

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Theobald, Stephan; Celan, Andjelko; Nestmann, Franz

Decision Support System zur effizienten und sicheren Nutzung der Wasserkraft

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103931>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Theobald, Stephan; Celan, Andjelko; Nestmann, Franz (2004): Decision Support System zur effizienten und sicheren Nutzung der Wasserkraft. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Risiken bei der Bemessung und Bewirtschaftung von Fließgewässern und Stauanlagen. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 27. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 473-484.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Decision Support System zur effizienten und sicheren Nutzung der Wasserkraft

Stephan Theobald, Andjelko Celan, Franz Nestmann

Der Klimaschutz und die nachhaltige Energieversorgung bewirken in Politik, Wirtschaft und auch Bevölkerung eine zunehmende Fokussierung auf die regenerativen Energieträger, wobei die Wasserkraft einen hohen Stellenwert einnimmt. Durch die Automatisierung der Stauanlagen und die Integration der Wasserkraft in zukünftige Konzepte der Energieversorgung steigt der Bedarf der Kraftwerksbetreiber an umfassenden Decision Support Systemen zum effizienten und sicheren Betrieb ihrer Anlagen. Nicht zuletzt die verheerenden Auswirkungen der jüngsten Hochwasserereignisse als auch Dürreperioden auf Mensch, Natur und Anlage zeigen die Notwendigkeit und unterstreichen die Bedeutung geeigneter Werkzeuge und Methoden zur Analyse und zum Management komplexer Flusssysteme.

Staufufen, Staufufensteuerung, Staufufenkette, Wasserkraft, Hochwasserschutz, Bewirtschaftung, Automatisierung, Decision Support System, Prognoserechnungen

1 Einleitung

Insbesondere nach Extremereignissen, wie beispielsweise einem abgelaufenen Hochwasserereignis, sind die Kraftwerksbetreiber im Hinblick auf die vorgenommene Betriebsstrategie immer wieder mit den gleichen Fragen konfrontiert. Dabei ist von Interesse, ob der Abfluss an der betreffenden Staustufe gedämpft oder durch zu spätes Agieren, sei es manuell oder durch den installierten Wasserhaushaltsregler, sogar noch verstärkt wurde. Viele Fälle aus der Praxis zeigen, dass die Betriebsstrategien der Kraftwerksbetreiber, u.a. auch auf genannte Problematik des Hochwassers, noch nicht optimiert sind. Bei der Bewirtschaftung von Staufufen und Staufufenketten geht es um eine effiziente und wirtschaftliche wie auch sichere Betriebsweise der Stauanlagen. Dabei werden in den kaskadenartig ausgebauten Flussabschnitten die Stauräume für die Einlagerung bzw. Auslagerung von Wasservolumen genutzt. Dies erfolgt in erster Linie

aus Gründen der Energieerzeugung aus der regenerativen Energiequelle Wasserkraft, der Nutzung der Stauräume als Retentionsräume für den Hochwasserschutz, der Trinkwasserversorgung und der Naherholung.

Bestehenden Simulationswerkzeuge haben sich in zahlreichen Untersuchungen und Einsätzen bewährt, sind jedoch bzgl. Erweiterungsmöglichkeiten und Integrierbarkeit in moderne Entwicklungsumgebungen und Kopplung mit anderen Systemen an ihre Grenzen gestoßen. Weiterhin kann die Beschreibung und Analyse des automatisierten Betriebs gestauter Flusssysteme durch konventionelle Automatisierungskonzepte in vielen Fällen bereits heute nur noch ungenügend erfüllt werden. Aktuelle und zukünftige Anforderungen setzen wesentlich verbesserte bzw. vollkommen neue Lösungsansätze für die Automatisierung und Optimierung und damit auch neue Wege in der interdisziplinären Zusammenarbeit in den Bereichen Hydraulik, Automatisierungstechnik, Energietechnik und Informatik voraus. Experten müssen in Zukunft aus ihren Fachkompetenzen heraus Bausteine entwickeln, die über eine gemeinsame Entwicklungsplattform und flexible Schnittstellen zu einem umfassenden Simulationssystem verknüpft werden können. Zur Beschreibung der Strömungsverhältnisse in den Stauräumen sind numerische Berechnungsverfahren erforderlich, die aufgrund ihrer Modularität und Flexibilität in die leistungsfähigen Simulationsumgebungen der Automatisierungstechnik integrierbar sind.

In den folgenden Abschnitten werden die aktuellen und zukünftigen Anforderungen an den Betrieb der Staustufen diskutiert, die Möglichkeiten und Perspektiven der Simulationssysteme aufgezeigt und die Decision Support Systeme STReAM und ProCas vorgestellt. Als wertvolle Werkzeuge für den Betrieb auf der Warte werden sie als Analysetool und Trainingssimulator bei den Rheinkraftwerken am Hochrhein erfolgreich eingesetzt. Die praktische Umsetzung wird am Beispiel der Implementierung von ProCas in das Leitsystem der Hauptschaltleitung der Schluchseewerk AG zur Erarbeitung optimierter Betriebsstrategien für die zentrale Steuerung der Hochreinstaufenkette vorgestellt. Ferner werden Ziele, Vorgehensweisen und Ergebnisse der Prognoserechnungen aus dem realen Betrieb präsentiert.

