

# Wasserkraftwerke als Stromspeicher – Ein Auslaufmodell?

*Stefan Reil*

## Zusammenfassung

Die Ergebnisse zahlreicher Studien für den zukünftigen Bedarf an Stromspeicher streuen stark. Einigkeit besteht in den Annahmen, dass die Anforderungen an Stromspeicher mit steigendem Anteil an Erneuerbaren Energien (EE) größer werden. Zusätzliche Bedeutung zum klassischen Tagesspeicher gewinnen einerseits die vermehrte Bereitstellung von Regelenergie, und andererseits auch ein erhöhter Bedarf an Langzeitspeichern.

In Deutschland existiert bereits ein großer Bestand an Stromspeichern, der zum überwiegenden Anteil aus Pumpspeicherkraftwerken (PSW) besteht. Diese sind nach wie vor neben Druckluftspeichern die einzige ausgereifte, großmaßstäbliche Technologie zur Speicherung von Strom und durch neuere Entwicklungen auch für die zukünftigen Anforderungen an Stromspeicher gut gerüstet. Als alternative Speicher werden Batteriespeicher bei gleichbleibender Kostendegression auch in mehreren Jahren wirtschaftlich noch nicht zu den PSW aufgeschlossen haben. Power to Gas kann trotz der enormen Speicherkapazitäten wegen technischer Restriktionen und naturgesetzlichen Grenzen die technisch wirtschaftlichen Kennzahlen der PSW nicht erreichen.

Veröffentlichte Potenzialstudien für PSW in mehreren Bundesländern haben gezeigt, dass in Deutschland genügend technisches Potenzial für neue PSW vorhanden ist.

PSW wurden bisher zumeist über den Intraday oder Day-ahead Markt betrieben. Zum Teil wird heute bereits verstärkt auf das Angebot von Regelenergie gesetzt. Wegen der marktverzerrenden Wirkung der vorrangigen Einspeisung der EE zu einer festen Vergütung sind die Erlöse aus den bisherigen Geschäftsmodellen stark gesunkenen. Daher ist es notwendig, die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen zu modifizieren, um die Marktverzerrung auszugleichen oder zu beseitigen.

Eigene Erfahrungen haben gezeigt, dass das Thema PSW stark emotional aufgeladen wird, sobald sich eine gefühlte persönliche Betroffenheit einstellt. Dabei kann eine nicht immer neutrale Berichterstattung in den Medien die Polarisierung der Meinungen fördern. Auf politischer Ebene haben die PSW bei der Energiewende derzeit eine geringe Priorität. Aufgrund der erwarteten hohen Widerstände in der Bevölkerung fehlt neuen Pumpspeicherwerksprojekten oft der politische Rückhalt. Der Focus der Bundesregierung bei Speichern liegt aktuell eher bei der Entwicklung von neuen Speichertechnologien.

Es gibt starke Indizien dafür, dass mit dem weiteren Ausbau der EE auch die Stromversorgung insgesamt umgebaut werden muss. Neben dem Netzausbau und Lastmanagement werden auch mehr Speicherkapazitäten benötigt, um die Versorgungssicherheit mit Strom in Deutschland auf dem bisherigen, hohen Niveau halten zu können. Damit die Strompreise international wettbewerbsfähig bleiben, ist zusätzlich zu neuen Batteriespeichern sicher auch das ein oder andere neue PSW erforderlich. Dazu ist es notwendig, dass die Politik verlässliche wirtschaftliche Rahmenbedingungen schafft und sich auch in der Öffentlichkeit klar zu den notwendigen Maßnahmen bei der Umsetzung der Energiewende bekennt.

## 1 Speicherbedarf

In den vergangenen Jahren wurden zahlreiche Studien erstellt, in denen der für die Energiewende zukünftig notwendige Speicherbedarf ermittelt wurde. Die Ergebnisse dieser Studien für den zukünftigen Speicherbedarf streuen jedoch stark. Während manche Studien bereits ab einem Anteil an Erneuerbaren Energien (EE) von 40 % einen zusätzlichen Speicherbedarf sehen [1], gibt es auch Studien, die erst bei einem Anteil von 90 % EE [3] einen zusätzlichen Bedarf sehen. Der Bedarf an zusätzlichen Stromspeichern reicht je nach Szenario von Null [3] bis hin zu 30 GW [9].

