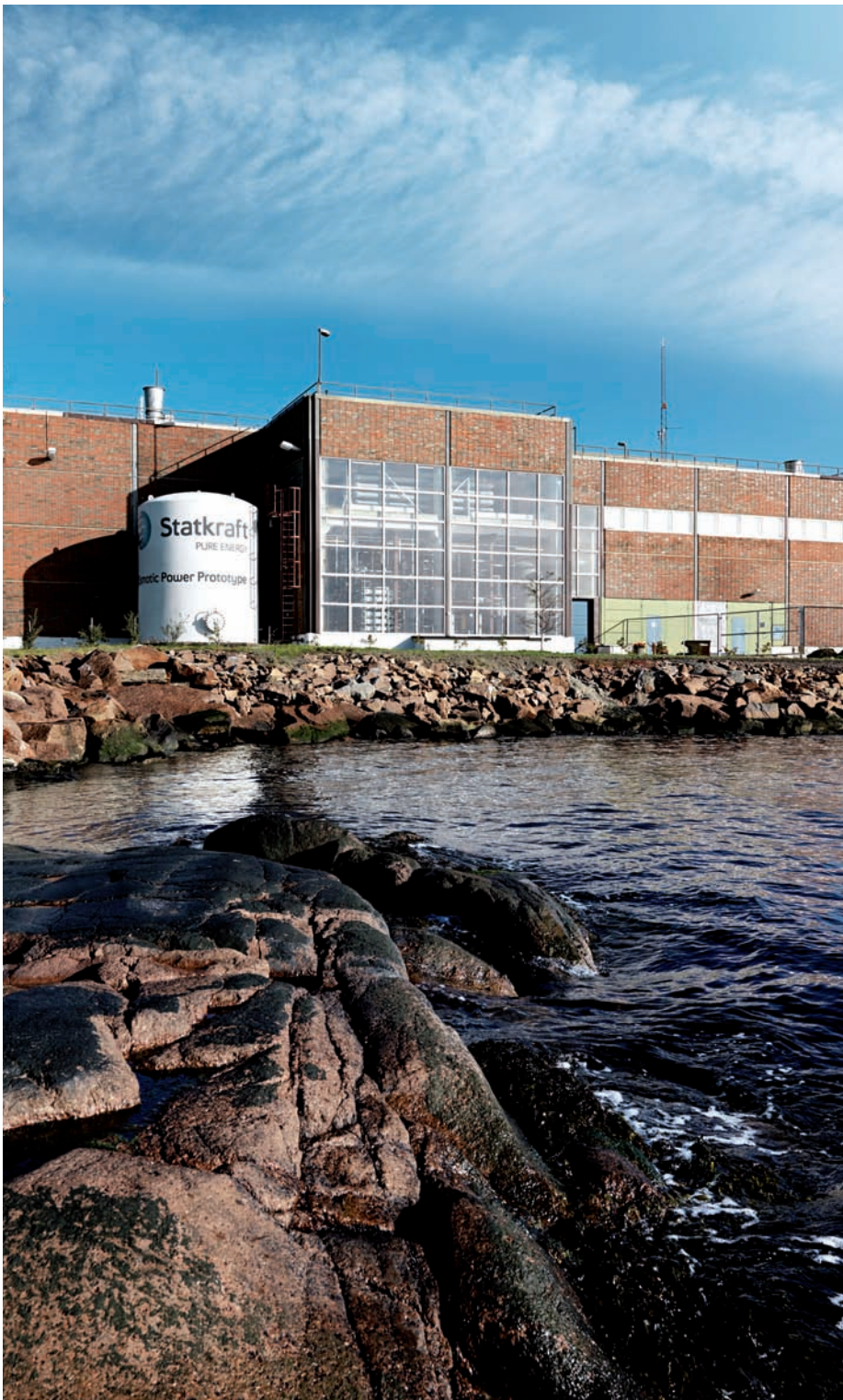


Osmosekraftwerke: Potentialanalyse  
für eine Zukunftstechnologie

## WELTWEIT DIE BESTEN PLÄTZE



Das erste Osmosekraftwerk weltweit steht an der Mündung eines Flusses, ungefähr 60 Kilometer von Oslo entfernt. Mette Marit, Norwegens Kronprinzessin, eröffnete die Testanlage im November des vergangenen Jahres. Osmosekraftwerke liefern durch den Austausch von Salz- und Süßwasser in ihren Kraftwerkselementen permanent elektrische Energie – ohne Kohlendioxid zu erzeugen.

