Schwall/Sunk : optimales Abflussregime für Wasserkraftwerke

Autor(en): **Werlen, Karl**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **103 (2011)**

Heft 1

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-941793

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Schwall/Sunk: Optimales Abflussregime für Wasserkraftwerke

Karl Werlen

Zusammenfassung

In der Schweiz gibt es gegen 100 Kraftwerkszentralen, die Schwall/Sunk-Effekte in Fliessgewässern auslösen. Am 1. Januar 2011 trat das revidierte Gewässerschutzgesetz in Kraft. Darin spielen Massnahmen zur Reduktion des Schwall/Sunkverhältnisses eine wichtige Rolle. Mit Hilfe von Rückhaltebecken kann das Abflussregime optimiert und das Schwall/Sunk-Verhältnis gedämpft werden. Zur Finanzierung von Gewässerschutzmassnahmen wird ab 2012 eine separate Abgabe von 0.1 Rp./kWh auf den Strompreis erhoben.

Eine optimale Dimensionierung der Rückhaltebecken und die Bestimmung der wirtschaftlichen Auswirkungen auf den Kraftwerksbetrieb sind entscheidende Fragen, die sich in diesem Zusammenhang stellen. Sie erfordern individuelle Abklärungen für jede Anlage.

Der vorliegende Artikel beschreibt, wie solche Fragestellungen mit Hilfe von Optimierungsberechnungen beantwortet werden können.

Résumé

Marnage (éclusées): optimisation des débits en aval des usines hydroélectriques

La Suisse compte environ 100 centrales hydroélectriques qui provoquent un effet de marnage. La Loi fédérale du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux (LEaux) révisée est entrée en vigueur le 1 janvier 2011. Une mesure visée est la réduction des effets de marnage. Cet objectif peut être atteint par une utilisation optimale des bassins de retenue. Le financement des mesures d'amélioration passera par une augmentation générale du prix du courant de 0.1 Rp./kWh à partir de 2012.

Les questions primordiales dans ce contexte sont le dimensionnement optimal des bassins de retenue et les effets économiques sur la gestion des centrales. Une analyse individuelle par installation est indispensable.

L'article traite ces questions et décrit comment trouver des solutions à l'aide d'outils d'optimisation.

1. Ausgangslage

Das revidierte Gesetz schreibt Massnahmen zur Reduktion der negativen Auswirkungen der Wasserkraftnutzung vor. Ein wesentlicher Bestandteil davon ist das sogenannte Schwall/Sunk-Verhältnis. Es bezeichnet das Verhältnis zwischen maximaler und minimaler Abflussmenge in Fliessgewässern unterhalb von Kraftwerken. Der Stromverbrauch innerhalb eines Tages ist hohen Schwankungen ausgesetzt. Weil Strom in dieser Menge nicht direkt gespeichert werden kann, müssen die Kraftwerke Regelenergie bereit stellen, d.h. in jedem Moment genau so viel produzieren, wie gerade verbraucht wird. Diese relativ grossen Schwankungen der Stromproduktion führen zu einem entsprechend hohen Schwall/Sunk-Verhältnis. Falls der Kraftwerksbetreiber diese Flexibilität nicht oder nur eingeschränkt ausnutzen kann, entstehen für ihn hohe wirtschaftliche Einbussen.

Im einfachsten Fall soll das Schwall/Sunk-Verhältnis einen bestimmten Maximalwert innerhalb eines Tages nicht überschreiten. Differenzierte ökologische Untersuchungen liefern laufend neue Erkenntnisse, aus denen zusätzliche Bedingungen für den Schwall/Sunk-Betrieb abgeleitet werden können.

Zum Erreichen dieser ökologischen Ziele sind bauliche und betriebliche Massnahmen erforderlich. Die baulichen Massnahmen betreffen im Wesentlichen das Erstellen von Rückhaltebecken. Solche Becken sind mancherorts bereits vorhanden. Rückhaltebecken fangen den Abfluss des Kraftwerkes auf, bevor sie ihn dosiert in den natürlichen Fluss weiterleiten. Mit einem genügend grossen Volumen im Rückhaltebecken kann so das Schwall/Sunk-Verhältnis gedämpft werden. Oft sorgt ein zusätzliches Regulierkraftwerk auf der letzten Stufe vor dem Fliessgewässer für zusätzliche Stromproduktion.

