

Umweltforschungsplan  
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2005

Förderkennzeichen (UFOPLAN) 205 21 200

**Impacts of climate change on water resources - adaptation strategies for  
Europe**

**Deutsche Zusammenfassung**

Anna Leipprand (Ecologic)  
Dr. Susanne Kadner (PIK)  
Thomas Dworak (Ecologic)  
Dr. Fred Hattermann (PIK)  
Dr. Joachim Post (PIK)  
Dr. Valentina Krysanova (PIK)  
Magnus Benzie (Ecologic)  
Maria Berglund (Ecologic)

Ecologic – Institute for International and European Environmental Policy  
Potsdam-Institut for Climate Impact Research (PIK)

Commissioned by the German Federal Environment Agency

March 2008

Dieses Dokument stellt die Zusammenfassung der Ergebnisse des Forschungsprojektes “Impacts of climate change on water resources – adaptation strategies for Europe” vor, das von Ecologic und dem Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeführt wurde. Der vollständige Bericht ist auf der Website des Umweltbundesamtes erhältlich.

# Inhaltsverzeichnis

## EXECUTIVE SUMMARY

### 1 INTRODUCTION

- 1.1 Background and objectives
- 1.2 Structure and scope of the report

### 2 METHODOLOGY AND APPROACH

### 3 CLIMATE CHANGE AND ITS IMPACT ON WATER RESOURCES

- 3.1 Trends in climate and climate scenarios for Europe and its regions
  - 3.1.1 *Observed trends in climatic components*
  - 3.1.2 *Climate scenarios and anticipated future trends*
- 3.2 Climate change impacts on water resources for Europe and its regions
  - 3.2.1 *Observed trends in water resources and extreme events*
  - 3.2.2 *Impacts on water balance components*
  - 3.2.3 *Impacts on extreme events (floods and droughts)*
  - 3.2.4 *Impacts on coastal systems*
- 3.3 Likelihood of abrupt climate change and possible impacts
  - 3.3.1 *Mechanisms of abrupt climate change*
  - 3.3.2 *Likelihood of abrupt climate change*
  - 3.3.3 *Expected impacts*
- 3.4 Identification of key challenges and water related sensitivities
- 3.5 Awareness of impacts in Europe

### 4 CLIMATE CHANGE AND WATER RESOURCES: REGIONAL ASSESSMENT

- 4.1 Case Study 1: Northern Europe: Sweden
  - 4.1.1 *Observations*
  - 4.1.2 *Projections*
  - 4.1.3 *Summary and conclusions*
- 4.2 Case study 2: Western Europe: United Kingdom
  - 4.2.1 *Observations*
  - 4.2.2 *Projections*
  - 4.2.3 *Summary and conclusions*
- 4.3 Case study 3: Central Europe: Germany
  - 4.3.1 *Observations*
  - 4.3.2 *Projections*
  - 4.3.3 *Summary and conclusions*
- 4.4 Case Study 4: Eastern Europe: Hungary
  - 4.4.1 *Observations*
  - 4.4.2 *Projections*
  - 4.4.3 *Summary and conclusions*
- 4.5 Case study 5: South-western Europe: Spain
  - 4.5.1 *Observations*
  - 4.5.2 *Projections*
  - 4.5.3 *Summary and conclusions*
- 4.6 Case Study 6: South-eastern Europe: Greece
  - 4.6.1 *Observations*
  - 4.6.2 *Projections*

