

# Dezentrale Energiespeicherung mit dem Powertower

Valerie Neisch, Markus Aufleger

Technikerstraße 13, A - 6020 Innsbruck

Tel: +43 512 507 6949, Fax: +43 512 507 6929

E-Mail: [valerie.neisch@uibk.ac.at](mailto:valerie.neisch@uibk.ac.at); [markus.aufleger@uibk.ac.at](mailto:markus.aufleger@uibk.ac.at)

Internet: [www.powertower.eu](http://www.powertower.eu); [www.uibk.ac.at/wasserbau](http://www.uibk.ac.at/wasserbau)

## Dezentrale Energieversorgung und -speicherung

Die aktuelle Energiewende führt zu einem vermehrten Ausbau regenerativer Energien. Dadurch verändert sie das gesamte Stromversorgungssystem, weg von zentral angeordneten, konventionellen Großanlagen hin zu einer mehr und mehr dezentralen Energieversorgung, in welcher Wind- und Solarkraftwerken eine sehr große Rolle spielen werden. Neben der Standortwahl beeinflusst das Wetter (Sonneinstrahlung, Windstärke) auch die Stromproduktion, die dadurch kaum vorhersehbar ist und erheblichen Schwankungen unterliegt. Für eine zukünftig bedarfsgerechte und versorgungssichere Einspeisung mit neuen volatilen Energieträgern sind daher Energiespeicher unbedingt notwendig. Aktuell sind Pumpspeicherwerke die bisher effektivste Speichertechnologie auf dem Markt. Diese liegen jedoch funktionsbedingt in Bergregionen und somit teilweise weit entfernt von den z.B. dezentral verteilten Windkraftparks entlang der Küste. Der Powertower stellt einen hydraulischen Energiespeicher basierend auf der erprobten Technologie der Pumpspeicherwerke dar, der topographieunabhängig, also auch im Flachland oder offshore, dezentral gebaut werden kann. Damit könnten Übertragungsverluste reduziert und Netzausbaukosten eingespart werden. Die Entwicklung des Powertowers als hydraulischer Energiespeicher und sein Wirtschaftlichkeitspotential als ergänzender Baustein in einem neuen Versorgungssystem werden derzeit an der Universität Innsbruck im Rahmen eines Forschungsvorhabens der Österreichischen Forschungsförderung (FFG) erarbeitet.

## Funktionsprinzip des Powertowers

Der Powertower besteht aus einem mit Wasser gefüllten Zylinder (Schacht bzw. Turm), indem eine unter Auftrieb stehende schwere Auflast mittels einer Pumpturbine vertikal bewegt auf und ab bewegt wird. Die Auflast erzeugt unabhängig von ihrer Position einen konstanten Druck im unteren Reservoir, der durch zusätzliche Federsysteme noch wegabhängig erhöht werden kann. Im Lademodus wird Wasser

vom oberen in das untere Reservoir gepumpt, während die Auflast im Zylinder aufsteigt. In der obersten Position ist der Powertower dann geladen. Soll die Energie wieder freigegeben werden, kehrt sich der Förderstrom um. Durch die Schwerkraft sinkt die Auflast im Zylinder nach unten und treibt dabei die Turbine an. Der Ladezyklus kann beliebig oft wiederholt werden. Dabei stellt die Technologie des Powertowers eine robuste Technologie aus umweltverträglichen Materialien dar, die sich durch einen hohen Wirkungsgrad im Bereich von Pumpspeicherwerken bei einer langen Lebensdauer auszeichnet.

## Experimentelle Untersuchungen an Prototypen

Am Arbeitsbereich Wasserbau der Universität Innsbruck wird innerhalb eines Forschungsvorhabens der FFG (Programm Neue Energien 2020) das Konzept des hydraulischen Energiespeichers an Prototypen in verschiedenen Varianten untersucht. Der erste Prototyp wurde mit einem umlaufenden Rohr mit außenliegender Maschineneinheit gebaut. Er misst 2,20 m Höhe, besitzt einen Durchmesser von 0,64 m und bewegt eine Stahlaulast von über 1 Tonne Gewicht. Mit ihm wurde erstmals die Funktionsfähigkeit des Powertowers nachgewiesen. Er dient als Anschauungsobjekt und zu Voruntersuchungen (Abb. 1).



Abb. 1: Prototyp mit außenliegender Pumpturbine

In Planung befindet sich derzeit ein weiterer Prototyp mit 6,00 m Höhe und 2,20 m Durchmesser. In ihm wird eine 3,00 m hohe Schwerbetonaulast mit einem Gewicht von ~42 t bewegt. Damit wird der maximale Energiegehalt genutzt, der sich bei einer Auflasthöhe ergibt, die die Hälfte der gesamten Zylinderhöhe einnimmt. Der Prototyp kann für Vergleichsmessungen mit freiem Auslauf wie ein Pumpspeicherwerk betrieben werden (abnehmender Druck im Turbinenbetrieb). Außerdem kann er sowohl mit einer externen Maschineneinheit als auch mit einer in der Auflast integrierten Pumpturbine betrieben werden. Die letztgenannte Anordnung verspricht geringere hydraulische Verluste im System, da das Umlaufrohr entfällt (Abb. 2a-c).

