



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



IHP/HWRP-BERICHTE

Heft 7

Koblenz 2008

GLOWA

Globaler Wandel des Wasserkreislaufes



IHP – International Hydrological Programme of UNESCO
HWRP – Hydrology and Water Resources Programme of WMO



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



GLOWA

Globaler Wandel des Wasserkreislaufes

Ein Programm, finanziert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung

Deutsche Übersetzung der englischsprachigen Publikation
„GLOWA – Global Change and the Hydrological Cycle
Towards Sustainable Development“



Deutsches IHP/HWRP - Nationalkomitee



IHP – International Hydrological Programme of UNESCO



HWRP – Hydrology and Water Resource Programme of WMO



BfG – Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Deutsches Nationalkomitee für das
International Hydrological Programme (IHP) der UNESCO und das
Hydrology and Water Resources Programme (HWRP) der WMO
Koblenz 2008

© **IHP/HWRP-Sekretariat**
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz

Telefon: 0261/1306-5313
Telefax: 0261/1306-5422

<http://ihp.bafg.de>

Vorwort BMBF

Securing an adequate supply of qualitatively good water for people around the world is without doubt one of the great challenges of the future. As much as 50% of the world's population currently rely on water supplied from transnational water systems. Added to this is the risk posed to water availability by large-scale climate and land use changes that have a significant impact on the global and regional water cycles. All these aspects lead to a series of new challenges concerning sustainable water management concepts.

The German Government and its Federal Ministry of Education and Research (BMBF) play an active role in addressing these challenges. GLOWA is an outstanding example for Germany's engagement and support for application oriented research and the development of technologies and strategies for better water management concepts. This includes instruments to simulate expected trends and their implications, and to evaluate solutions for their impacts and outcomes. Hence Germany reaffirms its commitment to the United Nations International Decade for Action: Water and Life and to the Millennium Development Goal of halving the proportion of people without access to safe drinking water by 2015. GLOWA is a prime example for this.

Ongoing internationalization, both of the problems and the areas of conflict, requires strong partnerships to implement and organize research activities that will lead to sustainable and long lasting solutions. Local partners and stakeholders, from different research disciplines as well as policy making, industry and society must be an integrated part of this process right from the start in order to assure the acceptance and application of the research findings. We are grateful to have found such partnerships within the GLOWA partner countries. Publishing the brochure in close collaboration with the UNESCO highlights the significance of the GLOWA contributions to meet the global challenges and its international dimension.

Hartmut Grübel
 Division of Cultural, Earth System
 and Environmental Research
 BMBF
 Bonn, Germany

Die Sicherung der Versorgung aller Menschen auf der Erde mit qualitativ einwandfreiem Wasser stellt zweifellos eine der größten Herausforderungen der Zukunft dar. Gegenwärtig sind 50% der Weltbevölkerung abhängig von grenzüberschreitenden Wassersystemen. Hinzu kommt die Gefährdung der Wasserverfügbarkeit durch die weitreichenden Folgen des Klima- und Landnutzungswandels auf globale und regionale Wasserkreisläufe. Die Gesamtheit dieser Aspekte führt hinsichtlich der Konzepte für eine nachhaltige Wasserbewirtschaftung zu einer Reihe neuer Herausforderungen.

Die deutsche Regierung und das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) stellen sich diesen Herausforderungen. GLOWA ist ein hervorragendes Beispiel für Deutschlands Engagement und Förderung der anwendungsorientierten Forschung sowie der Entwicklung von Verfahren und Strategien für bessere Konzepte der Wasserbewirtschaftung. Dazu gehören Instrumente zur Simulierung erwarteter Trends und deren Auswirkungen sowie der Bewertung von entsprechenden Lösungsvorschlägen. Deutschland unterstreicht damit seinen Beitrag für die United Nations International Decade for Action: Water and Life und für die „Millennium Development Goals“, die die Halbierung der Anzahl der Menschen ohne Zugang zu sauberem Trinkwasser bis zum Jahr 2015 anstreben. GLOWA ist ein ausgezeichnetes Beispiel hierfür.

Die fortschreitende Internationalisierung von Problemen und Konfliktbereichen verlangt starke Partnerschaften für die Realisierung und Organisation der Forschungsaktivitäten sowie für die Erarbeitung nachhaltiger und dauerhafter Lösungen. Lokale Partner und Interessengruppen aus verschiedenen Forschungsdisziplinen, aus Politik, Industrie und Gesellschaft müssen von Beginn an in diesen Prozess integriert werden, um Akzeptanz und Anwendung der Forschungsergebnisse sicherzustellen. Wir sind dankbar, dass wir solche Partner in den GLOWA Partnerländern gefunden haben. Die Veröffentlichung dieser Broschüre in enger Zusammenarbeit mit der UNESCO unterstreicht den internationalen Stellenwert von GLOWA bei der Bewältigung der globalen Herausforderungen.

Vorwort UNESCO

Water management affects our environment, society and culture. Finding solutions to mitigate negative impacts and adapt to different geographical conditions and climate regions, requires an approach that unites sound and unbiased science with social and policy considerations. To meet this challenge the Federal Ministry of Education and Research (BMBF) of Germany launched a major international programme called GLOWA (Global Change and the Hydrological Cycle) in 2000. The objectives of the programme were to develop, test and apply new integrated, interdisciplinary models to assess the impact of global change at a basin scale. The improvement of our understanding of hydrological processes will lead to reduced uncertainty in future water management and design practice.

In 1999 UNESCO initiated the Hydrology for Environment, Life and Policy (HELP) project within the framework of the International Hydrological Programme. Within the HELP project, UNESCO provides an international framework for scientists, managers, law and policy experts and stakeholders to come together to address locally defined „water related issues“. UNESCO's global call for basins was very well received in the scientific community and resulted in a global network of catchments with the aim to improve the links between hydrology and the needs of society. Here, the research concepts of GLOWA were in line with the HELP programme and therefore became part of UNESCO's HELP programme. Currently two GLOWA basins: Drâa and Upper Ouémé are operational UNESCO HELP basins.

The GLOWA initiative of the German government and the international co-operation which it has stimulated is an excellent example of a national contribution to the International Hydrological Programme of UNESCO. The GLOWA project has successfully demonstrated the benefit of research for application-oriented solutions of imminent water-related problems under global change. This initiative is unique in establishing a long-term research strategy to mitigate the anticipated impacts of global change in the water sector.

Siegfried Demuth

*Division of Water Science and Climate Section
UNESCO, Paris*

Die Wasserbewirtschaftung beeinflusst unsere Umwelt, Gesellschaft und Kultur. Lösungen zur Minderung negativer Auswirkungen und Anpassung an unterschiedliche geographische Bedingungen und Klimaregionen erfordern einen Ansatz, der eine fundierte, unvoreingenommene wissenschaftliche Grundlage mit gesellschaftlichen und politischen Überlegungen verbindet. Zur Erfüllung dieser Aufgabe hat das Ministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Jahr 2000 ein internationales Programm namens GLOWA (Globaler Wandel des Wasserkreislaufes) ins Leben gerufen. Das Programm hat sich zum Ziel gesetzt, neue, ganzheitliche und interdisziplinäre Modelle zur Beurteilung der Auswirkungen des globalen Wandels auf Einzugsgebietsebene zu entwickeln, zu erproben und anzuwenden. Ein besseres Verständnis der hydrologischen Vorgänge wird zu reduzierter Unsicherheit bei der zukünftigen Wasserbewirtschaftung und Bemessungspraxis führen.

Im Rahmen des International Hydrological Programme (IHP) hat die UNESCO 1999 das Projekt Hydrology for Environment, Life and Policy (HELP) gegründet. Innerhalb dieses Projektes bietet die UNESCO Wissenschaftlern, Managern, Experten des Rechtswesens und der Politik sowie Interessenvertretern ein internationales Forum zum Austausch über Wasserthemen. Der weltweite Aufruf der UNESCO, sich mit lokalen Einzugsgebieten an HELP zu beteiligen, wurde von der wissenschaftlichen Gemeinschaft sehr positiv aufgenommen und führte zur Gründung eines globalen Verbunds von Einzugsgebieten. Zielsetzung dieses Verbundes ist, die Verbindungen zwischen der Hydrologie und dem Bedarf der Gesellschaft zu verbessern. Die Forschungskonzepte von GLOWA entsprechen den Zielen von HELP und stellen daher einen Beitrag zu HELP dar. Gegenwärtig sind die Einzugsgebiete Drâa und Obere Ouémé operationelle HELP-Gebiete.

Die GLOWA Initiative der deutschen Regierung und die internationale Zusammenarbeit, die dadurch initiiert wurde, sind ein hervorragendes Beispiel für einen nationalen Beitrag zum IHP der UNESCO. Das GLOWA Projekt hat einen erfolgreichen Nachweis dafür erbracht, wie groß der Nutzen der Forschung für eine anwendungsorientierte Lösung der mit dem Wasser verbundenen Probleme im Kontext des globalen Wandels ist. Diese Initiative trägt mit ihrer innovativen langfristigen Forschungsstrategie zur Minderung der antizipierten Auswirkungen des globalen Wandels im Wasserbereich bei.

Inhalt

Vorwort BMBF	III
Vorwort UNESCO	V
Autoren der englischsprachigen Fassung	IX
1 Einleitung	11
1.1 Die globale Wasserkrise	11
1.2 GLOWA: eine deutsche Initiative zur Bewältigung einer globalen Herausforderung	12
1.3 Der innovative Ansatz von GLOWA	13
2 Folgenabschätzung des globalen Wandels	16
2.1 Einleitung	16
2.2 Hydrologische Prozesse	17
2.3 Folgenabschätzung	19
3 GLOWA Fallstudien	21
3.1 Donau	21
3.2 IMPETUS: Ouémé und Drâa	22
3.3 Jordan	28
3.4 Volta	32
3.5 Elbe	35
4 Die Herausforderungen des GLOWA-Programmes bewältigen	38
4.1 Donau: Zukünftige Entwicklungstendenzen der Niedrigwassercharakteristik im Einzugsgebiet der Oberen Donau	38
4.2 Donau: Modellierung der Wechselwirkung von Mensch und Natur mit DANUBIA	41
4.3 IMPETUS: Bewältigung der Wasserknappheit im Einzugsgebiet des Drâa	43
4.4 IMPETUS: Modellierung des Risikos „Bodenerosion“ im Einzugsgebiet des Drâa	45
4.5 IMPETUS: Folgen des Klimawandels für das Malariarisiko in Westafrika	47
4.6 IMPETUS: Modellierung des Landnutzungswandels im Einzugsgebiet des Oberen Ouémé	49
4.7 Jordan: Grenzüberschreitende Wasserwirtschaft in einer politisch sensiblen Region	51
4.8 Jordan: Einführung von „grünem Wasser“ als wichtiger Bestandteil der integrierten Wasserbewirtschaftung	53
4.9 Volta: Implementierung eines Wasserallokationssystems im Einzugsgebiet des Volta für die grenzüberschreitende Wasserbewirtschaftung	55
4.10 Volta: Prognose des Beginns der Regenzeit im Volta-Einzugsgebiet	57
4.11 Elbe: Nachhaltige Wassernutzung	58

5 Erfahrungen in der nachhaltigen Entwicklung	61
5.1 Donau: Folgen des Klimawandels auf die Niedrigwasserführung in Gebirgsregionen	61
5.2 Donau: Die komplexen Wechselwirkungen zwischen Klimawandel und landwirtschaftlicher Erzeugung	61
5.3 IMPETUS: Der Umgang mit Unsicherheiten bei der Klimafolgenmodellierung	62
5.4 IMPETUS: Langfristige Klimaüberwachung im Einzugsgebiet des Drâa	62
5.5 IMPETUS: Dialog mit Interessenvertretern auf verschiedenen Ebenen und der Dezentralisierungsprozess in Benin	63
5.6 Jordan: Die Bedeutung natürlicher und naturnaher Gebiete für die nachhaltige Entwicklung	64
5.7 Jordan: Nachhaltige Ressourcenbewirtschaftung durch einen innovativen, integrierten Ansatz	64
5.8 Volta: Entwicklung von Datenmanagement-Tools zur gemeinsamen Bewirtschaftung grenzüberschreitender Wasserressourcen	65
5.9 Volta: Verschiedene Ebenen der Entscheidungsunterstützung in einem Einzugsgebiet mit polyzentrischer Water Governance	66
5.10 Elbe: Die Unsicherheit künftiger Niederschlagstrends kann und muss in komplexen regionalen Wirkungsstudien auf Einzugsgebietsebene erfasst werden	67
5.11 Elbe: Rascher Wandel der globalen Agrarmärkte beeinflusst die prognostizierten Ergebnisse	68
Danksagung	71
Abkürzungen	73
Literatur	75
Webseiten	78
Veröffentlichungen in der Reihe IHP/HWRP-Berichte	79

Autoren der englischsprachigen Fassung

Kapitel 1 und Projektleiter

Uta von Witsch, DLR Project Management Agency,
Environment, Culture, Sustainability,
Heinrich-Konen-Str. 1, 53227 Bonn, Germany
Uta.von-Witsch@dlr.de

Editor und Kapitel 2

Alan Gustard, Centre for Ecology and Hydrology,
Crowmarsh Gifford, Wallingford, Oxfordshire, OX10 8BB,
UK, *agu@ceh.ac.uk*

Donau

Wolfram Mauser, Sara Stoeber,
Department of Geography,
Ludwigs-Maximilians-University Munich,
Luisenstr. 37, 80333 Munich, Germany
w.mauser@iggf.geo.uni-muenchen.de,
s.stoeber@iggf.geo.uni-muenchen.de

Roland Barthel, Institute for Hydraulic Engineering,
University of Stuttgart,
Pfaffenwaldring 61, 70569 Stuttgart, Germany
roland.barthel@iws.uni-stuttgart.de

Andreas Ernst, Center for Environmental Systems
Research, University of Kassel,
Kurt-Wolters-Str. 3, 34109 Kassel, Germany
ernst@usf.uni-kassel.de

Impetus

Andreas Fink, Michael Christoph,
Institute of Geophysics and Meteorology,
University of Cologne,
Kerpener Straße 13, 50923 Köln, Germany
fink@meteouni-koeln.de, *christoph@meteo.uni-koeln.de*

Barbara Reichert,
Steinmann Institute – Geology, University Bonn,
Nussallee 8, 53115 Bonn, Germany
b.reichert@uni-bonn.de

Jordan

Katja Tielbörger, Ulrich Nicklas,
Department of Plant Ecology,
Auf der Morgenstelle 1, 72076 Tübingen, Germany
katja.tielboerger@uni-tuebingen.de,
ulrich.nicklas@uni-tuebingen.de

Holger Hoff, Stockholm Environment Institute,
Kräftriket 2B, 19691 Stockholm, Sweden
Holger.Hoff@sei.se

Volta

Jens Liebe, Wolfram Laube, Constanze Leemhuis,
Eva Youkhana, Antonio Rogmann, Claudia Arntz,
Paul L. G. Vlek, Center for Development Research (ZEF),
Walter-Flex-Str. 3, 53113 Bonn, Germany
jliebe@uni-bonn.de, *wlaube@uni-bonn.de*,
leemhuis@uni-bonn.de, *eva.youkhana@uni-bonn.de*,
arogmann@uni-bonn.de, *claudia.arntz@uni-bonn.de*,
p.vlek@uni-bonn.de

Patrick Laux, Harald Kunstmann,
Institute of Meteorology and Climate Research (IMK-
IFU), Kreuzteckbahnstrasse 19,
82467 Garmisch-Partenkirchen, Germany
patrick.laux@imk.fzk.de, *harald.kunstmann@imk.fzk.de*

Elbe

Frank Wechsung, Wolfgang Cramer, Peggy Gräfe,
Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK),
Telegrafenberg A31, P.O. Box 60 12 03,
14412 Potsdam, Germany
frank.wechsung@pik-potsdam.de,
cramer@pik-potsdam.de, *graefe@pik-potsdam.de*

Bernd Hansjürgens, Frank Messner,
Helmholtz Centre for Environmental Research (UFZ),
Permoserstr. 15, 04301 Leipzig, Germany
bernd.hansjuergens@ufz.de, *frank.messner@ufz.de*

Volkmar Hartje, Technical University Berlin (TUB),
Straße des 17. Juni 145, 10623 Berlin, Germany
hartje@imup.tu-berlin.de

Stefan Kaden, DHI-WASY GmbH,
Waltersdorfer Strasse 105, 12526 Berlin, Germany
S.Kaden@dhi-wasy.de

Horst Behrendt,
Leibniz-Institute of Freshwater Ecology and Inland
Fisheries, Müggelseedamm 310, 12587 Berlin, Germany
behrendt@igb-berlin.de

Vorwort UNESCO

Siegfried Demuth, UNESCO,
Division of Water Science and Climate Section,
Natural Science Sector, 1, rue Miollis,
75732 Paris cedex 15, France
s.demuth@unesco.org

Vorwort BMBF

Hartmut Grübel, BMBF, Division of Cultural, Earth
System and Environmental Research, Heinemannstraße 2,
53175 Bonn, Germany
hartmut.gruebel@bmbf.bund.de

The authors are responsible for the contents of the
respective chapters.
Deutsche Übersetzung: IHP/HWRP-Sekretariat, Koblenz

1 Einleitung

1.1 Die globale Wasserkrise

Mehr als siebenzig Prozent der Erdoberfläche sind mit Wasser bedeckt. Die Annahme, dass die Wasserreserven unseres blauen Planeten unerschöpflich sind, ist damit naheliegend, jedoch beträgt der Süßwasseranteil weniger als 3 Prozent, wovon zwei Drittel zudem in Gletschern und einer permanenten Schneedecke eingeschlossen sind. Den Menschen und Ökosystemen steht somit nur eine begrenzte Menge an Wasser zur Verfügung. Das Problem wird durch die ungleichmäßige Verteilung der Süßwasservorkommen auf der Welt noch verschärft (Abbildung 1.1).

Etwa 1,1 Milliarden Menschen haben keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser. Tag für Tag sterben etwa 6000 Menschen – hauptsächlich Kinder unter fünf Jahren – durch Aufnahme von verunreinigtem Wasser. Klimawandel, veränderte Landnutzung, Bevölkerungswachstum und steigender Pro-Kopf-Wasserverbrauch haben negativen Einfluss auf Wasserversorgung und -qualität. Nach Schätzungen des UN World Water

Assessment Report 2003 (der im Rahmen des International Hydrological Programme (IHP) der UNESCO erstellt wurde) werden bis zur Mitte des Jahrhunderts im schlimmsten Falle sieben Milliarden Menschen in 60 Ländern unter Wasserknappheit leiden und im günstigsten Fall zwei Milliarden in 48 Ländern. Der Bericht wirft ein Schlaglicht auf die globale Wasserkrise: **„Zu Beginn des 21. Jahrhunderts steht die Erde mit ihrer Fülle an vielfältigen Lebensformen, darunter mehr als sechs Milliarden Menschen, einer schweren Wasserkrise gegenüber. Alles deutet darauf hin, dass diese Krise sich weiterhin verschlimmern wird, wenn keine Gegenmaßnahmen ergriffen werden.“**

Schon seit langer Zeit haben die Vereinten Nationen die Bedeutung von Umwelt und Entwicklung erkannt. In der Agenda 21, dem Maßnahmenprogramm zur nachhaltigen Entwicklung, welches das offizielle Ergebnis der UN Conference on Environment and Development (UNCED) 1992 in Rio de Janeiro ist, wird den mit Wasser verbundenen Themen ein hohes Maß an Aufmerksamkeit gewidmet.

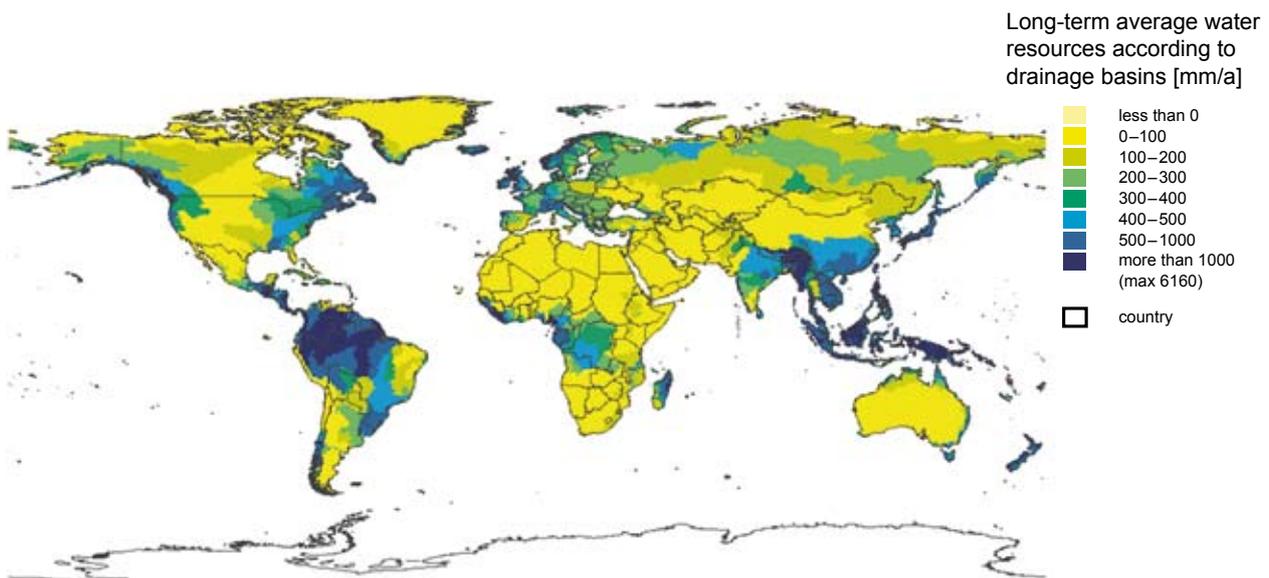


Abbildung 1.1 Jahresmittel (1961–1990) der verfügbaren Wasserressourcen.
 (GWSP Digitaler Wasseratlas 2008: Karte Nr. 2. Online verfügbar über: <http://atlas.gwsp.org>)

Unter der Überschrift „Schutz von Qualität und Quantität der Süßwasserressourcen: Anwendung integrierter Ansätze zur Entwicklung, Bewirtschaftung und Nutzung von Wasserressourcen“ fixiert Kapitel 18 der Agenda 21 die hiermit verbundenen Ziele und Maßnahmen. Zehn Jahre später, beim Weltgipfel für nachhaltige Entwicklung 2002 in Johannesburg, wurden die Millenniums-Entwicklungsziele festgelegt. Wasserthemen – insbesondere die Versorgung mit Trinkwasser – rückten noch mehr in den Brennpunkt des Interesses.

Ein Hauptanliegen der Millennium-Entwicklungsziele des Gipfels besteht darin, **„die Anzahl der Menschen ohne Zugang zu sauberem Trinkwasser und angemessener Abwasserentsorgung bis 2015 zu halbieren.“** Diese Notwendigkeit wurde beim 4. World Water Forum 2006 in Mexiko nochmals betont. Zur Erreichung dieses Ziels hat die Europäische Union etwa 1,4 Milliarden €, wovon 25 % aus Deutschland stammen, für Maßnahmen-Programme im Bereich Wasser zur Verfügung gestellt.

1.2 GLOWA: eine deutsche Initiative zur Bewältigung einer globalen Herausforderung

1992 wurde der Wissenschaftliche Beirat für Globale Umweltveränderungen (WBGU) von der deutschen Bundesregierung als unabhängiges Beratergremium gegründet. In dem interdisziplinären Gremium sind sowohl Naturwissenschaftler als auch Sozialwissenschaftler vertreten. Etwa seit 1996 hat die Arbeit des Beirates einen Paradigmenwechsel vorangetrieben, der in einer internationalen Debatte gipfelte. Der Kernpunkt dieser Debatte bestand in einem neuen Forschungsansatz, der die Anwendung integrierter, interdisziplinärer Methoden zur Bewältigung der Herausforderungen vorsieht, die das komplexe System des globalen Wandels mit sich bringt. In der Praxis bedeutet dies, dass unterschiedliche Forschungsdisziplinen ihre jeweiligen Methoden und Instrumente auf Themenbereiche anwenden, die mit globalem Wandel in Zusammenhang stehen. Die Instrumentarien werden dann abgeglichen und anschließend in ein vollständiges System eingebaut, das einen integrierten Ansatz bei der Entscheidungsfindung gestattet. Hierdurch können spezifische Probleme – zum Beispiel verminderter Niederschlag in West-Afrika – zusammen mit ihren weitergehenden sozioökonomischen Auswirkungen behandelt werden. Die Forschungsergebnisse bilden dann die Grundlage für die Empfehlung von Maßnahmen zur Sicherung der nachhaltigen Entwicklung.

Der Implementierungsplan von Johannesburg konstatiert die Notwendigkeit der Realisierung von Strategien, die auf nationaler und regionaler Ebene gefasste Ziele zum Schutz von Ökosystemen sowie zur Verwirklichung der integrierten Bewirtschaftung von Land, Wasser und lebenden Ressourcen enthalten sollten. Einhergehend damit ist eine gleichzeitige Stärkung der lokalen, regionalen und nationalen Fähigkeiten sinnvoll. Im Johannesburger Plan wurden verschiedene dringliche Maßnahmen wie folgt definiert:

- Entwicklung der integrierten Wasserbewirtschaftung und Ausarbeitung wasserwirtschaftlicher Effizienzpläne;
- Unterstützung der Entwicklungs- und Transformationsländer bei der Überwachung und Beurteilung der Quantität und Qualität von Wasserressourcen;
- Die Verbesserung der Wasserbewirtschaftung und des wissenschaftlichen Verständnisses des Wasserkreislaufs durch Zusammenarbeit in den Bereichen Monitoring und Forschung sowie mittels Förderung von Wissenstransfer, Aus- und Fortbildung.

Der UN World Water Assessment Report 2006 betont, dass Entscheidungsträger bei ihrer Aufgabe der nachhaltigen Bewirtschaftung und Erschließung von Wasserressourcen die Herausforderungen bewältigen müssen, die Klimawandel, Wirtschaftswachstum und ein starkes Bevölkerungswachstum mit sich bringen. Da globale Umweltveränderungen die gegenwärtigen und künftigen Lebensbedingungen der Menschen ändern, steigt die Notwendigkeit, die Forschung stärker auf praktische Anwendungen auszurichten, um die Fragen von Interessenvertretern und Entscheidungsträgern beantworten zu können. Die Bewältigung der globalen Wasserkrise erfordert integrierte Fallstudien, die alle Aspekte des Wasserkreislaufes in Flusseinzugsgebieten mit unterschiedlichen klimatischen und sozioökonomischen Bedingungen enthalten.

