



Neubau Wehrkraftwerk Albruck-Dogern (RADAG)

Hydrodynamisch-numerische Modellierung

Clemens Stelzer, Mark Musall

Auftraggeber:

Rheinkraftwerk
Albruck-Dogern AG

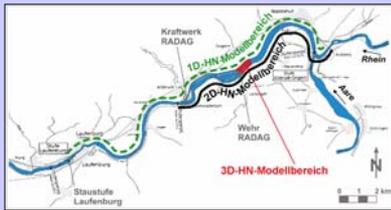
RADAG

Zielsetzung

Im Zuge der Neukonzessionierung sind vielschichtige hydraulische Fragestellungen zu untersuchen. Diese betreffen sowohl kleinräumige Bereiche um das neue Wehrkraftwerk als auch Maßnahmen, die die gesamte Stauhaltung betreffen. Im Bezug zu Gebietsgröße auf der einen und Zielgrößen auf der anderen Seite sind zur Bearbeitung unterschiedliche Verfahren zielführend.

→ Generelle Aufgabenstellungen

- 1D Untersuchungen zu Schwallwellenverhalten
- 2D Hydraulische Bewertung ökologischer Ersatzmaßnahmen
- 3D Optimierung der Zuströmung der Wehrkraftanlage



Untersuchungsgebiet und Modellbereiche

Stauhaltung RADAG

Die Stauhaltung Albruck-Dogern befindet sich südwestlich von Waldshut unterstrom des Zusammenflusses von Aare und Rhein. Das Kraftwerk ist eines von elf Laufwasserkraftwerken am Hochrhein, die auf der Strecke zwischen dem Bodensee und Basel das Gefälle und den Abfluss des Rheins zur Stromerzeugung nutzen. Die Wehranlage befindet sich auf Höhe der Gemeinde Dogern, während das bestehende Krafthaus am Ende des ca. 3,5 km langen Werkkanals in der Gemarkung der Gemeinde Albruck auf der rechten Rheinseite liegt.

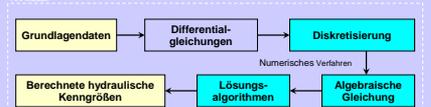
Im Zuge der Neukonzessionierung des in den 30er Jahren erbauten Laufwasserkraftwerks erfolgt die Planung des Neubaus eines zusätzlichen Wehrkraftwerks mit Erhöhung der Ausbauwassermerge der Gesamtanlage.



Luftbild von unterstrom

Wehranlage

3D – 2D – 1D



Die dreidimensionalen Navier-Stokes-Gleichungen beschreiben Fluidbewegungen exakt. Da sie jedoch nicht analytisch lösbar sind, werden diese Differentialgleichungen durch eine Diskretisierung in Stützstellen als Differenzgleichungen näherungsweise gelöst.

- Zeitliche Mittelung → Reynoldsgleichungen
- Ohne vertikale Beschleunigung → 3D-Flachwassergleichungen
- Tiefenmittelung → 2D-Flachwassergleichungen
- Laterale Mittelung → 1D-(Saint Venant)-Gleichungen

Dimension	Verteilungsart	Prinzip	Einzelelement	Lage im Raum
1D	punktuell	Hauptströmung	Punkte	
2D	flächig	ebene Strömung	z.B. Rechteck, Dreieck	
3D	räumlich	3D-Strömung	z.B. Quader	

Schematische Darstellung räumlicher Diskretisierungsmethoden

3D-HN-Modellierung

Einhaltung von **Reynoldsgleichungen (3D)**

Kontinuität (1x) → $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial (\rho w)}{\partial z} = 0$

und Impuls (3x) → $\rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 u + \rho g_x$
 $\rho \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \nabla^2 v + \rho g_y$
 $\rho \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \nabla^2 w + \rho g_z$

Untersuchung:

- Optimierung der dreidimensionalen Strömung im Zulaufbereich des geplanten Wehrkraftwerks

Verfahren: Flow 3D (Flow Science)

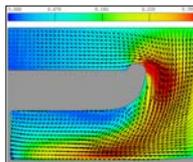
- Finite-Differenzen-Methode / Typ der Zeitdiskretisierung wählbar
- Fluidvolumenfunktion zur Bestimmung der freien Wasseroberfläche
- Regelmäßig strukturiertes Berechnungsnetz
- Turbulenzmodelle: k-ε oder Renormalization-Group-Ansatz (RNG)

