

Powertower – Hydraulischer Energiespeicher

Valerie Neisch, Robert Klar, Markus Aufleger

Universität Innsbruck, Arbeitsbereich Wasserbau, Technikerstr. 13, 6020 Innsbruck,
Tel: +43 512 507 6955, Fax: +43 512 507 2912,
E-Mail: valerie.neisch@uibk.ac.at, Web: www.powertower.eu

Kurzfassung: Im Zeitalter der Energiewende muss der Ausbau einer nachhaltigen Energiewirtschaft genauso vorangetrieben werden wie der dadurch wachsende Speicherbedarf. Nur dadurch wird die Versorgungssicherheit mit einem größeren Anteil volatiler Energielieferanten gewährleistet. Speichertechnologien müssen dafür ausgebaut und weiterentwickelt werden. Der Powertower ist ein innovativer hydraulischer Energiespeicher, der auf der Technologie von Pumpspeicherwerken basiert. Er kann topographieunabhängig und somit dezentral nahe der Energieproduktion errichtet werden und verfügt über einen hohen Wirkungsgrad.

Keywords: dezentraler Energiespeicher, topographieunabhängig, unter- und überirdisch

1 Energiespeicher – Bedarf und aktuelle Marktsituation

Energiespeicher dienen der zeitlichen Entkopplung von Energieerzeugung und -bedarf. Somit können sie einen Ausgleich bei nicht regelbarem, schwankendem Energieangebot schaffen, die Versorgungssicherheit verbessern und das Stromnetz stabilisieren.

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und die Abkehr von der Kernkraft in einigen Ländern Europas führten zu einem verstärkten Ausbau von regenerativen Energien. Diese Anlagen werden dort gebaut, wo sie den meisten Ertrag erbringen - für die Windkraft ist das auf dem Festland, in Regionen starker Windlastzonen und offshore. Im Gegensatz zu der früher zentralen Energieversorgung mit fossilen Energieträgern liegen diese neuen Kraftwerksparks, dezentral ausgerichtet an den natürlichen Randbedingungen, z.T. auch in Gebieten mit schwach ausgebauter Netzinfrastruktur. Dies kann zu Problemen bei der Stromabnahme führen.

Während die Stromeinspeisung aus Photovoltaik bereits einer Tag-Nacht-Schwankung unterliegt, liefert vor allem die Windkraft schwer vorhersehbar und ungleichmäßig Strom. Bei Starkwind müssen Windkraftanlagen dort temporär vom Netz genommen werden, wo es sonst zur Netzüberlastung kommen würde. Demnach gingen im Jahr 2010 in Nord- und Ostdeutschland bis zu 150 GWh Windkraftstrom verloren, da die Netzbetreiber die Anlagen abschalten ließen. [*Studie des Beratungsunternehmens ECOFYS im Auftrag des Bundesverbandes WindEnergie e.V.*]. Die Tendenz ist steigend.

Bisher muss dieser nicht einspeisungsfähige Strom trotz Ausfall vergütet werden. Die Seite der Energieerzeuger hat dadurch also keinen Nachteil und somit auch keinen Anreiz, die Situation zu verbessern.

Der Bedarf an Energiespeichern wächst also weiter mit dem Ausbau volatiler Energielieferanten – ein Markt für Energiespeicher ist in Europa jedoch bisher nicht vorhanden. Die Politik ist hier aufgefordert, diese wachsende Diskrepanz zwischen geförderter Zunahme regenerativer Energien und der nicht honorierten bedarfsgerechten Einspeisung zu beseitigen.

In naher Zukunft wird es daher Anpassungen der Energiepolitik an die neue Situation am Strommarkt in Bezug auf Energiespeicherung und Netzausbau geben müssen.

Pumpspeicherwerke sind die bisher effizientesten Energiespeicher, liegen funktionsbedingt allerdings in den Bergregionen. Beim Energietransfer der dezentralen, regenerativen Kraftwerkparcs dorthin kommt es zu unvermeidbaren Netzverlusten. Außerdem ist das Netz in manchen Regionen dafür unzureichend ausgebaut. Daher wäre eine dezentrale Energiespeicherung in der Nähe der Stromproduktion von Vorteil.

Der vorliegende Bericht beschreibt das Konzept eines neuartigen hydraulischen Energiespeichers, der diese Voraussetzung erfüllt und zurzeit an der Universität Innsbruck entwickelt wird. Es handelt sich um ein geschlossenes System, welches topographieunabhängig nahe an Standorten volatiler Energieerzeugung angeordnet werden kann.