Gemeinsam sind den Studien die Annahmen, dass zusätzlich zum klassischen Tagesspeicher vermehrt der Bedarf zur Bereitstellung von Regelenergie entsteht. Die Höhe des Bedarfs ist abhängig vom Ausbau der Stromnetze und dem Aufbau eines Lastmanagements, mit dem der Verbrauch an die volatile Erzeugung angepasst werden kann. Je mehr der volatile Anteil an der Stromerzeugung steigt, umso mehr Prognosefehler sind bei Anpassung der Erzeugung an den Verbrauch zu erwarten. Die steigende Anzahl an notwendigen Eingriffen der Netzbetreiber zur Stabilisierung der Übertragungsnetze weist darauf hin, dass sich bereits heute der Bedarf an Regelenergie deutlich erhöht hat.

Andererseits werden durch den Wegfall des grundlastfähigen Atom- und Kohlestroms vermehrt Langzeitspeicher benötigt, die durch längere windschwache Perioden und der saisonal schwankenden Sonnenenergie für einen Ausgleich des Angebots sorgen müssen.

## 2 Bestand an Stromspeicher und Stand der Technik bei PSW

Deutschland besitzt bereits einen großen Bestand von rund 6,4 GW an Stromspeicher mit einer Speicherkapazität von 37 GWh [2]. Der überwiegende Anteil davon besteht aus Pumpspeicherkraftwerken (PSW). Die Technik wird seit Anfang des 20. Jahrhunderts genutzt. Neuere technische Entwicklungen gibt es sowohl in den Bereichen Maschinen- und Elektrotechnik, als auch in der Bautechnik.

Bisher wurden vor allem Pumpturbinen mit fester Drehzahl verbaut. Daher war nur das zu oder abschalten ganzer Maschinensätze möglich. Für die zukünftig verstärkt notwendige Frequenzregelung des Netzes können drehzahlgeregelte Pumpturbinen eingesetzt werden, wie sie beispielsweise erstmals im PSW Goldisthal verbaut wurden. Eine weitere Möglichkeit zur besseren Regelbarkeit bietet die Technik mit ternären Maschinensätzen, bei denen Pumpe und Turbine getrennt sind und gleichzeitig im hydraulischen Kurzschluss betrieben werden können.

Bautechnisch kann durch eine naturnahe Ausgestaltung der Speicherbecken oder deren unterirdische Anordnung in Kavernen den gestiegenen naturschutzfachlichen Anforderungen Rechnung getragen werden.

Um den Anforderungen an Langzeitspeicher zur Nutzung als Saisonspeicher gerecht zu werden, können PSW bautechnisch mit großem Arbeitsvermögen ausgebildet werden. Da sich PSW über den laufenden Betrieb finanzieren, und möglichst dauerhaft entweder pumpen oder turbinieren, wird die Wirtschaftlichkeit dieser Anlagen maßgeblich durch die Kosten der Speicher bestimmt. Potenziale für Saisonspeicher werden daher eher im Ausland an großen bestehenden Talsperren gesehen.

### **3 Alternative Speichertechnologien**

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie erkennt an, dass „Pumpspeicherkraftwerke technisch ausgereift sind und in Deutschland derzeit die einzige in nennenswertem Umfang nutzbare Speichertechnik“ sind. Alternative Speicher müssen es schaffen, großmaßstäblich, mit hoher Effizienz und unter wirtschaftlichen Kosten PSW zu substituieren. Auch wenn PSW bisher als Speicher etabliert sind, gibt es Alternativen, die sich in der Entwicklung befinden.

Für PSW selbst wurden in jüngster Zeit alternative Konzepte entwickelt. Dabei sind die Potenziale für die Konzepte wie Gravity Power oder PSW unter Wasser auf Grund der speziell notwendigen Randbedingungen begrenzt. Ob die Entwicklung zur Marktreife gelingt, muss sich zeigen.

Die Technologie der Druckluftspeicher hat sich bisher wirtschaftlich nicht durchgesetzt. Ein weiter entwickelter Prototyp, der adiabatisch zugleich mit Wärmespeicher ausgerüstet ist, wird derzeit in der Schweiz geplant. Auch wenn Druckluftspeicher bisher wirtschaftlich kaum konkurrenzfähig gegenüber PSW waren, muss sich erweisen, ob diese zusätzliche adiabatische Technik die Wirtschaftlichkeit auf ein wettbewerbsfähiges Niveau heben kann.

