

# BUOYANT ENERGY

## Dezentrale offshore Stromspeicherung im europäischen Kraftwerkspark

**Robert KLAR, Valerie NEISCH, Markus AUFLEGER**

Universität Innsbruck, Arbeitsbereich Wasserbau, Technikerstr. 13, 6020 Innsbruck,  
Tel: +43 512 507 6941, Fax: +43 512 507 2912, wasserbau@uibk.ac.at,  
www.uibk.ac.at/wasserbau, office@buoyant-energy.com, buoyant-energy.com

**Kurzfassung:** Energiespeicherung ist ein wichtiges Element in elektrischen Netzen mit nicht bedarfsgerecht regelbarer Erzeugung bzw. Einspeisung. Durch den zunehmenden Ausbau erneuerbarer Energien werden Speichersysteme immer mehr zur prägenden Systemkomponente und technologischen Herausforderung. Eine Reihe von Technologien zur Speicherung elektrischer Energie steht hierfür bereits zur Verfügung. Häufig weisen diese jedoch Nachteile hinsichtlich ihrer technischen Speichereigenschaften, Entwicklungsstufe und Wirtschaftlichkeit auf. Als vollkommen neuer Ansatz werden schwimmende hydraulische Energiespeicher nach dem *Buoyant Energy* Prinzip vorgestellt. Im Rahmen dieser Arbeit werden das Prinzip, spezifische Kenngrößen, verschiedene Ausführungsvarianten und eine erste Analyse der Einsatzmöglichkeiten erläutert. Schwimmende hydraulische Energiespeicher verwenden die einfache Technologie von Pumpspeicherkraftwerken und können einzeln oder in Clustern angeordnet dezentral zum Ausgleich von Bedarf und Erzeugung bzw. zur regelbaren Einspeisung elektrischer Energie herangezogen werden. *Buoyant Energy* kann bevorzugt im Bereich von *Offshore*-Windkraftanlagen eingesetzt werden und einen dezentralen Ausgleich der fluktuierenden Erzeugung leisten.

**Keywords:** Hydraulische Energiespeicher, Pumpspeicherkraftwerke, dezentral, offshore

## 1 Motivation

Der europäische Kraftwerkspark ist durch einen zunehmenden Ausbau erneuerbarer Energien geprägt. Der Anteil erneuerbarer Energieträger am Bruttoenergieverbrauch soll innerhalb der EU gemäß den 20-20-20 Zielen von 8,5 Prozent im Jahr 2008 auf insgesamt 20 Prozent bis zum Jahr 2020 gesteigert werden (Europäische Kommission, 2009).

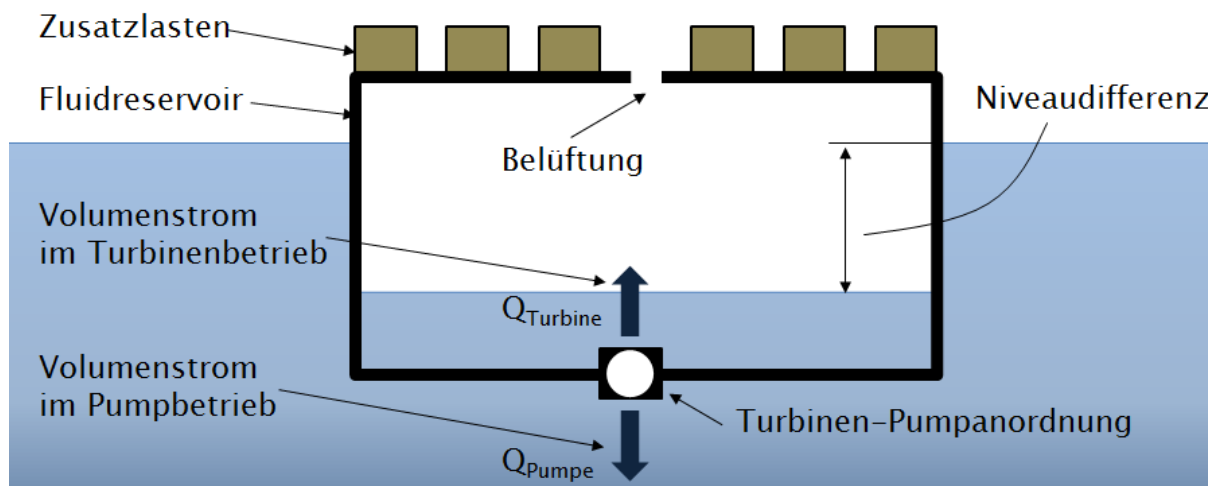
Die Speicherung elektrischer Energie hat große Bedeutung für den Ausgleich der Schwankungen zwischen Strombedarf und Stromproduktion. Infolge der zunehmenden Einspeisung von Strom aus regenerativen Quellen mit fluktuierender Erzeugercharakteristik steigt der Bedarf an Regelung und Speicherung. Die wirtschaftlich und technisch bevorzugte Variante der großtechnischen Stromspeicherung und Netzregelung sind Pumpspeicherkraftwerke. Diese bedingen jedoch oft erhebliche Eingriffe in die Landschaft und sind daher mit großen Problemen in den Genehmigungsverfahren verbunden. Die geplante Errichtung großer *Offshore*-Windenergie-Kapazitäten in Nord- und Ostsee sowie das *Repowering* bestehender *Onshore*-Windenergieanlagen insbesondere in den nord- und ostdeutschen