Herangehensweise:

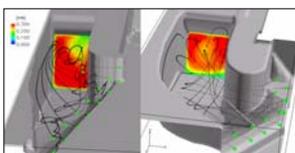
- Adaptive Modelle (grob/großräumig - fein/kleinräumig)

Ergebnisse:

- Nachweise der praktischen Einsatzfähigkeit durch Validierung über physikalische Modelle
- Sensitivitätsanalyse bezüglich Turbulenzmodellierung und numerischer Parameter



Ablosungen am Trempfeller im physikalischen Modell visualisiert (links) und 3D-berechnet (rechts)



Strombahnen im Entwurfsvorschlag (links) und Ausführungsvorschlag (rechts)

2D-HN-Modellierung

Einhaltung von **Tiefenmittelte Flachwassergleichungen (2D)**

Kontinuität (1x) → $\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial (hu)}{\partial x} + \frac{\partial (hv)}{\partial y} = 0$

und Impuls (2x) → $\rho h \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 u + \rho g_x$
 $\rho h \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \nabla^2 v + \rho g_y$

Untersuchung:

- Analyse ökologischer Ersatzmaßnahmen (Kiesbänke, Fischröhrenzonen und Inseln) zur Erhöhung der Strukturvielfalt
- Ermittlung der Randbedingungen der physikalischen und 3D-HN-Modelle
- Durchführung gewässermorphologischer Studien sowie Ermittlung der hydraulischen Verhältnisse im Zu- und Ablauf des Umgebungsgewässers

Verfahren: Flumen (Beffa Hydrodynamik)

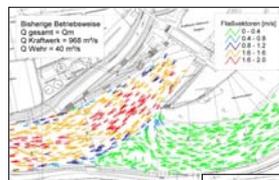
- Finite-Volumen-Verfahren / explizite Zeitdiskretisierung
- Unstrukturiertes Dreiecksgitter

Herangehensweise:

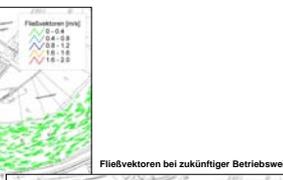
- Getrennte Modelle Oberwasser und Unterwasser der Wehranlage RADAG

Ergebnisse: (unter anderem)

- Vitalisierung des Flussabschnitts durch Ersatzmaßnahmen und Erhöhung des Durchflusses im Altrhein
- Minimaler Einfluss der ökologische Ersatzmaßnahmen auf die Wasserstände (Wasserstandsneutralität)



Fließvektoren bei bisheriger Betriebsweise



Fließvektoren bei zukünftiger Betriebsweise

1D-HN-Modellierung

Einhaltung von **Saint-Venant-Gleichungen (1D)**

Kontinuität (1x) → $\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial (hu)}{\partial x} = 0$

und Impuls (1x) → $\rho h \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho g_x - \tau_{\text{bottom}}$

Untersuchung:

- Ermittlung der Randbedingungen der 2D-HN-Modelle
- Aufhebung der Stauwirkung des Wehres (Schwallwelle)

Verfahren: Cascade/Carima (SOGREAH, Grenoble)

- Finite Differenzen-Verfahren / implizite Zeitdiskretisierung
- Lösung nach Preissmann-Schema

Herangehensweise:

- Gesamtmodell der Stauhaltungen Laufenburg und RADAG

Hybride Modellierung - Ausblick

Vorteile hybrider Vorgehensweise:

- Ermittlung von Randbedingungen detaillierterer Modelle
- Ausnutzung modellspezifischer Vorteile (physikalisch-numerisch, 1D-2D-3D)
- Paralleles Arbeiten möglich
- Zeit- und Kostenersparnis
- Gegenseitige Validierung



Physikalisches Modell (Blick von oberstrom)

Fazit:

- Numerische Modellierung stellt ein effektives und mächtiges Hilfsmittel der wasserbaulichen Planung dar
- Planverfahren ohne Einsatz numerischer Modelle sind inzwischen undenkbar
- Hybride Vorgehensweise unter Einsatz kombinierter Modellierungsarten ist optimal für komplexe wasserbauliche Fragestellungen