Zur Auseinandersetzung mit diesen Themen hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) ein GLOWA (Globaler Wandel des Wasserkreislaufes) genanntes Pilotprogramm aufgelegt. GLOWA ist Bestandteil des BMBF-Rahmenprogramms für Nachhaltigkeitsforschung mit dem Ziel der Entwicklung, Erprobung und Anwendung neuer integrativer, interdisziplinärer Methoden und Modelle

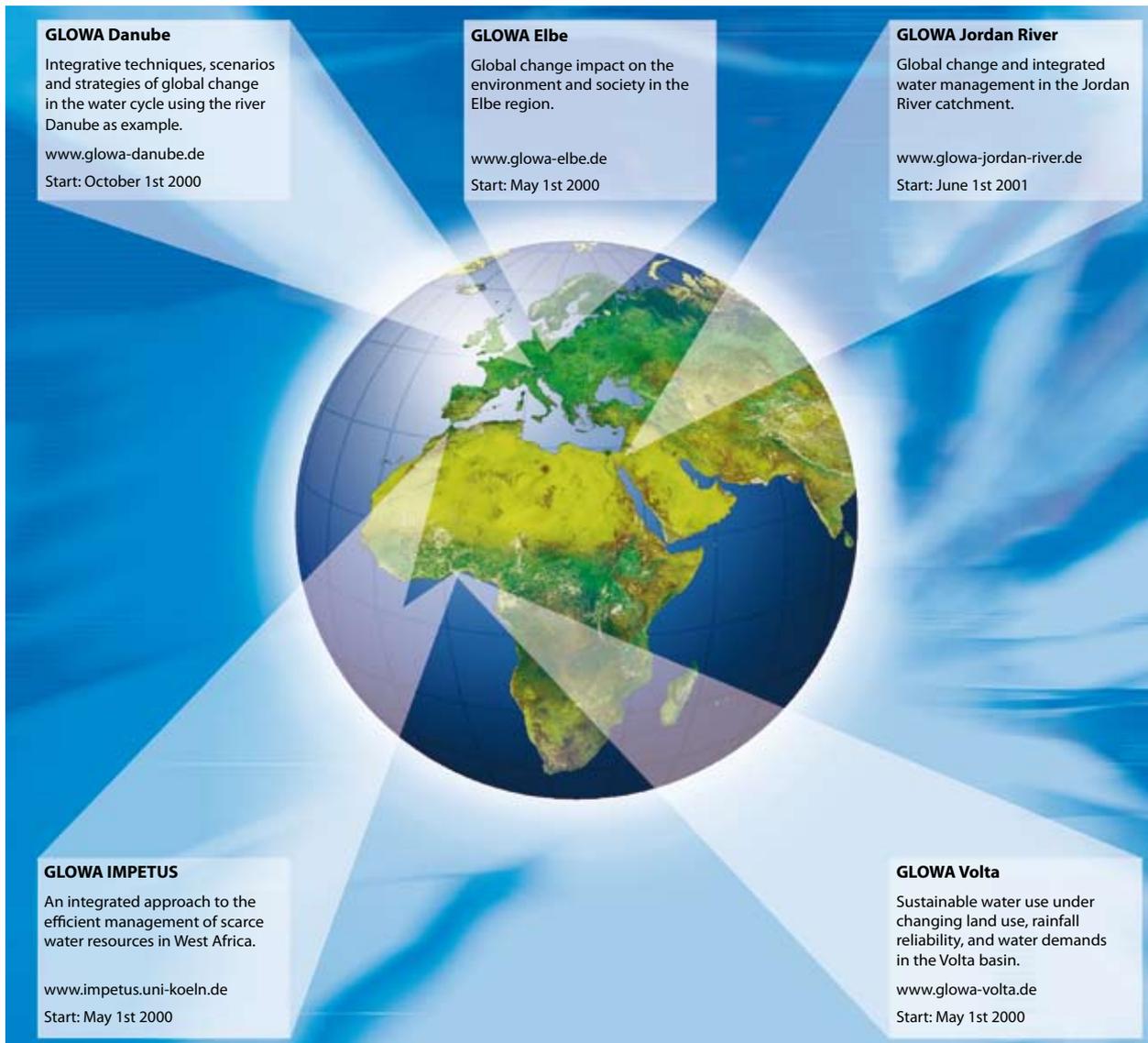


Abbildung 1.2 Die GLOWA-Projekte (M. Schmidt, PT-DLR)

in einzelnen GLOWA-Projekten. Die entwickelten Methoden und Simulationsinstrumente werden zu einer langfristigen, nachhaltigen Wasserbewirtschaftung auf lokaler und regionaler Ebene (Flusseinzugsgebiete mit einer Größe von ca. 100.000 km²) unter Berücksichtigung globaler Umweltänderungen und sozio-ökonomischer Bedingungen beitragen.

Die Ideen von GLOWA, insbesondere in Hinblick auf die Realisierung interdisziplinärer Forschung und integrierter Modellierung, werden auch in internationalen programmübergreifenden Initiativen berücksichtigt, wie GWSP (Global Water System Project), ESSP (Earth System Science Partnership) [eine gemeinsame Initiative der vier Global

Change Programme WCRP (World Climate Research Programme), IGBP (International Geosphere Biosphere Programme), IHDP (International Human Dimension Programme) und DIVERSITAS (ein integriertes Programm der Biodiversitätswissenschaft)] und in HELP (Hydrology for Environment, Life and Policy) des IHP der UNESCO.

1.3 Der innovative Ansatz von GLOWA

Für das GLOWA-Programm wurden sechs Flusseinzugsgebiete in fünf Projekten ausgewählt: Donau, Elbe, Jordan, Impetus (die Flüsse Drâa und Ouémé) sowie Volta (Abbildung 1.2 und Tabelle 1.1).

Tabelle 1.1 Näherungswerte wesentlicher hydrologischer und sozioökonomischer Vergleichsindikatoren für die sechs GLOWA Einzugsgebiete							
	Danube		Elbe	Drâa (IMPETUS Morocco)	Ouémé (IMPETUS Benin)	Jordan River	Volta
Area: km²	77 000		148 000	29 500	46 500	18 000	407 000
Mean annual rainfall: mm	1 240		733	167 (varies from 43 in the south to 718 in the north)	1 127 (varies between 968 and 1 481)	varies from 20 to 1 000	500 (north) to 2 000 (south)
Mean annual actual evaporation: mm	400		558	189 (varies from 30 in the south to 600 in the north)	883 (varies from 757 to 1 009)	20 to >500	815 (south) to 680 (north)
Total population: millions	11.2		24.5	30.5	8.8	Israel: 6.9 PA: 4.0 Jordan: 5.9	20.0
Population density: persons per km²	145.5		165	70.5	55.7	Israel: 302.2 PA: 624.9 Jordan: 62.1	Between 9 (Mali) and 87 (Ghana)
Annual population growth rate: %	Germany: 0.1 Austria: 0.4	Germany: -0.19 Czech Republic: -0.13		1.2	3.1	Israel: 1.8 PA: 3.2 Jordan: 3.0	Between 3 (Mali) and 1.8 (Ghana)
Population younger than 25: %	Germany: 35.0 Austria: 32.6	Germany: 19.0 Czech Republic: 21.3		51	46 (younger than 15)	Israel: 44.0 PA: 65.2 Jordan: 57.6	Between 48 (Mali) and 39 (Ghana)
GDP per capita: US\$	Germany: 32 000 Austria: 36 200 Switzerland: 37 500 Italy: 29 300 Czech Republic: 22 100	Germany: 33 093 Czech Republic: 14 868		3 800	1 141	Israel: 18 354 PA: 1 152 Jordan: (est.) 2 229	Ghana: 2 480 Cote d'Ivoire: 1 648 Togo: 1 506 Burkina Faso: 1 213 Benin: 1 141 Mali: 1 033
Total actual renewable water resources per capita: m³/ year	Germany: 1 870 Austria: 9 570 Switzerland: 7 470 Italy: 3 340 Czech Republic: 1 290	Germany: 1 870 Czech Republic: 1 290		936	3 820	Israel: 240 PA: 203 Jordan: 148	Benin: 3 820 Burkina Faso: 930 Cote d'Ivoire: 4 790 Ghana: 2 490 Mali: 7 460 Togo: 2 930

Die beiden Flussgebiete des Wadi Drâa und des Oberen Ouémé sind Einzugsgebiete des UNESCO HELP-Programms. Zu Beginn wurden die Projekte in enger Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern und Interessenvertretern aus den Partnerländern entwickelt. Die Integration und Weitergabe von Wissen, Instrumenten und umfassenden interdisziplinären Forschungsergebnissen an die Interessengruppen durch die Ausarbeitung von bedienerfreundlichen Entscheidungsunterstützungssystemen (DSS) war ein von allen angestrebtes Ziel.

Mit den Hauptschwerpunkten Veränderungen im Wasserkreislauf unter dem Einfluss globalen Wandels sowie dem Problem der Wasserknappheit betrachtete die Forschung die Klimavariabilität, deren Auswirkungen auf die Biosphäre (insbesondere infolge

veränderter Landnutzung) und die widerstrebenden Ansprüche, die sich aus der veränderten Verfügbarkeit von Wasser ergeben. Die GLOWA-Projekte verbinden Kompetenzen und Kapazitäten von Natur- und Sozialwissenschaften, um solide, nutzerorientierte Methoden und Dienstleistungen bereitstellen zu können. Sie haben zur Förderung der wissenschaftlichen Zusammenarbeit in verschiedenen nationalen und internationalen Programmen beigetragen und die Kompetenz von Fachpersonal in Deutschland und den GLOWA-Partnerländern vorangebracht. Dazu gehörten die Unterstützung junger Forscher, die Aus- und Fortbildung sowie der Austausch mit Wissenschaftlern aus Entwicklungsländern.

Im Jahr 2000 begannen die verschiedenen, in drei einzelne Phasen aufgeteilten GLOWA-Projekte.

Die erste Phase beinhaltete den Aufbau vor Ort, die Installation der Meßsysteme, das Sammeln und Auswerten von Daten, die Anpassung der Modelle auf spezifische Forschungsregionen und die Koordination zwischen den einzelnen Disziplinen.

In der zweiten Phase wurden Szenarien entwickelt und Erstanwendungen einer Vielzahl von Simulationsmodellen zur Erstellung realistischer Prognosen über zukünftige Bedingungen erprobt. Sehr viel Wert wurde in dieser Phase darauf gelegt, lokale Wissenschaftler und Entscheidungsträger in das Projekt einzubeziehen, um sicherzustellen, dass die Simulationsmodelle der nachhaltigen Wasserwirtschaft in den betreffenden Regionen langfristig von Nutzen sind. In der laufenden dritten Phase – der Implementierungsphase – wird Entscheidungsträgern in den Flusseinzugsgebieten die Gelegenheit geboten, die Folgen spezifischer Entscheidungen durchzuspielen und zu beurteilen.

Diese Schlussphase konzentriert sich außerdem auf die Weitergabe von Projektergebnissen, Infrastruktur und wissenschaftlichen Instrumentarien an die ortsansässigen Wissenschaftler, Planer, Manager und Interessenvertreter. Die Simulationssysteme sind

generisch konzipiert, wodurch sie auf andere, ähnliche Flusseinzugsgebiete übertragen werden können.

Die Gesellschaft muss sich unter Berücksichtigung regionaler Lebensbedingungen nachhaltig an sich ändernde Bedingungen anpassen. Es sollen Strategien entwickelt werden, die die Anpassung an Änderungen ermöglichen und die Folgen des Wandels auf der Grundlage von soliden Kenntnissen der globalen ökologischen Systeme sowie des regionalen Umfelds mildern. Programme wie GLOWA beweisen, dass Forschung über den globalen Wandel zur Entwicklung solcher Strategien unverzichtbar ist.

Die GLOWA-Initiative der deutschen Bundesregierung war eines der ersten langfristigen Forschungsprogramme mit dem Ziel der Abschwächung der erwarteten Folgen des globalen Wandels im Bereich Wasser. Ferner ist sie ein gutes Beispiel für einen nationalen Beitrag zum IHP der UNESCO. GLOWA's integriertes Herangehen an die umwelt- und sozioökonomischen Wissenschaften sowie die beträchtlichen Mittel, die investiert wurden (etwa 75 Millionen €), sind ein wichtiger Beitrag zur Entwicklung der nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung.

2 Folgeabschätzung des globalen Wandels

2.1 Einleitung

Das GLOWA Programm hat sich mit einer ganzen Reihe von Themen mit globaler Bedeutung wie Wasserknappheit, Klima, Landnutzung und sozioökonomischem Wandel auseinandergesetzt. Dabei besteht der besondere Ansatz von GLOWA in der Bildung multidisziplinärer Forschungsgruppen, die mit ortsansässigen Interessengruppen zusammenarbeiten, um Probleme von lokaler, regionaler und internationaler Tragweite anzugehen. Die einzugsgebietsorientierte Abschätzung von Wasserressourcen, die gegenwärtig als der geeignetste Ansatz zur Auseinandersetzung mit dem Themenkreis Wasserressourcen betrachtet wird, liegt diesem Programm zugrunde. Grundvoraussetzung für alle GLOWA Studien ist, die Kernpunkte des hydrologischen Kreislaufs zu verstehen und zu modellieren (Abbildung 2.1). Seine wesentlichen Elemente werden in diesem Kapitel zusammenfassend beschrieben. Der Wasserkreislauf der Erde beschreibt

den Prozess, bei dem Wasser aus den Meeren und vom Festland in die Atmosphäre getragen und dann auf die Landoberflächen und in die Ozeane zurückgeführt wird. Dabei kann unterschieden werden zwischen „blauem Wasser“, das an aquatische Ökosysteme, Flüsse und das Grundwasser gebunden ist und dem „grünen Wasser“, das terrestrische Ökosysteme und den Regenfeldanbau versorgt, um dann über die Transpiration der Pflanzen zurück in die Atmosphäre zu gelangen. Dieser natürliche Kreislauf wird durch Eingriffe des Menschen wie den Bau von Stauseen, Wasserüberleitungen, Wasserentnahmen aus Flüssen, Abwassereinleitungen sowie städtebaulichem Landschaftsverbrauch und Änderungen der Landnutzung für Land- und Forstwirtschaft beeinflusst. Die Einflüsse sind besonders folgenschwer in ariden und semi-ariden Gebieten sowie in feuchten Regionen, in denen aufgrund des Bevölkerungsdrucks nur wenig Wasser zur Verfügung steht. Abbildung 2.2 verdeutlicht, dass sich 97,5% des auf der Welt vorhandenen Wassers

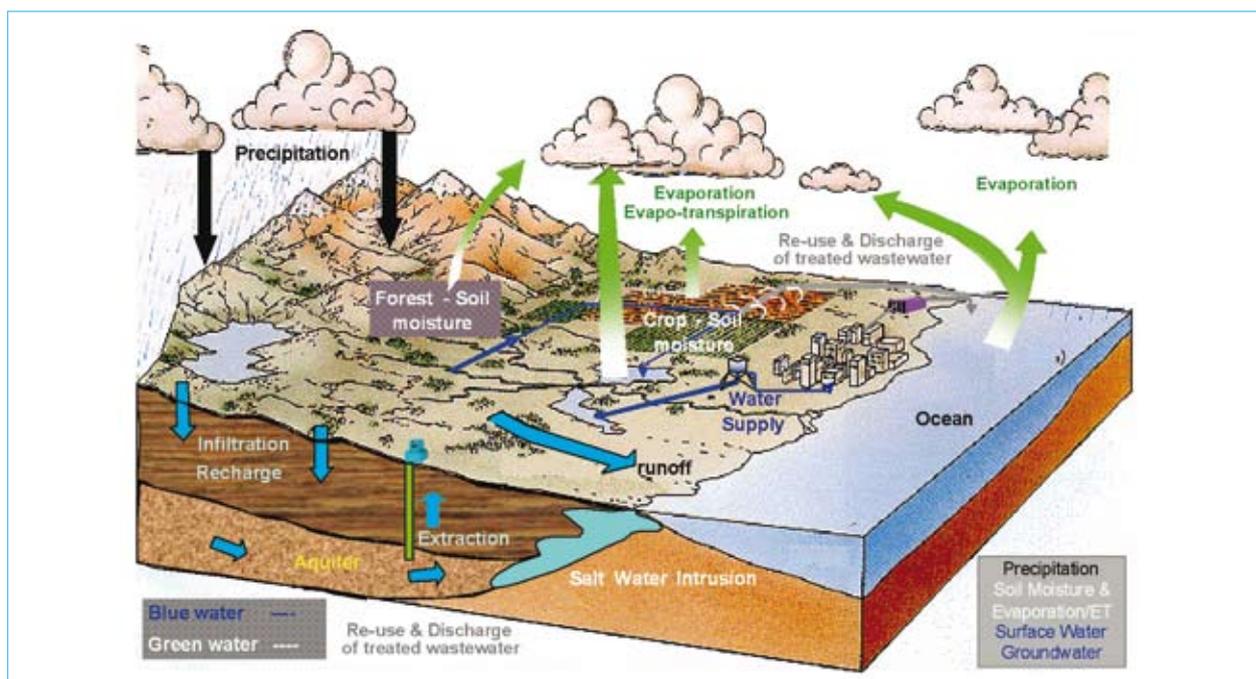


Abbildung 2.1 Der Wasserkreislauf (Quelle: UNESCO 2006)

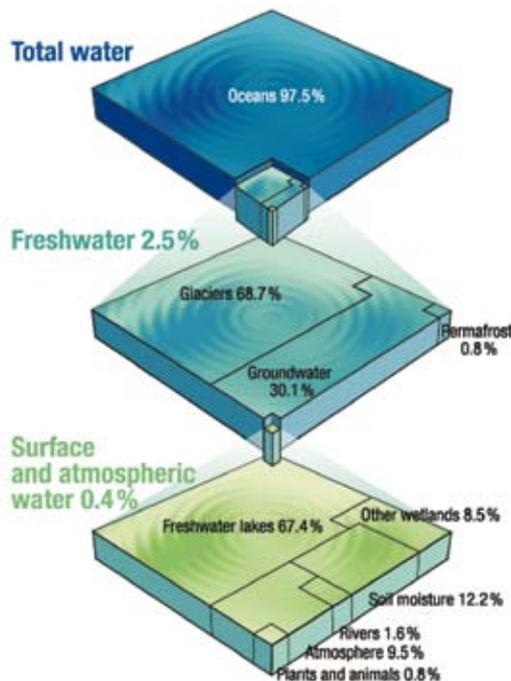


Abbildung 2.2 Globale Verteilung des Wassers auf der Erde
(Quelle: UNESCO 2006)

in den Meeren befindet und dass 99,6% des verbleibenden Süßwasseranteils in Gletschern, Festgestein und als Permafrost gespeichert sind. Somit steht nur ein geringer Prozentsatz des Süßwassers in Flüssen, Feuchtgebieten und im Boden zur Verfügung. Daher kann jede Veränderung des globalen Kreislaufs zu schweren Beeinträchtigungen der Wasserverfügbarkeit für eine Vielzahl von Ökosystemen führen. Die Hauptkomponenten des Wasserkreislaufs sind Niederschlag, Infiltration und Bodenfeuchte, Grundwasser, Abfluss und Gewässerverdunstung sowie Pflanzentranspiration.

2.2 Hydrologische Prozesse

Niederschlag

Niederschlag fällt hauptsächlich in Form von Regen oder Schnee. Das Gesamtniederschlagsvolumen, das den Boden innerhalb einer bestimmten Zeit erreicht, wird als Niederschlagshöhe in mm ausgedrückt, die eine horizontale Fläche der Erdoberfläche bedecken würde (WMO, 1994). Niederschlag wird meist in Regenmessern gesammelt, die täglich oder monatlich abgelesen werden oder in automatischen Messvorrichtungen, die üblicherweise in viertelstündlichen oder stündlichen Intervallen Daten liefern. Die Beobachtungen sind lediglich für den Niederschlag repräsentativ,

der über einem begrenzten Gebiet in der unmittelbaren Nähe des Regenmessers fällt. Um die räumliche Verteilung von Niederschlag über einem Einzugsgebiet erfassen zu können, sollten die Daten aus einem Netz von Regenmessern zur Verfügung stehen.

Das Fehlen, beziehungsweise die geringe Dichte von Niederschlagsmessungen (Abschnitt 5.4), insbesondere in Entwicklungsländern, führt zu großer Unsicherheit bei den Antriebsdaten hydrologischer Modelle.

Evaporation und Transpiration

Evaporation von offenen Wasseroberflächen sowie Pflanzentranspiration sind wichtige Bestandteile des hydrologischen Kreislaufs. Es ist kaum möglich, Evaporation direkt auf der Einzugsgebietebene zu messen. Daher werden indirekte Verfahren angewandt, bei denen Solarstrahlung (kurzwellige Strahlung) und langwellige Strahlung, Lufttemperatur, Dampfdruck und Windgeschwindigkeit in die Berechnungen eingehen. Diese Daten werden verwendet, um die Evaporation von Seen und Staubecken oder die potenzielle Evaporation (PE) zu berechnen, bei der eine unbegrenzte Verfügbarkeit von Wasser auf einer mit Pflanzen bewachsenen Oberfläche angenommen wird. Die tatsächliche Transpiration (ET) kann dann auf der Grundlage des Verhältnisses zwischen PE und ET geschätzt werden, die wiederum von der vorhandenen Bodenfeuchte abhängt.

Die Kombination der beiden zu unterscheidenden Prozesse der Evaporation und Transpiration wird oft als Evapotranspiration bezeichnet und als tägliche oder jährliche Wasserhöhe in mm ausgedrückt.

Infiltration und Bodenfeuchte

Die Infiltration, d.h. das Eindringen des Niederschlags in den Boden, wird durch die Durchlässigkeit des Bodens und die Niederschlagsintensität bestimmt. Der Bodenfeuchtegehalt wird ebenfalls in mm ausgedrückt. Er beeinflusst die Nahrungsmittelproduktion sowohl beim Regenfeldanbau als auch beim Bewässerungsanbau. Die Bodenfeuchte ist auch wichtig für die Erhaltung der Biodiversität.

Der Bodenwassergehalt hat einen direkten Einfluss auf die Transpirationsraten, die sich rasch vermindern, wenn der Boden austrocknet, selbst wenn die potenzielle Evaporationsrate hoch ist. Zur Messung der Bodenfeuchte wird eine Vielzahl an direkten und indirekten Methoden verwendet. Das am weitesten verbreitete Verfahren ist ein kontinuierliches Konzeptmodell, in das die täglichen Daten des Niederschlags und der potenziellen Evaporation eingehen.



Abbildung 2.3 Hydrologische Extreme. Links: Extremes Hochwasser an der Elbe im August 2002.

Rechts: Extremes Niedrigwasser am Rhein im August 2003 (Quelle: Deutsches IHP/HWRP-Sekretariat).

Grundwasser

Grundwasser, das in Festgestein gespeichert ist und durch dieses geleitet wird, stellt einen regionalen und lokalen Wasservorrat dar und speist insbesondere in Trockenperioden die oberirdischen Gewässer. Daten des Grundwasserspiegels (m), die leicht mittels Beobachtungsbrunnen, Bohrlöchern oder von Hand gegrabenen Brunnen gemessen werden können, beschreiben die Schwankungen der hydraulischen Höhe innerhalb eines Aquifers. Für hydrologische Modelle sind Parameter erforderlich, die die Speicherung und Bewegung von Grundwasser beschreiben. Diese Parameter erhält man normalerweise, indem man Pumpversuche durchführt und die Reaktion des Aquifers misst oder indem man sie anhand der Gesteinsart abschätzt. Die wichtigste Grundwasservariable ist die jährliche Grundwasserneubildungsrate, die in mm pro Jahr ausgedrückte Wasserhöhe, die einen Aquifer wieder auffüllt. Sie stellt eine Bezugsgröße dar, mit der alle künstlichen Entnahmen verglichen werden müssen, um die nachhaltige Bewirtschaftung des Aquifers sicherzustellen.

Abfluss

Üblicherweise wird der Abfluss bestimmt, indem man den Wasserstand stündlich oder täglich misst und mittels einer Wasserstand-Abfluss-Beziehung umrechnet.

Eine kontinuierliche Abflussmessreihe wird als Ganglinie bezeichnet. Der in $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ angegebene Abfluss entspricht dem Wasservolumen, das pro Zeiteinheit durch einen Flussquerschnitt fließt. Viele Messnetze sind sehr umfangreich. An der Oberen Donau zum Beispiel gibt es 150 Abflussmessstationen in einem $77\,000 \text{ km}^2$ großen Gebiet und im Einzugsgebiet des Jordans 55 Stationen innerhalb eines Gebietes von $18\,000 \text{ km}^2$. In Entwicklungsländern jedoch sind die Messnetze in ihrer räumlichen Dichte und Aufzeichnungslänge oft begrenzt, was zu einer größeren Unsicherheit bei der wasserwirtschaftlichen Planung und der Einschätzung der Folgen des globalen Wandels führt. Mit einer Fläche von $407\,000 \text{ km}^2$ ist das Einzugsgebiet des Volta fünf mal größer als das der Oberen Donau, enthält aber nur 91 Pegel.

Abbildung 2.3 illustriert die Folgen von hydrologischen Extremen, die im August 2002 zum Hochwasser an der Elbe führten. Im August des Folgejahres verursachte extremes Niedrigwasser an Rhein und Donau Probleme bei der Schifffahrt und schränkte die verfügbare Kühlwassermenge für Wärmekraftwerke ein.

Anthropogen bedingte Daten

Nur wenige Einzugsgebiete sind von menschlichen Einflüssen unberührt. Die natürlichen Abflussregime

werden durch Speicherseen, Wasserversorgung und -Entsorgung, Bewässerungs- und Entwässerungssysteme, Wasserkraftwerke sowie Änderungen der Landnutzung gestört. Die Auswirkungen auf den Abfluss sind oft erheblich, weshalb es dazu kommen kann, dass unkorrigierte, gemessene Durchflüsse die natürlichen Gegebenheiten nicht wiedergeben. In vielen stark anthropogen überprägten Einzugsgebieten überschreitet bei Niedrigwasser die anthropogen bedingte Abflusskomponente regelmäßig die natürliche Komponente.

2.3 Folgenabschätzung

Hydrologische Modelle

Die meisten Modellstudien, die mögliche Änderungen der Abflüsse untersuchen, basieren auf einem physikalisch-hydrologischen Modellansatz zur Simulation kontinuierlicher Zeitreihen des Abflusses. Als Eingangsdaten werden Datenreihen zum Klima (grundsätzlich Niederschlag, potenzielle Evaporation und Temperatur) verwandt, um Abflusszeitreihen sowohl für aktuelle Bedingungen, als auch für ausgewählte zukünftige Zeiträume zu erstellen. Die Modelle werden auf der Grundlage aktueller und künftiger Klima- beziehungsweise Landnutzungs-szenarien betrieben. Grad und Komplexität dieser Szenarien hängen von der Art der durchzuführenden Analyse ab. So könnten beispielsweise Studien, die anstreben, die Sensitivität des Abflussverhaltens zu verstehen, lediglich als monatliche Einflussgrößen Änderungen von Niederschlag und Evaporation verwenden. Komplexere Studien sollten auf eine Kombination von Methoden zurückgreifen, um Szenarien zu entwickeln. Im Folgenden sind einige der Schlüsselfragen in Hinblick auf die Modellierung des Klimawandels zusammengefasst.

Downscaling

Die globale Zirkulation (Global Circulation Models, GCMs) bieten die verlässlichste und stabilste Methode zur Beurteilung der Reaktion des Klimasystems auf Änderungen im atmosphärischen Antrieb. Die GCM's unterliegen aber einer Reihe von Einschränkungen. Die gravierendste besteht in der großen Rasterweite der GCM's und der damit verbundenen Unzulänglichkeit bei der Modellierung von kleinskaliger Variabilität, die aber für die meisten hydrologischen Anwendungen unverzichtbar ist. Dieses Problem wird durch Verfahren zur Skalenanpassung (Downscaling) angegangen, mit denen die Ergebnisse der GCM-Integrationen an die entsprechenden Zeit- und Raumskalen, die bei den

Folgenabschätzungen benötigt werden, angepasst werden. Abbildung 2.4 zeigt ein 3D-Schema eines typischen GCM über Europa.