Entscheidend ist ein optimales Abflussregime. Es garantiert eine maximale Verbesserung des Schwall/Sunk-Betriebs unter minimalen wirtschaftlichen Auswirkungen für den Kraftwerksbetreiber. Ein optimales Abflussregime basiert auf Messwerten und Prognosen der Zuflüsse sowie auf den geplanten Produktionsfahrplänen des Kraftwerkbetreibers. Es versucht das Becken durch Steuerung der Abgabewassermenge optimal zu bewirtschaften. Im Idealfall werden damit die Bedingungen für optimale Schwall/Sunk-Verhältnisse eingehalten, ohne betriebliche Einschränkungen bzw. Opportunitätskosten in Kauf nehmen zu müssen. In der Realität muss oft ein Kompromiss gefunden werden, der für alle Interessengruppen tragbar ist.

Die Firma Misurio hat im Rahmen mehrerer Kundenprojekte optimale Abflussregimes simuliert. Dabei stehen Fragen im Vordergrund wie die Dimensionierung des Rückhaltebeckens, die Einhaltung des Schwall/Sunk-Verhältnisses und die wirtschaftlichen Auswirkungen für den Kraftwerksbetreiber. Basierend auf demselben Design wurde ein Online-Abflussregler konzipiert. Dieser antizipiert in kurzen Zeitabständen von einigen Minuten die aktuellen Daten (Zuflüsse, Produktionsfahrpläne, Prognosen) und berechnet daraus den jeweils optimalen Abflusswert. Dieser kann als Sollwertvorgabe an die Steuerung des Regulierkraftwerks bzw. der Ablassklappen weitergeleitet werden.

2. Optimales Abflussregime

Eine mathematische Optimierung findet Extremwerte (Minima und Maxima) einer sogenannten Zielfunktion. Dabei werden Einschränkungen berücksichtigt. *Bild 1* stellt das Prinzip der Optimierung für ein Schwall/Sunk-Abflussregime dar. Das