2 Der Powertower - neuer hydraulischer Energiespeicher

2.1 Funktionsweise

Der Powertower ist ein innovatives Konzept eines hydraulischen Energiespeichers und basiert auf der jahrelang erprobten Technologie der Pumpspeicherkraftwerke (Abb. 1). Ein Powertower besteht aus einem mit Wasser (W) gefüllten Zylinder, in dem sich eine vertikal bewegliche Auflastkonstruktion (A) befindet. Diese Auflast bewirkt durch die Dichte ihres Materials und ihr Höhenmaß, unabhängig von ihrer Position, eine konstante Druckerhöhung in dem darunter befindlichen Speichervolumen. Durch zusätzliche Federkonstruktionen lässt sich die Druckhöhe wegabhängig noch erhöhen.

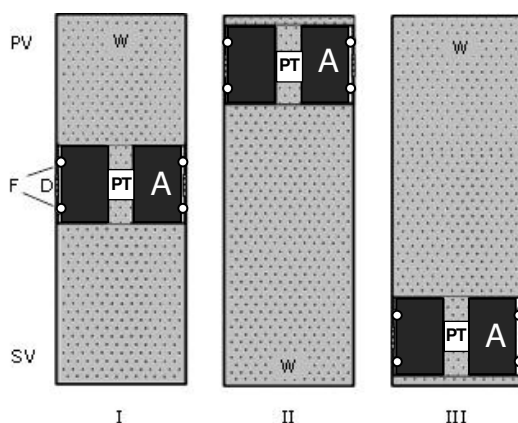


Abb. 1: Prinzipskizze des Powertowers

(Die Lage der Auflast bestimmt den Ladezustand: Lage II = voll geladen; Lage III = entladen)

Zur Energiespeicherung wird Wasser aus dem oberen Pumpvolumen (PV) in das untere Speichervolumen (SV) befördert, wodurch die Auflast im Zylinder steigt und die Speicherkapazität zunimmt (Auflast oben = geladener Zustand II). Um die gespeicherte

Energie wieder freizugeben, wechselt die Richtung des Förderstroms, die Auflast sinkt ab und treibt eine Turbine an. Die Pumpturbine (PT) kann wie hier im Auflastzylinder integriert oder auch außenliegend angeordnet werden.

2.2 Eigenschaften

Der Powertower zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus:

- topographieunabhängig, dezentrale Einsatzmöglichkeit
- hoher Wirkungsgrad (>80%)
- einfache und robuste Technologie
- lange Lebensdauer
- unbegrenzte Anzahl Ladezyklen
- schnelle Lastwechsel möglich
- Kurz- und Langzeitspeicherung ohne Entladung
- in der Größe skalierbar
- umweltverträgliche Materialien
- kein Eingriff in die Landschaft bei unterirdischer Anordnung
- Kombination mit thermischem Speicher

Im Powertower (Variante ohne Federn) besteht ein konstanter Druck, mit dem die Turbine angetrieben wird. Somit kann die Maschineneinheit 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 Powertowers erreicht ihr Maximum, wenn die Auflasthöhe die Hälfte der gesamten Zylinderhöhe einnimmt. Sie hängt auch von der Dimensionierung des Powertowers ab. Dabei steigt die Speicherkapazität quadratisch, sowohl mit Zunahme des Radius, als auch mit zunehmender Zylinderhöhe, bzw. Schachttiefe.

Die Skala der Anwendung ist frei wählbar, wodurch Powertower für verschiedenste Anforderungen und Randbedingungen gebaut werden können. Die Graphik in Abb. 2 zeigt für einen energetisch idealen Powertower (siehe oben) die notwendige Größe für verschiedene Leistungsbereiche (hier für einen Wirkungsgrad von 80%).

