

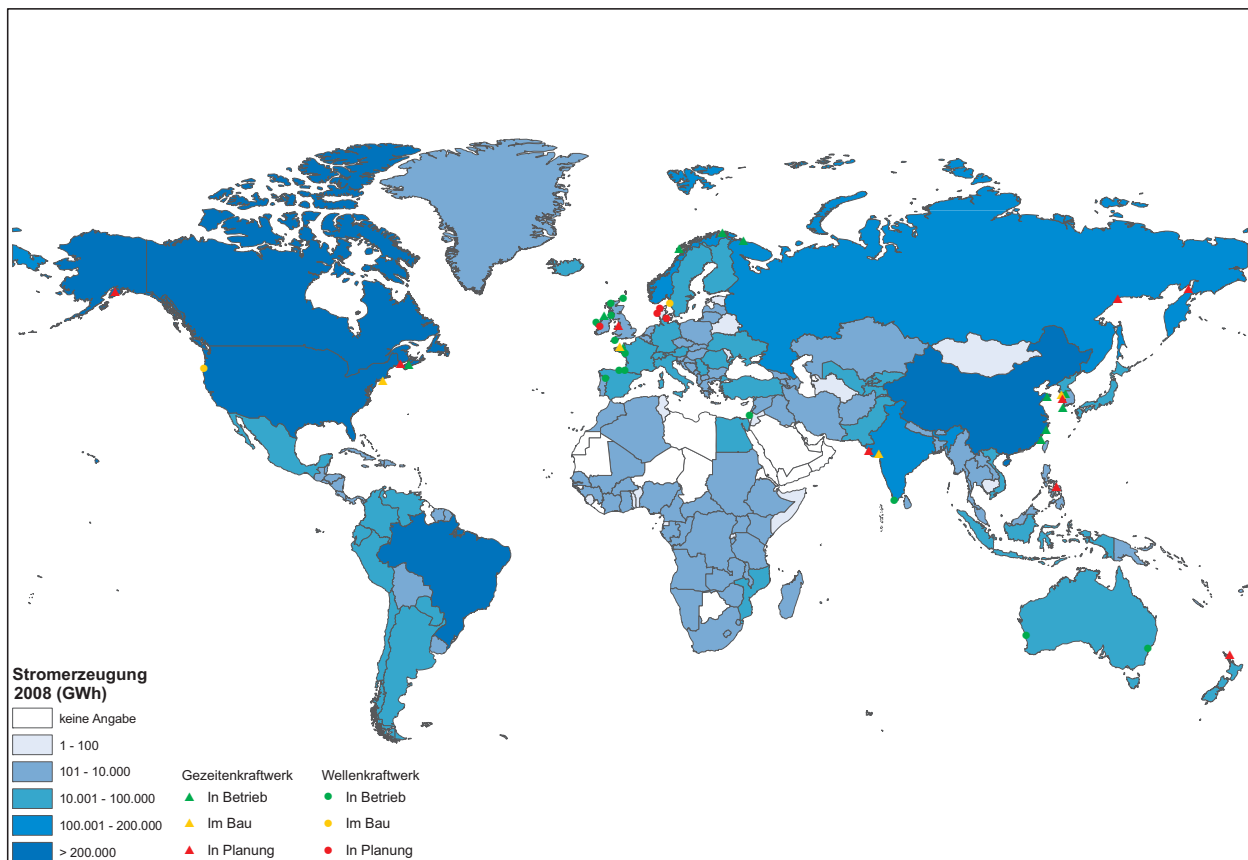
Die Wasserkraft in all ihren Ausprägungen gehört zu den ältesten durch den Menschen genutzten Energieformen und hat mit ca. 1 000 GW weltweit den größten Anteil an Strom aus erneuerbaren Energien (vgl. REN21 2011). Besonders die Anwendung in der Landwirtschaft reicht weit in die Geschichte zurück und wurde bereits in Mesopotamien und später von den Griechen und Römern, aber auch in China genutzt, um Getreide zu mahlen und Felder zu bewässern (vgl. Klimainfo 2011). Im Mittelalter wurde das erste gusseiserne Wasserrad erfunden, welches zu Beginn der Industrialisierung zur Gewinnung von Strom weiterentwickelt wurde und auch die Gezeitenkraft wurde bereits im Mittelalter genutzt, um Wasserräder anzutreiben (vgl. Ocean Energy Council 2011). Die Wellenenergie stellt dagegen eine relativ neue Form der Energienutzung dar, die erst während der Industrialisierung sowie während der Ölkrise genutzt und erforscht wurde. Alle Formen der Wasserkraft haben die Nutzung kinetischer und potenzieller Energie, die mittels Turbinen Strom erzeugt, gemeinsam. Der vorliegende Artikel gibt einen kurzen Überblick über den weltweiten Stand der Wasserkraft sowie Potenziale zur Nutzung der Gezeiten- und Wellenenergie.

