

Untertägige Pumpspeicherkraftwerke – Ein neuer Weg der Energiespeicherung



Nagler, N.; Lohrengel, A.; Schäfer, G.

Der weltweite Energiebedarf wächst stetig, wodurch auch die Nutzung von erneuerbaren Energien z. B. aus Wind- und Wasserkraft an Bedeutung gewinnt. Im Zusammenhang mit der Stromerzeugung aus der Windenergie gibt es immer noch zwei große Herausforderungen. Einerseits müssen Lösungen zur Netzintegration der schwankenden Stromerzeugung gefunden werden, andererseits bedarf es adäquater Speichertechnologien, die eine Ausbalancierung von Energieerzeugung und Energiebedarf ermöglichen. Die momentan beste Speichertechnologie besteht in der Nutzung von Pumpspeicherkraftwerken (PSW), wobei der Neubau solcher Anlagen aufgrund von sozialen und ökologischen Vorgaben unwahrscheinlich ist. Daher wird eine alte Idee von Leibniz wiederaufgegriffen, Windenergie und deren Nutzung in alten Bergwerken zu kombinieren. Derzeit ungenutzte Bergwerke könnten durch die Installation eines PSW eine Nachnutzung als Energiezwischenspeicher für Windenergie erfahren.

The worldwide energy demand grows steadily. Therefore, using renewable energy, like wind and water power, gains in importance. Utilizing wind power is still challenging, as the energy demand and generation must be balanced by applying storing technologies. At present, the best opportunity is to use pumped storage plants. Due to social and ecological restrictions, newly built plants are unlikely. Therefore, an old idea of Leibniz, to combine wind energy and its usage with mines, is sized again. Finding a follow-up utilization of old mines by installing a subsurface pumped plant as decentral storage for wind energy, is aspired

1 Einleitung

Der weltweite Energiebedarf steigt stetig. Während einer Zeitspanne von 30 Jahren, im Zeitraum von 1970 bis 2000, betrug der Nachfragezuwachs des Energiebedarfs 90%. Im Hinblick auf die Zukunft wird von der Internationalen Energie Agentur (IEA) eine Weiterführung dieser Entwicklung prognostiziert /1/. Aus vielerlei Gründen, wie beispielsweise der sich verstärkenden Ressourcenknappheit und vor dem

Hintergrund eines bevorstehenden Klimawandels gewinnt die Deckung des Energiebedarfs durch eine vermehrte Einbeziehung von erneuerbaren Energien an Bedeutung. In Deutschland sind z. B. die Wind- und Wasserkraft von großer Wichtigkeit für die Gewinnung von erneuerbaren Energien /2/.

Im Jahr 2006 entfielen 4700 MW der insgesamt installierten Leistung zur Stromerzeugung auf die Wasserkraft (s. **Bild 1**) /2/. Dieser Wert ist seit 1990 nahezu unverändert. Ursachen hierfür liegen vor allem in den ökologischen Beschränkungen und Vorgaben für den Neubau von PSW. Da auf jeden Fall die Naturnähe der Gewässerstrecken erhalten bleiben muss, ist es nötig, einen Kompromiss zwischen der Nutzung der Wasserkraft einerseits und der Bewahrung der ökologischen Systeme andererseits zu finden. Aus diesen Gründen kann ein Ausbau der Energiegewinnung aus Wasserkraft nur durch eine verbesserte Technologie vor dem Hintergrund einer Modernisierung von Anlagenkomponenten bzw. durch den Ersatz alter Anlagen und deren Komponenten erfolgen.

Die Entwicklung der Energiegewinnung aus Windenergie verläuft konträr zu der der Wasserkraft (s. **Bild 1**) /2/. Während 1990 noch 56MW der gesamt gewonnenen Energie aus der Windkraft resultierten, sind es 2006 schon 20.622MW. Damit hat sich dieser Wert mehr als verhundertfacht. Nach einer Aussage aus der Nachhaltigkeitsstrategie „Perspektiven für Deutschland“ der Bundesregierung wird sich der oben beschriebene Trend fortsetzen: „In den kommenden Jahren wird der Beitrag der Windenergie weiter wachsen. Ein neuer Schwerpunkt wird die Entwicklung von Offshore-Windparks sein: In der Nord- und Ostsee sind die Bedingungen exzellent“ /2/.