In sich stimmige und räumlich detaillierte Szenarien können auch durch die Verwendung von höher auflösenden Klimamodellen entwickelt werden. Hiervon gibt es zwei verschiedene Arten, nämlich hochauflösende, globale atmosphärische allgemeine Zirkulationsmodelle (AGCMs) einerseits und hochauflösende regionale Klimamodelle (RCMs) andererseits.

Unsicherheit

Die Abschätzung der Folgen des Klimawandels umfasst mehrere Stufen, die jeweils mit einem eigenen Grad an Unsicherheit verbunden sind (IPCC 2001). Diese Unsicherheit ist erhöht, wenn Hochwasser auslösende Extremniederschlagsereignisse betrachtet werden oder Dauer und Ausdehnung von geringen Niederschlägen, die zu Wasserknappheit führen.

Box 2.1 Die Unsicherheitskaskade

Die Unsicherheiten, die mit der Anwendung von Modellierungsverfahren einhergehen, ziehen sich derart durch eine Studie zur Folgenbewertung, dass schließlich eine Gesamtunsicherheit erzeugt wird. Dazu gehören im Zusammenhang mit der Folgenabschätzung des globalen Wandels folgende Unsicherheitsfaktoren:

- Künftige Treibhausgasemissionen.
- Atmosphärische Konzentrationen von Treibhausgasen. Es besteht Unsicherheit darüber, wie Emissionen von Treibhausgasen in Konzentrationen in der Atmosphäre umgesetzt werden und somit „bereitstehen“, um die Strahlungsbilanz der Erde zu beeinflussen.
- Globale Klimareaktion. Aus verschiedenen GCMs abgeleitete Klimaszenarien ergeben nicht nur unterschiedliche Beträge für Niederschlagsänderungen, sondern auch in unterschiedliche Richtung weisende Veränderungen (Jenkins and Lowe 2003).
- Lokale/kleinskalige Klimareaktion. Globale Modelle generieren Klimawandelszenarien, die sowohl in räumlicher als auch in zeitlicher Hinsicht zu grob für die Anwendung in Modellen zur Auswirkung auf Einzugsgebiete sind. „Downscaling“ ist erforderlich, was zu weiteren Unsicherheiten führt.
- Die natürliche Klimavariabilität ist hoch. Diesem Faktor muss Rechnung getragen werden.
- Hydrologische Auswirkungen erfordern die Kalibrierung eines hydrologischen Modells, was zu weiteren Unsicherheiten in Modellstruktur und Kalibrierung führt.

Viele Regionen der Welt erfahren zur Zeit sowohl relativ hochwasserreiche als auch -arme Perioden. Zu diesem Variabilitäts-Phänomen liegen nach wie vor wenig Erkenntnisse vor. Gleichmaßen gibt es auf der dekadischen Zeitskala ausgedehnte Perioden mit unterdurchschnittlichen Niederschlagsmengen, auf die feuchtere Abschnitte folgen. Eine entscheidende Aufgabe besteht darin, die voraussichtliche Änderung in dieser Variabilität zu bestimmen.

In vielen Fällen wird die heutige Wissensbasis selten eine vollständige Erklärung liefern können. Es könnte daran liegen, dass Daten und Wissen zum Prozessverständnis fehlen. Dies ist insbesondere dann ein Problem, wenn Rückkopplungseffekte vorhanden sind, zum Beispiel, wenn das sich wandelnde Klima die Landnutzung beeinflusst, was wiederum die hydrologische Reaktion beeinflusst. Hinzu kommt der direkte Einfluss von Änderungen im Niederschlags- und Evaporationsverhalten.

Box 2.1 veranschaulicht die kausale Kette der Unsicherheit im Prozess der Klimafolgenabschätzung.

Prudhomme et al. (2005) haben den relativen Beitrag einer Reihe von Ursachen zur Unsicherheit untersucht.

Die größte einzelne Unsicherheitsquelle liegt in der Auswahl des GCM. Bedeutsam sind jedoch auch die hydrologische Unsicherheit, die Unsicherheit durch das Downscaling und die Unsicherheit hinsichtlich der Treibhausgasemissionen nach 2050.

Zusammenfassung

Eines der Hauptziele des GLOWA-Programms war die Reduzierung der Unsicherheit bei der Abschätzung der Folgen von Klima- und Landnutzungswandel sowie anderer ökologischer und sozioökonomischer Folgen. Das langfristige Ziel war, die Lebensgrundlage der vom Wandel betroffenen Menschen zu verbessern.

Die folgenden Kapitel stellen einige Beispiele aus den Projekten von GLOWA vor, die Regionen, in denen diese Projekte durchgeführt wurden, die angewandten Methoden sowie Erfahrungen zum Thema nachhaltiger Entwicklung.

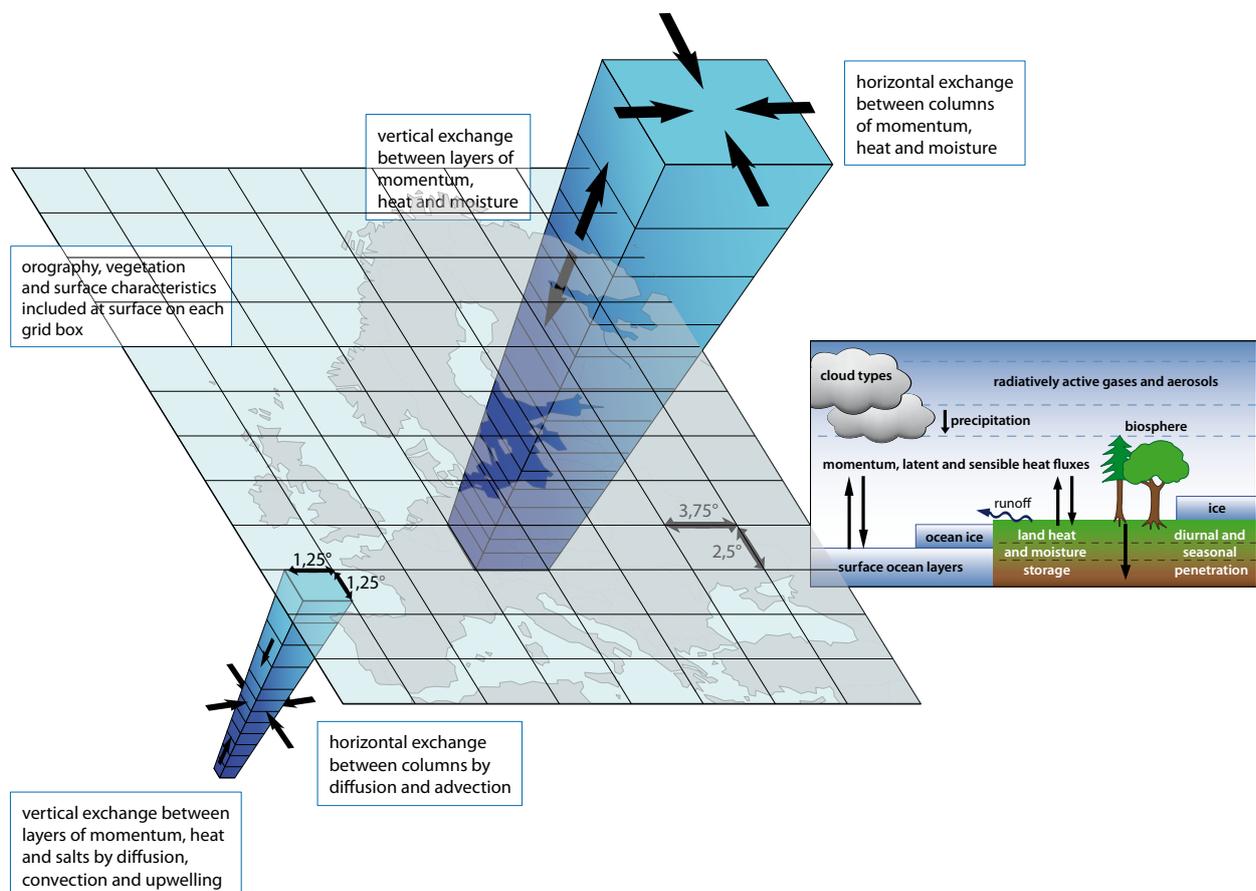


Abbildung 2.4 3D-Schema eines typischen Global Circulation Model (Quelle: Dr. David Viner 1989, 2002; Climate Research Unit, UK, [verändert])

3 GLOWA Fallstudien

3.1 Donau

Folgen des globalen Wandels an der Oberen Donau

Der globale Klimawandel wird langfristig beträchtliche Auswirkungen auf die Wasserressourcen haben. Dazu gehören die Zunahme der Extremereignisse (Hoch- und Niedrigwasser), der Rückgang der Schneedecke, das Abschmelzen der Gletscher in den Alpen sowie eine Veränderung der natürlichen Vegetation und der Landwirtschaft im Gebiet der Oberen Donau. Zur Planung künftiger Investitionen in den Bereichen Wasserwirtschaft, Energie, Landwirtschaft, Tourismus und Industrie ist eine detaillierte Analyse der Folgen des Klimawandels notwendig.

Das GLOWA-Projekt Donau (www.glowa-danube.de) konzentriert sich auf die Gebirgsregionen der Alpen und die Vorländer der Oberen Donau. (Abbildung 3.1). Im Einzugsgebiet der Oberen Donau, dem Oberlauf des zweitgrößten europäischen Flusses, das sich von

der gemäßigten Zone der Tiefebene bis zu den mehr als 3500 m hohen, vergletscherten Gebirgszügen erstreckt, leben mehr als 11 Millionen Menschen. Weitere Angaben finden Sie in der Box 3.1.

Die Obere Donau verfügt derzeit über einen Wasserüberschuss, mit dem die großen, stromabwärts gelegenen Regionen der Donau versorgt werden.

Die Wasserressourcen sind durch extensive Wasserspeicherung- und Wasserüberleitungsmaßnahmen optimiert, um die Ansprüche aus Transport, Tourismus, Bewässerung, Energieerzeugung und Industrie zu befriedigen. Aufgrund des großen Höhenunterschiedes (ca. 3000 m), der Bedeutung von Schnee- und Gletscherschmelzwasser (Abbildung 3.2) und den voraussichtlich zu erwartenden Änderungen bei der saisonalen Wasserverfügbarkeit werden diese Ansprüche empfindlich durch den erwarteten Klimawandel berührt.



Box 3.1 Die Donau

- Gesamtlänge ca. 2850 km
- Gesamteinzugsgebiet 817.000 km²
- Größe des Projektgebiets Obere Donau 77.000 km²
- Derzeitige Bevölkerung im Einzugsgebiet Obere Donau ca. 11,2 Millionen (2006)
- Jahresmittel des Niederschlags im Einzugsgebiet 1240 mm (1971–2000)
- Mittlerer Jahresabfluss am Pegel Achleiten (nahe Passau) 1430 m³/s (1901–2005)
- Die Wasserqualität in der Region zählt gegenwärtig zu den besten in Europa
- Die Alpen sind die derzeit größte Wasserüberschussregion Europas

Abbildung 3.1 Das Einzugsgebiet der Oberen Donau



Abbildung 3.2
Zusammenfluss von Donau,
Inn (grünes Gletscherwasser)
und Ilz in Passau.

Jede Veränderung in den Wasserressourcen der Oberen Donau wird auch die wachsende Bevölkerung in den stromabwärts gelegenen mittel- und osteuropäischen Staaten treffen, die vor kurzem der Europäischen Union beigetreten sind. Aufgrund dieser komplexen ökologischen, ökonomischen, sozialen und politischen Faktoren ist eine Analyse der Folgen des Klimawandels unverzichtbar.

Keine einzelne wissenschaftliche Disziplin ist in der Lage, diese vielschichtigen Wechselwirkungen zu erfassen. Im GLOWA-Projekt stellte man sich dieser Herausforderung durch Kooperation innerhalb einer Gruppe von Forschern verschiedener naturwissenschaftlicher und sozioökonomischer Disziplinen: Hydrologen, Wasserwirtschaftler, Meteorologen, Glaziologen, Geographen, Ökologen, Umweltökonomien, Umweltpsychologen sowie Informatiker.

3.2 IMPETUS: Ouémé und Drâa

Einleitung

Westafrika südlich der Sahara gehört zu den Regionen, die, weltweit gesehen, die stärkste Klimavariabilität aufweisen. Besonders in den vergangenen Jahrzehnten hat sich diese Variabilität als sehr ausgeprägt erwiesen. Gleichmaßen zeichnen sich die subtropischen

Klimate Nordwestafrikas durch eine bemerkenswerte jährliche und dekadische Niederschlagsvariabilität aus. Der 4. Sachstandsbericht (AR4) des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) sagt eine allgemeine Temperaturzunahme für Afrika vorher, mit trockeneren Bedingungen im subtropischen Nordafrika sowie Unsicherheiten in den künftigen Niederschlagstrends in Westafrika. Neben den Klimafaktoren wird die Lage der Wasserressourcen in West- und Nordwestafrika durch einen steigenden Wasserbedarf verschärft. Dies ist in erster Linie auf ein starkes Bevölkerungswachstum zurückzuführen, das die Wasserverfügbarkeit pro Kopf erheblich vermindert. Die Nahrungsmittelerzeugung, Existenzsicherung und das Bruttoinlandsprodukt der Region hängen in hohem Maße von Ernteerträgen und daher von der Niederschlagsvariabilität ab. Im tropischen Afrika stehen Wasser und Klimabedingungen in direktem Zusammenhang mit zahlreichen Krankheiten wie Malaria, Dengue-Fieber, Meningitis und Durchfallerkrankungen.

Zur Lösung aktueller und künftiger Wasserversorgungsprobleme entschied man sich für einen interdisziplinären Ansatz unter Einbeziehung von Natur-, Sozial- sowie Medizinwissenschaften. Für West- und Nordwestafrika hat das IMPETUS-Projekt (An Intergrated Approach to the Efficient Management

of Scarce Water Resources in West Afrika, (www.impetus.uni-koeln.de) diesen integrierten Ansatz aufgegriffen. IMPETUS ist ein Gemeinschaftsvorhaben der Universitäten Köln und Bonn, das mit lokalen Interessenvertretern zusammenarbeitet. Das Wadi Drâa im südöstlichen Marokko und der Ouémé in Benin (Abbildung 3.3) sind ausgewählt worden, weil sie die folgenden Kriterien erfüllen: geeignete Größe des Einzugsgebietes (<100.000 km²), bereits existierende Datengrundlage, politische Stabilität, passende ökologische und sozioökonomische Bedingungen sowie regionale Repräsentativität im Sinne des Vorhabens. Das Einzugsgebiet des Drâa in Marokko ist ein Beispiel für ein Flusssystem im semi-ariden subtropischen Gebirgsvorland bis zu ariden Vorgebirgen; das Einzugsgebiet des Ouémé in Benin ist typisch für ein Einzugsgebiet in den wechselfeuchten sub-humiden Randtropen. Der Ouémé entwässert etwa die Hälfte Benins, während das Wadi Drâa der wichtigste Fluss ist, der von der Gebirgskette des Atlas zur Sahara fließt. Weitere Angaben finden Sie in Box 3.2 und 3.3.

Der IMPETUS-Ansatz

Für die Regionalplanung und politische Entscheidungsfindung muss sich die nachhaltige Wasserbewirtschaftung in den Einzugsgebieten des Drâa und des Ouémé auf verlässliche Daten gründen. In der ersten Projektphase wurde eine umfangreiche Diagnose des Wasserkreislaufs durchgeführt. In der zweiten Phase wurden qualitative und quantitative Modelle entwickelt beziehungsweise bereits bestehende Modelle modifiziert. Vorhersagen künftiger Entwicklungen wurden aus Szenario-Analysen, Verfahrenserkenntnissen und Fachwissen abgeleitet.

In der Endphase wurden Spatial Decision Support Systems (SDSS), Information Systems (IS) und Monitoring Tools (MT) entwickelt und auf eine Reihe von Problembereichen angewandt.

Einzellösungen waren für die Vielzahl von komplexen Problemen ungeeignet, daher war ein multidisziplinärer Ansatz unerlässlich.

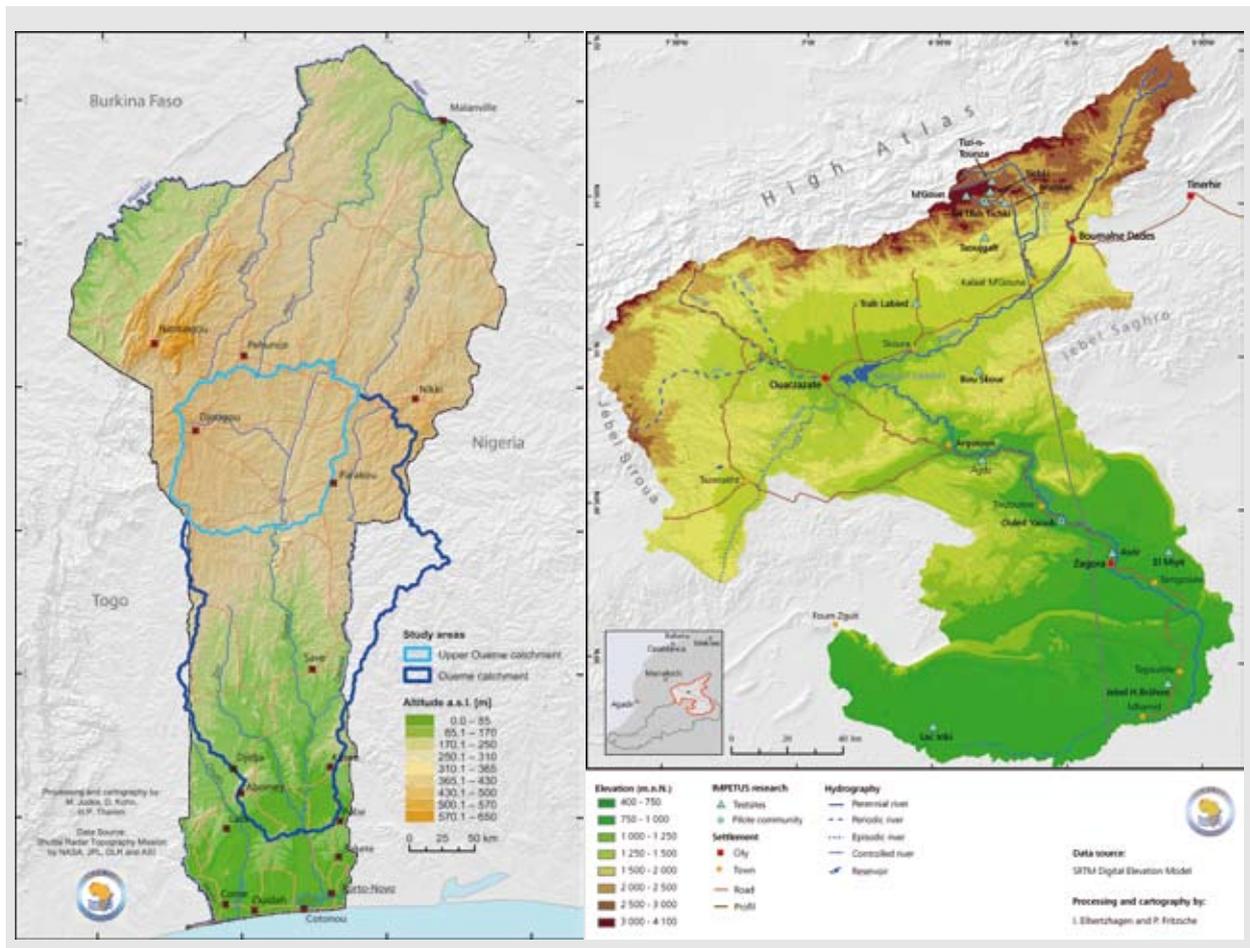


Abbildung 3.3 Links: Das Einzugsgebiet des Ouémé. Rechts: Das Einzugsgebiet des Drâa.

Die in IMPETUS verwendeten Methoden reichten von der Informationsbeschaffung bis zur hochentwickelten Simulation mit dynamisch gekoppelten Modellen für die Einschätzung der Folgen politischer Eingriffe. Eine Zusammenfassung des IMPETUS-Ansatzes findet sich in Abbildung 3.4.

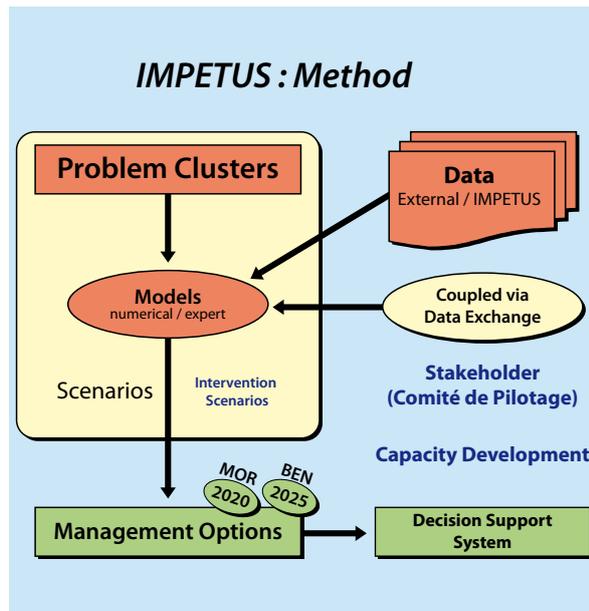


Abbildung 3.4 Schematische Darstellung des IMPETUS Ansatzes

Szenarien

Szenarien sind konsistente und plausible Bilder der Zukunft, die ausführlich genug sein müssen, um den Prozess der Entscheidungsfindung zu unterstützen. Ein aussagekräftiges Szenario zeigt das untersuchte System unter verschiedenen sozialen, ökologischen und technologischen Gesichtspunkten.

IMPETUS greift auf einen zweistufigen Ansatz zurück. Die erste Stufe befasst sich mit einer eingehenden Analyse auf der Grundlage detaillierter Feldstudien und Untersuchungen. Dieser Schritt war notwendig, da nur unzureichende Daten für beide Einzugsgebiete vorhanden waren. Ausgehend von diesem Punkt, wurden die wesentlichen Antriebskräfte ermittelt und dann qualitativ und quantitativ beschrieben.

In einem zweiten Schritt wurden die Antriebskräfte in die Zukunft projiziert. Diese beinhalteten unter anderem die wirtschaftliche, landwirtschaftliche, ökologische, politische und demographische Entwicklung. Somit wurden breit angelegte Szenarien möglicher

Zukunftsentwicklungen abgedeckt: zwei davon gaben extremere, aber dennoch realistische Entwicklungspfade wieder, während das dritte ein „Business-as-usual“ Szenario darstellt.

Die Zieljahre wurden aufgrund bereits vorhandener, langfristiger staatlicher Entwicklungspläne festgelegt und zwar 2025 für Benin und 2020 für Marokko.

Um Variationen bei den treibenden Kräften innerhalb der Einzugsgebiete einbeziehen zu können, wurden die Einzugsgebiete des Ouémé und des Drâa in drei Untergebiete eingeteilt.

Die drei Szenarien für Benin sind:

1. **„Wirtschaftswachstum und Verankerung der Dezentralisierung“** beschreibt ein Szenario mit politischer Stabilität und wirtschaftlichem Wachstum. Die Lebensbedingungen der Bevölkerung werden besser und der allgemeine Druck durch die drohende Ressourcenerschöpfung nimmt aufgrund technischer Innovationen ab.
2. **„Wirtschaftlicher Stillstand und institutionelle Unsicherheit“** skizziert den Entwicklungsverlauf einer kontinuierlichen, sich selbst verstärkenden Abwärtsspirale der politischen Destabilisierung und wirtschaftlicher Depression. Rückläufige Weltmarktpreise für die wichtigsten Exportprodukte, geringere Zuwendungen der Geberländer und abnehmende Raten in der regionalen und lokalen Wirtschaftskooperation führen zu einer negativen gesamtwirtschaftlichen Entwicklung.
3. **„Business-as-usual“** extrapoliert die gegenwärtigen Tendenzen. Es gelingt dem Land, seine politische Stabilität zu bewahren, aber es scheitert bei der Verbesserung seiner Position auf dem Weltmarkt und seiner allgemeinen Konkurrenzfähigkeit. Das Bevölkerungswachstum nimmt weiter ab, die traditionellen Machtstrukturen auf lokaler Ebene bleiben unverändert.

Die drei Szenarien für Marokko sehen wie folgt aus:

1. **„Marginalisierung – keine Unterstützung der Drâa-Region“** beschreibt ein Szenario der Stagnation und Marginalisierung in den Bereichen Industrie, Landwirtschaft und Tourismus. Die Produktivität im dominierenden Landwirtschaftssektor bleibt auf einem niedrigen Stand. Dies führt zur Verschlechterung des Lebensstandards und einer Zunahme der Migration.

2. **„Ländliche Entwicklung in der Drâa-Region durch regionale Förderung“** spiegelt ein Szenario mit gesteigerter Produktivität im landwirtschaftlichen Bereich wieder, starkes Wachstum in der Tourismusbranche, einen Rückgang der Migration infolge alternativer Einkommensquellen sowie eine nachhaltigere Nutzung von Naturressourcen wie Wasser und Weideland.
3. **„Business-as-usual“** schildert ein Szenario mit geringer Industrialisierung, einem auf wenige Gebiete beschränkten Tourismus sowie einer Landwirtschaft, die dominierender Wirtschaftssektor bleibt, aber deren weitere Expansion durch die Wasserknappheit eingeschränkt wird. In wenigen urbanisierten Gebieten ist das Bevölkerungswachstum trotz hoher Migrations- und Kindersterblichkeitsraten hoch.

Diese drei Szenarien können durch Interventions-szenarien noch weiterentwickelt werden, die es ermöglichen, die Folgen einer geänderten Politik und die Handlungen von Entscheidungsträgern zu beurteilen. Schließlich werden die unten beschriebenen Klimaszenarien als externe Antriebskräfte der drei einzugsgebietspezifischen Szenarien ausgewählt.

Klimaszenarien

Der 4. IPCC AR-Bericht empfiehlt, dass Prognosen der regionalen Klimaänderungen möglichst auf Informationen aus den vier folgenden Quellen aufbauen sollten: Simulationen von globalen Klimamodellen; Downscaling der Ergebnisse dieser globalen Modelle unter Verwendung von Verfahren zur Verbesserung der regionalen Auflösung; Verständnis

der physikalischen Prozesse, die die Reaktionen auf regionaler Ebene bestimmen; Berücksichtigung des jüngeren historischen Klimawandels. (Christensen et al. 2007, S. 849). IMPETUS hat jede dieser Quellen für beide Einzugsgebiete berücksichtigt. Zur Verbesserung regionaler Details sind in diesem Projekt dynamische und statistisch-dynamische Ansätze verwendet worden. Die Modellhierarchie und die wesentlichen Antriebskräfte des Klimas sind in Abbildung 3.5 dargestellt.