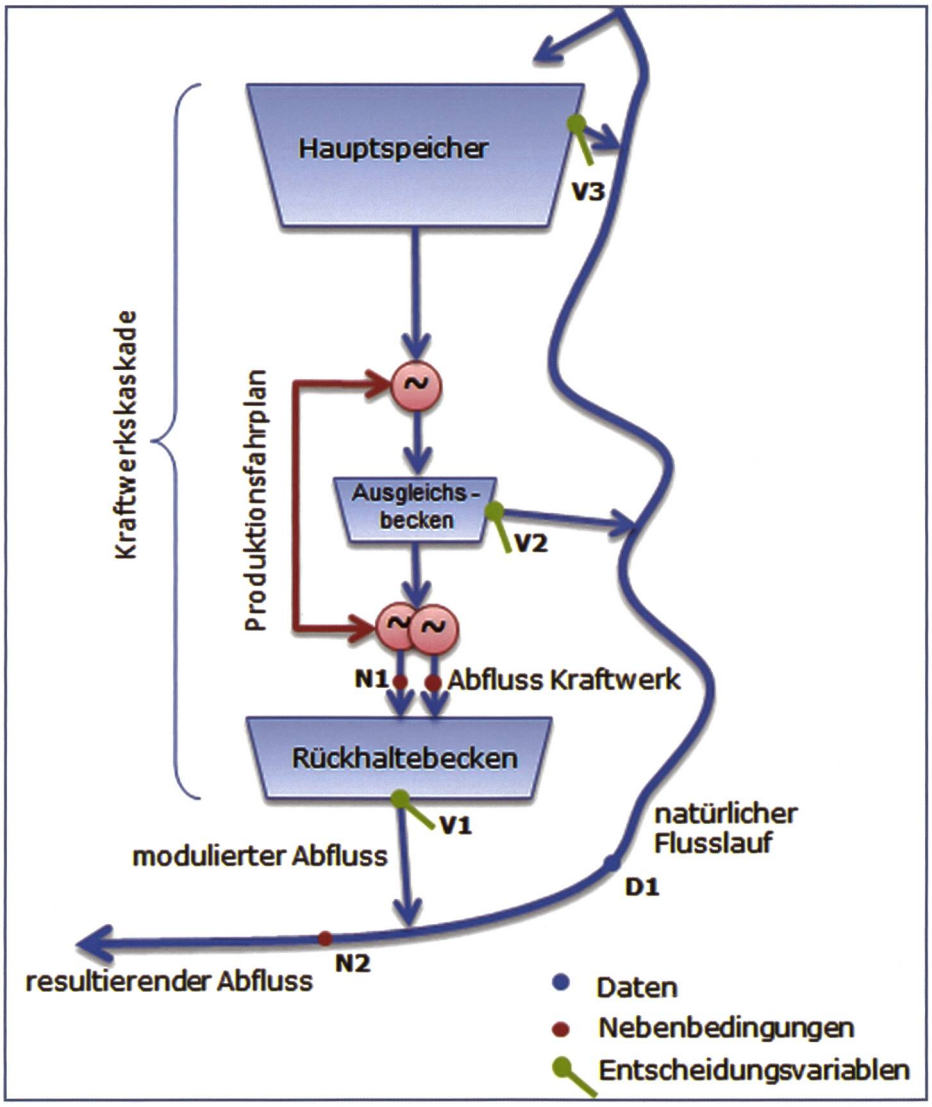

Bild 1. Schema optimales Abflussregime.

Kraftwerk entnimmt dem natürlichen Flusslauf Wasser und leitet dieses in ein Staubecken. Entlang der Kraftwerkskaskade produziert das Wasser auf mehreren Stufen Strom und fliesst durch mehrere Ausgleichsbecken, bevor es wieder in den natürlichen Fluss abgegeben wird.

Im Schema sind Nebenbedingungen, Daten und Entscheidungsvariablen markiert. Entscheidungsvariablen sind Stellgrössen mit einer Flexibilität, mit der sich die Zielfunktion beeinflussen lässt. V1, V2 und V3 (in *Bild 1*). V1 entspricht der Steuerung der Wasserabgabe des Rückhaltebeckens. V2 und V3 entsprechen allfälligen zusätzlichen Abgaben aus den Speichern und Ausgleichsbecken. Der Abfluss bzw. der Produktionsfahrplan der letzten Stufe ist vom Kraftwerksbetreiber vorgegeben und bildet eine Nebenbedingung (N1). Die Schwall/Sunk-Bedingungen für den resultierenden Abfluss bilden eine weitere Nebenbedingung (N2). Dies kann das maximale Schwall/Sunk-Verhältnis oder der Gradient des Abflusses sein. Manchmal handelt es sich um eine komplizierte Bedingung, die mit mehreren mathematischen Beziehungen ausgedrückt wird. Schliesslich spielen auch die Messdaten bzw. die Prognosen von Abflussdaten im natürlichen Flusslauf eine wichtige Rolle (D1).

Zentral wichtig erscheint, dass die Optimierung nicht nur den momentanen Zeitpunkt betrachtet, sondern Planungs- und Prognosewerte einbezieht. Die Produktionsfahrpläne des Kraftwerkbetreibers und die Prognosewerte für den Abfluss im natürlichen Gewässer werden für die Bestimmung momentaner optimaler Abflüsse antizipiert.

Falls alle Nebenbedingungen erfüllt sind, können alle glücklich sein. Der Kraftwerksbetreiber hat keine betrieblichen Einschränkungen und die Schwall/Sunk-Bedingungen werden eingehalten. Zusätzliche Flexibilität kann genutzt werden, um weitere Einflussgrössen zu optimieren. Als Zielfunktion kann beispielsweise das Schwall/Sunk-Verhältnis oder die Änderung der Abflussmenge innerhalb eines Zeitintervalls minimiert werden.

In der Realität ist es oft so, dass nicht alle Nebenbedingungen erfüllt werden können. Möglicherweise können die Schwall/Sunk-Bedingungen mit den vorgegebenen Produktionsfahrplänen des Kraftwerks gar nicht eingehalten werden. Nun gibt es zwei Möglichkeiten:

1. Die Schwall/Sunk-Bedingungen haben Priorität. Das bedeutet, dass der Kraftwerksbetreiber wirtschaftliche Einbussen erleidet bzw. Opportunitätskosten bezahlt. In der Zielfunktion steht dann die Minimierung der Opportunitätskosten. Das Modell kann diese Kosten beziffern, so dass man weiss von welchen Geldbeträgen die Rede ist.
2. Die Einhaltung der Kraftwerksfahrpläne hat Priorität. Aus der Optimierung resultieren eine Anzahl Tage, an denen die Schwall/Sunk-Bedingungen nicht eingehalten werden können. Das Modell kann die Anzahl Tage und die Überschreitung der Bedingungen beziffern.

