

Markus Aufleger, Barbara Brinkmeier, Robert Klar und Valerie Neisch

# Wasser als Energiespeicher – neue Ideen und Konzepte

Die Speicherung elektrischer Energie hat große Bedeutung für den Ausgleich der Schwankungen zwischen Strombedarf und Stromproduktion. Infolge der in Mitteleuropa massiv zunehmenden Einspeisungen von Strom aus erneuerbaren Energien und dem politischen Entschluss Deutschlands, aus der Atomkraft bis zum Jahre 2022 vollständig auszusteigen, steigt der Speicherbedarf weiter an. Die wichtigste Technologie für die großtechnische Speicherung elektrischer Energie ist die Pumpspeicherung. Andere Speichermethoden weisen im Vergleich erhebliche Nachteile auf. Eine Reihe von neuen Ideen und Konzepten zur Nutzung von Wasser als Energiespeicher jenseits konventioneller Pumpspeicher liegt bereits vor. Gegenwärtig werden z. B. an der Universität Innsbruck hydraulische Großenergiespeicher nach den Power-Tower- und Buoyant-Energy-Konzepten entwickelt.

## 1 Einführung

Der anthropogen verursachte Klimawandel führt zum Umdenken in der Energiefrage. Fossile Brennstoffe werden verstärkt durch erneuerbare Energien ersetzt. Gerade im Bereich der Stromerzeugung ist in Mitteleuropa das Bekenntnis zur Energiewende politischer Wille und gesetzlich verankert. In Deutschland wurde die Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Quellen von 3,1 % im Jahr 1990 auf 17,1 % im Jahr 2010 erhöht [1]. Die wichtigsten erneuerbaren Energiequellen im Jahr 2010 waren Wind (6,2 % der gesamten elektrischen Produktion) und Wasserkraft (3,4 %), gefolgt von Biogas (2,4 %) und Solarenergie (1,9 %) [1].

Strom aus erneuerbaren Quellen ist von hoher Volatilität geprägt, da insbesondere Wind- und Solarenergie stark von Wetter und Klima abhängig sind.

Das Stromnetz in Europa ist bereits heute durch die fluktuierende Einspeisung aus den erneuerbaren Energien stark beeinflusst. Dies führt zu einem hohen Regelbedarf, der zukünftig nur durch einen Speicherausbau oder durch die Neuerichtung von konventionellen, schnell regelbaren thermischen Kraftwerken bewerkstelligt werden kann.

Der Speicherbedarf in Mitteleuropa wird heute zum größten Teil durch Pumpspeicherkraftwerke (PSW) gedeckt. Druck-

luftspeicher, unterschiedliche chemische Formen der Speicherung (z. B. Redox-Flow-Batterien), Schwungradspeicher, die Wasserstofftechnologie und auch die Methanisierung werden in einem viel geringeren Umfang genutzt. Im Vergleich zu konventionellen PSW haben diese Methoden in der Regel erhebliche Defizite hinsichtlich Lebensdauer, Kosten und Effizienz.

PSW stellen eine langjährig erprobte und wirtschaftlich erfolgreiche Technologie dar. Der Wirkungsgrad moderner Anlagen liegt bei über 80 %. Sie verfügen über eine kurze Anlaufzeit und sind schwarzstartfähig. Für die elektrische Großenergiespeicherung gibt es derzeit keine andere verfügbare und ausgereifte Technologie. Auf Grund ihrer regelbaren und sicheren Einsatzweise besitzen PSW eine sehr hohe Systemqualität.

Konventionelle PSW sind auf geeignete natürliche Gegebenheiten angewiesen. Deren weiterer Ausbau ist somit durch die Verfügbarkeit von topografisch geeigneten Standorten begrenzt.

Da der Speicherbedarf mit der Stromerzeugung aus den erneuerbaren Energieträgern Wind und Sonne weiter steigt, müssen rechtzeitig andere Speicherkonzepte in Betracht gezogen werden. Eine Vielzahl von Ideen ist bereits vorhanden. Einige von ihnen verwenden Wasser als Speichermedium.

