

Marie Claußen und Saskia Bültena

Blue Energy

Einleitung

Klimawandel und CO₂-Ausstoß sind zwei eng miteinander verknüpfte aktuelle Themen. Auch wenn das Jahr 2020 durch die Corona-Pandemie einen positiven Effekt auf den weltweiten CO₂-Ausstoß gezeigt hat, ist die Temperatur vergleichsweise zur Durchschnittstemperatur des vorindustriellen Zeitalters bisweilen um 1,2 °C angestiegen. [1] Der CO₂-Ausstoß muss gesenkt werden, um die erklärten Ziele des Pariser Klimaschutzabkommens zu erreichen. Diese sehen unter anderem eine Limitierung der Erderwärmung auf 1,5 °C vergleichsweise zum vorindustriellen Zeitalter vor. Diese gesetzte Grenze kann die Auswirkungen auf den Klimawandel, die Risiken und Konsequenzen deutlich reduzieren. [2] Dabei wird vermehrt auf eine umweltfreundliche Energiegewinnung gesetzt. So hat sich die Bundesregierung von Deutschland darauf geeinigt, den Anteil an erneuerbaren Energien am Gesamtstrom etappenweise bis 2050 auf 80% zu erhöhen und somit die Energieproduktion durch fossile Brennstoffe abzubauen. [3] Neben dem Rückgang der Energiegewinnung aus fossilen Brennstoffen wurde ebenfalls der Ausstieg aus der Atomenergie im Jahr 2011 beschlossen. [4] Um diese Lücken zu schließen, wird vermehrt auf umweltfreundliche Alternativen gesetzt. [3] Im Jahr 2014 lag dabei der Anteil bei der Stromerzeugung durch erneuerbare Energien gerade einmal bei 25,8%. Der Großteil des Stroms wurde durch fossile Brennstoffe und Kernenergie erzeugt. Davon wurden 18,0% durch Steinkohle, 25,5% durch Braunkohle und 9,6% aus Erdgas produziert. 15,9% wurden durch Kernenergie und 5,1% aus Heizöl, Pumpspeicher und sonstige Kraftwerkstypen zur Verfügung gestellt. Hieran kann gezeigt werden, dass es unentbehrlich sein wird, an weiteren Formen der erneuerbaren Energieerzeugung zu arbeiten und zu forschen. Eine neue mögliche Art und Weise elektrische Energie aus umweltfreundlichen Quellen zu erzeugen, bilden Salzgradientenkraftwerke, welche unter dem Begriff der „Blue Energy“ [5] emissionsarm elektrische Energie produzieren.

Energiegewinnung beim Mischungsvorgang

Die Vermischung von salzreichem Wasser mit Wasser geringerer Salzkonzentration ist ein exergonischer Vorgang. [6] Das bedeutet, der Vorgang findet freiwillig statt und es wird

dabei Energie frei. Die freiwerdende Energiemenge ist dabei abhängig von den Salzkonzentrationen der Lösungen. Bei einem Konzentrationsverhältnis von etwa 1,5 kann ein Maximum in der freiwerdenden Energiemenge beim Vermischen der verschiedenen konzentrierten Lösungen beobachtet werden. Bei diesem Mischungsverhältnis wird etwa eine Energiemenge von 1,9 MJ bei einem Gesamtvolumen von 2 m³ frei. Wird dagegen der Mischungsvorgang von Meerwasser mit Flusswasser betrachtet, weicht die freiwerdende Energiemenge, die beim Mischen erhalten werden kann, von diesem Maximum ab. Das Meereswasser hat eine Salzkonzentration von etwa 0,6 M, das Flusswasser etwa von 0,01 M. Bei dem Mischvorgang von je 1 m³ Meerwasser und Flusswasser wird bei einer Temperatur von 20 °C etwa eine Energiemenge von 1,8 MJ frei.

