

Ein-/Auslaufbauwerke großer Pumpspeicherkraftwerke

Grundlegende Untersuchungen zur Funktionsweise

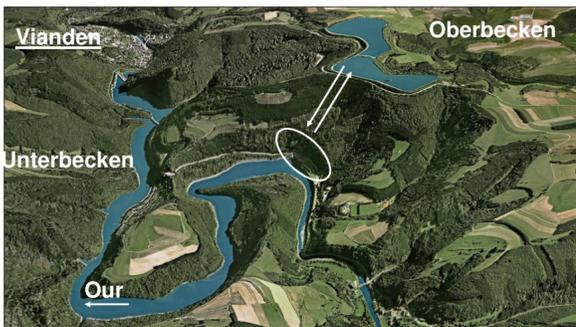
Fachliche Betreuung: o. Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. Franz Nestmann
 Bearbeitung: Dipl.-Ing. Thomas Mohringer

Das Forschungsprojekt

Pumpspeicherwerke:

Ein grundlegendes Problem moderner Energiewirtschaft, ist die Speicherung großer Energiemengen. Der Energieverbrauch im europaweiten Elektrizitätsnetz schwankt stark über den Tag und über das Jahr verteilt. Kalorische Kraftwerke (Atomkraftwerke, Kohlekraftwerke, etc.) können ihre Produktion nur bedingt bis gar nicht an den oszillierenden Bedarf anpassen. Außerdem gibt es in zunehmendem Maße auch Energiequellen mit nicht vorhersagbarer Produktion (Windkraftwerke, Solarenergie). Aus diesem Grund ist es notwendig, in Zeiten des geringen Stromverbrauchs (z.B. in der Nacht) Energie zu speichern, die dann bei großem Verbrauch, als Spitzenenergie, wieder ins Netz rückgespeist wird. Bis heute sind **Pumpspeicherkraftwerke** die einzige Möglichkeit, große Mengen elektrischer Energie mit akzeptablem Wirkungsgrad zu speichern ($\eta > 0,8$ bei modernen Anlagen). Für die Stabilisierung des Europäischen Stromnetzes ist die Abdeckung von Lastspitzen unbedingt notwendig.

Pumpspeicherwerke speichern Energie in dem sie Wasser aus einem tiefer gelegenen Unterbecken in ein höher gelegenes Oberbecken pumpen. Auf diese Weise wird die potentielle Energie des Wassers erhöht. Will man diese gespeicherte Energie zurück gewinnen, lässt man das Wasser vom Oberbecken in das Unterbecken fließen und dabei eine Turbine passieren, die die potentielle Energie wieder in kinetische Energie und dann in Elektrizität umwandelt.



Pumpspeicherkraftwerk Vianden in Luxemburg Quelle: Google Earth verändert

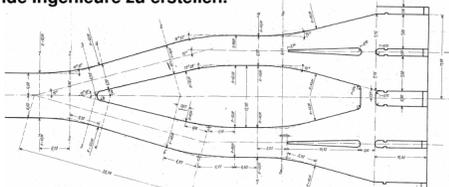
Ein-/Auslaufbauwerke:

Pumpspeicherkraftwerke bestehen aus einer Vielzahl unterschiedlicher Anlagenteile. Jeder dieser Teile trägt dazu bei, dass die Anlage viele Jahrzehnte effizient, mit geringen Verlusten läuft. Vor allem bei sehr großen Anlagen deren Leistung im Bereich von 1000 MW liegt kann eine Verbesserung des Wirkungsgrades um wenige zehntel Prozent schon die Energiemenge eines Mittelgroßen Wasserkraftwerkes bringen und so einen entscheidenden Teil zur Stabilität der europäischen Energiesituation beitragen.

Ein-/Auslaufbauwerke sind Strukturen, die im Unter- und Oberbecken eines Pumpspeicherkraftwerkes das Wasser entnehmen oder einleiten. Sie sind als Aufweitung des weiterführenden Stollens konstruiert und wirken bei der Entnahme als Konfuser (beschleunigen das Wasser allmählich) und beim Einleiten als Diffusor (Verzögern das Wasser allmählich).