Im Rahmen von IMPETUS durchgeführte Forschungen haben ergeben, dass nicht alle regionalen Klimaprozesse angemessen in den numerischen Modellen berücksichtigt sind. Um sinnvolle Prognosen zum regionalen Klimawandel abzudecken, wurden drei Klimaszenarien festgelegt:

- a) „Transiente Klimamodellprognosen“
- b) „Prozessverständnis“
- c) „Fortschreibung rezent beobachteter Trends (Business-as-usual)“

Ensemble-Modellsimulationen unter Verwendung der IMPETUS Modellhierarchie auf der Grundlage der IPCC-Treibhausgas-Emissions-Szenarien A1B und A1 sowie Daten der FAO zum Landnutzungswandel wurden zur Erstellung des Szenarios (a) durchgeführt (Abbildung 3.5). Hierdurch kann eine Vielfalt von Auswirkungen unter Einbeziehung von numerischen und Expertenmodellen anderer Disziplinen simuliert werden. In den Szenarien (b) und (c) konnten mathematische Modelle nicht angewendet werden, was mit einer eingeschränkten Aussagekraft der Wirkungsstudien verbunden ist.

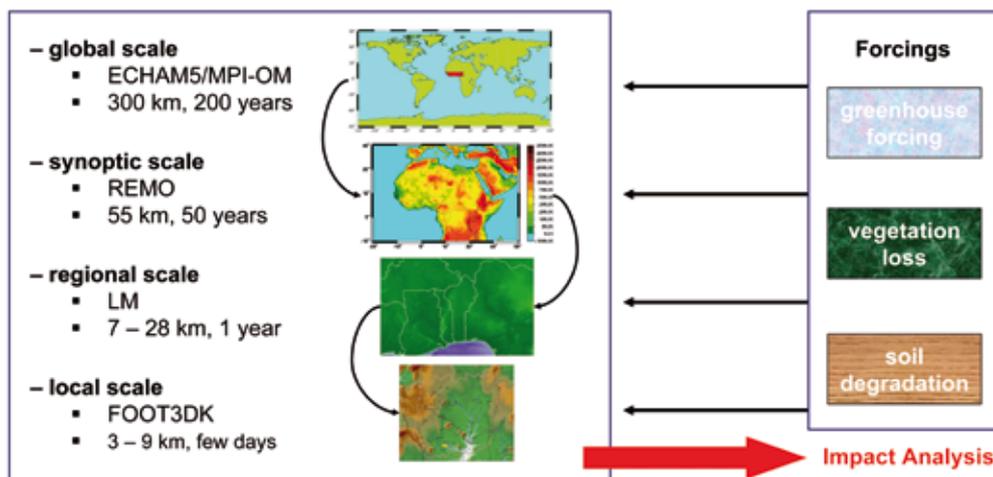


Abbildung 3.5 Die IMPETUS-Modellhierarchie und Antriebskräfte des Klimas

Entscheidungsunterstützungssysteme

Zur Bereitstellung maßgeschneiderter Instrumente für die Entscheidungsfindung hat IMPETUS für jeden Problembereich einen oder mehrere SDSS, IS, oder MTs entwickelt. Es handelt sich entweder um numerische oder Expertenmodelle, die mittels Datenaustausch gekoppelt sind („lose gekoppelte Modelle“). Eine Reihe von Computermodellen wurde erstellt, so in den Disziplinen Klimatologie, Hydrologie, Landwirtschaft, Soziökonomie und Gesundheit. SDSS verhalten sich dynamisch, da sie die Einbindung neuer Informationen beim Ablauf der eingebetteten Modelle erlauben, während der Informationsinhalt in den IS statisch ist. Monitoring Tools (MT) ergänzen die Entscheidungssysteme durch Bereitstellung von durch Fernerkundung fast in Echtzeit ermittelten Daten über die Hydro- und Biosphäre.

Dialog mit Interessengruppen und Förderung der Aus- und Fortbildung

Der Sicherung der aktiven Beteiligung lokaler Interessenvertreter an der Entwicklung und Verwendung aller Instrumente zur Entscheidungsunterstützung wurde ein hoher Stellenwert eingeräumt und durch die Aus- und Fortbildung lokaler Partner realisiert. Die Instrumente und Systeme von IMPETUS können genutzt werden:

- von Entscheidungsträgern, die eine Szenario-Analyse für verschiedene Optionen durchführen möchten
- von Wissenschaftlern, die Ansätze, Modelle und den Entscheidungsfindungsprozess verbessern wollen.

Box 3.2 Benin und das Einzugsgebiet des Ouémé

Benin liegt an der Guineaküste Westafrikas und grenzt an Togo, Burkina Faso, Niger und Nigeria. Das Land hat eine Ausdehnung von 620 km in nord-südlicher Richtung und erstreckt sich vom Golf von Guinea, einem Teil des tropischen Atlantiks, bis zum Niger.

Benin lässt sich in fünf Naturlandschaften unterteilen: die nördlichen Ebenen, die über den Niger und den Volta entwässert werden, das Atakora-Mittelgebirge im Nordwesten, der präkambrische Sockel mit einzelnen Inselbergen zwischen der Atakora-Kette und der Stadt Abomey, dem unmittelbar südlich angrenzenden „Terre de Barre“-Tiefland und der Küstenebene.

Benin liegt in den wechselfeuchten Tropen mit einer zweigipfeligen Regenzeit im Süden und einer einzigen Regenzeit im Norden, deren Höhepunkt im August liegt. Das Jahresmittel des Niederschlags variiert von weniger als 800 mm im Norden bis 1400 mm im Südosten und im Atakora-Gebirge.

Von November bis März wird das Klima des Landes größtenteils von den trockenen und staubigen Harmattan-Winden, die über der Sahara entstehen, geprägt. Die vorherrschenden Vegetationsarten sind Savanne und Trockenwald.

Nach der Unabhängigkeit von der Kolonialmacht Frankreich im Jahr 1960 wurde das Land „Republik Dahomey“ genannt. 1975 verlieh der frühere Staatspräsident Kérékou dem Land den geschichtlich unbelasteteren Namen „Benin“, der von einem historischen Königreich im benachbarten Nigeria

übernommen wurde. Seit 1990 ist Benin eine Republik mit einem parlamentarischen Präsidialsystem. Nach den Dezentralisierungs-Reformen im Jahr 2002 ist Benin in 12 Verwaltungsbezirke aufgeteilt, die „Départements“ genannt werden. Auf unterer Ebene ist den früheren „Sous-Préfectures“ mehr Verantwortung übertragen worden. Diese bilden nun 77 finanziell unabhängige „Communes“ genannte Bezirksgemeinden.

IMPETUS schätzt die Einwohnerzahl von Benin auf ca. 8 Millionen mit einer großen ethnischen Vielfalt, darunter eine überwiegend islamische Bevölkerung im Norden und mehrheitlich christlichen, Voodoo- und anderen traditionellen Religionen im Süden.

Benins Wirtschaft basiert auf Landwirtschaft, Handel und Transport. Mit einem BIP-Anteil von bis zu 16,7% im Jahr 2006 (EIU) ist Baumwolle die meistangebaute und -exportierte Kulturpflanze, gefolgt von Cashew-Nüssen, Shea-Butter, Palmöl und Ananas.

Im UNDP Human Development Index, der Faktoren wie Gesundheitsversorgung, Bildung und Lebensstandard berücksichtigt, liegt Benin an 163. Stelle von insgesamt 177 Ländern.

Der Ouémé ist der größte Fluss des Landes mit einem Einzugsgebiet von etwa 46.500 km². Es erstreckt sich vom Atakora-Gebirge bis zur Guineaküste. Es setzt sich aus zwei Haupteinzugsgebieten zusammen: dem Oberen Ouémé-Becken, das zur Dahomey Pediplain gehört und dem Unteren Ouémé-Becken, das sich über die Küstensedimente erstreckt.

Die Maßnahmen im Rahmen des Dialogs mit den Interessenvertretern sowie der Aus- und Fortbildung schließen nationale Verwaltungen, akademische Institutionen, Kommunen sowie einzelne Nutzer ein. Dieses breite Spektrum fördert die nachhaltige Implementierung der Instrumente in den einzelnen Ländern.

Dies wird durch die Spiegelung der umfangreichen IMPETUS Datenbank für verschiedene regionale Institutionen und durch die Bereitstellung vieler Instrumentarien für alle Interessierten mittels internet-basierter digitaler Atlanten und gedruckter Ausgaben von Benin und Marokko (Judex and Thamm 2008, Schulz and Judex 2008) vervollständigt.

Box 3.3 Marokko und das Drâa-Einzugsgebiet

Das Königreich Marokko (Al Mamlakah al Maghribiyah), das an den Atlantik und das Mittelmeer grenzt, liegt in Nordwest-Afrika. An der Übergangszone zur Sahara hat es eine gemeinsame Grenze mit Algerien und Mauretanien. Marokko weist eine vielfältige Geographie auf.

Die Flachländer im Norden sowie zwischen dem Atlantik und dem Atlas sind fruchtbar und relativ gut entwickelt. Gemeinsam mit den industrialisierten Ballungsgebieten um Casablanca und anderen Städten im Norden und an der Küste bilden sie das wirtschaftliche Rückgrat des Landes. Die Gebirgsregionen und die Gegend südlich des Atlasgebirges sind lange Zeit wirtschaftlich vernachlässigt worden.

2007 betrug Marokkos BIP pro Kopf 3800 \$ mit einer jährlichen Zuwachsrate von 2,1 %. Gegenwärtig ist der Tourismus Marokkos größte Einnahmequelle für Devisen, die nur von den Löhnen übertroffen wird, die im Ausland arbeitende Marokkaner nach Hause schicken.

Im Jahr 2000 hat Marokko ein Assoziierungsabkommen mit der Europäischen Union geschlossen. Die Gesamteinwohnerzahl beträgt etwa 31 Millionen, wovon 51 % jünger sind als 25 (2008). 99 % der Bevölkerung sind Muslime, es bestehen kleine christliche und jüdische Minderheiten.

Die Amtssprache ist Arabisch, während Französisch oft als Geschäftssprache sowie in Regierung, Bildungswesen und Diplomatie verwendet wird. Fast 12 Millionen Menschen (40 % der Bevölkerung), zumeist in ländlichen Gebieten, sprechen Berbersprachen.

Von 1912 bis zur Unabhängigkeit im Jahr 1956, der Thronbesteigung Mohammeds V., war Marokko ein französisches Protektorat. Heute ist Marokko eine konstitutionelle Monarchie.

Der jetzige König Mohammed VI. ist der Nachfolger seines Vaters Hassan II., der das Land als politisches und spirituelles Oberhaupt von 1961 bis 1999 regierte. Das Land ist verwaltungstechnisch in 16 Regionen aufgeteilt mit 62 Präfekturen und Provinzen, an deren Spitze jeweils ein Gouverneur steht. Unterhalb der Provinzebene gibt es 162 „Cercles“, die aus 1497 „Communes“ bestehen, die von gewählten Repräsentanten geleitet werden.

Marokko kann in wenigstens vier Klimazonen unterteilt werden: die atlantische Küstenzone einschließlich der landeinwärts gelegenen Ebenen, die Küstenzone des Mittelmeeres, das Atlas-Gebirge sowie ein Steppen- oder Sahara-Klima südlich der Hauptwasserscheide.

In den Küstenzonen des Atlantiks und Mittelmeeres fallen die meisten Niederschläge von November bis März. Aufgrund des Reliefs variieren die Niederschlagshöhen zwischen 300 mm an der etwas trockeneren Mittelmeerküste und mehr als 700 mm im Nordwesten. Das Bergklima ist durch höhere Niederschlagsmengen auf der Luvseite (d.h. im Nordwesten) der Hänge gekennzeichnet sowie durch deutlich niedrigere Niederschläge auf der Leeseite. Oberhalb einer Höhe von 2500 m liegt häufig Schnee, wobei die höchsten Stellen der Berge mehr als sechs Monate lang von Schnee bedeckt sind. In den Gebirgsvorländern der Sahara fallen jährlich weniger als 200 mm Regen, zumeist im Herbst und Frühjahr.

Das Obere und Mittlere Drâa-Becken erstreckt sich vom Hohen Atlas, dessen Gipfel über 4000 m hoch sind, bis zu den etwa 450 m hohen Vorgebirgen der Sahara.

Das Einzugsgebiet ist 29.500 km² groß und umfasst das Becken von Ouarzazate, sechs stromabwärts gelegene Flussoasen, Teile des Antiatlas sowie die Gebirgsketten des Djebel Saghro, Djebel Siroua und Djebel Bani.



Box 3.4 Jordan

- Länge: 320 km
- Größe des Einzugsgebietes: 18.000 km²
- Fließt von den Quellen in Israel, Jordanien, dem Libanon und Syrien durch den Norden Israels in den See Genezareth und weiter bis in das Tote Meer
- Das Wasser des Jordans wird für die Trinkwasserversorgung und Landwirtschaft praktisch vollständig aufgebraucht
- Die Wasserverfügbarkeit pro Kopf gehört zu den weltweit niedrigsten:

Israel	240 m ³ /Jahr
Jordanien	148 m ³ /Jahr
Palästinensische Autonomiegebiete	203 m ³ /Jahr

(Quelle: World Resources Institute 2007)

Abbildung 3.6 Der Jordan in einem außergewöhnlich regenreichen Jahr

3.3 Jordan

Einleitung

Der Nahe Osten ist eine der am härtesten von Wasserknappheit betroffenen Regionen der Welt, in der 5 % der Weltbevölkerung mit lediglich 1 % der globalen Süßwasserressourcen auskommen müssen.

Die Verfügbarkeit der erneuerbaren Wasserressourcen liegt deutlich unter dem absoluten Schwellenwert für Wassermangel von 500 m³ pro Kopf und Jahr (Box 3.4, Abbildung 3.6). Eine abnehmende Wasserverfügbarkeit, hervorgerufen durch Klimawandel und rasant steigenden Wasserbedarf, wird die Versorgungslücke verschärfen und verdeutlicht die dringende Notwendigkeit einer nachhaltigen Wasserbewirtschaftung.

Das Klima im Einzugsgebiet des Jordans reicht von arid bis zu mediterran mit saisonalen, geringen Niederschlagsmengen pro Jahr, hoher Evapotranspiration, geringer Grundwasserneubildung und niedrigen Abflussmengen. Die regionale Wasserwirtschaft muss klimatische Bedingungen berücksichtigen, die sowohl in zeitlicher als auch in räumlicher Hinsicht extrem variabel sind. Das Klima variiert innerhalb sehr kurzer Entfernungen von extrem arid (Jahresmittel des Niederschlags: 20 mm) bis zu subhumid mediterran (Jahresmittel des Niederschlags: bis zu 1000 mm)

(Abbildung 3.7). Die Variabilität des Jahresniederschlags ist sehr hoch, bis zu 300 % in den ariden Gebieten und bis zu 50 % in eher humiden Regionen. Die steilen Klimagradienten gehen mit unterschiedlichen Umweltbedingungen einher, die eine einzigartige regionale Vielfalt der Flora und Fauna von globaler Bedeutung ermöglicht haben.

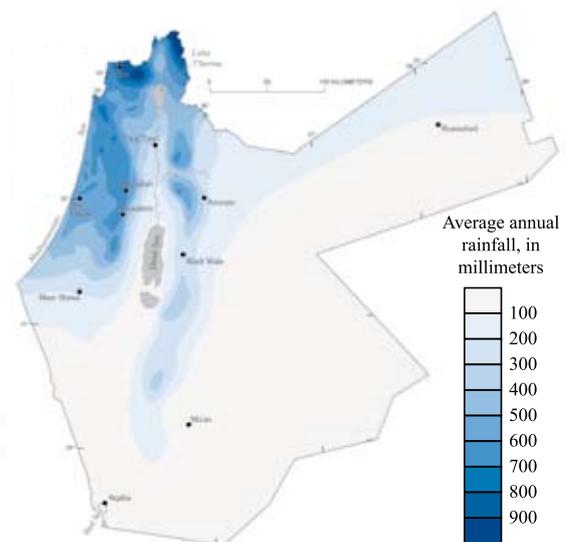


Abbildung 3.7 Mittlerer Jahresniederschlag in der GLOWA-Jordan Projektregion (Quelle: EXACT 1998)

Wasserressourcen

Mehr als 50% der Wassermenge in der Region stammen aus dem Grundwasser. Es stellt die hauptsächliche Wasserversorgung im Jordanbecken (Abbildungen 3.8 und 3.9), insbesondere im unteren Einzugsgebiet, dar. Der Mountain Aquifer, der unter der mittleren Westbank und Teilen Israels liegt, ist die wesentliche Grundwasserquelle der Region. Oft übersteigen die Entnahmemengen die natürliche Grundwasserneubildung. Daher ist eine gemeinsame Oberflächen- und Grundwasserbewirtschaftung dringend erforderlich.

Oberflächenwasser hat einen Anteil von 35% an den Süßwasservorräten der Region. Als primäres Süßwassersystem ist das Jordan-Einzugsgebiet von zentraler Bedeutung für die wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung. Israel, Jordanien und die palästinensischen Autonomiegebiete sind die größten Nutznießer des Jordan-Einzugsgebiets. Der Jordan wird vollständig genutzt, so dass der Abfluss unterhalb des Sees Genezareth vernachlässigt werden kann

(Abbildung 3.10). Hierdurch sind zwei getrennte hydrologische Einzugsgebiete entstanden – das obere und das untere Einzugsgebiet südlich des Sees Genezareth. Ein Großteil des Wassers aus dem oberen Einzugsgebiet wird über den israelischen National Water Carrier (israelische Landeswasserleitung) in die Küstenebene und die Negev-Wüste umgeleitet. Die Nutzung des Oberen Jordan wurde durch ein bilaterales Abkommen zwischen Israel und Jordanien geregelt. Damit deckt Israel 40% seines Bedarfs aus diesen Ressourcen und Jordanien lediglich 5%.

Strategien zur Bewirtschaftung des oberen Einzugsgebiets sind für Israel von vorrangiger Bedeutung. Auch Gebiete, die außerhalb des natürlichen Einzugsgebiets liegen, müssen miteinbezogen werden. Stromabwärts des Sees Genezareth fließt der von Osten kommende Jarmuk in den unteren Jordan. Sein Wasser wird jedoch in erster Linie für die Landwirtschaft genutzt und über den König-Abdullah-Kanal in Jordanien umgeleitet, so dass nur wenig Wasser für den Basisabfluss des unteren Jordan übrig bleibt.

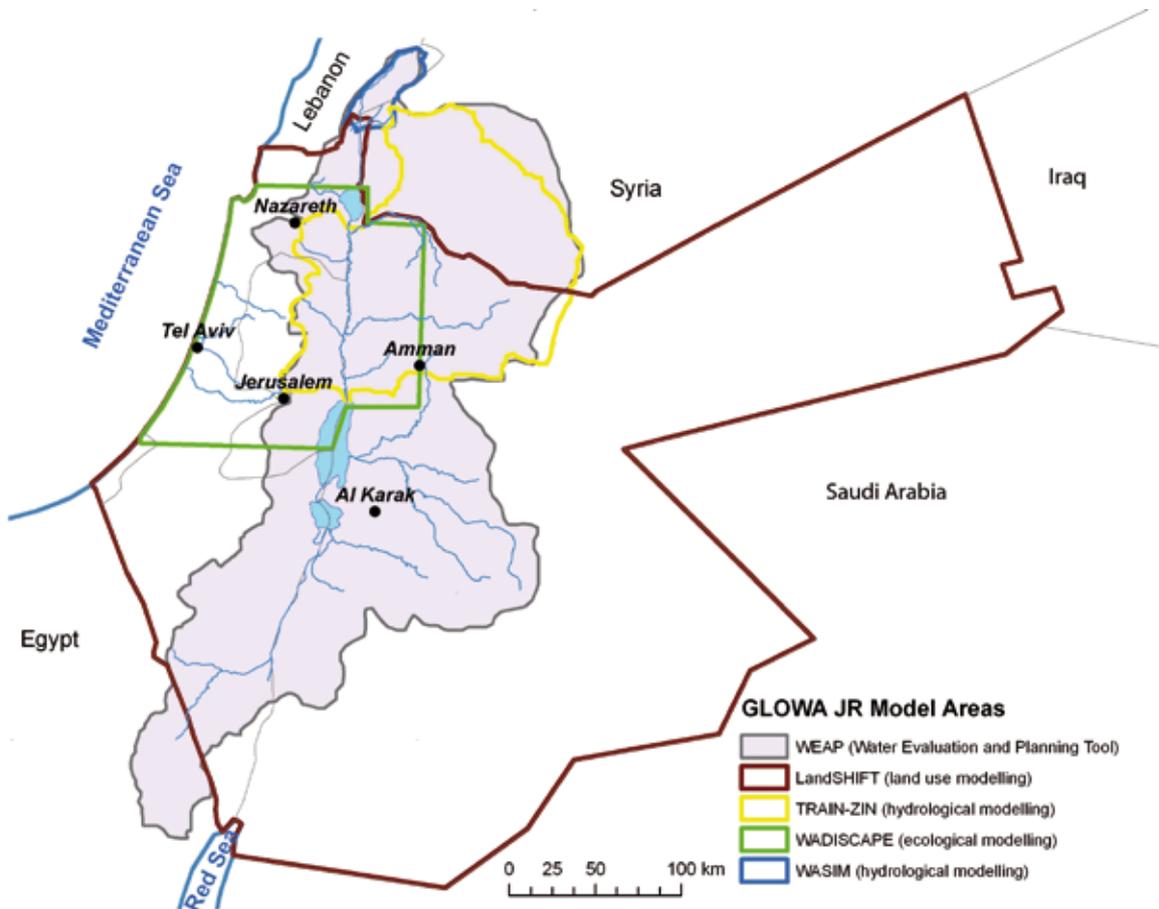


Abbildung 3.8 Das GLOWA-Jordan Projektgebiet, das sich über Israel, die palästinensischen Autonomiegebiete und Jordanien erstreckt



Abbildung 3.9 Satellitenbild des GLOWA-Jordan Projektgebiets, das die klimabedingte Veränderung der Vegetationsdecke zeigt (Quelle: NASA, 2000–2002)

Abbildung 3.10 Der Untere Jordan in einem Jahr mit mittlerer Niederschlagshöhe

Wertschöpfung durch die regionalen Wasservorräte

Ein Großteil der Süß- und Grundwasservorkommen wird zur Bewässerung in der Landwirtschaft verwendet. Für die israelische und jordanische Volkswirtschaft spielt die Landwirtschaft jedoch nur eine untergeordnete Rolle. Sogar in den palästinensischen Autonomiegebieten existiert ein Missverhältnis zwischen der für landwirtschaftliche Zwecke genutzten Wassermenge (ca. 70 %) und der Wertschöpfung durch Agrarprodukte (ca. 13 % des BIP).

Ein wichtiger, aber oft übersehener Aspekt ist der Wert, den Wasser durch ökologische Dienstleistungen, u.a. in den Bereichen Tourismus, Erosionsschutz, Futter und Nährstoffrecycling, erbringen kann. Leider ist ein Ansatz zur Quantifizierung des monetären Wertes ökologischer Dienstleistungen in der Region nur rudimentär entwickelt.

Wasserbedarf – die Wasserkrise

Von allen GLOWA-Fallstudien stellt der Jordan wahrscheinlich die größte Herausforderung dar. Globale Klimamodelle und regionale GLOWA Jordan-Modelle deuten darauf hin, dass die Region mit einem Rückgang des Jahresniederschlags, einem Temperatur-

anstieg und zunehmender Häufigkeit von Extremereignissen zu rechnen hat. Die Grund- und Oberflächenwasserressourcen in der Region leiden bereits unter dem Raubbau, der sich durch wiederkehrende Wassermangel-Perioden während der Trockenzeit äußert. So zum Beispiel sinkt der Wasserspiegel des Sees Genezareth während der Sommermonate täglich um bis zu einem Zentimeter und das Tote Meer (eine Welterbestätte von globalem Rang) um ca. 1 Meter pro Jahr. Dies hat negative Folgen für den Tourismus und die Umwelt (Abbildung 3.11).

Mit einem jährlichen Bevölkerungswachstum von 1,8–3,2% gehört die Region zur weltweiten Spitze. Selbst wenn die Wasserverfügbarkeit, entgegen allen Prognosen nicht abnimmt, würde die Lücke zwischen Angebot und Nachfrage sich rasch vergrößern (Abbildung 3.12). Außerdem werden sich die allgemeinen Umweltprobleme verschärfen und die Verschlechterung der Wasser- und Bodenqualität voranschreiten.

Obwohl ständig Verhandlungen über die Wassernutzung mit beteiligten Ländern stattfinden, werden innerstaatliche und grenzüberschreitende Interessenkonflikte wegen der Wassernutzung zunehmen.

Bewirtschaftungsoptionen

Unter Berücksichtigung der langjährigen Erfahrung im Umgang mit Wasserknappheit muss die Wasserversorgungslücke durch innovative Lösungen in allen Sektoren geschlossen werden. Zu den traditionellen Anpassungsmethoden gehören Verfahren des Water Harvesting sowie der Anbau von trockenheitsresistenten Feldfrüchten. In den letzten Jahrzehnten sind in der Region fortschrittliche technische Lösungen zur Steigerung der Wasserproduktivität entwickelt worden, darunter eine leistungsfähige Tropfbewässerung, Treibhausanbau, Wiederverwendung von aufbereitetem Abwasser und Meerwasserentsalzung. Die Entsalzung von Meerwasser kann heute wirtschaftlich betrieben werden. An der israelischen Mittelmeerküste sind Entsalzungsanlagen entstanden, der Bau von weiteren ist geplant. Grenzüberschreitende Zusammenarbeit und Wissenstransfer werden zu einer weiteren Effizienzsteigerung in der landwirtschaftlichen Wassernutzung führen. Da die natürlichen Wasserressourcen nicht zur Deckung des derzeitigen und künftigen Bedarfs ausreichen, wird mehr Wasser in Form von landwirtschaftlichen Produkten importiert als exportiert. Die Menge dieses „virtuellen Wassers“ kann bis zu dreimal höher sein als die Menge,



Abbildung 3.11 Infolge des sinkenden Wasserspiegels sind Senkungstrichter am Ufer des Toten Meers entstanden

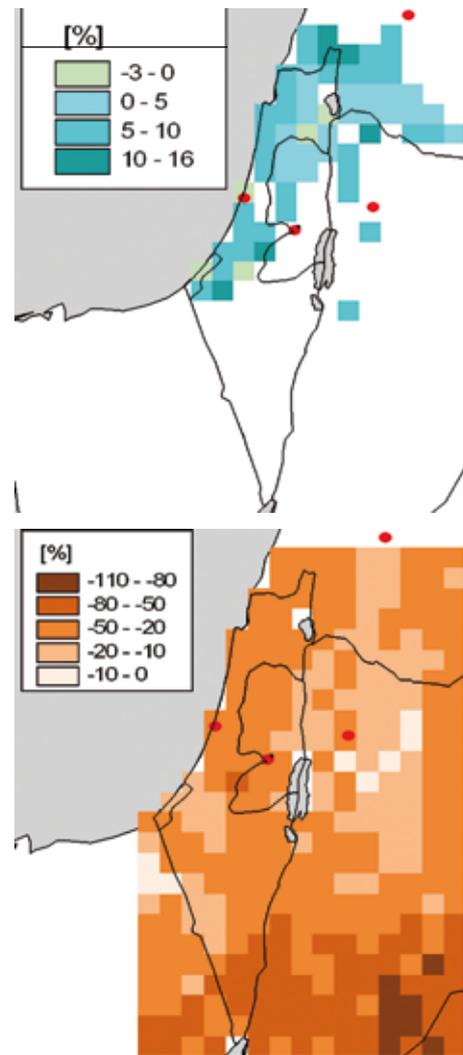


Abbildung 3.12 Oben: Netto Bewässerungswasserbedarf in %.
Unten: Prognostiziertes Mittel der Wasserverfügbarkeit in %. (2041-50 im Vgl. zu 1961-90)
(Quelle: GLOWA JR, Menzel et al.)

die natürlich vorhanden wäre. Zusätzlich ist der Import von Wasser, z.B. aus der Türkei, in Erwägung gezogen worden.