Obgleich also gute Bedingungen für einen Ausbau der Erzeugung von Windenergie vorliegen, stellt dies aus vielerlei Gründen eine Herausforderung dar. Das liegt u. a. daran, dass noch keine befriedigende Lösung für die Einspeisung der Energie in das Stromnetz gefunden worden ist /3/. Das so genannte Dilemma der Windenergie liegt darin, dass der Schwerpunkt der Energieerzeugung und des Verbrauchs in Deutschland differieren. Daher ist es wichtig, Lösungen zur Netzintegration sowie zur Pufferung von Windenergie mittels Speichertechnologien zu finden.

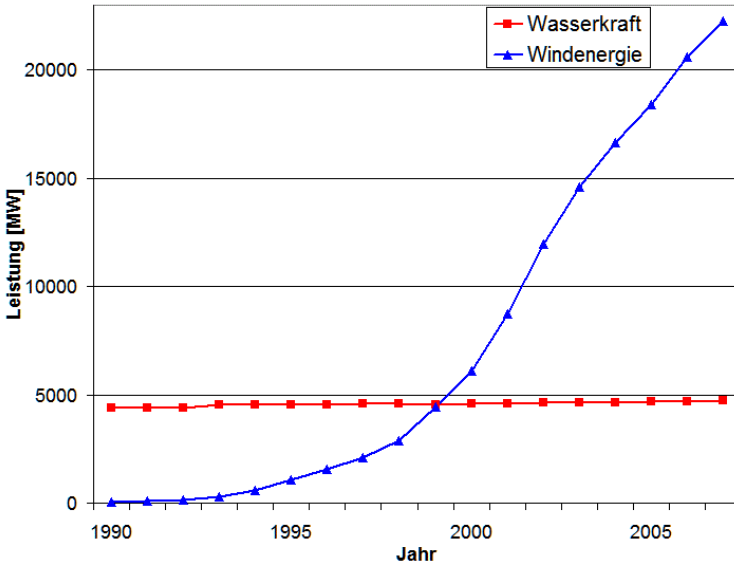


Bild 1: Entwicklung der Energiegewinnung aus Wasserkraft und Windenergie (Quelle: nach /2/)

2 Probleme und Ziele

2.1 Wasserkraft – Eine ausgereifte Technologie

Die Wasserkraft hat sich in der langen Zeit ihrer Nutzung als eine ausgereifte Technologie erwiesen. Nach einer Kurzinfo des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) besteht das zukünftig größte Potential, was PSW betrifft, „im Ersatz, in der Modernisierung und Reaktivierung vorhandener Anlagen [...]“ (/4/), was auf die ökologischen Eingriffe in die Natur zurückzuführen ist.

Die meisten Bundesländer haben eigene Regularien für die Genehmigung von Wasserkraftanlagen erlassen, üblicher Weise verbunden mit einem besonders aufwändigen Zulassungsverfahren. „Der besondere Aufwand rechtfertigt sich jedoch andererseits daraus, dass mit der Errichtung von Wasserkraftanlagen in besonders empfindliche und schutzbedürftige ökologische Systeme eingegriffen wird“ /5/. Bei der Beurteilung von Wasserkraftanlagen unter ökologischen Gesichtspunkten stehen Aspekte wie z. B. deren problematische Auswirkun-

gen auf die Flora und Fauna, die Höhe der benötigten Mindestwassermenge sowie der Einfluss des Wasserkraftwerks auf den Ober- und Unterlauf des Gewässers im Fördergrund. Der bereits oben erwähnte Eingriff in die Natur führt zusätzlich dazu, dass viele Umweltschützer Wasserkraftwerke und deren Nutzung ablehnen.

Vor dem Hintergrund des steigenden Umfangs der Energieerzeugung aus Windenergie und dem damit verbundenen Problem der Einspeisung der Energie in das Übertragungsnetz gewinnen PSW trotz der oben benannten Nachteile an Bedeutung, da sie die Möglichkeit bieten, als Speichertechnologie für die Windenergie zu fungieren.

2.2 PSW und (Offshore-) Windenergie – Eine ideale Verbindung

Auftretende Flauten führen nicht nur zu einer fluktuierenden Energieerzeugung sondern auch zu einer schwankenden Energieeinspeisung ins Übertragungsnetz und somit auch zu höheren Anforderungen an dieses. Die Netzbetreiber begegnen diesen Schwankungen momentan mit der Anpassung der jeweiligen Kraftwerksleistungen. Eine mögliche Fehlanpassung zwischen der Erzeugung von und dem Bedarf an Energie kann so vermieden werden.

