

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Stenzel, Peter; Wagner, Hermann-Josef**

## **Osmose-Kraftwerke in Deutschland und weltweit - Einsatzpotentiale und Wirtschaftlichkeit -**

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

**Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische  
Hydromechanik**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103620>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Stenzel, Peter; Wagner, Hermann-Josef (2011): Osmose-Kraftwerke in Deutschland und weltweit - Einsatzpotentiale und Wirtschaftlichkeit -. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Wasserkraft mehr Wirkungsgrad + mehr Ökologie = mehr Zukunft. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 45. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 325-334.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



## **Osmose-Kraftwerke in Deutschland und weltweit - Einsatzpotentiale und Wirtschaftlichkeit -**

Peter Stenzel, Hermann-Josef Wagner

Der Beitrag gibt einen Überblick über die Einsatzpotentiale und die Wirtschaftlichkeit von Osmose-Kraftwerken in Deutschland und weltweit. Schwerpunkte sind die Bestimmung von technischen und ökologischen Potentialwerten sowie eine Abschätzung der Stromgestehungskosten großtechnischer Osmose-Kraftwerke.

This paper presents an overview of the potentials and economics of osmotic power plants in Germany and on a worldwide basis. Focus is put on the calculation of technical and ecological potential values as well as assessing the costs of generating electricity of full-scale osmotic power plants.

### **1 Einleitung**

Bei der Mischung von Lösungen unterschiedlicher Konzentrationen wird Energie freigesetzt. Diese sogenannte Salinitäts-Energie kann in Osmose-Kraftwerken genutzt werden, indem man die beiden Lösungen über eine semipermeable Membran miteinander in Kontakt bringt.

Günstige Standorte für Osmose-Kraftwerke finden sich an Flussmündungen in das Meer. Hier kann der Unterschied in der Salzkonzentration zwischen Süß- und Salzwasser energetisch genutzt werden. Die unterschiedlichen Salzkonzentrationen ergeben sich aus dem natürlichen Wasserkreislauf der Erde. Osmose-Kraftwerke auf Basis von Fluss- und Meerwasser zählen daher zu den regenerativen Energien. Analog zu konventionellen Laufwasserkraftwerken können Osmose-Kraftwerke in der Grundlast eingesetzt werden, da die Kraftwerksleistung planbar und konstant verfügbar ist.

Der osmotische Druck zwischen Fluss- und Meerwasser liegt typischerweise bei ca. 26 bar. Für einen Süßwasservolumenstrom von  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  ergibt sich hieraus für ein Osmose-Kraftwerk eine mögliche elektrische Kraftwerksleistung von ca. 0,4 bis 0,8  $\text{MW}_{\text{el}}$  (Abhängig von der Anlagenkonfiguration und den lokalen Bedingungen, z.B. Salzgehaltverhältnisse).

Im Rahmen des Beitrages werden in Kapitel 2 zunächst die Grundlagen von Osmose-Kraftwerken behandelt. In Kapitel 3 werden darauf aufbauend die