Osmosekraftwerke

Osmosekraftwerke machen sich die besonderen Eigenschaften der Osmose zu Nutze und werden auch als Salzgradientenkraftwerke bezeichnet. [3] Ein salzhaltiges Wasserreservoir und ein Süßwasserreservoir stehen durch eine halbdurchlässige Membran miteinander in Kontakt. Durch den Vorgang der Osmose erfolgt ein Konzentrationsausgleich in den beiden räumlich voneinander getrennten Wasserreservoirs. Die semipermeable Membran kann dabei Wassermolekülen den Durchtritt durch diese Membran in die andere Kammer ermöglichen, Salz-Ionen werden jedoch zurückgehalten. Da auf beiden Seiten der Membran die Salzkonzentrationen unterschiedlich hoch sind, gelangen die Wassermoleküle schließlich durch osmotische Prozesse von der Kammer mit der geringer konzentrierten Lösung in die Kammer mit der hochkonzentrierten Salzlösung, wodurch sich der Druck in dieser Kammer unter gleichzeitiger Verdünnung der Lösung erhöht. Dieser erhöhte Druck kann über eine Turbine in elektrische Energie umgewandelt werden.

Druckreduzierte Osmosekraftwerke (PRO)

Bei einer druckreduzierten Osmoseanlage (pressure-retarded osmotic power plant, PRO-Anlage) liegen zunächst zwei getrennte Wasserreservoirs vor, ein Süßwasserreservoir und ein Salzwasserreservoir. [7] Diese Wasserreservoirs sind mit einer Kammer verbunden. In dieser Kammer liegen Süß- und Salzwasser durch eine semipermeable Membran räumlich voneinander getrennt vor. Auf der Seite, welche eine erhöhte Salzkonzentration aufweist, liegt durch osmotische Prozesse ein erhöhter Druck vor. Mit dieser Kammer ist eine Turbine verbunden, welche den elektrischen Strom erzeugt.

Saskia Bültena, Marie Claußen
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Institut für Chemie
Carl von Ossietzky Str. 9-11, 26129 Oldenburg
Saskia.Bueltena@uni-oldenburg.de
Marie.Claussen@uni-oldenburg.de
DOI-Nr.: 10.26125/ngdb-d130

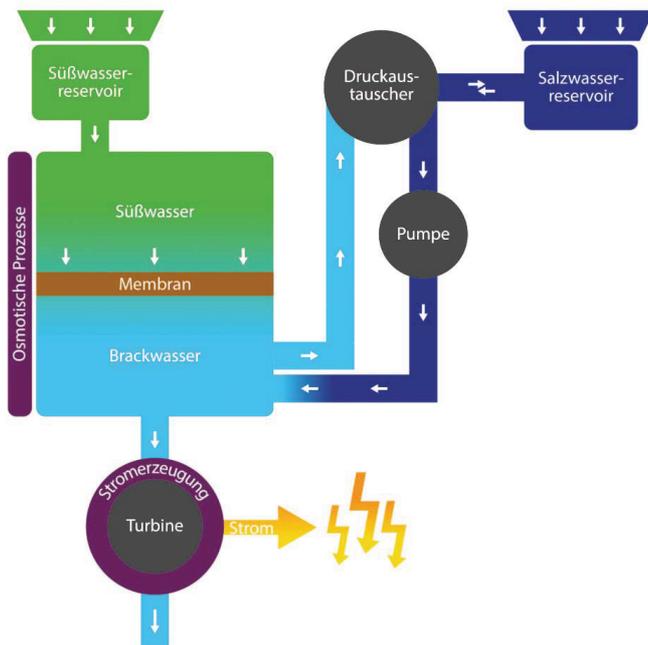


Abb. 1: Schematischer Aufbau einer PRO.