Die traditionelle Nutzung der Wasserkraft zur Stromerzeugung wird weltweit in über 160 Ländern betrieben. Die installierte Kapazität betrug Ende 2008 rund 874 GW (vgl. World Energy Council 2010). In Abbildung 1 ist die weltweite Stromerzeugung aus Wasserkraft im Jahr 2008 dargestellt. Die Aufstellung beinhaltet lediglich die erzeugten Strommengen aus konventioneller Wasserkraft ohne die Energie aus Pumpspeicherwerken und Gezeitenströmung. Spitzenreiter dabei sind China, Kanada, Brasilien und die USA. Russland, Norwegen und Indien stellen weitere große Produzenten dar. China hat seine Strommengen vor allem dem Drei-Schluchten-Staudamm zu verdanken, der derzeit der größte Staudamm der Welt ist und jährlich rund 22 000 MW erzeugt. Andere große Staudämme sind der Itaipu-Staudamm zwischen Brasilien und Paraguay und der Guri-Staudamm in Venezuela. Weitere Großprojekte sind u.a. in China geplant bzw. im Bau und werden voraussichtlich eine zusätzliche Kapazität von 80 000 MW bieten (vgl. World Energy Council 2010). In Deutschland wurden bei einer installierten Kapazität von rund 4 GW im Jahr 2010 rund 20 600 GWh Strom aus Wasserkraft erzeugt (vgl. Bundesumweltministerium 2011). Im Wesentlichen erfolgt die Stromerzeugung über Speicherkraftwerke an Staudämmen oder mit Hilfe von Laufwasserkraftwerken an Flüssen. Das Wasser wird dabei zum einen aus dem Staubecken über eine Druckleitung auf eine Turbine im Krafthaus geleitet, im Fall der Laufwasserkraftwerke fließt das Wasser aus geringer Höhe in die Turbine. Laufwasserkraftwerke dienen dabei zumeist der Deckung der Grundlast, wohingegen Speicherkraftwerke eingesetzt werden, um die Stromversorgung in Spitzenzeiten zu gewährleisten (vgl. DieBrennstoffzelle.de 2011).

Die Nutzung der Gezeitenkraft wurde bereits in den 1960er Jahren kommerziell ausgebaut und stellt aufgrund der regelmäßigen Abfolge von Ebbe und Flut eine sehr verlässliche Energiequelle zur Stromerzeugung dar. Nutzbar ist sie überall dort, wo der Tidenhub besonders hoch ausfällt, beispielsweise an den Küsten Frankreichs und Großbritanniens sowie in Westkanada, Korea und Australien (vgl. European Ocean Energy Association 2010). Mindestens 7m Unterschied zwischen Ebbe und Flut müssen dabei gegeben sein. Prinzipiell werden verschiedene Ansätze zur Nutzung der Gezeiten unterschieden: Bei der traditionellen Nutzung wird das Wasser je nach Bauweise bei Ebbe oder Flut über eine Sperrmauer in die Turbine geleitet (vgl. World Energy Council 2010). Im Ebbe-Modus wird das Wasser während der Flut in ein Rückhaltebecken oder in eine Flussmündung geleitet und die Schleusen beim höchsten Wasserstand geschlossen. Sobald der Pegelunterschied zwischen Rückhaltebecken und dem durch die Ebbe trockengelegten Meer groß genug ist, wird das Wasser abgelassen und treibt die Turbinen an. Im Flut-Modus sind die Schleusen während der Flut geschlossen und werden erst geöffnet, wenn der Wasserstand außerhalb des Rückhaltebeckens ausreicht, um das Wasser dann in das Becken über die Turbinen einfließen zu lassen (vgl. World Energy Council 2010). Diese Technik ist auch in Kombination beider Verfahren anwendbar. Zu den wichtigsten kommerziellen Anlagen dieser Art gehören die Gezeitenkraftwerke Sihwa Lake (Südkorea), La Rance (Frankreich), Annapolis (Kanada) sowie Jiangxia (China) (vgl. Green World Investor 2011). Ein anderer Ansatz ist die Nutzung der Gezeiten- bzw. Meeresströmungen. Sie funktioniert ähnlich wie Windkraftanlagen. Im Gegensatz zur Luft ist Meerwasser jedoch wesentlich dichter und verfügt somit über eine sehr hohe Energiedichte (vgl. Atlantis Resources Corporation 2009). Um die Energie zu nutzen, werden daher wesentlich kleinere Vorrichtungen benötigt als im Bereich der Windkraft. Dabei werden Turbinen bzw. Rotoren in der Strömung installiert und können sowohl bei Ebbe- als auch bei Flutströmung arbeiten. Weltweit können schätzungsweise bis zu 180 TWh (50 000 MW) pro Jahr aus Meeresströmungen wirtschaftlich erzeugt werden. Beispiele hierfür sind in Nordirland (Anlagen mit 1,2 MW), Norwegen und Schottland zu finden (vgl. Abb. 1). Weitere Großprojekte in Neuseeland, Südkorea, USA, Russland und Indien befinden sich im Bau oder sind in den nächsten Jahren geplant. Weltweit beträgt die installierte Kapazität von Gezeitenkraftwerken derzeit ca. 520 MW (vgl. Green World Investor 2011).

