

## Publizierbarer Endbericht

### A) Projektdaten

<b>Titel:</b>	„Auswirkungen verschiedener Szenarien der Klimaänderung auf den österreichischen Abschnitt der Donau“
<b>Beauftragung:</b>	Mit Datum 08.02.2010 beauftragt der Klimafonds (in Form einer Direktvergabe – BMVIT) die SCHIG mbH mit der Förderabwicklung für das Studienprojekt der Firma Pöyry Energy GmbH.
<b>Projekteinreicher:</b>	Pöyry Energy GmbH
<b>Kontaktperson:</b>	Harald Kling Laaer-Berg-Straße 43 1100 Wien Tel. +43 50 313 - 0 E-Mail: harald.kling@poyry.com
<b>Fördersumme:</b>	EUR 102.000,--
<b>Projektstart &amp; -ende:</b>	01.06.2010 bis 30.06.2011

## B) Kurzfassung

<b>Synopsis:</b>	<p>Mit gegenständlicher Studie werden die Auswirkungen verschiedener Szenarien der Klimaänderung auf den österreichischen Abschnitt der Donau evaluiert.</p>
<b>Kurzbeschreibung:</b>	<p>In dieser Studie wurde unter Beiziehung einer sogenannten Ensemble Modellierung die zukünftige Abflusscharakteristik unter Klimaszenarien im oberen Donau-Einzugsgebiet bis Wien untersucht. Ein vom Klimawandel sehr wahrscheinlich stark betroffenes System sind die Oberflächengewässer. Von besonderem Interesse in Österreich ist dabei die Donau. Das Abflussgeschehen der Donau und ihrer Zubringer hat viele unmittelbare Auswirkungen auf den Lebens- und Wirtschaftsraum. Speziell für die Teilbereiche Wasserwirtschaft, Hochwasserschutz, Anthropogene Nutzungen (Energie und Verkehr – Schifffahrt) ist das Abflussgeschehen der Donau von vitalem Interesse.</p>
<b>Hintergrund und Zielsetzung:</b>	<p>Aufbauend auf einer früheren Studie von Pöyry (2009) ist das Ziel dieses Projekts, den Einfluss einer Klimaänderung auf das Abflussregime in der österreichischen Donau in einer vertiefenden Analyse zu untersuchen. Ein wichtiger Punkt ist dabei die Verwendung einer möglichst großen Zahl der aktuellsten Szenarien-Simulationen mit Regionalen Klimamodellen, um die Bandbreite der möglichen Veränderung der zukünftigen Abfluss-Verhältnisse zu berücksichtigen. Dies erlaubt Unsicherheiten in den Auswirkungen des Klimawandels auf z.B. die Energieerzeugung oder die Schifffahrt auf der Donau abzuschätzen.</p>
<b>Arbeitspakete:</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Beschreibung des Wasserbilanz-Modells</li> <li>2. Datengrundlage (historisch und Klimaszenarien)</li> <li>3. Modell-Kalibrierung</li> <li>4. historische Simulation</li> <li>5. Simulation unter Klimaszenarien</li> <li>6. Diskussion der Auswirkungen</li> <li>7. Schlussfolgerungen</li> </ol>
<b>Methodik:</b>	<p>Zur genaueren Abschätzung der Auswirkungen möglicher Klimaänderungsszenarien auf das Abflussregime der österreichischen Donau soll für das Donau-Einzugsgebiet ein Wasserbilanzmodell erstellt werden. Dieses soll zunächst anhand historischer Zeitreihen kalibriert und anschließend für verschiedene Klimaänderungsszenarien angewendet werden.</p>
<b>Ergebnisse:</b>	<p>Diese Studie ermöglicht eine Reihe von Schlussfolgerungen auf Basis der historischen Simulation, der Auswertung von Klimamodell-Daten, der Simulation unter Klimaszenarien und der Abschätzung der Auswirkungen der Klimaänderung.</p>