2 STReAM – Simulation Tool for Riversystem Analysis and Management

Durch den Technologieschub und die aktuelle Marktentwicklung ergeben sich derzeit neue, zukunftssichere Möglichkeiten in der Simulationstechnik. Mächti-

ge Simulations- und Entwurfswerkzeuge mit vorgefertigten und ausgetesteten Bausteinbibliotheken zur Nachbildung von Teilprozessen sind bereits vorhanden. Es erfolgt ein Übergang von der Programmierung von Modellen zur meist graphischen Konfigurierung vorgefertigter Bausteine (graphische Oberflächen, Visualisierungsmodule, Regelungs- und Optimierungsmodule). In der Automatisierungs- und insbesondere der Regelungstechnik stehen hierzu leistungsfähige Entwicklungsumgebungen zur Verfügung, mit denen neben den konventionellen Verfahren auch nicht-konventionelle Verfahren und Technologien wie Fuzzy Control, Künstliche Neuronale Netze, Beobachter, adaptive und prädikative Regler, Prozessidentifikation und Petri-Netze untersucht werden. Für den interdisziplinären Entwicklungsprozess ist daher eine gemeinsame Simulationsbasis als Kommunikationsplattform notwendig. Da sich jedoch die Kopplung der bestehenden Simulationssysteme mit den neuen Entwicklungsumgebungen der Simulationstechnik als äußerst schwierig gestaltet, bedarf es einer neuen, zukunftssträchtigen und nachhaltigen Simulationsbasis.

Um obigen Anforderungen gerecht zu werden, wurde am Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik (IWK) der Universität Karlsruhe (TH), für die Beschreibung der dynamischen Strömungsvorgänge das moderne eindimensionale instationäre HN-Verfahren STReAM (Simulation Tool for **R**iversystem **A**nalysis and **M**anagement) entwickelt. Es ermöglicht die Berechnung von Strömungskenngrößen wie Durchfluss, Wasserstand und Fließgeschwindigkeiten auch in komplexen, verzweigten und vermaschten Flusssystemen. Das Verfahren basiert auf den Saint-Venant-Gleichungen (Impuls und Kontinuität) und dem Differenzenverfahren nach Preissmann und kann in verschiedenen System- und Entwicklungsumgebungen Verwendung finden. Es zeichnet sich durch seine modulare und objektorientierte Programmstruktur, Erweiterungsfähigkeit, Schnittstellen zur Anbindung an externe Module und Bibliotheken und Plattform-Unabhängigkeit aus. Das Verfahren wurde in der objektorientierten Programmiersprache ANSI C++ umgesetzt, welche auf nahezu jeder Rechnerplattform übersetzbar ist, viele standardisierte, leistungsfähige Bibliotheken beinhaltet und auch in der Zukunft konkurrenzfähig sein wird. Das hier entwickelte Verfahren hat sich in der Praxis an zahlreichen Projekten für Rhein, Neckar und Donau bewährt und seine Einsatztauglichkeit auch an sehr großen, komplexen Flusssystemen wie der Wolga bewiesen.