Um dem Problem der schwindenden natürlichen Wasservorkommen begegnen zu können, sind „neue“ Wasserquellen entdeckt worden. Ein sehr kontrovers diskutierter Vorschlag ist der sogenannte Red Sea – Dead Sea Conduit (Kanal zwischen Rotem Meer und Totem Meer). Meerwasser, das aus dem Roten Meer (Meereshöhe) in das Tote Meer (400 m unter dem Meeresspiegel) fließt, könnte entsalzen und ein Teil dieses Wassers in das Tote Meer geleitet werden, um dessen Wasserspiegel anzuheben.

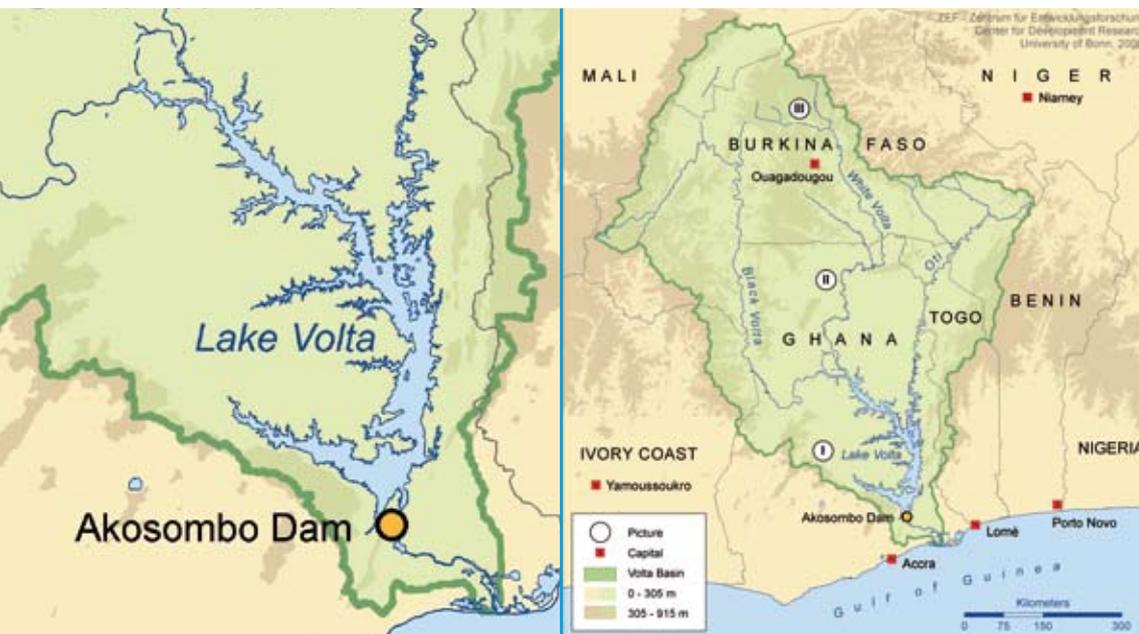


Abbildung 3.13
 Rechts: Das Einzugsgebiet des Volta in Westafrika und seine geophysischen Eigenschaften.
 Links: Lake Volta vergrößert

Wegen der potenziell irreversiblen Folgen dieses Projekts für die Umwelt, führen die Weltbank und andere internationale Geldgeber derzeit eine Machbarkeitsstudie durch. GLOWA JR ergänzt diese Studie durch die systematische Auswertung stromaufwärts gelegener Alternativen zum „Red-Dead Canal“ und Lösungen für die Erschließung von „neuem Wasser“.

Zur Analyse der komplexen Wechselwirkungen zwischen Ressourcennutzung, Reaktion der natürlichen Systeme und Landnutzungswandel kann auf einen erweiterten Ansatz des Integrierten Wasserressourcen-Managements (IWRM) zurückgegriffen werden. Diesbezüglich schließt GLOWA Jordan eine große Lücke bei der Entwicklung von nachhaltigen Strategien zur Wasserbewirtschaftung dieser Region. Das Projekt basiert auf wissenschaftlichen Ansätzen und kann daher die einzelnen Sektoren sowie Managementoptionen für Versorgung und Bedarf integrieren.

Die besondere Konzentration auf die Auswirkungen des globalen Wandels hat das Bewusstsein für eine effiziente Nutzung des „grünen Wassers“ geweckt – dem Wasser im Boden und in Pflanzen, das in der Landwirtschaft, der Weidewirtschaft und in den natürlichen Ökosystemen genutzt wird. Die aus diesem Projekt gewonnenen Erkenntnisse sind von hoher Relevanz für andere semi-aride Gebiete und Regionen mit grenzüberschreitenden Wasserressourcen und können langfristig einen Beitrag zur Anpassung an den globalen Klimawandel leisten.

3.4 Volta

Geophysische Eigenschaften

Das westafrikanische Einzugsgebiet des Volta entwässert ein 407.000 km² großes Gebiet in den Golf von Guinea (Abbildung 3.13). Es liegt in der sub-humiden bis semiariden westafrikanischen Savannenzone und weist einen deutlichen Nord-Süd Gradienten auf. Der südliche Teil des Einzugsgebiets gehört zu einer größeren Waldzone, die in eine Baumsavanne und weiter nördlich in eine Trockenwaldsavanne übergeht (Abbildung 3.14). Die jährlichen Niederschlagshöhen schwanken zwischen 2000 mm im Süden und 500 mm im Norden des Einzugsgebiets. Die potenzielle Evaporation ist hoch und reicht von 1500 mm im Süden bis zu mehr als 2500 mm im Norden. Weniger als 10% der Niederschläge tragen zum Oberflächenwasserabfluss bei. Mit zunehmender Entfernung von der Küste nimmt die Aridität zu, während die Vegetationsperiode kürzer und die Niederschläge unregelmäßiger werden.

Das Einzugsgebiet teilen sich sechs Anrainerstaaten, von denen Burkina Faso (42%) und Ghana (40%) die größten Anteile haben, während sich Togo (6%), Mali (5%), Benin (4%) und die Republik Côte d’Ivoire (3%) die verbleibenden 18% teilen (Barry et al. 2006).

Das bedeutendste Wasserbauwerk ist der Akosombo-Damm, durch den das Wasser des Weißen und des Schwarzen Volta sowie des Oti gestaut und zur Stromerzeugung genutzt wird. Mit der Fertigstellung



Abbildung 3.14 Vegetationszonen im Einzugsgebiet des Volta. Der südliche Teil des Einzugsgebiets liegt in einer Waldzone (I). Im Norden geht es in eine Baumsavanne (II) und eine Trockenwaldsavanne über (III). (Vergleiche Abbildung 3.13)

des Staudamms im Jahr 1965 entstand der Voltasee, der noch heute der zweitgrößte (8500 km²) künstliche See der Welt ist.

Für die ghanaische Wirtschaft hat der Akosombo-Damm eine strategische Bedeutung. 80% der im Land erzeugten elektrischen Energie werden am Akosombo-Staudamm gewonnen. Ein Stausee solchen Ausmaßes in einem so weit stromabwärts gelegenen Teil eines großen Einzugsgebiets ist sehr ungewöhnlich. In den

großen, stromaufwärts gelegenen Gebieten wird das Wasser größtenteils für die Bewässerung verbraucht, die so mit der Wasserkrafterzeugung im Süden in direkter Konkurrenz steht. Für die nächsten zwanzig Jahre wird ein dramatischer Anstieg des Bedarfs an Bewässerungswasser für den Norden des Einzugsgebiets prognostiziert, der eine effiziente grenzüberschreitende Wasserbewirtschaftung erforderlich macht. Diese wird bei der Betrachtung der verwaltungstechnischen Aufteilung des Einzugsgebiets offensichtlich.



Box 3.5 Verlauf des Wandels

Ein hohes Bevölkerungswachstum, Bodendegradierung und Klimawandel sind nach wie vor Grund zur Sorge im Hinblick auf Ernährungssicherung, Armutsbekämpfung, Risikominderung, Wiederaufbau nach Katastrophen und Umweltverträglichkeit im Einzugsgebiet des Volta. Das jährliche Bevölkerungswachstum von bis zu 2,6%, Armut und eine starke Abhängigkeit von der Landwirtschaft führen zu Änderungen bei der natürlichen Vegetation und der Landnutzung. Die Landdegradation nimmt überhand – 35% der Landoberfläche Ghanas und 75%

von Burkina Faso sind von Versteppung bedroht. Die Folgen des Klimawandels sind vielfältig; Modellprognosen für den Zeitraum 2030–2039 weisen auf einen Temperaturanstieg (1,2–1,3°C), kürzere und unzuverlässigere Regenzeiten und eine Zunahme von Extremereignissen hin. Bereits von 1931–1960 und von 1968–1990 (IPPC 4) sind die Niederschläge in Westafrika um 20–40% zurückgegangen. Diese Tendenz wird den Druck auf die aquatischen Ökosysteme sowie auf andere Naturressourcen beträchtlich erhöhen.

So gehören beispielsweise zu Burkina Faso, das seine Bewässerungsflächen und die Wasserkraftnutzung ausweiten will, große stromaufwärts gelegene Gebiete, während das stromabwärts gelegene Ghana vom Zufluss seiner Nachbarländer abhängig ist. Jedoch fehlen wichtige Daten zur Bewirtschaftung der Wasserressourcen und der institutionelle Rahmen zur Bewirtschaftung der gemeinsamen Wasserressourcen befindet sich, sowohl auf internationaler als auch auf nationaler Ebene, noch im Aufbau.

Demographie

Im Voltabecken leben annähernd 20 Millionen Menschen. Die Rate der ländlichen Bevölkerung liegt zwischen 56 und 83 %.

Die Bevölkerungsdichte schwankt erheblich und ist in Ghana (87 Einwohner/km²) sowie Togo (86 Einwohner/km²) am höchsten, in Mali (9 Einwohner/km²) am niedrigsten. In den anderen Ländern liegt die Bevölkerungsdichte zwischen 40 und 60 Einwohner/km².

Die Bevölkerung der Länder im Volta-Einzugsgebiet gehört zu den weltweit am schnellsten wachsenden. Die Einwohnerzahlen von Benin, Burkina Faso, Togo und Mali steigen jährlich um 2,5 bis 3,0%; in Ghana und der Republik Côte d'Ivoire um 1,8 bzw. 1,9%. Die Einwohnerschaft im Volta-Einzugsgebiet ist jung. In Benin, Burkina Faso und Mali sind 44–48% der Bevölkerung zwischen 0 und 14 Jahre alt, während diese Altersgruppe in Ghana den geringsten Anteil an der Gesamtbevölkerung stellt (39%). Jedoch ist der Großteil der Bevölkerung im Volta-Einzugsgebiet im erwerbsfähigen Alter (15–64 Jahre). Dies lässt auf einen Rückgang der Wachstumsrate der Bevölkerung, insbesondere in ländlichen Gebieten, schließen. Dessen ungeachtet schätzt man, dass sich die Einwohnerzahlen von Benin, Burkina Faso und Mali innerhalb der nächsten 40 Jahre mehr als verdoppeln werden, während sie in allen anderen Ländern um 70 bis 90% ansteigen werden (UNDP 2007).

Sozioökonomische Entwicklung

Die gesellschaftliche Entwicklung in den Ländern im Einzugsgebiet des Volta ist nach wie vor problematisch (siehe Box 3.5). Der Alphabetisierungsgrad ist gering und reicht von ca. 24% in Burkina Faso und Mali bis zu 57,9% in Ghana. Der Zugang zu sauberem Trinkwasser liegt zwischen 50 und 84%.

Allgemein ist die Versorgung mit sauberem Trinkwasser in ländlichen Gebieten schlechter als in urbanen Gebieten. In den Anrainerstaaten des Volta-Einzugs-

gebiets sind Krankheiten wie Tuberkulose, Malaria und Durchfallerkrankungen weit verbreitet und AIDS ein schwerwiegendes Problem.

Dem World Development Report 2007 zufolge haben alle Länder im Volta-Einzugsgebiet, mit Ausnahme von Ghana und Togo, eine niedrige Entwicklungsrate und gehören mit einem durchschnittlichen Pro-Kopf-BIP von ca. 1500 USD zu den ärmsten Nationen der Welt. In Mali, Burkina Faso, Benin und Ghana leben mehr als 70% der Bevölkerung unterhalb der Armutsgrenze von 2 USD pro Tag.

Im Jahr 2007 verzeichneten Benin, Burkina Faso, Mali und Ghana eine solide BIP-Wachstumsrate von 4–5%, während die Wachstumsrate der Republik Côte d'Ivoire aufgrund der Auswirkungen des Bürgerkriegs mit 1,2% auf einem niedrigen Stand blieb. Alle Länder im Volta-Einzugsgebiet sind hoch verschuldet, wobei sich der jährliche Gesamtschuldendienst zwischen 0,8% (Togo) und 2,8% (Côte d'Ivoire) des BIP (UNDP 2007) bewegt. Hinsichtlich der Einkommensquellen weisen die Anliegerstaaten des Volta-Einzugsgebiets eine gewisse Variabilität auf. Auf den Agrarbereich entfallen 35 bis 40% des BIP-Zuwachses in allen Ländern, mit Ausnahme von Côte d'Ivoire (lediglich 25%). Der Agrarsektor hat einen Anteil von 86% an der Gesamtbeschäftigung in Mali und 92% in Burkina Faso. In Ghana, das reich an Bodenschätzen ist, trägt der Abbau von Gold, Diamanten und Bauxit beträchtlich zum BIP bei.

Da die Länder im Volta-Einzugsgebiet überwiegend ländlich strukturiert sind, beschäftigt der Agrarsektor den größten Anteil der Erwerbsbevölkerung (60–92%), gefolgt von Dienstleistungen (6–30%) und Industrie (2–16%). In den urbanen Regionen nimmt der Dienstleistungsbereich eine beherrschende Stellung ein, wohingegen in den ländlichen Regionen der Agrarsektor dominiert. Die Bauern im Volta-Einzugsgebiet sind weithin auf den Regenfeldbau angewiesen, wobei der Anteil an Feldfrüchten aus bewässertem Anbau immer noch weit unter dem internationalen Niveau liegt. Der Regenfeldbau ist jedoch durch unregelmäßige und unzuverlässige Niederschläge gefährdet und diese Situation wird sich durch den globalen Klimawandel wahrscheinlich noch verschlimmern. Daher sind Kenntnisse über den immer stärkeren Schwankungen unterworfenen Beginn der Regenzeit besonders wichtig, um das Risiko vorzeitiger Ernteausfälle im Regenfeldbau zu verringern und die Ernährungslage zu verbessern (UNDP 2007).

3.5 Elbe

Die Elbe ist der östlichste große Zufluss der Nordsee. Das Gesamteinzugsgebiet der Elbe hat eine Größe von 148.268 km², wovon ein Drittel in der tschechischen Republik (siehe Abbildung 3.15) liegt.

Die Wasserverfügbarkeit im Elbeeinzugsgebiet ist die zweitniedrigste im Vergleich zu den anderen großen europäischen Flüssen, bedingt in erster Linie durch die geringe Jahresniederschlagssumme (Tabelle 3.1). Dies macht die Region anfällig für den Klimawandel, der sich durch drei Trends (Tabelle 3.2) abzeichnet: steigende Jahresmittel der Temperatur, Änderung der Niederschlagsverteilung mit höheren Winterniederschlägen sowie Abnahme des Gesamtniederschlags im mittleren Teil des Einzugsgebietes (Wechsung et al. 2005).

Eine Fortsetzung der aktuellen Trends im mittleren Teil des Elbeeinzugsgebietes würde sehr wahrscheinlich

zur Verschärfung von bestehenden Wasserkonflikten und zur Entstehung neuer Konflikte führen.

Die politischen Zielvorstellungen für die Wasserbewirtschaftung werden von der European Water Framework Directive (EC 2000) vorgegeben.

Diese orientiert sich stark an der nachhaltigen Nutzung der Wasserressourcen, mit dem Hauptziel, einen guten ökologischen Zustand der Gewässer zu erreichen. Im deutschen Teil des Einzugsgebietes der Elbe gehören dazu die Auseinandersetzung mit aktuellen Nachhaltigkeitsdefiziten und die Anpassung an die Herausforderungen, die ein künftiger klimatischer und sozioökonomischer Wandel mit sich bringen.

Eine Zusammenfassung der für diese Anpassung bedeutsamen, gegenwärtigen Trends für das Gemeinwohl, die Entwicklung des Wassersektors und die Wirtschaft, enthält Tabelle 3.3.

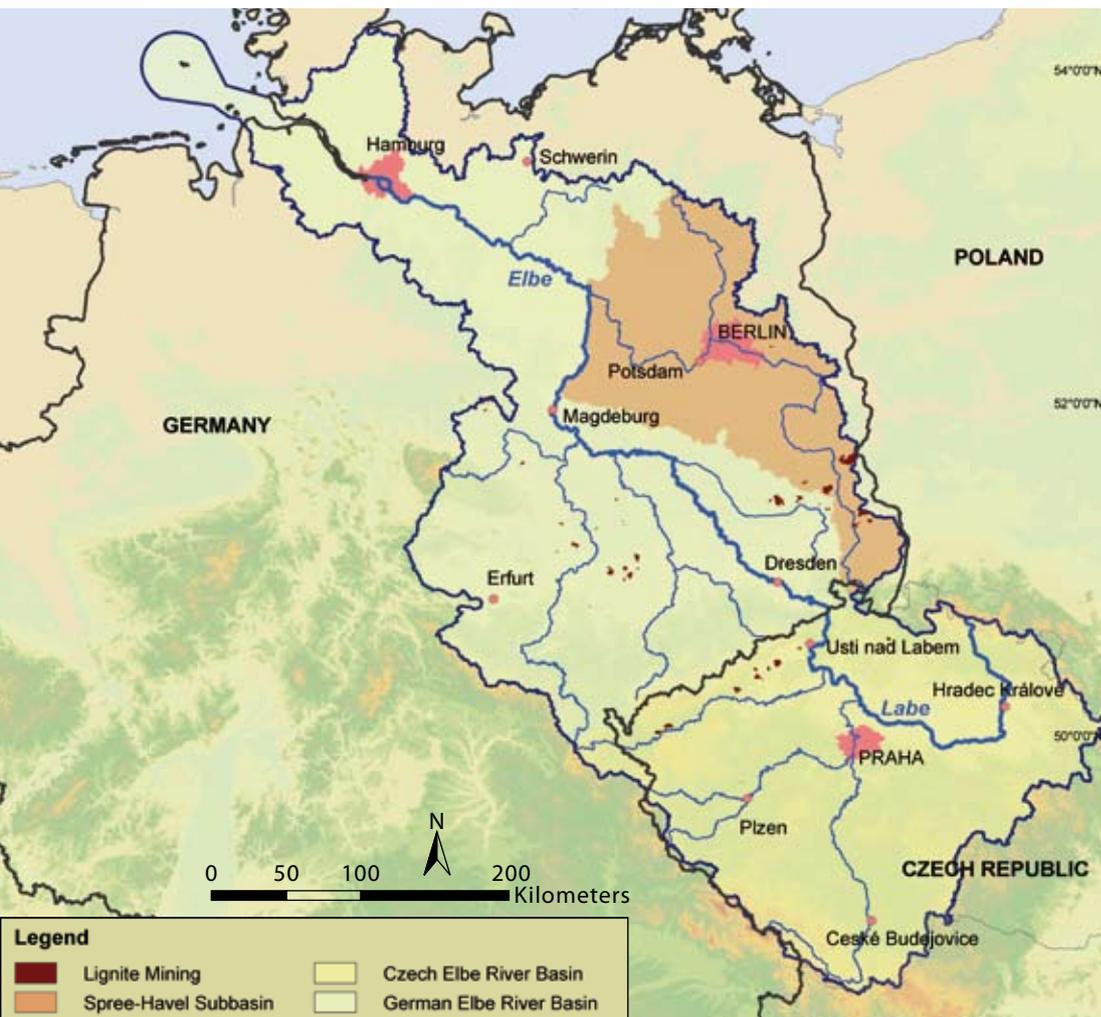


Abbildung 3.15
Das Einzugsgebiet der Elbe



Abbildung 3.16 Klassische Ansicht des sächsischen Elbtals im Gegensatz zu einer durch den Braunkohletagebau zerstörten Landschaft in der Lausitz

Tabelle 3.1 Daten zum Einzugsgebiet der Elbe

Länge des Flusslaufs [km]	1.091
Fläche des Einzugsgebietes [km ²]	148.286
Bevölkerungsdichte [Einwohner/km ²]*	193
Siedlungs- und Verkehrsfläche [%]*	7,3
Landwirtschaftliche Fläche [%]*	61,3
Ackerland [%]*	49,4
Wald [%]*	27,1
Wasser [%]*	1,4
Abflusspende [l/km ² s]*	5,3
Gesamte Wasserverfügbarkeit [m ³ /Einwohner/a] (einschl. des tschechischen Teils) **	680

* nach Behrendt 2004 for 1993–1997

** Stanners & Bourdeau 1995

Im geschichtlichen Rückblick haben drei entscheidende anthropogene Veränderungen stattgefunden:

- Der Verlust von Feucht- und Auengebieten durch Flussbegradigungen, Entwässerungsmaßnahmen und Flusseindeichungen. In Brandenburg, wo heutzutage 80 % aller Wasserläufe künstlich sind, nahmen seit Beginn des 19. Jahrhunderts die Feuchtgebiete stetig von 280.819 ha auf 21.408 ha ab. Im gesamten deutschen Elbeeinzugsgebiet schrumpfte die Fläche der Auengebiete von 617.000 ha auf 83.654 ha im Jahr 1990
- Die Verschmutzung des Oberflächenwassers durch den Eintrag von Nährstoffen (Stickstoff und Phosphor) aus Punktquellen und diffusen Quellen, die die Nordsee mit großen Nährstofffrachten belasten. Seit 1989 hat sich die Wasserqualität von heterotrophen zu autotrophen Bedingungen zurückgewandelt. In den Zeiträumen von 1983–87 und 1993–97 ist der Phosphor- und Stickstoffeintrag in die Nordsee um 53 % bzw. 26 % zurückgegangen.

Die Chlorophyll-a-Konzentration liegt jedoch immer noch über 20 µg/l, dem Schwellenwert, der zur Erreichung des „guten ökologischen Zustands“ festgelegt wurde.

- Intensive Grundwasserentnahmen im Zusammenhang mit dem Braunkohlentagebau im Einzugsgebiet der Oberen Spree (Lausitz) haben zu einer künstlichen Zunahme des Oberflächenabflusses unterstrom geführt (siehe Abbildung 3.16). Dies begünstigte Ökosysteme und die Wasserversorgung städtischer Gebiete, insbesondere Berlins.

Der Braunkohleabbau ist von 195 Mio. Tonnen pro Jahr im Jahr 1989 auf 55 Mio. Tonnen im Jahr 2000 zurückgegangen. Die Grundwasserabgaben an die Vorfluter haben sich verringert und nehmen weiter ab.

Berlin muss sich dem abnehmenden Oberflächenabfluss anpassen, der in heißen Sommern gegen Null geht. Außerdem steht der Wasserbedarf zur Flutung von aufgelassenen Tagebaugruben (12.000 ha Seeflächen) im Widerspruch zum Wasserbedarf stromabwärts (Berlin; Auenwälder, Grünland und Torflandschaften im Spreewald).

Alle drei Themen müssen in der Zukunft angesprochen werden und zwar unter folgenden zwei Schwerpunkten:

- Weitere Verminderung der Nährstoffemissionen aus Punktquellen und diffusen Quellen
- Verminderung des Abflusses von landwirtschaftlichen Flächen und Erhöhung der Verweilzeit von Oberflächenwasser im Einzugsgebiet

In den letzten Jahren hat sich die Wasserqualität erheblich verbessert und die Flutung aufgelassener Tagebaue hat zu einer Verlängerung der Verweilzeit des Oberflächenwasser in den niedrig gelegenen Teilen des Einzugsgebiets geführt.

Dennoch könnte es notwendig werden, infolge des globalen Wandels die Strategien für den Umgang mit den obengenannten Themen anzupassen. Daraus folgt die grundlegende Motivation für das Forschungsziel von GLOWA-Elbe.

Die Zielsetzungen des Projekts bestehen in der Analyse der möglichen durch den globalen Wandel bedingten Veränderungen von Quantität und Qualität des Oberflächenwassers im Einzugsgebiet sowie der Bewertung künftiger Anpassungsstrategien.

Tabelle 3.2 Gegenwärtiges Klima und Trends für den deutschen Teil des Elbeeinzugsgebiets

1951–2000 Mittelwert für 50 Jahre	Medianwert Einzugsgebiet*
Jahresmitteltemperatur [°C]	8,6
Jahresniederschlag [mm]**	616
Klimatische Jahreswasserbilanz [mm]***	22
Änderungen gegenüber dem linearen Trend von 50 Jahren	
Jahresmitteltemperatur [°C]	+1,1
Jahresniederschlag [mm]	-1
Sommer	-46
Winter	+50
Klimatische Jahreswasserbilanz [mm]	-34

* Median des Einzugsgebietes, Mittelwerte und lineare Trends (Signifikanz von mehr als 80 %) von 369 Wetterstationen

** Rohdaten

*** Differenz zwischen Niederschlag und potenzieller Evapotranspiration, berechnet nach Turc-Ivanov

Tabelle 3.3 Daten und Trends zum sozioökonomischen Wandel in Ostdeutschland seit der Wiedervereinigung im Jahr 1990

Wohlfahrt
Anstieg des mittleren jährlichen Pro-Kopf-Einkommens von 9.780 € (1991) auf 16.057 € (2002) Nettoverlust von 3 Millionen Arbeitsplätzen.
Rückgang der Geburtenrate von 1,6 auf 0,77; gegenwärtig mit 1,3 Annäherung an die nationale Geburtenrate von 1,4
Abwanderungsrate junger Frauen doppelt so hoch wie die junger Männer
Wassersektor
Überdimensionierte Infrastruktur bei abnehmender Bevölkerung
Sinkender Wasserverbrauch Pro-Kopf von 142 l auf gegenwärtig 93 l pro Tag
Hohe Zuwachsraten im Schifffahrtstourismus
Wirtschaft
Anbieter von Gas, Strom und Wasser haben einen überproportionalen Anteil an den Wirtschaftsaktivitäten (35 % der Gesamteinkünfte)
Anteil der Landwirtschaft am Brutto-Inlands-Produkt ist mit 2,1 % doppelt so hoch wie in den alten Bundesländern

4 Die Herausforderungen des GLOWA-Programmes bewältigen

4.1 Donau: Zukünftige Entwicklungstendenzen der Niedrigwassercharakteristik im Einzugsgebiet der Oberen Donau

Einleitung

Das Ziel von GLOWA-Danube besteht in der Entwicklung und Validierung von Integrationsansätzen, Modellen und neuen Monitoringverfahren zur Beurteilung der Folgen des globalen Wandels für die Wasserressourcen des mit 77.000 km² mittelgroßen Einzugsgebietes der Oberen Donau. Im Rahmen des Projektes wurde hierzu das netzwerkbasierte Entscheidungsunterstützungssystem DANUBIA (Abbildung 4.1) entwickelt, um Strategien zur Wasserbewirtschaftung zu ermitteln, die auf den Analysen verschiedener Szenarien des globalen Wandels für den Zeitraum 2011–2060 beruhen. Die Ergebnisse werden schrittweise mit den wesentlichen Interessenvertretern diskutiert, um alternative Lösungen und Folgen für die Wasserverteilung und -nutzung abzuschätzen.