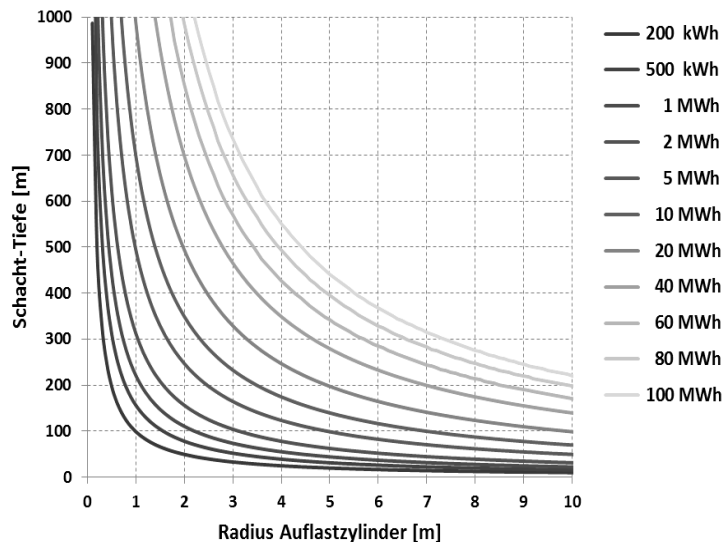


Abb. 2: Konfiguration eines energetisch idealen Powertowers (Auflasthöhe = 50 % der Zylinderhöhe)

2.3 Kosten

2.3.1 Investitionskosten

Die Investitionskosten für die Errichtung eines Powertowers werden im Vergleich zu anderen Speichern relativ hoch sein (Abb. 4). 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. Powertower können unterirdisch errichtet werden und greifen damit nicht in das Landschaftsbild ein. Das verspricht gute Akzeptanz und erfolgreiche Aussicht bei Einholung von Baugenehmigungen.

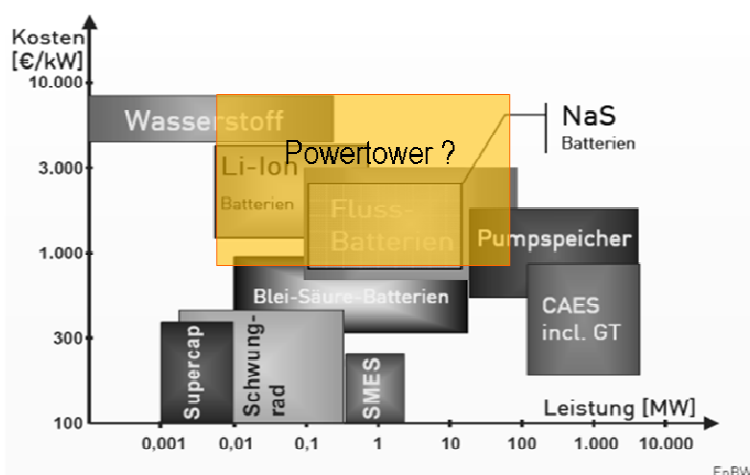


Abb. 3: Investitionskosten von Energiespeichern [Frey 2007, modifiziert]

Die Investitions- und Betriebskosten werden im Zuge eines Forschungsvorhabens des Klima- und Energiefonds der FFG genauer ermittelt.

2.3.2 Betriebskosten

Für die Betriebskosten sind beim Powertower dagegen aufgrund der „unbegrenzten“ Zyklenzahl und dem gleichbleibend hohen Wirkungsgrad nur sehr geringe Kosten zu erwarten (Abb. 4). Powertower werden errichtet, mit Wasser gefüllt, versiegelt und bedürfen dann keiner Zusatzstoffe mehr. Über einen längeren Zeitraum fließen lediglich die Wartungskosten für die Maschineneinheit und das Dichtungssystem ein.

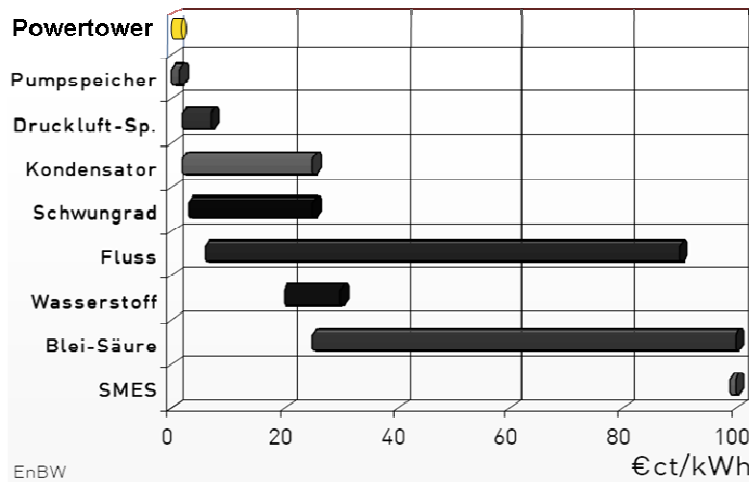
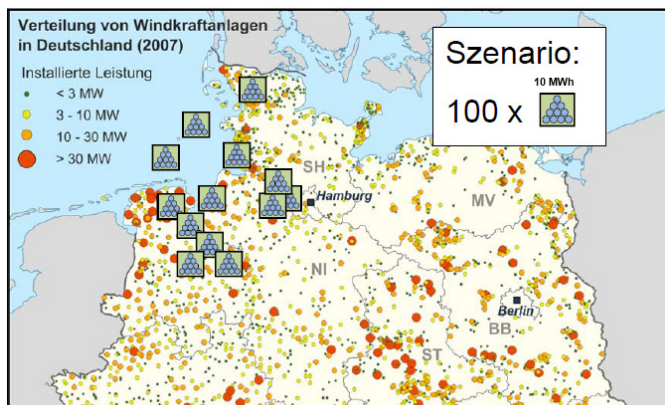


