

Die Rolle der Pumpspeicher in der Elektrizitätsversorgung

Basiswissen-Dokument, Stand März 2020

1. Zusammenfassung

Pumpspeicherkraftwerke verfügen im Unterschied zu reinen Speicherkraftwerken nicht nur über einen oberen Speichersee, sondern auch über ein unteres Wasserbecken, aus dem bereits verwendetes Wasser wieder in den oberen See gepumpt werden kann. Damit sind sie in der Lage, einen wichtigen Beitrag zur Versorgungssicherheit und zur Netzstabilität zu leisten. Gerade im Hinblick auf den zu erwartenden Ausbau stochastischer Energiequellen dürfte die Bedeutung der Speicher in Zukunft weiter zunehmen. Pumpspeicherkraftwerke als Speicher können zukünftig vermehrt grünen Strom speichern, besonders bei starkem Angebot aus Wind und Sonne, um ihn später wieder abzugeben.

2. Ausgangslage

In der Schweiz werden heute Wasserkraftwerke mit einer maximal möglichen Generatorleistung von 15'480 MW betrieben, die jährlich eine mittlere Produktionserwartung von 36,4 TWh Strom aufweisen.¹

Zu den 55 % Produktionsanteil der Schweizer Wasserkraft in 2018 (37,4 TWh von gesamt 67,6 TWh) wurde der Grossteil von Grosswasserkraft und etwas über 5 % von der Kleinwasserkraft beigetragen. Die Wasserkraft wird in drei Kategorien unterteilt²:

- Laufwasserkraft: Sie setzt die Höhenunterschiede entlang von Fließgewässern in elektrische Energie um. Die Produktion richtet sich nach der vorhandenen Wassermenge und ist dadurch wenig regulierbar.
- Speicherwasserkraft: In überwiegend hoch in den Alpen gelegenen Speicherseen kann Wasser zurückgehalten und bei erhöhtem Energiebedarf für die Stromproduktion entnommen werden. Allerdings ist nur ein Teil der Produktion von Speicherkraftwerken regulierbar, Zuflüsse unterhalb der Speicherseen haben mehr oder weniger Laufwassercharakter.
- Pumpspeicherkraftwerke: Diese pumpen Wasser aus einem unteren Becken in einen höher gelegenen Speichersee und verwenden es wieder zur Stromproduktion. Sie erzeugen damit keine zusätzliche Energie, erhöhen jedoch die verfügbare Leistung. Sie sind meist in grössere Speicherkraftwerkkomplexe integriert.
- Zusammenfassend für das Jahr 2018 ergibt sich folgendes Bild für die Wasserkraft (Stand 1.1.2019):

¹ Quelle: BFE 2019a

² Quelle: BFE 2019b

Kraftwerkstyp	Anzahl	Installierte Generatoren- Leistung (MW)	Produktionserwartung (ohne Umwälzbetrieb) (GWh)		
			Winter	Sommer	Jahr
Laufwasserkraft	548	4'133	6'264	11'423	17'687
Speicherkraft	80	8'223	8'148	9'059	17'207
Pumpspeicherwerke	15	2'562	964	590	1'554
Total	643	14'918	15'376	21'072	36'448

Tabelle 1: Maximal mögliche Leistung und mittlere jährliche Produktionserwartung der Wasserkraftanlagen (> 300 kW) der Schweiz.
Quelle: BFE 2019c.

Die Energiequelle Wasser steht immer zur Verfügung, allerdings gibt es deutliche Schwankungen.

3. Stand und weitere Entwicklung der Technik

3.1 Funktionsweise von Pumpspeicherkraftwerken

Während sich die Fluss-Laufwasserkraftwerke nur schlecht regeln lassen und die kleinste Produktionsmenge im Winter vorhanden ist, lassen sich im Gegensatz dazu die Speicherkraftwerke und die Pumpspeicherkraftwerke flexibler betreiben. Während aber Speicherkraftwerke lediglich in der Lage sind, das aufgrund von Zuflüssen dargebotene Wasser vorübergehend zu speichern und dann später zu turbinieren, können Pumpspeicherkraftwerke bereits turbiniertes Wasser im Pumpbetrieb wieder in höhere Lagen bringen, so dass es dann abermals turbiniert wird. Generell werden Pumpspeicher dann turbinieren, wenn der Strompreis höher ist, bzw. dann pumpen, wenn der Strompreis tief ist. Das bedeutet, dass für Pumpspeicher die Preisdifferenzen zwischen Pump- und Turbinierstrom relevant sind.