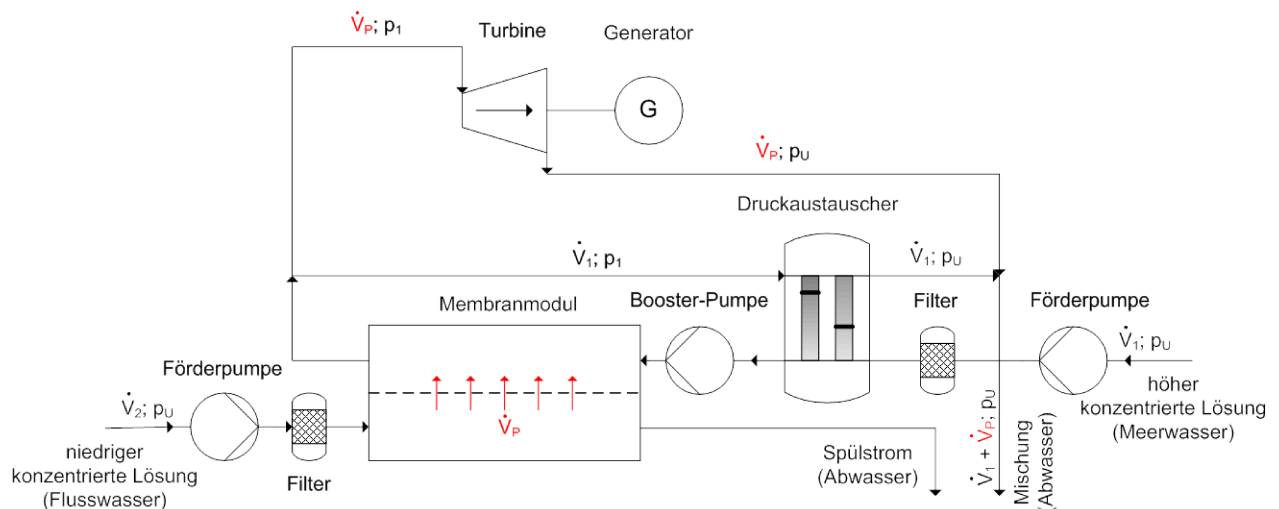
Standortbedingungen und Potentiale für Osmose-Kraftwerke in Deutschland und auf weltweiter Ebene analysiert. Anhand von Beispielrechnungen werden in Kapitel 4 die zu erwartenden Stromgestehungskosten abgeschätzt.

## 2 Grundlagen

In Abschnitt 2.1 wird das grundlegende Kraftwerkskonzept erläutert. Das für die durchgeführten Berechnungen verwendete technische Kraftwerksmodell wird in Abschnitt 2.2 beschrieben.

### 2.1 Kraftwerkskonzept

Der technische Prozess der Energieumwandlung auf Basis der Osmose wird als „Pressure-Retarded-Osmosis“ (kurz: PRO) bezeichnet [Loeb, 1975]. Im Unterschied zur (direkten) Osmose steht bei der „Pressure-Retarded-Osmosis“ die höher konzentrierte Lösung unter Druck. Das Kraftwerksprinzip ist schematisch in Abbildung 1 dargestellt.



**Abbildung 1** Schematische Darstellung des Funktionsprinzips von Osmose-Kraftwerken

In einem Membranmodul werden Lösungen unterschiedlicher Konzentrationen miteinander in Kontakt gebracht. Da die Lösungen bestrebt sind den Konzentrationsunterschied auszugleichen, strömt Lösungsmittel entgegen der Druckdifferenz von der niedriger konzentrierten Lösung (Flusswasser) in die höher konzentrierte Lösung (Meerwasser). Durch die Permeation kommt es zu einer osmotischen Druckerhöhung des Lösungsmittels. Der Druck des Permeatvolumenstroms kann anschließend in einer Turbine-Generator-Einheit in elektrische Energie umgewandelt werden.

## 2.2 Kraftwerksmodell

Zur Berechnung von technischen Anlagendaten (Betriebsdruck, Kraftwerksleistung etc.) sowie zur Bestimmung von Potentialwerten werden Basisdaten für die einzelnen Komponenten eines Osmose-Kraftwerks benötigt. Durch Zusammenführung dieser Daten, mit Basisannahmen zu den Betriebsparametern einer Kraftwerksanlage, erhält man ein technisches Kraftwerksmodell (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1 Basisdaten und –annahmen des verwendeten technischen Kraftwerksmodells

Kategorie	Einheit	Wert
Umgebungsdruck	[bar]	1
Turbinenaustrittsdruck	[bar]	1
Druckverlust in der Membran	[%]	1,6
Permeabilitätskoeffizient <sup>1)</sup>	[(m <sup>2</sup> ·s)/kg]	0,059
Mischung im Druckaustauscher	[%]	2,6
Pumpenwirkungsgrad	[-]	0,85
Wirkungsgrad Druckaustauscher	[-]	0,96
Turbinenwirkungsgrad	[-]	0,9
Generatorwirkungsgrad	[-]	0,97
Benötigter Eintrittsdruck DA <sup>2)</sup>	[bar]	1,7
Betriebsdruckverhältnis $\Delta p / \pi_M$ <sup>3)</sup>	[-]	0,5
Volumenstromverhältnis $V_1 / V_2$	[-]	1
Permeationsfaktor $V_p / V_2$	[-]	0,9
Volllaststundenzahl	[h/a]	8.000