Batteriespeicher haben wie PSW einen ähnlich hohen Wirkungsgrad von bis zu 90%. Sie werden nach vorliegenden Studien in 10 Jahren bei gleichbleibender Kostendegression Speicherkapazitäten zu Preisen bereitstellen können, die bezogen auf einen Lastzyklus mit denen von PSW vergleichbar sind. Die um ein Vielfaches geringere Anzahl an Lastzyklen von derzeit maximal 10.000 (Batteriespeicherkraftwerk M5BAT), die um den Faktor 10 bis 20 niedrigere Speicherdichte und das Entsorgungsproblem von Schwermetallen in den Batterien bleiben jedoch weiterhin bestehen.

Die Technologie mit Power to Gas kann zwar enorme Speicherkapazitäten bieten. Wegen der technisch bedingten hohen Verluste bei der Erzeugung von Gas und der Wiederverstromung wird bei Power to Gas der Wirkungsgrad eines Zyklus auf rund 20 bis maximal 40 % begrenzt. Mit den damit verbundenen hohen Kosten kann Power to Gas immer dann eine Alternative sein, wenn ein Überangebot von Stromerzeugung nicht mehr durch Zuschalten weiterer Verbraucher oder Speicher ausgeglichen und damit eine Abregelung der EE-Erzeugung vermieden wird.

### **4 Potenziale in Deutschland und Bayern**

Noch bis vor wenigen Jahren herrschte die Meinung vor, dass in Deutschland kein Potenzial für zusätzliche PSW vorhanden sei. Bisher wurden Potenzialstudien für PSW in Thüringen, Baden-Württemberg, Sachsen, Bayern und mittlerweile auch NRW erstellt. Das Ergebnis allein aus den veröffentlichten Studien zeigt, dass in Deutschland genügend technisches Potenzial für neue PSW vorhanden ist. In Baden-Württemberg, Thüringen und Bayern wurden zusammen 35 GW an Pumpspeicherpotentialen identifiziert, 11 GW davon in Bayern. In Planung befinden sich in Deutschland derzeit Anlagen mit insgesamt 8 GW, davon befinden sich 2 GW im Genehmigungsverfahren oder stehen vor der Investitionsentscheidung. Für Projekte mit weiteren 1,1 GW wurde ein Raumordnungsverfahren positiv abgeschlossen.

Der zusätzliche Bedarf an Stromspeicher als Kurzzeitspeicher bis hin zum Wochenspeicher kann somit in Deutschland in ausreichender Menge bereitgestellt werden. Einschränkungen ergeben sich alleine für Langzeitspeicher. Für den Ausgleich längerer windschwacher Wetter-

lagen und als saisonaler Speicher für Solarstrom werden sehr große Speichervolumina benötigt. Das Potenzial hierfür liegt in den Zentralalpen, wo entsprechend große Talsperren gebaut wurden. Es muss sich zeigen, ob die Langzeitspeichern mit der geringen Anzahl an Lastzyklen gegenüber temporär eingesetzten Gaskraftwerken wirtschaftlich bestehen können.

## **5 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen**

PSW wurden bisher zumeist über den Intraday oder Day-ahead Markt betrieben. Zum Teil wird heute bereits verstärkt auf das Angebot von Regelenergie gesetzt. Der Spread aus den über den Tagesverlauf schwankenden Strompreisen, aus dem sich die PSW finanzieren, ist die letzten Jahre immer mehr geschrumpft.

Der Day Ahead Markt war vor dem Ausbau der EE der Hauptabsatzmarkt für PSW. Mittags und Abends wurde durch Turbinieren Strom erzeugt und zu hohen Preisen verkauft. Nachts dagegen wurde der überschüssig erzeugte Grundlaststrom zu niedrigen Preisen eingekauft und durch Pumpen gespeichert.