In vielen Ländern gibt es Energiepotenziale, wo Süßwasserflüsse in das salzige Meerwasser fließen. Hier könnte eine Zukunftstechnik emissionsfrei Strom erzeugen. Normalerweise vermischen sich Salz- und Süßwasser sofort. Sind sie aber durch eine spezielle Membran getrennt, entsteht im Salzwasser ein Überdruck.

Zellen und Pflanzen regeln so ihren Wasserhaushalt. Reife Kirschen platzen im Regenwasser – ein Beispiel für Osmoseprozesse in der Natur. Im Inneren der Kirschen befindet sich eine hochkonzentrierte wässrige Zuckerlösung. Durch die natürliche Membranhülle der Kirsche kann Regenwasser in das Innere der Frucht strömen, jedoch die Zuckerlösung nicht nach außen. Es entsteht ein Überdruck, und die Kirsche platzt. Nun wollen Wissenschaftler dieses Prinzip im großen Maßstab zur Energieumwandlung nutzen.

Das Prinzip der Osmose: Süß- und Salzwasser werden in einem Gefäß durch eine semipermeable Membran getrennt. Weil diese Membran nur durchlässig für Wassermoleküle ist, strömt die Flüssigkeit in den Salzwasserteil des Gefäßes (s. Info), um den Unterschied der Salzkonzentration auszugleichen. Dieser Wasserstrom erzeugt theoretisch einen Druck von bis zu 26 bar im Salzwasser des Osmosesystems,

Abb. 1: Das erste Osmosekraftwerk weltweit: In Hurum am Oslofjord errichtete der norwegische Energiekonzern Statkraft eine Testanlage.

was ungefähr dem Druck einer 260 Meter hohen Wassersäule entspricht.

Der umgekehrte Vorgang ist schon lange Stand der Technik bei der Meerwasserentsalzung: In Umkehrosmoseanlagen baut sich auf der Salzwasserseite des Membransystems ein künstlicher Druck auf. Hierdurch wird reines Wasser, nicht aber das Salz des Meerwassers, durch die semipermeable Membran gedrückt. Diese Technik produziert salzfreies Wasser, indem die Membran das Salz des Meerwassers zurückhält.

Wesentliche Beiträge zu beiden Techniken lieferte Sidney Loeb, ein israelischer Membran- und Osmosepionier. Während der Ölkrise 1973 machte er den Vorschlag, Osmosekraftwerke zu errichten. Seine Idee: Bei der Meerwasserentsalzung benötigt man Energie. Warum sollte es nicht möglich sein, durch den umgekehrten Vorgang Energie zu gewinnen?

Dipl.-Ing. Peter Stenzel ist Doktorand in der Research School der Ruhr-Universität. Seinen Arbeitsplatz hat er im Zentrum für Innovative Energiesysteme der Fachhochschule Düsseldorf. Zu Gesprächen mit seinem Doktorvater Prof. Wagner, Lehrstuhl für Energiesysteme und Energiewirtschaft, pendelt er häufig zwischen der Landeshauptstadt und Bochum.

Seine erste intensive Begegnung mit regenerativen Energien hatte er bereits im Technikkurs am Gymnasium. „Damals wurde mir klar, das ist die Zukunft,“ so der junge Ingenieur. Zielgerichtet studierte er Umwelttechnik, immer eine Tätigkeit im Bereich der „Erneuerbaren Energien“ im Visier. Schließlich hat er seine Dissertation den Osmosekraftwerken gewidmet. „Einmal ein von mir entworfenes Osmosekraftwerk aufzubauen und zu verbessern, ist mein Traum.“, so Stenzel. Die Schlüsseltechnik bei der Planung von energieeffizienten Osmosekraftwerken ist die Membranentwicklung, weiß er



Abb. 2: Regionen weltweit mit günstigen Standortbedingungen (geeignete Mündungstypen) für Osmosekraftwerke.

○ gute Standortbedingungen (Mündungstyp)  
○ eingeschränkt gute Standortbedingungen (mögliche Eisbedeckung im Winter)

von der aktuellen Forschung zu berichten. „Damit befassen sich beispielsweise unsere Kollegen am GKSS Forschungszentrum in Geesthacht bei Hamburg,“ so der junge Wissenschaftler.

