

Bestimmung der transportierten Wassermenge im Pumpspeicherwerk Geesthacht

Axel Holst, Fred Prillwitz, Harald Weber

1. Einleitung

Die Hamburgischen Electricitätswerke (HEW) betreiben seit 1958 am Elbufer südlich von Hamburg das Pumpspeicherwerk Geesthacht. Das Speicherbecken mit einer Kapazität von etwa 600 MWh (ca. 3,3 Mio. m³) liegt ca. 80 m höher auf dem Geestrücken. Über drei Fallrohre mit einem Durchmesser von jeweils 3,80 m kann Wasser mit Hilfe von drei Maschinensätzen in das Speicherbecken gepumpt oder bei Bedarf wieder entnommen werden. Die drei identischen Pumpspeichersätze bestehen jeweils aus Francisturbine, Synchrongenerator und kuppelbarer Pumpe, die auf einer Welle angeordnet sind. Sie ermöglichen im Turbinenbetrieb eine stufenlose Leistungsabgabe von etwa 0...45 MW sowie im Pumpbetrieb eine Leistungsaufnahme von etwa 31 MW pro Maschinensatz (Bild 1).

Im Laufe der Zeit hat sich die Anlage zu einem reinen Regelkraftwerk entwickelt, das sekundenschnell Leistungsschwankungen im Netz ausgleichen kann. Im Rahmen der Leistungs-Frequenz-Regelung werden für das Verbundnetz Primär- und Sekundäraufgaben übernommen sowie vertragsgebundene Minutenreserve geliefert. Dafür werden im Jahr etwa 500 bis 800 Mio. m³ Wasser der Elbe entnommen und wieder zugeführt.

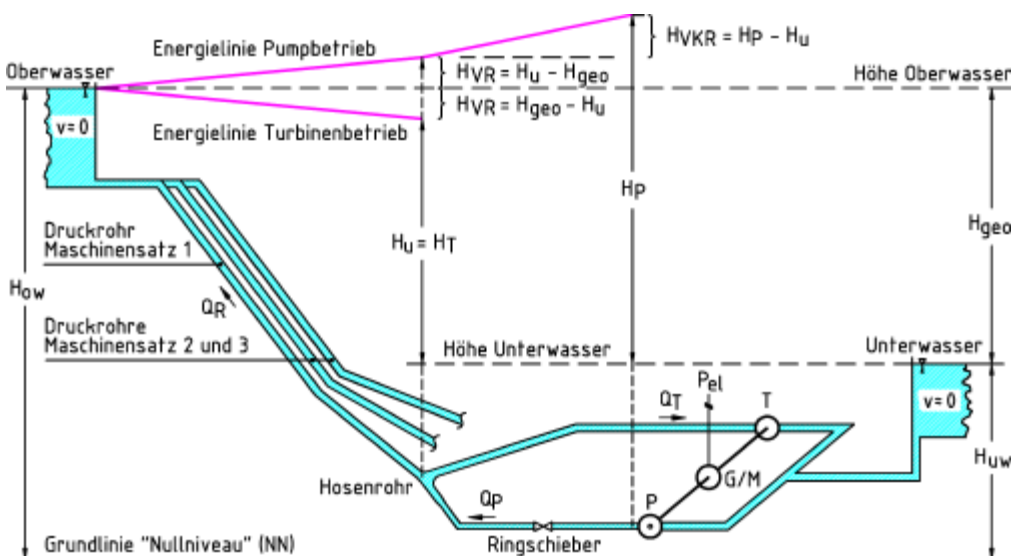


Bild 1: Anlagenschema des PSW Geesthacht

Mit der im Jahr 2001 durch das Land Schleswig Holstein eingeführten Oberflächenwasserentnahmeabgabe (OWAG) in Höhe von 7,7 €/ 1000 m³ stand die HEW gleich vor mehreren Problemen. Zum einen ergaben sich völlig neue Bedingungen für einen wirtschaftlichen Einsatz des Kraftwerkes. Zum anderen bestand das Problem der Erfassung der aus der Elbe ins Oberbecken transportierten Wassermenge (Pumpwassermenge), da zweckentsprechende Messeinrichtungen nicht vorhanden waren. Ein nachträglicher Einbau dieser Ausrüstung an den Druckrohren wäre mit einem unvermeidbarem Aufwand für Investition und Instandhaltung verbunden gewesen.