## 2 Speicherbedarf

Der Speicherbedarf wird durch vier wesentliche Parameter charakterisiert. Dazu zählen die regelbare Leistung [MW], die Startzeit, die Speicherkapazität ([MWh], [GWh] bzw. [TWh]) und die Speicherarbeit (MWh pro Zeiteinheit, z. B. pro Jahr). Die Leistung und die Startzeit beeinflussen die Flexibilität eines Speichers. Eine große regelbare Leistung und eine kurze Startzeit führen zu einer hohen Flexibilität einer Anlage. Die Speicherkapazität beschreibt die Größe des Speichers, wogegen die Speicherarbeit die tatsächlich ab- bzw. aufgenommene Energie während eines definierten Zeitraumes (gewöhnlich ein Jahr) darstellt.

Der Speicherbedarf wird entsprechend der Länge der Startzeit in Primärregelleistung (Aktivierung innerhalb weniger Sekunden), Sekundärregelung (Aktivierung innerhalb weniger Minuten) und in Reserveleistung (Aktivierung innerhalb mehrerer Minuten) unterteilt. Die derzeit in Deutschland benötigte Regelleistung liegt im Bereich von wenigen Gigawatt, während die Reserveleistung im zweistelligen Gigawattbereich liegt [2]. Der Bedarf der Speicherarbeit der Regelenergie kann mit mehreren hundert TWh/a abgeschätzt werden, der Bedarf an Reservearbeit mit wenigen TWh/a [2].

Ein weiterer wichtiger Parameter sind die Transienten, die die Leistungsände-

rungsgeschwindigkeiten angeben. Transienten können eine Größe von bis zu 4 GW pro 15 Minuten erreichen. In der Zukunft könnte Transienten von bis zu 12 GW für 15 Minuten erforderlich sein [3].

**Bild 1** zeigt eine Prognose des elektrischen Energiebedarfs für das Jahr 2030 in Deutschland. Basierend auf der Annahme, dass im Jahr 2030 50 % der gesamten elektrischen Energie aus erneuerbaren Quellen gewonnen wird, ist die verbleibende Nachfrage (Residuallast) dargestellt. Die Residuallast beträgt zwischen 80 GW und minus 20 GW und muss mit Hilfe geeigneter Methoden ausgeglichen werden.

Der zukünftige Speicherbedarf wird durch den Anteil der Energie aus erneuerbaren Quellen und deren Eigenschaften sowie den Wirkungsgrad der Speicher- methode und die grenzüberschreitende Zusammenarbeit der Länder beeinflusst werden.

### 3 Speichermöglichkeiten mit Wasser

#### 3.1 Allgemeines

Konventionelle Pumpspeicherung ist eine lange bewährte und wirtschaftlich rentable Technologie. Der Wirkungsgrad moderner Anlagen liegt bei bis zu 80 %. Wesentliche Vorteile sind eine sehr kurze Startzeit, ein hohes Regelleistungsvermögen, bedeutende Speicherkapazitäten und die Schwarzstartfähigkeit. Die Leistung der bestehenden Anlagen beträgt zwischen 50 MW und 2 800 MW, während die Speicherarbeit typischerweise im Bereich zwischen 500 MWh/a und 15 000 MWh/a liegt. Die Errichtung von konventionellen Pumpspeichieranlagen ist in hohem Maße

an das Vorhandensein geeigneter topografischer Gegebenheiten geknüpft. Viele der potenziellen Standorte liegen in den Alpen bzw. den Mittelgebirgen, fernab der großen Windkraftparks des Nordens. Eine Vielzahl dieser Standorte wird darüber hinaus bereits genutzt. Neubauten stoßen mitunter auf großen Widerstand von Seiten des Natur- und Landschaftsschutzes. Einzelne Pumpspeicherprojekte [4] sehen bereits die unterirdische Anordnung eines oder beider Reservoirs vor, um mögliche negative Auswirkungen auf die Ökologie zu minimieren. Alternative Ansätze für Speicher mit Wasser als Speichermedium, die topografieunabhängig errichtet werden können, werden im Folgenden beschrieben.

