter, de productiviteit van Donnan Dialyse (~1 mol/m²h; Zwijnenberg, H. J., et al. (2023).) is typisch een factor 100 lager dan bijvoorbeeld van Elektrodialyse (~100 mol/m²h; Doornbusch, G. J. (2020)).

Voor welke drinkwater-applicaties kan men Donnan Dialyse overwegen?

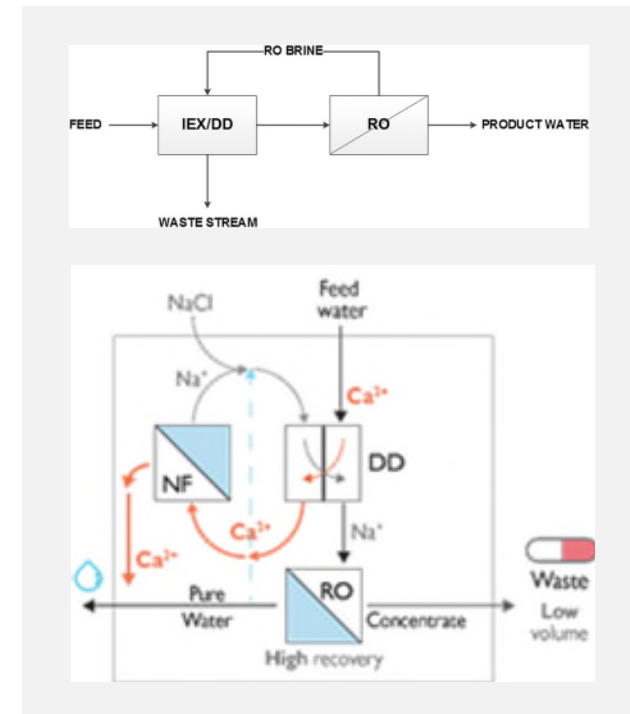
Donnan Dialyse heeft een draw-stroom met hogere zoutconcentraties nodig om ionen te kunnen uitwisselen, daarom wordt er vaak een koppeling gezocht met RO, waar een (zoute) concentraat-stroom kan worden ingezet. Er is gekeken naar het inzetten van RO concentraat om de hardheid (Ca²⁺/Mg²⁺) van RO voedingswater te verlagen, en daardoor de recovery van de RO verder te verhogen door Vanoppen, M., et al. (2015). Hiervoor wordt naast DD ook IEX bekeken als onthardings-stap voor de RO. Zowel bij ontharden met IEX als DD kon de recovery van de RO worden verhoogd naar >90%. Afhankelijk van de brijn afvoerkosten, kunnen de totale kosten worden gereduceerd. Wel zagen de onderzoekers een probleem dat Donnan Dialyse systemen een factor 10 duurder zijn dan de RO per m² membraan.

Een recenter patent van Rijnaarts, T. et al.. (2019) heeft het ontharden van RO voedingswater nog verder doorgevoerd, door Ca²⁺/Mg²⁺ met NF weer terug te winnen om het RO permeaat te remineraliseren. Hiervan wordt gebruik gemaakt van het feit dat het kation uitwissel membraan alleen (positieve) kationen uitwisselt (calcium en magnesium maar ook ijzer en ammonium), en geen negatieve microverontreinigingen uitwisselt.

Uit het patent blijkt dat ze batch-gewijs grondwater voor 75% konden ontharden, met een membraanproductiviteit van 60 m²s/L, wat gelijk staat aan 60 L/m²h (vergelijkbaar met NF). Deze technologie bevindt zich echter nog op labschaal en is middels een NWO-Demonstrator op pilotschaal getest.

Een andere applicatie die recent is onderzocht, is de selectieve terugwinning van NH₄⁺ door Donnan Dialyse door Zwijnenberg, H. J., et al. (2023). De auteurs hebben hier ook gekeken naar alternatieve membraan-geometrieën en hebben dit proces met commerciële holle vezel kation uitwissel membranen uitgevoerd. Zij konden 20 mM NH₄⁺ met ongeveer 1 mol/m²h uitwisselen met Na⁺. Dit geeft mogelijkheden om lastig te verwijderen ionen als NH₄ selectief uit te wisselen. Wel hebben auteurs hier alleen met gesimuleerd water gewerkt, en nog niet gekeken naar echte waterstromen met andere aanwezige zouten welke het uitwisselproces kunnen verstoren.