4.6.3 *Summary and conclusions*

## **5 VULNERABILITY IN EUROPE**

### 5.1 Vulnerability of focus sectors

5.1.1 *Water resources management*

5.1.2 *Water supply and sanitation*

5.1.3 *Agriculture*

5.1.4 *Electricity*

5.1.5 *Inland waterway transport*

5.1.6 *Tourism*

### 5.2 Biodiversity

### 5.3 Human Health

### 5.4 Vulnerability assessment of European countries

## **6 ADAPTATION: OPTIONS AND EXAMPLES**

### 6.1 Outline of adaptation measures for focus sectors

6.1.1 *Water resources management*

6.1.2 *Supply and Sanitation*

6.1.3 *Agriculture*

6.1.4 *Energy*

6.1.5 *Inland waterway transport*

6.1.6 *Tourism*

### 6.2 Spatial planning and adaptation

### 6.3 The role of insurance

### 6.4 Overview of adaptation measures taken by European countries

## **7 ADAPTATION: POLICY ACTION AT EUROPEAN LEVEL**

### 7.1 Overarching policies and programmes

7.1.1 *The European Climate Change Programme and the Green Paper on Adaptation*

7.1.2 *The Environmental Action Programme*

7.1.3 *Science and Technology*

7.1.4 *Public Participation*

7.1.5 *EU funding of adaptation measures*

### 7.2 Relevant international activities and processes

### 7.3 EU policies related to focus sectors

7.3.1 *Water policy*

7.3.2 *Agricultural policy*

7.3.3 *Energy policy*

7.3.4 *Policy on inland waterway transport*

7.3.5 *Tourism policy*

### 7.4 Adapting the management of water in Europe – a cross-sectoral perspective

## **8 CONCLUSIONS: BUILDING ADAPTATION STRATEGIES**

## **REFERENCES**

## **ANNEX: ADAPTATING WATER MANAGEMENT TO CLIMATE CHANGE - INITIATIVES IN EUROPE**

## **Deutsche Zusammenfassung**

Der vorliegende Forschungsbericht liefert eine Synthese des wissenschaftlichen Sachstandes zum Klimawandel in Europa und dessen Auswirkungen auf Wasserressourcen und auf das Auftreten von Extremereignissen wie Hochwasser und Dürren. Beobachtete und für die Zukunft projizierte Änderungen werden auf regionaler Ebene im Detail analysiert. Darauf aufbauend werden die Herausforderungen betrachtet, die sich aus diesen Änderungen für Europäische Gesellschaften ergeben, und es werden Optionen für die Anpassung im Kontext Europäischer Politikgestaltung vorgestellt. Der Bericht ist das Ergebnis einer gemeinsamen Forschungsarbeit von Ecologic und des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung in den Jahren 2006 und 2007. Das Forschungsvorhaben wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes im Rahmen des Umweltforschungsplanes – Förderkennzeichen 205 21 200 erstellt und mit Bundesmitteln finanziert.

### **Klimawandel und Auswirkungen auf den Wasserhaushalt in Europa**

Über die letzten 100 Jahre ist ein globaler Klimawandel zu beobachten, welcher sich durch Änderungen in Temperatur, Niederschlag und Strahlungsbilanz auf den regionalen Wasserhaushalt auswirkt. Aufgrund der unterschiedlichen Zirkulationsmuster und Orographie können die Trends für die verschiedenen Regionen in Europa allerdings sehr unterschiedlich ausfallen.

Das alle Studien übergreifende Ergebnis in Bezug auf die zukünftige Klimaentwicklung lautet, dass sich trotz der bestehenden Unsicherheiten über die Stärke des Klimaänderungssignals der allgemeine Klimaänderungstrend fortsetzen oder verstärken wird, wobei wiederum regionale Ausprägungen eine Rolle spielen.

Die Folgen für die europäische Wasserwirtschaft können je nach Region und Sektor schwerwiegend sein und sollten im Sinne eines nachhaltigen Ressourcenmanagements in der wasserwirtschaftlichen Planung Berücksichtigung finden.

### **Beobachtete Trends**

Die Temperatur ist in Europa im Lauf des vergangenen Jahrhunderts um etwa 0,8 bis 0,95°C angestiegen. Der jährliche Niederschlag über Nordeuropa hat um 10 bis 40% zugenommen, während im mediterranen Raum eine Abnahme um 20% zu verzeichnen war. Mehr extreme Regenereignisse werden beobachtet; dabei nimmt die mittlere Regenmenge pro nassem Wintertag auch in Regionen zu, in denen insgesamt der Niederschlag abnimmt. Eine Häufung von Hitzeperioden ist ebenfalls zu beobachten.

Es lässt sich bereits nachweisen, dass diese Klimaänderungen mit Änderungen in den Wasserressourcen und in der Häufigkeit extremer Ereignisse einhergehen. Der Abfluss von Flüssen hat in vielen südeuropäischen Einzugsgebieten deutlich ab- und in manchen osteuropäischen Gebieten zugenommen. In Mitteleuropa wurden keine signifikanten Änderungen beobachtet. Die meisten Messstationen in Mitteleuropa, Großbritannien und Südkandinavien melden eine Zunahme langer Trockenperioden im Sommer, lange Trockenzeiten im Winter nehmen in Südeuropa zu. Die Gletscher in acht von neun europäischen Gletscherregionen schmelzen ab. Im Lauf der letzten zwei

Jahrhunderte ist der Meeresspiegel der Ostsee signifikant angestiegen, während für das Mittelmeer ein komplexeres Phänomen beobachtet wurde: ein Anstieg an manchen Messstellen bis zu einem Sinken an anderen. Studien für Finnland und die Schweiz zeigen einen langfristigen Trend zu einer Verkürzung der Perioden, in denen Seen zugefroren sind.