Folgende Forschungsschwerpunkte wurden untersucht:

- Wie groß sind die erwarteten Auswirkungen des Klimawandels auf die Wassernutzung?
- Welche Folgen hat eine veränderte Wasserverfügbarkeit für die Landwirtschaft?
- Wie beeinflusst der demographische und technologische Wandel den Wasserverbrauch der Bevölkerung?

Die natürlichen Gegebenheiten der Oberen Donau sind vergleichbar mit denen in vielen anderen Gebirgsregionen. Daher lässt sich der gewählte Ansatz prinzipiell auf andere Regionen wie Pyrenäen, Himalaja, Anden, Kaukasus und das Äthiopische Hochland übertragen.

Das Entscheidungsunterstützungssystem DANUBIA
DANUBIA ist ein gekoppeltes prognosefähiges Simulationsmodell. Zum ersten Mal werden Modell-

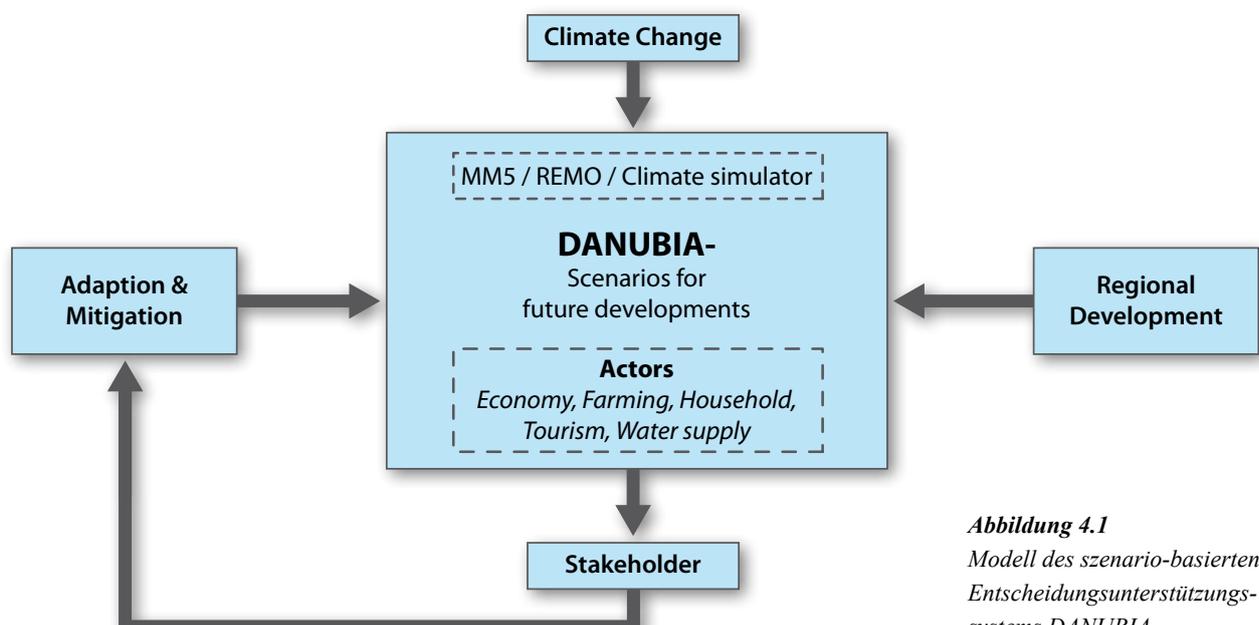


Abbildung 4.1
Modell des szenario-basierten Entscheidungsunterstützungssystems DANUBIA

komponenten für naturwissenschaftliche und sozio-ökonomische Prozesse sowie deren Wechselwirkungen einbezogen. Die hydrologische Komponente beruht auf einem räumlich verteilten, physikalisch basierten hydrologischen Modell, das den Input aus regionalen Klimamodellen zur Prognose der Folgen des Klimawandels verwendet. Physikalisch basierte Komponenten beschreiben die Naturdynamik in den Teilbereichen Hydrologie, Hydrogeologie, Pflanzenökologie und Glaziologie.

Das Modell erlaubt die Einschätzung der Folgen verschiedener Bedarfszenarien und Entscheidungen in den Sektoren Landwirtschaft, Wirtschaft, Wasserversorgung, private Haushalte und Tourismus durch die Simulation der Entscheidungsfindungsprozesse auf Grundlage von gesellschaftlichen Strukturen, ihren Rahmenbedingungen und Prioritätssetzungen (Abbildung 4.1).

Alle Komponenten von DANUBIA laufen parallel auf einem kostengünstigen LINUX Cluster. DANUBIA wurde eingehend und erfolgreich mit umfangreichen Datensätzen aus dem Zeitraum 1970–2005 validiert.

DANUBIA wird 2010, nach Ablauf der 3. Projektphase, als „Open Source“ zur Verfügung gestellt und wird insbesondere für Entscheidungsträger in Politik, Wirtschaft und Verwaltung von großem Nutzen sein.

Szenarien künftiger Niedrigwasserereignisse im Einzugsgebiet der Oberen Donau

Niedrigwasser wird durch eine andauernde Abflusssituation unterhalb des jahreszeitlichen Mittels beschrieben. Es ist ein entscheidender begrenzender Faktor für die Nutzung von Wasserressourcen. Niedrigwasserzeiten sind die Folge verminderter Wasserspeicherung in Böden, Festgestein, Schneedecken, Gletschern und Seen und werden durch anhaltende Trockenperioden, erhöhte Evaporation und Frost verlängert. Sie schränken die Wasserkraft-erzeugung sowie die Verfügbarkeit von Kühlwasser für thermische Kraftwerke ein, behindern die Schifffahrt und verursachen beträchtliche Kosten.

Die Auswirkungen von Niedrigwasser sind durch den Bau von Talsperren abgeschwächt worden, die die Speicherung von Überschusswasser in Zeiten hoher Abflüsse ermöglichen, das dann in Trockenzeiten wieder abgegeben werden kann. Außerdem kann Wasser aus Überschussregionen in trockenere Gebiete übergeleitet werden.

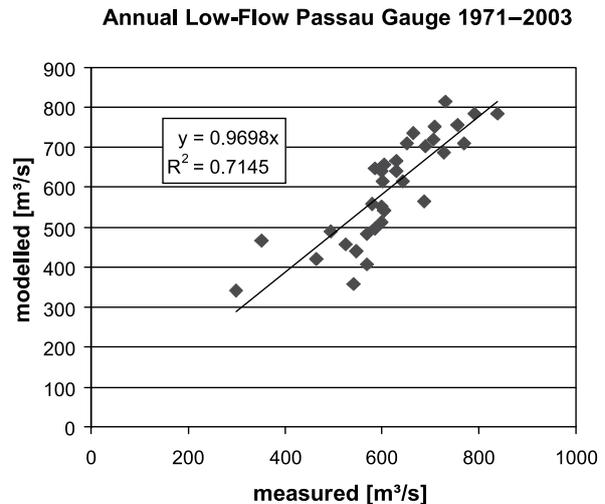


Abbildung 4.2 Gemessenes und modelliertes jährliches Niedrigwasser (NM7Q) für den Vergleichszeitraum 1971–2003 am Pegel Achleiten unterhalb Passau, Obere Donau.

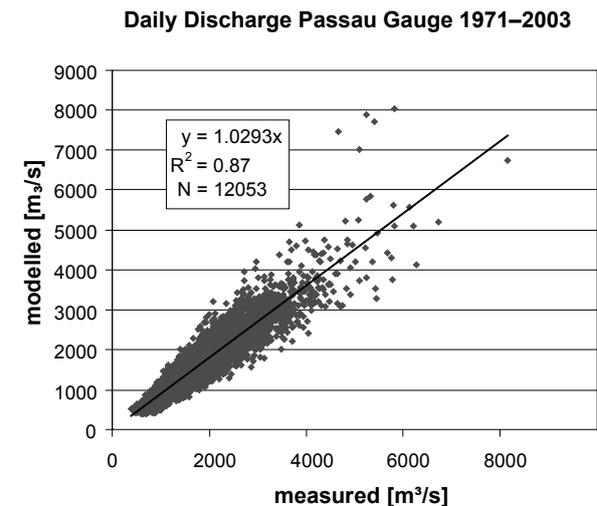


Abbildung 4.3 Gemessener und modellierter täglicher Abfluss für den Vergleichszeitraum 1971–2003 am Pegel Achleiten unterhalb Passau, Obere Donau.

Global gesehen wird Klimawandel gewöhnlich als erwarteter langfristiger Anstieg der mittleren Lufttemperatur verstanden. Es wird angenommen, dass die Lufttemperatur mit geringer Unsicherheit in Bezug auf Größe und räumliche Verteilung abgeschätzt werden kann. Prognostizierte Veränderungen bei den Niederschlägen sind jedoch weit weniger sicher. Für Mitteleuropa erwartet der IPCC keine bedeutenden Änderungen des Jahresniederschlagsmittels, aber beträchtliche Anstiege im Winter, einhergehend mit einem entsprechenden Rückgang der Sommerniederschläge.

Eine Kernfrage von globaler Bedeutung, mit der sich GLOWA unter Verwendung von DANUBIA befasst hat, ist: „Wie gravierend sind die Auswirkungen des Klimawandels auf das Niedrigwasserverhalten und welche Anpassungsstrategien sind geeignet, um negative Auswirkungen zu mindern?“ (Mauser 2008). Abbildung 4.2 und Abbildung 4.3 zeigen die Ergebnisse, die nicht mit historischen Abflussdaten kalibriert sind für den Zeitraum 1971–2003 am Pegel Achleiten unterhalb von Passau (in der Nähe des Auslaufs des 77000 km² großen Einzugsgebietes der Oberen Donau).

Im Vergleich zu den historischen Daten werden der tägliche Abfluss, das niedrigste jährliche arithmetische Mittel des Abflusses an 7 aufeinander folgenden Tagen (NM7Q) und die jährliche Variabilität des Niedrigwasserverhaltens von dem Modell gut erfasst.

Das Modell wurde auf der Grundlage dieser Ergebnisse zur Abschätzung von Abfluss-Szenarien für den

Zeitraum 2011–2060 benutzt, wobei die Ergebnisse eines stochastischen Klimagenerators eingeflossen sind. Hierbei kam das IPCC-A1B-Szenario zur Anwendung, das für das Einzugsgebiet der Oberen Donau einen Temperaturanstieg von 3 Grad bis zum Jahr 2060 vorhersagt.

Unter Verwendung gemessener meteorologischer Daten wurde eine Vielzahl an möglichen Niederschlags- und Temperaturreihen entsprechend des prognostizierten langfristigen Temperaturtrends abgeleitet. Diese wurden dann benutzt, um Ensembles von prognostizierten Abflüssen zu modellieren. Hiervon wurden 17 auf der Grundlage von Kriterien wie dem trockensten 5-Jahres-Zeitraum der ersten 25 Jahre oder dem heißesten Sommer von 2035–2060 ausgewählt. Alle ausgewählten Szenarien wurden mit einem Szenario verglichen, das von der Annahme ausgeht, dass keine weitere Temperaturänderung eintreten wird. Abbildung 4.4 zeigt die Ergebnisse der Ensemble-Modellläufe.

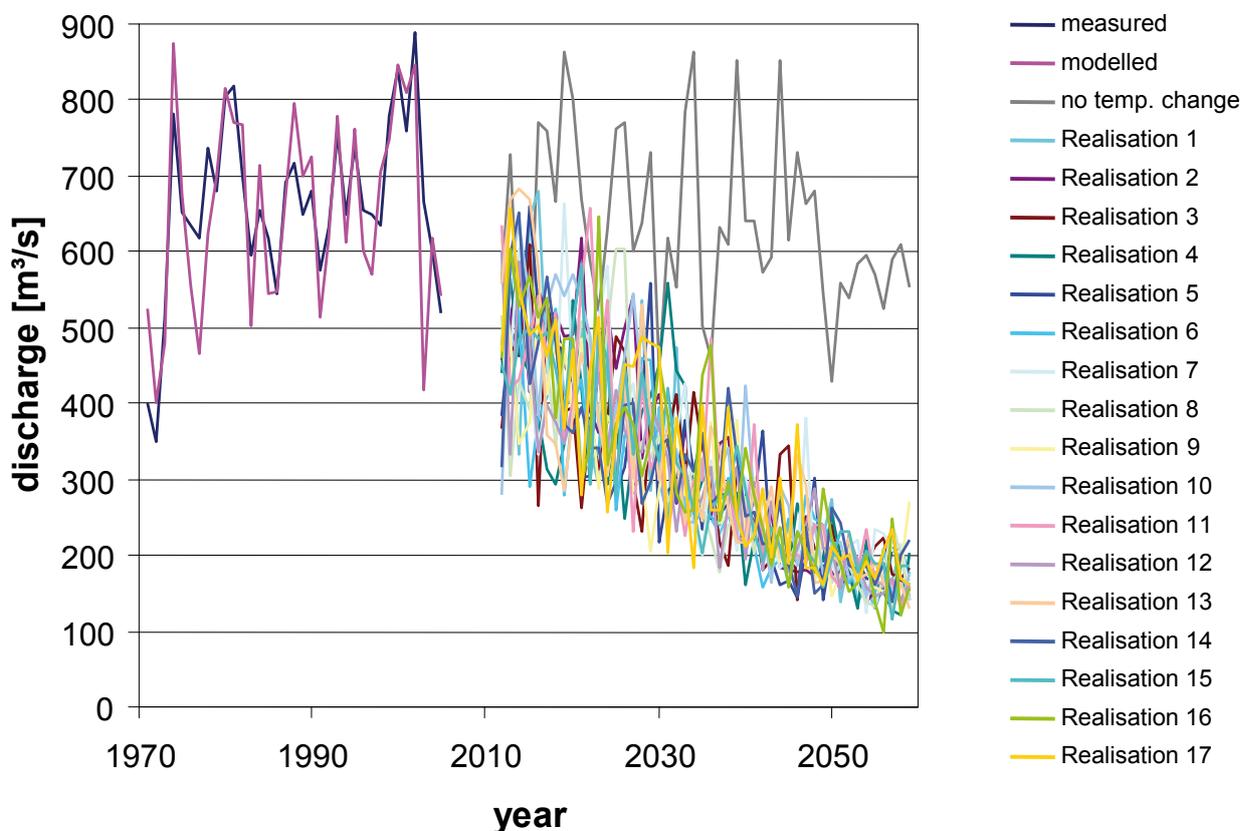


Abbildung 4.4 Gemessenes und modelliertes (linke Seite des Diagramms) sowie prognostiziertes jährliches Niedrigwasser (NM7Q) für ein Szenario ohne weitere Temperaturänderung (graue Kurve auf der rechten Seite des Diagramms) und ein Ensemble von 17 statistisch äquivalenten Umsetzungen des IPCC-A1B Szenarios am Pegel Achleiten unterhalb Passau im Einzugsgebiet der Oberen Donau.

Die gemessenen und modellierten historischen jährlichen Niedrigwasserabflüsse werden im linken Teil der Abbildung 4.4 verglichen. Wie bereits in Abbildung 4.2 dargestellt, gelang mit DANUBIA eine gute Übereinstimmung von beobachtetem und modelliertem Abfluss.

Der rechte Teil der Abbildung 4.4 zeigt die Ergebnisse einer großen Spannweite an möglichen zukünftigen Szenarien jährlicher Niedrigwasserabflüsse. Es ist klar erkennbar, dass das „Kein-Klimawandel-Szenario“ (graue Linie) eine Zukunft prognostiziert, die der Vergangenheit stark ähnelt. Das Ensemble der A1B-Szenarien zeigt eine fortschreitende starke Abnahme der Jahresniedrigstflüsse für alle Mitglieder des Ensembles, bei gleichzeitiger Abnahme der Unsicherheit der durch die klimatischen Eingangswerte verursachten statistischen Schwankungen. Die statistischen Variationen weisen eine starke Ähnlichkeit mit aktuell beobachteten Schwankungen auf.

Man erwartet, dass künftige Niedrigwasserabflüsse nur etwa ein Drittel der heutigen Werte erreichen werden – ein beachtlicher Rückgang. Diese zentralen Ergebnisse werden derzeit mit lokalen Interessenvertretern diskutiert, um mögliche Anpassungsstrategien zu finden, die dann in DANUBIA umgesetzt und im Hinblick auf ihre Effizienz erprobt werden können

Box 4.1 Zusammenfassung

Szenarien zu den regionalen Folgen des Klimawandels für die Wasserressourcen bilden die Grundlage für einen strukturierten Dialog mit den Interessenvertretern im Einzugsgebiet und auch für die simulierten Entscheidungen von Akteuren im Kontext der sozialwissenschaftlichen Untersuchungen im Rahmen von GLOWA-Donau.

Dabei ist von zentraler Bedeutung, nichtkalibrierte, aber validierte Modelle der hydrologischen Prozesse zu entwickeln, um die gesamte Bandbreite des zukünftig zu erwartenden hydrologischen Wandels abdecken zu können.

Das Beispiel unterstreicht die Leistungsfähigkeit des entwickelten Modells und beschreibt eine Analyse der künftigen Niedrigwasserentwicklung im Einzugsgebiet der Oberen Donau auf der Grundlage eines Ensembles von 17 Realisationen des IPCC-A1B-Klimaszenarios. Die Ergebnisse wurden mit Interessenvertretern diskutiert, die Strategien für Investitionsmaßnahmen im Bereich wassergebundener Infrastruktur entwickeln.

4.2 Donau: Modellierung der Wechselwirkung von Mensch und Natur mit DANUBIA

Forschungen zu den Auswirkungen des globalen Wandels auf den Wasserkreislauf stellen eine besondere Herausforderung dar, d.h. die detaillierte Beschreibung der Verflechtung natürlicher und gesellschaftlicher Prozesse. Veränderungen natürlicher Antriebskräfte führen zu Anpassungszwängen und lösen gesellschaftliche Reaktionen aus, die wiederum auf einer Vielzahl individueller Präferenzen, Entscheidungen und Lernprozessen beruhen, die sich gegenseitig beeinflussen.

Zur Darstellung einer derartigen Vielschichtigkeit und um eine integrierte Simulation gesellschaftlicher und natürlicher Abläufe in DANUBIA zu ermöglichen, wurde das „DEEPACTOR“- System entwickelt. Es stellt eine gemeinsame konzeptionelle und gestalterische Basis für die Modellierung und Implementierung von sozioökonomischen Simulationsmodellen in GLOWA-Donau zur Verfügung. Das System verwendet den „agentenbasierten“ Simulationsansatz aus den modernen Sozialwissenschaften, der auf Konzepten verteilter künstlicher Intelligenz beruht.

Entscheidungsträger wie Einzelpersonen, Organisationen und Firmen werden detailliert modelliert und als „Akteure“ simuliert. Ein Akteur beobachtet sein gesellschaftliches, wirtschaftliches und materielles Umfeld und wählt als Reaktion auf seine Beobachtungen eine Handlung aus einer Reihe von Alternativen aus. Die Handlungen wiederum verursachen Folgen für die Umwelt und andere Interessenvertreter. Unterschiedliche Akteure können jeweils anders reagieren, abhängig von ihrem Wissen oder ihrem Zugang zu Daten, ihrer Aufnahmefähigkeit, ihren Präferenzen, dem verfügbaren Budget und dem Standort. Einige dieser Parameter können im Verlauf der Zeit variieren, wobei agentenbasierte Modelle in realistische sozialwissenschaftliche Prozess-Modelle umgewandelt werden.

Zur Illustration des Zusammenspiels natürlicher und gesellschaftlicher Prozesse ist es aufschlussreich, die DANUBIA Grundwasser-, Wasserversorgungs- und Privathaushaltsmodelle zu betrachten. Wasserversorgung ist ein Akteurmodell des Wasserversorgungsbereichs, zu dem Wasserentnahme, -behandlung und -verteilung gehören. Privathaushalt ist ein weiteres Akteurmodell zur detaillierten Modellierung der Wassernutzung in privaten Haushalten.

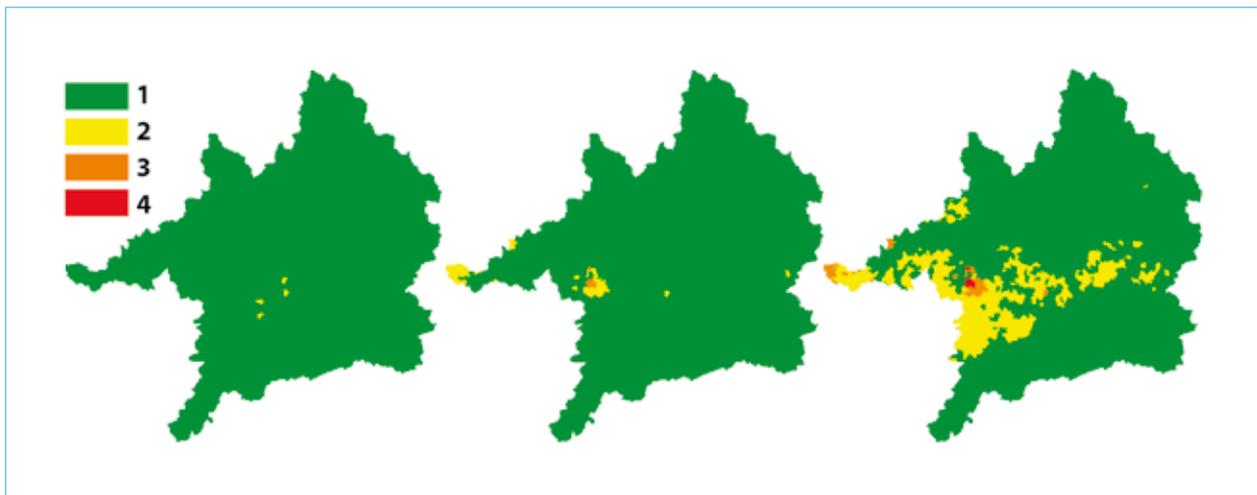


Abbildung 4.5 Räumliche Verteilung der modellierten Trinkwassermenge-Flags [von 1 (gut) bis 4 (katastrophal)] im Einzugsgebiet der Oberen Donau im Juli 2038 für das Klimaszenario „Business as usual“ sowie für folgende Verhaltensweisen der Wasserversorger: nicht-sensitiv (links), mittlere Sensitivität (Mitte) und sensitiv (rechts).

Während die Versorger in der Regel gut über die Verfügbarkeit von Grundwasser informiert sind, konsumieren die einzelnen Verbraucher lediglich, ohne wirkliche Kenntnisse über die technischen Hintergründe der Grundwasserverteilung und -verfügbarkeit zu haben. Abgesehen von der Wasserversorgung der modellierten Verbraucher in DANUBIA stellt das Wasserversorgungsmodell Informationen über den Zustand des Wasserversorgungssystems bereit (Barthel, Mauser & Braun, 2008; Barthel, Nickel, Meleg, Trifkovic & Braun, 2005).

Diese Information wird in verdichteter Form unter Verwendung von „Flags“ bereitgestellt. Flags nehmen ganzzahlige Werte von 1 (gut) bis 4 (katastrophal) an. Das Wasserversorgungsmodell berechnet bei jedem Zeitschritt zwei Flags auf der Grundlage einer Reihe von physikalischen Parametern, wobei die Modelle „Grundwasser“ und „Privathaushalte“ gekoppelt werden. Die „Grundwassermenge“- und „Grundwassergüte“-Flags beschreiben den Systemzustand der Grundwasserressourcen in einem definierten Gebiet.

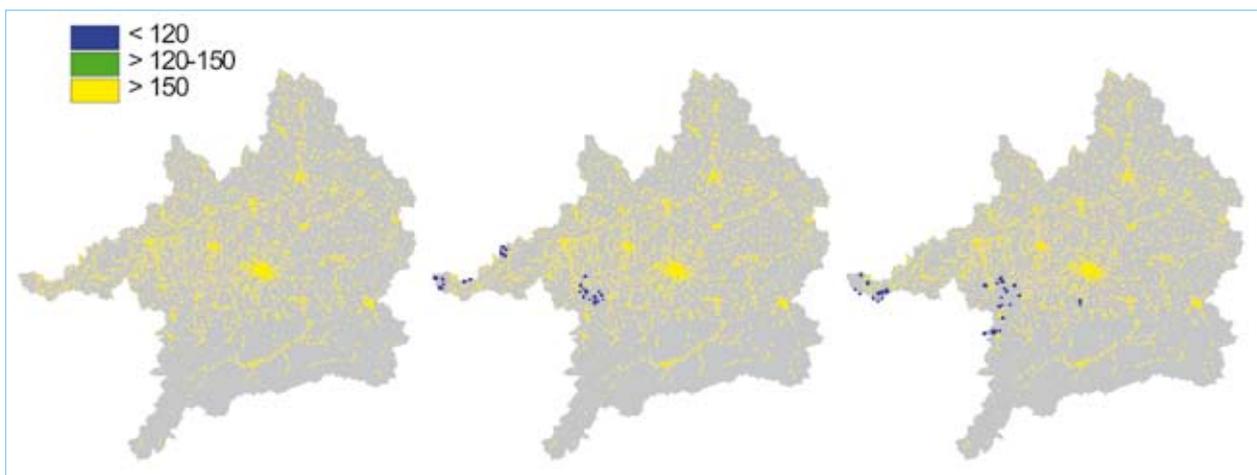


Abbildung 4.6 Räumliche Verteilung der modellierten Wassernutzung von Privathaushalten (in Liter pro Haushalt und Tag) im Einzugsgebiet der Oberen Donau im Juli 2038 für das Klimaszenario „Business as usual“. Wie in Abbildung 4.5 beziehen sich die Rechenläufe auf folgende Verhaltensweisen der Wasserversorger: nicht-sensitiv (links), mittlere Sensitivität (Mitte) und sensitiv (rechts). Die Haushalte weisen einen hohen Wasserverbrauch (Juli) auf, außer in den Regionen, in denen Flags angezeigt worden waren.

„Trinkwasserqualität“-Flag stellt eine Bewertung der Wasserversorgung auf Grund der quantitativen Änderungen in der Verfügbarkeit von Trinkwasserressourcen dar, bezogen auf die Wassernutzer.

Die Veränderungen im Zustand der Grundwasservorkommen werden von den Wasserversorgern unterschiedlich interpretiert, je nachdem wie sensitiv diese auf Gefährdungen der Nachhaltigkeit reagieren und wie hoch deren Bereitschaft ist, diese Informationen an die Wassernutzer weiterzugeben.