Bundesländern erhöhen die Stromerzeugungskapazitäten im Norden und Nordosten Deutschlands. In diesen küstennahen, flachen Regionen fehlen allerdings die topographischen Voraussetzungen zum Bau von Pumpspeicherkraftwerken. Der Einsatz von Pumpspeicherkraftwerken zum überregionalen Ausgleich der Schwankungen aus den erneuerbaren Energien beansprucht daher das bestehende Stromnetz in hohem Maße. Die *dena*-Netzstudie I (2005) erwartet, dass allein in Deutschland bis zum Jahre 2020 etwa 14 GW temporär überschüssige Leistung durch zusätzliche Energiespeicher, Lastmanagement und Stromexport aufgenommen werden müssen.

## 2 Das Prinzip „Buoyant Energy“

Das Prinzip von *Buoyant Energy* (schwimmende hydraulische Energiespeicher) basiert auf der jahrelang erprobten Technologie der Pumpspeicherkraftwerke. Im Gegensatz zur herkömmlichen Anordnung der Wasser-Reservoirs schwimmt hierbei allerdings ein kleineres Reservoir in einem großen Reservoir und Wasser kann mittels einer Anordnung von Turbinen und Pumpen oder Pumpenturbinen zwischen den Reservoirs hin und her bewegt werden (siehe Abbildung 1). Als großes Reservoir ist ein Gewässer vorstellbar und somit wäre eine dezentrale Anordnung von schwimmenden hydraulischen Energiespeichern beispielsweise im Umfeld der geplanten *Offshore*-Windenergie-Parks in der Nordsee möglich.

Die Energie wird vollständig durch die potentielle Energie der Masse des schwimmenden hydraulischen Energiespeichers (und der Spannung eventueller Federsysteme) gespeichert. Bei Energiezufuhr (Pumpbetrieb) hebt sich der gesamte Baukörper und bei der Energiegewinnung (Turbinenbetrieb) erfolgt eine kontrollierte Absenkung.



**Abbildung 1: Konzept-Skizze *Buoyant Energy* (schwimmender hydraulischer Energiespeicher)**

Die folgenden Abbildungen zeigen weitere Varianten des hydraulischen Energiespeichers nach dem *Buoyant Energy* Konzept. Dabei sind jeweils drei unterschiedliche Betriebszustände  $t_1$ ,  $t_2$  und  $t_3$  dargestellt. Beim Übergang von den Betriebszuständen  $t_1$  nach  $t_3$  arbeiten die Anlagen im Turbinenbetrieb und es wird Energie gewonnen. Um elektrische Energie in potentielle Energie umzuwandeln, läuft der Vorgang in umgekehrter Richtung ab (von  $t_3$  nach  $t_1$ ) und die Anlagen arbeiten im Pumpbetrieb.

Abbildung 2 zeigt eine Variante bei der ein Teil der Masse durch eine elastische Zugvorrichtung ersetzt wird. Die Zugvorrichtung ist durch stilisierte Federn dargestellt. In anderen Ausführungen (siehe Abbildung 3) kann so eine Zugvorrichtung auch über am Meeresgrund umgelenkte Auftriebskörper erfolgen. Zugvorrichtungen haben zudem die positive Eigenschaft, dass sie seitlichen Auslenkungen des hydraulischen Energiespeichers entgegen wirken und damit die horizontale Lage stabilisieren.

Abbildung 4, Abbildung 5 und Abbildung 6 zeigen weitere Ausführungsbeispiele, bei welchen der Meeresspiegel unterhalb des Wasserspiegels im Energiespeicher liegt. Hier läuft die Energieumwandlung in umgekehrter Richtung ab. Dazu ist der hydraulische Energiespeicher mit Auftriebskörpern versehen, welche den Boden des Wasserbehälters über den Meeresspiegel hinausheben.

Die Energiespeicherkapazität kann bei diesen Ausführungen dadurch erhöht werden, dass beim Füllen des hydraulischen Energiespeichers das einströmende Wasser ein elastisches Element gegen eine Spannkraft verformt (siehe Abbildung 5). Damit wird zusätzlich zu der erhöhten potentiellen Energie des Wassers Verformungsenergie gespeichert, die dann zur Energiegewinnung wieder abgegeben werden kann.

Das elastische Element kann dabei eine Federkonstruktion umfassen oder als gasförmiger Puffer ausgebildet sein. Dazu gibt es Ausführungen (siehe Abbildung 6), bei denen der hydraulische Energiespeicher als geschlossener (gasdichter) Behälter ausgeführt ist, bei dem das über dem Wasserspiegel befindliche Gas- oder Luftkissen als gasförmiger Puffer dient, der so auf einfache Art und Weise realisierbar ist.