### **Modellprojektionen**

Bis 2100 sagen Modellrechnungen für Europa einen weiteren Anstieg der Temperaturen um 1 bis 5,5°C voraus, wobei Unterschiede im Grad der Erwärmung zwischen Regionen und Jahreszeiten bestehen. Für den größten Teil Europas wird eine Zunahme des Winterniederschlages erwartet; eine generelle Abnahme wird für den Sommerniederschlag im südlichen, westlichen und zentralen Europa angenommen. Extreme Tagesniederschläge werden vermutlich weiterhin zunehmen, ebenso die Häufigkeit von Hitzewellen und Starkregenereignissen. Die Häufigkeit von Dürren wird vor allem in Mittel- und Südeuropa zunehmen.

Wie sich die klimatischen Änderungen auf das Abflussregime der Flüsse auswirken wird, ist unsicher. In den nördlichen Breiten wird der Abfluss im Winter vermutlich zu- und der Abfluss im Frühjahr abnehmen. Änderungen in der jahreszeitlichen Abflussdynamik können durch den Einfluss steigender Temperaturen auf die Dynamik der Schneeschmelze verursacht werden. Höchstabflüsse könnten dadurch um bis zu zwei Monate früher im Jahr stattfinden, wodurch das Auftreten von Hochwasserereignissen sich vom Frühjahr hin zum Winter verschieben könnte. Generell wird angenommen, dass sich das Hochwasserrisiko wahrscheinlich erhöhen wird, wobei allerdings Hochwasserereignisse, die durch Schneeschmelze und Eisstau hervorgerufen werden, zurückgehen werden.

Für Dürren und Hitzewellen wird von Modellsimulationen unter höheren Treibhausgas-konzentrationen ebenfalls eine Zunahme vorhergesagt. Die Szenarioergebnisse stimmen generell darin überein, dass die Wasserverfügbarkeit insgesamt in Nord- und Nordwesteuropa zunehmen, in Süd- und Südosteuropa aber abnehmen wird. Die Wasserknappheit in Regionen, die bereits heute am meisten davon betroffen sind, wird sich somit weiter verschärfen.

Nach Schätzungen des IPCC könnte bereits der durch die thermische Ausdehnung des Wassers verursachte Meeresspiegelanstieg an den Europäischen Küsten bis 2050 zwischen 13 und 68 cm betragen, allerdings mit großen regionalen Unterschieden. Überflutungen von Küstengebieten durch einen Anstieg des Meeresspiegels um einen Meter würden 13 Millionen Menschen in fünf Europäischen Ländern betreffen.

Der Stand der Forschung zu den **regionalen Auswirkungen** des Klimawandels auf Wasserressourcen und Extremereignisse ist in Kapitel 4 zusammengefasst. Außerdem wurden die regionalen Klimafolgen anhand von 6 repräsentativen Fallstudien im Detail ausgearbeitet. Die Ergebnisse zeigen, dass vor allem Süd- und Südosteuropa bereits in naher Zukunft (2020) unter verschärfter Wasserknappheit und Trockenheit im Sommer leiden. Bereits um das Jahr 2030 würde Spanien in mehreren großen Einzugsgebieten einen Rückgang der Wasserressourcen um 4-14% erleben und im Jahr 2080 könnte zwischen 14 und 38% der mediterranen Bevölkerung in Einzugsgebieten mit erhöhtem Wasserstress leben. Zudem wird erwartet, dass sich die Dauer von Dürreperioden verändern wird. In Griechenland könnte die

