



@ Vattenfall, Pumpspeicher Goldisthal

BVES FACTSHEET PUMPSPEICHERWERKE (PSW)

STAND FEBRUAR 2016

1. ALLGEMEINE BESCHREIBUNG

1.1 FORM DER ENERGIEAUFNAHME UND -ABGABE:

Strom zu Strom

1.2 KURZBESCHREIBUNG DES SPEICHERPROZESSES

PSW sind Speicher und Kraftwerke in einem. Sie nutzen die Höhendifferenz zwischen einem oberen und einem unteren Speicherbecken. Zur Speicherung wird das Wasser durch von Motorgeneratoren angetriebenen Pumpen über Rohrleitungen vom unteren in das obere Speicherbecken gepumpt und dort als potenzielle Energie (Lageenergie) gespeichert. Zur Stromerzeugung strömt das gespeicherte Wasser über die Rohrleitungen und über Turbinen zurück in das untere Becken. Die Turbinen treiben Generatoren an, die den erzeugten Strom in das Stromnetz einspeisen.

1.3 SPEICHERSYSTEM

Bei den meisten großen PSW sind Rohrleitungen und Maschinenhaus unterirdisch angeordnet. Das Maschinenhaus befindet sich dann in einem Schacht oder in einer sog. Kaverne. Im Maschinenhaus sind die Generatoren, die im Pumpbetrieb als Motoren betrieben werden, die Pumpen und Turbinen bzw. wahlweise Pumpturbinen installiert. Pumpturbinen arbeiten in der einen Drehrichtung als Turbine, in der anderen Drehrichtung als Pumpe. Anstelle der Speicherbecken werden auch aufgestaute Flussläufe für die Wasserspeicherung verwendet. Wird der obere Speicher zusätzlich durch natürliche Zuflüsse gespeist, können auch diese Zuflüsse gespeichert und zur bedarfsgerechten Stromerzeugung genutzt werden. In Deutschland beträgt die maximale Höhendifferenz zwischen den beiden Speicherbecken – die sogenannte Fallhöhe – über 600 Meter. Weltweit sind PSW mit über 1.000 Meter Fallhöhe in Betrieb. Die untere Grenze für eine wirtschaftlich sinnvolle Fallhöhe liegt bei ca. 200 m. Bei den meisten PSW in Deutschland ist die Speicherkapazität so ausgelegt, dass die Stromerzeugung mit maximaler Leistung über einen Zeitraum von 4 bis 9 Stunden möglich ist.

1.4 FOKUS AUF LEISTUNGS- ODER ENERGIEBEREITSTELLUNG

Speicherung und Stromerzeugung mit kurzer Reaktionszeit

1.5 GEEIGNETE ANWENDUNGSGEBIETE

PSW sind technisch für alle Märkte und Dienstleistungen geeignet: Ihre Rolle wird damit im Rahmen der Energiewende immer wichtiger. Sie sorgen für den Ausgleich zwischen Erzeugung und Verbrauch im Stromsystem, erbringen Systemdienstleistungen, halten Reserveleistung vor, sind schwarzstartfähig, tragen zum Redispatch bei und stellen Momentanreserve bereit.

1.6 STAND DER ENTWICKLUNG / KOMERZIELL VERFÜGBAR

Seit Jahrzehnten ausgereifte und erfolgreich betriebene. Stromspeichertechnologie im Leistungsbereich von ca. 50 MW bis > 1 GW, TRL = 9

In Deutschland sind derzeit 31 PSW mit einer Leistung von 6,4 GW und einer Speicherkapazität von 37,4 GWh in Betrieb. Hinzu kommen weitere PSW-Kapazitäten in Luxemburg und Österreich, die für das deutsche Netz zur Verfügung stehen. Mehrere größere Projekte sind in Planung (> 4 GW, > 40 GWh), weitere Potentiale > 30 GW und > 100 GWh wurden durch aktuelle Studien aus den Jahren 2011 bis 2014 ermittelt. Weltweit sind PSW mit einer Leistung von ca. 130 GW in Betrieb, sie stellen damit 99 % der im Stromsystem installierten Speicherleistung.

1.7 FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

Neben den beschriebenen „klassischen PSW“ existieren Ideen für sog. „unkonventionelle PSW“ wie z. B. Ringwallaspeicher, Hubkolbenspeicher, Untertage-PSW. Einige dieser Technologien, wie z. B. Untertage-PSW, sind Gegenstand von aktuellen Forschungsaktivitäten¹⁾. Für andere Vorschläge und Ideen, wie z. B. Ringwall- und Hubkolbenspeicher, muss die technische Machbarkeit jedoch noch gezeigt werden, z. B. anhand von Pilotprojekten.