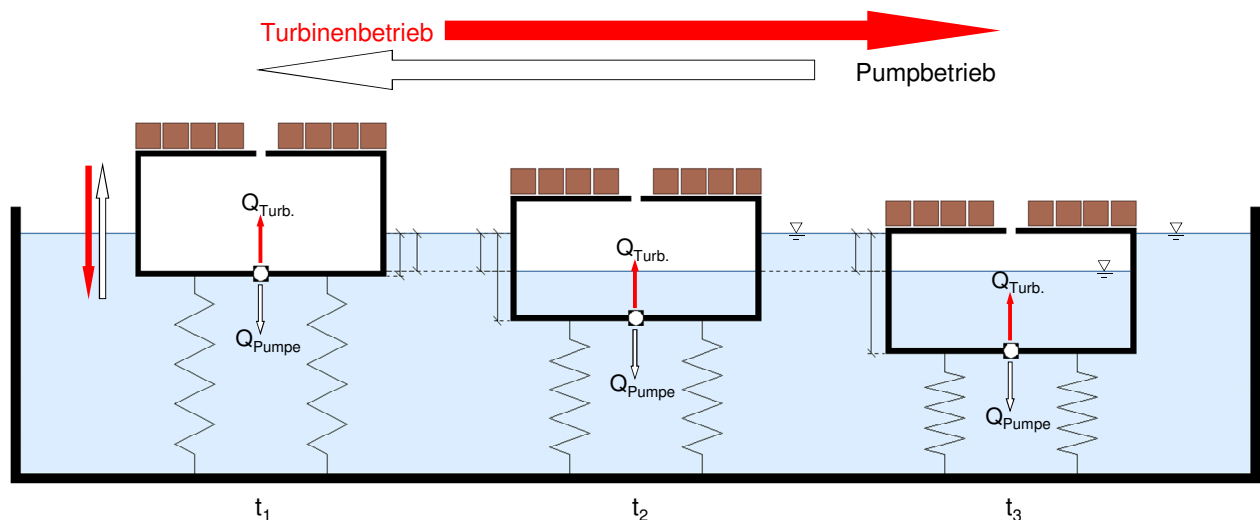


Abbildung 2: Konzept-Skizze *Buoyant Energy Variante 2*

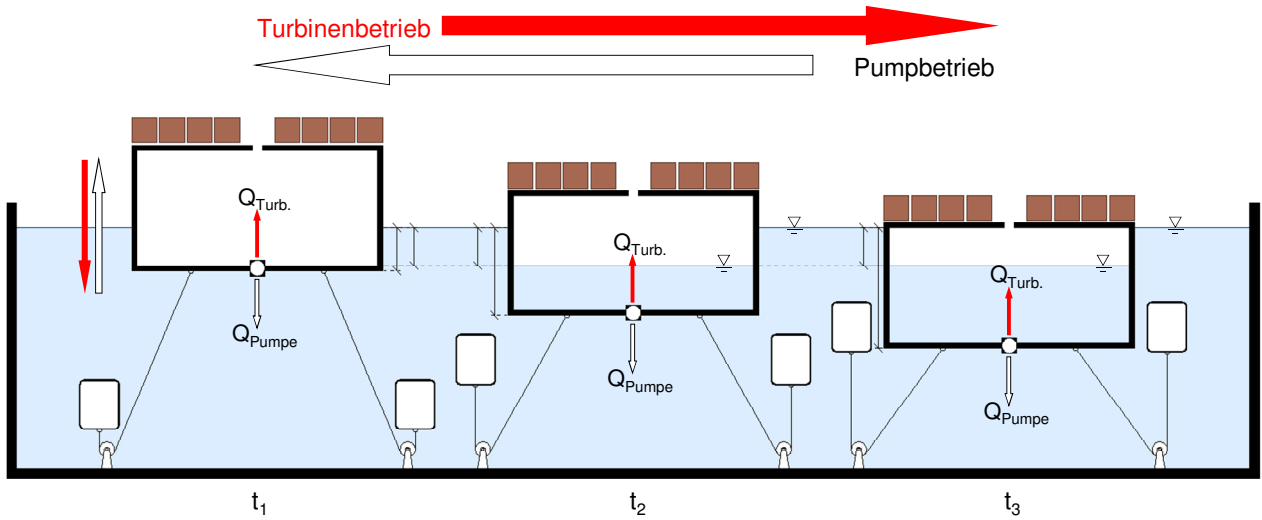


Abbildung 3: Konzept-Skizze *Buoyant Energy Variante 3*

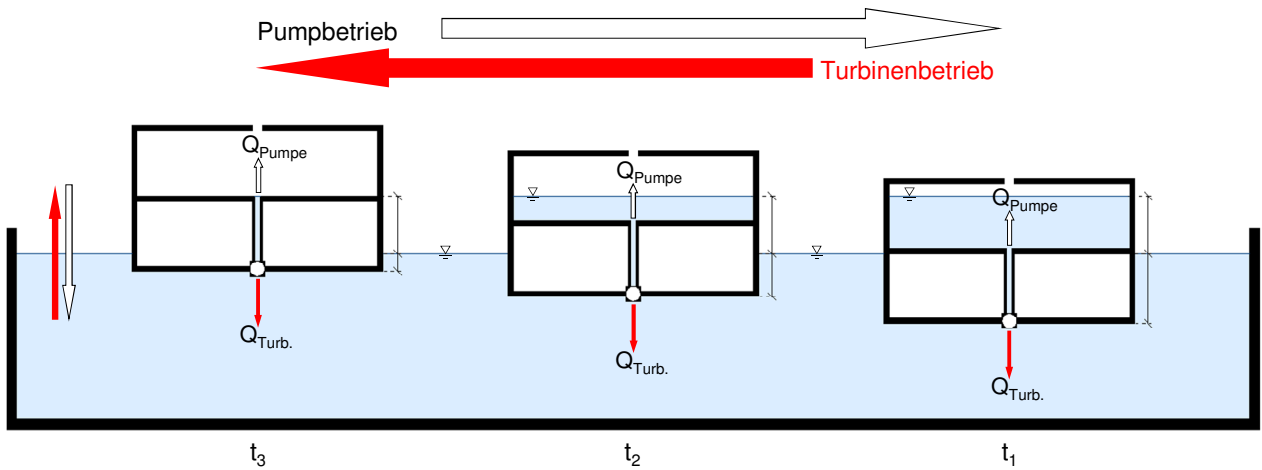


Abbildung 4: Konzept-Skizze *Buoyant Energy Variante 4*

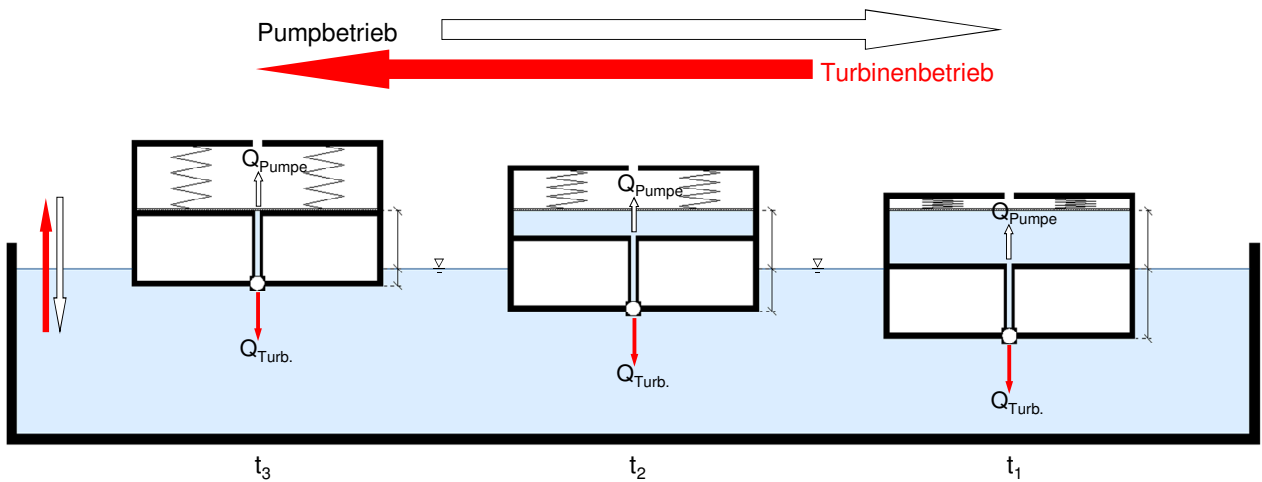


Abbildung 5: Konzept-Skizze *Buoyant Energy Variante 5*

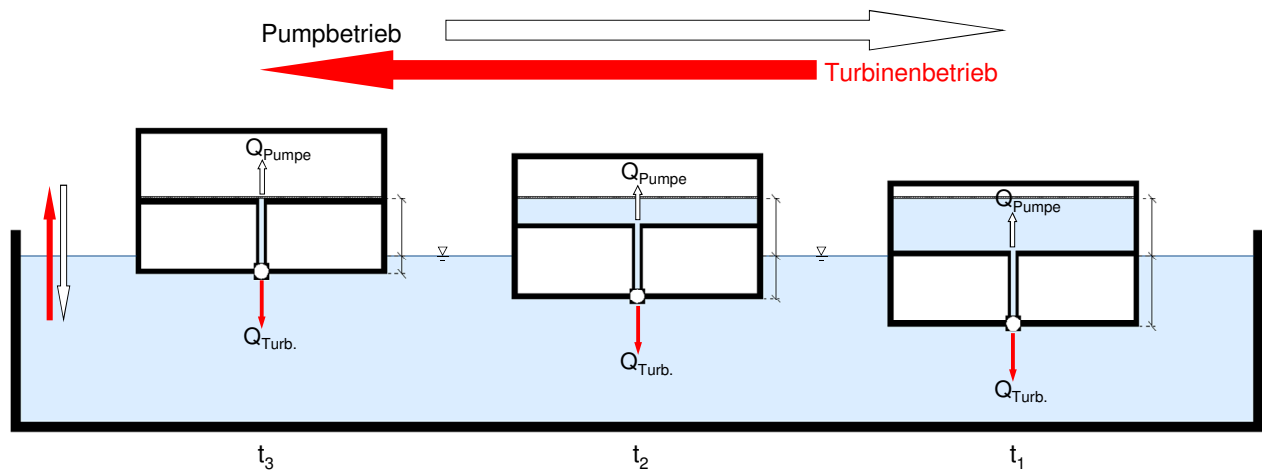


Abbildung 6: Konzept-Skizze *Buoyant Energy* Variante 6

### 3 Charakteristische Merkmale

Der schwimmende hydraulische Energiespeicher nach dem *Buoyant Energy* Prinzip besteht aus einem Baukörper, der möglichst viel Masse in sich konzentriert und einen Hohlraum (Fluidreservoir, siehe Abbildung 1) umfasst. Ähnliche Bauwerke wurden in der Vergangenheit schon oft für andere Aufgabenstellungen errichtet (Absenktunnels, Betonschiffe). Es können daher erprobte und bewährte Baumethoden zur Anwendung gebracht werden. Entgegen dem modernen Schiffsbau, der vor allem auf Leichtbau setzt, ist bei schwimmenden hydraulischen Energiespeichern die Robustheit und Masse des Baukörpers entscheidend.

#### 3.1 Kombinierte Nutzung

In naher Zukunft steigt der Bedarf an *offshore* Energie-, Aquakultur- und Transport-Infrastruktur („*offshore terminals*“, maritime Serviceplattformen). Diesbezüglich werden vielseitig nutzbare *offshore* Plattformen zukünftig sowohl ökonomische als auch ökologische Vorteile bieten. Die Prinzipien des hydraulischen Energiespeichers lassen sich ideal in jedes Design von „*multi-use offshore platforms*“ integrieren. Die Stärke des hydraulischen Energiespeichers liegt in seiner kombinierten Nutzung mit variablen Aufbauten.