Im Gegensatz zu den Gezeitenkraftwerken befinden sich die meisten Wellenkraftwerke derzeit noch weitestgehend in der Testphase. Die wirtschaftlich nutzbaren Energiemengen aus dem Meer liegen weltweit zwischen 140–750 TWh pro Jahr (vgl. World Energy Council 2010), die potenziellen Ressourcen liegen weitaus höher (bis 80 000 TWh pro Jahr) (vgl. IEA 2010). Von Vorteil ist dabei, dass die Wellen und ihre Hö-

Abb. 1
Wasserkraft an Land und im Meer



Die Darstellung zeigt die wichtigsten Standorte und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Quelle: United Nations Statistics Division (2011); World Energy Council (2010); Green World Investor (2011).

he mit Hilfe von Satellitenbildern kurzfristig vorhersagbar sind, so dass die Anlagen bei Bedarf schnell einsatzfähig sein können. Aufgrund der enormen Energie, die von einigen Wellen ausgeht, müssen Wellenkraftwerke den extremen Kräften standhalten und mit wechselnden Wellenrichtungen zurechtkommen. Zudem stellt die Instandhaltung auf hoher See eine Herausforderung dar (vgl. World Energy Council 2010). Wellenkraftwerke an der Küste nutzen die Energie, indem das Wasser die in einer Kammer enthaltene Luft zusammenpresst und Turbinen antreibt (Beispiel Australien und Spanien). Andere Systeme in Form von Bojen und anderen Schwimmkörpern treiben an der Wasseroberfläche und erzeugen Energie ebenfalls durch das Zusammenpressen von Luft oder Wasser bzw. durch das gegenseitige Ineinanderschieben einzelner schlangenförmiger Segmente, wie beispielsweise bei Pelamis, welches bereits in Schottland und Portugal zum Einsatz kommt (vgl. Pelamis Wave Power Ltd. 2011) und 750 kW leistet. Viele dieser Anlagen stellen bisher noch Pilotprojekte dar, die Anzahl wird sich in Zukunft voraussichtlich weiter erhöhen und

zu kommerziellen Anlagen ausgebaut werden. Eine Vielzahl weiterer Technologien befindet sich derzeit in der Erprobungsphase, dazu gehören Techniken, die Unterschiede im Salzgehalt des Wassers (Osmosekraftwerke) sowie Temperaturunterschiede in der Wassersäule zur Energiegewinnung nutzen (vgl. IEA 2010). An den deutschen Küsten sind die Voraussetzungen für Gezeiten- und Wellenkraftwerke nicht oder nur sehr eingeschränkt gegeben. Dagegen sind verschiedene deutsche Firmen an internationalen Projekten beteiligt (vgl. IEA 2011), was u.a. dem gestiegenen politischen Interesse zu verdanken ist.