<sup>1)</sup>: Leistungsparameter von Osmose-Membranen

<sup>2)</sup>: DA = Druckaustauscher

<sup>3)</sup>:  $\pi_M$  = mittlerer osmotischer Druck im Membranmodul;  $\Delta p = p_1 - p_U$

## 3 Potentiale und Standortkriterien

Im Rahmen der durchgeführten Potentialanalyse für Osmose-Kraftwerke wurde neben den theoretischen und technischen Potentialwerten auch das ökologische Potential bestimmt. Das theoretische Potential ist definiert als das physikalisch maximal nutzbare Energieangebot und ergibt sich aus der freiwerdenden Gibbs-Energie bei der Mischung von Fluss- und Meerwasser. Zur Berechnung von technischen Potentialwerten wird das in Abschnitt 2.2 beschriebene Kraftwerksmodell verwendet, welches die technischen Restriktionen der Energieumwandlung abbildet. Das ökologische Potential ist eine Teilmenge des technischen Potentials und berücksichtigt zusätzlich die aus ökologischen Gründen gegebene Begrenzung der maximalen Wasserentnahmemenge aus Flüssen. Der prozentuale Anteil des ökologischen Potentials ergibt sich direkt

aus der zulässigen Wasserentnahmemenge (Festlegung durch Auswertung des Abflussverhaltens) und wurde basierend auf dem Abflussverhalten deutscher Flüsse auf 10 % des technischen Potentials festgelegt. Details zur Definition der Potentialbegriffe sind [Stenzel, 2010] zu entnehmen. Die Potentialanalyse für Deutschland basiert auf gemessenen Abflussdaten. Auf weltweiter Ebene wurden Abflussdaten eines Simulationsmodells verwendet [de Couet, 2009].

### 3.1 Deutschland

Die **deutsche Nordsee** unterliegt stark dem Einfluss der drei großen deutschen Zuflüsse Elbe, Weser und Ems. Durch den Süßwasserzufluss der Flüsse liegt in Küstennähe ein deutlich verringerter Salzgehalt gegenüber dem Atlantikwasser bzw. küstenfernen Gebieten vor [BSH, 2006]. Durch den starken Tideneinfluss der Nordsee haben sich an den großen Flüssen charakteristische Ästuarmündungen herausgebildet. Die Flüsse sind gekennzeichnet durch lange Brackwasserzonen (horizontaler Salzgehaltgradient, d.h. zunehmender Salzgehalt bezogen auf die Länge des betrachteten Wasserkörpers) und einen fließenden Übergang von Salz- zu Süßwasser.

In Tabelle 2 sind die Potentialwerte für die in die deutsche Nordsee mündenden Flüsse zusammenfassend dargestellt.

**Tabelle 2** Potentialwerte der deutschen Nordseeflüsse

Fluss	theoretisches Potential		tech. Potential		ökolog. Potential	
	[MW <sub>G</sub> ]	[GWh <sub>G</sub> /a]	[MW <sub>el</sub> ]	[GWh <sub>el</sub> /a]	[MW <sub>el</sub> ]	[GWh <sub>el</sub> /a]
Elbe	2.119	18.564	228	1.827	23	183
Weser	966	8.460	118	946	12	95
Ems	288	2.520	39	313	4	31
Eider	56	492	6	51	1	5
Bongsieler Kanal	18	158	2	14	0,2	1
Arlau	3	24	0,4	3	0,04	0,3
Jade	1	8	0,1	1	0,01	0,1
Summe	3.450	30.226	394	3.154	39	315

Das ökologische Potential der deutschen Nordseeflüsse für eine Nutzung in Osmose-Kraftwerken beträgt bezogen auf die installierbare Gesamtleistung ca. 40 MW<sub>el</sub>. Hieraus ergibt sich ein Stromerzeugungspotential von insgesamt ca. 315 GWh<sub>el</sub>/a. Auf die drei größten Nordseeflüsse entfällt ein Anteil von ca. 98 % an den Gesamtpotentialwerten.