#### 3.2 Hydraulische Großenergiespeicher – das Konzept Power Tower

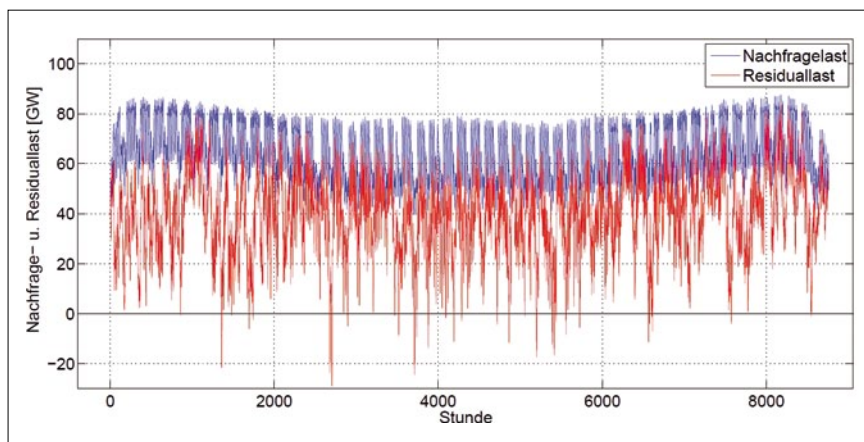
Der Power Tower ist ein innovatives Konzept eines hydraulischen Energiespeichers, der auf der jahrelang erprobten Technologie der PSW basiert. Ein Power Tower besteht aus einem mit Wasser (W) gefüllten Zylinder, in dem sich eine vertikal bewegliche Auflastkonstruktion (A) befindet (**Bild 2**). Diese Auflast bewirkt durch ihr Volumen und ihre Dichte, unabhängig von ihrer Position, eine konstante Druckerhöhung in dem darunter befindlichen Speichervolumen. Durch zusätzliche Federkonstruktionen lässt sich die Druckhöhe wegababhängig noch erhöhen.

Zur Energiespeicherung wird Wasser aus dem oberen Pumpvolumen in das untere Speichervolumen befördert, wodurch sich die Auflast im Zylinder steigt und nach oben bewegt und der Speicher geladen wird. Um die gespeicherte Energie wieder freizugeben, wechselt die Richtung des Förderstroms, die Auflast

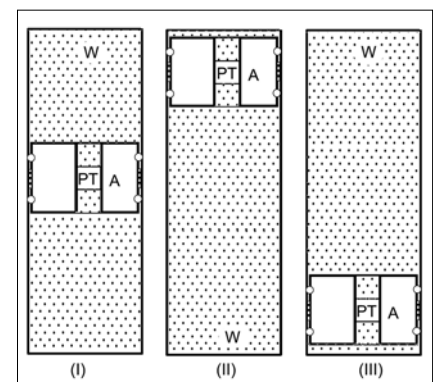
sinkt ab und treibt eine Turbine an. Die Pumperturbine (PT) kann im Auflastzylinder integriert oder auch außenliegend angeordnet werden.

Der Power Tower zeichnet sich durch die topografieunabhängig, dezentrale Einsatzmöglichkeit bei hohem Wirkungsgrad (>80 %) aus. Die einfache und robuste Technologie bietet eine lange Lebensdauer und eine unbegrenzte Anzahl von Lastzyklen. Schnelle Lastwechsel sind ebenso möglich wie eine Kurz- und Langzeit- speicherung ohne Entladung. Der Power Tower ist in der Größe skalierbar und stellt bei unterirdischer Anordnung keinen Eingriff in die Landschaft dar.