Abb. 4: Betriebskosten von Energiespeichern [Frey 2007, modifiziert]

2.4 Erlöse

Die Erlöse, die mit Powertowern erzielt werden können, hängen stark von der Größe und Ausstattung der Anlage und dem Einsatzgebiet ab. Der Powertower kann sowohl zum Kapazitätsausgleich bei volatiler Energieproduktion wie auch zur Netzregulierung eingesetzt werden. Er kann dazu beitragen, dass Windkraft- und Solarparks autonom ihren Strom zwischenspeichern können, er kann aber auch in Clustern am Strommarkt seine Leistung anbieten. Für den letztgenannten Fall wurde von der RWTH Aachen eine Studie zur Abschätzung des Erlöspotentials von einem einzelnen Powertower mit 1 MWh Speicherkapazität und einem Szenario mit 100 Clustern à 10 MWh (siehe Abb. 5) auf der Grundlage der Marktsituation 2008 erstellt.



(Quelle der Landkarte: Wikipedia / modifiziert)

Abb. 5: Szenario dezentrale Anordnung von 100 Clustern (Σ 1000 MWh) an bestmöglichen Standorten in Norddeutschland

Demnach ist die Teilnahme am börslichen Handel auch für einzelne Standard-Powertower zulässig - allerdings nur am Spotmarkt. Für das Szenario von 1000 Powertowern, die in Clustern verbunden sind, wäre zusätzlich auch die Reservevermarktung möglich. Daraus resultiert für einen Standardpowertower im Verbund ein ca. 8-fach höherer Erlös. Das zeigt, dass die Beteiligung von Powertowern an der Strombörse sich erst ab größeren Einheiten rechnet. Langzeitlich betrachtet wird sich der Strommarkt aber aufgrund der neuen Energiesituation noch ändern, so dass weitere Prognosen für die Erlösabschätzung notwendig sind.

2.5 Bauweise

Die Bauweise bestimmt zu einem großen Anteil die Investitionskosten. Die Standardisierung von Powertowern für bestimmte Leistungsbereiche kann Kostenersparnis im Bereich der Anlagenproduktion bringen.

Pumpturbinen mit hohem Wirkungsgrad sind bereits in einer Vielzahl von Pumpspeicherwerken im Einsatz und müssen nicht neu erfunden werden. Es handelt sich hierbei um Francis- oder Propellerturbinen, die es in verschiedenen Leistungsbereichen zu kaufen gibt. Für die Anordnung mit integrierter Lösung gibt es für die hydraulisch sehr günstige Bauform einer axial durchströmten Pumpturbine noch Optimierungsbedarf.

Für die Ausführung der Dichtung zwischen oberem und unterem Reservoir besteht noch Untersuchungsbedarf. Nachteilig sind die großen Dimensionen der Konstruktion. Vorteilhaft sollten sich die vergleichsweise geringen Druckdifferenzen und die geringen Hub- und Senkgeschwindigkeiten auswirken. Möglicherweise kann durch eine günstige Anordnung der Dichtung eine technisch vorteilhafte Lösung erreicht werden. Durch eine bewegliche Dichtung (z.B. durch Befüllung einer schlauchförmigen Dichtung in Ruheposition) kann die Auflast in jeder beliebigen Lage gehalten werden. Während der Bewegungsvorgänge (Heben und Senken) kann eine Spaltströmung zugelassen werden. Hierdurch lassen sich auch Reibungskräfte zwischen Auflast und Zylinderwandung reduzieren.

