

## Kraftwerks-Simulationsmodelle für die Steuerung des serbischen und mazedonischen Energieversorgungsnetzes

Weber H., F. Prillwitz und M. Hladky  
harald.weber@etechnik.uni-rostock.de  
Institut für Elektrische Energietechnik, Universität Rostock  
A.-Einstein-Str. 2, 18059 Rostock

### Kurzfassung

Die elektrische Energieversorgung der Balkanländer Mazedonien und Jugoslawien befindet sich zur Zeit im Umbruch. Vor den bislang staatlichen Energieversorgern beider Länder steht die Aufgabe, die Zuverlässigkeit ihrer Energieversorgung zu erhöhen. Um hierfür realisierbare Problemlösungen erarbeiten zu können, werden unter anderem genaue Simulationsmodelle der Kraftwerke in den jeweiligen Versorgungsgebieten benötigt. Deshalb wurde das dynamische Verhalten ausgewählter Kraftwerke experimentell untersucht mit dem Ziel, daraus dynamische Simulationsmodelle zu entwickeln. Der Beitrag beschreibt die einzelnen Schritte der Modellierung. Die mit der Software Matlab/Simulink erstellten Modelle weisen nahezu dasselbe Ein-Ausgangsverhalten wie die realen Kraftwerke auf. Die beschriebene Vorgehensweise wurde bisher an insgesamt drei Kraftwerken in Jugoslawien und Mazedonien erfolgreich angewandt.

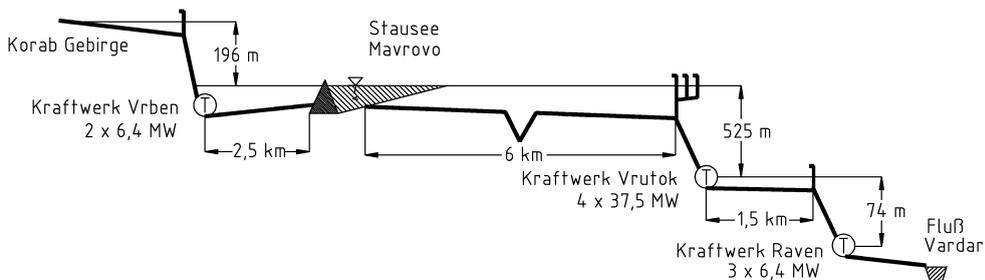
### 1 Einleitung

Im Rahmen des DAAD-Projektes „Stabilitätspakt für Südosteuropa“ arbeitet die Universität Rostock eng zusammen mit den Universitäten Skopje (Mazedonien) und Belgrad (Jugoslawien) sowie mit den Energieversorgern dieser Länder, EPS (Serbien) und ESM (Mazedonien). Ziel dieser Kooperation ist es zum einen, den Ausbildungsstand an den dortigen Universitäten zu heben und zum anderen, die Energieversorgung dieser Länder zuverlässiger zu machen. Dazu soll das dynamische Verhalten der vorhandenen Kraftwerke untersucht werden mit dem Ziel, daraus dynamische Simulationsmodelle zu entwickeln,



**Bild 1:** Untersuchte Kraftwerke in Serbien und Mazedonien

welche später sowohl in der Lehre und Forschung verwendet werden können als auch in den jeweiligen Netzleitstellen der Länder zur Schulung des Personals und zum Einsatz in den jeweiligen Netzfürhungs-Prozessrechnern. Diese unterschiedlichen Anforderungen führen zu der Zielstellung, dass die entwickelten Kraftwerksmodelle trotz einfacher und