Ook voor microverontreinigingen die als anionen aanwezig zijn, is het mogelijk om Donnan Dialyse toe te passen. Voorbeelden die gegeven worden door Chen et al. zijn onder andere chloraat/bromaat en nitraat verwijderingen. Enige aanpassing aan het proces is dat een anion wisselmembraan wordt toegepast en dat het anion uit de concentraat-stroom wordt uitgewisseld (vaak chloride of bicarbonaat).





Wat zijn de beperking van de technologie?

Aan Donnan Dialyse kleven ook een aantal nadelen en beperkingen, waardoor er nog nauwelijks praktische toepassingen zijn. Er zijn weinig technologie-leveranciers die DD in hun portfolio hebben en zijn het momenteel enkele ED leveranciers die ook een niche voor DD proberen te bedienen. Dit betekent dat deze (vaak ED-gebaseerde) systemen nogal prijzig zijn momenteel (~1000 € / m² membraanoppervlak met huidige plate & frame modules). Om module kosten te reduceren zijn er ontwikkelingen om spiraal-gewonden (Donnan/diffusie) dialyse modules te maken, maar deze modules zijn voornamelijk ontwikkeld voor zuur terugwinnen uit reststromen. Er zijn testen gedaan met sulfaat/chloride-uitwisseling dat dichterbij de buurt komt van genoemde DD-toepassingen. Echter, hier liggen kansen om (mogelijk samen met technologie-leveranciers) kosten-efficiëntere modules te ontwikkelen voor DD toepassingen.

Ook is er beperkte controle over het uitwisselingsproces (in tegenstelling tot ED en NF waar je de recovery kan sturen), en kan men enkel de concentraatkeuze (type en concentratie zouten) en verblijftijden in het systeem variëren (om de mate van uitwisseling te bepalen). Verder is het ook mogelijk om monovalent-selectieve membranen in te zetten (om bijvoorbeeld NH₄⁺ uit te wisselen met Na⁺), echter deze speciale membranen maken de toch al hoge membraankosten nog wat hoger door het aanbrengen van een extra selectieve laag.

Verder is er nog weinig bekend over transport door deze membranen van opkomende microverontreinigingen. Eerste studies (Roman, M., et al. (2020)) laten zien dat vooral kleine geladen microverontreinigingen mogelijk ook tegen hun concentratiegradiënt in bewegen, zeker als ze sterk geladen zijn als functie van pH. Wel is in eerdere studies gezien dat andere ongewenste ionen ook uitgewisseld kunnen worden (bij het uitwisselen van calcium/magnesium werden ook andere kationen zoals ijzer aangetroffen).

Samengevat kan gesteld worden dat het een interessante technologie is, die complementair kan zijn aan andere ion-selectieve scheidingstechnologie zoals ion exchange, nanofiltratie en elektrolyse. Zeker slimme synergiën zoals het ontharden van RO voedingswater middels DD of het specifiek verwijderen van NH₄ kunnen interessante toepassingen zijn. Echter, momenteel zijn er nog weinig industriële spelers op de markt die specifieke en geoptimaliseerde membranen en systemen maken voor deze technologie, waardoor men momenteel beperkt is tot enkele ED leveranciers met bijbehorende hoge CAPEX technologie. Daarnaast is de invloed van (micro-)verontreinigingen voor specifieke toepassingen nog niet goed onderzocht.

Meer informatie

- Chen, H., et al. (2023). "Recent advances in Donnan dialysis processes for water/wastewater treatment and

resource recovery: A critical review." Chemical Engineering Journal **455**: 140522.

- Zwijnenberg, H. J., et al. (2023). "Transport characterization and modelling of Donnan dialysis for ammonium recovery from aqueous solutions." Journal of Membrane Science **674**: 121496.
- Doornbusch, G. J. (2020). Seawater desalination using multistage electro dialysis: upscaling from artificial salt solutions to natural seawater desalination. Eindhoven, Technische Universiteit Eindhoven.
- Rijnaarts, T. et al. (2019). Method for the production of drinking water. WO2020067893A1
- Vanoppen, M., et al. (2015). "Increasing RO efficiency by chemical-free ion-exchange and Donnan dialysis: Principles and practical implications." Water Research **80**: 59-70.
- Roman, M., et al. (2020). "Effect of pH on the transport and adsorption of organic micropollutants in ion-exchange membranes in electro dialysis-based desalination." Separation and Purification Technology **252**: 117487
- <https://www.utwente.nl/en/tnw/news/2020/12/896481/funding-awarded-to-doremi-project#connecting-and-strengthening>
- <https://www.spiraltecgbmh.com/en/product/wd-module-for-diffusion-dialysis.html>.

Keywords

Donnan Dialyse, Hardheid, Ammonium, selectieve ontzouting