Powertower können günstig unterirdisch gebaut werden. Daher spielt die Bauweise des Schachtes eine nicht unerhebliche Rolle. Für die Anordnung mit außenliegender Maschineneinheit sind zwei Schächte, der Powertower-Zylinder und ein Rohr für den Umlaufbetrieb, notwendig, während dieses bei der Anordnung mit integrierter Pumpturbine wegfällt. Für sehr große hydraulische Energiespeicher nach dem Powertowerkonzept müssen Schächte mit großen Tiefen (bis >500 m) und Durchmessern (bis ca. 30 m) aufgeföhren werden. Hier kommen bewährte Baumethoden aus dem Brunnen- und Bergbau zur Anwendung (shaft sinking, raise boring), die es für die spezielle Anwendung noch weiterzuentwickeln und zu optimieren gilt.

3 Powertower – verschiedene Konzepte

3.1 Anordnungen zur Erhöhung der Energiedichte

3.1.1 Powertower mit schwerer Auflast (mit und ohne Federsystem)

Mit einem möglichst schweren Auflastzylinder wird ein konstanter Druck im darunterliegenden Speichervolumen erzeugt. Dieser statische Druck kann, nach Abzug der hydraulischen Verluste, von der Turbine abgearbeitet werden bis der Auflastzylinder ganz nach unten gefahren und das Speichervolumen leer ist.

Die Druckkraft, die auf die Grundfläche des Auflastzylinders wirkt, resultiert aus dem unter Auftrieb stehenden Auflastgewicht. Je schwerer das Gewicht, umso größer ist die Energiedichte (kWh/m^3) des Systems, die mit der Dichte der Auflast ansteigt. Stahl besitzt eine relativ hohe Dichte von ca. $7,8 \text{ t/m}^3$. Für größere Anlagen ist er jedoch zu kostenintensiv. Hier sind z.B. Metallschlacken mit immerhin ca. 4 t/m^3 als Nebenprodukt aus der Metallindustrie geeignet.

Insgesamt ist der große bauliche Aufwand, der zur Speicherung der Energie notwendig ist, eine Einschränkung des Powertowers. Die Energiedichte ist vergleichsweise gering. Für höhere Energiedichten sind größere Gewichte oder sehr leistungsfähige Federsysteme notwendig.

In Abb. 6 ist ein Standard Powertower mit und ohne Federn dargestellt. Federn können die Energiedichte wegabhängig erhöhen. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens an der Universität Innsbruck wird der Einsatz von Federsystemen (Druckluft- oder Gasdruckfedern) untersucht.

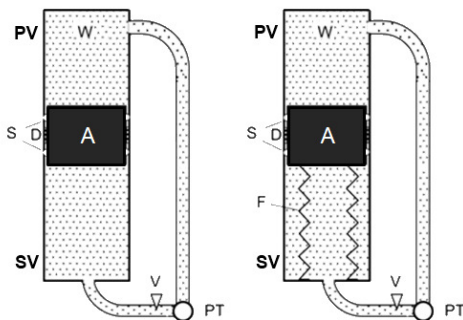


Abb. 6: Powertower mit schwerer Auflast (mit und ohne Federsystem)

3.1.2 Powertower mit Auftriebskörper (mit und ohne Federsystem)

Das gleiche System wie in 3.1.1 ist auch in umgekehrter Richtung des Förderstroms mit Auftriebskörpern denkbar (Abb. 7). Da ein leichter Auftriebskörper sehr kostengünstig ist, kann hier das Maximum der Speicherkapazität durch einen Auftriebskörper, der die Hälfte des Zylinderschachts einnimmt, erreicht werden.

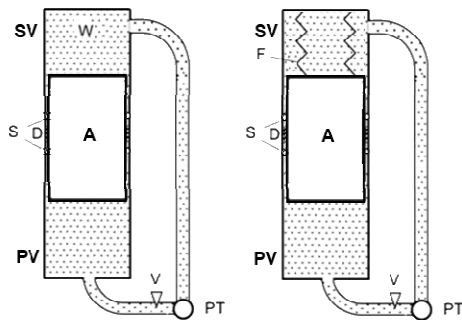


Abb. 7: Powertower mit Auftriebskörper (mit und ohne Federsystem)

3.2 Anordnung der Maschineneinheit

3.2.1 Powertower mit außenliegender Pumpturbine

Bei externer Anordnung der Maschineneinheit besteht der Vorteil, dass sie leicht zugänglich und somit wartungsfreundlich ist. Dabei kann die Anordnung unten oder auch oben erfolgen (Abb. 8), wobei bei der oberen Lage auf Kavitationssicherheit geachtet werden muss.