Im Rahmen durchgeführter Modellversuche zur Erweiterung des Pumpspeicherwerkes Vianden in Luxemburg wurde festgestellt, dass es über die ideale Ausführung und die Form solcher Ein-/Auslaufbauwerke nur wenig Untersuchungen gibt. Vor allem die Diffusorwirkung der Bauwerke ist energietechnisch relevant, da der Diffusor eine so genannte Druckhöhenrückgewinnung erwirkt und somit bei richtiger Ausführung zu einem besseren Wirkungsgrad führt.

Aus diesem Grund wurde am Institut für Wasser und Gewässerentwicklung ein Forschungsprojekt ins Leben gerufen, welches sich zum Ziel gesetzt hat, ungeklärte Punkte am Design von Ein-/Auslaufbauwerken zu erforschen und einen Designratgeber für ausführende Ingenieure zu erstellen.



Ein-/Auslaufbauwerk für Maschinen 1-9 PSH-Vianden Quelle: SEO

Untersuchungsprogramm

Die Untersuchungen der Funktion von Ein-/Auslaufbauwerken von Pumpspeicherkraftwerken werden mittels eines **Versuchsstandes** durchgeführt. Der Versuchsstand ist variabel aufgebaut, sodass unterschiedliche Diffusor- und Bauwerksgeometrien in verkleinertem Maßstab eingebaut werden können. Die Messung von Drücken, Geschwindigkeiten und Energieverlusten soll Aufschluss über die Funktion unterschiedlicher Designkriterien bringen.

Alle Untersuchungen werden auch von **hydronumerischen 3D-Berechnungen** begleitet. Numerische Voruntersuchungen erleichtern ein zielgerichtetes Arbeiten am Versuchsstand. Darüber hinaus eröffnet die Numerik die Möglichkeit eines weiter reichenden Variantenstudiums.

Zur Verifizierung der erarbeiteten Daten von Versuchsstand und numerischen Berechnungen sollen schließlich vor Ort, bei einem Pumpspeicherkraftwerk **Geschwindigkeitsmessungen in der Natur** durchgeführt werden.

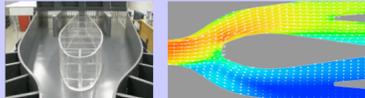
Messprogramm:

Abchnitt 1: Detailuntersuchungen

a) Untersuchung von Strömungen nach Verzugsstücken



b) Untersuchung der Auswirkung von Teilungspfeilern



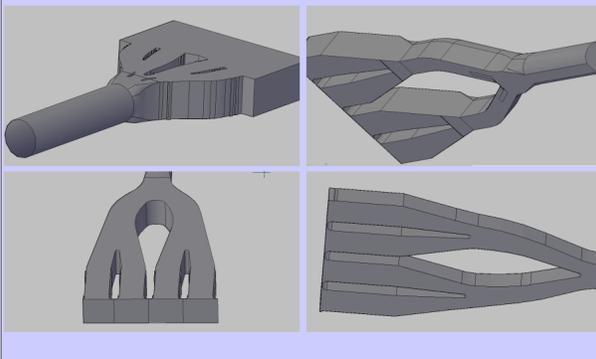
c) Untersuchung von Flügeln und Sonderformen



d) Untersuchung von 3D-Aufweitungen



Abchnitt 2: Vergleich unterschiedlicher Bauwerksgeometrien

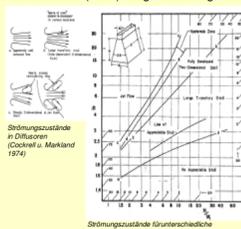


Diffusorströmung:

Im Turbinenbetrieb kann das Ein-/Auslaufbauwerk eines PSW als Diffusor betrachtet werden. Ein Diffusor hat die Aufgabe, einen mit hoher Geschwindigkeit ankommenden Wasserstrom durch Aufweitung des Querschnittes zu verlangsamen. Es wird ein Teil der kinetischen Energie des Wassers in potentielle Energie umgewandelt. Man nennt diesen Effekt Druckrückgewinnung. Funktioniert ein Diffusor gut, dann kommt es zu wenig Ablösseeffekten im Bauwerk und die Druckrückgewinnung ist groß.