Um eine Potentialdifferenz zu erreichen (unterschiedliche Salzgehalte von Fluss- und Meerwasser) ist immer eine räumliche Trennung von Fluss- und Meerwasserentnahmestelle erforderlich. Aufgrund der ausgeprägten Brackwasserzonen im deutschen Nordseeraum sind die Transportwege im Vergleich zu möglichen Kraftwerksstandorten mit kurzen Mischungs- bzw. Brackwasser-

zonen im Mündungsbereich (z.B. norwegische Küste) deutlich länger. Die deutsche Nordsee ist daher aufgrund der hohen Kosten und des Energiebedarfs für den Transport der Betriebslösungen insgesamt kein idealer Standort für Osmose-Kraftwerke.

Die **deutsche Ostsee** ist ein Brackwassermeer mit abnehmenden Salzgehalten von West nach Ost. Der Salzgehalt ist gegenüber der Nordsee und dem mittleren Salzgehalt des Weltmeeres deutlich verringert. Durch die Beckenstruktur weist die Ostsee in weiten Teilen eine stabile Salzgehaltschichtung auf. Der Salzgehalt nimmt typischerweise mit zunehmender Tiefe zu [BSH, 2009].

Der Einfluss der Gezeiten auf die Mündungsbereiche der Flüsse ist aufgrund des sehr geringen Tidenhubs vernachlässigbar. Abgesehen von der auf polnischer Seite in die Ostsee mündenden Oder, handelt es sich bei den deutschen Ostseefläüssen um kleinere Flüsse.

In Tabelle 3 sind die Potentialwerte für die in die deutsche Ostsee mündenden Flüsse sowie der Oder zusammenfassend dargestellt.

**Tabelle 3** Potentialwerte der deutschen Ostseefläüsse und der Oder

Fluss	theoretisches Potential		tech. Potential		ökolog. Potential	
	[MW <sub>G</sub> ]	[GWh <sub>G</sub> /a]	[MW <sub>el</sub> ]	[GWh <sub>el</sub> /a]	[MW <sub>el</sub> ]	[GWh <sub>el</sub> /a]
Oder	1.441	12.622	17	133	2	13
Warnow	39	341	2	13	0,2	1
Trave	31	272	2	15	0,2	2
Peene	21	182	0,2	2	0,02	0,2
Schwentine	17	145	1	9	0,1	1
Uecker/Ucker	16	142	0,2	2	0,02	0,2
Recknitz	8	67	0,2	2	0,02	0,2
Barthe	4	34	0,03	0,2	0,003	0,02
Summe	1.576	13.806	22	177	2	18
Summe o. Oder	135	1.184	5	43	0,5	4

Das ökologische Potential der deutschen Ostseefläüsse für eine Nutzung in Osmose-Kraftwerken beträgt bezogen auf die installierbare Gesamtleistung ca. 2 MW<sub>el</sub>. Hieraus ergibt sich ein Stromerzeugungspotential von insgesamt ca. 18 GWh<sub>el</sub>/a. Auf die Oder entfällt ein Anteil von ca. 75 % an den Gesamtpotentialwerten.

Die erreichbare Potentialdifferenz für den Betrieb von Osmose-Kraftwerken im Ostseeraum ist aufgrund der niedrigen Salzgehalte der Ostsee deutlich eingeschränkt. Dies wirkt sich insbesondere negativ auf die Wirtschaftlichkeit von Osmose-Kraftwerken aus. Die deutsche Ostsee ist daher ebenfalls kein idealer Standort für Osmose-Kraftwerke.

Für ganz **Deutschland** ergibt sich unter Einbeziehung der Oder ein ökologisches Potential von ca. 42 MW<sub>el</sub> bzw. ca. 330 GWh<sub>el</sub>/a. Zum Vergleich: Der Stromverbrauch in Deutschland lag im Jahr 2009 bei ca. 580 TWh<sub>el</sub> [AGEB, 2010]. Durch Osmose-Kraftwerke könnten somit insgesamt ca. 0,06 % des deutschen Stromverbrauchs gedeckt werden.