Die Wirtschaftlichkeit der Anlage wurde durch den fast ausschließlichen Einsatz der Betriebsart Hydraulischer Wassercurzschluss (HWKS) verbessert. Während beim konventionellen Pump- bzw. Turbinenbetrieb nur eine hydraulische Maschine arbeitet, sind beim HWKS Pumpe und Turbine der Maschinensätze gleichzeitig in Betrieb. Der über den Leit-

apparat der Turbine eingestellte Turbinendurchfluss bestimmt ob und wie viel Wasser das Speicherbecken füllt oder entleert. Bei Erhalt der vollen Regelbandbreite und einer Regelzeit im Sekundenbereich gelangt dabei nur die minimale OWAG-pflichtige Wassermenge in das Oberbecken. Die gleichzeitige Regulierung des Speicherbeckenpegels macht einen zeitlich quasi uneingeschränkter Netzregelbetrieb des Kraftwerks möglich.

Das Problem der kostengünstigen und abrechnungsgenauen Bestimmung der Pumpwassermenge sowie der Datenanzeige, -auswertung und -archivierung wurde vom Institut für Elektrische Energietechnik der Universität Rostock in Zusammenarbeit mit der HEW gelöst.

2. Bestimmung der OWAG-pflichtigen Pumpwassermenge

Zur Umsetzung der Idee, aus vorhandenen Messsignalen und unter Zuhilfenahme der physikalischen Zusammenhänge die stationären Durchflussmengen zu bestimmen, musste zunächst die gesamte elektrische und hydraulische Anlage analysiert werden. Die Grundlage zur Identifikation der Eigenschaften von Anlagenbestandteilen wie Wirkungsgrad- und Verlustkennlinien lieferten bereits vorhandene Messungen. Die nachfolgend erläuterten entwickelten mathematischen Verfahren nutzen die in der folgenden Übersicht dargestellten Messsignale und identifizierten Anlagenkenngrößen.

verwendete Messsignale	identifizierte Anlagenkenngrößen
- analoge Messsignale: Pegelhöhe Oberwasser Pegelhöhe Unterwasser Generatorwirkleistungen (3 Generatoren) - digitale Messsignale: Betriebsarten der Maschinensätze (Pumpbetrieb, Turbinenbetrieb, HWKS, Stillstand)	- Verluste der Synchronmaschine im Motor- und Generatorbetrieb - Reibungsverluste für einzelne Rohrabschnitte und Schieber - Turbinenwirkungsgrad - Pumpenkenngrößen (Nullförderhöhe, Nutzquerschnitt, Wirkungsgrad)

Im *Pumpbetrieb* ergibt sich aus dem Schnittpunkt der Pumpenkennlinie mit der Druckhöhenverlustkennlinie ein direkter Zusammenhang zwischen Speicherzufluss, geodätischer Höhe und Pumpenleistung $Q_P = f(P_{el})$ bzw. $Q_P = f(H_{geo})$. Ein weiterer Freiheitsgrad ergibt sich beim *Turbinenbetrieb* durch die Stellung des Leitapparates. Hier müssen die geodätische Höhe und zusätzlich die elektrische Leistung zur Berechnung des momentanen Wassermengenstromes im Druckrohr verwendet werden $Q_T = f(P_{el}, H_{geo})$. Dazu ist eine Iteration über der Turbinenwirkungsgradkennlinie erforderlich.

Beim *Hydraulischen Wasserkurzschluss* werden die Berechnungen im Pumpbetrieb und im Turbinenbetrieb miteinander kombiniert. Aufgrund der vielfältigen gegenseitigen Abhängigkeiten der einzelnen Größen untereinander und der daraus entstehenden Gleichungssysteme höherer Ordnung lässt sich keine geschlossene Lösung finden. Aus diesem Grund ist die Anwendung eines weiteren Iterationsverfahrens erforderlich (Bild 2). Die Schnittstelle der Wirkungsbe- reiche von Pumpe und Turbine auf der hydraulischen