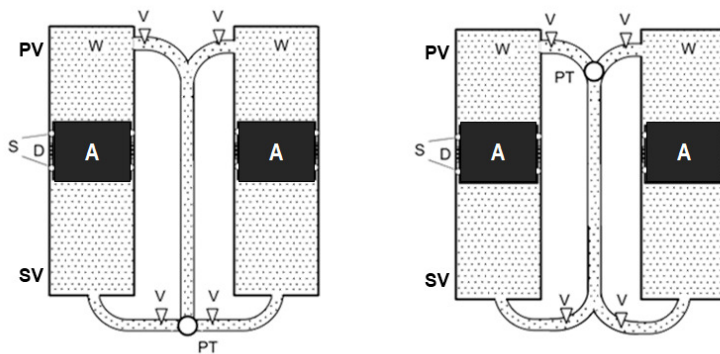


Abb. 8: Powertower mit externer Pumpturbine (unten und oben angeordnet) im Verbund

Hier wie auch bei allen anderen Konzepten gilt, dass die Maschineneinheit in einer Pumpturbine zusammengefasst sein kann, was kostengünstiger in der Anschaffung ist. Genauso sind auch Ausführungen mit getrennten Maschineneinheiten für Pump- und Turbinenbetrieb möglich. Auf die Weise können für beide Betriebszustände sehr hohe Wirkungsgrade erzielt werden. Welche der beiden Möglichkeiten zum Einsatz kommt, muss in einer Kosten-Nutzenanalyse abgewogen werden.

Wird der Powertower neben dem Kapazitätsausgleich von Energieangebot und -bedarf auch zur Netzregulierung eingesetzt, so können regelbare Maschineneinheiten mit variabler Drehzahl im Pump- wie auch im Turbinenbetrieb netzregulierend wirksam werden. Auch hier gibt es noch eine Alternative, die je nach Systemanforderung gewählt werden muss. So können mehrere Powertower, die im Verbund miteinander arbeiten, auch von einer Anzahl von kleineren Maschineneinheiten mit konstanter Drehzahl betrieben werden, die je nach Leistungsangebot ab- bzw. zugeschaltet werden.

3.2.2 Powertower mit integrierter Pumpturbine

Eine Anordnung mit einer im Auflastkörper integrierten, axial durchströmten Pumpturbine, wie sie im Schema in Abb. 1 dargestellt wird, ist in Bezug auf die hydraulischen Verluste am günstigsten. Die Reibungs- und Umlenkverluste des Umlaufsystems wie bei einer Anordnung mit externer Pumpturbine entfallen hier. Der Wirkungsgrad dieser Anordnung würde in diesem Fall über dem von klassischen Pumpspeicherwerken liegen. Diese Variante wird demnächst in einem Prototypen untersucht werden (siehe Kapitel 5.2).

3.3 Anordnungen (on- und offshore)

3.3.1 Powertower als Einzelanlage

Der Powertower kann als alleine stehende Anlage, bestehend aus einem wassergefüllten Zylinderschacht, dem darin verfahrbaren Auflastzylinder und einer innen- oder außenliegenden Maschineneinheit, betrieben werden. Er ist in verschiedenen Größen je nach Anwendungsgebiet ausführbar. Im Inselbetrieb kann er als vom Netz unabhängiger Speicher z.B. in Verbindung mit einer Photovoltaik- oder Windkraftanlage arbeiten.

3.3.2 Powertower im Verbund (onshore)

Mehrere Standard-Powertower einer Größe können auch gut im Verbund betrieben werden (Abb. 9). Im Hinblick auf möglichst geringe Investitionskosten bietet sich hierbei die Kombination eines mit einer Pumpturbine versehenen Zylinders mit mehreren „Auflastzylindern“ an (Abb. 9, links). Für einen möglichst flexiblen Betrieb, trotz nicht regelbarer Maschinensätze, bieten sich größere Powertower-Cluster an (Abb. 9, rechts). In Abhängigkeit der einzuspeisenden bzw. aufzunehmenden Kilowattstunden werden dann einer oder mehrere Zylinder herunter-, bzw. hochgefahren. Die in Abb. 9 gezeigten Varianten können unterirdisch in der Nähe von regenerativen Energieparks errichtet werden. Die Anlage sollte aus Modulteilern zusammensetzbar sein und wäre dann auch im Bedarfsfall um weitere Powertower ausbaubar.