Nach einer Studie der Stadtwerke Hannover /6/ können einem PSW folgende Aufgaben zugeordnet werden:

- Trennung von Windenergieerzeugung und Netzeinspeisung
- Reduktion der Netzausbaukapazitäten
- Optimierung der Planung der Einspeisung von Windenergie
- Glättung der Windenergie-Spitzenleistung
- Steigerung der Versorgungssicherheit
- Steigerung der Vollaststunden der Windenergieeinspeisung nach der Speicherung
- Senkung des Aufwands zum Ausgleich und zur Regelung der Energie durch konventionelle, fossile Kraftwerke.

Aus heutiger Sicht eignen sich vor allem PSW und Druckluftspeicher als Speichertechnologien, da sie den Anforderungen an einerseits die schnelle Regelbarkeit zwischen Ein- und Ausspeisung vor allem aber der raschen Aufnahme von großen Leistungskapazitäten gerecht werden. Obwohl das Prinzip der Energieerzeugung aus Wasserkraft nicht nur schon seit Jahrhunderten bekannt ist, sondern auch angewendet wird, bieten heute ausschließlich PSW die Möglichkeit als Puf-

fer für elektrische Energie größeren Umfangs zu fungieren. „Die größten Anlagen können über Stunden mehrere Gigawatt an Leistung aufnehmen oder abgeben und innerhalb von Sekunden eingesetzt werden“ /8/.

In einem PSW (s. **Bild 2**) wird überschüssiger elektrischer Strom aus Schwachlastzeiten genutzt, um Wasser aus einem tiefer gelegenen in ein höher liegendes Speicherbecken zu pumpen. Auf eine gestiegene Stromnachfrage in Spitzenlastzeiten kann schnell reagiert werden, indem das Speichermedium, meist Wasser, aus dem höher liegenden Becken über eine Turbine in das tiefer liegende Speicherbecken zurückfließt und dabei Strom erzeugt. Der Wirkungsgrad einer solchen Anlage liegt im Durchschnitt bei ca. 75%, kann aber auch auf 90% und mehr ansteigen /9/.

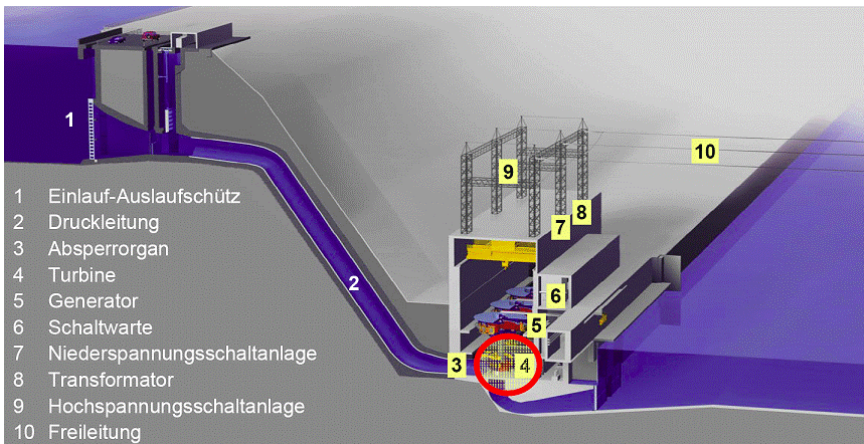


Bild 2: Schematische Darstellung eines Pumpspeicherkraftwerks (Quelle: www.voith.de)

PSW eignen sich generell jedoch nicht nur zur Bewältigung von Bedarfsspitzen sondern auch zur Regulierung von Schwankungen in der Verbundnetzfrequenz. Damit erweisen sich PSW als ideale Partner für die Kombination mit WEA und deren fluktuierender Stromerzeugung. Für den Bau eines PSW müssen neben technischen Voraussetzungen, wie z. B. der Nutzung geeigneter Turbinen bei definierter Fallhöhe und vorgegebenem Volumenstrom, auch ökologische Rahmenbedingungen eingehalten werden.