Die aus der Umkehrosmose bekannten Membranen müssen an den Anwendungsfall der Osmose angepasst werden. Möglichst viel Wasser sollte in möglichst kurzer Zeit durch eine kleine Fläche strömen, um letztlich viel elektrische Energie zu erhalten. Um dies zu erreichen, variieren die Forscher Stütz- und eigentliche Membranschicht, indem sie Eigenschaften zum Beispiel durch Ätzen oder andere Kunststoffmaterialien verändern. Zurzeit liegen die Leistungen der Membranen im Labor bei etwa 3 Watt pro Quadratmeter. Die Wissenschaftler wollen mindestens 5 Watt pro Quadratmeter erreichen.

Welcher Platz ist der optimale Betriebsstandort für ein Osmosekraftwerk, lautet die zentrale Frage, der Stenzel nachgeht. Er sucht nach Kriterien, anhand derer geeignete Standorte für Osmosekraftwerke identifiziert werden können. Der Wissenschaftler analysiert das Potenzial für die Nutzung von Osmosekraftwerken in Deutschland und weltweit.

Das theoretisch nutzbare Energieangebot einer vorgegebenen Region während eines bestimmten Zeitraumes stellt das theoretische Potenzial dar. „Die welt-



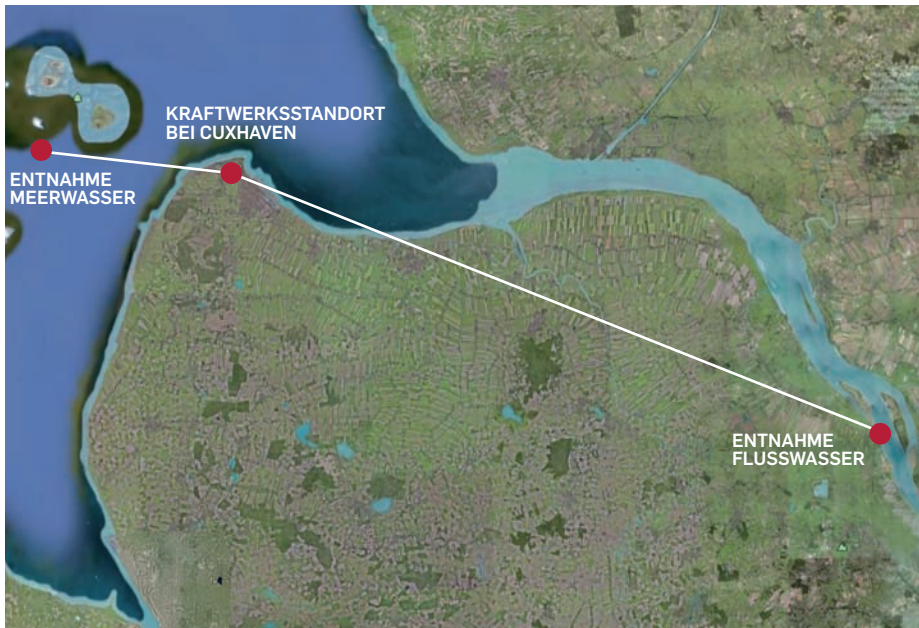


Abb. 3: Lange Rohrleitungen müssten ein Osmosekraftwerk an der Elbemündung mit den Wasserentnahmestellen verbinden.

weite Abflussmenge unserer Flüsse beträgt etwa 36 000 Kubikkilometer pro Jahr,“ gibt Stenzel an. Die daraus theoretisch zu gewinnenden Strommengen liegen mit fast 28 000 TWh in Höhe der heutigen Weltstromerzeugung (Tab. 1). Leider kann davon aber letztlich nur ein Bruchteil genutzt werden.

Mögliche Standorte für Osmosekraftwerke lassen sich nur aufgrund weiterer praxisrelevanter Informationen auswählen, denn nicht die gesamte theoretisch mögliche Energie kann erschlossen werden. Deshalb wird auch das technische, ökologische oder wirtschaftliche Potential betrachtet. So reduziert das technische Potenzial den theoretischen Wert um die anlagebedingten Umwandlungsverluste bei der Stromerzeugung.

Da nicht das gesamte Wasser eines Flusses entnommen werden darf, schränken ökologische Randbedingungen das technische Potential weiter ein. Der Niedrigwasserstand des Stroms sollte nicht unterschritten werden, um Tier- und Pflanzenwelt im Wasser zu schützen - ihm darf daher nur eine bestimmte Menge Wasser für eine gewisse Zeit entnommen werden. Stenzel bezog mit seiner Arbeit erstmals das ökologische Potential in die Überlegungen ein. Dabei bilden die in der Literatur angegebenen Daten für den Abfluss, den Salzgehalt und die Temperaturverteilung der Flussmündungen die Berechnungsgrundlagen. Die Energieerzeugungspotentiale der Flüsse können auf diese Weise verglichen werden.