In der Grundversion des Power Towers (Variante ohne Federn) besteht eine konstante Druckdifferenz, mit welcher die Turbine angetrieben wird. Die Maschineneinheit kann optimal darauf ausgelegt werden. Der im System vorherrschende Druck setzt sich aus dem Produkt des Dichteunterschieds zwischen der Auflast und dem Fördermedium Wasser und der Höhe des Auflastzylinders zusammen. Die Speicherkapazität (kWh) eines Power Towers erreicht ihr Maximum, wenn die Auflastkonstruktion die Hälfte der gesamten Zylinderhöhe einnimmt. Die Speicherkapazität steigt quadratisch sowohl mit Zunahme des Radius als auch mit zunehmender Zylinderhöhe bzw. Schachttiefe an. Die Skala der Anwendung ist breit gefächert, wodurch Power Tower für verschiedenste Anforderungen und Randbedingungen gebaut werden können. Während kleinere Systeme in Haushalten installiert werden können (z. B. im Inselbetrieb in Verbindung mit Fotovoltaik), ist die Installation von sehr großen Anlagen (Anlagenhöhen von mehreren hundert



**Bild 1:** Prognose des Energiebedarfs und der Residuallast in Deutschland auf Basis einer 50%-Versorgung mit erneuerbaren Energien im Jahr 2030 [3]



**Bild 2:** Prinzipskizze des Power Towers (Die Lage der Auflast bestimmt den Ladezustand: Lage II = voll geladen; Lage III = entladen) [5]



**Bild 3:** Prototyp des hydraulischen Großenergiespeichers Power Tower der Universität Innsbruck

Metern) oder die Installation eines Power Tower-Clusters denkbar.

Die Funktionalität des Power Towers wurde im Rahmen eines vom Österreichischen Klima- und Energiefonds geförderten Forschungsvorhabens an einem kleinen Prototyp im Wasserbaulabor der Universität Innsbruck nachgewiesen. Dazu wurde ein 2,20 m hoher Plexiglaszylinder mit einem Durchmesser von 0,64 m aufgestellt und mit einer Stahlauflast von 1 t Gewicht versehen (**Bild 3**). Außerhalb des Zylinders ist eine kleine Pumpturbine angeordnet, die über einen Frequenzumformer mit dem Stromnetz verbunden ist. Sie lässt sich über ein Schaltpult steuern, an dem auch die elektrische Leistung angezeigt wird.

Durch Untersuchung der Einzelkomponenten werden u. a. über Druckmessungen die hydraulischen Verluste im System und die Wirkungsgrade der Maschinenelemente bestimmt. Der Aufbau wird in Varianten untersucht und optimiert. Eine Erweiterung des Prototyps mit einer besser ausgelegten Maschineneinheit befindet sich in Planung. Zur Auflasterhöhung sind zusätzlich wegababhängige Federsysteme geplant. Weiterer Optimierungsbedarf besteht für das Führungs- und Dichtungssystem.

Die Investitionen für die Errichtung eines Power Towers werden im Vergleich zu anderen Speichern relativ hoch sein. Nachteilig ist zunächst das ungünstige Verhältnis von baulichem Aufwand zur Kapazität der Speicher bzw. die ungünstige Energiedichte. Durch Entwicklung von standardisierten Baugrößen könnten deutliche Kostenbegrenzungen erreicht werden. Für die Betriebskosten sind beim Power Tower dagegen nur sehr geringe Kosten zu erwarten, da lediglich die Wartungskosten für die Maschineneinheit und das Dichtungssystem anfallen.

