

# BETRIEBSFÜHRUNG VON PUMPSPEICHERKRAFTWERKEN UND VORTEILE FÜR DAS ELEKTRISCHE NETZ

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

## Inhalt

Der ursprüngliche Fokus von Pumpspeicheranlagen bestand hauptsächlich in der sogenannten Wälzpumpspeicherung. In Schwachlastzeiten wird überschüssige Energie gespeichert und in Spitzenlastzeiten wird der Energiebedarf wieder bereitgestellt. Das Wasser wird sozusagen durch Pumpen und Turbinen zwischen oberem und unterem Speicherbecken umgewälzt. Unterschiedliche Energiepreise zwischen Schwachlast- und Spitzenlastzeiten sicherten in jener Zeit einen wirtschaftlichen Betrieb derartiger Anlagen. Heute sehen sich die Betreiber von Pumpspeicherkraftwerken jedoch mit starken Veränderungen am Energiemarkt konfrontiert. Fallende Energiepreise in einem liberalisierten Strommarkt und eine geringe Preisspanne zwischen Stark- und Schwachlastphasen – teilweise durch zu überdenkende Förderpolitik hervorgerufen – gestalten die reine Wälzpumpspeicherung nahezu unrentabel. Gleichzeitig gibt es jedoch einen riesigen Bedarf an großen Energiespeichern. Die geänderten Anforderungen der Stromnetze durch den immensen Ausbau der regenerativen Erzeugung aus Wind und Photovoltaik führen jedoch sehr wohl zu einer Nachfrage nach zusätzlichen Speicherkapazitäten. Zusätzlich besteht der Bedarf nach immer schnelleren Reaktionszeiten dieser Anlagen. Die hohe Volatilität in den Übertragungsnetzen durch die Einspeisecharakteristik von Wind und Sonne – auch bei mittlerweile hoher Prognosegenauigkeit dieser Energieträger – verlangt jedoch nach schnell reagierenden Speicheranlagen mit hoher Leistung und hoher Speicherkapazität.

Diese Aspekte bieten neue Chancen für Pumpspeicherkraftwerke. Durch erhöhte Flexibilität dieser Anlagen können die vermehrten Anforderungen der nationalen und internationalen Übertragungsnetze in Richtung Systemdienstleistungen wie die Bereitstellung von Regelenergie sowie Spannungs-, Frequenz-, und Blindleistungsregelung bedient werden. Daraus resultieren jedoch stark geänderte 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 Motorgenerator steht die Konfiguration einer Pumpspeicheranlage mit einer reversiblen Pumpturbine gegenüber. In kleineren Maßstäben bis zu einer Größenordnung von etwa 10 MW Kraftwerksleistung ist auch die Verwendung von Serienpumpen zur Pumpspeicherung denkbar.

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. Durch den Einsatz von standardisierten Serienpumpen ergeben sich vor allem in kleineren Leistungsklassen immense Kostenvorteile gegenüber konventionellen Prototypenanlagen. Die Pumpen können auch im Turbinenbetrieb eingesetzt werden, eventuell auch mit variabler Drehzahl, wodurch ein weiterer Kostenvorteil entsteht. Durch die Parallelschaltung dieser „kleinen“ und vergleichsweise schnell drehenden Maschinen kann nicht nur die Anlagenleistung erhöht werden. Eine verbesserte Regelbarkeit der Anlagenleistung stellt einen weiteren Vorteil durch eine Kaskadenanordnung dar.

---

<sup>1</sup> Technische Universität Graz, Institut für Hydraulische Strömungsmaschinen, Kopernikusgasse 24,  
Tel.: +43 316 873-7570, Fax: +43 316 873-7577, [helmut.jaberg@tugraz.at](mailto:helmut.jaberg@tugraz.at), [www.hfm.tugraz.at](http://www.hfm.tugraz.at)

Die Regelfähigkeit hydraulischer Maschinen ist von der verwendeten Maschinentype abhängig. Während die Leistungsaufnahme von Pumpen grundsätzlich nicht regelbar ist, kann die Leistung von Turbinen über einen verstellbaren Leitapparat geregelt werden. Diagonalturbinen sind darüber hinaus mit einem zusätzlich verstellbaren Laufrad ausgestattet, wodurch die Regelfähigkeit nochmals erhöht wird. Francisturbinen sind typischer Weise im Leistungsbereich von 100 % bis ca. 30 % Last stufenlos regelbar. Peltonturbinen können praktisch im gesamten Bereich von Null bis Volllast geregelt werden.

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 Peltonturbinen, die für deren ausgezeichnete Regelbarkeit bekannt sind. Der stufenlose Regelbereich wird zukünftig auch mit Pumpspeichieranlagen, welche mit Francisturbinen ausgestattet sind, realisiert werden. Eine Referenzanlage wird gerade in Österreich errichtet.

Die Geschwindigkeit von Laständerungen in Pumpspeichieranlagen und somit deren Flexibilität ist jedoch nicht nur vom eingesetzten Turbinentyp und Maschinenkonzept abhängig. Eine rasch regelbare Anlage zur Erfüllung der heutigen und zukünftigen Anforderungen der elektrischen Netze erfordert komplexe Triebwassersysteme zur Minimierung der Anlagenbelastung aufgrund der instationären Betriebsweise. Durch intensive transiente Anlagenuntersuchungen mittels Druckstoßberechnungen aller erdenklichen Betriebs- und Störfälle kann ein sicherer Anlagenbetrieb, eventuell unter gewissen Betriebs-einschränkungen, nachgewiesen werden.