Verteilt über die Höhe des Prototypen werden Drucksensoren angeordnet, mit denen die Reibungsverluste für unterschiedliche Betriebsweisen, verschiedene Dichtungssysteme und Ein-/Auslaufgeometrien bestimmt werden. Zusätzlich ist geplant, die Auswirkung von Federsystemen zu testen.

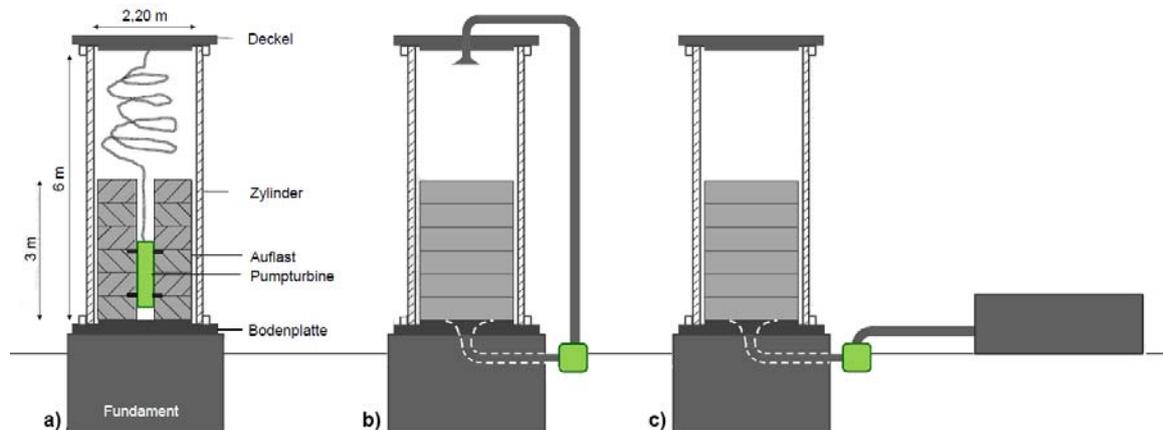


Abb. 2: Prototyp betrieben

- a) mit integrierter Pumpturbine
- b) mit externer Pumpturbine
- c) nach dem Prinzip eines Pumpspeicherwerks

## Einsatzmöglichkeiten

Für unterschiedliche Einsatzgebiete sind Powertower in der Größe skalierbar und können so mit flexibler Wahl von Zylinderhöhe und -durchmesser dem Speicherbedarf angepasst werden. Sie können sowohl an Land ober- und unterirdisch errichtet werden oder auch in Seen oder im Meer in der Nähe von Offshore-Windkraftanlagen.

Für kleinere Speichergrößen sind sie als Einzelkonstruktion realisierbar. In einer Kombination von elektrischer und thermischer Speicherung könnte ein Powertower im Inselbetrieb die Speicherfunktion für eine Photovoltaik- und Solarthermieanlage gleichzeitig erfüllen. Auch hier besteht noch Forschungsbedarf zur Umsetzung dieses Konzepts.

Soll hingegen ein großer Speicherbedarf von mehreren MWh bedient werden, ist es wirtschaftlich mehrere Powertower in Clustern nebeneinander oder auch im Verbund anzuordnen und gemeinsam zu steuern. Diese Anlagen wären auch später noch um weitere Powertower und damit größere Kapazitäten erweiterbar. Die folgende Tabelle zeigt einige Beispiele von möglichen Speichergrößen:

Tabelle 1:

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

## Bauverfahren

Powertower können in Turmkonstruktionen oder unterirdisch in Schächten errichtet werden. Während die Betriebskosten eines Powertowers gering ausfallen und sich lediglich auf die Wartungsarbeiten von Maschinen- und Dichtungstechnik beschränken, sind dagegen die Investitionskosten für die Errichtung eines Powertowers relativ hoch. Daher wird angestrebt, für signifikante Baugrößen von Standard-Powertowern in Modulbauweise möglichst wirtschaftliche Bauverfahren einzusetzen.

Die Kosten des Schachtbaus spielen für die Errichtung von Großanlagen eine wichtige Rolle. Die Bauverfahren hierfür kommen aus dem Bergbau und dem Spezialtiefbau wie z.B. dem Brunnen- und Wasserkraftwerksbau. Dort existieren hauptsächlich zwei Bauverfahren.

Die *konventionelle Schachtbautechnik* arbeitet sich mittels Bohr- und Sprengarbeit entweder von der Geländeoberfläche nach unten vor oder das gelöste Gestein fällt in einen vorab bis nach unten gebohrten Schacht und wird dort in einem seitlich angeschlossenen Tunnel entfernt. Schächte in stark wasserführenden oder nicht standfesten Schichten können während des Durchteufens mit dem Gefrierverfahren gesichert werden. In weitgehend standfestem Gebirge kann Zementsuspension injiziert werden, um einen abdichtenden Ring um den Schacht zu schaffen.