2. RELEVANTE TECHNISCHE SPEZIFIKATIONEN

Spezifische Energiedichte	kWh/m³	kWh/t
	für diese Technologie nicht relevant	für diese Technologie nicht relevant
Spezifische Leistungsdichte	kW/m³	kW/t
	für diese Technologie nicht relevant	für diese Technologie nicht relevant
typische / realisierbare Speichergröße	kWh_{out}	kW_{out}
	> 800.000	> 200.000
Speicherwirkungsgrad in %	75 - 80	
Speicherdauer	Std. - Wochen	
Reaktionszeit	< 5 Minuten	
Lebensdauer (maximal)	> 20.000 Zyklen	
Systemwirkungsgrad in %	75-80	
Verluste pro Zeit in %	0	

2.1 ERLÄUTERUNGEN

- **Speichergröße:**
Es wird davon ausgegangen, dass neue PSW eine installierte Leistung > 200 MW und eine Speichergröße besitzen, die eine Betriebsdauer > 4 Vollastbetriebsstunden ermöglicht.
- **Speicherwirkungsgrad:**
Kennzahl aus Erfahrungen von Betreibern
- **Reaktionszeit:**
Die Reaktionszeit ist abhängig vom aktuellen Betriebszustand: Im Turbinenbetrieb beträgt die

Reaktionszeit < 1 s, aus dem Stillstand heraus wird die maximale Leistung im Allgemeinen innerhalb von ca. 2 Minuten erreicht. Die maximale Leistung im Pumpbetrieb wird je nach Bauart der Maschinensätze innerhalb von maximal 5 Minuten erreicht. In diesem Zeitbereich ist die Reaktionszeit von PSW sehr stark vom eingesetzten Maschinenkonzept abhängig (Pumpturbine oder ternärer Maschinensatz).

- **Lebensdauer:**

Bei der Lebensdauer wird bei einem Speicherzyklus pro Tag und einer angenommenen Lebensdauer von 50 Jahren eine Zyklenzahl von ca. 18.500 erreicht. Viele PSW sind mittlerweile wesentlich länger (über 80 Jahre!) in Betrieb und ein Lebensdauerende ist nicht absehbar. Die Maschinensätze wechseln die Betriebsart bis zu zehnmal pro Tag und mehr und sie sind teilweise ebenfalls über 80 Jahre in Betrieb.

- **Verluste pro Zeit:**

Verluste entstehen theoretisch durch Versickerung und Verdunstung des Wassers. Diese geringen Verluste werden durch Niederschläge kompensiert, so dass die tatsächlichen Verluste praktisch vernachlässigt werden können.

2.2 BEISPIEL KAVERNENKRAFTWERK WEHR DER SCHLUCHSEEWERK AG

Leistung im Pumpbetrieb	910 MW
Leistung im Turbinenbetrieb	980 MW
Speicherwirkungsgrad	75-80 %
Speicherdauer	6 Stunden
Reaktionszeit Stillstand - Turbinenvollast	75 Sekunden
Reaktionszeit Stillstand - Pumpenvollast	100 Sekunden
Nutzbarer Inhalt Oberbecken	4,4 Mio m ³
Nutzbarer Inhalt Unterbecken	4,1 Mio m ³

3. ÖKONOMISCHE SPEZIFIKATIONEN

Investitionskosten pro kW: 500 – 1.200 € (Kennzahl aus Erfahrungen von Betreibern und Planern)

3.1 ERLÄUTERUNGEN

Die angegebenen Investitionskosten variieren stark und hängen im Wesentlichen davon ab, ob es sich um Anlagenerweiterungen mit bereits bestehenden Speicherbecken oder um einen kompletten Neubau einschließlich neuer Speicherbecken handelt.



Abbildung 1 Maschinensatz im Kraftwerk Wehr¹

3.2 WEITERE INFORMATIONEN UNER:

- Pumpspeicherwerk Einöden GmbH, <http://www.psw-einoeden.de>
- Schluchseewerk AG, <http://www.schluchseewerk.de>
- SWT Stadtwerke Trier Versorgungs-GmbH, <https://www.swt.de>
- Vattenfall Europe Generation AG, <http://corporate.vattenfall.de/ueber-uns/geschäftsfelder/erzeugung/wasserkraft/wasserkraft-in-deutschland-psw>

¹ Abbildung 1: <https://www.schluchseewerk.de/wo-wir-sind/hotzenwaldgruppe/kraftwerk-wehr>