### 3.3 Hydraulische Großspeicher für Offshore Anwendungen – Buoyant Energy

Das Prinzip von Buoyant Energy (schwimmende hydraulische Energiespeicher) wird für die Offshore-Anwendung zur lokalen Speicherung der Überschussleistungen aus Windkraftparks entwickelt und basiert auf der jahrelang erprobten Pumpspeichertechnologie. Im Gegensatz zur herkömmlichen Anordnung der Speicherbecken schwimmt hierbei allerdings ein kleineres Reservoir in einem großen Reservoir und Wasser kann mittels einer Anordnung von Turbinen und Pumpen oder Pumpturbinen zwischen den Reservoiren hin und her bewegt werden (**Bild 4**) [6]. Als großes Reservoir ist ein See bzw. das Meer vorstellbar.

Die Energie wird vollständig als potenzielle Energie der Masse der schwimmenden Struktur und der Spannung optionaler Federsysteme gespeichert. Bei Energiezufuhr (Pumpbetrieb) hebt sich der gesamte Baukörper und bei Energiegewinnung (Turbinenbetrieb) erfolgt eine kontrollierte Absenkung.

Die Stärke dieses hydraulischen Energiespeichers liegt vor allem in seiner kombinierten Nutzung mit variablen Aufbauten. So ist eine Kombination von Energie-

erzeuger und Energiespeicher denkbar, wie z. B.:

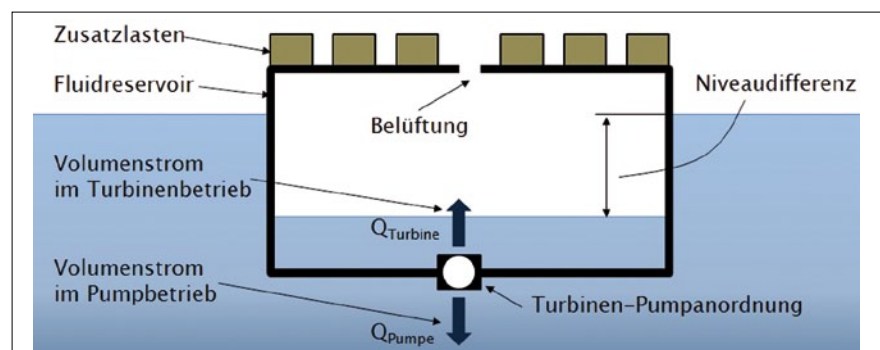
- Koppelung mit Solarkraftwerken,
- Koppelung mit Offshore-Windkraftanlagen („floating wind turbine“),
- Koppelung mit Meeresströmungskraftwerken,

bzw. eine Kombination von schwimmender Offshoreinfrastruktur und Energiespeicher:

- Plattformen mit Nutzbauten (schwimmende Hotels, Aquafarmen etc.),
- Plattformen als Zwischenlager für Nutzlasten (Überseecontainer etc.).

Die Kombination kleiner schwimmender Energiespeicher-Einheiten mit jeweils einer Windturbine („floating wind turbine“) und deren Anordnung im Cluster als regeneratives Kombikraftwerk (**Bild 5**) besitzen gerade in Regionen ohne ausreichend flache Meereszonen (z. B. im Mittelmeer) ein erhebliches wirtschaftliches Potenzial.

Für einen möglichst nachhaltigen Energiespeicher ist es elementar, dass möglichst geringe Energieverluste entstehen und dass das System langfristig funktioniert. Aufgrund der besonderen Bauweise des schwimmenden Energiespeichers ist dies im hohen Maße gegeben. Die hydraulischen Verluste reduzieren sich außerhalb der Verluste in den Pumpturbinen im We-