Aktuell werden drei solcher Ausprägungen betrachtet, die im Bereich von „nicht-sensitiv“ (d.h. missachtet Veränderungen, teilt diese nicht mit und versucht, den Bedarf durch den Einsatz versorgungsseitiger technischer Maßnahmen mit dem Ziel höherer Entnahmeraten zu befriedigen) über „mittlere Sensitivität“ (d.h. pragmatische und wirtschaftliche Einstellung) bis zu „sensitiv“ (d.h. räumt der Nachhaltigkeit einen höheren Stellenwert ein, gibt Informationen sofort weiter und ergreift geeignete Maßnahmen). Abbildung 4.5 zeigt für ein Klimaszenario des Typs „Business as usual“ einen Vergleich der resultierenden räumlichen Verteilung der Trinkwassermengen-Flags.

Die von den Wasserversorgern übermittelten Trinkwassermengen-Flags können als unterschiedliche Grade des öffentlichen Bewusstseins in Bezug auf die Wasserverfügbarkeit interpretiert werden. Sie beeinflussen die Wassernutzung von Privathaushalten. Das Ausmaß dieses Einflusses hängt von der Art der Lebensführung, den finanziellen Verhältnissen, dem Ort und der technischen Infrastruktur des jeweiligen Privathaushalts ab (Ernst, Schulz, Schwarz & Janisch, 2008). Wie aus Abbildung 4.6 ersichtlich ist, schränken die betroffenen Haushalte ihre Wassernutzung entsprechend der erlangten Informationen ein.

Zusätzlich zu den gesellschaftlichen Reaktionen auf Veränderungen im Bereich der Wasserversorgung berücksichtigt das Privathaushaltsmodell die zunehmende Verbreitung wassersparender Einrichtungen in Haushalten, wie z.B. den Einsatz von wassersparenden Duschköpfen oder Regenwassersammelsystemen. Auch politische Szenarien (wie die Subventionierung von Technologien) sind berücksichtigt worden. Sie zeigen die mit der Zeit zunehmende Verbreitung der Innovationen im Einzugsgebiet, die somit zu einer weiteren Senkung des häuslichen Wasserverbrauchs beitragen (Schwarz & Ernst, im Druck).

Box 4.2 Zusammenfassung

Zu den zentralen Bestandteilen von DANUBIA gehört die Modellierung der Wechselwirkungen von Mensch und Natur. Bei den sozialwissenschaftlichen Prozessmodellen wird die Methode der agentenbasierten Modellierung verwendet und direkt mit den naturwissenschaftlichen Prozessmodellen gekoppelt. Das hier angeführte Beispiel stellt ein Wasserversorgungsmodell vor, das Informationen zur Nachhaltigkeit der Ressourcen an die häuslichen Wassernutzer weitergibt, z.B. in Form von öffentlichen Bekanntgaben oder Empfehlungen. Diese Informationen ergeben sich aus der Auswertung der Naturzustände in Abhängigkeit von den Prioritäten des jeweiligen Wasserversorgers. Die im Privathaushaltsmodell vertretenen Endverbraucher interpretieren wiederum die erhaltenen Informationen und setzen sie in individuelles Verhalten um, z.B. Veränderung der Gewohnheiten bei der Wassernutzung. Die Informationen beeinflussen auch ihre Investitionen in häusliche Wasserspartechnik.

4.3 IMPETUS: Bewältigung der Wasserknappheit im Einzugsgebiet des Drâa

Einleitung

Wie andere aride und semiaride Gebiete ist das Einzugsgebiet des Drâa durch Wasserknappheit gekennzeichnet. Die Wasserverfügbarkeit im Oberen Drâa-Einzugsgebiet hängt hauptsächlich von Niederschlägen ab. Das Mittlere Drâa-Einzugsgebiet wird jedoch vorwiegend vom 1972 errichteten Mansour Eddahbi-Staudamm beeinflusst. Der Stausee wird von ganzjährig und periodischen Wasserläufen sowie Hochwasser-Abflüssen gespeist und unterliegt starken Schwankungen. In großen Höhen fallen über 50% der Niederschläge in Form von Schnee, der im Hohen Atlas eine bedeutende Wasserressource darstellt (Abbildung 4.7).

Der Jahreswasserbedarf für die Bewässerung in der Landwirtschaft in den stromabwärts gelegenen Dattelpalmoasen des Mittleren Drâa Tals (Abbildung 4.7) beträgt 245 Millionen m³. Unter der Leitung der regionalen Landwirtschaftsbehörde ORMVAO (Office Régional de Mise en Valeur Agricole de Ouarzazate) wird periodisch kontrolliert Wasser aus dem Stausee abgelassen. Die Häufigkeit und das Volumen werden entsprechend dem Stauseevolumen geregelt. Das mittlere jährliche Volumen der Abgabe von 175 Millionen m³ kann in trockenen Jahren auf unter 100 Millionen m³ gesenkt werden.



Abbildung 4.7 Links: Der schneebedeckte Hohe Atlas im Frühling 2004 (Foto: O. Schulz).

Rechts: Typische Landwirtschaft in einer Dattelpalmoase am Mittleren Drâa (Foto: S. Cappy).

Die Landwirtschaft in den Oasen hängt in immer stärkerem Maße von Grundwasserentnahmen ab. Daher müssen die Risiken der Grundwassergewinnung und der durch künstliche Bewässerung verursachten Versalzung stärker berücksichtigt werden.

Modellierung

Zur Beschreibung der räumlichen und zeitlichen Variabilität von Wasserressourcen werden Daten und Modelle in enger Zusammenarbeit mit den marokkanischen Partnern in hierfür speziell zugeschnittenen Spatial Decision Support Systems (SDSS) und Monitoring Tools (MT) zusammengeführt. Für das vom Regen gespeiste Einzugsgebiet des Oberen Drâa werden Abfluss, Grundwasserneubildung und Staubeckeninhalt für verschiedene Klima- und gesellschaftliche Szenarien mit dem SDSS HYDRRAA (Hydrologic model for the Drâa-catchment) und dem MT PRO-RES (Prognosis of snowmelt runoff for the water reservoir) bewertet. Durch eine effiziente Bewirtschaftung des Stausees wird es möglich, Terminierung und Umfang der Wasserabgabe an stromabwärts gelegene Oasen auf saisonale Abflussvorhersagen zu stützen. Die Wechselwirkungen zwischen Oberflächen- und Grundwasserverfügbarkeit sind vielschichtig. Hiermit befasst sich das SDSS IWEGS (Impact of Water

Exploitation on Groundwater and Soil), das eine Folge von Modellen verwendet, um den Wasserbedarf der Oasen aus dem Stausee und dem Grundwasser, die mögliche Schädigung der Bodenqualität, die Grundwasserneubildung und -speicherung, den Wasserverbrauch der Haushalte sowie der Bewässerung zu überwachen.

Ergebnisse

Die vom Klimawandel ausgelöste allgemeine Verschiebung der Klimazonen in Marokko wirkt sich bereits auf die Schneedecke im Hohen Atlas aus und führt zu einem verringerten Abfluss aus der Schneeschmelze in den Stausee. Szenarien des Klimawandels mit trockeneren und wärmeren Bedingungen deuten darauf hin, dass sich dieser Trend fortsetzen wird. Dies könnte teilweise durch eine geänderte Niederschlagsverteilung mit selteneren, aber intensiveren Niederschlagsereignissen ausgeglichen werden. Obwohl es möglicherweise nicht zu einer dramatischen Veränderung des Stausee-Speichervolumens kommen wird, müssen die Bewirtschaftungspraktiken in den Drâa-Oasen zur Durchsetzung einer nachhaltigen Landwirtschaft geändert werden. Selbst ein geringer Rückgang des Jahresniederschlagsmittels um 10 % bis 2020

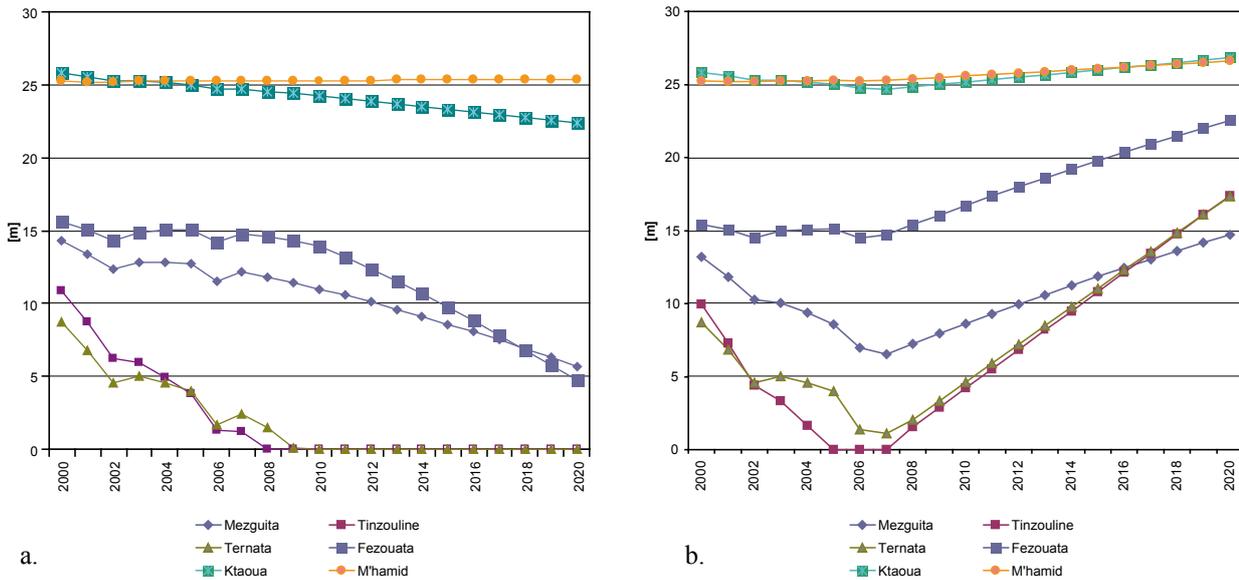


Abbildung 4.8 Simulierte Mächtigkeit des gesättigten Aquifers für die sechs stromabwärts gelegenen Oasen (von Mezquita im Norden bis M'hamid im Süden): a) mit verringertem Jahresniederschlag; b) mit alternativer Stauseebewirtschaftung und angepasstem Verteilungsschema innerhalb der Oasenkette (mit freundlicher Genehmigung von S. Klose).

(Paeth, 2004) wird eine beträchtliche Abnahme des Grundwasserspiegels von 1–2 Metern in den zwei nördlichen Oasen sowie von mehr als 6 bis 8 Metern im mittleren Abschnitt nach sich ziehen. In den zwei südlichen Oasen (Abbildung 4.8 a) wird der Rückgang zur vollständigen Erschöpfung der Grundwasservorräte führen.

Diese negativen Folgen können durch die direkte Abgabe von Hochwasserabflüssen in die Oasen ohne Speicherung im Staubecken und durch verbesserte Bewirtschaftung einzelner Oasen aufgefangen werden (Abbildung 4.8 b).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass HYDRAA, PRO-RES und IWEGS als Hilfsmittel für die marokkanischen Behörden hervorragend geeignet sind, einschließlich der Direction de la Recherche et de la Planification de l'eau (Rabat), der ORMVAO und der Agence du Bassin du Drâa (im Aufbau). Gleichmaßen wird SDSS IWEGS an der Universität Cadi Ayyad (Faculté des Sciences Semlalia) in Marrakesch installiert.

4.4 IMPETUS: Modellierung des Risikos „Bodenerosion“ im Einzugsgebiet des Drâa

Einleitung

Aufgrund seines starken Reliefs, seiner spärlichen Vegetationsdecke, Überweidung und starker Niederschläge ist das Einzugsgebiet des Drâa besonders anfällig für Bodenerosion. Die Bodenschicht ist meist dünn, hat einen niedrigen organischen Gehalt und hohe Erosionsraten führen zu einer erheblichen Bodendegradation. Zu den indirekten Folgen gehören die Verlandung des Mansour Eddahbi Stausees, der seit seinem Bau im Jahr 1972 und der letzten Untersuchung 1998 25 % seiner Speicherfähigkeit verloren hat (Abbildung 4.9). Dies bedeutet eine jährliche Sedimentrate von 4,6 t/ha aus dem Oberen Drâa-Einzugsgebiet und führt stromabwärts zu großen Problemen bei der Bewässerung in der Landwirtschaft (Abschnitt 4.3).

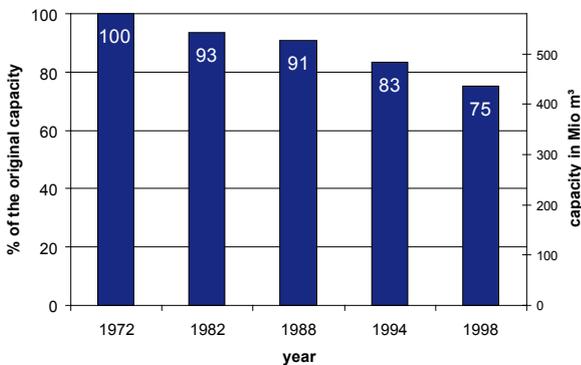


Abbildung 4.9 Geschätztes Füllvolumen des Eddahbi Stausees aufgrund bathymetrischer Aufnahmen (Datenquelle: DRH Maroc, mit freundlicher Genehmigung von A. Klose).



Abbildung 4.10
Nach einem Starkregenereignis (27.10.2006) überflutetes und zerstörtes Ackerland im Atlasgebirge (mit freundlicher Genehmigung von K. Born).

Hochwasserereignisse (Abbildung 4.10) verstärken die Erosion. Die aktuellen Wiederkehrzeiten solcher Niederschlagsereignisse (über 30 mm pro Tag) bewegen sich zwischen einmal alle 6 Jahre im Süden und 3 mal im Jahr im Norden. Verschiedene Szenarien des Klimawandels deuten darauf hin, dass sich die Häufigkeit der Niederschlagsereignisse verringern, aber deren Intensität zunehmen wird und dass dies

insbesondere im Einzugsgebiet des Oberen Drâa aufgrund der steilen Hänge und geringen Vegetationsdichte zu einer stärkeren Erosion führen wird.

Modellansatz und Szenarien

Das SEDRAA-Entscheidungsunterstützungssystem (Soil Erosion in the Drâa region) basiert auf dem PESERA-Modell (Pan European Soil Erosion Risk

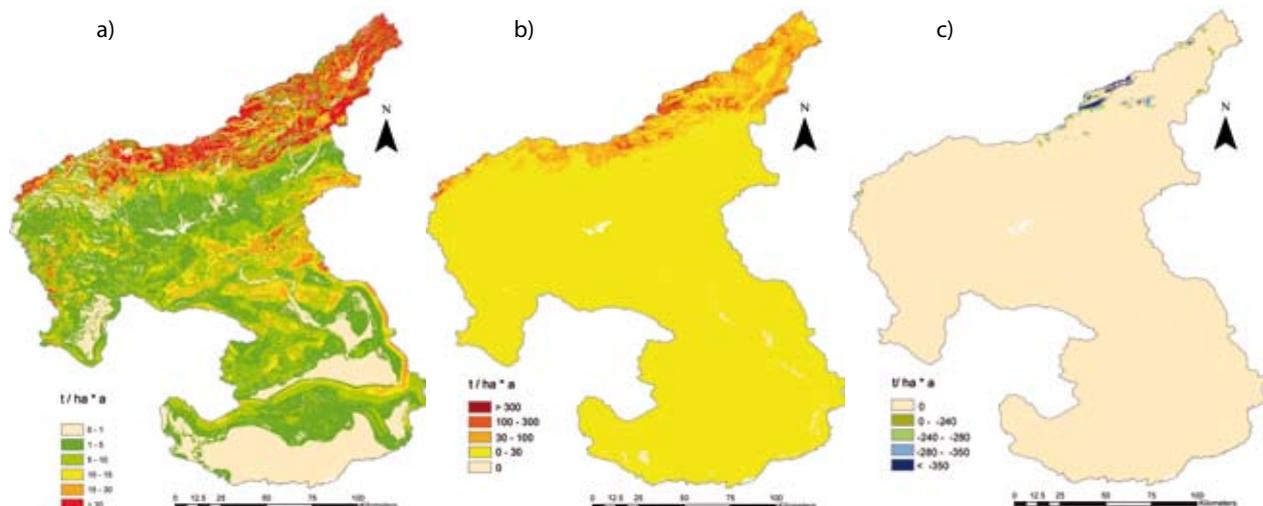


Abbildung 4.11 Modellergebnisse a) Status quo mit aktuellen Klima- und Landnutzungsbedingungen, b) Differenzen-Karte zwischen dem Status quo und einem Szenario mit erhöhter Niederschlagsvariabilität und c) Differenzenkarte-Karte zwischen dem Status quo und einem Aufforstungsszenario (mit freundlicher Genehmigung von A. Klose).

Assessment) und erlaubt die Beurteilung von Ausmaß und Verteilung der Bodenerosion in einem Einzugsgebiet. Ursprünglich wurde dieses physikalisch basierte Rastermodell zur Berechnung monatlicher Erosionsraten (t/ha) in großen Einzugsgebieten für ganz Europa entwickelt (Kirkby et al. 2004). Es ist von GLOWA IMPETUS für semiaride Bedingungen adaptiert worden und verwendet allgemein verfügbare Eingabeparameter wie Topographie, Boden, Vegetation und Klima. Das Modell kann auch die Auswirkungen von Klima- und Landnutzungsänderungen auf die Bodenerosion (durch Verwendung einer Beziehung zwischen Klima und Vegetationsdichte) abschätzen. Aufgrund der Abhängigkeit vom Wasserdargebot ist es unwahrscheinlich, dass die Flächen bewässerten Ackerlands zunehmen werden. Es wird vorgeschlagen, die Erosion durch Anpflanzen von Sträuchern und Bäumen sowie durch Vermeidung der Beweidung zu mindern.

Ergebnisse

Abbildung 4.11 stellt die Erosionsraten unter aktuellen Bedingungen dar, die den Ergebnissen eines früheren, von Yassin (1996) entwickelten Modells, entsprechen. Die prognostizierte Zunahme extremer Niederschlagsereignisse und die Tendenz der Zunahme der Niederschläge in Form von Regen (nicht Schnee) führt zu einer Steigerung des Hochwasserabflusses und folglich zu einem Anstieg der Verlandungsrate des Mansour Eddahbi-Stausees. Abbildung 4.11b veranschaulicht, dass eine Zunahme der Niederschlagsintensität zu einer Steigerung des Jahresmittels der Bodenerosion von bis zu 9,2 t/ha führen wird.

Abbildung 4.11c zeigt, dass das Jahresmittel der Erosionsrate im oberen Einzugsgebiet bei Aufforstung eines 300 km² großen Gebiets, das nur einen Bruchteil von 1,97% des Einzugsgebiets des Oberen Drâa ausmacht, aber das höchste Erosionsrisiko von über 30 t/ha aufweist, auf 6 t/ha reduziert wird.

Abschließend ist anzumerken, dass das von GLOWA IMPETUS zur Bewertung der Auswirkungen des Landnutzungswandels auf die Bodenerosion verwendete Modell ein ausgezeichnetes Entscheidungsunterstützungsmodell für die Behörden in Marokko ist, wie beispielsweise die Ressourcenbewirtschaftungs- und -planungsabteilung von MATEE (Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement) und die HCEFLCD (Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et la Lutte contre la Desertification).

4.5 Impetus: Folgen des Klimawandels für das Malariarisiko in Westafrika

Einleitung

Malaria, weltweit eine der bedeutendsten Infektionskrankheiten, verursacht jährlich ca. 273 Millionen Erkrankungen und 1,12 Millionen Todesfälle, wovon mindestens 90% auf das subsaharische Afrika entfallen. Mehr als 30% der Weltbevölkerung (>2,1 Milliarden Menschen) sind durch Malaria gefährdet.

Modellierung

Um das Auftreten von Malaria in Westafrika zu bewerten, wurde ein bestehendes Modell der Universität Liverpool, Vereinigtes Königreich, verwendet. Das „Liverpool Malaria Model“ (LMM) simuliert die tägliche Verbreitung von Malaria anhand des Tagesmittels der Temperatur und des Tageswertes des über 10 Tage akkumulierten Niederschlags (Hoshen und Morse 2004).

Das Modell reagiert empfindlich auf bestimmte Modellparameter, die untenstehend erläutert werden. Der Anteil der mit Malaria infizierten Bevölkerung (die Malaria-Prävalenz) hängt stark vom verwendeten Modell der Überlebensmöglichkeiten der Malaria-mücken ab.

Das Modell basiert auf einer Malaria-Genesungsrate, die zu einer maximalen Malaria-Prävalenz von 65% führt. In Gebieten, in denen die Temperatur keinen Begrenzungsfaktor darstellt, wird die simulierte Malariaübertragung von Mücken auf Menschen in erster Linie von Regenfällen gesteuert. Dieser Parameter setzt den über 10 Tage akkumulierten Niederschlag in Beziehung zur Eiablage (d.h. Ablage von Mückeneiern) der weiblichen Mücken und bestimmt schließlich die Größe der Mückenpopulation. In großen Höhen spielt die sporogonische Temperaturschwelle, d.h. die Mindesttemperatur für die Entwicklung der Malariaparasiten in der Mücke, eine wichtige Rolle. Im Unterschied zum von Hoshen und Morse (2004) beschriebenen LMM-Modell wurde die in der vorliegenden Studie verwendete Version mit einem anderen Modell der Überlebensmöglichkeiten der Malaria-mücken und einer sporogonischen Temperaturschwelle von 16°C parametrisiert.

Daten

LMM-Simulationen wurden entlang eines Nord-Süd-Transekts bei etwa 2° östlicher Länge auf der Grundlage von Daten aus 10 synoptischen Wetterstationen in Benin, Niger and Mali durchgeführt.

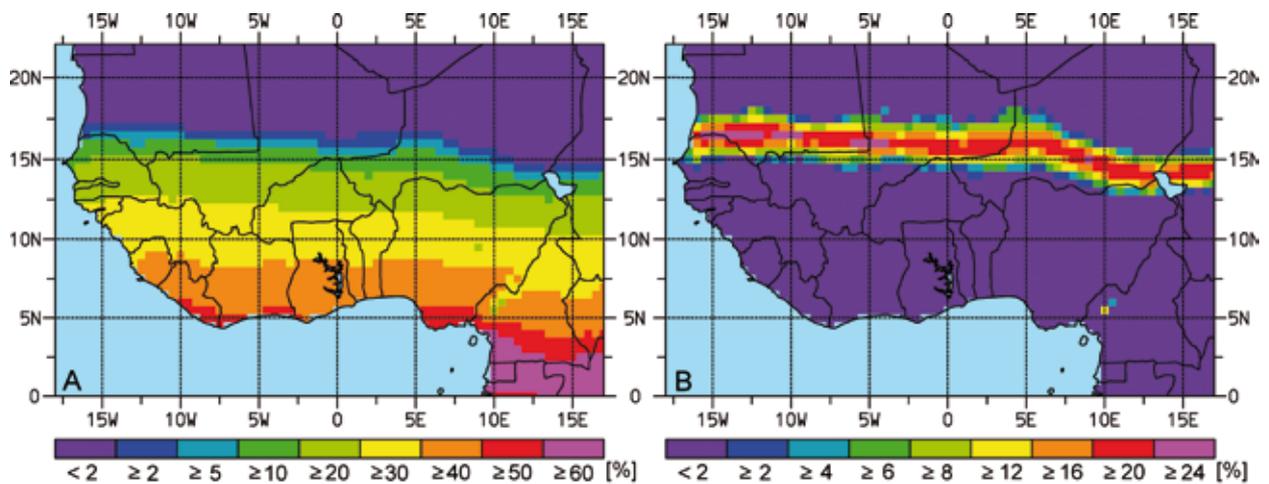


Abbildung 4.12 a. Jahresmittel der Malaria-Prävalenz (in %) und b. Standardabweichung des Jahreshöchstwertes der Prävalenz (in %) für den Zeitraum 1960 bis 2000 auf der Grundlage von LMM-Ensemble-Simulationen (mit freundlicher Genehmigung von V. Ermert und A. Fink).

Außerdem wurden zweidimensionale, heutigen Bedingungen entsprechende Ensemble-Läufe auf einem $0,5^\circ$ Raster von 1960 bis 2000 mit hochauflösenden Daten aus dem REgionalen KlimaMOdell (REMO) durchgerechnet. Das Modell berücksichtigt Bodennutzung und -bedeckung (vgl. Abbildung 3.3). Darüber hinaus wurden Malaria-Prognosen für den Zeitraum von 2001 bis 2050 auf der Grundlage von REMO-Simulationen, unter Verwendung der IPCC SRES Klimaszenarien A1B und B1 sowie Änderungen der Bodennutzung und -bedeckung, die auf Schätzungen der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation (FAO) beruhen, erstellt.

Ergebnisse

Die Stationsdaten des Transekts (1973–2006) zeigen eine Abnahme der Malaria-Prävalenz und Dauer von Cotonou an der Küste von Guinea bis Gao in der nördlichen Sahelzone. Dies überrascht nicht, da die Eiablage in direktem Verhältnis zur zehntägigen Niederschlagssumme steht. Es wurde nachgewiesen, dass die Größe der Mückenpopulation in direktem Zusammenhang mit der Stärke der westafrikanischen Sommermonsun-Niederschläge steht. In den nördlichsten Stationen des Transekts in Tillabéry ($\sim 14^\circ\text{N}$) dauert die Malariasaison nur einige Wochen, während die Krankheit in Gao ($\sim 16^\circ\text{N}$) epidemisch auftritt.

Ein Rückgang der Malaria-Prävalenz in Richtung Sahara zeigen auch die zweidimensionalen LMM-Ensemble-Simulationen. Übereinstimmend mit

den Jahresniederschlagssummen zeigen die LMM-Simulationen eine Abnahme der Prävalenz von der Guineaküste in Richtung Sahelzone für den Zeitraum von 1960 bis 2000 (Abbildung 4.12 a).

Die Regionen, in denen Malaria epidemisch auftritt, zeichnen sich durch eine große interannuelle Variabilität des jährlichen Prävalenzmaximums aus und liegen zwischen 13°N und 18°N (Abbildung 4.12 b). Weiter südlich ist die simulierte Verbreitung der Malaria von Jahr zu Jahr gleichbleibender und wird daher als endemisch eingestuft.

Vor allem aufgrund der Degradation der Landoberfläche simuliert REMO eine markante Oberflächenerwärmung und eine signifikante Abnahme des Jahresniederschlags über großen Teilen des tropischen Afrika in den Klimaszenarien A1B und B1. Infolgedessen gingen die Prognosen für Malariaerkrankung in den meisten Gebieten Westafrikas für die Dekade 2041 bis 2050 zurück (Abbildung 4.13 a).

Außerdem sind die interannuellen Variationen des saisonalen Höchstwertes der Malaria-Prävalenz im nördlichen Teil des Sahel vermindert. Daher werden für diese Gebiete eine geringere Anzahl an Epidemien oder sogar ein Rückzug der Malaria erwartet (Abbildung 4.13 b).