In Abbildung 1 ist die schematische Funktionsweise eines Pumpspeicherkraftwerks dargestellt.

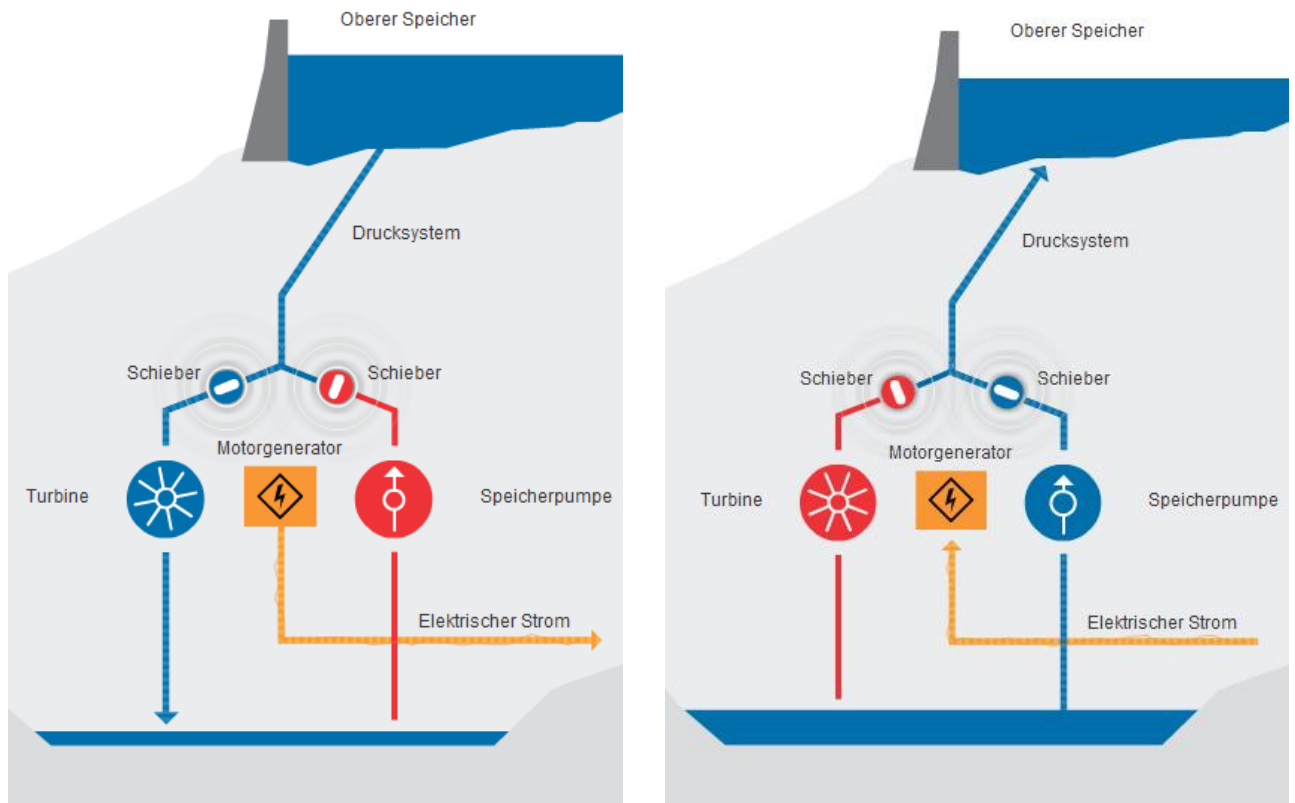


Abbildung 1: Pumpspeicherkraftwerk während Turbinierung (links) und im Pumpbetrieb (rechts). Quelle: Axpo.