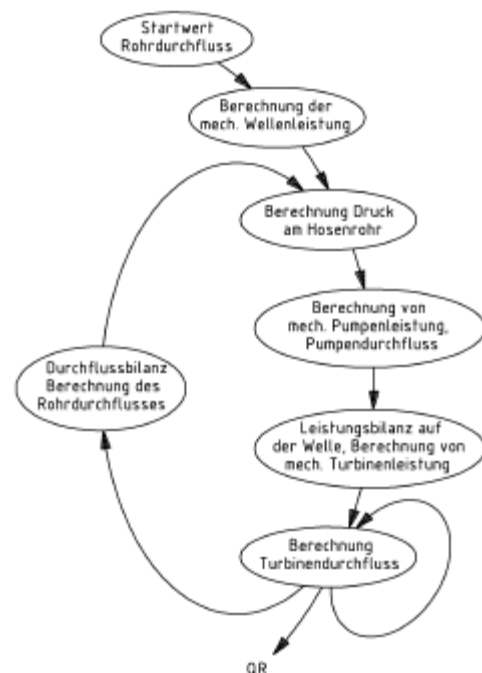


Bild 2: Prinzip des Rechenalgorithmus für die Betriebsart HWKS

Seite ist der Druck am Hosenrohr; auf der mechanischen Seite ist es die mechanische

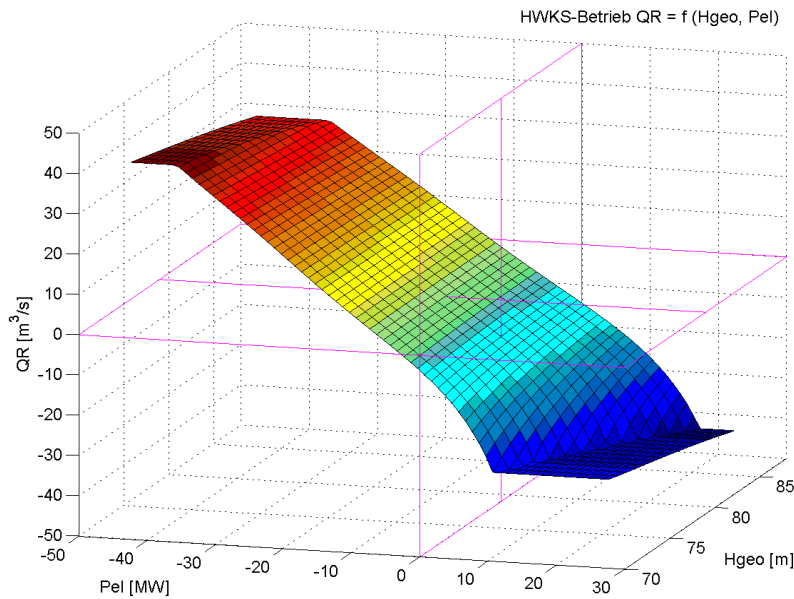


Bild 3: 3D-Darstellung der Rechenergebnisse des Rohrdurchflusses Q_R in der Betriebsart HWKS

Wellenleistung. Unter Einbeziehung der Berechnungen an Pumpe und Turbine wird wechselseitig die Bilanz an beiden Schnittstellen gebildet, wobei das Ergebnis jeweils der Startwert des neuen Berechnungsschrittes ist. Das Ergebnis für den gesamten Arbeitsbereich im HWKS zeigt die nichtlineare dreidimensionale Abhängigkeit $Q_R = f(P_{el}, H_{geo})$ im Bild 3. Die konstanten Flächen bei den Grenzdurchflüssen stellen die Konvergenzgrenzen des Berechnungssystems dar und sind mit den natürlichen Leistungsgrenzen des Kraftwerks identisch. Um mathematische Fehler zu vermeiden, müssen die ver-

wendeten Messwerte deshalb zunächst einer Plausibilitätskontrolle unterzogen werden. Beim Vergleich der errechneten Werte mit den zuvor durch Ultraschallmessung ermittelten Durchflüssen ergaben sich sehr gute Übereinstimmungen. Daraus kann auf exakt bestimmte Kenngrößen sowie die Gültigkeit des basierenden Kraftwerksmodells geschlossen werden.

3. Mess- und Datenverarbeitungssystem

Die entwickelten Rechenalgorithmen mussten ferner in einer Mess- und Auswertungseinrichtung mit anschließender Datenerbearbeitung und -archivierung umgesetzt werden. Dazu wurde eine rechnerbasierte Messanordnung aufgebaut, die im wesentlichen aus einem handelsüblichen PC, ausgerüstet mit Messkarte und Koppelbaugruppe zur Signalpegelanpassung, besteht. Diese Hardware wurde im Schalttafelraum des Kraftwerkes fest installiert (Bild 4).