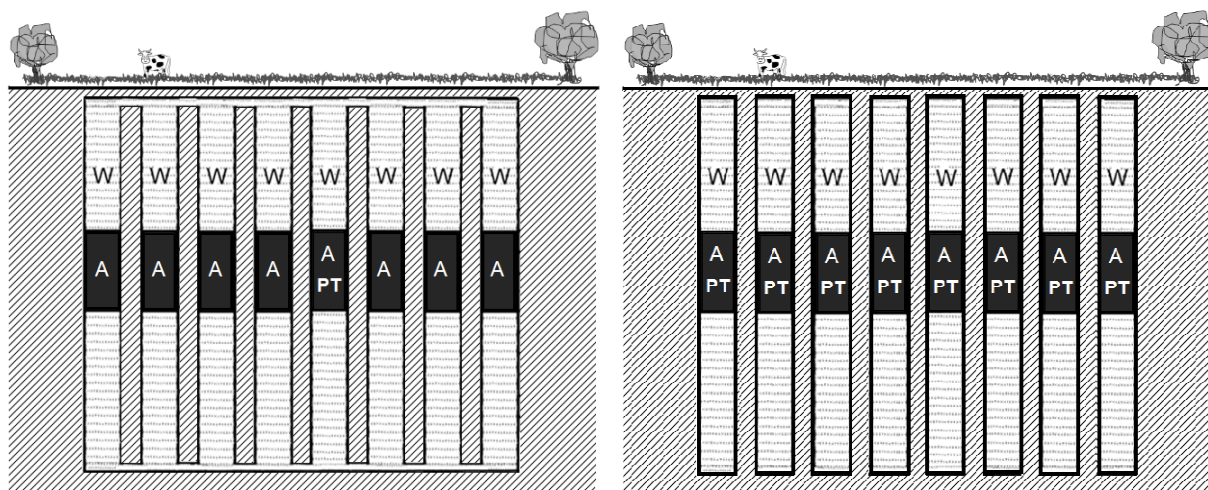
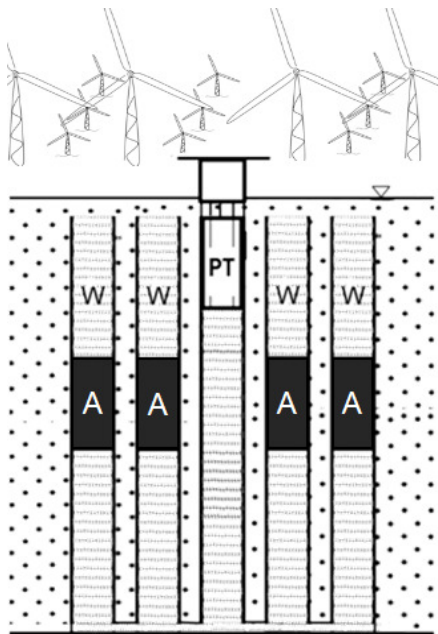


Abb. 9: Powertower im Verbund (links) und in Clusterbauweise (rechts)

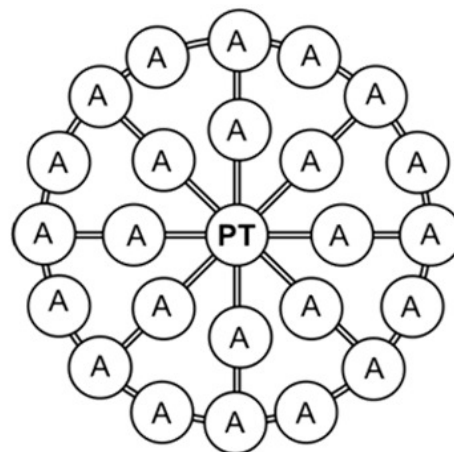
3.3.3 Powertower im Verbund mit einer stationären Pumpturbine (offshore)

Der Verbundbetrieb von Powertowern kann in verschiedenen Anordnungen erfolgen. In Abb. 10 ist eine mögliche Variante mit einer radialen Anordnung von Powertowern um eine in der Mitte fest installierte Maschineneinheit dargestellt, die wartungsfreundlich möglichst weit oben installiert wird.

