



3D-Strömungssimulation zur Bewertung der Leitströmung eines Umgehungsgerinnes am Hochrheinkraftwerk

Mark Musall, Peter Oberle

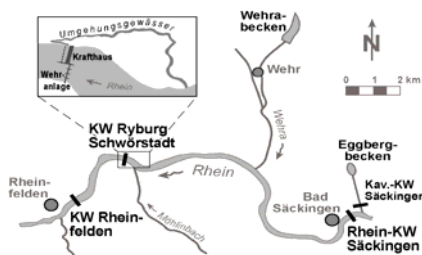
Auftraggeber:

Energiedienst AG



Kraftwerk Ryburg-Schwörstadt

Das Laufwasserkraftwerk Ryburg-Schwörstadt (KRS) liegt am Hochrhein oberstrom des Kraftwerks Rheinfelden und unterstrom des Kraftwerks Säckingen.



Lageplan der Stauhaltung

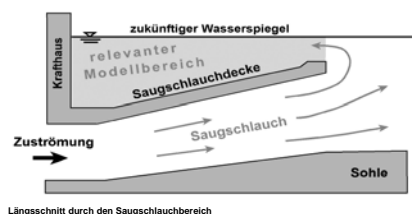


Luftbild des Kraftwerks

Zielsetzung

Bei der im Jahr 2010 anstehenden Neukonzessionierung des Kraftwerks Ryburg-Schwörstadt soll unter anderem ein naturnahes Umgehungsgerinne angelegt werden. Dessen unterer Einstieg ist über der Saugschlauchabdeckung direkt unterstrom des Krafthauses geplant. In Abhängigkeit der Turbinenbeaufschlagung entstehen im Bereich des Saugschlauchaustrittes ausgeprägte Verwirbelungen, welche eine Rückströmung auf die Saugschlauchdecke initiieren. Zur Analyse des Verhältnisses dieser Konkurrenzströmung zur Leitströmung des Umgehungsgerinnes sowie zur Bewertung möglicher bautechnischer Optimierungskonzepte wurde ein 3D-Strömungsmodell erstellt. Mit diesem Modell, welches die natürliche Strömung in allen drei Raumdimensionen nachbildet, wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Vergleich mit Naturmessungen (Kalibrierung)
- Prognose der Strömungssituation bei unterschiedlichen Abflüssen
- Simulation der Zustromung aus dem Umgehungsgerinne
- Analyse von Lock- / Konkurrenzströmung
- Variantenstudium zur Optimierung der Leitströmung durch bauliche Maßnahmen



Längsschnitt durch den Saugschlauchbereich

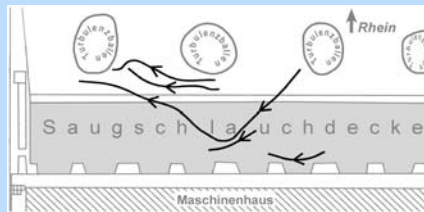
Naturuntersuchung

Im April 2006 wurden im Unterwasser des Krafthauses umfangreiche Naturmessungen durchgeführt, wobei folgende wesentliche Erkenntnisse hinsichtlich des grundsätzlichen Strömungsbildes gewonnen werden konnten:

- Die Strömung aus den Saugschläuchen erzeugt 4 starke Turbulenzballen an der Oberfläche.
- Diese Turbulenzballen initiieren eine in Richtung der Wehranlage gerichtete Strömung über der Saugschlauchdecke.
- Der Turbulenzballen an der rechten Außenwand trägt nur teilweise zu dieser Durchströmung bei. Der in Strömungsrichtung gesehen linke Turbulenzballen erzeugt ebenfalls keinen Eintrag auf die Saugschlauchdecke, der Eintrag erfolgt somit hauptsächlich über die zwei mittleren Turbulenzballen.
- Die gemessenen, tiefenabhängigen Strömungsgeschwindigkeiten über der Saugschlauchdecke liegen im Bereich von 0 - 0,7 m/s.



Bei der Naturmessung...