Abbildung 1 zeigt schematisch den Wasserverlauf in einer PRO-Anlage. Die Turbine wird durch den Fluss des Brackwassers auf Grund des erhöhten Drucks betrieben. Bei diesem Vorgang wird der Brackwasserkammer Volumen entzogen. Dieser Volumenverlust muss durch eine Frischwasserquelle ausgeglichen werden. Diese Frischwasserquelle weist eine andere, geringere Salzkonzentration im Vergleich zur Brackwasserkammer auf, was zu einer Verdünnung führen würde. Es ist jedoch unentbehrlich, dass bei einer PRO-Anlage die Salzkonzentration in der Brackwasserkammer konstant gehalten wird und am besten die Salzkonzentration erreicht wird, welche im Salzwasserreservoir vorliegt. Andernfalls würde durch eine Erniedrigung der Salzkonzentration in dieser Kammer die maximal erreichbare Stromausbeute verringert werden. Um das zu erreichen, wird ein Druckaustauscher verwendet. Dieser ermöglicht es, Wassermengen, die verschiedene Drücke besitzen, miteinander auszutauschen. Dazu wird ein Teil des Brackwassers durch eine ungefähr gleich große Menge an Salzwasser ausgewechselt und das ausgetauschte Volumen gegen die Arbeitsrichtung in die Brackwasserkammer gepumpt.

Ein erster Prototyp einer solchen Anlage wurde 2009 in Norwegen von der Firma Statkraft in Betrieb genommen. [7] Das Salzwasserreservoir wird dabei durch eine Verbindung zum Oslofjord hergestellt. [8] Die Süßwasserquelle bildet eine Verbindung zu einem angrenzenden Fluss. Aufgrund der Druck-erhöhung durch die osmotischen Prozesse auf Seiten der Salzwasserskammer, kann eine Turbine zur Stromerzeugung angetrieben werden.

Im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energiequellen liegt ein großer Vorteil dieses Kraftwerktyps insbesondere in der unabhängigen Arbeitsweise. [9] Im Gegensatz zu vielen erneuerbaren Energiequellen können Osmosekraftwerke theoretisch unabhängig von Tageszeit und Wetterbedingungen akkurat Strom liefern. Die Arbeitsweisen dieser Anlagen sind zudem

chemikalien- und geräuscharm. [10] Des Weiteren werden während des Betriebs keine Treibhausgase produziert. Ein weiterer großer Vorteil ist die Lage vieler großer Städte, die häufig an Flussmündungen zum Meer liegen. [9] Dadurch kann der Strom in der Nähe der Verbraucher erzeugt werden.

Schätzungsweise kann dieser Anlagentyp weltweit 1.600 – 1.700 Terawattstunden pro Jahr liefern, wenn alle geeigneten Flüsse bei dieser Kalkulation berücksichtigt werden. [8] Mit 1.600 Terawattstunden lässt sich in etwa die Hälfte des Stromverbrauches in der EU kompensieren. [9]

Jedoch muss auf Grund der empfindlichen Membranen ein erheblicher und energieintensiver Mehraufwand zur Vorbehandlung des verwendeten Wassers betrieben werden. [8] Das Wasser muss frei von Schmutzpartikeln sein, da diese die verwendeten Membranen beschädigen können. Bei den verwendeten Membranen im Rahmen des Projektes von Statkraft handelt es sich um speziell vom Institut für Polymerforschung im GKSS-Forschungszentrum mit Sitz in Geesthacht entwickelte Kunststoffmembranen, welche eine Dicke von 0,1 µm aufweisen. Je dünner eine Membran hergestellt werden kann, desto größer ist der Wasserdurchfluss. Mit Hilfe dieser speziellen, sehr dünnen Membranen kann eine Leistung von bis zu 3 W/m² erhalten werden.

Dennoch scheiterte dieses erste Projekt 2013 unter anderem an der gewünschten Konkurrenzfähigkeit in einer voraussehbaren Zeit. [9] Die verwendeten Membranen waren derzeit zu kostenintensiv und ineffizient, so dass dieses Kraftwerk mit anderen Stromerzeugern nicht mithalten konnte und letztendlich vom Netz genommen wurde.

Die Forschung lässt sich davon aber nicht entmutigen und erforscht dennoch weiterhin neue Materialien und Techniken im Rahmen der Membranentwicklungen. [8] Ein Beispiel hierfür ist die Dünnschicht-Kompositmembran (thin-film composite membrane, TFC-Membran). Dabei werden auf ein Polyesteruntergrundmaterial poröse Schichten aus verschiedenen Kunststoffen aufgetragen, welche schließlich von einem Polyamid bedeckt werden, um undurchdringlich für Salze zu werden.