So ist eine Kombination von Energieerzeuger und Energiespeicher denkbar, wie z.B.:

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

bzw. eine Kombination von Nutzwert und Energiespeicher:

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

Im Betrieb heben und senken sich hydraulische Energiespeicher je nach abgerufener Leistung und Speicherkapazität mit niedriger bis mittlerer Geschwindigkeit. Daher befinden sich ev. genutzte Plattformen auf der Oberseite zu unterschiedlichen Zeiten in unterschiedlichen Höhen. Diese Höhenänderungen müssen bei kombinierter Nutzung bei der Planung der Aufbauten berücksichtigt werden.

### 3.2 Wirkungsgrad

Für die Energiebilanz ist entscheidend, dass während des gesamten Vorganges (Energiezufuhr / Speicherung / Energieabgabe) möglichst geringe Energieverluste entstehen. Dies ist beim schwimmenden hydraulischen Energiespeicher in hohem Maße gegeben. Die hydraulischen Verluste reduzieren sich außerhalb der Verluste in den Pumpturbinen bzw. den Pumpen- und Turbinenanordnungen im Wesentlichen auf die Verluste am Ein- und Auslauf. Durch die konstante Druckhöhe der Varianten ohne elastische Elemente ist eine hocheffiziente Abstimmung der angeordneten Pumpen, Turbinen und/oder Pumpturbinen mit jederzeit optimalem Wirkungsgrad möglich.