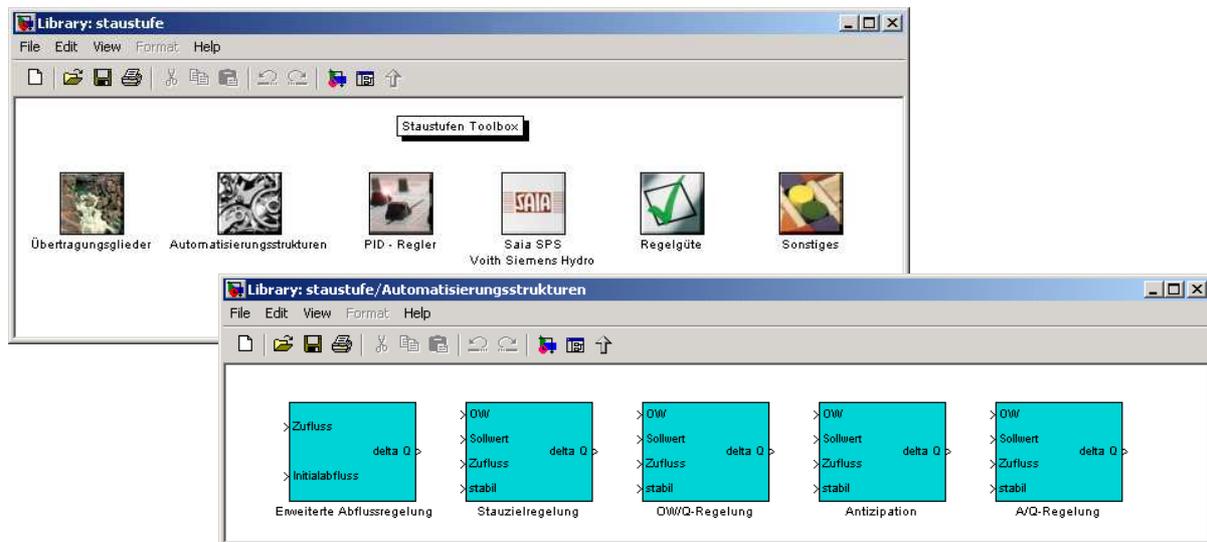


Abbildung 1: Staufufen Toolbox unter MATLAB/Simulink

2.1 Integration in die moderne Entwicklungsplattform MATLAB/Simulink

Zur Simulation von Bewirtschaftungsstrategien von Staustufen wurde STReAM als Modulbaustein in die technisch-wissenschaftliche Entwicklungsumgebung von MATLAB/Simulink integriert. Diese leistungsfähige Entwicklungsplattform ermöglicht eine effiziente, interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Fachbereichen. Zusammengefasst in einer Funktionsbibliothek wurden am IWK des weiteren verschiedene Regler- und Automatisierungsstrukturen als Modulbausteine implementiert (siehe Abb. 1) und können somit direkt mit der Stauraumsimulation (Hydraulik) verbunden werden. Hierdurch wird eine Simulation des Gesamtsystems, des bewirtschafteten Stauraums, sowie eine Analyse und Optimierung der Bewirtschaftungsstrategien möglich. In Abb. 2 ist die Kopplung des HN-Verfahrens STReAM mit Automatisierungsfunktionen am Beispiel der Staustufe Säckingen (RKS) dargestellt. In Simulink können die einzelnen Modulbausteine über Verbindungen/Links zu einem Gesamtsystem zusammengefasst werden. Über Dialogmasken werden sämtliche Eingabedaten, wie Zuflussganglinien, Pump- bzw. Turbinenbetrieb des Pumpspeicherkraftwerkes und Vorgaben des Bedienpersonals zur Bewirtschaftung definiert. Der enorme Vorrat an fertigen Modulbausteinen und die graphische Entwicklungsumgebung erlauben es die Automatisierungsstruktur an die Erfordernisse einer jeder beliebigen Staustufe anzupassen.

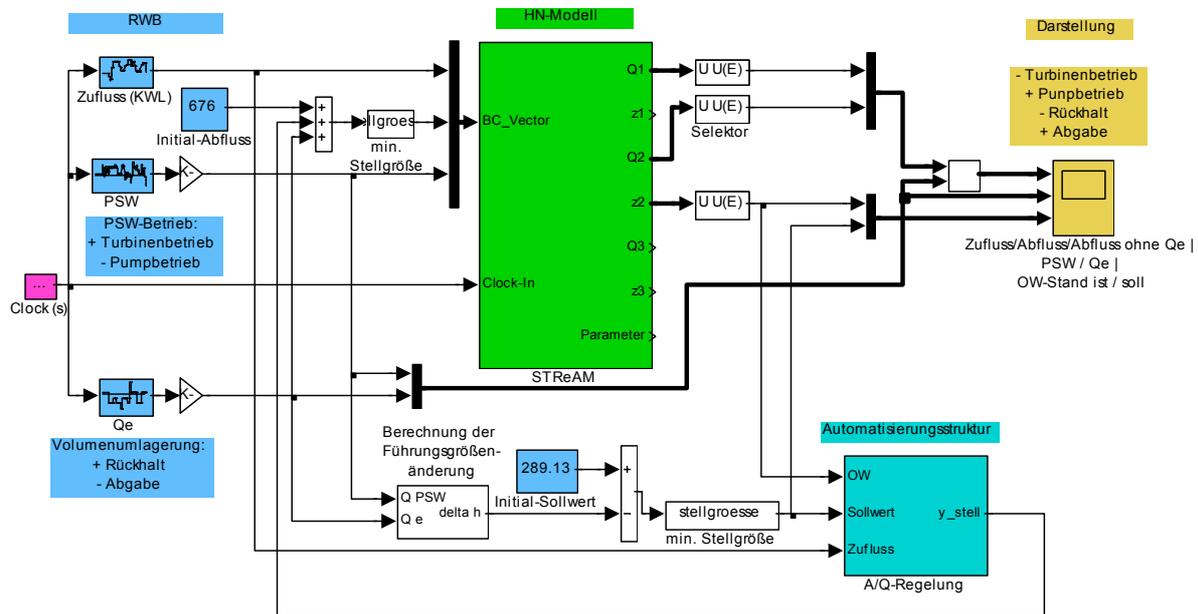


Abbildung 2: Kopplung STReAM mit Automatisierungsfunktionen am Beispiel Säckingen