Die vorrangige Einspeisung der EE verknüpft künstlich die Nachfrageseite, die zuerst über die EE bedient wird. Auf die verbliebene geringere Nachfrage trifft dann ein Überangebot auf dem Strommarkt und verzerrt so den Marktpreis. Durch das Überangebot an konventionell erzeugtem Strom reduziert sich einerseits der Maximalpreis. Andererseits stützt die vorrangige Einspeisung der EE die Minimalpreise, die ansonsten bei einem Überangebot aus EE viel niedriger liegen würden. Was der Stromerzeugung aus EE mit der vorrangigen Einspeisung zu festen Tarifen nutzt, schadet gleichzeitig dem freien Markt bei dem Ausgleich der Lasten im Stromnetz. Abhilfe könnte ein Kapazitätsmarkt oder eine Modifizierung der Einspeisevergütung aus EE schaffen.

## **6 Öffentlichkeitsbild**

Am PSW Jochberg hat sich exemplarisch gezeigt, wie stark das Thema PSW in der Öffentlichkeit emotional aufgeladen werden kann. Dabei waren die Meinungen entweder geprägt durch allgemeines Verständnis oder grundsätzliche Ablehnung. Es war zu beobachten, dass die Menschen solange positiv gegenüber dem PSW eingestellt waren, solange sie sich nicht persönlich betroffen fühlten. Entscheidend für die Einstellung gegenüber PSW war daher oft weniger eine objektive Abwägung der Sachlage, sondern ob sich die einzelne Person durch die geplante Anlage persönlich gestört fühlte.

Dabei nahmen die Medien durchaus erheblichen Einfluss auf die Meinungsbildung. Eine große deutsche Tageszeitung titelte im Februar 2013 mit der Überschrift: „Speicherbecken von gigantischen Ausmaßen“ und legte im Oktober des gleichen Jahres nach mit „so groß wie 30 Fußballfelder“. Besser wäre ein Vergleich mit dem Sylvensteinspeicher gewesen. Der im Jahr 1959 in Betrieb genommene Sylvensteinspeicher ist ebenfalls eine Stauanlage und liegt an der Isar ganz in der Nähe des Jochbergs. Mit einer Staupfläcche von bis zu 6,6 km<sup>2</sup> bei Höchststau ist er etwa um den Faktor 50 größer als das geplante Oberbecken auf dem Jochberg.

Bei allem Verständnis für möglichst hohe Absatzzahlen und Einschaltquoten, wünschenswert wäre zumindest in der Berichterstattung eine eher neutrale Informationen ohne Übertreibungen.

## 7 Politisches Umfeld

Auf politischer Ebene haben die PSW bei der Energiewende eine geringe Priorität. Der Focus der Bundesregierung liegt derzeit eher bei der Entwicklung von neuen Speichertechnologien. Aufgrund der erwarteten hohen Widerstände in der Bevölkerung fehlt neuen Pumpspeicherwerksprojekten oft der politische Rückhalt.

Auf Bundesebene hat der Wirtschaftsminister Ideen für einen Kapazitätsmarkt eine klare Absage erteilt. In Baden-Württemberg und Bayern werden von der Regierung PSW als Stromspeicher momentan mit der Begründung auf das Abstellgleis gesetzt, dass sich Investitionen derzeit nicht rechnen würden. Mit dem gleichen Argument wurde von der bayerischen Wirtschaftsministerin die Studie zur „Analyse der Pumpspeicherpotenzial in Bayern“ zu den Akten gelegt.

Im positiven Sinn lässt sich die Zurückhaltung der politischen Entscheidungsträger als Schutzmaßnahme vor fehlgeleiteten Investitionen deuten, weil wegen der großen Unsicherheit über den zukünftigen Bedarf und der zur Verfügung stehenden Technologien keine eindeutigen Prognosen erstellt werden können, ob und wie viele PSW in Zukunft benötigt werden.

## 8 Ausblick

In weniger als 7 Jahren (2022) soll das letzte Kernkraftwerk in Deutschland abgeschaltet werden. Der Anteil an EE wird dann nach dem Plan der Bundesregierung bei 45% EE bei Strom liegen. Anhand der Anzahl der bereits jetzt notwendigen Eingriffe zur Netzregulierung ist absehbar, dass die Speicherkapazitäten dann für eine gesicherte Stromversorgung ausgebaut werden müssen. Durch den auf der Klimakonferenz in Paris 2015 beschlossenen Ausstieg aus der Verstromung von Kohle ist eine weitere Steigerung zu erwarten, wenn die weggefallenen Kapazitäten durch volatile EE ersetzt werden. Im Rahmen der Energiewende sollen in Deutschland bis 2035 etwa 55 bis 60 % und bis 2050 sogar 80 % unseres Stroms aus erneuerbaren Energien stammen.