## C) Langfassung

### 1 Executive Summary

In dieser Studie wird unter Beiziehung einer sogenannten Ensemble Modellierung, die zukünftige Abflusscharakteristik unter Klimaszenarien im oberen Donau-Einzugsgebiet bis Wien (101810 km<sup>2</sup>) untersucht. Dazu wird der Abfluss mit einem konzeptionellen, halb-verteilten, monatlichen Wasserbilanz-Modell mit Niederschlags- und Temperaturdaten simuliert. Der Einfluss von Gletschern und großen künstlichen Speichern ist berücksichtigt. Die Evaluierung der historischen Simulation von 1887 bis 2007 an der Donau und den wichtigsten Zubringern zeigt die Eignung des Modells zur Abflusssimulation auch in ungewöhnlich warmen, kalten, feuchten oder trockenen Jahren. Eine kontinuierliche Abflusssimulation bis zum Jahr 2100 erfolgt für ein mittleres Emissionsszenario (A1B) unter Verwendung von Klimadaten aus dem ENSEMBLES Projekt. Insgesamt stehen 23 Klimaprojektionen mit Regionalen Klimamodellen - welche von unterschiedlichen Globalen Klimamodellen angetrieben werden - zur Verfügung. Vor allem im alpinen Raum ist eine Fehlerkorrektur der Niederschlags- und Temperaturdaten unumgänglich. Die Ensemble Modellierung des zukünftigen Abflusses zeigt die große Bandbreite der möglichen (1) Verflachung der Saisonalität aufgrund von veränderten Schneeprozessen, (2) Abnahme des mittleren Jahresabflusses wegen größerer Verdunstung und (3) Verstärkung der Niederwasser-Situation am Ende des Sommers. Diese signifikanten Veränderungen vergrößern sich gegen Ende des 21. Jahrhunderts. Dies hat wichtige langfristige Auswirkungen auf Wasserkraft und Donauschifffahrt.

### 2 Hintergrund und Zielsetzung

Die signifikante Zunahme der globalen Temperatur in den letzten Jahrzehnten und die für das 21. Jahrhundert erwarteten noch stärkeren Klimaänderungen haben eine globale Diskussion über die möglichen Auswirkungen eines veränderten Klimas auf verschiedene Bereiche der Umwelt und der menschlichen Gesellschaft ausgelöst. Offen ist insbesondere die Frage, in welchen Gebieten sich diese Klimaänderung in welchem Zeitraum und in welchen Ausprägungen auswirken wird.

Ein vom Klimawandel sehr wahrscheinlich stark betroffenes System sind die Oberflächengewässer. Von besonderem Interesse in Österreich ist dabei die Donau. Das Abflussgeschehen der Donau und ihrer Zubringer hat viele unmittelbare Auswirkungen auf den Lebens- und Wirtschaftsraum. Speziell für die Teilbereiche

- Wasserwirtschaft (Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung)
- Hochwasserschutz
- Anthropogene Nutzungen (Energie und Verkehr – Schifffahrt)

ist das Abflussgeschehen der Donau von vitalem Interesse.

Aufbauend auf einer früheren Studie von Pöyry (2009) ist das Ziel dieses Projekts, den Einfluss einer Klimaänderung auf das Abflussregime in der österreichischen Donau in einer vertiefenden Analyse zu untersuchen. Ein wichtiger Punkt ist dabei die Verwendung einer möglichst großen Zahl der aktuellsten Szenarien-Simulationen mit Regionalen Klimamodellen, um die Bandbreite der möglichen Veränderung der zukünftigen Abfluss-Verhältnisse zu berücksichtigen. Dies erlaubt Unsicherheiten in den Auswirkungen des Klimawandels auf z.B. die Energieerzeugung oder die Schifffahrt auf der Donau abzuschätzen.

### 3 Projektinhalte, Methodik und Deliverables

In dieser Studie wird für das gesamte Einzugsgebiet der Donau flussauf von Wien (101810 km<sup>2</sup>) mit einem Niederschlags-Abfluss Modell die Wasserbilanz und damit auch die Abflussbildung simuliert. Die grundlegende Wasserbilanzgleichung zeigt die Beziehung zwischen Niederschlag und Abfluss:

Niederschlag = Abflusshöhe + Verdunstung + Speicheränderung

Der Vorteil einer Modellierung der Wasserbilanz liegt darin, dass die wichtigsten kausalen Zusammenhänge zwischen den Komponenten des Wasserkreislaufes (Niederschlag, Abfluss, Verdunstung, Speicheränderung) und von Subkomponenten (Schnee, Bodenfeuchte, Grundwasser, etc.) berücksichtigt werden. Dies ermöglicht einerseits Ursachen von Trends im Abflussverhalten der Donau zu bestimmen und andererseits ist auch die Simulation von Klimaszenarien möglich. Solche Klimaszenarien liegen von einer Reihe verschiedener Globaler und Regionaler Klimamodelle vor. Eine umfassende Evaluierung und gegebenenfalls Korrektur dieser Daten ist erforderlich, da ansonsten die systematischen Fehler in den Klimadaten direkt in die Abfluss-Simulation übernommen werden.