2.2 Hardware-in-the-Loop Simulation

Des weiteren wurde eine Schnittstelle programmiert, die die Kopplung der Simulationsbausteine (Software) mit realen Steuerungsgeräten (Hardware), wie sie an Anlagen vor Ort in den Leitständen eingesetzt werden, ermöglicht. Bei dieser sogenannten Hardware-in-the-Loop-Simulation wird ein reales Steuergerät, eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS), in den Simulationszyklus eingebettet und kann so ausgiebig auf seine Funktionalität getestet werden. Die vorgesehene Automatisierungsstruktur im Steuergerät kann damit direkt beim Kraftwerksbetreiber vor Ort vorgeführt und bei der Inbetriebnahme einem Abnahmetest unterzogen werden, ohne dass sie direkt mit den Stellorganen der Anlage gekoppelt werden muss. Durch die Möglichkeit, Ausnahmeszenarien (bspw. Notfälle) im Vorfeld oder im Betrieb aufgetretene Besonderheiten im Nachhinein zu simulieren, ist eine Feinjustierung oder gar Änderung der Regelparameter jederzeit möglich.

3 Decision Support System ProCas

Für die prozessbegleitende Simulation im Online-Betrieb, wurde ein leistungsfähiges Decision Support System entwickelt, welches direkt in das Leitsystem einer Schaltzentrale zur Unterstützung der Betriebsentscheidungen des Anlagenfahrers auf der Warte integriert wird. Mit den realen hydraulischen Kenngrößen und Parametern aus dem laufenden Betrieb werden in 5-Minuten-Intervallen Prognoserechnungen für die Entwicklung der Abflussverhältnisse (Wasserstände und Durchflüsse) in den Stauräumen mit einem Zukunftshorizont von mehreren Stunden durchgeführt. Das Bedienpersonal kann anhand der prognostizierten Durchfluss- und Wasserstandsganglinien die hydraulische Situation vorausschauend bewerten, mögliche Konzessionsverletzungen erkennen und bei Notwendigkeit frühzeitig entsprechende Aktionen einleiten.

3.1 Anforderungen an den Betrieb

Auf den heutigen Schaltzentralen kommen moderne Leitsysteme zum Einsatz, welche die Steuerung und den Betrieb einzelner Stauanlagen oder auch gesamter Staustufenketten übernehmen. Beim Betrieb von Staustufenketten werden in vielen Fällen für jede einzelne Staustufe lokale Regler und Steuerungsmodule verwendet, die über ein zentrales Leitsystem überwacht und koordiniert werden. Die heutigen, zum Teil voll automatisierten Leitsysteme müssen hohen Ansprüchen, wie ständige Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit im Betrieb gerecht werden. Durch die Anbindung der Schaltzentralen an die Verbundnetze der Energieerzeuger müssen sie auch flexibel auf Betriebswechsel reagieren.

In vielen Schaltzentralen ist durch behördliche Auflagen und aus Gründen der Sicherheit der bemannte Betrieb der Anlagen und Warten im 24h-Schichtdienst vorgeschrieben. Durch das hohe Maß an Automation sind die Hauptaufgaben des Anlagenfahrers, den Prozess zu beobachten, Betriebswechsel zu überwachen und bei Bedarf Wasserstände und/oder Abflüsse als Stauziele, z.B. zu Bewirtschaftungszwecken, vorzugeben. Bei diesen Vorgaben sind sehr gute Kenntnisse über die Abflussverhältnisse in den Stauräumen, viel Erfahrung im Betrieb der Anlagen sowie das vorausschauende Agieren erforderlich, um einen sicheren und auch wirtschaftlichen Betrieb zu gewährleisten.

3.2 Struktur des Simulationssystems ProCas

Für oben genannte Anforderungen wurde das Simulationssystem ProCas entwickelt, welches in das Leitsystem einer Schaltzentrale integriert und parallel zum

realen Prozess ausgeführt werden kann, um somit eine prozessbegleitende Simulation zu ermöglichen. Das Simulationssystem kann über definierte Schnittstellen mit dem Leitsystem interagieren und erhält in vorgegebenen Intervallzyklen Prozessgrößen wie aktuelle Wasserstands- und Abflusswerte der Staustufen sowie Reglerbetriebsmodi und Sollwertvorgaben für die Simulationsrechnungen (siehe Abb. 3). Mit Hilfe der Online-Simulation wird es nun möglich, ausgehend von aktuellen und realen Kenngrößen der Stauräume Prognoserechnungen für die Wasserstands- und Volumenentwicklung einer gesamten Stauhaltungskette für die nahe Zukunft durchzuführen.