Umgekehrte Elektrodialyse (RED)

Eine weitere Methode aus der Gradienten-Energie Strom zu erzeugen, ist die umgekehrte Elektrodialyse. In Abbildung 2 wird eine schematische Darstellung des Verfahrens aufgezeigt.

Meerwasser und Flusswasser werden in verschiedene Zwischenräume der Zelle geleitet, die durch zwei verschiedene Membranen voneinander getrennt sind. [6] Als Membranen werden Kationenaustauschermembranen (CEM) und Anionenaustauschermembranen (AEM) verwendet, die jeweils nur für Kationen (Na⁺) oder Anionen (Cl⁻) durchlässig sind. Die Ionen streben einen Konzentrationsausgleich durch Osmose an. Dabei bewegen sich die Na-Kationen durch die CEM in Richtung zur negativ geladenen Kathode und die Cl-Anionen durch die AEM in die entgegengesetzte Richtung zur positiv geladenen Anode. An den Enden der Membranstapel befinden sich Elek-

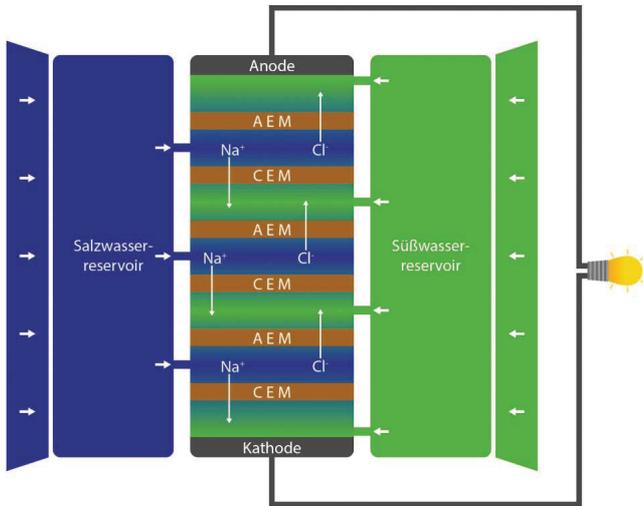


Abb. 2: Schematische Darstellung der Funktionsweise der umgekehrten Elektrodialyse.

troden, die den Ionenfluss durch Redoxreaktionen in elektrische Energie umwandeln.

2014 wurde ein niederländisches Kraftwerk am Abschlussdeich gebaut, das nach dem Prinzip der umgekehrten Elektrodialyse (reverse electrodialysis power plant, RED-Kraftwerk) arbeitet. [11] Der Abschlussdeich trennt die salzhaltige Nordsee von dem salzarmen Binnengewässer IJsselmeer. Das Kraftwerk nutzt den Konzentrationsunterschied an Salz in den Gewässern und erzeugt pro 1 m^3 Meerwasser und 1 m^3 Binnenmeerwasser Energie von etwa 1 MW. In einer Stunde produziert das Kraftwerk etwa 50 kW Energie. Diese Energieform könnte am Abschlussdeich etwa 50.000 Haushalte in der Zukunft mit Strom versorgen.

Neben dem Pilot-Projekt in den Niederlanden gibt es noch weitere Projekte, z.B. in Italien. [12] Dort werden Versuche durchgeführt, um aus Sole und Meerwasser Strom zu erzeugen.

„Accumulator Mixing“

Eine dritte Methode, um aus dem Salzgradienten Strom zu generieren, ist das „Accumulator Mixing“. [13] Dieses Verfahren findet in einer elektrochemischen Zelle statt. Die Zelle besteht aus zwei Elektroden, die in eine Lösung eintauchen. Durch abwechselndes Einfüllen von Meerwasser und Süßwasser werden die Elektroden durch den Ionenfluss der im hochkonzentrierten Meerwasser befindlichen Ionen geladen und entladen, da sich die Ionen aus dem hochkonzentrierten Meerwasser zunächst zu den Elektroden bewegen. Beim Einleiten des niedrig konzentrierten Süßwassers gehen diese Ionen wieder in Lösung. Durch diese Ionenbewegung entsteht ein Strom.