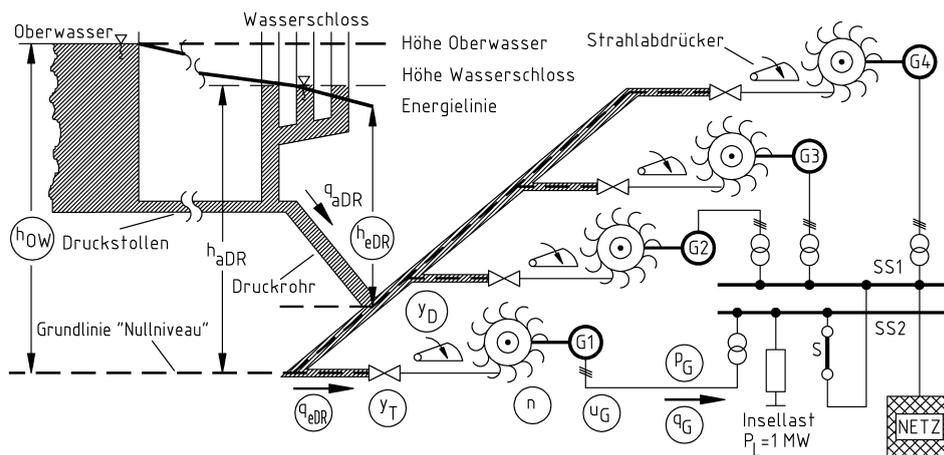


**Bild 2:** Längenprofil der Kaskade „Vrben – Vrutok – Raven“

überschaubarer Modellierungstiefe ein Höchstmass an Abbildungsgenauigkeit und Realitätsbezug haben müssen. Bislang untersucht wurden in diesem Zusammenhang die Hochdruck-Wasserkraftwerke „Vrutok“ und „Tikves“ in Mazedonien und das Laufwasserkraftwerk „Zvornik“ in Serbien, siehe Situationskarte in Bild 1.

## 2 Die Kraftwerke „Vrutok“, „Zvornik“ und „Tikves“

Begonnen wurden die Untersuchungen am Wasserkraftwerk „Vrutok“ im westlichen Teil Mazedoniens. Das Kraftwerk „Vrutok“ mit insgesamt 150 MW installierter Kraftwerksleistung ist Teil einer 182-MW-Kaskade zu der auch noch die Kraftwerke

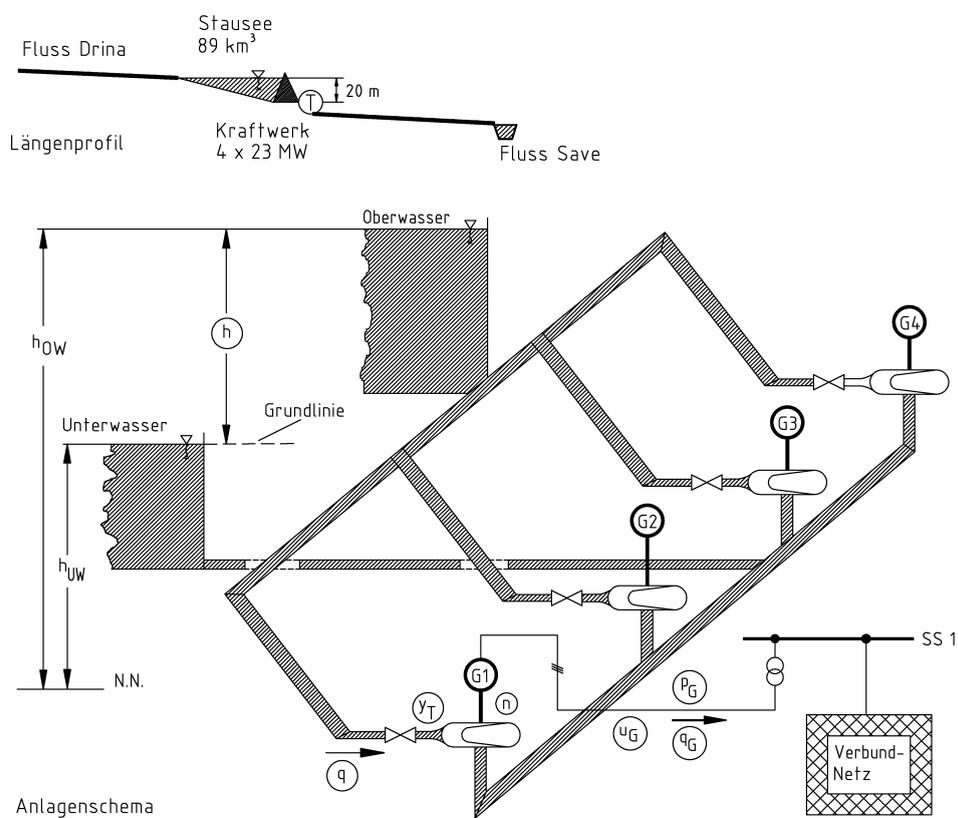


**Bild 3:** Anlagenschema des Kraftwerks „Vrutok“

„Vrben“ und „Raven“ gehören, siehe Bild 2. Das Kraftwerk wird vom Stausee Mavrovo