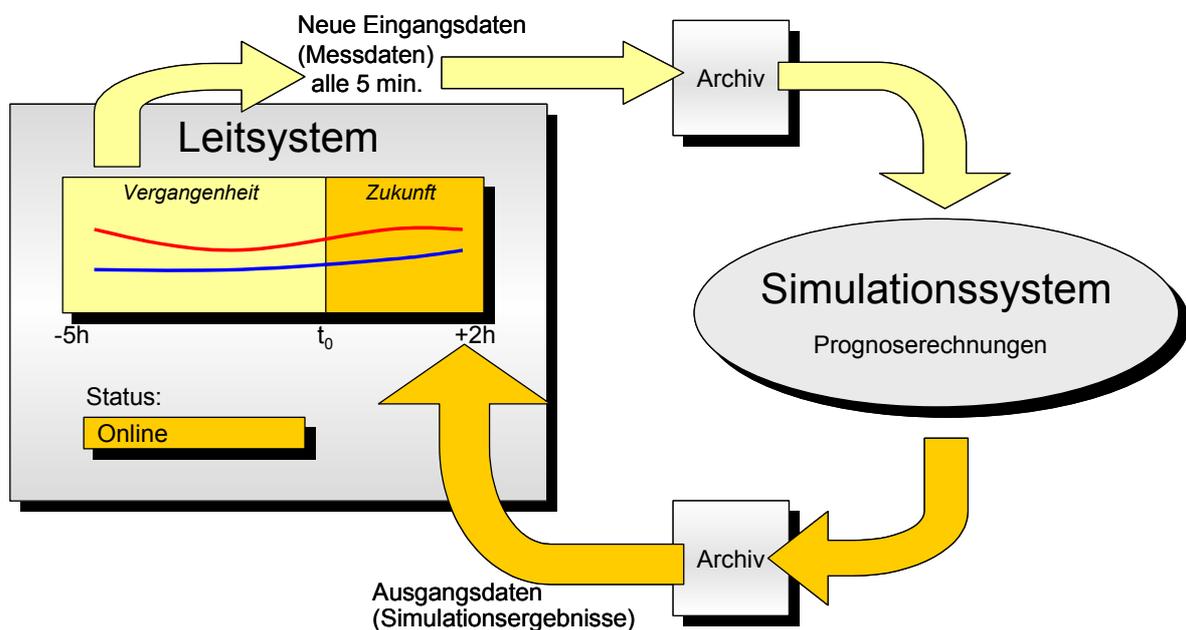


Abbildung 3: Struktur des ProCas Simulationssystem

Neben dem Einsatz für Prognoserechnungen kann das Simulationssystem auch zur modellgestützten technischen Diagnose, zur Prozessanalyse und für Optimierungsrechnungen im Onlinebetrieb Anwendung finden.

3.3 Anforderungen des Kraftwerkbetreibers

Die Hauptschaltleitung Kühmoos der Schluchseewerk AG ist für den Kraftwerkseinsatz, die Bewirtschaftung der Speicherbecken und die Betriebsführung einer 380-/220-kV-Schaltanlage zuständig. Die Lastverteilung koordiniert 20 Maschinensätze, die von der Zentrale aus ferngesteuert werden. Für den Betrieb der fünf Pumpspeicherkraftwerke mit einer mittleren Leistung von 1740 MW im

Generatorbetrieb und 1568 MW im Pumpbetrieb stehen insgesamt 14 Speicherbecken zur Verfügung. Hierzu zählen auch die vier Stauräume RADAG, RKS, KRS und Aubecken am Hochrhein (siehe Abb. 4).

Die Lastverteilung berücksichtigt die Stau- und Absenkziele der Speicherbecken und als Randbedingung die zu erwartenden Zuflüsse in die Stauräume. Des Weiteren sind auch die verschiedenen Nutzungsanforderungen der einzelnen Rheinkraftwerke zur Nutzung der Wasserkraft sowie Aspekte der Ökologie und Landeskultur zu berücksichtigen. Bei der Bewirtschaftung der Stauräume werden vom Bedienpersonal Sollwerte zur Wasserabgabe bzw. Wasserrückhaltung vorgegeben, so dass der Wasserstand in den Rheinstauräumen zwischen den vorgeschriebenen Konzessionsgrenzen bleibt. Die erforderliche Höhe von Abgabe und Rückhaltung ist allein vom Betrieb der Pumpspeicherkraftwerke Waldshut und Säckingen abhängig. Ziel der Bewirtschaftung ist es, die Stauräume so zu nutzen, dass durch den Betrieb der Pumpspeicherkraftwerke Waldshut und Säckingen im Rhein keine Abflussschwankungen entstehen und der Abfluss bei der untersten Staustufe Ryburg-Schwörstadt (KRS) gegenüber der natürlichen Welle nicht nachteilig beeinflusst wird. Ebenso dürfen Schwankungen im Zufluss zur RADAG bei der Mündung von Rhein und Aare durch den Betrieb der Staufenkette nicht verstärkt, sondern müssen nach Möglichkeit ausgeglichen werden. Dies macht deutlich, welche komplexe und verantwortungsvolle Aufgaben das Bedienpersonal auf der Warte bei der Bewirtschaftung erfüllen muss.