Membrantechnik

Um den größtmöglichen Energiegewinn mit den verwendeten Membranen zu erhalten, haben die Vorbehandlungsschritte des verwendeten Wassers eine enorme Bedeutung. [6]

Eventuell vorhandene Verunreinigungen können eine verminderte Energieausbeute und eine verkürzte Lebensdauer der verwendeten Membranen nach sich ziehen. Um dem entgegenzuwirken, wird das Wasser mit Hilfe vieler Filtrationschritte von Verschmutzungen befreit.

In Salzgradientenkraftwerken, besonders bei PRO-Kraftwerken, werden meist ähnliche Membranen verwendet, wie in Wasserentsalzungsanlagen. [6] Hierbei handelt es sich um Membranen, die im Grundgerüst eine asymmetrische Struktur mit zwei verschiedenen Schichten aufweisen. Asymmetrisch bedeutet in diesem Fall, dass der Durchmesser der Porengröße über die gesamte Dicke der Membran variieren kann. [14] Eine aktive dünne Schicht, dessen Dicke unter $1 \mu\text{m}$ liegt, verhindert das Durchtreten von Salzionen, während gleichzeitig der Wasserdurchfluss gewährleistet wird. [6] Diese wird mit einer porösen dickeren Schicht verbunden, welche für die Festigkeit bei den hohen Druckunterschieden auf beiden Seiten der Membran verantwortlich ist. Diese Schicht besteht meist aus Polymeren und hat eine Dicke von etwa 0,1 mm. Es folgt eine weitere, etwa gleich dicke Schicht aus einem Vlies, die für die nötige mechanische Festigkeit sorgt [6], eine gute Handhabbarkeit bietet und das Permeat, die Substanz, die die Membran passieren kann, schnell abführt [14].

Im Rahmen der Wasserentsalzungsanlagen gibt es zwei klassische Vertreter von Membranen, die auch für PRO-Anlagen Verwendung finden können: Membranen aus Cellulose-Acetat und aus aromatischen Polyamiden. [6] Allerdings muss dabei beachtet werden, dass diese Membranen im Rahmen der Umkehr-Osmose viel höheren Drücken bei der Wasserentsalzung standhalten müssen. Dieser Druckbereich wird im Rahmen der PRO über den osmotischen Druck nicht erreicht. Dieser Aspekt kann diese Membrane für PRO-Anlagen zum Teil ineffizient machen. Sie verhindern einen hohen Wasserdurchfluss im Rahmen der PRO und wirken somit einer möglichen Senkung der Anlagekosten entgegen. Zudem gibt es einen weiteren Membran Typen, welcher als Prototyp im Labor im Rahmen der PRO getestet wird: eine Dünnschicht-Kompositmembran (TFC-Membran).

Cellulose-Acetat

Die Cellulose-Acetat Membran ist eine der ersten Membranen, die im Rahmen von Umkehrosmose-Anlagen (reverse osmosis oder RO-Anlage) Verwendung fanden. [6] Diese werden in dünnen Schichten hergestellt und in Form von Spiralwickelmodulen in den Anlagen montiert. Zur Herstellung werden meist Phaseninversionsfällungsprozesse genutzt. [14] Sollten während des Herstellungsprozesses unerwünschte Defekte an der dichten Oberfläche auftreten, können diese mittels eines Wasserbads um 80°C behandelt werden.

Die Vorteile dieser Membranen liegen insbesondere in den geringen Anschaffungskosten, in der einfachen Verarbeitung des Cellulose-Acetats, in einer hohen Widerstandsfähigkeit des Materials gegenüber Oxidationsmitteln wie Chlor und Sauerstoff (bis zu einer Konzentration von 1 mg/L) [14] und in einer hohen Beständigkeit auch gegenüber verschmutztem Wasser [6].