Für größere Strukturen mit mehreren hundert bis über 1000 m Tiefe und Durchmessern bis 10 m eignet sich die *mechanisierte Schachtbohrtechnik*, die in den letzten Jahrzehnten eine weitreichende Entwicklung erfuhr. Hier wird zunächst ein zentrales Pilotloch über die gesamte Schachttiefe erstellt. Anschließend wird im eigentlichen Schachtdurchmesser die restliche Gesteinsmasse mit der Schachtbohrmaschine nachgebohrt. Das anfallende Haufwerk wird zur Schachtunterfahrung nach unten abgefördert oder mit Wasser nach oben gespült. Möglich ist auch das Schachtbohren im Vollschnitt ohne Pilotloch. Das Bohrgut wird hier parallel zum Abteufen hydraulisch nach oben gefördert.

Aufwärts gebohrt wird beim *Raisebohrverfahren*. Entlang einer kleinen Pilotbohrung (~30 cm Durchmesser), die zur Aufnahme des Bohrgestänges dient, wird von einem unterirdischen Hohlraum aus der eigentliche Schacht mit Mehrstufenmeißeln von unten nach oben aufgeweitet. Das Bohrgut wird während des Bohrens nach unten abtransportiert. Die Belastbarkeit des Bohrgestänges begrenzt die Schachtgröße auf 1200 m Teufe bei 6 m maximalem Schachtdurchmesser. [1]

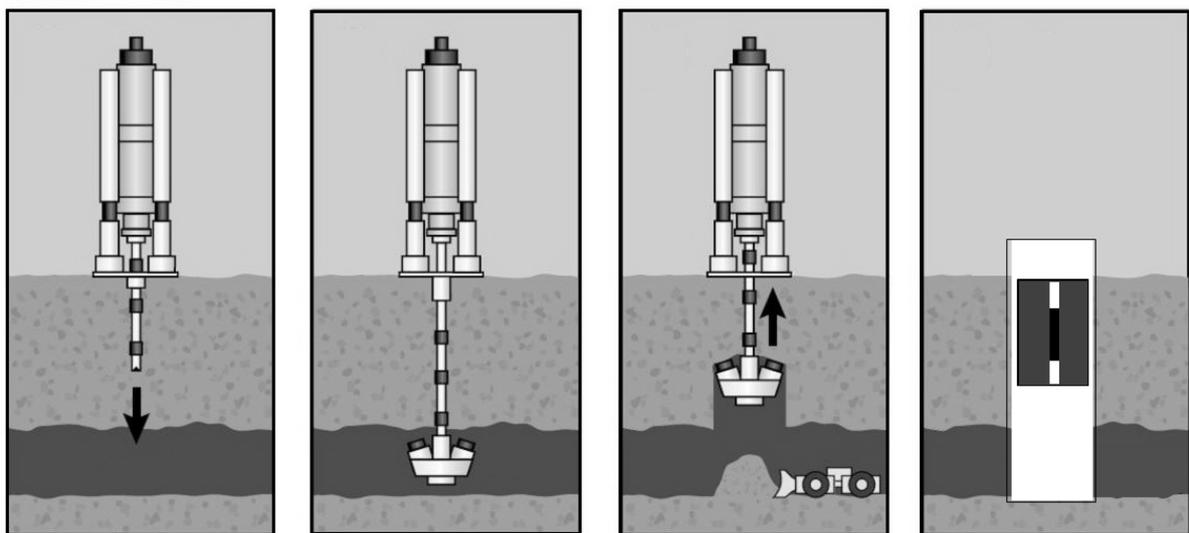


Abb. 3: Bau eines Powertowers mittels Raisebohrverfahren [2, modifiziert]

Ein Schacht für einen Powertower könnte generell mit allen existierenden Schachbautechniken geschaffen werden. Das gewählte Bauverfahren hängt dabei natürlich auch stark von der vorherrschenden Geologie ab.

Die konventionelle Schachtbautechnik mit Sprengvortrieb wird heutzutage noch zu über 70% im Schachtbau angewendet. Sie ist neben dem größeren Arbeitsrisiko für größere Tiefen jedoch zu langsam und wird damit unwirtschaftlich. Aktuell könnte die Herstellung von Powertowern mit Durchmessern von 6 m bis 10 m und Tiefen bis

etwa 1000 m mit mechanisierten Schachtbohrmaschinen hier kostengünstiger und schneller umgesetzt werden. Im festen Felsgestein kann das Raisebohrverfahren bis 6 m Durchmesser kostengünstig eingesetzt werden.

Grundsätzlich muss der Schacht standfest, wasserdicht und lotrecht ausgeführt sein. In weniger standfestem Untergrund muss der erstellte Hohlraum ausgekleidet werden mit Tübingen, Schal- oder Spritzbeton. Wie glatt die Schachtwand ausgeführt werden muss, hängt vom eingesetzten Dichtungssystem zwischen Auflast und Schachtwand ab.

#### Literaturhinweis:

[1] „Weiterentwicklung und Perspektiven mechanisierter Schachtteuftechnik“  
Glückauf 143 (2007) Nr. 4

[2] <http://fantoma2012.blogspot.co.at/2010/09/chile-equipo-de-la-nasa-se-une-al.html>  
(2012)