Wiederkehrperiode einer 100-Jahr Dürre gegen Ende des Jahrhunderts beispielsweise auf 10-40 Jahre zurückgehen. Gleichzeitig würden aber auch mitteleuropäische Länder wie Ungarn von abnehmenden Sommerniederschlägen betroffen sein, mit den entsprechenden Auswirkungen auf Ökosysteme und Landwirtschaft. Für Osteuropa (Winter) und Nordeuropa (Winter und Frühjahr) kann ein steigendes Hochwasserrisiko als die größte Bedrohung angenommen werden. In Schweden gefährdet beispielsweise das durch den Klimawandel jahreszeitlich veränderte Auftreten von Hochwässern die Sicherheit von Dämmen. Im Kontext dieser Ausführungen sollte allerdings angemerkt werden, dass die räumliche Auflösung der treibenden Klimamodelle die Analyse des zukünftigen Hochwasserrisikos auf der Ebene der Flusseinzugsgebiete entscheidend beeinflusst, weshalb möglichst auf regionale Studien zurückgegriffen wurde. Projektionen für Westeuropa weisen eine größere Bandbreite auf und zeigen sowohl mehr Hochwasserereignisse im Winter als auch häufigere Dürren (bzw. heiße Tage) im Sommer. Während sich Deutschland zukünftig auf häufigere Überschwemmungen im Rheingebiet vor allem im Winter einstellen muss, ist für die Sommermonate im Durchschnitt ein Rückgang in den Abflüssen zu erwarten. Im Osten des Landes, im Bereich der Elbe, muss desweiteren mit einer Abnahme der Wasserverfügbarkeit und damit verbunden der Wasserqualität gerechnet werden. In den Bergregionen, vor allem den Alpen, wird sich der Verlust von Schnee und Eis weiter fortsetzen und mit großer Wahrscheinlichkeit beschleunigen. Aufgrund der damit verbundenen, früher einsetzenden Schneeschmelze könnten die Alpen in Zukunft daher ihre Funktion als Wasserreservoir für die trockenen Sommermonate verlieren. Küstengebiete werden mit den Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs zu kämpfen haben, der sich vor allem durch häufigere und intensivere Überschwemmungen bemerkbar machen wird.

### **Herausforderungen und Optionen für die Anpassung**

Wie schwerwiegend Änderungen im Klima, im Wasserhaushalt und im Hochwasserrisiko für menschliche Gesellschaften sind, hängt von deren Vulnerabilität ab. Eine Analyse der Vulnerabilität einzelner Sektoren legt nahe, dass auch in Europa Anpassungsmaßnahmen getroffen werden sollten, die die Schadensanfälligkeit gegenüber klimabedingten Änderungen im Wasserhaushalt verringern. Neben der klassischen Wasserwirtschaft, die die Wasserver- und Entsorgung sowie den Hochwasserschutz unter veränderten Bedingungen sicherstellen muss, werden auch andere wirtschaftliche Sektoren von den klimabedingten Änderungen im Wasserhaushalt betroffen sein. Beispielsweise wird die Bewässerungslandwirtschaft im mediterranen Raum unter einer weiteren Verknappung des Wasserdargebots leiden, während die Landwirtschaft in nördlicheren Regionen vom Klimawandel profitieren kann. Ebenso sind die Elektrizitätswirtschaft, die Binnenschifffahrt und die Tourismusbranche in hohem Maße abhängig von den Wasserressourcen und somit anfällig für Änderungen.

Der Bericht stellt die Vulnerabilität gegenüber den Folgen des Klimawandels für einzelne Sektoren dar und gibt einen Überblick über mögliche Anpassungsmaßnahmen auf der operativen Ebene. Dabei werden mögliche Interaktionen zwischen Maßnahmen in verschiedenen Sektoren berücksichtigt. In einem weiteren Schritt werden die Rahmenbedingungen dargestellt, die derzeit durch europäische Politiken gesteckt werden. In diesem Zusammenhang werden einzelne

sektorale Politikfelder ebenso diskutiert wie übergreifende umweltpolitische Programme, Finanzierungsinstrumente und Forschungsförderung. Es wird jeweils untersucht, welche Anknüpfungspunkte für Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel bestehen.