„Je nach Küstenstruktur bilden sich unterschiedliche Mündungstypen, und nicht jeder Typ ist für ein Osmosekraftwerk geeignet,“ erläutert der Ingenieur ein weiteres Standortkriterium für Osmosekraftwerke (s. Abb. 2). Auch wie sauber die Flüsse sind, spielt eine Rolle. So haben viele Flüsse in Südostasien hohe Partikelgehalte und sind ungeeignet. Grundsätzlich müssen die Wässer vorbehandelt werden, um die Membranen vor unerwünschten Substanzen zu schützen. „Auf den Membranen könnten sonst Muschelfarmen entstehen“, schmunzelt der Doktorand.

Norwegens Fjorde sind der Idealfall. Sie haben steil abfallende Geländelinien und sind besonders tief. Das Salzwasser befindet sich wegen seiner großen Dichte am Grund der Fjorde. An der Wasseroberfläche überlagert Süßwasser das Salzwasser. Da Norwegens Gewässer sauber sind, ist der Aufwand für die Vorbehandlung begrenzt.

Kontinent	theor. Potential [TWh <sub>el</sub> /a]	techn. Potential [TWh <sub>el</sub> /a]	ökolog. Potential [TWh <sub>el</sub> /a]
Europa	2100	400	40
Afrika	2700	500	50
Asien	8900	1700	170
Nordamerika	4200	800	80
Südamerika	8500	1600	160
Australien inkl.	1300	200	20
<b>Summe Welt</b>	<b>27700</b>	<b>5200</b>	<b>520</b>

Tab. 1: Theoretische, technische und ökologische Potentiale für Osmosekraftwerke nach Kontinenten berechnet aus der Abflussmenge der Flüsse.

Betrachtet man die größten Flüsse Europas, dann entspricht die Reihenfolge der potentialreichsten Flüsse nicht immer deren Abflussmenge, da Salzgehalt und Temperatur sich in den Meeresgebieten Europas stark unterscheiden. Die Rhône weist relativ große auch aus ökologischer Sicht nutzbare Potenziale auf. Elbe und Loire dagegen haben für europäische Verhältnisse eher mittlere Potenziale und Flüsse wie die Oder oder die Neva sind dagegen nicht nutzbar.

Stenzel nahm im Rahmen seiner Arbeit zunächst die Betriebsbedingungen für Osmosekraftwerke in Deutschland unter die Lupe. Eine genaue Untersuchung des Salzgehaltes der deutschen Nordsee sowie des Abflussverhaltens von Flüssen sind notwendig für die Beurteilung unseres Standortes, so Stenzel.

40 Milliarden Kubikmeter Frischwasser gelangen jährlich über zahlreiche Flüsse und Bäche in die Nordsee. Die größten Zuflüsse sind Elbe, Weser und Ems. Osmosekraftwerke benötigen permanent Salz- und Süßwasser. Daher beobachteten die Forscher die Pegelstände, denn nur ein konstanter Wasserzustrom sichert den kontinuierlichen Betrieb des Osmosekraftwerks. „Deutsche Nordseezuflüsse haben eine flache Mündungslinie,“ so Stenzel. Dabei werden Süß- und Salzwasserqualitäten durch die Gezeiten vermischt. Der Salzgehalt des Küstenwassers ist eher gering.

Kraftwerksprojektierer müssten daher die Entnahme aus geeigneten Süß- und Salzwasserquellen im großen Abstand planen. Für ein leistungsfähiges Osmosekraftwerk wären lange Rohrleitungen und damit hohe Baukosten notwendig (Abb. 3). Ähnliche Bedingungen ergeben sich auch für den in den Niederlanden in die Nordsee mündenden Rhein. Da die Ostsee ein Brackwassermeer mit geringem Salzgehalt ist, stellt sie eher einen ungünstigen Standortfaktor für Osmosekraftwerke dar, so Stenzel.