In der Realität wird die Lösung oft aus einem Kompromiss beider Möglichkeiten bestehen. Auf einer Seite müssen gewisse Opportunitätskosten in Kauf genommen werden und auf der anderen Seite muss akzeptiert werden, dass optimale Schwall/Sunk-Bedingungen nicht in jedem Fall möglich sind. Diese werden zudem auch durch übergeordnete natürliche (z.B. Hochwasser) und künstliche (z.B. Betriebsstörungen, Spülungen) Ein-

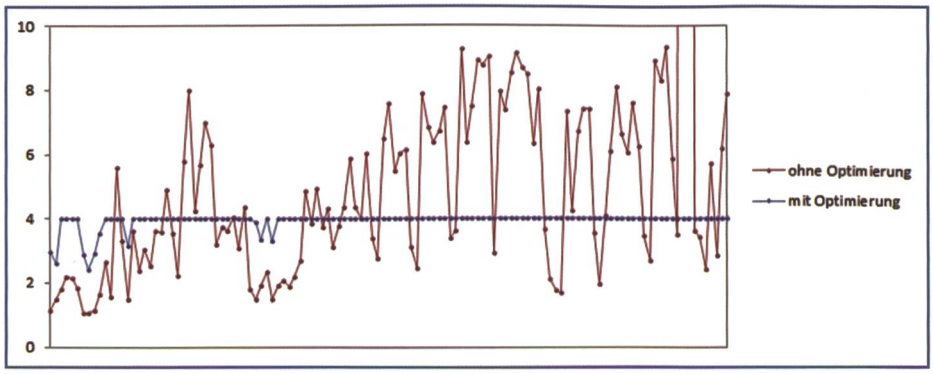

Bild 2. Schwall/Sunk-Verhältnis mit und ohne Optimierung.

flüsse verletzt. *Bild 2* zeigt ein einfaches Beispiel. Als Zielfunktion wurde die Minimierung dieses Verhältnisses gesetzt. Das maximale Schwall/Sunk-Verhältnis (hier 4:1) wurde als Nebenbedingung eingeführt.

2. Optimierung von Kraftwerken und Pumpspeichern

Im Optimierungsmodell können Kraftwerksanlagen und Pumpspeicher ebenfalls abgebildet und simuliert werden. Die Berechnung liefert die Erträge des Kraftwerks und mit dem Jahresprofil des Abflusses die Auswirkungen auf das Schwall/Sunk-Verhältnis. Der gesamte Kraftwerkspark mit Pumpen kann so entweder mit oder ohne Rückhaltebecken und mit unterschiedlichen Regeln für das Schwall/Sunk-Regime optimiert werden. Die Berechnungen liefern die Jahreserträge von Kraftwerken und es können Sensitivitäten berechnet werden wie z.B. die Auswirkung unterschiedlicher Volumina der Rückhaltebecken auf die Wirtschaftlichkeit des Kraftwerks einerseits und auf das Schwall/Sunk-Verhältnis andererseits.

Pumpspeicher spielen eine zunehmend wichtige Rolle in der Stromversorgung. Das Produktionsprofil von neuen erneuerbaren Energien aus Wind und Sonne weist eine sehr volatile Charakteristik auf, die nicht genau voraussehbar ist. Volatilitäten können mit Pumpenergie ausgeglichen werden. Bei Überproduktion werden Pumpen eingeschaltet und die überschüssige Energie in höherliegenden Becken gespeichert. Die gespeicherte Energie kann dann bei Bedarf zu einem späteren Zeitpunkt abgerufen werden.

Pumpspeicher haben grundsätzlich einen positiven Effekt auf das Abflussregime. Die Becken der Pumpspeicher dienen als Rückhaltebecken und das Wasser zirkuliert innerhalb der Kraftwerkskaskade, bevor es ins natürliche Fliessgewässer abgegeben wird.

3. Regeln für ein optimales Abflussregime

Die genauen Auswirkungen von Schwall/Sunk-Betrieb auf Fauna und Flora in den Fliessgewässern bilden Gegenstand von laufenden Forschungsprojekten und Untersuchungen. Aus neuen Erkenntnissen können Regeln für ein optimales Abflussregime hergeleitet werden. Der Autor ist kein Experte auf diesem Gebiet. Es besteht aber in diesem Falle eine enge Zusammenarbeit mit Heinz Marrer BGF (Büro für Gewässer- und Fischereifragen AG). Eine enge Zusammenarbeit ist notwendig, um geeignete Regeln zu formulieren. Die Regeln für das Abflussregime müssen nämlich so formuliert werden, dass sie einerseits im mathematischen Optimierungsmodell abgebildet werden können und andererseits die negativen Auswirkungen von Schwall/Sunk maximal reduzieren.