### 3.3 Ladezyklen / Zugriffszeit / Selbstentladerate

Konzeptbedingt ist die Anzahl der Lade-/Entlade-Zyklen des Speichersystems unbeschränkt. Mit zunehmender Anzahl an Lade-/Entlade-Zyklen verringern sich weder die Speicherkapazität, noch der Wirkungsgrad oder die Nennleistung.

Die Zugriffszeit innerhalb der ein hydraulischer Energiespeicher nach dem *Buoyant Energy* Prinzip die Lade-/Entladeleistung von null auf die Nennleistung bzw. die benötigte Leistung steigert, dürfte im unteren Sekundenbereich liegen. Hier wirkt sich das Fehlen von hydraulischen Verlusten außerhalb der Pumpturbinen bzw. der Pumpen- und Turbinenanordnungen ebenfalls positiv aus.

Die Selbstentladerate richtet sich nach der Dichtheit des Baukörpers und der Verschlussventile bei den Pumpturbinen bzw. den Pumpen- und Turbinenanordnungen. Bei entsprechender baulicher Ausgestaltung ist diese vernachlässigbar klein.

### 3.4 Speicherkapazität / Energiedichte

Der nutzbare Energieinhalt eines schwimmenden hydraulischen Energiespeichers wird durch seine Masse (Baukörper, Anlagenteile, Zusatzlasten) und der Größe des Hohlraums (Fluidreservoir) bestimmt. Für eine Abschätzung der speicherbaren Energie wird ein idealisiertes System betrachtet, bei dem die gesamte Masse in den Zusatzlasten konzentriert und der Hohlraum zylindrisch ausgestaltet ist. In diesem Fall erreicht der nutzbare Energieinhalt sein Maximum, wenn bei maximaler Eintauchtiefe  $h$  der Hohlraum zur Hälfte mit Wasser gefüllt ist (siehe Abbildung 7).