### 3.2 Weltweit

Das ökologische Potential liegt weltweit gesehen dagegen bei ca. 65 GW<sub>el</sub> bzw. 518 TWh<sub>el</sub>/a. Die prozentuale Aufteilung des Potentials auf die Kontinente ergibt sich dabei analog zur Aufteilung der Abflusswerte. Bezieht man den Wert für das ökologische Potential auf den weltweiten Stromverbrauch (2007: ca. 16.500 TWh<sub>el</sub> [IEA, 2010]), so ergibt sich ein maximaler Deckungsbeitrag von Osmose-Kraftwerken von ca. 3,1 %.

Günstige Standortbedingungen für Osmose-Kraftwerke liegen vor, wenn eine möglichst scharfe, vertikale Trennung zwischen Süß- und Salzwasser vorliegt (zunehmender Salzgehalt mit der Wassertiefe). Derartige Bedingungen sind z.B. an der norwegischen Fjordküste und in Regionen mit einem niedrigen Tidenhub anzutreffen. In diesen Fällen sind nur relativ geringe Transportentfernungen für die Betriebslösungen erforderlich. Weitere Standortkriterien ergeben sich aus den Salzgehalt- und Abflussverhältnissen sowie der Wasserqualität.

Weiterführende Informationen zu den Potentialen auf weltweiter Ebene sowie zu Regionen mit günstigen Standortbedingungen für Osmose-Kraftwerke sind [Stenzel, 2010] zu entnehmen.

## 4 Stromgestehungskosten

Die Wirtschaftlichkeit von Fluss- und Meerwasser Osmose-Kraftwerken wurde mit Hilfe eines ökonomischen Kalkulationsmodells analysiert. Dieses basiert auf einer Kostendatenbank für die einzelnen Kraftwerkskomponenten und wurde mit dem technischen Kraftwerksmodell (siehe Abschnitt 2.2) kombiniert. Das Modell ermöglicht die Betrachtung von unterschiedlichen Kraftwerksstandorten und –leistungsklassen unter Berücksichtigung der lokalen Standortbedingungen.

Bei den Berechnungen wird prinzipiell nach direkten (Kosten der Anlagenkomponenten /-bauteile) und indirekten Anlagenkosten (Transport, Bau- und Inbetriebnahme, Planung und Ingenieurleistung, Rücklagen, Projektfinanzierung) sowie den Betriebskosten (Personal, Wartung und Instandhaltung etc.) unterschieden. Mit Ausnahme der Osmose-Membranmodule sind sämtliche Kraftwerkskomponenten zum Stand der Technik zu zählen und entsprechende Kostendaten daher prinzipiell verfügbar. Bei der Übertragung

von Kostendaten und –annahmen, insbesondere zur Abschätzung der indirekten Anlagenkosten und der Betriebskosten, wird auf Daten von Umkehrosmoseanlagen, Wasserkraftwerken und von Anlagen der Wasserwirtschaft zurückgegriffen. Die verwendeten Basisdaten wurden jeweils an die charakteristischen Betriebsbedingungen (z.B. Druckniveau) von Osmose-Kraftwerken angepasst.

Die Berechnung von Stromgestehungskosten erfolgt unter Berücksichtigung des technischen Kraftwerksmodells (siehe Tabelle 1) zunächst für eine fiktive Osmose-Kraftwerksanlage (Basisfall). Der Basisfall wird durch die Angaben in Tabelle 4 charakterisiert. Zur Vorbehandlung der Betriebslösungen wird eine einfache Rückspülfiltration eingesetzt. Die Angaben zum Einlass- und Transportsystem in Tabelle 4 werden für die Bestimmung der Anlagenkosten benötigt. Reibungsverluste in Abhängigkeit von der Leitungslänge werden vernachlässigt.

**Tabelle 4** Basisdaten und –annahmen zur Berechnung der Stromgestehungskosten (Basisfall)

Kategorie	Einheit	Wert	Kategorie	Einheit	Wert
Volumenstrom Meerwasser ( $V_1$ )	[m <sup>3</sup> /s]	1	Förderhöhe Einlass $V_1$	[m]	5
Volumenstrom Flusswasser ( $V_2$ )	[m <sup>3</sup> /s]	1	Förderhöhe Einlass $V_2$	[m]	0
Wassertemperatur <sup>1)</sup>	[°C]	16,1	Förderhöhe Auslass	[m]	0
Salzgehalt Meerwasser <sup>2)</sup>	[-]	35	Transportentfernung Einlass $V_1$	[m]	1.000
Salzgehalt Flusswasser <sup>2)</sup>	[-]	0,127	Anteil Offshore $V_1$	[%]	90
Druckverluste Vorbehandlung <sup>3)</sup>	[bar]	0,2	Transportentfernung Einlass $V_2$	[m]	1.000
Kalkulationszins	[%]	6	Anteil Offshore $V_2$	[%]	0
Nutzungsdauer Anlagenkomp.	[a]	20	Transportentfernung Auslass	[m]	250
Nutzungsdauer Membranen <sup>4)</sup>	[a]	3	Anteil Offshore Auslass	[%]	0