### 4 Arbeits- und Zeitplan

- Beschreibung des Wasserbilanz Modells
- Datengrundlage (historisch und Klimaszenarien)
- Modell-Kalibrierung
- Historische Simulation
- Simulation unter Klimaszenarien
- Diskussion der Auswirkungen
- Schlussfolgerungen

Es werden ein Zwischenbericht (nach ca. 6 Monaten), sowie ein Endbericht (nach max. 12 Monaten) vorgelegt. Die Projektlaufzeit ist mit 01.06.2010 bis 30.06.2011 geregelt.

### 5 Ergebnisse

Diese Studie ermöglicht eine Reihe von Schlussfolgerungen auf Basis der historischen Simulation, der Auswertung von Klimamodell-Daten, der Simulation unter Klimaszenarien und der Abschätzung der Auswirkungen der Klimaänderung.

#### **Schlussfolgerungen auf Basis der historischen Simulation mit beobachteten Daten der Periode 1887**

##### **bis 2007:**

- Der beobachtete Abfluss hat ab ca. 1980 im Sommer leicht abgenommen. Die Jahreswerte zeigen aber keinen Trend. Allerdings kann eine saisonale Verschiebung im saisonalen Abfluss im 20. Jahrhundert festgestellt werden.
- Der beobachtete Niederschlag zeigt keinen klaren Trend.
- Die beobachtete Temperatur zeigt eine deutliche Erwärmung. Seit 1980 hat die Temperatur um +1°C zugenommen. Seit 1960 beträgt dieser Anstieg +1.5°C. Insgesamt beträgt die Erwärmung von 1887 bis 2007 in etwa +2°C.
- Die berechnete potentielle Verdunstung zeigt ähnliche Trends wie die Temperatur. Allerdings

ist auch der Einfluss der berechneten Globalstrahlung – mit Höchstwerten um 1890, 1950 und 2000 – bemerkbar.

- Die Simulation des Abflusses mit dem erstellten Wasserbilanzmodell ergibt eine hohe Modellgüte. In den alpinen Teilgebieten ist die Modellgüte höher als in tief gelegenen Teilgebieten.
- Eine Evaluierung der Abfluss-Simulation in unterschiedlichen Perioden innerhalb von 1893 bis 2007 zeigt eine gute Übereinstimmung mit beobachteten Werten – auch z.B. in ungewöhnlich warmen Jahren. Das Modell eignet sich somit zur Simulation unter einer Klima-Erwärmung und die Unsicherheiten aufgrund des Modells werden als gering eingeschätzt.
- Der beobachtete starke Rückgang der Gletscher ist in der Simulation gut abgebildet. Allerdings ist der Einfluss der Gletscher auf den Abfluss in der Donau nicht sehr bedeutend.
- Der Einfluss der Speicher zur Erzeugung von z.B. Wasserkraft hat vor allem im Winter einen signifikanten Einfluss auf den Niederwasserabfluss im Inn. Dieser Einfluss ist in der Donau noch schwach bemerkbar.

### **Schlussfolgerungen nach Auswertung der Daten von insgesamt 23 Regionalen Klimamodellen (RCMs) in der Periode 1951 bis 2100:**

- Die Niederschlags- und Temperatur-Daten aus RCMs weichen in historischen Perioden teilweise stark von beobachteten Werten ab. Daher ist eine Korrektur dieser Daten unumgänglich. Zwei RCMs mussten aufgrund von zu großen historischen Abweichungen ausgeschieden werden.
- Die Temperatur-Daten aus RCMs zeigen eine kontinuierliche Zunahme der Temperatur zwischen +2 °C und +5 °C bis zum Jahr 2100. Der von 1951 bis 2007 historisch beobachtete Temperaturanstieg liegt im obersten Bereich der von den RCMs simulierten Temperaturen.
- Die Veränderungen im zukünftigen Niederschlag variieren stark zwischen den einzelnen RCMs - sowohl Zunahme als auch Abnahme wird prognostiziert. Erst in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts zeigen die RCMs eine generelle Tendenz zu verringerten Sommerniederschlägen und eine Zunahme in den drei anderen Jahreszeiten.
- Regional ergeben sich leicht differenzierte Trends in den RCM Prognosen. Die Temperaturzunahme ist im alpinen Raum größer als im Flachland. Auch beim Niederschlag sind räumliche Unterschiede im saisonalen Trend erkennbar.