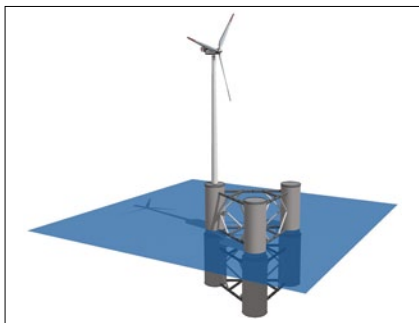


**Bild 4:** Konzeptskizze Buoyant Energy (schwimmender hydraulischer Energiespeicher) [6]

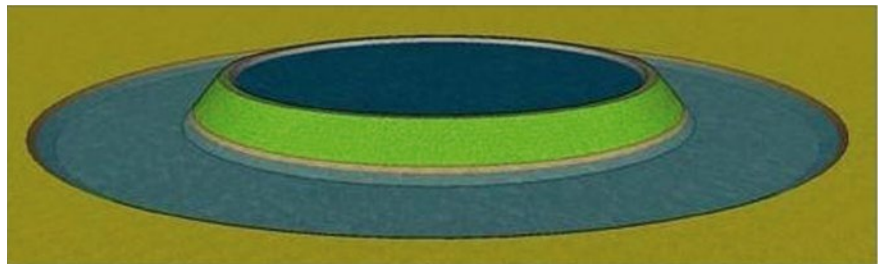
sentlichen auf die Verluste am Ein- und Auslauf. Durch die konstante Druckhöhe der Varianten ohne elastische Elemente ist eine hocheffiziente Abstimmung der angeordneten Maschineneinheiten mit jederzeit optimalem Wirkungsgrad möglich. Daher darf mit einem signifikant höheren Wirkungsgrad als bei konventionellen PSW gerechnet werden.

Die Anzahl der Lade- und Entlade-Zyklen des Speichersystems ist konzeptbedingt unbeschränkt. Die Startzeit kann sehr kurz sein und die Selbstentladerrate ist bei entsprechender baulicher Ausgestaltung vernachlässigbar klein. Entgegen dem modernen Schiffsbau, der vor allem auf Leichtbau setzt, ist bei schwimmenden hydraulischen Energiespeichern die Robustheit und Masse des Baukörpers entscheidend. Es können daher erprobte und bewährte Baumethoden zur Anwendung gebracht werden (z. B. Betonschiffe).

Bei Buoyant Energy handelt es sich um eine robuste und bewährte Technologie im neuen Umfeld. Der zukünftige Einsatzbereich wird hauptsächlich in der Verlagerung und Vergleichmäßigung fluktu-



**Bild 5:** Anwendung des Buoyant-Energy-Konzepts bei einer „floating wind turbine“



**Bild 6:** Konzept des Ringwallspeichers [7]

ierender Erzeugung aus Windenergie und im Inselbetrieb gesehen.

### 3.4 Weitere Speicherkonzepte mit Wasser als Speichermedium

Eine Option für großskalige Speicherung von Energie in topografisch flachen Gebieten ist der Ringwallspeicher [7]. Die Hauptidee besteht darin, anthropogen geprägte Landschaften im Flachland mittels Pumpspeichertechnologie zu nutzen. Die einfachste Form eines Ringwallspeichers besteht aus einem zentralen Oberbecken, das durch einen Ringwall von dem ringförmigen Unterbecken getrennt ist (Bild 6). Wesentliches Merkmal ist die Verwendung des Aushubmaterials des unteren Beckens für den Bau des Damms. Standorte, in denen große Erdbebewegungen bereits stattgefunden haben (z. B. verlassenen Tagebaugebiete), bieten sich ebenfalls an. Die Speicherung bzw. Bereitstellung der Energie erfolgt mit Hilfe konventioneller Pumpen, Turbinen oder Pumpturbinen bei entsprechend hohen Wirkungsgraden.

Weiteres Potenzial bietet die Nutzung von Halden (Landschaftsbauwerken), auf denen PSW – auch in Kombination mit Windkraftwerken – errichtet werden können [8]. Vor allem in den Bergbaugebieten im Norden Deutschlands finden sich Hal-

den mit entsprechenden Dimensionen (Höhenunterschiede von bis zu 100 m). Die Vorteile liegen in verhältnismäßig geringen erforderlichen Erdbewegungen und darin, dass kein Eingriff in die Naturlandschaft erfolgt, sondern lediglich bereits stark anthropogen überformte Gebiete genutzt werden.