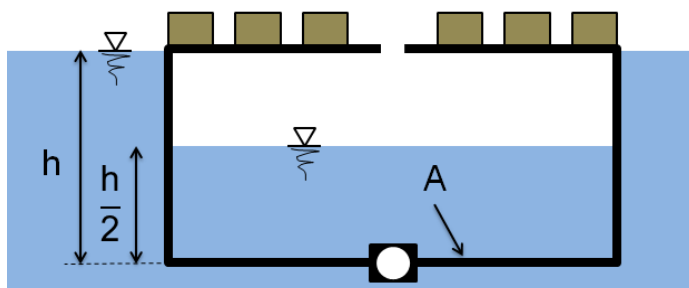


Abbildung 7: Schema zur Berechnung der Speicherkapazität eines idealisierten Systems

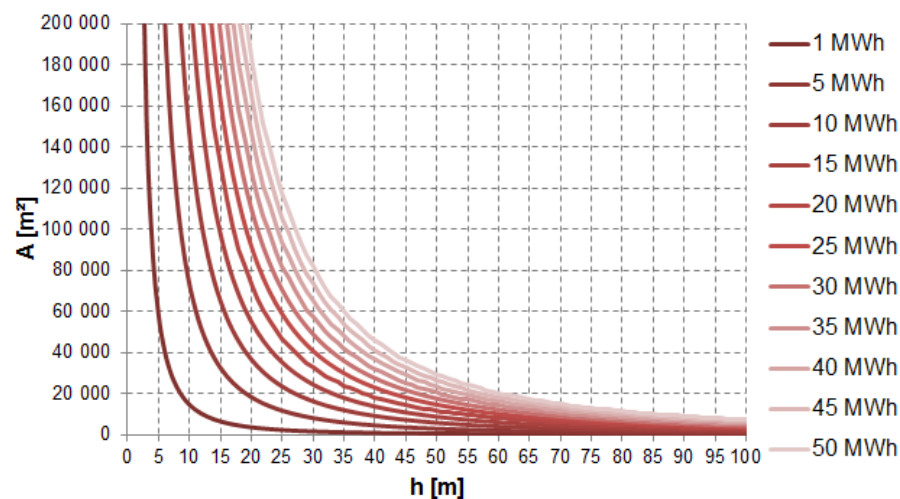
Der Energieinhalt bzw. die Speicherkapazität  $E$  eines idealisierten hydraulischen Energiespeichers berechnet sich gemäß Formel 1 zu

$$E = m \cdot g \cdot \frac{h}{2} = \frac{h}{2} \cdot A \cdot \rho_{\text{Wasser}} \cdot g \cdot \frac{h}{2} = A \cdot \rho_{\text{Wasser}} \cdot g \cdot \frac{h^2}{4} \quad (1)$$

$$m = A \cdot \rho_{\text{Wasser}} \cdot \frac{h}{2} = \frac{2 \cdot E}{g \cdot h} \quad (2)$$

mit der Masse  $m$  des hydraulischen Energiespeichers inklusive aller Zusatzlasten, der Gravitationsbeschleunigung  $g$ , der Dichte des Wassers  $\rho_{\text{Wasser}}$ , der maximalen Eintauchtiefe  $h$  und der Grundfläche  $A$ .

In einem idealisierten System mit konstanter maximaler Eintauchtiefe  $h$  verhält sich die Masse  $m$  proportional zum Energieinhalt  $E$  (siehe Formel 2). In Abbildung 8 ist der Zusammenhang zwischen der Grundfläche  $A$  und der Eintauchtiefe  $h$  für verschiedene Energieinhalte  $E$  dargestellt.



**Abbildung 8: Energiekapazität als Funktion der max. Eintauchtiefe  $h$  und der Grundfläche  $A$**

Die Energiedichte ist vergleichsweise gering. Aufgrund der „unbegrenzten“ Anzahl von Lade-/Entlade-Zyklen, der schnellen Zugriffszeit (im Sekundenbereich) und dem gleichbleibend hohen Wirkungsgrad werden im Betrieb jedoch erhebliche Vorteile gegenüber vergleichbaren Energiespeichersystemen erwartet. Die gravimetrische Energiedichte eines idealisierten hydraulischen Energiespeichers beträgt

$$\rho_{\text{gravimetrisch}} = \frac{E}{m} = g \cdot \frac{h}{2} \quad (3)$$

und die volumetrische Energiedichte lässt sich mit folgender Formel berechnen:

$$\rho_{\text{volumetrisch}} = \frac{E}{h \cdot A} = \frac{m \cdot g}{2 \cdot A} = \rho_{\text{Wasser}} \cdot g \cdot \frac{h}{4} \quad (4)$$

