

ERHÖHUNG DES JAHRESARBEITSVERMÖGENS VON WASSERKRAFTANLAGEN DURCH GEZIELTES REFURBISHMENT

Helmut BENIGNI¹, Jürgen SCHIFFER¹, Helmut JABERG¹

Inhalt

Selbst mit sehr hoher Lebensdauer von bis zu 100 Jahren sind Wasserkraftturbinen noch in der Lage, die im Wasser gespeicherte Energie in mechanische Energie zu transferieren, die dann im elektrischen Teil eines Maschinensatzes in Strom umgewandelt wird. Generell zeigen diese Anlagen, wie nachhaltig der Einsatz der Wasserkraft ist, denn andere Technologien zur Stromgewinnung haben deutlich kürzere Standzeiten. Diese Anlagen haben jedoch auch ein Potential, das es – insbesondere in Zeiten niedriger Strompreise – zu nützen gilt: die Ausbeute erhöhen, also den Wirkungsgrad der Energieumwandlung steigern. Unabhängig vom Alter der Anlagen haben sich auch kleine wie große Anlagen dieser Thematik zu stellen. Dem Anlagenbetreiber ermöglicht dies, sein Investment langfristig abzusichern und die Ertragslage zu verbessern. Hierzu gibt es in vielen europäischen Ländern ein entsprechendes Anreizsystem.

Durch den vermehrten Einsatz von anderen regenerativen Energiequellen hat sich die Bedarfslage geändert und die Wasserkraft hat sich daher zunehmend neuen Anforderungen zu stellen. Im Zuge der Anlagenerneuerung von Bestandsanlagen werden gezielt Maßnahmen gesetzt, um den neuen Rahmenbedingungen Rechnung zu tragen und durch den Austausch, Umbau oder auch Neubau von Anlagen und deren Komponenten die betreffenden Anlagen zu modernisieren und auf den neuesten Stand der Technik zu bringen. Neben der Anlageneffizienz und den Systemdienstleistungen, wie z.B. Regelenergie und Frequenzstabilisierung, treten beim Anlagenumbau jedoch auch Geräuschemissionen, Vibrationen und Schwingungen, die Kavitationssicherheit und der Fahrbereich der Anlagen in den Fokus. Hierbei fließen in die Lösungen insbesondere die Betriebserfahrungen mit den jeweiligen Anlagen ein. Anlagen werden heutzutage auch in Lastpunkten betrieben, in denen ihr Betrieb vor einigen Jahren undenkbar war – sei dies tiefste Teillast oder der Betrieb mit häufigen Lastwechseln. Das Refurbishment von Bestandsanlagen ist somit heute essentiell, um die Anlageneffizienz und die Jahreserzeugung zu steigern bzw. den Ertrag zu erhöhen. Diese drei Faktoren sind gleichzeitig (meist) mit einer Investition verbunden. Und die entsprechende Investitionsentscheidung kann gegenwärtig mit der steigenden Zahl an Erfahrungswerten und den ständigen Weiterentwicklungen im Bereich der numerischen Strömungssimulation besser abgesichert werden. Je besser und detaillierter die Datenbasis zu Beginn einer Anlagenoptimierung ist, desto zielgerichteter und verlässlicher ist eine Entscheidung zum Umbau. In einigen Fällen haben sich die Neuinvestitionen bereits nach wenigen Jahren gerechnet.

Anhand eines Beispiels, das als Projekt am Institut für Hydraulische Strömungsmaschinen der Technischen Universität in den letzten Jahren realisiert wurde, wird in der Folge auf einzelne Themen detaillierter eingegangen, und es wird die erfolgreiche Umsetzung dokumentiert. Die numerische Strömungssimulation (engl.: Computational Fluid Dynamics – CFD) ist seit mittlerweile Jahrzehnten ein ständiger Begleiter von hydraulischen Maschinen. Dank der weiterführenden Entwicklungen bei Turbulenzmodellen (z.B. längenskalierende Modelle wie das SAS-Turbulenzmodell), der Anwendung von parametrischen Modellen (z.B. automatisierte Optimierung mit evolutionären Algorithmen), der flexiblen vereinfachten Rechengittergestaltung und der vielen Auswertemöglichkeiten (z.B. die Histogramm-Methode für die Kavitationsauswertung) ist man nunmehr in der Lage, in hinreichend genauer Qualität eine Aussage über die Performance einer hydraulischen Maschine erstellen zu können. Oftmals ist die Geometrie nicht vollständig auf Basis von Planunterlagen bekannt, und so wird in diesen Fällen meist eine Vor-Ort-Aufnahme der Geometrie realisiert. Die Geometrie kann mit Hilfe von Scannern (Laserscanner oder fotogrammetrische Verfahren) digitalisiert werden; andere geometrische Fragestellungen können durch einfaches Abmessen und Besichtigung verifiziert werden. In der Folge ist die numerische Simulation des Ist-Zustandes ein gangbarer Weg, um einen belastbaren Wirkungsgradverlauf zu erhalten.