Die Potenzialwerte des Amazonas sind mit einem Abfluss von 15 Prozent am Gesamtabfluss der Erde viel versprechend. Doch ist die Brackwasserzone des südamerikanischen Stromes mit geringem Salzgehalt über 100 Kilometer lang. Daher wäre auch dort ein großes Leitungsnetz erforderlich. Ökologisch bedeutet dies erhebliche Eingriffe in die Natur, und ökonomisch fielen hohe Baukosten an. Deshalb ist auch die Amazonas mündung kein geeigneter Platz für ein Osmosekraftwerk.

Das Osmoseverfahren könnte an geeigneten Standorten permanent elektrische Energie liefern, unabhängig von klimatischen Bedingungen. Diese permanente Verfügbarkeit macht die Energie aus Osmosekraftwerken im Gegensatz zur Stromerzeugung mit Photovoltaik und Wind auch für die Grundversorgung interessant. Ob Statkraft, ein norwegischer Konzern, bis 2015 ein geplantes Osmosekraftwerk mit 5 000 Kilowatt Leistung realisieren kann, hält Stenzel für fraglich. Die bestehende 4-Kilowatt-Testanlage benötigte bereits zwei Jahre Bauzeit und ihre Leistung reicht leider nur zum Teekochen,“ verdeutlicht der Ingenieur. Ernüchternd

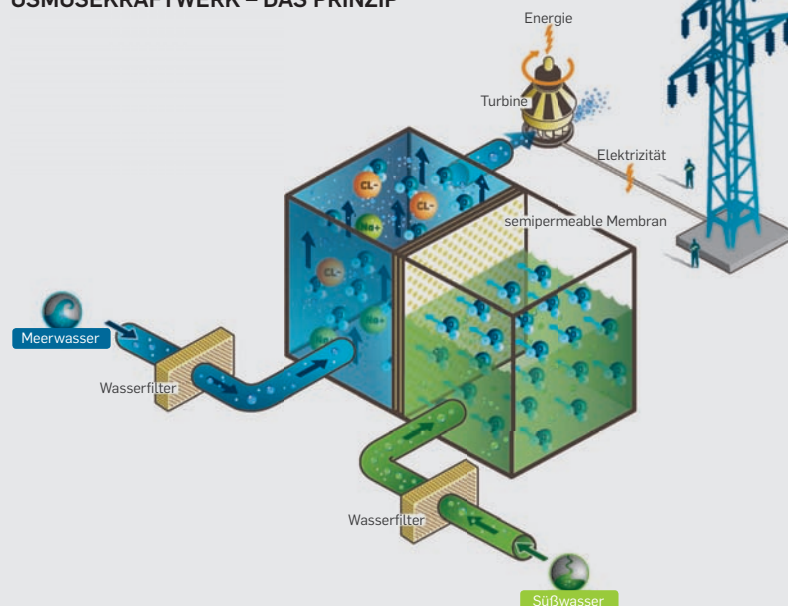
ist der Blick auf ein durchschnittliches Kohlekraftwerk, dessen Leistung bei 700 000 Kilowatt liegt.

Deutschland hat aufgrund der ungünstigen Standortbedingungen nur ein geringes ökologisches Potential. Osmosekraftwerke könnten nur 0,05 Prozent unseres Stromverbrauchs decken. Zum Vergleich: 2007 steuerten Wind- und Wasserkraft 10 Prozent zu unserem Strom bei. Weltweit dagegen könnten Osmosekraftwerke nach Stenzels Berechnungen 3,5 Prozent des Bedarfs an elektrischer Energie decken. Für ihn hängt die Zukunft der Osmosekraftwerke von der Membrantwicklung ab und davon, wie sich die Osmosemembranen letztlich unter Alltagsbedingungen verhalten.

Dr. Thomas Isenburg

## ■ info

### OSMOSEKRAFTWERK – DAS PRINZIP



Durch eine semipermeable Membran strömt Süßwasser aus dem einen Becken zum Salzwasser in das andere Becken, um den Konzentrationsunterschied auszugleichen. Bei der Permeation durch die Membran findet eine Druckerhöhung statt. Diese wird in einer Turbine abgebaut, die wiederum einen Generator antreibt und so elektrische Energie erzeugt.

Mit zunehmenden Volumenströmen erhöht sich die Leistung des Kraftwerks. Um die Anlagen kompakt zu bauen, werden die Membranen zu Spiralen aufgewickelt. Damit die Poren dieser sog. Wickelmembranen nicht verstopfen, wird das Wasser vor dem Osmoseprozess vorbehandelt, z.B. durch Filtrationsverfahren.