Die Steuerung der Messkarte sowie der Berechnungsalgorithmus sind mit der Softwareumgebung LabVIEW programmiert. Mit LabVIEW wurde ein sogenanntes virtuelles Messinstrument erstellt, welches dem Bediener eine äußerst einfache und anwenderfreundliche Oberfläche zur Bedienung und Datenvisualisierung bietet.

Die Berechnung erfolgt an den 3 Maschinensätzen einzeln, da die Betriebsarten und Arbeitspunkte in der Regel voneinander abweichen. Insgesamt werden dazu 5 Analogsignale und 9 Digitalsignale ausgewertet. Die Abtastung der Kraftwerkssignale sowie die Berechnung



Bild 4: fest installierte Messanordnung im PSW Geesthacht

der Rohrdurchflüsse erfolgt im Sekundentakt. Die Ergebnisse werden jeweils zu einem Minutendatensatz aufintegriert und in einer Tages-Messdatei abgespeichert. Am Ende jedes Tages wird dieses Tagesprotokoll mit insgesamt 1440 Minutendatensätzen mit einer Tagesabrechnung versehen und geschlossen. In der Messdatei sind neben den OWAG-pflichtigen Wassermengen auch weitere interessierende Daten, wie z.B. Tagesgänge der Generatorleistungen, Verläufe der Wasserpegel, Entnahmehvolumen sowie Fehlermeldungen gespeichert.

Zur Fehlerüberwachung erfolgt eine ständige Plausibilitätskontrolle der Messwerte. Bei festgestelltem Fehler wird über einen digitalen Ausgang der Messkarte ein Signal an die Kraftwerksleitstelle übermittelt.

4. Zusammenfassung

Die Kostenbelastung durch die Abgabe für die Oberflächenwasserentnahme führt zu einem veränderten und verringerten Einsatz des Pumpspeicherwerkes Geesthacht, da die energetische Optimierung nicht mehr im Vordergrund steht. Gleichzeitig muss die der Elbe entnommene Wassermenge für Abrechnungszwecke genau erfasst und abgerechnet werden.

Die Nutzung bereits vorhandener Messsignale im Kraftwerk bietet bei Anwendung geeigneter mathematischer Verfahren die günstigste Möglichkeit zur Bestimmung des OWAG-pflichtigen Wasservolumens. Zur Identifikation der anlageninternen Kenngrößen ist eine detaillierte Analyse des Kraftwerkes auf der Grundlage von Messungen notwendig. Auf dieser Basis wurde von der Universität Rostock, Institut für elektrische Energietechnik ein Mess- und Auswertesystem entwickelt und installiert. Die Software für Messung, Auswertung, Anzeige, Datenaufbereitung und Archivierung wurde mit LabVIEW programmiert und auf einem handelsüblichen PC implementiert. Dieser PC, ausgerüstet mit Komponenten zur Messdatenerfassung und Datenarchivierung, ist heute fest im Kraftwerk installiert und liefert den vom Land Schleswig-Holstein geforderten Nachweis der entnommenen Wassermenge in Form von Messprotokollen.

Die entwickelte Messeinrichtung läuft nach über zweijähriger Betriebszeit ohne Beanstandungen. Obwohl durch die Nutzung vorhandener Messsignale die teure Investition für eine Durchflussmesseinrichtung gespart werden konnte, bedroht die Abgabe für die OWAG-pflichtige Wassermenge noch immer die Wirtschaftlichkeit des Kraftwerks. [1]

Literatur

- [1] Artinger, G., U. Schulz, A. Holst, F. Prillwitz, H. Weber: Berechnung der Durchflussmengen an einem Pumpspeicherwerk, ew, Jg. 102 (2003), Heft 5

Verfasser

Dipl.-Ing. Axel Holst, Dr.-Ing. Fred Prillwitz, Prof. Dr.-Ing. Harald Weber
Universität Rostock, Fakultät für Informatik und Elektrotechnik
Institut für Elektrische Energietechnik
Albert-Einstein-Str. 2
18051 Rostock

Tel. / Fax: 0381 4983551 / 3549
E-Mail: axel.holst@etechnik.uni-rostock.de
fred.prillwitz@etechnik.uni-rostock.de
harald.weber@etechnik.uni-rostock.de