<sup>1)</sup>: mittlere globale Oberflächenwassertemperatur von Meerwasser

<sup>2)</sup>: globale Mittelwerte; auch bezüglich der Salzzusammensetzung - Angaben nach Practical Salinity Scale

<sup>3)</sup>: Rückspülfiltration (50  $\mu$ m)

<sup>4)</sup>: Niedriger Wert aufgrund des Einsatzes einer Grobfiltration in der Vorbehandlung; Membrankosten: 11 €/m<sup>2</sup>

Die Ergebnisse der Berechnung der Stromgestehungskosten sind zusammenfassend in Tabelle 5 aufgeführt.

**Tabelle 5** Ergebnisse der Berechnung der Stromgestehungskosten (Basisfall)

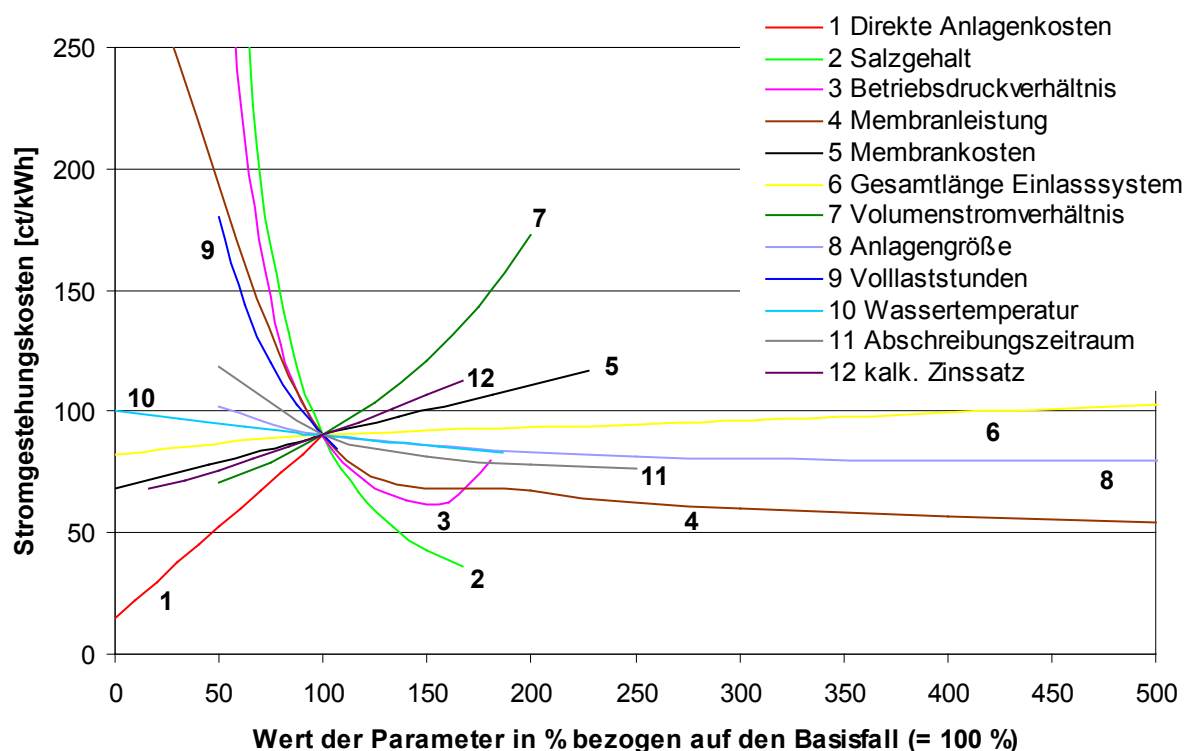
Kategorie	Einheit	Wert
Direkte Anlagenkosten	[€]	15.930.281
Indirekte Anlagenkosten	[€]	7.014.634
Summe Anlagenkosten	[€]	22.944.916
Annuität	[€/a]	2.523.034
Betriebskosten	[€/a]	785.938
Summe jährliche Kosten	[€/a]	3.308.973
Netto-Leistung	[MW <sub>e</sub> ]	0,46
Erzeugte Strommenge	[kWh/a]	3.671.162
Spez. Anlagenkosten	[€/kW <sub>e</sub> ]	50.000
<b>Stromgestehungskosten</b>	<b>[ct/kWh]</b>	<b>90</b>