über einen 6 km langen Druckstollen (mit Siphon) gespeist. Das Kraftwerk besteht aus vier Pelton-Maschinengruppen, siehe Bild 3 und weist eine Fallhöhe von 525 m auf. Alle Turbinen sind mit Strahlabdrückern (Deflektoren) ausgestattet, welche bei einsetzender Überdrehzahl den Wasserstrahl von den Pelton-Rädern ablenken können.

Das Kraftwerk „Zvornik“ am Fluß Drina ist ein Laufwasserkraftwerk mit vier Kaplan-turbinen mit einer Leistung von insgesamt 96 MW, siehe Bild 4. Die Fallhöhe beträgt 20 m. Der Fluß Drina im Westen Serbiens bildet gleichzeitig die Grenze zu Bosnien und mündet später in die Save. Das Kraftwerk „Zvornik“ selbst ist Teil einer Kaskade aus zahlreichen weiteren Laufwasserkraftwerken in der Drina.



**Bild 4:** Laufwasserkraftwerk „Zvornik“

Das dritte untersuchte Kraftwerk „Tikves“ mit insgesamt 92 MW installierter Kraftwerksleistung befindet sich im Süden Mazedoniens am Stausee Tikves. Das Kraftwerk besteht aus vier Francis-Maschinengruppen und weist eine Fallhöhe von 91 m auf. Alle Turbinen sind mit Bypasseinrichtungen ausgestattet, welche bei schnellen Turbinen-Schliessbewegungen öffnen und somit die fließende Wassersäule zunächst weiterströmen lassen. Durch anschließendes langsames Schliessen des Bypasses werden

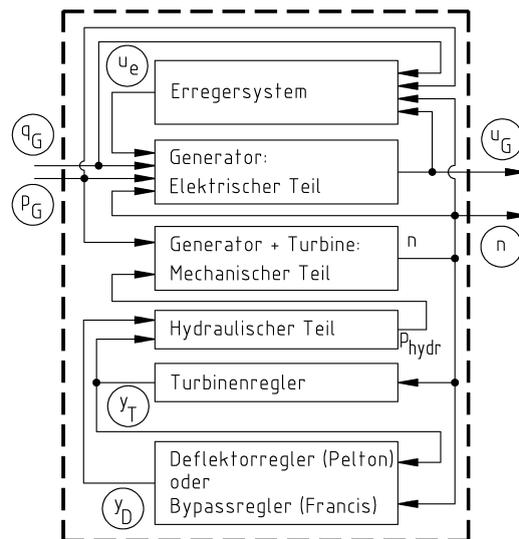
gefährliche Drucküberhöhungen vermieden. Das Kraftwerk ist direkt am Fuß der Staumauer angeordnet.

### 3 Modellierung

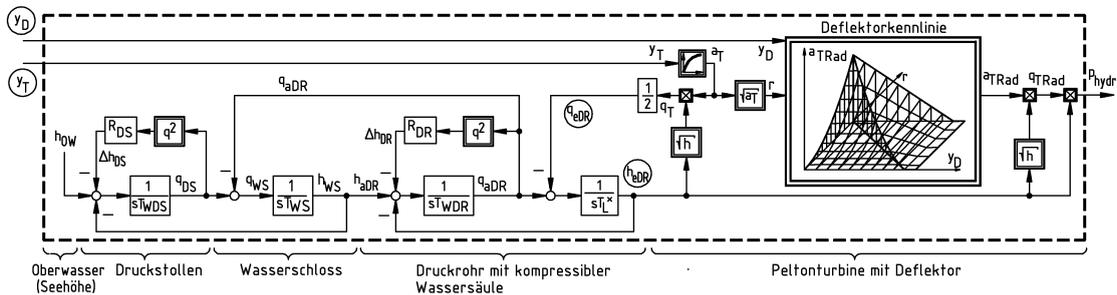
Der erforderliche Modellierungsaufwand wird durch zwei Randbedingungen bestimmt:

1. Das Kraftwerksmodell muß als Teilmodell in einem umfangreicheren Gesamtnetzmodell zusammen mit einer Vielzahl von anderen Kraftwerken und Verbrauchern einsetzbar sein. Das bedeutet, ein maximaler Detaillierungsgrad darf nicht überschritten werden.
2. Das Kraftwerksmodell muß andererseits aber in der Lage sein, das Dynamikverhalten beim alleinigen Betrieb im leistungsschwachen Inselnetz beschreiben können. Das bedeutet, ein bestimmter minimaler Detaillierungsgrad darf nicht unterschritten werden.

Die Modellstruktur kann durch die Analyse der technischen Dokumentationsunterlagen herausgearbeitet werden. Für jedes der drei untersuchten Wasserkraftwerke ergibt sich ein Gesamt-Signalfußbild nach Bild 5. Darin enthalten sind die einzelnen Teilmodelle des Kraftwerks. Eingangsgrößen des Gesamtmodells sind die Wirk- und Blindleistung, die am Generator abgenommen werden. Ausgangsgrößen sind die Generatorspannung und die Drehzahl der Maschinengruppe. Die Teilmodelle müssen dabei so gestaltet werden, daß im Hinblick auf die später zu erfolgende Identifikation die jeweiligen Ein- und Ausgangsgrößen meßtechnisch erfaßt werden können. Bild 6 zeigt beispielhaft das erstellte Teilmodell für das hydraulische System des Kraftwerks „Vrutok“. Zur Modellerstellung wird die Software Matlab/Simulink benutzt. Ähnliche Untersuchungen sind in der Schweiz bereits in mehreren Wasserkraftwerken erfolgreich angewandt worden [1].