Eine Vielzahl von Möglichkeiten für die Anpassung sind bekannt, allerdings ist die Umsetzung dieser Maßnahmen innerhalb der EU bisher begrenzt. Nur wenige Mitgliedstaaten haben bisher umfassende Anpassungsstrategien entwickelt. Auf Europäischer Ebene beginnen relevante EU-Politikprozesse derzeit, sich mit den Auswirkungen des Klimawandels zu befassen und Anpassung in die Planungen und Vorgaben einzubeziehen. Die EU steht vor der Aufgabe, Anpassung in gegenseitigem Austausch mit den Mitgliedstaaten weiterzuentwickeln und voranzutreiben. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden einige wesentliche Bausteine für Anpassungsstrategien entwickelt:

- **Integrierte und flexible Ansätze im Wassermanagement sollten den Rahmen für Anpassung bilden**, um den verbleibenden wissenschaftlichen Unsicherheiten und der Komplexität im Zusammenspiel verschiedener Belastungen und Einflussfaktoren sowie Maßnahmen in verschiedenen Sektoren gerecht zu werden. “No-regret”- und “Win-Win”-Lösungen, die unter verschiedenen Klimaszenarien Vorteile bringen, sollten Priorität genießen. Außerdem sollte sichergestellt werden, dass Anpassung keine zusätzlichen Belastungen auf die Wasserressourcen verursacht. Mögliche Wechselwirkungen mit Bemühungen zum Klimaschutz sollten berücksichtigt werden.
- **Bestehende Instrumente im Rahmen der Europäischen und nationalen Politik sollten genutzt werden**. Insbesondere sollten Klimafolgen und Anpassung in die Maßnahmenprogramme und Bewirtschaftungspläne unter der Wasserrahmenrichtlinie aufgenommen werden.
- **Integration und Koordination der verschiedenen Sektoren ist notwendig**, da die Wasserwirtschaft die Anpassung an Klimafolgen nicht alleine leisten kann. Andere Sektoren, die wichtige Wassernutzer und in hohem Maße von Wasserressourcen abhängig sind, wie die Landwirtschaft, Elektrizitätswirtschaft, Binnenschifffahrt und Tourismus, müssen zu Anpassungsbemühungen beitragen. Aktivitäten sollten koordiniert werden, um Widersprüche zu vermeiden und Synergien zu nutzen.
- **Verbesserung der Wassernutzungseffizienz ist ein wesentlicher Bestandteil von Anpassung**. In vielen Regionen hängt die Anpassung an den Klimawandel eng mit Anpassung an verstärkte Wasserknappheit zusammen. Maßnahmen, die den Wasserverbrauch reduzieren und die Effizienz verbessern, sollten in allen Sektoren gefördert werden. Ökonomische Instrumente können effizientere Nutzung und Verteilung von Wasser unterstützen sowie Anreize für notwendige Verhaltensänderungen bieten.
- **Anpassung hängt eng mit Landnutzung und Raumplanung zusammen**. Landschaftsplanung bietet wichtige Instrumente für die Anpassung und kann zum Beispiel dazu beitragen, die Anfälligkeit gegenüber Hochwasserrisiko zu verringern, oder die Kapazität von Böden für den Wasserrückhalt in der Fläche zu verbessern. Änderungen in der Landnutzung können eine wesentliche Ergänzung zu kostenintensiven Investitionen in technischen Hochwasserschutz darstellen.



- **Information und Öffentlichkeitsbeteiligung sind notwendige Bestandteile bei der Entwicklung von Anpassungsstrategien.** Unterstützung für die Umsetzung von Maßnahmen und eine Einigung zwischen verschiedenen Stakeholdern kann am besten erreicht werden, indem die verschiedenen gesellschaftlichen Akteure über Klimafolgen, die Notwendigkeit für Anpassung, und mögliche Anpassungsmaßnahmen informiert und in die Entscheidungsfindung einbezogen werden.
- **Europäische Finanzierungsinstrumente können für Anpassung genutzt werden.** Die Fonds der Kohäsionspolitik können genutzt werden, um Anpassung in den Mitgliedstaaten zu unterstützen und zu steuern. Die Mittel können beispielsweise eingesetzt werden, um regionale Unterschiede in Bezug auf Klimafolgen und Anpassungskapazität auszugleichen, oder um Aufbau, Erhalt oder Verbesserung von Infrastruktur zu fördern.
- **Wissenslücken bestehen noch und weitere Anstrengungen in der Forschung sind notwendig.** Die Basis, auf der Entscheidungen über Anpassung getroffen werden, kann verbessert werden, indem weitere wissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt werden, insbesondere in Bezug auf regionale Klimafolgen, die Vulnerabilität einzelner Sektoren, und die Kosten, Nutzen und Effektivität von Anpassungsmaßnahmen.