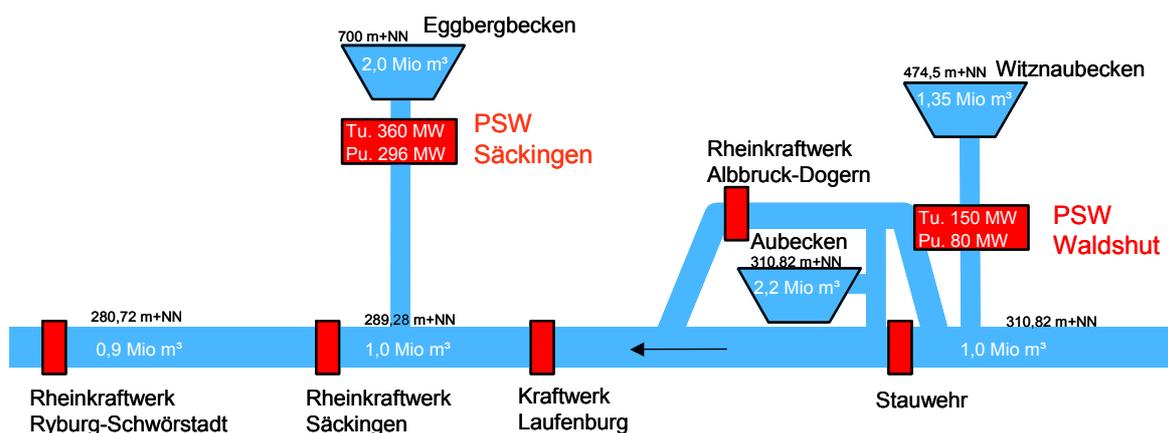


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Hochrheinkette

Das Simulationssystem ProCas ist für den Staustufenbetreiber ein sehr hilfreiches Werkzeug zur Erfüllung dieser Anforderungen. Dem Lastverteiler in der Hauptschaltleitung wird ein „Blick in die nahe Zukunft“ ermöglicht.

3.4 Berücksichtigung der Messgenauigkeit bei der Simulation

Mit Hilfe moderner Messgeräte können Wasserstände recht genau erfasst und gemessen werden. Die Bestimmung von Durchflüssen hingegen gestaltet sich weitaus schwieriger, so dass man, den Turbinendurchfluss bzw. Abfluss über das Wehr betreffend, mit mehr oder weniger großen Ungenauigkeiten rechnen muss. In numerischen Anwendungen oder Simulationsprogrammen können diese Ungenauigkeiten in den Eingangsdaten zu falschen und unbrauchbaren Berechnungsergebnissen führen. Die Abweichungen in den gemessenen Kenngrößen müssen demnach in dem hier vorliegenden Simulationsmodul berücksichtigt werden.

Um Prognoserechnung durchführen zu können, sind ausgehend vom aktuellen Zeitpunkt Prozessdaten aus dem Vergangenheitsarchiv des Leitsystems erforderlich. Die Anzahl der benötigten Daten aus diesem Archiv (Zeithorizont) kann in ProCas frei gewählt werden. In der Untersuchungsphase mit zahlreichen Simulationsrechnungen hat sich herausgestellt, dass sich ein Vergangenheitshorizont von fünf Stunden für das vorliegende Simulationsmodell gut eignet. Diese Vorlaufzeit gewährleistet, dass die aktuellen Abflussverhältnisse hinsichtlich der Dynamik und Instationarität erfasst werden können. Die Datenarchive der HSL Kühmoos sind in einem 5-Minuten Zeitraster abgelegt. Die erforderlichen Eingangsgrößen für die Simulationsrechnung sind im einzelnen die Zu- und Abflussganglinien sämtlicher Stauräume, der Betrieb der Pumpspeicherkraftwerke, der Verlauf der Ist- und Sollwasserstandswerte im Oberwasser der Staustufen, Vorgaben des Lastverteilers und gewählte Betriebsarten.

3.5 Methode der Prognoserechnungen

Die Vorgehensweise bei der Prognoserechnung beinhaltet zuerst die Nachrechnung - vom aktuellen Prozesszeitpunkt aus betrachtet - der letzten 5 Stunden des Prozessgeschehens (Vergangenheitsarchiv). Ist der aktuelle Prozesszeitpunkt erreicht, muss die Simulationsrechnung das aktuelle Prozessgeschehen, d.h. die hydraulischen Verhältnisse in den Stauräumen, hinreichend genau widerspiegeln. Ausgehend von diesen Abflussverhältnissen erfolgt unter Festlegung von Randbedingungen - wie bspw. die Entwicklung der Zuflüsse am oberen Modellrand oder geplanter Einsatz der Pumpspeicherkraftwerke - die Prognoserechnung für die nahe Zukunft. Die Simulationsdauer für die Zukunft, der Zukunftshorizont, ist frei wählbar. In der aktuellen Implementierung der HSL Kühmoos sind zwei Stunden Zukunftshorizont gewählt. Ein längere Prognosedauer ist derzeit nicht vorgesehen, da zum einen bestimmte Annahmen bzgl. der Randbedingungen getroffen werden müssen und zum anderen sich durch die intensive Nut-

zung und Bewirtschaftung der Stauräume sehr kurzfristige Betriebswechsel ergeben, die eine längerfristige Prognoserechnung hinfällig machen. Für den Lastverteiler sind die ersten 2-3 Stunden vom aktuellen Zeitpunkt aus gesehen entscheidend.