Als einfachste Regel gilt ein Maximalwert für das Schwall/Sunk-Verhältnis. Sie ist leicht verständlich und umsetzbar. Eine reine Beschränkung des Schwall/Sunk-Verhältnisses ist aus ökologischer Sicht nicht unbedingt optimal und führt zudem oft zu hohen wirtschaftlichen Einbussen für den Kraftwerksbetreiber und damit letztendlich zu höheren Produktionskosten und Strompreisen.

Sunk-Aufbesserung ist oft die bessere Option als Schwallreduktion. Dies kann an einem einfachen Beispiel gezeigt werden: Angenommen das Schwall/Sunk-Verhältnis soll für einen konkreten Fall von 10:1 auf 5:1 reduziert werden, und zwar bei einem Schwall von 50 m^3/sec und einem Sunk von 5 m^3/sec. Es gibt die Option, den Schwall um 25 m^3/sec zu reduzieren oder den Sunk um 5 m^3/sec zu erhöhen (Sunk-Aufbesserung). Tatsächlich hat die Sunk-Aufbesserung weniger Einfluss auf den Kraftwerksbetrieb. Vor allem ist der Kraftwerksbetreiber damit immer noch in der Lage, das Kraftwerk zu Spitzenzeiten voll auszufahren. Die Sunk-Aufbesserung erfolgt bei den Ausgleichsbecken oder direkt bei den Wasserfassungen (vgl. *Bild 1*: Punkte V2 und V3) und ist oft mit baulichen Massnahmen verbunden. Manchmal kann mit einer Sunk-Aufbesserung vorbeugend Überlauf verhindert werden. In diesem Falle hat die Sunk-Aufbesserung keine negativen Auswirkungen auf die Erträge des Kraftwerks.

Eine weitere Option, die von Heinz Marrer im Rahmen der Untersuchungen für das Kraftwerk Amsteg entwickelt wurde, ist das Prinzip des sogenannten Vorschwalls. Während der Nacht sind Kraftwerke oft ausser Betrieb und es fliesst eine minimale Abflussmenge (Dotierwasser). Eine Schwall/Sunk-Verhältnis, basierend auf diesem minimalen Abfluss, würde eine nicht tragbare Einschränkung für das Kraftwerk bedeuten. Deshalb wird ein Regime vorgeschlagen, bei dem der Abfluss allmählich auf ein bestimmtes Niveau gesteigert und dort eine Stunde lang gehalten wird – sogenannter Vorschwall. Der Abfluss wird in der Folge weiter bis auf ein Basisniveau gesteigert. Das Schwall/Sunk-Verhältnis basiert dann auf diesem Basiswert. Das Prinzip des Vorschwalls ermöglicht es dem Kraftwerksbetreiber, das Potenzial seiner Anlage auszuschöpfen. Auf ökologischer Seite konnte durch Untersuchungen gezeigt werden, dass Kleinlebewesen durch den Vorschwall Stress ausgesetzt werden und sich rechtzeitig in Sicherheit bringen können.

Die Ausarbeitung von geeigneten Regeln für ein optimales Abflussregime ist eine grosse Herausforderung und verlangt die Beteiligung aller Parteien. Die Regeln müssen einerseits die negativen Auswirkungen von Schwall/Sunk reduzieren und andererseits für den Kraftwerksbetreiber wirtschaftlich tragbar sein. Zudem muss eine mathematische Formulierung möglich sein, die es erlaubt die Regeln in einem Optimierungsmodell abzubilden.

Der folgende Abschnitt zeigt am Beispiel des Kraftwerks Amsteg, wie die beschriebenen Regeln im konkreten Fall angewendet werden können.

4. Optimales Abflussregime am Beispiel des Kraftwerks Amsteg (KWA)

4.1 Einleitung

Das Kraftwerk Amsteg wird von der SBB betrieben und dient vor allem auch der Deckung von Spitzenlast. Die Abflussmenge des KWA in die Reuss ist heute stark eingeschränkt. Das Potenzial des Kraftwerks kann deshalb nicht voll ausgeschöpft werden. Es ist zwar ein unterirdisches Rückhaltebecken vorhanden, aber mit der bestehenden Regelung für den Abfluss können nur kurzzeitige Bewegungen geglättet werden.