Nachteilig ist jedoch, dass Cellulose-Acetat Membranen eine geringe Toleranz gegenüber erhöhten Temperaturen und erhöhten pH-Werten besitzen. [14] Sie können hydrolysiert werden und bieten keine gute Beständigkeit gegenüber Bakterien. Zudem besitzen diese Membranen eine vergleichsweise geringe Durchlässigkeit des Permeats, sowie eine geringe Widerstandsfähigkeit gegenüber organischen Lösungsmitteln. [6]

Aromatische Polyamide

Aromatische Polyamide werden in Hohlfasern hergestellt, welche einen sehr geringen Durchmesser aufweisen. [6] Dadurch können diese Membranen mit einem großen Verhältnis zwischen der Filter-Oberfläche und dem Modulvolumen hervorstechen. Membranen aus aromatischen Polyamiden zählen zu den Kompositmembranen. [14] Das bedeutet, dass dieser Typ von Membran mindestens zwei Lagen, bestehend aus unterschiedlichen Materialien, vorweisen kann. Die Herstellung erfolgt meist in situ über Grenzflächenpolymerisation. Dabei wird eine ca. 0,2 µm dünne Schicht von Polyamid erhalten. Ab dem Moment, wo sich diese Schicht ausgebildet hat, verhindert sie ihrerseits eine Verdickung der Schicht durch weitere Reaktionen in der Tiefe der Unterstruktur und ist während ihrer Herstellung selbstheilend gegenüber Defektstellen. Modifizierte aromatische Polyamide werden noch heute im großen Maßstab zur Wasserentsalzung verwendet.

Vorteile dieses Membrantyps liegen zum einen in einer großen mechanischen Festigkeit gegenüber der vorzufindenden Druckdifferenzen auf beiden Seiten der Membran während der osmotischen Prozesse. [6] Zudem zeigen aromatische Polyamide eine hohe Stabilität gegenüber erhöhten oder erniedrigten pH-Werten und Mikroorganismen. [14] Des Weiteren bieten sie eine gute Durchlässigkeit für Wasser und können in einem hohen Maß den Durchtritt von Salzen verhindern.

Nachteilig ist jedoch die mit einer Cellulose-Acetat Membran vergleichbar geringe Widerstandsfähigkeit gegenüber freiem Chlor oder Sauerstoff. Die fehlende Widerstandsfähigkeit gegenüber freiem Chlor stellt bei diesem Membrantypen gerade in der Vorbehandlung des Wassers ein Problem dar. Da es meist zu einer Desinfektion des Wassers durch NaOCl kommt, um Anlagenbestandteile vor der Besiedelung von Mikroorganismen zu schützen, werden weitere Behandlungsschritte nötig, bevor das Wasser die Membran erreichen kann, um das freie Chlor, meist mit Hilfe von Aktivkohle oder Na₂SO₃ wieder abzutrennen.

TFC-Membran

Die TFC-Membran zeichnet sich durch eine hohe Wasserdurchlässigkeit, einer langen Haltbarkeit und der Toleranz gegenüber einem weiten pH-Bereich aus. [15] Die Membran besteht aus einer porösen Polymerschicht (oft aus Polysulfon), auf der sich eine dünne, selektive Schicht aus Polyamid befindet. Die dünne, schwammartige Polyamid-Schicht weist eine geringe Salzpermeabilität auf, während die darunterliegende fingerartige Polysulfon-Schicht die Konzentrationspolarisation

verringert. Konzentrationspolarisation entsteht durch die Anreicherung der Stoffe (z.B. Salze), die nicht durch die Membran diffundieren können. [14] Dadurch wird der Stoffdurchfluss der diffundierenden Komponente vermindert. Durch das Vermindern der Konzentrationspolarisation kann die Stromdichte der Anlage erhöht werden.