Die Qualität einer Prognoserechnung ist in erster Linie von der Naturähnlichkeit des zugrundeliegenden Simulationsmodells, der Qualität der Eingangsdaten und der Wahl geeigneter Randbedingungen abhängig. Das Simulationsmodell – das instationäre hydrodynamische numerische (HN-) Verfahren - hat seine Einsatztauglichkeit und Naturähnlichkeit in zahlreichen Untersuchungen bewiesen. Das HN-Modell, basierend auf Topographie und Geometrie der gesamten Stausstufenkette am Hochrhein und allen Sonderelementen, wurde zuvor erstellt und kalibriert. Die Eingangsdaten sind alles gemessene Werte (Wasserstände und Durchflüsse) und werden von den einzelnen Warten der Staustufen an das zentrale Leitsystem gesendet. Die Wasserstandswerte sind hinreichend genau. Mit Messfehlern versehen und ungenau sind wie oben gezeigt die Durchflusswerte. Neben erkennbaren Übertragungsfehlern ist diese Tatsache bei den Simulationsrechnungen zu berücksichtigen.

3.6 Darstellung der Prognosewerte im Leitstand

Im 5-Minuten-Zyklus werden die Ergebnisse aus den Prognoserechnungen an den Sichtgeräten des Leitstandes dargestellt, wobei die aktuellen Prognosewerte die älteren überschrieben. Der Lastverteiler sieht den Verlauf der Abflussganglinien aller Staustufen, die zugehörigen Oberwasserstände sowie den Wasserstand im Aubecken. In Abb. 5 ist eine Momentaufnahme (Hardcopy) der Benutzeroberfläche dargestellt, wie sie am Leitstand zu sehen ist. Im großen Diagramm im linken Teil des Bildes werden die Abflüsse sämtlicher Staustufen angezeigt. Der dunkel hinterlegte Bereich kennzeichnet den Verlauf der Kurven aus den letzten Stunden des Betriebes bis zum aktuellen Prozesszeitpunkt (Vergangenheit). Im hell unterlegten Bereich sind die berechneten Prognosewerte visualisiert (Zukunft). Die kleineren Diagramme im rechten Teil der Graphik sind für die Wasserstandsganglinien vorgesehen. In jedem Diagramm, außer dem des Aubeckens, wird dabei jeweils der Soll- und Ist-Wasserstand dargestellt. Auch hier sind Vergangenheit und Zukunft farblich voneinander getrennt. Bei Grenzwertüberschreitungen in den Prognosewerten generiert das Simulationssystem entsprechende Warnmeldungen, die am Monitor angezeigt werden.