Im Bericht von Heinz Marrer ***[BGF 2009]*** werden Regeln für ein neues Abflussregime des KWA definiert. Diese Regeln ersetzen die bestehenden Begrenzungen des Abflusses. Das neue Abflussregime schont einerseits Flora und Fauna in der Reuss und hilft andererseits das betriebliche Potenzial des KWA besser auszunutzen.

Im Vorprojekt mit der Firma Misurio wurden Optimierungsmodelle für das geplante optimale Abflussregime spezifiziert und Modellberechnungen mit historischen Messdaten durchgeführt. Das Optimierungsmodell bildet die Basis für das Design einer optimierenden Abflussreglers (OAR). Der OAR basiert auf der mathematischen Optimierung und steuert

* ***[BGF 2009] Heinz Marrer, Martin Spörri; Erneuerung Kraftwerk Amsteg: Gewässerökologisch verträgliche Ausgestaltung des Schwallregimes.***

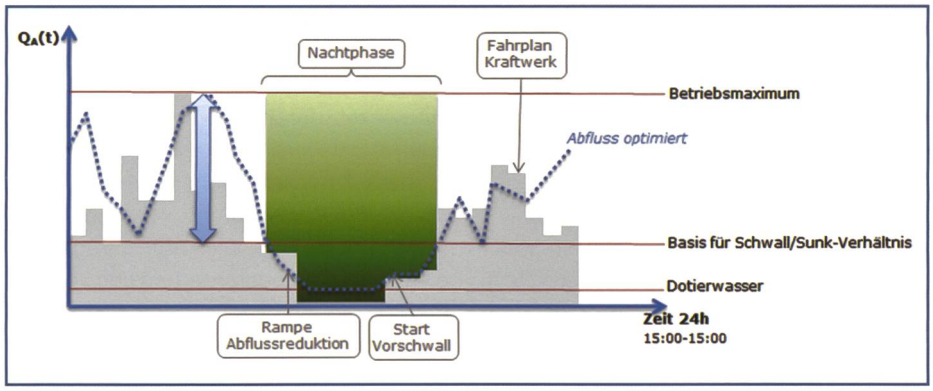

Bild 3. Tagesprofil für optimiertes Abflussregime mit Nachtphase, Vorschwall und Basisaufbesserung am Beispiel KWA. Die Nachtphase überschneidet sich mit dem Fahrplanbetrieb des Kraftwerks.

das Regulierkraftwerk, so dass die vorgegebenen Regeln eingehalten werden. Die Optimierung berücksichtigt die Fahrpläne des KWA und ist online mit dem Prozessleitsystem verbunden. Die Berechnungen werden alle paar Minuten aktualisiert und mit dem realen Prozess synchronisiert.

4.2 Neue Regeln für ein optimales Abflussregime

Das bestehende Abflussregime definiert saisonal unterschiedliche Begrenzungen der Rückgabewassermenge in Amsteg. Diese harten Grenzen schränken das Potenzial des KWA stark ein. Das Rückhaltebecken ist bei voller Leistung in knapp 20 Minuten gefüllt und damit relativ klein dimensioniert.

Aus den ökologischen Untersuchungen des Büros Marrer wurden Regeln für das Abflussregime hergeleitet. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um die Festlegung des minimalen Abflusses, der während Schwachlastzeiten eingehalten werden muss (Dotierwasser). Dotierwasser wird abgegeben, selbst wenn das Kraftwerk in der Nacht nicht in Betrieb ist. Zudem muss bei Inbetriebnahme des Kraftwerks ein Vorschwall erzeugt und während einer Stunde gehalten werden. Danach wird ein festgelegtes Schwall/Sunk-Verhältnis eingehalten. Schliesslich werden Begrenzungen für den Gradienten der Abflussmenge erfüllt (Rampen), so dass ein möglichst gedämpftes Abflussprofil entsteht. Der maximale Gradient ist bei kleinen Abflussmengen grösser.

4.3 Das Optimierungsmodell

Die im vorangehenden Abschnitt beschriebenen Regeln müssen in mathematische Gleichungen umgewandelt werden. Dabei wird jeweils ein ganzer Tag (24 h) betrachtet und dieser in Zeitschritte unterteilt. Die Modellierung erweist sich als schwierig. Es wurden drei Ansätze entwickelt und getestet und es gelang erst im dritten Anlauf, eine geeignete Lösung zu finden.