Dokumentiertes Strömungsbild

Modellgrundlagen

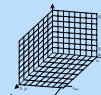
Zum Einsatz kam das Programm Flow3D der Firma FlowScience. Das Verfahren basiert auf den Erhaltungsgleichungen von Masse und Impuls, zur Bestimmung der freien Wasseroberfläche wird die Volume of Fluid (VOF)-Methode angewendet. Dabei wird eine zusätzliche Differentialgleichung gelöst, welche den Transport der Volumenfraktion F modelliert.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho u \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\rho v \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\rho w \right) = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\rho F \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho F u \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\rho F v \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\rho F w \right) = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\rho F \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho F u \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\rho F v \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\rho F w \right) = 0$$

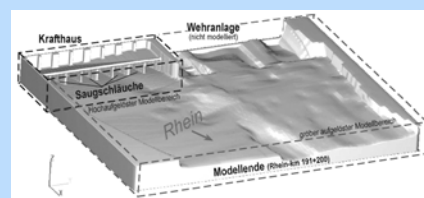
3D-Impulsgleichungen



Modellaufbau

Basierend auf Bauwerksplänen wurden hochgenaue dreidimensionale CAD-Daten des Saugschlauchs, der Trennmole sowie der unterstromigen Wand des Krafthauses erzeugt. Die Topographie der Rheinsohle wurde basierend auf Querprofilen im 10-Meter Abstand modelliert.

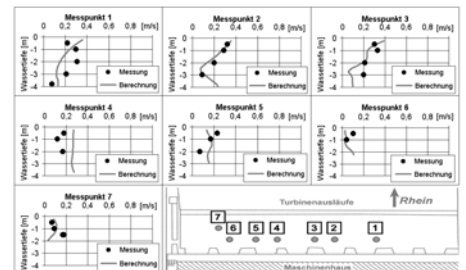
Das Berechnungsnetz des HN-Modells wurde in unterschiedlich aufgelöste Bereiche unterteilt. Der relevante Bereich der Saugschlauchaufläufe zwischen Außenwand und Trennmole bis ca. 40 m unterstrom des Krafthauses wurde mit Zellgrößen von 0,5 x 0,5 x 0,25 m aufgelöst.



Modellgeometrie des 3D-HN-Modells

Modellkalibrierung

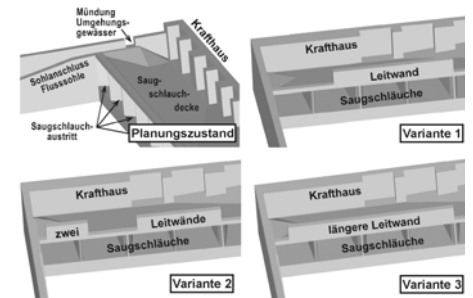
Die Kalibrierung des numerischen Modells erfolgte anhand der während des Naturversuchs aufgezeichneten Geschwindigkeitsmessungen sowie den Auswertungen der Tracerzugaugen und der Schwimmballanalysen.



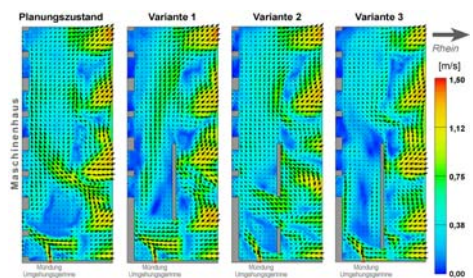
Vergleich von gemessenen und berechneten Strömungsgeschwindigkeiten über der Saugschlauchdecke

Variantenstudium

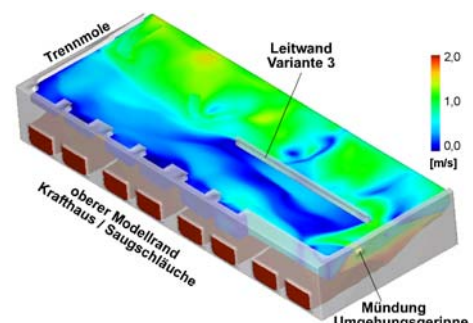
Unter Einsatz des kalibrierten Modells wurde der zu erwartende Strömungszustand unter Berücksichtigung des geplanten Höherstaus am KW Rheinfelden und des geplanten Umgehungsgerinnes in einem geometrischen Variantenstudium analysiert. Dabei konnten problematische Konkurrenzströmungen erkannt, die Strömung durch Leitwände auf der Saugschlauchdecke umgelenkt und somit die Leitströmung im relevanten Bereich auf der Saugschlauchdecke deutlich verbessert werden.



Bauwerksgeometrie mit Mündung des Umgehungsgerinnes sowie bauliche Veränderungen



Berechnete Strömungszustände über der Saugschlauchdecke (horizontale Schnitte)



Dreidimensionale Ansicht des berechneten Strömungszustands bei Variante 3