

# STAND DER TECHNIK VON PUMPSPEICHERANLAGEN

Stefan HÖLLER<sup>1</sup>, Helmut JABERG<sup>1</sup>

## Inhalt

Der Einsatzzweck von Pumpspeicheranlagen bestand ursprünglich rein in der Aufgabe zu Schwachlastzeiten überschüssige Energie zu speichern und in Spitzenlastzeiten diesen Energiebedarf bereit zu stellen. Die geänderten Anforderungen der Stromnetze durch den immensen Ausbau der regenerativen Erzeugung aus Wind und Photovoltaik führen sowohl zu einer Nachfrage nach zusätzlichen Pumpspeicheranlagen als auch nach immer schnelleren Reaktionszeiten dieser Anlagen. Dem gegenüber steht jedoch eine Marktsituation im liberalisierten Strommarkt die eine Spitzenstromgewinnung aus Pumpspeicheranlagen beinahe unrentabel gestaltet, da durch überdenkenswerte Förderregime die zusätzlichen Benefits der Wasserkraft nicht abgegolten werden. Für eine hochindustrialisierte Region, die die europäische Union zweifelsohne darstellt, ist Versorgungssicherheit und Stabilität der Stromversorgung jedoch entscheidend. Beide Aspekte verlangen jedoch nach Pumpspeicheranlagen, da aktuell nur mit deren Hilfe die vermehrten Anforderungen aus nationalen und internationalen Übertragungsnetzen wie Speicherbetrieb, Regelenergie, sowie Spannungs-, Frequenz, und Blindleistungsregelung zu bewerkstelligen sind. Daraus ergeben sich die geänderten Anforderungen an moderne Pumpspeicheranlagen. Dies sind schnelle Start- und Übergangszeiten von Pump- zu Turbinenbetrieb und umgekehrt, wie auch die Leistungsregelung im Pumpbetrieb. Diese Aufgaben sind mit verschiedenen Maschinenkonfigurationen und Betriebskonzepten umsetzbar. Dem ternären Maschinensatz mit separater Pumpe und Turbine auf einer gemeinsamen Welle mit gemeinsamen Motor-generator steht die Konfiguration einer Pumpspeicheranlage mit einer reversiblen Pumpturbine gegenüber.

Die ternäre Anordnung überzeugt durch optimal entwickelte hydraulische Maschinen für den jeweiligen Betrieb. Sowohl die Speicherpumpe zur Energiespeicherung, als auch die Turbine zur Energiebereitstellung können dadurch mit maximalem Wirkungsgrad betrieben werden. Ein weiterer großer Vorteil des ternären Maschinensatzes liegt in den sehr schnellen Reaktionszeiten beim Übergang zwischen den Betriebszuständen. Werden mit reversiblen Pumpturbinen Anfahr- und Übergangszeiten in der Größenordnung von Minuten erzielt, so können mit der ternären Anordnung die Betriebsübergänge in Sekunden realisiert werden. Die Vorteile einer Pumpspeicheranlage mit reversibler Pumpturbine liegen in der Tatsache, dass nur eine hydraulische Maschine je Maschinensatz benötigt wird. Dadurch sinken nicht nur der Investitionsaufwand für die maschinelle Einrichtung, sondern auch der Platzbedarf und damit auch die Baukosten. Auch bei den Betriebs- und Wartungskosten ergeben sich dadurch Vorteile, da nur eine Maschine gewartet werden muss.

Mit einer ternären Anordnung ist zusätzlich der Betrieb des hydraulischen Kurzschlusses (HKS) möglich. Bei dieser Betriebsweise wird eine variable Leistungsaufnahme eines Pumpspeicherkraftwerks realisiert. Pumpen sind grundsätzlich beim Betrieb mit fixer Drehzahl nicht regulierbar, wodurch eine regulierbare Leistungsaufnahme bzw. Energiespeicherung nicht gegeben ist. Im HKS wird die Regelbarkeit der Turbine zur Regelung der Leistungsaufnahme genutzt. Die Speicherpumpe läuft dabei in dem Betriebspunkt, der aufgrund der Spiegeldifferenz der Speicherbecken gegeben ist. Ein Teil des von der Pumpe geförderten Wassers wird jedoch sofort wieder in der Turbine abgearbeitet. Da sich Pumpe und Turbine auf einer Welle befinden, wird ein Teil der Pumpleistung von der Turbine bereitgestellt, der restliche Anteil wird aus dem elektrischen Netz bezogen. Der Betrieb im hydraulischen Kurzschluss ermöglicht so einen stufenlosen Betrieb eines Pumpspeicherkraftwerks von 100% Erzeugung zu 100% Leistungsaufnahme. Vorausgesetzt ist dabei eine Turbine, die den stufenlosen Betrieb von 0 bis 100% Leistungsabgabe erlaubt. Bis dato gelang diese Flexibilität nur in Anlagen mit Pelton-turbinen, die für deren ausgezeichnete Regelbarkeit bekannt sind. Der stufenlose Regelbereich wird zukünftig auch mit Pumpspeicheranlagen, welche mit Francisturbinen ausgestattet sind, realisiert werden. Eine Referenzanlage wird gerade in Österreich errichtet.

---

<sup>1</sup> Technische Universität Graz, Institut für Hydraulische Strömungsmaschinen, Kopernikusgasse 24/IV, Tel.: +43 316 873-7574, Fax: +43 316 873-107574, [hoeller-litzlhammer@tugraz.at](mailto:hoeller-litzlhammer@tugraz.at), [www.hfm.tugraz.at](http://www.hfm.tugraz.at)

Eine Möglichkeit die Leistungsaufnahme bei Pumpspeichieranlagen mit reversiblen Pumpturbinen zu regeln besteht im Einsatz der „Variable Speed Technology“. Diese Technologie hat im Hinblick auf den regulären Betrieb jedoch nur in Anlagen mit sehr großen Spiegelschwankungen einen Vorteil, der die höheren Investitionskosten rechtfertigt.

Ein zusätzlicher Vorteil von Pumpturbinen mit variabler Drehzahl besteht in einem Wirkungsgradgewinn im Turbinenbetrieb durch optimierten Betrieb der Maschine. Durch die variable Drehzahl besteht zusätzlich zur verstellbaren Leiteinrichtung eine zweite Regelgröße, wodurch im Kennfeld der Maschine der für jeden Lastpunkt (Leistung und Fallhöhe) optimale Betriebspunkt im Hinblick auf maximale Effizienz angefahren werden kann.

Pumpturbinen werden im Regelfall für den Pumpbetrieb ausgelegt und optimiert. Der Betriebsbereich im Pumpbetrieb wird dabei durch die saugseitige Kavitationsgrenze bei maximaler Förderhöhe und durch die druckseitige Kavitationsgrenze bei minimaler Förderhöhe begrenzt. Da Pumpe und Turbine das idente Laufrad verwenden, kann das Kennfeldoptimum dieser Laufradgeometrie im Turbinenbetrieb nur durch Leitschaufel-Verstellung zumeist nicht erreicht werden. Mit Hilfe der Drehzahlvariation kann dieser Nachteil kompensiert werden. Der Zugewinn bei realen Projekten ist meist jedoch auf eine Größenordnung von wenigen Prozentpunkten beschränkt. Zusätzlich kann der Einsatzbereich von Pumpturbinen bei großen Fallhöhenvariationen mit variabler Drehzahl enorm erhöht werden.

Die eingesetzten Technologien und Konzepte werden anhand Beispielen von ausgeführten Anlagen beschrieben.