In der Diffusortheorie wird als wichtigster Parameter für die Funktion des Diffusors der Öffnungswinkel 2θ genannt. Abhängig vom Öffnungswinkel 2θ wurden vier unterschiedliche Strömungszustände in Diffusoren erkannt. Die Darstellungen von Renau (1967) und Cockrell und Markland (1974) zeigen die folgenden Ablössezustände:

- Diffusorströmung ohne Ablösungen: Der Strömung liegt an den Außenwänden an und folgt deren Aufweitung.
- „large transitory stall“: Es treten leichte Ablösungen auf, die nicht stationär an einer Stelle stehen.
- „steady 2-dimensional stall“: Es tritt eine stationäre Ablösung an einer Seitenwand des Diffusors auf. Die Strömung kann auf die andere Seite gelenkt werden und bleibt dann dort stationär.
- Jetstrom: Ein Strahl tritt aus dem Eintrittsquerschnitt aus ohne an den Diffusorseitenwänden anzuliegen. Der Diffusor hat keine Wirksamkeit.



Versuchsstand

Der Versuchsstand zur Untersuchung unterschiedlicher Bauteile von Ein-/Auslaufbauwerken wurde variabel aufgebaut. Er besteht aus einer Vorrichtung zum Erzeugen eines gleichmäßigen Geschwindigkeitsprofils einem variablen Mittelteil und einem Unterbecken, an das unterschiedliche Diffusorgeometrien angeschlossen werden können. Hier sollen auf einander aufbauend erst Untersuchungen einzelner Elemente aus Ein-/Auslaufbauwerken untersucht werden. Im zweiten Schritt wird dann an ganzen Bauwerksgeometrien gemessen.

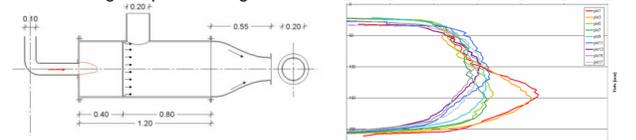


Versuchsstand

Erzeugen eines gleichmäßigen Geschwindigkeitsprofils:

Die Anströmung auf einen Diffusor ist von großer Bedeutung für dessen Funktion, darum wird am Versuchsstand in einer eigens dafür vorgesehenen Vorrichtung das Geschwindigkeitsprofil vergleichmäßig.

Vor einem Lochblech wird Druck aufgebaut, der ein gleichmäßiges Abströmen durch die Löcher erlaubt. Der Behälter wird durchströmt. Danach wird das Fluid in einem Konfuser wieder beschleunigt und ausgerichtet. Auf diese Weise soll auf kurzer Länge ein gleichmäßiges Geschwindigkeitsprofil erzeugt werden.

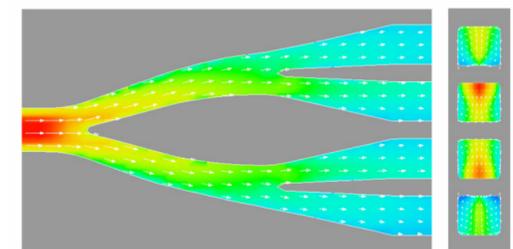


Längsschnitt durch den Gleichrichter Gemessene Geschwindigkeitsprofile

Hydronumerische 3D-Berechnung

Die numerischen Berechnungen sollen als Voruntersuchungen alle Messungen am Versuchsstand begleiten. Auf diese Weise können Ergebnisse vorabgeschätzt werden und ist es möglich am Versuchsstand effizienter zu Ergebnissen zu gelangen.

Die hydronumerischen 3D-Berechnungen werden mit dem Programm Flow-3D durchgeführt. Flow-3D löst die Transportgleichungen wahlweise nach der Finite-Differenzen- oder der Finite-Volumenmethode. Dabei wird das zu berechnende Modell in äquidistante, strukturierte Berechnungsnetze unterteilt.



Numerische Abschätzung der Strömungen in einem Ein-/Auslaufbauwerk

Naturmessungen

Zur Verifizierung der erlangten Erkenntnisse ist geplant, in der Natur Geschwindigkeitsmessungen am Auslauf eines Pumpspeicherkraftwerkes durchzuführen.

Hierfür wird das Ultraschallmessverfahren ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) verwendet. Dieses sendet von einem Schwimmkörper Ultraschallimpulse aus und misst anhand des Dopplereffektes 3D-Geschwindigkeitsprofile bis zur Sohle.



ADCP Messsonde und Trägerschwimmkörper