Verlassene Bergwerke und die zugehörige Infrastruktur bieten weiteres Speicherpotenzial in Regionen ohne natürliche Höhenunterschiede. Die großen vorhandenen Stollensysteme können als unterirdische Unterbecken genutzt werden, die mit einem oberirdisch angeordneten Oberbecken kombiniert werden [9].

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Europas Speicherbedarf an elektrischer Energie steigt aufgrund der zunehmenden Versorgung aus erneuerbaren Quellen, wie Wind- und Solarenergie, die naturgemäß einer hohen Volatilität unterliegen, weiter an. Der vorliegende Beitrag gibt einen kurzen Überblick über mögliche Speichermethoden unter Verwendung von Wasser als Speichermedium. Konventionelle Pumpspeicherwerke sind seit lan-

ANZEIGE

## Buchwerbung – So gewinnen Sie Kunden!

Ihre Vorteile der Buchwerbung bei Vieweg+Teubner:

### Ein erstklassiges Umfeld

- ▶ durch ein renommiertes Verlagshaus
- ▶ und namhafte Autoren

### Homogene Zielgruppen

- ▶ mit hohem Involvement
- ▶ die Ihre Fachbücher regelmäßig nutzen

### Positiver Abstrahleffekt

- ▶ auf das Image Ihres Unternehmens bzw. Ihrer Produkte, durch den ausgezeichneten Ruf unserer Autoren und Verlage

### Werbemöglichkeiten

- ▶ Anzeige
- ▶ Logo | Sponsoring
- ▶ Lesezeichen



Best Ad Media

Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH | Abraham-Lincoln-Straße 46 | 65189 Wiesbaden  
tel +49 (0)611 / 78 78 – 555 | info@best-ad-media.de | [www.best-ad-media.de](http://www.best-ad-media.de)

Richtig schalten.  
**BEST AD MEDIA**

gem erprobt und wirtschaftlich erfolgreich. Die für einen weiteren Ausbau verbleibenden Standorte sind jedoch begrenzt. Neue Konzepte, die unabhängig von topografischen Gegebenheiten zur Anwendung kommen können, wurden entwickelt und werden weiter untersucht. Dazu zählen das Konzept Power Tower [10] (hydraulischer Großenergiespeicher) und das Konzept Buoyant Energy [11] (schwimmende hydraulische Energiespeicher), die am Arbeitsbereich Wasserbau der Universität Innsbruck wissenschaftlich untersucht werden. Die Wirtschaftlichkeit von Energiespeichern hängt stark von der politischen Entwicklung der nahen Zukunft ab. Wenn Anreize geboten werden, die eine gleichmäßige Einspeisung von Energie ins Netz belohnen, werden neue Speichermethoden rentabel.

#### Hinweis

Dieser Beitrag entstand in Kooperation mit der Arbeitsgemeinschaft Alpine Wasserkraft (AGAW), deren Organ die Fachzeitschrift WasserWirtschaft ist, im Nachgang zum AGAW-Symposium 2011 in Trier.

#### Autoren

**Univ. Prof. Dr.-Ing. Markus Aufleger**  
**Dipl.-Ing. Dr.-techn.**  
**Barbara Brinkmeier**  
**Dipl.-Ing. Robert Klar**  
**Valerie Neisch**

Arbeitsbereich Wasserbau Universität Innsbruck  
 Technikerstr. 13  
 6020 Innsbruck, Österreich  
 markus.aufleger@uibk.ac.at  
 barbara.brinkmeier@uibk.ac.at  
 robert.klar@uibk.ac.at  
 valerie.neisch@uibk.ac.at

Markus Aufleger, Barbara Brinkmeier, Robert Klar and Valerie Neisch

#### Water as Energy Storage – new Ideas and Concepts

Storage of electric energy has great significance for the compensation of the variability between demand and production. Increasing supplies of electricity from wind power and photovoltaic systems in central Europe lead to increasing energy fluctuations. As a consequence, the demand for storage of electric energy rises continuously. Today pump storage is by far the most important technology for storage of electrical energy. Other methods often have considerable deficits in lifetime, costs and efficiency. A number of ideas and concepts for the use of hydropower as an energy storage beyond conventional pump storage is already available. These new approaches of large hydraulic energy storage systems are currently investigated at the University of Innsbruck. The main aim of this work is to give an overview of existing and conceptual options of energy storage with water as a storage medium.