### 3.5 Nennleistung

Die installierte Leistung der Pumpturbinen bzw. der Pumpen- und Turbinenanordnungen ist prinzipiell frei wählbar und wird durch den Einsatzbereich des Energiespeichers bestimmt. Standard-Pumpen arbeiten mit einer spezifischen Leistung, d.h. im optimalen Betriebspunkt

sind Energieaufnahme und Fluid-Durchfluss konstant. Standard-Turbinen können hingegen über die Regelung des Fluid-Durchflusses an die gewünschte Leistung angepasst werden. Durch gleichzeitigen Betrieb von Turbine und Pumpe kann ein Teil des Wassers im Kreis geführt werden (hydraulischer Kurzschluss). Bei geschickter Anordnung und Betriebsweise der Turbinen-Pumpanordnung wird somit eine stufenlose Energieabgabe bzw. Energieaufnahme mit jederzeit optimalem Wirkungsgrad möglich, welche genau an die im Energie-Netz benötigte Leistung angepasst ist (Regel- und Ausgleichsenergie). Zudem können Betriebszustandsänderungen von Pump- in den Turbinenmodus und umgekehrt (Sondernutzungen mit schnellem Lastwechsel) sehr rasch durchgeführt werden.

## 4 Einsatzbereiche

Netzgebundene Speichertechnologien für elektrische Energie können in verschiedenen Einsatzbereichen eine praktische Anwendung finden. Jeder Einsatzbereich ist durch grundlegende technische Anforderungen hinsichtlich des spezifischen Leistungs- und Kapazitätsbereichs sowie dem dynamischem Verhalten definiert. Entsprechend der zu erwartenden technischen Charakteristika von hydraulischen Energiespeichern nach dem *Buoyant Energy* Prinzip werden im Folgenden mögliche sinnvolle Einsatzbereiche diskutiert.

### ➤ Verlagerung und Vergleichmäßigung fluktuierender Erzeugung bzw. Einspeisung

Schwimmende hydraulische Energiespeicher können einzeln oder in Clustern angeordnet in Verbindung mit Erzeugungsanlagen auf Basis erneuerbarer Energien zu einer zeitlichen Verlagerung der Einspeisung verwendet werden. Die Möglichkeiten erstrecken sich dabei von der Glättung der fluktuierenden Erzeugung im kurzfristigen (Sekunden-)Bereich, über das Auffangen von Leistungsspitzen und -einbrüchen im mittelfristigen (Minuten-)Bereich bis hin zu einer Verlagerung bzw. Vergleichmäßigung der Einspeisung über mehrere Stunden hinweg. Erst durch die Plan- und Regelbarkeit einer Gesamtanlage kann Strom in vorhersagbaren Mengen angeboten werden, was ein wesentliches Kriterium für die Marktintegration erneuerbarer Energien, insbesondere für die Handelbarkeit von Strom auf Basis von Windenergie, für die Zukunft darstellt.

Hydraulische Energiespeicher können als Systemkomponente von regenerativen Kombikraftwerken eingesetzt werden. Bei regenerativen Kombikraftwerken handelt es sich um Stromerzeuger aus erneuerbaren Energien nach EEG, die mit Anlagen zur zeitlichen Verlagerung der Einspeisung ergänzt werden (BEE, 2011). Dieses Modell zielt auf eine verbesserte Systemintegration der Einspeisung erneuerbarer Energien im europäischen Kontext ab. Die Einspeisung kann so bedarfsgerecht an die Erfordernisse im jeweiligen Netzgebiet angepasst werden.

### ➤ „Stromveredelung“ und Spitzenlastdeckung

Unter „Stromveredelung“ versteht man die Zwischenspeicherung von Grundlaststrom in Zeiten mit niedrigem Bedarf (Off-Peak-Zeiten) und Stromgestehungskosten, um bei hohem Bedarf (Peak-Zeiten) zu höheren Marktpreisen einspeisen zu können. Diese Anwendung ist vor allem für zentrale bestehende Großspeicher wie Wasserkraft-Pumpspeicherwerke interessant. Es ist jedoch fraglich, ob die (derzeitige) Preisdifferenz zwischen Grundlaststrom und Spitzenstrom alleine ausreicht, um den Neubau von schwimmenden hydraulischen Energiespeichern finanzieren zu können.



➤ Bereitstellung von Systemdiensten

Der Stromnutzen für den Kunden ist wesentlich von der Qualität der zur Verfügung stehenden Versorgungsspannung am Übergabepunkt bestimmt. In diesem Zusammenhang besteht grundsätzlich die Möglichkeit des Speichereinsatzes zur Erbringung von Systemdienstleistungen (Frequenzhaltung, Spannungshaltung, etc.), welche ganz unterschiedliche Anforderungen hinsichtlich des dynamischen Einsatzes und der gesamt vorzuhaltenden Regelleistung erfordern. *Buoyant Energy* kann durch die hohe Skalierbarkeit und den geeigneten technischen Charakteristika hier prinzipiell einen angemessenen Beitrag leisten. Die Wirtschaftlichkeit ist allerdings gesondert für jeden Systemdienst zu untersuchen.