Axpo formuliert dazu: "Wird Strom produziert, gelangt Wasser vom oberen Becken (Speichersee) in das Drucksystem (Abbildung 1 links). Das Wasser treibt die Turbine an und diese den Motorgenerator, der in diesem Fall als Generator arbeitet. Der produzierte Strom wird ins Stromnetz eingespeist. Nach der Turbine gelangt das Wasser in das untere Becken. Im Pumpbetrieb (Abbildung 1 rechts) arbeitet der Motorgenerator als Motor. Er wird mit Strom aus dem Netz versorgt und treibt die Pumpe an. Diese entnimmt dem unteren Becken Wasser und pumpt es in den Stausee zurück". Der Wirkungsgrad eines Pumpspeicherkraftwerks beträgt ungefähr 75 % bis 80 %. Das bedeutet, dass sich etwa drei Viertel von der für den Pumpbetrieb zugeführten elektrischen Energie bei der Turbinierung zurückgewinnen lassen.

3.2 Situation in der Schweiz

In der Schweiz werden 15 Pumpspeicherkraftwerke betrieben, die wichtigsten befinden sich an den Einzugsgebieten der Rhone, Rhein und Limmat:

Flussgebiet	Anzahl Zentralen	Installierte Leistung (MW)	mittlere Produktionserwartung (GWh)		
			Winter	Sommer	Jahr
Rhein	2	400	196	194	389
Aare Reuss	1	55	13	26	39
Limmat	3	1'181	196	122	318
Rhone	6	671	404	200	605
Tessin	2	209	87	28	116
Adda / Inn / Etsch	1	46	68	20	87
Total	15	2'562	964	590	1'554

Tabelle 2: Übersicht über die Schweizer Pumpspeicherkraftwerke. Quelle: BFE 2019d.

Bei Tabelle 2 ist Folgendes zu beachten:

- Nur Zentralen mit einer maximal möglichen Leistung ab 300 kW sind erfasst.
- Die Zentralen im Bau und zwei reine Pumpzentralen sind nicht berücksichtigt.
- Bei internationalen Wasserkraftanlagen ist nur der Hoheitsanteil der Schweiz berücksichtigt.
- Die Aufteilung der 15 Zentralen nach Flussgebieten richtet sich nach ihrem Standort.
- Pumpenergie für die Saisonspeicherung ist nicht abgezogen.

3.3 Internationale Situation

Die Schweiz hat einen Wasserkraftanteil bezogen auf die Gesamtproduktion, der in Europa nur von Norwegen, Österreich und Island übertroffen wird. Die installierte Leistung der Pumpspeicherkraftwerke hingegen ist in vielen Ländern höher, was die Abbildung 2 veranschaulicht. Pumpspeicherkraftwerke der Schweiz haben aber regelmässig grössere Wasserspeicher, so dass sie jeweils länger turbinieren oder speichern können.