Um eine unerwünschte Kopplung über zwei Tage zu verhindern, werden die Tage von 15:00 Uhr bis 15:00 Uhr betrachtet (statt von Mitternacht bis Mitternacht). Dies hat den Vorteil, dass ab 15:00 Uhr die Produktionsfahrpläne des Kraftwerks für den Folgetag bekannt sind. Es ergeben sich zwei Phasen:

1. Nachtphase: Die Phase fährt den Abfluss herunter. Die Rampen werden eingehalten und das Dotierwasser wird während der Nacht gehalten. Morgens wird der Abfluss wieder langsam hochgefahren. Auf dem Niveau des Vorschwalls wird der Abfluss eine Stunde lang gehalten, damit eine Basis für den maximalen Abfluss gebildet werden kann. Typischerweise startet die Nachtphase kurz vor oder nach Mitternacht. Der Startpunkt befindet sich somit ungefähr in der Mitte des betrachteten 24 h-Intervalls (15:00 Uhr bis 15:00 Uhr).
2. Fahrplan: In dieser Phase werden die Fahrpläne des Kraftwerks während der Betriebszeiten umgesetzt. Mit Hilfe der optimalen Steuerung für das Rückhaltebecken wird der Abfluss geglättet und die Vorgabewerte für die Änderung des Abflusses pro Zeiteinheit eingehalten.

Bild 3 stellt das 2-Phasenmodell exemplarisch dar. $Q_A(t)$ entspricht dabei dem resultierenden Abfluss der Reuss unterhalb des Kraftwerks.

Entscheidend ist der optimale Zeitpunkt für die Einleitung und die Dauer der Nachtphase. Sie wird zuweilen bereits in der Abflussreduktion eingeleitet, während das Kraftwerk noch in Betrieb ist. Dabei fliesst immer noch Wasser ins Rückhaltebecken, so dass genügend Wasser vorhanden ist, um während der ganzen Nacht die minimale Abflussmenge aufrecht zu halten. Andererseits wird die Nachtphase so ausgeleitet, dass während der Abflusszunahme bereits wieder Wasser aus dem Kraftwerk ins Becken fliesst, d.h. das Kraftwerk wieder in Betrieb ist.

Die Optimierung des Abflussregimes liefert in Abhängigkeit des Produktionsfahrplans des Kraftwerks die folgenden Resultate:

1. einen machbaren Fahrplan für die Bewirtschaftung des Rückhaltebeckens.
2. den optimalen Zeitpunkt für den Start und die Dauer der Nachtphase, während der eine minimale Abflussmenge aufrechterhalten wird.
3. falls die Regeln für das Abflussregime nicht eingehalten werden können, liefert die Optimierung Angaben über das fehlende Beckenvolumen.

4.4 OAR – der optimierende Abflussregler

Ein OAR basiert auf einer mathematischen Optimierung und steuert das Regulierkraftwerk, so dass die vorgegebenen Regeln in Bezug auf den Schwallbetrieb eingehalten werden. Die Optimierung berücksichtigt die Fahrpläne des Kraftwerks und ist online mit dem Prozessleitsystem verbunden. Die Berechnungen werden alle paar Minuten aktualisiert und mit dem realen Prozess synchronisiert.

5. Fazit

Das revidierte Gewässerschutzgesetz fordert eine Reduktion der negativen Auswirkungen vom Schwall/Sunk-Betrieb der Kraftwerke. Ein Zielkonflikt mit der Wirtschaftlichkeit des Kraftwerks erscheint vorprogrammiert. Geeignete Optimierungsmethoden liefern quantitative Resultate und erlauben eine sachliche Diskussion zwischen unterschiedlichen Interessengruppen. Der Einbezug neuester ökologischer Erkenntnisse erscheint zwar komplex, führt aber zu moderaten Lösungen, die von allen Seiten akzeptiert werden können. Eine Gesamtoptimierung von Produktionsfahrplänen der Kraftwerke unter Berücksichtigung von Regeln für das Abflussregime dürfte in den meisten Fällen für akzeptable Lösungen sorgen.

Anschrift des Verfassers
Karl Werlen, Dr. sc. techn. ETH
CEO Misurio AG, CH-3930 Visp
karl.werlen@misurio.ch