Hauptkostenkomponenten bezogen auf die direkten Anlagenkosten sind das Membranrack (26 %), das Einlasssystem (20 %) und das Gebäude (20 %). Die Kosten für Bau und Inbetriebnahme haben mit 31 % den größten Anteil an den indirekten Anlagenkosten. Der Hauptanteil an den Betriebskosten entfällt auf die Personalkosten (56 %).

#### 4.1 Sensitivitätsanalyse

Die Stromgestehungskosten von Osmose-Kraftwerken sind grundsätzlich stark standortsensitiv und von den lokalen Bedingungen abhängig. Um einen Vergleich des Einflusses von Änderungen einzelner Parameter auf die Stromgestehungskosten zu ermöglichen, sind in Abbildung 2 verschiedene Variationen einzelner Basisparameter, unter Beibehaltung der sonstigen Basisparameter, in einem gemeinsamen Diagramm dargestellt.



**Abbildung 2** Einfluss von Parametervariationen auf die Stromgestehungskosten

Die Kurven für die einzelnen Parametervariationen schneiden sich jeweils in einem Punkt, durch welchen die Ergebnisse des Basisfalls (siehe Tabelle 5) definiert sind.

Durch die unterschiedlichen Kurvenverläufe wird ersichtlich, welche Änderungen gegenüber dem jeweiligen Basiswert die größten Auswirkungen auf die Stromgestehungskosten haben. Weiterhin ist erkennbar, welche Parameter erhöht und welche Parameter kleiner gewählt werden müssen um jeweils sinkende Stromgestehungskosten zu ermöglichen. Den größten Einfluss

auf die Stromgestehungskosten haben die Parameter *direkte Anlagenkosten*, *Salzgehalt* und *Betriebsdruckverhältnis* (siehe Abbildung 2).

## 4.2 Szenariorechnungen

Bei den durchgeführten Szenariorechnungen werden - im Gegensatz zur Sensitivitätsanalyse - jeweils mehrere Basisparameter gegenüber dem in Tabelle 4 definierten Basisfall geändert. Hieraus ergibt sich die Möglichkeit der Betrachtung verschiedener Anlagenkonfigurationen und –größen.

**Tabelle 6** Geänderte Basisparameter im Best-Case-Szenario gegenüber dem Basisfall

Kategorie	Einheit	Wert	Kategorie	Einheit	Wert
Osmose-Membrankosten	[€/m <sup>2</sup> ]	4	Gesamtlänge-Einlasssystem	[m]	200
Reduktion direkte Anlagenkosten	[%]	25	Volllaststundenzahl	[h/a]	8400
Betriebsdruckverhältnis	[-]	0,7	Wassertemperatur	[°C]	20
Feedvolumenstromkapazität	[m <sup>3</sup> /s]	10	Salzgehalt	[-]	38

Unter der Annahme günstiger Rahmenbedingungen (Best-Case-Szenario, siehe Tabelle 6) ergeben sich für ein Beispielkraftwerk mit einer Anlagenleistung von 4 MW<sub>el</sub> (Gesamtfeedvolumenstrom: 10 m<sup>3</sup>/s) Stromgestehungskosten von ca. 28 ct/kWh. Die spezifischen Anlagenkosten einer derartigen Anlage liegen bei ca. 22.000 €/kW<sub>el</sub>. Die Annahmen des Best-Case-Szenarios sind z.B. für Anlagenstandorte am Mittelmeer bzw. in Norwegen bei gleichzeitigen Effizienzsteigerungen und Kostensenkungen denkbar.