**Bild 5:** Signalfußbild Wasserkraftwerk

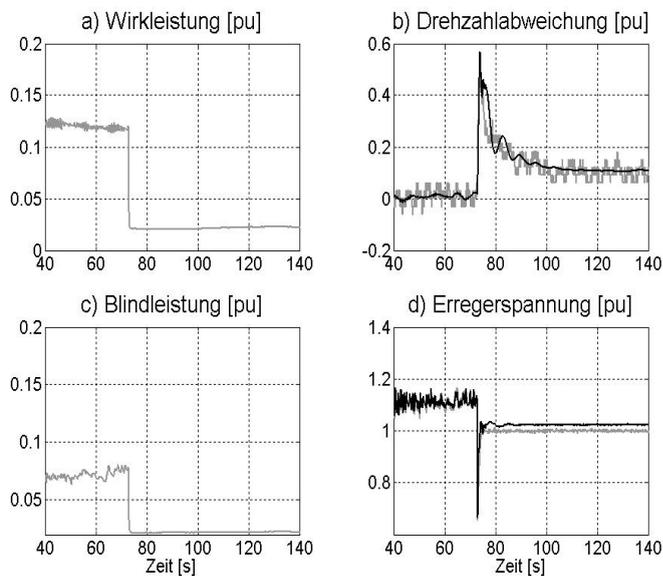


**Bild 6:** Modell des hydraulischen Teils Kraftwerk „Vrutok“

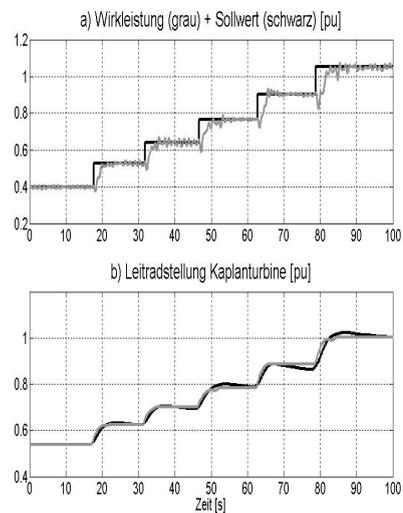
## 4 Parameteridentifikation

Im nächsten Schritt müssen dann die Parameter der erstellten Teilmodelle und des jeweiligen Gesamtmodells identifiziert werden. Dazu wurden im Kraftwerk „Vrutok“ eine Reihe sogenannter Inselnetzversuche durchgeführt. Ein Inselnetzversuch besteht darin, eine definierte Austauschleistung in das Verbundnetz einzuspeisen und dann über den Kuppelschalter „S“ (siehe Bild 3) abzuschalten. Die untersuchte Maschinengruppe muß dann nach einem dynamischen Übergangsvorgang die entstehende Insel allein versorgen. Die Insellast (ca. 1 MW) wurde aus mehreren Dörfern der näheren Umgebung des Kraftwerks Vrutok gebildet. Für die Kraftwerke „Zvornik“ und „Tikves“ war eine solche Inselnetzbildung aus technischen Gründen nicht möglich. Um auch hier dynamische Übergangsvorgänge auszulösen, wurden im Verbundbetrieb die Reglersollwerte für Wirk- und Blindleistung mit einer Rampenfunktion auf einen jeweils höheren Wert gestellt.

Die jeweiligen Ausgleichsvorgänge wurden meßtechnisch erfaßt, indem alle relevanten Zustandsgrößen des Kraftwerks aufgezeichnet wurden. In den Bildern 3, 4, 5 und 6 sind die aufgezeichneten Größen jeweils eingekreist dargestellt. Die Messungen wurden mit einem PC und der Meßsoftware LabVIEW durchgeführt. Die Abtastrate betrug 100 ms. Bild 7 zeigt für das Kraftwerk „Vrutok“ am Beispiel eines Inselnetzversuches mit einem Wirkleistungssprung von ca. + 4 MW den zeitlichen Verlauf einiger der aufgezeichneten Größen (grau). Mittels der Least-Square-Methode und unter Verwendung der Software Matlab/Simulink werden dann zuerst die Parameter der einzelnen Teilmodelle und dann des gesamten Kraftwerks so identifiziert, dass eine bestmögliche Übereinstimmung zwischen Messung und Simulation erzielt wird. Die simulierten Zeitverläufe in Bild 7 (schwarz) wurden mit den gemessenen Größen Wirk- und Blindleistung als Eingangsgrößen und dem identifizierten Parametersatz berechnet. Es konnte eine gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und simulierten Zeitverläufen erreicht werden. Das gleiche gilt auch für die Kraftwerke „Zvornik“ und „Tikves“. Für das Kraftwerk „Zvornik“ vergleicht Bild 8 als Beispiel die Verläufe von Wirkleistung sowie Leitradstellung der Kaplan turbine.



**Bild 7:** Vergleich Messung (grau) und Simulation (schwarz), „Vrutok“



**Bild 8:** Vergleich Messung (grau) und Simulation (schwarz), „Zvornik“

## 5 Zusammenfassung

Anhand experimenteller Untersuchungen wurden mittels Modellbildung und Parameteridentifikation dynamische Simulationsmodelle der Wasserkraftwerke „Vrutok“, „Zvornik“ und „Tikves“ erstellt. Die Genauigkeit dieser nichtlinearen Modelle konnte durch Vergleich von Messung und Simulation nachgewiesen werden. Die Modelle sind damit sowohl für den Einsatz in Forschung und Lehre an den Universitäten als auch für die Nutzung durch die Energieversorger ESM (Mazedonien) und EPS (Jugoslawien) geeignet.

Das Projekt soll weitergeführt werden, weitere Messungen in Kraftwerken Mazedoniens und Jugoslawiens sind geplant. Die Identifikationen werden dabei von Studenten des jeweiligen Landes ausgeführt, welche dazu jeweils für einige Monate an die Universität Rostock als DAAD-Stipendiaten kommen. Diese Fachleute sollen dann später bei den jeweiligen beteiligten Energieversorgern eingesetzt werden.

## 6 Literatur

- [1] *Weber, H., Zimmermann, D.*: Inselbetriebsverhalten von Wasserkraftanlagen. 5. GMA/ETG-Tagung „Netzregelung und Systemführung“, 23.-24.02.2000, München.