Die Gezeitenkraft, vor allem aber die Wellenkraft, stellen neben der klassischen Wasserkraft Energiequellen dar, die bisher lediglich zur Unterstützung der vorhandenen Versorgungsquellen dienen können, da ihre Leistung aufgrund technischer und finanzieller aber auch ökologischer Aspekte begrenzt ist. Obwohl die Gezeitenkraftwerke in Frankreich, Korea und China zum Teil große Strommengen liefern, können sie konventionelle Energieformen derzeit nicht

ersetzen. Zudem werden solche Projekte bisher von nur wenigen Ländern entsprechend gefördert (vgl. Green World Investor 2011). Dem Vorteil der emissionsfreien Stromerzeugung und der zuverlässigen Verfügbarkeit stehen neben hohen Bau- und Instandhaltungskosten zum Teil erhebliche Eingriffe in die Umwelt gegenüber. Vor allem Gezeitenkraftwerke, die die Wassermassen über ein Stauwehr in Rückhaltebecken leiten, führen zu Beeinträchtigungen der küstennahen Ökosysteme, indem sie die Stärke des Tidenhubs verändern und die Dauer von Ebbe und Flut künstlich verkürzen oder verlängern (vgl. World Energy Council 2010). Dagegen werden Strömungskraftwerke im Wesentlichen als weniger gefährlich angesehen. Jedoch erzeugen sie unter Wasser Lärm, der Meeressäuger beeinträchtigen könnte. Einen weiteren Nachteil stellt die Tatsache dar, dass die Kraftwerke nur an den Küsten oder auf hoher See errichtet werden können und der Strom zum Teil über lange Strecken transportiert werden muss. Zudem kann die erzeugte Strommenge anders als bei klassischen Staudämmen nicht beliebig an den Bedarf angepasst werden. Jedoch haben sowohl Gezeiten- als auch Wellenenergie durchaus ein großes Potenzial, um die zukünftige Energieversorgung zu sichern. Die Technologien und Investitionen zur Kommerzialisierung der Meeresenergie wurden im Jahr 2010 enorm vorangetrieben, angeführt von Großbritannien, Kanada und den USA. So sind allein hier derzeit über 80 Unternehmen in diesem Sektor tätig (vgl. REN21 2011). Ob die Energie aus dem Meer in Zukunft konkurrenzfähig sein wird, hängt weiterhin von den politischen Rahmenbedingungen und dem technischen Fortschritt ab.

Literatur

- Atlantis Resources Corporation (2009), *Tidal Current Power*, online verfügbar unter: <http://www.atlantisresourcescorporation.com/marine-power/tidal-current-power.html>
- Bundesumweltministerium (2011), *Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland*, online verfügbar unter: <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/45919/>.
- DieBrennstoffzelle.de (2011), *Wasserkraft*, online verfügbar unter: <http://www.diebrennstoffzelle.de/alternativen/wasser/index.shtml>
- European Ocean Energy Association (2010), *Ocean Energy Technology*, online verfügbar unter: <http://www.eu-oea.com/index.asp?bid=232#Tidal%20Energy%20Technology>.
- Green World Investor (2011), *List of Tidal Power Plants and Future Tidal Stations – Facing difficult times*, online verfügbar unter: <http://www.greenworld-investor.com/2011/03/13/list-of-tidal-power-plants-and-future-tidal-stations-facing-difficult-times/>.
- IEA (2011), *Implementing Agreement on Ocean Energy Systems*, Open Bulletin, online verfügbar unter: http://www.iea-oceans.org/_fich/6/OES-IA_Open_Bulletin_May_2011.pdf.
- Klimainfo (2011), *Entwicklungsgeschichte der Wasserkraftnutzung*, online verfügbar unter: <http://klimainfo.net/Wassenergie/geschichte-wasserkraft.php>.
- Ocean Energy Council (2011), *Tidal Energy*, online verfügbar unter: <http://www.oceanenergycouncil.com/index.php/Tidal-Energy/Tidal-Energy.html>.
- Pelamis Wave Power Ltd. (2011), *Project Overview*, online verfügbar unter: <http://www.pelamiswave.com/our-projects/project-overview>.
- REN 21 (2011), *Renewables 2011 – Global Status Report*, online verfügbar unter: http://www.ren21.net/Portals/97/documents/GSR/REN21_GSR2011.pdf.
- World Energy Council (2010), *Survey of Energy Resources*, online verfügbar unter: http://www.worldenergy.org/documents/ser_2010_report_1.pdf.