Wie in der Darstellung auch zu sehen, können Powertower auch offshore im Meer oder in Seen am Grund verankert werden. Ein Vorteil von offshore-Anlagen ist die geringe statische Belastung, die auf den Zylindern wirkt, da außen wie innen Wasser ansteht. Unter Wasser kann das System wie an Land geschlossen gebaut werden oder auch wie in der Darstellung im offenen Austausch mit dem Umgebungsfluid. im Meer müssten hier allerdings spezielle Vorkehrungen wegen des Salzgehaltes des Meerwassers getroffen werden.



Seitenansicht



Lageskizze mit radialer Anordnung

Abb. 10: Hydraulische Großenergiespeicher im Wasser (Seen oder Meer)
Ausführungsbeispiel mit offenem Fluidsystem in direktem Austausch
mit dem externen Fluid und einer stationär angeordneten Pumpturbine

4 Powertower – verschiedene Größen und Anwendungen

Die Skala der Anwendung ist frei wählbar. Beispielsweise sind folgende Ausgestaltungen möglich (Tab. 1):

Tab. 1: Anwendungsgrößen

TYP		SPEICHERKAPAZITÄT
Power Home	Kleine Hausanlagen	4-6 kWh
in Kombination mit einem zentralen Wärmespeicher (Möglichkeit der vollständigen solare Versorgung über Kollektoren und Photovoltaikanlagen im Inselbetrieb ohne Batterien).		
Power Grid	Dezentrale Speicher	ca. 4 MWh
im Untergrund zur Optimierung und Entlastung des Stromnetzes		
Power Tower	Turmkonstruktionen	ca. 6 MWh
Grundkonstruktion für Windkraftanlagen oder zentrale Einrichtungen in Offshore-Windparks		
Power Rock	Großanlagen	> 100 MWh
in geeignetem Grundgebirge		

5 Forschungsprojekt der FFG

5.1 Beschreibung

Im Rahmen eines FFG-Projektes vom Klima- und Energiefonds des Forschungsprogramms Energien 2020 wird das Konzept des Powertowers auf mehreren Ebenen untersucht. Auf der experimentellen Ebene werden verschiedene Anordnungen mit Auflast- bzw. Auftriebskörpern und der Maschineneinheit extern, bzw. integriert im Modell getestet, Ein- und Auslaufsituationen numerisch optimiert und Einzelkomponenten wie z.B. das Dichtungs- und Führungssystem geprüft und verbessert. Bei den maschinenbaulichen Fragen unterstützt die TU Clausthal hier die Universität Innsbruck, ebenso wie bei der Entwicklung von Federsystemen. Weiterhin werden innerhalb einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung die genaueren Investitions- und Betriebskosten ermittelt. Ein großes Plus der dezentralen Speichermöglichkeit ist der Wegfall von Übertragungsverlusten im Stromnetz. Die Bedeutung der dezentralen Speichermöglichkeit für das Stromnetz ist hierbei zu bewerten. Diese hieraus entstehende Abschätzung der Erlöse am Strommarkt wird von der RWTH Aachen vorgenommen.

5.2 Experimentelle Untersuchung

5.2.1 Prototyp

Im Rahmen eines FFG-Projektes des Forschungsprogramms Energien 2020 konnte die Funktionalität des Powertowers an einem kleinen Prototypen nachgewiesen werden. Im Wasserbaulabor der Universität Innsbruck wurde ein 2,20 m hoher Plexiglaszylinder mit einem Durchmesser von 0,64 m aufgestellt und mit einer Stahlaulast von 1t Gewicht versehen (Abb. 11). 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 wegabhängige Federsysteme geplant. Weiterer Optimierungsbedarf besteht für das Führungs- und Dichtungssystem.



Abb. 11: Prototyp des Powertowers

5.2.2 Prototyp mit integrierter Pumpturbine

Als nächster Schritt der experimentellen Untersuchungen ist geplant, einen Prototyp mit innenliegender Pumpturbine im Auflastzylinder zu errichten. Der Prototyp 2 wird einen mehrere Meter hohen Zylinder besitzen, in welchem sich eine mehrere Tonnen schwere Auflast bewegen wird. Im Auflastkolben wird eine Unterwasserpumpe angeordnet, die rückwärtslaufend als Turbine verwendet wird.