### **Schlussfolgerungen auf Basis der Simulation unter Klimaszenarien bis zum Jahr 2100:**

- Eine Sensitivitäts-Analyse zeigt, dass Unsicherheiten im zukünftigen Niederschlag wesentlich sensitiver sind als Unsicherheiten in der Temperatur oder Globalstrahlung.
- Ein Vergleich der verwendeten, eher simplen Korrektur-Methode der RCM-Daten (Delta-Change) mit einer aufwendigeren Methode (Quantile Mapping) ergibt sehr ähnliche Ergebnisse. Die verwendete Methode erscheint daher als zulässig.
- Die Abfluss-Simulationen variieren mit verschiedenen RCMs stark. Die Hauptursache sind Unterschiede im Niederschlag. Dies verdeutlicht, dass bei Verwendung von nur einem einzigen RCM das Endergebnis vom Zufall beeinflusst wäre. Deswegen wird in dieser Studie die ganze Bandbreite möglicher Veränderungen im Abfluss abgeschätzt.
- Im Vergleich zur Referenzperiode 1961-1990 ergibt der Median aller Simulationen mit RCMs eine Abnahme des mittleren Jahresabflusses von -5 % für 2021-2050. In der Periode 2071-2100 liegt der Median bei -13 % - ein Viertel aller RCMs zeigt Abnahme von mehr als -25 %.
- Die saisonale Auswertung im Abfluss zeigt in zukünftigen Perioden signifikante Veränderungen, die in der Periode 2071-2100 besonders stark ausgeprägt sind. Es tritt eine Verflachung der Saisonalität ein, mit einem früheren Einsetzen der Schneeschmelze.

Besonders stark nehmen die Abflüsse im Sommer ab. Im Frühling und Herbst ist die Abnahme weniger stark – bei einzelnen RCMs wird auch Zunahme simuliert. Im Winter ist die Zahl der Simulationen mit Abnahme oder Zunahme im Abfluss ausgeglichen.

- Für die Abfluss-Dauerlinie ergeben sich weniger starke Veränderungen als in der Saisonalität. 2021-2050 ist mit keiner wesentlichen Veränderung zu rechnen. Für 2071-2100 ergibt sich eine Verschiebung der Dauerlinie zu niedrigeren Werten.
- Um das Jahr 2050 halbiert sich das Gletschervolumen im Vergleich zum Beginn des 21. Jahrhunderts. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts werden die meisten Gletscher verschwunden sein. Dieser starke Rückgang der Gletscher ist aber für den Abfluss in der Donau selbst in besonders trockenen, heißen Monaten von geringer Bedeutung.

### **Auswirkungen des Klimawandels:**

- Generell sind die Auswirkungen in der Periode 2021-2050 noch eher gering. In der Periode 2071-2100 werden die Auswirkungen aber signifikant – hier entspricht der mittlere saisonale Abfluss in etwa den historisch trockensten Jahren.
- Für die Schifffahrt ist in der Periode 2071-2100 mit Beeinträchtigungen zu rechnen. Der Median aller Simulationen ergibt eine Unterschreitungsdauer des historischen Regulierungsniederwassers von einem Monat. In einem Viertel aller Simulationen beträgt die Unterschreitungsdauer sogar mehr als 2 ½ Monate.
- Die Verflachung der Saisonalität bringt keine Vorteile für die Wasserkraft an der Donau, das insgesamt der Abfluss abnimmt. Für die Periode 2021-2050 ist ein leichter Rückgang von -4 % zu erwarten. Dieser Rückgang wird für 2071-2100 mit -12 % signifikant – und beträgt in einem Viertel aller Simulation mehr als -23 %.
- Aussagen über die Gefährdung durch Donau-Hochwässer sind nur bedingt möglich. Vermutlich wird sich die Hochwassersituation im Sommer entspannen und im Winter verschärfen. Nach wie vor werden die größten Hochwässer in der warmen Jahreszeit auftreten.

Durch die Verwendung einer großen Anzahl der aktuellsten regionalen Klimaszenarien zeigt diese Studie die Bandbreite der möglichen Veränderung im Abfluss, der Wasserbilanz und der Auswirkungen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts auf. Alle regionalen Klimaszenarien beruhen aber auf dem selben „mittleren“ Emissionsszenario, das eventuell zu optimistisch ist. Bei einer zukünftig noch stärkeren Temperatur-Erwärmung wären auch die Veränderungen im Abfluss und die Auswirkungen größer.

*Diese Projektbeschreibung wurde von der Fördernehmerin/dem Fördernehmer erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte übernimmt der Klima- und Energiefonds keine Haftung.*