Obwohl in Deutschland der Schwerpunkt der Energieerzeugung aus Windenergie im Norden liegt, ist es wenig sinnvoll, dort ein PSW als „Speicher“ zu platzieren. Ursächlich hierfür ist, dass die Abnehmer-

schwerpunkte für diese Energie in Mittel- oder Süddeutschland zu finden sind, sodass lange Wege mit hohen Leitungsverlusten zurückgelegt werden müssen und das Übertragungsnetz zusätzlich belastet wird.

2.3 Dezentrale Zwischenlager für Windenergie

Die Synthese von erneuerbaren Energien wie z. B. der von Windenergie in Kombination mit Wasserkraft aus PSW führt zu einer erheblichen Steigerung des Gesamtwirkungsgrades sowie einer besseren Ausnutzung der Windenergie. Weiterhin bietet sich die dezentrale Speicherung überschüssiger Windenergie in PSW an, da so das Übertragungsnetz entlastet werden kann.

Schon sehr früh wurde im Bergbau eine Technologie eingesetzt, die sich der Lageenergie (potentielle Energie) des Mediums Wassers nach folgenden Gleichungen bediente:

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h. \quad (2.1)$$

Mit $m = \rho \cdot V$ ergibt sich

$$E_{pot} = \rho \cdot V \cdot g \cdot h. \quad (2.2)$$

Die potentielle Energie hängt somit direkt von der Dichte ρ des Wassers, dem Volumen V sowie der Höhe h ab. „Ein Höhenverlust war gleichbedeutend mit Energieverlust“ /10/. Daher arbeitete bereits 1680 Gottfried Wilhelm Leibniz im Rahmen eines Projekts für den Welfen Herzog an Lösungen, die es ermöglichten, Windenergie für den Antrieb von Pumpen zu nutzen /11/. Diese Idee konnte sich jedoch gegen den Widerstand der Bediensteten des Bergamtes und des Bergbaus nicht durchsetzen und scheiterte vorerst.

Das Übertragen und Anpassen dieser Idee auf heutige Rahmenbedingungen, z. B. durch die Nutzung von stillgelegten Bergwerken als unertägige PSW, könnte sich als Lösung für überlastete Übertragungsnetze erweisen und zugleich sichtbare Eingriff in die Natur vermeiden. Auch wenn der Bergbau in Deutschland immer an die lokalen geologischen Bedingungen gebunden war, gibt es zahlreiche Regionen, in denen Bergbau betrieben worden ist. Diese alten Bergwerke

könnten zukünftig als dezentrale Zwischenspeicher für Windenergie Verwendung finden.

3 Projektpartner

Das Energieforschungszentrum Niedersachsen (EFZN) und seine Partner greifen im Rahmen des Projekts „Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke“ die oben beschriebene Idee von Leibniz wieder auf und entwickeln sie weiter. Dazu wird ein Konzept erstellt, mit dessen Hilfe stillgelegte Bergwerke eine Nachnutzung erfahren könnten.

An dem Projekt sind die folgenden Partner beteiligt:

- Energieforschungszentrum Niedersachsen (EFZN)
 - Institut für Elektrische Energietechnik (IEE)
 - Institut für Bergbau (IBB)
 - Institut für deutsches und internationales Berg- und Energierecht (IBER)
 - Institut für Wirtschaftswissenschaften (IFW)
 - Institut für Maschinenwesen (IMW)
- Voith AG (Voith Hydro Power Generation, VH)
- Harz energie GmbH & Co. KG
- OECOS GmbH
- Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG).