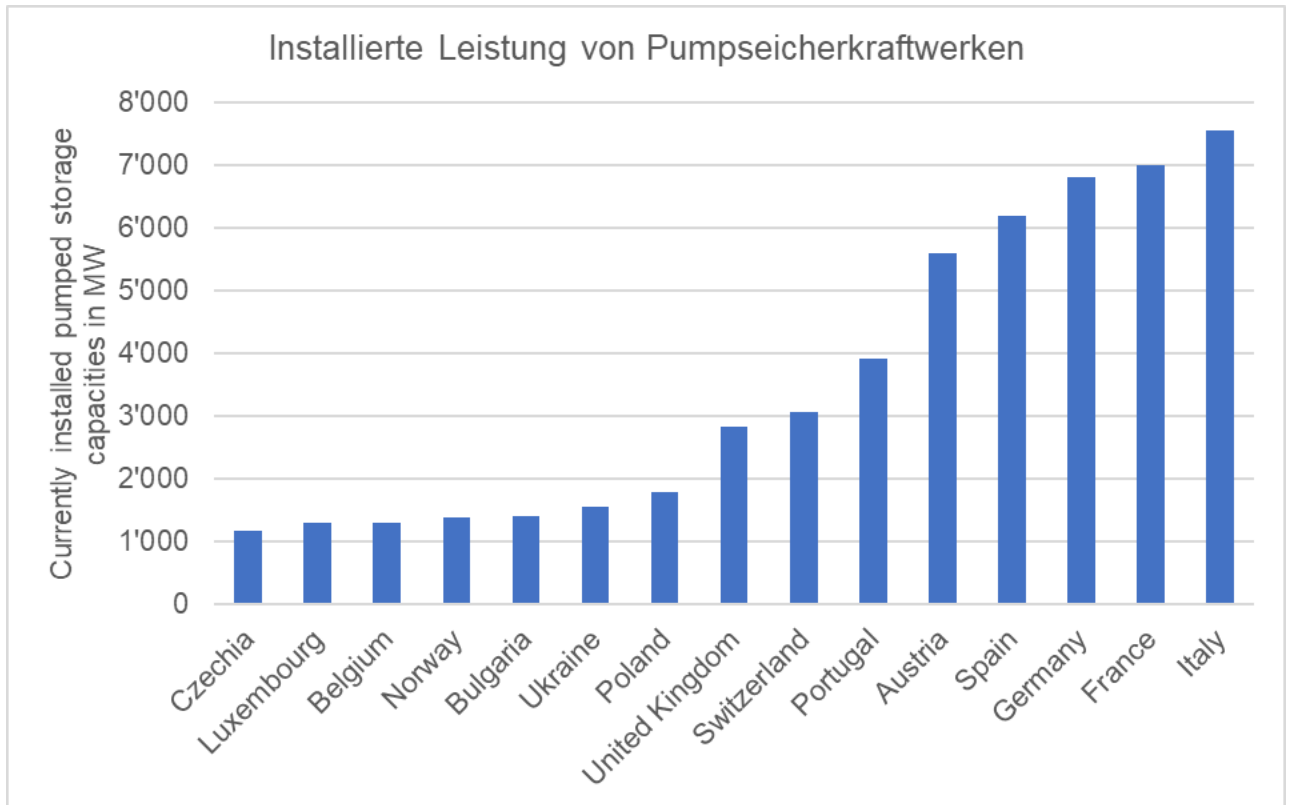


Abbildung 2: Installierte Leistung von Pumpspeicherkraftwerken in Europa im Jahr 2018. Quelle: IHA 2019.³

3.4 Flexibilität und Betrieb von Pumpspeicherkraftwerken

Die Bandenergie wird in der Schweiz hauptsächlich von Kernkraftwerken und Flusskraftwerken abgedeckt. Speicherkraftwerke liefern Spitzenenergie und können die Stromproduktion sehr schnell an den wechselnden Bedarf anpassen. Allgemein sind Wasserkraftwerke und auch Pumpspeicherkraftwerke innerhalb weniger Sekunden bis Minuten verfügbar. Im Vergleich dazu sind thermische Kraftwerke deutlich träger. Wasserkraftwerke können in vielen Fällen nicht nur im regulären Strommarkt, sondern auch im Markt für Systemdienstleistungen vermarktet werden und haben deshalb eine zentrale Bedeutung für den stabilen Netzbetrieb, d.h. die Versorgungssicherheit. Pumpspeicherkraftwerke sind dabei in der Lage, durch zusätzlichen Bedarf (Pumpbetrieb) und zusätzliches Angebot (Turbinierbetrieb) stabilisierend zu wirken.

Im Gegensatz zu reinen Speicherkraftwerken können Pumpspeicherwerke nicht nur Spitzenenergie erzeugen, sondern auch Stromüberschüsse speichern, die während Schwachlastzeiten anfallen und nicht gebraucht werden. Bei zunehmendem Strombedarf wandeln sie diese in wertvolle Spitzenenergie um.

Obwohl mit der Pumpspeicherung ein Energieverlust verbunden ist, sind die Kraftwerke von grosser energiewirtschaftlicher Bedeutung. Mit ihren Pumpspeicherkraftwerken kann die Schweiz einen Beitrag zur sinnvollen Verwertung von stochastisch anfallenden erneuerbaren Energieproduktionen leisten. Sie kann etwa überschüssiges und preiswertes Angebot aus Wind- und Sonnenenergie zum Speichern nutzen und Strom dann

³ Die Abbildung 2 stellt im Vergleich zu Tabelle 2 ebenfalls die reinen Pumpzentralen dar.

erzeugen, wenn der Bedarf wieder angestiegen ist. Der Einsatz von Pumpspeicherkraftwerken hilft, die elektrischen Systeme im Gleichgewicht zu halten.