Zum Vergleich wurden auch Stromgestehungskosten für mögliche Kraftwerksstandorte in Deutschland berechnet. Für die Berechnungen wurden neben den Angaben in Tabelle 6 (Best-Case-Szenario) die jeweiligen lokalen Werte für die Salzgehalte und die Wassertemperatur verwendet. Aufgrund der ungünstigen Standortbedingungen (reduzierte Salzgehalte, lange Transportwege) ergeben sich Stromgestehungskosten von ca. 120 ct/kWh (Anlagenstandort Ems - Nordsee) bzw. ca. 210 ct/kWh (Anlagenstandort Schwentine - Ostsee).

## 5 Zusammenfassung

Die Standortbedingungen für Osmose-Kraftwerke an der Nord- und Ostsee sind aufgrund der Salzgehaltverhältnisse (lange Brackwasserzonen der Nordseeflüsse, Ostsee als Brackwassermeer) nicht ideal. Auf weltweiter Ebene ergeben sich günstige Standortbedingungen insbesondere dann, wenn eine möglichst scharfe, vertikale Trennung von Süß- und Salzwasser im Mündungsbereich vorliegt, um den Aufwand für den Transport der Betriebslösungen zu begrenzen. Die Stromgestehungskosten von Osmose-Kraftwerken sind

grundsätzlich stark standortsensitiv und von den lokalen Bedingungen abhängig. Der maximale Deckungsbeitrag von Osmose-Kraftwerken, bezogen auf den Stromverbrauch, liegt weltweit bei ca. 3,1 % und in Deutschland bei ca. 0,06 %. Unter der Annahme günstiger Rahmen- und Standortbedingungen sind Stromgestehungskosten im Bereich von ca. 28 ct/kWh erreichbar.

## Literatur

- AGEB: Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2009 nach Energieträgern. Zugriff am 10.08.2010 auf <http://www.ag-energiebilanzen.de> (2010)
- BSH: Nordseezustand 2004. Berichte des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (2006)
- BSH: Salzgehalte in der Ostsee im Juni 2009. Zugriff am 13.12.2010 auf [http://www.bsh.de/de/Meeresdaten/Beobachtungen/MURSYS-Umweltreportsystem/PDF/oste7\\_07.pdf](http://www.bsh.de/de/Meeresdaten/Beobachtungen/MURSYS-Umweltreportsystem/PDF/oste7_07.pdf) (2009)
- de Couet, T. Maurer, T.: Surface Freshwater Fluxes into the World Oceans, Global Runoff Data Centre. Koblenz: Federal Institute of Hydrology (BfG), (2009)
- IEA: Electricity/Heat in World in 2007. Zugriff am 10.08.2010 auf [http://www.iea.org/stats/electricitydata.asp?COUNTRY\\_CODE=29](http://www.iea.org/stats/electricitydata.asp?COUNTRY_CODE=29) (2010)
- Loeb, S.: Method and apparatus for generating power utilizing pressure-retarded osmosis. B.-G. U. o. t. Negev. Israel. US-Patent 3906250 (1975)
- Stenzel, P. Wagner, H.-J.: Osmotic power plants: Potential analysis and site criteria. Konferenzbeitrag: International Conference on Ocean Energy (ICOE), Bilbao (2010)

## Autoren:

Dipl.-Ing. Peter Stenzel  
Zentrum für Innovative  
Energiesysteme  
Fachhochschule Düsseldorf  
Josef-Gockeln-Str. 9  
D-40474 Düsseldorf  
Tel.: +49 – 211 – 4351493  
Fax: +49 – 211 – 4351495  
[peter.stenzel@fh-duesseldorf.de](mailto:peter.stenzel@fh-duesseldorf.de)

Prof. Dr.-Ing. Hermann-Josef Wagner  
Lehrstuhl für Energiesysteme und  
Energiewirtschaft  
Ruhr-Universität Bochum  
Universitätsstr. 150  
D-44780 Bochum  
Tel.: +49 – 234 – 3226046  
Fax: +49 – 234 – 3214158  
[lee@lee.rub.de](mailto:lee@lee.rub.de)