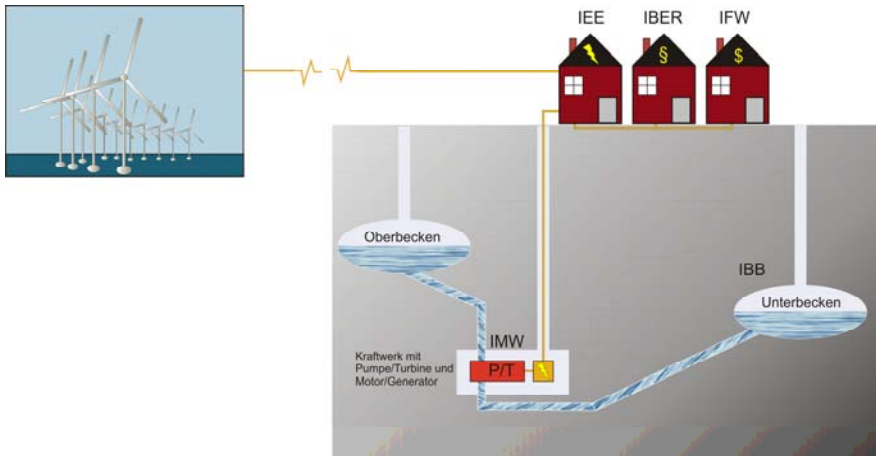


Bild 3: Schematische Darstellung eines untertägigen Pumpspeicherkraftwerks

Im Rahmen einer Projektstudie, welche im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) durchgeführt wird, erfolgt die Abschätzung des zur Verfügung stehende Potentials für die Realisierung eines untertägigen PSW in einem momentan stillgelegten Bergwerk (s. **Bild 3**). Dazu wird an einem als Beispiel dienenden Bergwerk zunächst ein Kriterienkatalog entwickelt, der u. a. maßgebende Parameter wie

- die nutzbare Fallhöhe
- den Schachtdurchmesser
- Hohlräume für die Speicherbecken und das Krafthaus sowie
- den Betrieb und die Netzanbindung an das elektrische Energieversorgungssystem

enthält. Ferner werden auch ökonomische, ökologische sowie genehmigungsrechtliche Aspekte berücksichtigt. Der Kriterienkatalog wird im nächsten Schritt auf verschiedene Bergbauregionen in Deutschland angewendet, um Wege zu finden, einen solchen, neuen Ansatz zur Energiespeicherung zu realisieren.

4 Zusammenfassung

Im Rahmen der Projektstudie „Windenergiespeicherung durch Nachnutzung stillgelegter Bergwerke“ wird unter der Leitung des Energieforschungszentrums Niedersachsen (EFZN) das Potential für die Realisierung eines untertägigen PSW in derzeit stillgelegten Bergwerken untersucht. Dazu wurde ein Kriterienkatalog entwickelt, der technische, ökologische und ökonomische Aspekte berücksichtigt. Dieser Kriterienkatalog wird dann mit den Gegebenheiten in stillgelegten Bergwerken in Deutschland verglichen, um so mögliche Standorte für die Installation eines untertägigen PSW als Speicher für Windenergie zu finden.

5 Literatur

- /1/ International Energy Agency (IEA), 2004, World Energy Outlook, Paris
- /2/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), 2007, Erneuerbare Energien in Zahlen- nationale und international Entwicklung, Berlin
- /3/ Deutsche Energie Agentur, 2005, Energiewirtschaftliche Planung für die Netzintegration von Windenergie in Deutschland an Land und Offshore bis zum Jahre 2020 (dena-Netzstudie), Berlin
- /4/ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Kurzinfo Wasserkraftnutzung in Deutschland, www.erneuerbare-energien.de
- /5/ Klinski, S., 2005, Überblick über die Zulassung von Anlagen zur Nutzung Erneuerbarer Energien
- /6/ Ebeling, H.-J., Kollenda, C., Wunram, T., 2005, Speicher für bessere Zeiten, energiespektrum, Henrich Publikationen GmbH
- /7/ Crotogino, F., Leonhard, W., 2003, Druckluftspeicher-Gasturbinen Kraftwerke zum Ausgleich fluktuierender Windenergie-Produktion
- /8/ Bard, J., 2006, Windkraft, Wasserkraft und Meeresenergie-Technik mit sozialer, ökologischer und ökonomischer Akzeptanz, in Forschung und Innovation für Nachhaltigkeit in der Stromerzeugung, Themenheft 2006, ForschungsVerbund Sonnenenergie

- /9/ Bine Informationsdienst, 2004, Wasserkraft, basis Energie 18, Fachinformationszentrum Karlsruhe, ISSN1438-3802
- /10/ Knissel, W., Fleisch, G., 2004, Kulturdenkmal Oberharzer Wasserregal-eine epochale Leistung, Clausthal, ISBN3-89720-725-7
- /11/ Gottschalk, J., 1982, Theorie und Praxis bei Leibniz im Bereich der Technik, dargestellt am Beispiel der Wasserwirtschaft des Oberharzer Bergbaues, Stuttgart, Studia Leibnitiana Supplementa, 22
- /12/ Gieseke, J. Mosonyi, E., 2005, Wasserkraftanlagen, Planung, Bau und Betrieb, 4. Auflage, Springer Verlag, Heidelberg