Damit Deutschland auf dem internationalen Markt wettbewerbsfähig bleibt, ist es notwendig, dass der Umbau der Stromversorgung zu den volkswirtschaftlich günstigsten Kosten erfolgt. Bei dem Ausbau der Übertragungsnetze wurde diese Vorgabe mit der Entscheidung zum Bau deutlich teurer erdverlegter Leitungen bereits einmal übergangen. Es erscheint daher durchaus möglich, dass auch bei den Stromspeichern dem sogenannten „Bürgerwillen“ ein zweites Mal nachgegeben wird, und die teureren Batteriespeicher oder Power to Gas den PSW vorgezogen werden. Dabei ist anzunehmen, dass die Wirtschaft wiederum von den Zusatzkosten befreit wird, und eine Finanzierung durch Steuergelder oder eine Umlage auf die nicht in großer Zahl ins Ausland abwanderungsfähigen Kleinverbraucher erfolgt.

In der Gesamtbetrachtung gibt es keine singuläre Maßnahme, mit der alle Probleme einfach gelöst werden können, die mit dem Ausbau der EE einhergehen. Es erscheint derzeit ein Mix aus folgenden Maßnahmen am sinnvollsten, damit die Energiewende gelingt:

- Ausbau der Stromnetze (sowohl Übertragungsnetze als auch Verteilnetze)
- Aufbau eines Lastmanagements zur zeitlichen Angleichung des Verbrauchs an die volatile Erzeugung
- Aufbau von Kapazitäten bei Batteriespeicher, zumindest in privaten Haushalten

- Ausbau von PSW mit sehr großen Speichern als Langzeitspeicher in Österreich und eventuell Norwegen
- Moderater Ausbau der Pumpspeicherkapazitäten in Deutschland

PSW können bei der Umsetzung der Energiewende zahlreiche Vorteile bieten:

- Etablierte Technik, die den künftigen Anforderungen gewachsen ist
- Hohe Kapazitäten bei der Speicherleistung, Arbeitsvermögen für Langzeitspeicher begrenzt auf große Talsperren
- Sehr effizient mit hohem Wirkungsgrad bis 80%
- Sehr wirtschaftlich bei 0,03 €/kWh
- Emissionsarm (Lärm, Abgase)

Es bleibt festzustellen, dass PSW eine überzeugende Lösung für die zur Energiewende benötigten Stromspeicher bieten. Sie müssen lediglich gewollt werden.

## Literatur

- [1] ETG-Task Force Energiespeicherung (2012). Energiespeicher für die Energiewende, VDE-Studie Juni 2012
- [2] Univ.-Prof. Dr.-Ing. Albert Moser Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft; (2014). Die Energiewende erfolgreich gestalten: Mit Pumpspeicherkraftwerken, Voith Studie April 2014
- [3] Agora Energiewende; Stromspeicher in der Energiewende; Agora-energiewende.de, Studie September 2014
- [4] Lahmeyer Hydroprojekt GmbH, Pumpspeicherkataster Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Technologie TMWAT, Studie 2011
- [5] Lahmeyer Hydroprojekt GmbH, Ermittlung von Pumpspeicherpotenzialen an vorhandenen Talsperren in NRW, Der Aggerverband, Studie 2012
- [6] Lahmeyer Hydroprojekt GmbH, Potentialstudie zu Pumpspeicherstandorten in Baden-Württemberg, EnBW Energie Baden-Württemberg, Studie 2012
- [7] Lahmeyer Hydroprojekt GmbH, Analyse der Pumpspeicherpotenzial in Bayern, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Studie 2014
- [8] Fraunhofer IWES; Roadmap Speicher, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2014
- [9] Fraunhofer UMSICHT; Speicher für die Energiewende, gefördert durch das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie 2013

**Anschrift der Verfasser**

Dipl.-Ing. Stefan Reil  
Lahmeyer Hydroprojekt GmbH  
Regionalbereich Süd  
Elsenheimerstraße 11, D-80687 München  
rl@hydroprojekt.de