Trotz der vielen oben genannten Vorteile, stellt die Anfälligkeit dieser Membran gegenüber Oxidationsmitteln und Chlor einen Nachteil des Membran-Typs dar. [15]

Fazit

Es existieren zurzeit verschiedene Ansätze, um aus Salzgradienten und osmotischen Prozessen im Rahmen der „Blue Energy“ Energie zu gewinnen. Jeder Ansatz weist dabei seine Vor- und Nachteile auf. Einige Verfahren wurden oder werden auf ihre Arbeitsweisen, ihre Wirtschaftlichkeit und weitere Faktoren geprüft. Gleichzeitig wird an ihnen immer weiter geforscht. Auch wenn die verschiedenen Verfahren hohe Kostenstellen aufweisen, so kann schlussendlich gezeigt werden, dass die „Blue Energy“ eine mögliche Alternative zu fossilen Brennstoffen und zur Atomkraft bilden kann.

Die Energiegewinnung aus Salzgradientenkraftwerken bzw. Osmosekraftwerken bietet dabei ein großes Feld an Möglichkeiten, unabhängig von Wetterlagen und Tageszeit Energie zu gewinnen und dabei als Grundlastkraftwerke zu fungieren. [9] Die Grundlast bezeichnet dabei den Anteil am Strombedarf, der permanent unabhängig von Leistungsspitzen verbraucht wird. [16] Dazu müssen Kraftwerke vorhanden sein, die kostengünstig, gleichmäßig und zuverlässig Strom produzieren, um diese Grundlast abzudecken. Zurzeit wird dieser permanente Strombedarf vor allem durch Atomkraftwerke, Braunkohle- und Wasserlaufkraftwerke kompensiert, aber auch Windenergieanlagen finden hier Verwendung.

Die „Blue Energy“ steckt dabei noch in den Kinderschuhen. Pilotprojekte wurden gestartet, abgebrochen und werden heutzutage noch durchgeführt. Insgesamt bietet dieser Bereich jedoch ein großes Potential, wenn weiter akribisch an Membranen geforscht wird, Techniken analysiert und Kosten gesenkt werden. Die Membranen sind ein Kernproblem der Technologie. Deshalb ist es ein essenzielles Ziel der Forschung, eine Membran zu entwerfen, deren Struktur einen hohen Wasserdurchfluss erlaubt, bei gleichzeitiger geringer Salzdurchlässigkeit, hoher chemischer Beständigkeit, hoher Langlebigkeit und geringen Produktionskosten. Diese Punkte zu vereinen ist ein zentraler Bestandteil, damit sich die „Blue Energy“ gegenüber den etablierten Kraftwerken durchsetzen kann, um somit auf längere Sicht Atomkraftwerke und Kraftwerke, die mit fossilen Brennstoffen arbeiten, vom Netz nehmen zu können.

Danksagung

Ein großes Dankeschön gilt dem Land Niedersachsen, das eine Finanzierung der Arbeit im Rahmen des „Projekt Innovation plus Nr. 143“ ermöglicht hat.