➤ Einsatz in Inselnetzen

Im Betrieb von Inselnetzen sind die Anpassung der Erzeugung an den Bedarf und die Aufrechterhaltung einer definierten Spannungsqualität eine besondere Herausforderung. Gerade hier sind die Erschließung von Speichertechnologien und der Einsatz von steuerbaren Stromverbrauchern eine Notwendigkeit, insbesondere wenn auch regenerative Energieträger mit fluktuierender Verfügbarkeit zur Elektrizitätsgewinnung genutzt werden. Der Betrieb von Inselnetzen kann hierbei durchaus wortwörtlich genommen werden. Mit einer Kombination aus Stromerzeugung aus Windenergie- und Photovoltaikanlagen und der Stromspeicherung nach dem *Buoyant Energy* Prinzip (regeneratives Kombikraftwerk) können Inseln bzw. Inselgruppen von Diesel-Lieferungen und Fossilstrom unabhängig gemacht werden. Schwimmende hydraulische Energiespeicher sorgen dafür, dass selbst wenn weder Sonne noch Wind verfügbar sind, der Ökostrom störungsfrei weiterfließt.

## 5 Ausblick

Durch das erfolgreiche Mindestvergütungssystem des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) in Deutschland bzw. durch die Tarifförderung von Anlagen gemäß Ökostromgesetz (ÖSG, 2009) und Ökostromverordnung (ÖSVO, 2011) ist der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung in den letzten Jahren stark angewachsen. Gleichzeitig besteht dadurch für so geförderte Anlagen derzeit kein Anreiz, bedarfsgerecht einzuspeisen (Abnahmeverpflichtung, fixe Tarife). Ein hoher Anteil von Wind- und Solarstrom ist auf die Erschließung von Speichertechnologien angewiesen, damit die Stromversorgung nicht nur klimafreundlich, sondern auch dauerhaft verlässlich bleibt. Die gegenwärtigen politischen Ausbauinstrumente (EEG, ÖSG, ÖSVO) halten für diese Technologieentwicklung noch keine hinreichenden Anreize bereit. In Deutschland wird im Zuge der Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) bereits über Ansätze zur Vergütung der Verstetigung der Einspeisung, Möglichkeiten der Teilmengen-Direktvermarktung, der Erbringung von Systemdienstleistungen und erleichterte Teilnahme am Regelenergiemarkt diskutiert (BEE, 2011). Die Einführung eines politischen „Stetigkeitsanreizes“ zur Marktintegration von Speichertechnologien darf daher mit hoher Wahrscheinlichkeit in naher Zukunft erwartet werden.

Die Wirtschaftlichkeit von Energiespeichern ist stark von der zukünftigen politischen Entwicklung abhängig. Die Stärke der kombinierbaren Nutzung des vorgestellten Systems spielt bei einer wirtschaftlichen Betrachtung ebenfalls eine entscheidende Rolle. Alternative Energiespeicherkonzepte (z.B. Nutzung der Pumpspeicherkapazitäten in Zentraleuropa)

verlangen oft nach einer Erhöhung der Übertragungsleistung durch einen kostenintensiven Ausbau des Übertragungs- und Verteilnetzes. Durch den dezentralen Einsatz der schwimmenden hydraulischen Energiespeicher direkt am Energieerzeugungsort (z.B. *offshore* Windenergie- und Photovoltaik-Parks) bzw. am Ort des Verbrauchs (z.B. vor küstennahen Städten) könnte ein großer Teil der Kosten eines solchen Netzausbaus vermieden und gleichzeitig die Übertragungsverluste minimiert werden.

Die oben genannten Überlegungen sollen in eine zukünftige wissenschaftliche Arbeit einfließen und zu einer gesamtwirtschaftlichen Betrachtung des hydraulischen Energiespeichers nach dem *Buoyant Energy* Prinzip führen. Des Weiteren sollen bestmögliche Bauformen, Baumethoden, Materialien und Anlagenteile identifiziert werden. Vor allem die Kombination kleiner schwimmender Energiespeicher-Einheiten mit jeweils einer Windturbine („*floating wind turbine*“, Speicher-Lade-/Entladezeit von ca. einer halben Stunde) und deren Anordnung im Cluster als regeneratives Kombikraftwerk erscheint dabei als vielversprechender Ansatz mit zahlreichen Vorteilen.

## 6 Quellen

BEE (Bundesverband für Erneuerbare Energie e.V.) (2011): Maßnahmenpaket zur System- und Marktintegration Erneuerbarer Energien. Stetigkeitsanreiz einführen und Direktvermarktung beschleunigen. <http://www.bee-ev.de/Publikationen/Sonstiges.php>, abgerufen am 25.01.2012.

dena-Netzstudie I (2005): Deutsche Energie-Agentur GmbH, Energiewirtschaftliche Planung für die Netzintegration von Windenergie in Deutschland an Land und Offshore bis zum Jahr 2020. [http://www.dena.de/fileadmin/user\\_upload/Download/Dokumente/Projekte/ESD/netzstudie1/dena-Netzstudie\\_I.pdf](http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Download/Dokumente/Projekte/ESD/netzstudie1/dena-Netzstudie_I.pdf), abgerufen am 25.01.2012.

Europäische Kommission (2009): Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG, ABL. EG L 140/16 vom 5. Juni 2009, Europäische Kommission.