Маркус Ауфлегер, Барбара Бринкмайер, Роберт Клар и Валери Найш

#### Вода как аккумулятор энергии – новые идеи и концепции

Аккумуляция электрической энергии имеет большое значение для компенсации разницы между потребностью в электроэнергии и ее производством. Вследствие значительного увеличения поставок электроэнергии из возобновляемых источников энергии в Центральной Европе и принятия политических решений в Германии в отношении полного отказа от ядерной энергии до 2022 года увеличивается потребность в аккумулировании энергии. К одной из наиболее значимых технологий промышленного хранения электрической энергии относятся насосные системы аккумулирования. Прочие методы аккумулирования энергии имеют значительные недостатки по сравнению с вышеуказанным методом. Кроме обычных систем насосного аккумулирования имеется также ряд новых идей и концепций использования воды в качестве энергоаккумулятора. В настоящее время крупные гидравлические энергоаккумуляторы разрабатываются, например, в инсбрукском университете Инсбрука в соответствии с концепциями Power-Tower и Buoyant-Energy.

#### Literatur

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Erneuerbare Energien in Zahlen. Berlin. 2010 ([www.erneuerbare-energien.de](http://www.erneuerbare-energien.de)).
- [2] Vennemann, P.: Ausgleichsenergie – Perspektiven für Pumpspeicher. In: WasserWirtschaft 101 (2011), Heft 10. S. 38-41.
- [3] Hundt, M.; Barth, R.; Sun, N.; Brand, H.; Voß, A.: Herausforderungen eines Elektrizitätsversorgungssystems mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart, 2010.
- [4] Bernegger, K.: Energiespeicher Bernegger – umweltverträgliche Speicherbatterie mit 300 MW. In: Speicher und Pumpspeicherkraftwerke Energiespeicher und aktuelle Projekte. Tagung des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes, Wien. 2011.
- [5] Neisch, V.; Klar, R.; Aufleger, M.: Power Tower – Hydraulischer Energiespeicher. In: Alternativen für die Energiezukunft Europas. 12. Symposium Energieinnovation, 15. bis 17. Februar 2012, TU Graz. Graz: Verlag der Technischen Universität Graz. 2012.
- [6] Klar, R.; Neisch, V.; Aufleger, M.: Buoyant Energy – Dezentrale offshore Stromspeicherung im europäischen Kraftwerkspark. In: Alternativen für die Energiezukunft Europas. 12. Symposium Energieinnovation, 15. bis 17. Februar 2012, TU Graz. Graz: Verlag der Technischen Universität Graz. 2012.
- [7] Popp, M.: Speicherbedarf bei einer Stromversorgung mit erneuerbarer Energie. Heidelberg: Springer Verlag, 2010.
- [8] RWE Innogy (Hrsg.): Halden erneuerbar nutzen – Energiepark Sundern. 2011 ([www.rweinnogy.com](http://www.rweinnogy.com)).
- [9] Universität Duisburg Essen (Hrsg.): Forschungsprojekt Unterflur-Pumpspeicherwerke – Konzepte für regionale Speicher regenerativer Energien. 2012 ([www.uni-due.de/geotechnik/forschung/upw](http://www.uni-due.de/geotechnik/forschung/upw)).
- [10] Power Tower ([www.powertower.eu](http://www.powertower.eu); Aufruf 15.06.2012).
- [11] Buoyant Energy ([www.buoyant-energy.com](http://www.buoyant-energy.com); Aufruf 15.06.2012).



**Anzeigen-Service**  
**(0611) 7878 338**