Literatur

- [1] [Online]. Available: <https://www.zdf.de/nachrichten/politik/umweltprogramm-klimawandel-treibhausgase-100.html>. [Zugriff am 28.12.2020, 14:02 Uhr].
- [2] [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_de. [Zugriff am 31.05.2021, 17:19 Uhr].
- [3] D. Schulz, Elektrische Energieversorgung in Handbuch Elektrotechnik: Grundlagen und Anwendungen für Elektrotechniker, W. Plaßmann und D. Schulz (Eds.), 7. neu bearbeitete Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2016, pp. 1009-1074.
- [4] [Online]. Available: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/bundesregierung-beschliesst-ausstieg-aus-der-kernkraft-bis-2022-457246>. [Zugriff am 23.02.2021, 14:19 Uhr].
- [5] K. Daejoong, K. Kilsung, H. K. Deok und L. Longnan, Energy Generation using Reverse Electrodialysis: Principles, Implementation, and Applications, Springer Nature Singapore Pte Ltd., Singapore, 2019, pp 1-2.
- [6] P. Chiesa, M. Asroli und A. Giuffrida, Blue Energy: Salinity Gradient for Energy Conversion in Process Intensification for Sustainable Energy Conversion, F. Gallucci und M. van Sint Annaland (Eds.), 1. Auflage, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, West Sussex, 2015, pp 267-298.
- [7] F. Dinger, T. Tröndle und U. Platt, „Optimization of the Energy Output of Osmotic Power Plants,“ *Journal of Renewable Energy* (Hindawi Publishing Corporation), vol. 2013, 2013, <https://doi.org/10.1155/2013/496768>.
- [8] [Online]. Available: https://www.deutschlandfunk.de/strom-aus-salz.676.de.html?dram:article_id=26958. [Zugriff am 31.01.2021, 16:49 Uhr].
- [9] [Online]. Available: https://www.deutschlandfunk.de/osmosekraftwerk-in-norwegen-die-idee-von-der-stromgewinnung.871.de.html?dram:article_id=464082. [Zugriff am 28.12.2020, 11:33 Uhr].
- [10] [Online]. Available: https://www.deutschlandfunk.de/osmosekraftwerk-strom-aus-salz-im-oslofjord.676.de.html?dram:article_id=310548. [Zugriff am 28.12.2020, 11:40 Uhr].
- [11] DutchWaterSector. [Online]. Available: <https://www.dutchwatersector.com/news/dutch-king-opens-worlds-first-red-power-plant-driven-on-fresh-salt-water-mixing>. [Zugriff am 17.12.2020].
- [12] J. Veerman und D. A. Vermaas, Reverse Electrodialysis: Fundamentals in Sustainable Energy from Salinity Gradients, A. Cipollina, G. Micale (Eds.), Elsevier Ltd., Amsterdam, 2016, pp 77-133.
- [13] F. La Mantia, D. Brogioli und M. Pasta, Capacitive mixing and mixing entropy battery in Sustainable Energy from Salinity Gradients, A. Cipollina, G. Micale (Eds.), Elsevier Ltd., Amsterdam, 2016, pp 181-218.
- [14] H. Brüscke und T. Melin, Membrantechnik in Fluidverfahrenstechnik: Grundlagen, Methodik, Technik, Praxis, R. Goedecke (Ed.), WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2006, pp 495-580.
- [15] P. S. Goh und A. F. Ismail, Flat-Sheet Membrane for Power Generation and Desalination based on Salinity Gradient in Membrane-Based Salinity Gradient Processes for Water Treatment and Power Generation, S. Sarp, N. Hilal (Eds.), Elsevier B.V., Amsterdam, 2018, pp 155-174.
- [16] [Online]. Available: https://www.wdr.de/tv/applications/fernsehen/wissen/quarks/pdf/Q_Strom.pdf. [Zugriff am 30.12.2020, 15:48 Uhr].

Marie Claußen

Marie Claußen wurde im Jahr 2000 in Delmenhorst geboren und hat 2018 ihr Abitur erlangt. Anschließend folgte ein freiwilliges ökologisches Jahr im Umweltzentrum in Oldenburg. Während des FÖJs wurde ihre Begeisterung für Umwelt und Naturwissenschaften geweckt, insbesondere für die Chemie. Sie ist ein zentraler Bestandteil für die Lösung zukünftiger Probleme. Deshalb fing sie 2019 ihr Chemiestudium an der Carl von Ossietzky Universität in Oldenburg an. Im Frühjahr dieses Jahres hat sie ihre Bachelorarbeit im Bereich der organischen Chemie begonnen.

Saskia Bültena

Saskia Bültena wurde 1998 in Weener geboren und hat 2016 ihr Abitur gemacht. Danach folgte eine dreijährige Ausbildung zur Industriekauffrau in Leer. Nachdem ihr Interesse für Chemie in der Oberstufe geweckt und ein erster Einblick vermittelt wurde, wie viel auf atomarer Ebene möglich sei, hat sie der Gedanke während der Ausbildung nicht losgelassen, es doch mit dem Chemiestudium zu versuchen. Schließlich hat sie 2019 ihr Studium an der Carl von Ossietzky Universität in Oldenburg aufgenommen.

Während des Studiums wurde der Artikel zur „Blue Energy“ im Rahmen einer Hausarbeit im Modul „Thermodynamik und Kinetik“ verfasst.