¹ Technische Universität Graz, Institut für Hydraulische Strömungsmaschinen, Kopernikusgasse 24, 8010 Graz, Tel.: +43 316 873-7578, Fax: +43 316 873-107578, helmut.benigni@tugraz.at, www.hfm.tugraz.at

Sollten Kennfelder (Muschel), ein Wirkungsgradverlauf, Inbetriebnahme-Messungen oder Abnahmemessungen vorhanden sein, können auch diese Unterlagen in die Beurteilung des Ist-Zustandes einfließen. Anhand des resultierenden Wirkungsgradverlaufs kann nun das Jahresarbeitsvermögen der Ausgangssituation errechnet und mit Produktionsdaten der letzten Jahre verglichen werden. Auf Basis dieser Daten ist dann eine realistische und belastbare Potentialabschätzung zur Erhöhung der Jahresarbeit möglich.

Durch die numerische Simulation und Analyse der Strömungssituation in den durchströmten Komponenten kann auch detailliert auf Schwächen in der existierenden Hydraulik eingegangen werden, und die Komponenten können auch für sich alleine betrachtet werden. Somit ist schnell klar, welche Bauteile einer Überholung bedürfen und durch Veränderung der geometrischen Kontur an einer Verbesserung der Situation beitragen. Darauf muss erneut eine Gesamtmaschinensimulation durchgeführt werden, da sich die Bauteile auch gegenseitig beeinflussen.

Anlagenbeispiel

Vor der Erfindung der Kaplan turbine wurden Francisturbinen auch in Zwillings-, Dreifach- oder Doppel-Zwillingsausführung je Maschinensatz gebaut [3]. Ein Beispiel hierfür ist die Kraftwerksanlage in Meitingen mit drei baugleichen Zwillings-Francis-Turbinen in Schachtbauweise mit einseitiger Wellendurchführung. Die Kraftwerksanlage wurde in den Jahren 1918 bis 1922 gebaut und besitzt eine Ausbauleistung von $P=4,4$ MW je Maschinensatz bei einem Laufraddurchmesser von $D=2,41$ m. Ein Maschinensatz hat einen Ausbaudurchfluss von $Q=42$ m³/s, wobei sich die spezifische Drehzahl je Laufrad auf $n_q=114,3$ U/min errechnet. Der Kraftwerksstandort ist an einer Ausleitung am Lechkanal gelegen. Es sollten hier lediglich ein Laufradtausch sowie eine Gesamtüberholung der restlichen Komponenten des Maschinensatzes durchgeführt werden. Eine Analyse zeigte, dass der größte Anteil der Jahreserzeugung im Bereich des höchsten Durchflusses durch eine Maschine generiert wird.

Die numerische Berechnung dieser Anlage erfolgte in zwei Stufen. Um ein Gefühl für die unterschiedlichen Einflussfaktoren auf die Turbinenperformance zu bekommen und rascher zu Ergebnissen zu gelangen, wurde ein vereinfachtes Einkanalmodell verwendet. Dafür wurden die Randbedingungen am Eintritt der Leitapparate gesetzt, wobei jeweils nur ein Leitapparat und eine Laufschaufel mit jeweils periodischen Rändern modelliert wurden. In einem zweiten Schritt wurden ein Gesamtmaschinenmodell berechnet und die Randbedingungen im Einlauf angebracht. Sowohl Leitapparat als auch Laufrad sind voll (also 360°) modelliert und die Zuströmsituation am Leitschaufeleintritt ist nun realistisch. Abschließend wurde ein zusätzlicher Unterwasserblock angebracht, damit die Strömungssituation am Ende der beiden Saugrohre (am Ende des Auslaufes) nicht durch eine Randbedingung eingeschränkt wird. Das Nachrechnen der Turbine bestätigte die Messung aus dem Jahr 1988 in weiten Teilen. Neben einem verbesserten Wirkungsgrad können auch eine verbesserte Betriebsführung und eine durchdachte Anlagenautomatisierung zu einer höheren Anlageneffizienz führen. Es wurde in der Folge eine Entkoppelung des Leitapparates eines Maschinensatzes analysiert. Der technischen Umsatzbarkeit wurde Rechnung getragen und die höheren Axialkräfte mit einem neuen, leistungsfähigeren Axiallager abgefangen. Zusätzlich ist eine Heblage für den entkoppelten Leitapparat vorzusehen.

Der Vorteil einer numerischen Strömungssimulation (CFD) liegt insbesondere darin, sich ein Bild der vorherrschenden Strömung im Turbinen-Inneren zu machen. Die Laufschaufel wurde nun schrittweise händisch optimiert, indem die Schaufelwinkel und Profile verändert wurden. Hierbei wurde jede Hauptveränderung auch in einer Ganzmaschinensimulation verifiziert. Die optimierte Hydraulik zeigt einen deutlich verbesserten Spitzenwirkungsgrad. Die Jahreserzeugung kann so in Kombination mit der optimierten Fahrweise um 14,8 % (von 72,8 GWh auf 83,4 GWh) am Kraftwerksstandort erhöht werden. Die neuen Laufräder wurden im Ganzen abgegossen, nachbearbeitet und zwischenzeitlich bei allen Maschinensätzen eingebaut. Der letzte Maschinensatz wurde entkoppelt und mit einer Belüftung versehen. Eine durchgeführte Anlagenmessung nach dem Umbau bestätigt die Performance der Laufräder.