3.5 Aktuelle Pumpspeicher-Kraftwerksprojekte in der Schweiz

In der Schweiz werden derzeit verschiedene Pumpspeicher-Kraftwerksprojekte verfolgt, von denen das in Bau befindende Projekt Nant de Drance und das Ende 2017 in Betrieb gegangene Projekt Linth-Limmern die grössten Projekte darstellen.

3.5.1 Nant de Drance (Status: Im Bau)



Abbildung 3: Emosson und Vieux Emosson. Quelle: Nant de Drance SA.

Das Pumpspeicherkraftwerk Nant de Drance liegt im Kanton Wallis auf dem Gebiet der Gemeinde Finhaut zwischen Martigny und Chamonix. Nant de Drance nutzt das Gefälle zwischen den Stauseen Vieux Emosson (2225 m ü. M.) und Emosson (1930 m ü. M.), um Energie zu produzieren. Es ist mit sechs Turbinen von je 150 MW auf 900 MW Turbinen- und Pumpleistung ausgelegt und produziert jährlich rund 2500 Mio. kWh (2,5 TWh) mit einem Zyklus-Wirkungsgrad von mehr als 80 % (d.h. einen Pumpenergie-Verbrauch von rund 3100 Mio. kWh haben).

Für den Bau und den späteren Betrieb des Kraftwerks ist die Nant de Drance SA verantwortlich. Die Bauarbeiten haben im September 2008 begonnen, und das Pumpspeicherkraftwerk soll ab 2020 schrittweise in Betrieb gehen. Es ist ein Partnerprojekt von Alpiq (Beteiligung von 39 %), SBB (Beteiligung von 36 %), IWB (Beteiligung von 15%) und FMV (Beteiligung von 10 %). Die Kosten für das Pumpspeicherkraftwerk betragen rund 2 Mrd. Franken.⁴

⁴ Quelle: Nant de Drance 2019

3.5.2 Kraftwerke Linth-Limmern

Mit dem Axpo-Projekt Linthal 2015 wurde ein unterirdisch angelegtes Pumpspeicherwerk erbaut, das Wasser aus dem Limmernsee in den 630 m höher gelegenen Muttsee pumpen kann. Damit erhöht sich die Turbinenleistung der Kraftwerke Linth-Limmern von rund 520 MW auf 1520 MW. Im Jahr 2015 konnte die erste Maschinengruppe mit dem Netz synchronisiert werden. Der kommerzielle Betrieb der kompletten Anlage wurde Ende 2017 aufgenommen. Die Investitionskosten für dieses Projekt betragen rund 2,1 Mrd. Franken.⁵



Abbildung 4: Kraftwerke Linth-Limmern. Quelle: Axpo.

4. Zukünftige Entwicklungen

Pumpspeicherkraftwerke pumpen während Stunden mit geringer Nachfrage, die von Grund- und Mittellastkraftwerken allein gedeckt werden kann, und wenn die Strompreise günstig sind. Das Turbinieren findet heute während der Morgen- und Abend-Spitzenbelastung statt. In Zukunft wird sich diese Betriebsweise noch weiter ändern. Es ist davon auszugehen, dass der fortschreitende Zubau des Wind- und Solarstroms langfristig den Anlagenbetrieb weiter dynamisieren werden.⁶ Je stärker die intermittierend einspeisenden Produktionstechnologien ausgebaut werden, desto eher werden sich die bisherigen Muster „Tag / Nacht“ bzw. „Arbeitstage/ Wochenende“ aufheben. Das Wasser wird evtl. dann auch in der Mitte des Tages gepumpt, wenn eine grössere Menge von Solarenergie zu Verfügung steht, die nicht unmittelbar konsumiert wird. Mit anderen Worten werden sich die Zyklen verkürzen, in denen gepumpt und turbiniert wird.