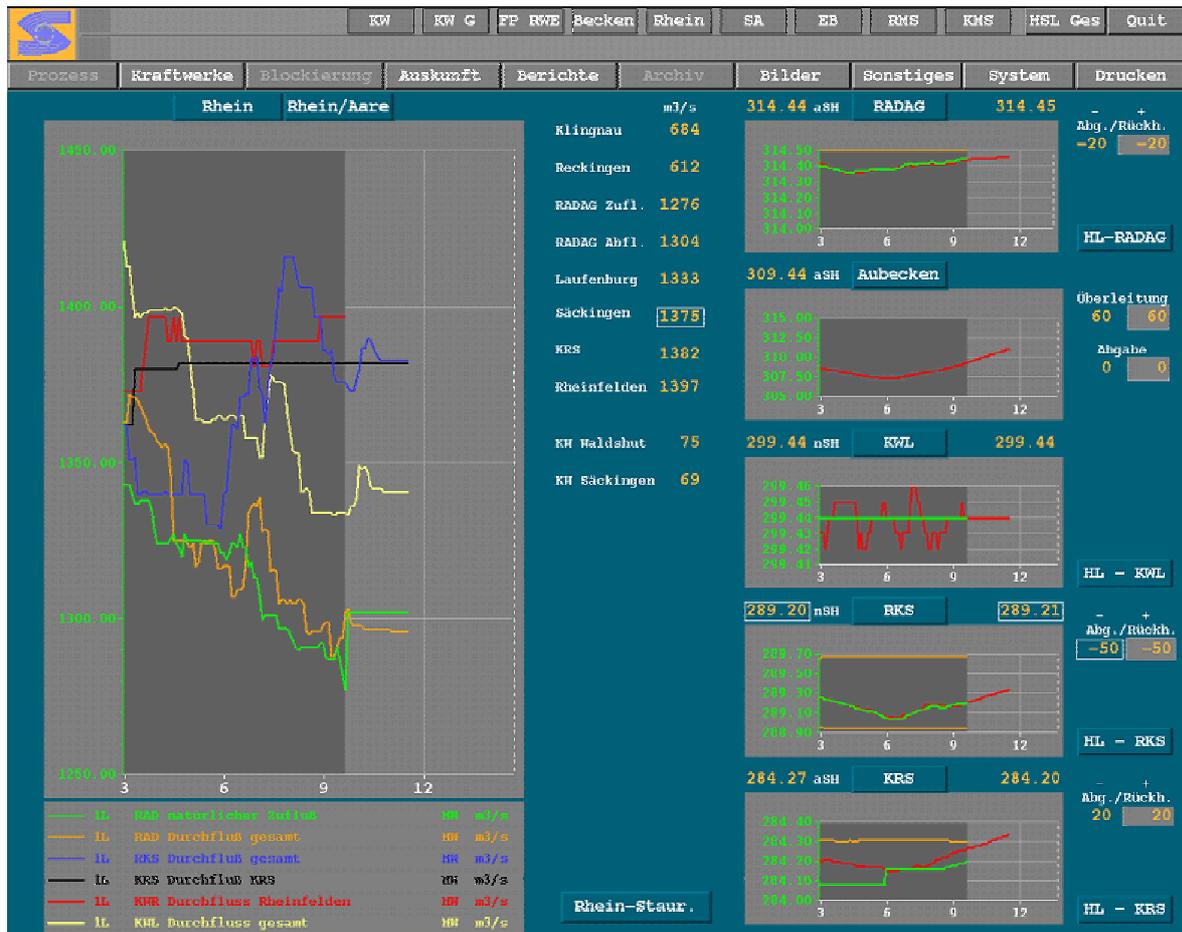


Abbildung 5: Benutzeroberfläche im Leitstand; Darstellung der Prognoseganglinien

3.7 Bewertung des Systems

Das entwickelte Simulationssystem ProCas ist seit August 2001 in der Hauptschaltleitung Kühmoos im 24-Stundenbetrieb in Einsatz. Die modulare Struktur des Simulationssystems erlaubt die Wartung und Administration des Systems auch im laufenden Betrieb, was sich insbesondere bei der Inbetriebnahme als vorteilhaft erwies. Die einzelnen Steuer- und Kontrollmodule wie auch die Berechnungseinheit sind austauschbar. Eine Anpassung an sich ändernde Betriebsanforderungen oder nachträgliche Optimierungen der Simulationsrechnungen sind dadurch gewährleistet. Das verwendete Kommunikationskonzept hat sich als robust und zuverlässig erwiesen. Der Transfer der Messdaten und der Berechnungsergebnisse zwischen den Leitrechnern und dem Simulationsrechner über das lokale Netzwerk funktioniert wie vorgesehen. Mit Hilfe der Archiv- und Dateiverwaltung sind bei Bedarf Analysen vergangener Simulationsläufe möglich. Aufgetretene Fehler werden definitionsgemäß protokolliert und wenn

möglich automatisch beseitigt.

Für das Bedienpersonal auf der Warte ist die Einführung der Prognoserechnung mit ProCas ein neues wertvolles Hilfsmittel bei der Lastverteilung und Staustufenbewirtschaftung, das ihre Arbeit erleichtert und sie in der Entscheidungsfindung unterstützt. Von besonderer Bedeutung war es, dem Bedienpersonal sowohl die neuen Möglichkeiten als auch die Grenzen des Systems zu verdeutlichen. Durch die gewählten Randbedingungen werden Annahmen getroffen, welche die Prognoserechnungen maßgeblich beeinflussen. Dieses Verständnis ist wichtig, um die angezeigten Prognosewerte deuten und letztendlich auch bewerten zu können. Hierzu waren Schulungen des Personals unerlässlich.

4 Literatur

- Celan, A.(2002): Simulationswerkzeuge zur Bewirtschaftung von Staustufenketten; Mitteilungen des Institutes für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe (TH), Nr. 216
- Cunge, J.A.; Holly, F.M.; Verwey, A.(1980): Practical Aspects of Computational River Hydraulics; Pitman Advanced Publishing Program
- Cuno, B. (1997): Anforderungen des automatischen Betriebs an die Modellierung gestauter Flußsysteme; 42. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Technische Universität Ilmenau, S. 435-440
- Theobald, S. (1999): Numerische Simulation von Staustufenketten mit automatisiertem Betrieb; Mitteilungen des Institutes für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe (TH), Nr. 201

Autoren:

Dr.-Ing. Stephan Theobald / Dr.-Ing. Andjelko Celan /
Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Franz Nestmann

Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik
Universität Karlsruhe (TH)
Kaiserstr. 12
D-76131 Karlsruhe

Tel.: ++49 – 721 – 608-2194

Fax: ++49 – 721 – 60 60 46

Email: theobald@iwk.uka.de / celan@iwk.uka.de / nestmann@iwk.uka.de