⁵ Quelle: Axpo 2019

⁶ Quelle: VSE 2012

Pumpspeicherkraftwerke können zukünftig vermehrt grünen Strom speichern, besonders bei starkem Angebot aus Wind und Sonne, um ihn später wieder abzugeben. Der „Preis“ dafür ist die verbrauchte Energie, die für den Prozess der Speicherung und Turbinierung notwendig ist. Veränderte Zyklen und eine insgesamt höhere Auslastung erhöhen dann auch die Betriebs- und Unterhaltskosten.

Im langfristigen Bereich bis 2035 werden zusätzliche Einspeisungen aus erneuerbaren Energien erwartet. Schweizer Pumpspeicherkraftwerke mit ihrer hohen Flexibilität können einen Beitrag leisten zur Deckung der erhöhten Flexibilitätsnachfrage in der Schweiz und in anderen Teilen Europas. Der marktbasierter Einsatz kann aber gleichzeitig netzbelastend wirken, da beispielsweise die Nord-Süd-Transitflüsse in Deutschland verstärkt werden. Der effiziente Einsatz von Pumpspeicherkraftwerken hängt dadurch stark von den verfügbaren Transportkapazitäten sowie von grenzüberschreitenden Bewirtschaftungsmöglichkeiten ab.⁷

Zugleich zeigt sich heute, dass die starken Einspeisungen der neuen Energien die für Pumpspeicherkraftwerke nötigen Preismuster (möglichst häufig grosse Preisschwankungen) negativ beeinflussen. Das wirkt sich tendenziell negativ auf die Rendite der Pumpspeicherkraftwerke aus.

5. Fazit

Pumpspeicherkraftwerke sind je nach der Preisstruktur am Strommarkt nicht nur energiewirtschaftlich sinnvoll, sie leisten auch einen wichtigen Beitrag zur Stabilisierung des Netzes und garantieren so eine bedarfsgerechte, zuverlässige und nachhaltige Stromproduktion. Durch ihre gute Steuerbarkeit können sie die stochastische Produktion aus Wind- und Sonnenenergie ausgleichen helfen.

Dank ihrer Pumpspeicherkraftwerke kann die Schweiz eine Rolle bei der Integration stochastisch einspeisender Erzeugung in Europa spielen. Diese Rolle darf aber nicht überschätzt werden und ist primär und direkt von den vorhandenen Leitungskapazitäten abhängig. Mit einer wachsenden Bevölkerung und zunehmendem Anteil an erneuerbaren stochastischen Energien nimmt der Bedarf an Spitzenenergie und Regelkapazität im ganzen europäischen Netzverbund zu. Aus diesem Grund dürfte die Bedeutung der Pumpspeicherkraftwerke langfristig weiterhin gegeben sein. Zugleich muss die Wirtschaftlichkeit von Pumpspeicherkraftwerken sorgfältig beobachtet werden. Voraussetzung ist, dass die EU die Pumpspeicherkraftwerke der Schweiz ohne regulatorische Nachteile am EU-Energiemarkt teilhaben lässt.

⁷ Quelle: RWTH Aachen, 2014

6. Quellenverzeichnis

Axpo 2019	www.axpo.ch
BFE 2019a	Stand der Wasserkraftnutzung in der Schweiz am 1. Januar 2019; Bundesamt für Energie BFE, Bern, Tabelle Bestehende und im Bau befindliche Zentralen, 3.4.2019.
BFE 2019b	Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2018; Bundesamt für Energie BFE, Bern, Tabelle 8, 21.06.2019.
BFE 2019c	Stand der Wasserkraftnutzung in der Schweiz am 1. Januar 2019; Bundesamt für Energie BFE, Bern, Tabellen 21, 22 und 23, 1.1.2019.
BFE 2019d	Stand der Wasserkraftnutzung in der Schweiz am 1. Januar 2019; Bundesamt für Energie BFE, Bern, Tabelle 19, 1.1.2019.
IHA 2019	International Hydropower Association, Hydropower Status Report, London, 2019
Nant de Drance 2019	www.nant-de-drance.ch
RWTH Aachen 2014	Bewertung des Beitrags von Speichern und Pumpspeichern in der Schweiz, Österreich und Deutschland zur elektrischen Energieversorgung, Aachen, 27. Juni 2014
VSE 2012	Pöyry Management Consulting, Supply and Demand of Flexible Generation Capacity in Switzerland, Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen VSE/AES, Aarau, 2012