Jedoch steigt die Variabilität im südlichen Teil der Sahelzone (zwischen dem 13°N und 16°N). In diesen dichter besiedelten Gebieten steigt die Wahrscheinlichkeit von Epidemien, da Teile der Bevölkerung ihre

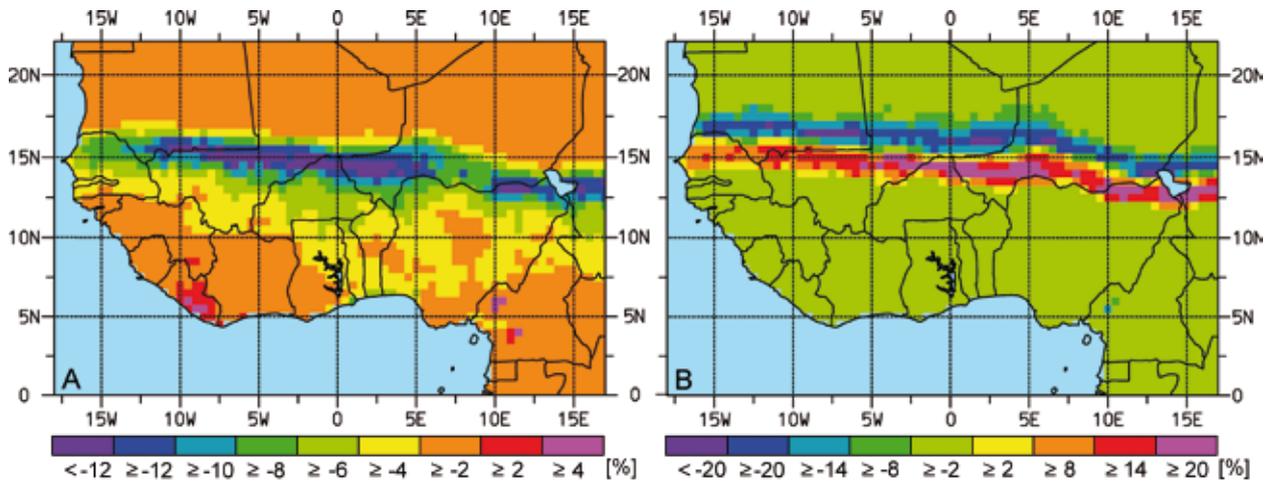


Abbildung 4.13 a. Unterschiede im Jahresmittel der Malaria-Prävalenz (in %) und b. Standardabweichung des Jahreshöchstwertes der Prävalenz (in %) zwischen der letzten Dekade des A1B Szenarios (2041-2050) und dem Zeitraum 1960 bis 2000 (mit freundlicher Genehmigung von V. Ermert und A. Fink).

Teilimmunität gegen Malaria verlieren werden. Weiter südlich, z.B. in Benin, bleibt die Anzahl an Malariaübertragungen auf einem stabilen Niveau.

Jedoch wird der Zeitraum, in dem Malaria übertragen wird, aufgrund einer trockeneren und kürzeren Regenzeit geringer. Die Ergebnisse der LMM-Simulationen werden im IMPETUS Informationssystem MalaRis visualisiert und nationalen und internationalen Gesundheitsorganisationen und -behörden zur Verfügung gestellt.

4.6 IMPETUS: Modellierung des Landnutzungswandels im Einzugsgebiet des Oberen Ouémé

Einleitung

Detaillierte Informationen über Bodenbedeckung und -nutzung sind erforderlich, da sie Einfluss auf viele Aspekte des hydrologischen Kreislaufs, der Bodenqualität und der Ökosysteme haben. In der Nähe größerer Straßen und Siedlungen sind im Oberen Ouémé-Einzugsgebiet relativ unberührte Savannen und Wälder schrittweise in Ackerland umgewandelt worden.

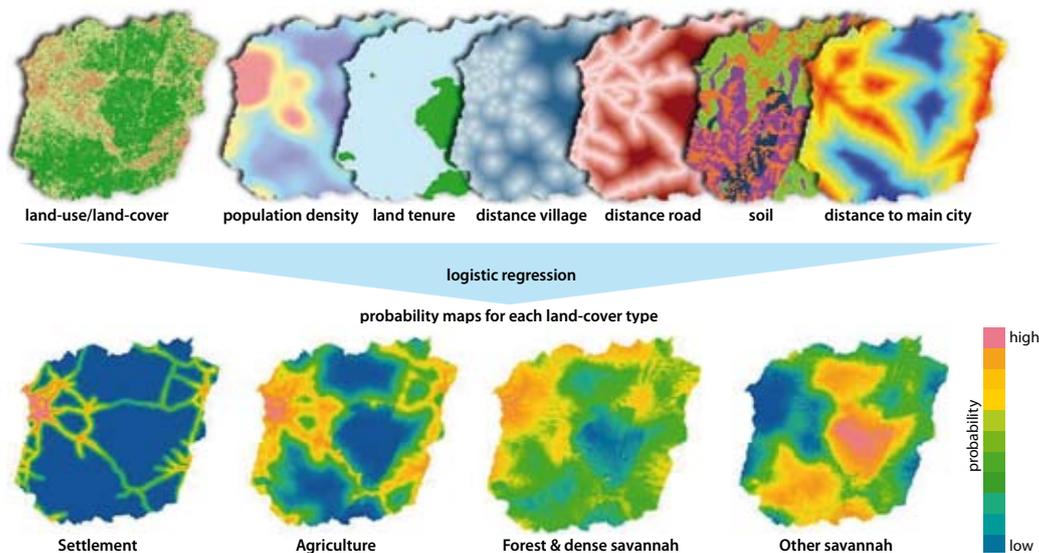


Abbildung 4.14 Berechnung von Wahrscheinlichkeitskarten unter Verwendung logistischer Regression und räumlicher Antriebskräfte. Zeitliche Auflösung: Jahreswerte (mit freundlicher Genehmigung von M. Judex und H.-P. Thamm).

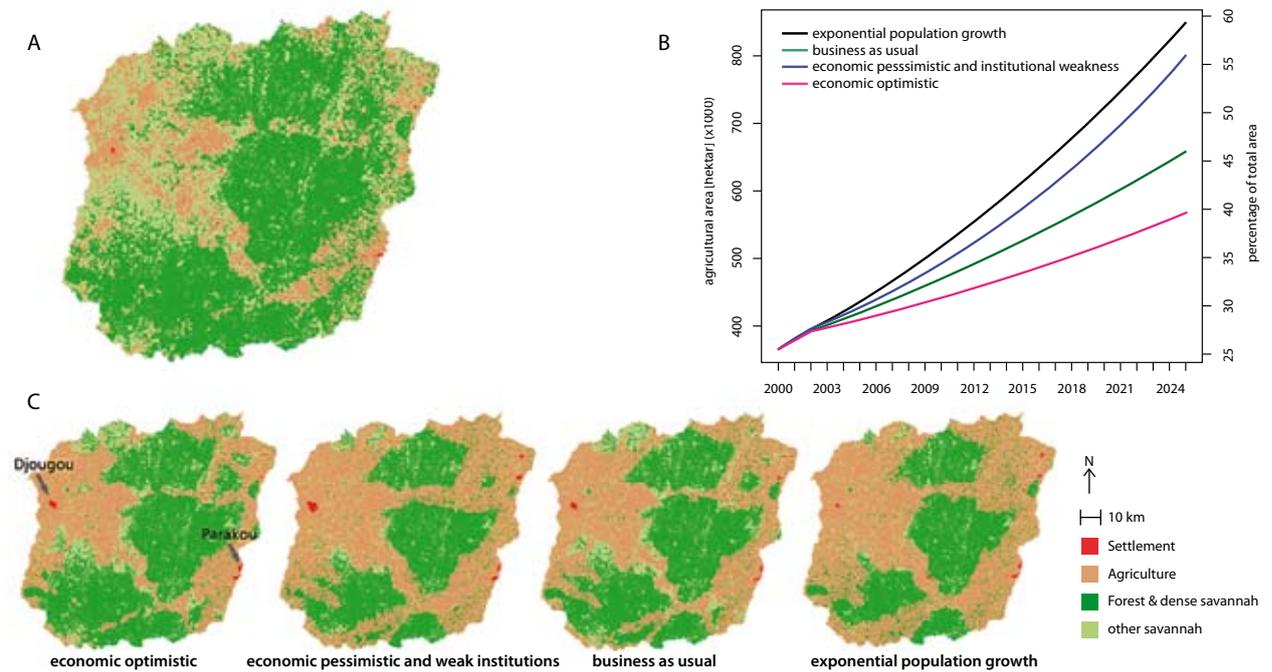


Abbildung. 4.15 (A) Landnutzungsdaten aus dem Jahr 2000; (B) Entwicklung von Ackerlandflächen für die vier Szenarien; und (C) Ergebnisse für 2025 (mit freundlicher Genehmigung von M. Judex, H.-P. Thamm).

Die Umwandlung wurde durch das starke Bevölkerungswachstum beschleunigt, das durch Einwanderung aus benachbarten Regionen, insbesondere aus dem Norden, noch verschärft wurde. Diese Veränderungen der Bodenbedeckung und -nutzung zeigen sich in hohen Abholzungsraten, die sich auf Wasser, Boden und Biodiversität auswirken. Dies führt zu einem zunehmenden Mangel an Ackerland in der Nähe von Siedlungen, einem Rückgang der Bodenfruchtbarkeit und zu vermehrten Konflikten um Wasser und Land. Genaue Prognosen über die Änderungen von Bodenbedeckung und -nutzung sind unverzichtbar, wenn man das Ziel einer nachhaltigen Entwicklung erreichen will.

Der Modellansatz

Aus einer großen Bandbreite unterschiedlicher Landnutzungsmodelle wurde das CLUE-S-Modell (Conversion of Land-Use and its Effects at Small Regional Extent, Verburg et al. 2002) aufgrund seines dynamischen, viel-skaligen Potenzials, seiner räumlich detaillierten rasterbasierten Verfahrensweise und der in vielen erfolgreichen Anwendungen in tropischen Gebieten gewonnenen Erfahrungen ausgewählt. Für das Untersuchungsgebiet wurden die folgenden Antriebskräfte verwendet: Bevölkerungsdichte, Entfernung zu Straßen, Entfernung zu wichtigen

Siedlungen, Besitzverhältnisse, Eignung der Böden für die Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte und topographische Parameter (Abbildung 4.14). Hieraus wurden mittels logistischer Regression räumliche Wahrscheinlichkeitskarten für jede Landnutzungskategorie erstellt. Die übrigen Parameter wurden auf Grund detaillierter, praktischer Kenntnisse der Landnutzungsdynamik des Untersuchungsgebiets bestimmt.

Modellierung der derzeitigen und künftigen Landnutzungsänderungen im Einzugsgebiet des Oberen Ouémé

Dieses Modell wurde für den Zeitraum 1991–2000 auf der Grundlage von Landnutzungsdaten aus Satellitenbildern kalibriert, um die Unterschiede zwischen modelliertem und beobachtetem Landnutzungswandel weitestgehend zu minimieren. Mit Hilfe statistischer Methoden wurde festgestellt, dass die Modellergebnisse bei 86% der Fläche mit den beobachteten Ergebnissen übereinstimmten. Die Randbedingungen der modellierten Landnutzungsszenarien werden von den grundlegenden IMPETUS-Szenarien vorgegeben, die einen Zeithorizont bis 2025 haben (Abschnitt 3.2). Die folgenden IMPETUS-Szenarien wurden verwendet: ein wirtschaftlich optimistisches Szenario mit starken Institutionen und ressourcenschonender Bewirtschaft-

ung, ein wirtschaftlich pessimistisches Szenario mit schwachen Institutionen, ein Business-as-usual-Szenario und ein Business-as-usual-Szenario mit exponentiellem Bevölkerungswachstum (Abbildung 4.15). Die landwirtschaftlichen Flächen wurden auf der Grundlage des Bevölkerungswachstums (aus demographischen Prognosen), der Flächennutzung pro Kopf sowie der Verbesserung der landwirtschaftlichen Produktionsmethoden berechnet.

Ergebnisse

Jedes Szenario zeigt eine Zunahme der landwirtschaftlichen Flächen und einen Rückgang der natürlichen Vegetation (Abbildung 4.15). In Gebieten mit hoher Bevölkerungsdichte (vorwiegend in der Nähe von Städten) wird das gesamte verfügbare Land in naher Zukunft in Ackerflächen verwandelt werden. Weitere Landnutzungsänderungen werden sich auf Flächen entlang von Straßen in der Nähe von Waldgebieten entwickeln, wo die Wahrscheinlichkeit landwirtschaftlicher Nutzung hoch ist. Dies wird zu einer hohen Abholzungsrate in diesen Bereichen führen. Wenn die Begrenzungen der geschützten Wälder (im Staatsbesitz) nicht überwacht werden, führt dies im wirtschaftlich pessimistischen Szenario dazu, dass kleine Waldgebiete vermutlich in Ackerflächen umgewandelt werden. Nachteilige Auswirkungen können durch Steigerung der landwirtschaftlichen Produktivität und Verbesserung der Landnutzungsplanung gemindert werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Modell zur Landnutzungsänderung ein hervorragendes Werkzeug für die Behörden in Benin wie z.B. INRAB (Institut National des Recherches agricoles du Bénin) und die Universität von Abomey-Calavi (Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines) ist.

4.7 Jordan: Grenzüberschreitende Wasserwirtschaft in einer politisch sensiblen Region

Das GLOWA Jordan River Projekt (GLOWA JR) stellt wissenschaftliche basierte Ansätze zur Verbesserung der Wasserwirtschaft in einer besonders stark von Wassermangel betroffenen Region bereit. Da die meisten Wasservorkommen über politische Grenzen hinweg genutzt werden, müssen sich Forschung und Praxis auf grenzüberschreitende Lösungen konzentrieren. Die Weiterentwicklung der Bewirtschaftung über institutionelle und nationale Grenzen hinweg war eine große Herausforderung für GLOWA JR. Die Zuteilung und der Zugang zu Wasser unterliegen politischen Entscheidungen, die zu

Einschränkungen bei der regionalen Zusammenarbeit und bei der gemeinsamen Datennutzung führen.

Um regionale Kooperation und Austausch zu verbessern, räumt GLOWA JR der Veranstaltung von Workshops und Tagungen sowie der Ausbildung einen sehr hohen Stellenwert ein. Der gesamte Forschungsprozess wird durch einen intensiven Dialog zwischen allen Interessenvertretern erleichtert. Für eine aktive Teilnahme von Interessenvertretern ist ein Initiative ergreifendes Engagement in der Region und ein breit gefächertes Programm aufeinander aufbauender Diskussionen erforderlich. Entgegen der Erwartungen hat sich erwiesen, dass eine Zusammenarbeit zwischen den Wissenschaftlern von GLOWA JR möglich ist. Diese Zusammenarbeit ist durch einen neutralen (z.B. deutschen) Partner erleichtert worden. Damit ist man in der Lage, die entsprechenden Interessenvertreter in jedem Land über grenzüberschreitende Lösungen zu informieren, die im Rahmen des Projekts erarbeitet wurden. GLOWA JR ist jetzt als wissenschaftliche Plattform für regionale Kommunikation und den Austausch über wasserwirtschaftliche Themen in der Region bekannt.

Begründet durch die lange Geschichte begrenzter regionaler Zusammenarbeit und politischer Zwänge stellt die Heterogenität der Daten und der eingeschränkte Zugang zu den Daten eine weitere Herausforderung dar. Hierfür gibt es drei Gründe:

- Selbst wenn eine gute Datengrundlage vorhanden ist, kann diese nur innerhalb eines Landes und nicht für Analysen der gesamten Region genutzt werden
- Räumliche und zeitliche Auflösung sowie Umfang der Daten sind in den Partnerländern sehr unterschiedlich
- Das Fachwissen im Wasserbereich ist eher qualitativer als quantitativer Natur.

Um die Herausforderungen im Hinblick auf die unterschiedlichen Zugangsmöglichkeiten und Qualitäten der Daten zu erfüllen, wurden Integrationswerkzeuge eingesetzt, die heterogene Datensätze einbeziehen können. Die verwendeten Methoden wurden so modifiziert, dass ihre Struktur und Anwendbarkeit den örtlichen Gegebenheiten gerecht werden, um so eine konstruktive Mitwirkung und Zusammenarbeit zu gewährleisten.

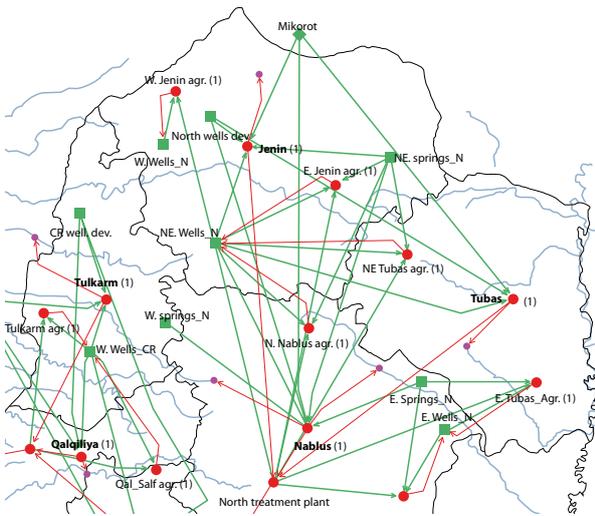


Abbildung 4.16 Schematische Darstellung von WEAP.
Grüne Pfeile: Überleitung; rote Pfeile:
Rückfluss; grüne Quadrate: Standort der
Grundwasserentnahme;
rote Punkte: Ort des Wasserbedarfs

In Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und dem Stockholmer Umweltinstitut (SEI) wurde WEAP (Water Evaluation and Planning, Yates et al 2005) als Entscheidungsunterstützungssystem in der Region eingerichtet (Abbildung 4.16).

Um den regionalen Erfordernissen zur Integration sowohl der Bewirtschaftung von blauem und grünem Wasser als auch der Bewirtschaftung von Oberflächen- und Grundwasser gerecht zu werden, wurde das Grundwassermodell MODFLOW in WEAP eingebunden. Unter Verwendung eines genesteten Skalennetzes wurden die Probleme, die durch unterschiedliche Qualität und Auflösung der Daten hervorgerufen werden, gelöst. Von isolierten WEAP-Anwendungen in kleinen Teileinzugsgebieten des Jordan ausgehend, wurde auf sehr spezifische Fragen eingegangen, z.B. die Nachhaltigkeit der Verwendung von behandeltem Abwasser. Auf einer größeren Skala wurden getrennte WEAP-Systeme für jedes beteiligte Land entwickelt. Bei diesen lokalen Anwendungen können die gesamten vorhandenen Datensätze verwendet werden und es kann auf länderspezifische wasserwirtschaftliche Probleme eingegangen werden. Auf der obersten Hierarchieebene integriert ein regionales WEAP die sub-regionalen WEAP-Systeme. Zu diesem Zweck werden mehrere Nachfrage- und Versorgungsknotenpunkte gebündelt und es wurden lediglich aufbereitete Daten (Ergebnisse der sub-regionalen WEAPs) zur

Weiterverarbeitung genutzt. Dieses Vorgehen stellt die Konsolidierung der vorhandenen Daten sicher und gewährleistet die Aufrechterhaltung von Transparenz, Vertrauenswürdigkeit und Effizienz in Bezug auf hydrologische Informationen.

Der zweite Ansatz um die Herausforderungen der unterschiedlichen Datenqualität anzugehen, ist der SAS- (Story and Simulation) Ansatz (Alcamo 2001), der wissenschaftliche Informationen mit dem Wissen der Interessenvertreter kombiniert. Das wichtigste Produkt von SAS ist ein neuer Satz umfassender, in sich schlüssiger und realistischer Szenarien für das Einzugsgebiet des Jordan, der:

- neue Kenntnisse über die möglichen Folgen des globalen und regionalen Wandels für die Wasserressourcen in der Region enthält; und
- neue Ideen untersucht, wie sich die Gesellschaft an den erwarteten Wandel anpassen kann und wie das Wohlergehen der Menschen in der Region verbessert werden kann.

Die Wissenschaftlern und Interessenvertretern von GLOWA JR entwickelten vier Szenarien (Abbildung 4.17), die als zusammenhängende Handlungsstränge niedergelegt wurden, d.h. beschreibende Szenarien, wie sich die Zukunft gestalten könnte.



Abbildung 4.17 Dialog Wissenschaft - Entscheidungsträger und Szenarien-Entwicklung: SAS Workshop in Jordanien

Die vier GLOWA JR Szenarien liegen längs zweier Achsen, die die wichtigsten Unsicherheiten bezüglich der Wassersituation darstellen, d.h. Zusammenarbeit im Vergleich zu fehlender Kooperation bei der Wasserbewirtschaftung und Wirtschaftswachstum im Vergleich zu Rezession (Abbildung 4.18). Mit Hilfe dieser Szenarien können Strategien zur nachhaltigen Wasserbewirtschaftung entwickelt werden, die Unsicherheiten in der künftigen Entwicklung der Region berücksichtigen. Die oben dargestellten Herausforderungen und deren Bewältigung sind charakteristisch für viele Gebiete in der Welt, in denen Wasser grenzüberschreitend bewirtschaftet werden muss.

Box 4.3 Zusammenfassung

Die sensible politische Lage im Jordangebiet hatte zur Folge, dass die regionale Zusammenarbeit im Wasserbereich eingeschränkt war. Dies führte zu einer hohen regionalen Variabilität sowohl in der Datenqualität als auch in der Datenverfügbarkeit. GLOWA JR versucht, diese Schwierigkeiten mit Hilfe seiner Integrationswerkzeuge WEAP und SAS zu überwinden. WEAP kann hierarchisch aufgebaut werden, um die Daten effizient zu nutzen. Es ist zudem sehr flexibel bei der Einbeziehung von Daten mit einer großen Bandbreite in ihrer räumlichen und zeitlichen Auflösung. Der SAS-Ansatz kombiniert quantitative (wissenschaftliche Modelle) und qualitative Informationen (z.B. Wissen von Interessenvertretern).

4.8 Jordan: Einführung von „grünem Wasser“ als wichtiger Bestandteil der integrierten Wasserbewirtschaftung

Grünes Wasser – das in Pflanzen und Boden gespeicherte Wasser – ist ein wichtiger Bestandteil der Wasserbilanz. Es stellt den Hauptanteil des ‚produktiven‘ Wassers in Landwirtschaft und Ökosystemen und könnte das Volumen an blauem Wasser, das zur Lebensmittelproduktion genutzt wird, verdreifachen (Falkenmark & Rockström 2006). Die Bewirtschaftung von grünem Wasser wird jedoch bei der integrierten Wasserbewirtschaftung weitgehend vernachlässigt. Insbesondere der Wert des Wasser von offenen Landschaften (die ungefähr 80% der gesamten Landfläche des Untersuchungsgebietes ausmachen) und der Einfluss von naturbelassenen Flächen auf den Wasserkreislauf wurde weitestgehend vernachlässigt. Das ist verwunderlich in Anbetracht der Tatsache, dass 70% der globalen grünen Wasserressourcen von terrestrischen Ökosystemen aufgebraucht werden und dass im Untersuchungsgebiet 80% der Landfläche auf Regenfeldanbau entfallen. Grünes Wasser kann durch entsprechende Landnutzung bewirtschaftet werden, d.h. die Produktivität des Wasser kann durch eine sinnvolle Einteilung der Landnutzung erheblich gesteigert werden. GLOWA JR stellt sich dieser Herausforderung mit einem kombinierten Ansatz zur Bewirtschaftung von grünem und blauem Wasser, der die Niederschläge als Schlüsselement der Wasserbewirtschaftung in den Mittelpunkt stellt.

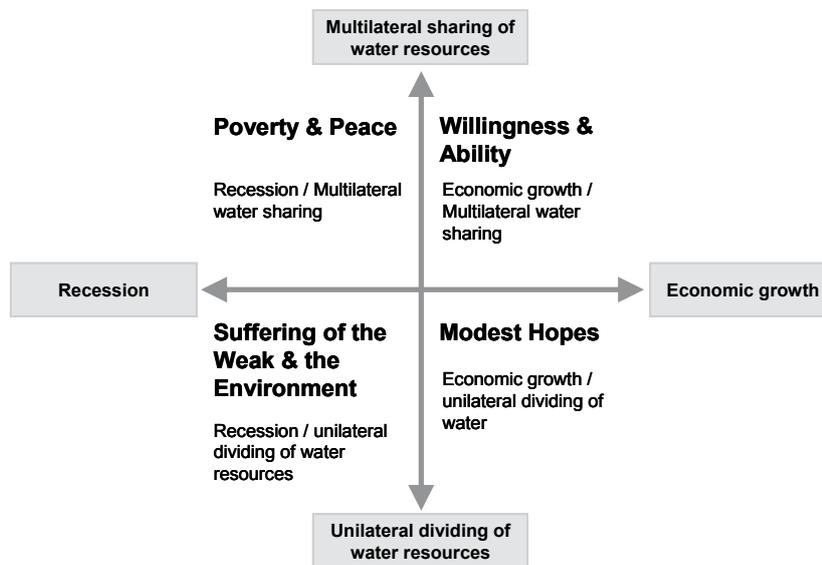


Abbildung 4.18 Die vier GLOWA JR-Szenarien liegend auf zwei Achsen mit großen Unsicherheiten, die die Wassersituation beeinflussen.

Box 4.4 Zusammenfassung

Grünes Wasser ist das Wasser aus Niederschlägen, das im Boden gespeichert und von den Pflanzen verdunstet wird. Obwohl es den größten Teil des Wassers ausmacht, das von terrestrischen Agro-Ökosystemen verbraucht wird, wird das Konzept des blauen und grünen Wassers in der herkömmlichen integrierten Wasserbewirtschaftung (IWRM) vernachlässigt.

Grünes Wasser kann durch eine sinnvolle Landnutzungsallokation bewirtschaftet werden, verbunden mit effizienten Praktiken im Wasserbereich sowie einer Landnutzung mit niedrigem Wasserbedarf und hohem finanziellem Wert (Abbildung 4.19)



Abbildung 4.19 Landwirtschaft unter extremen Wüstenbedingungen durch Auffangen und Umleiten von Oberflächenwasser – eine uralte, von den Nabatäern entwickelte Technik (Sturzwasserlandwirtschaft).

Das Projekt ist einzigartig, weil es sich systematisch mit den Folgen der Landnutzung auf den Wasserkreislauf und die Wasserproduktivität für alle Landnutzungsarten befasst. WEAP ermöglicht die Untersuchung gemeinsamer Bewirtschaftungsalternativen für grüne und blaue Wasserressourcen einschließlich der Allokation von Wasser für die Bewässerungslandwirtschaft und für den Regenfeldanbau (z.B. offene Landschaften, Feldfrüchte für Regenfeldanbau, Auffangen von Regenwasser). Ein zentrales Forschungsziel von

GLOWA JR ist das Ableiten der produktivsten Landnutzungsallokation im Hinblick auf den globalen Wandel, sowohl hinsichtlich des wirtschaftlichen Nutzens als auch der biophysikalischen Eignung. Zum wirtschaftlichen Nutzen gehören direkte Gewinne aus Ernteerträgen sowie der Nutzen aus den Leistungen der Ökosysteme einschließlich des Erholungswertes, der Wert der Artenvielfalt sowie die Erosionskontrolle. Sowohl die Auswirkungen eines unterschiedlichen Wasserbedarfs auf den Wasserkreislauf als auch der

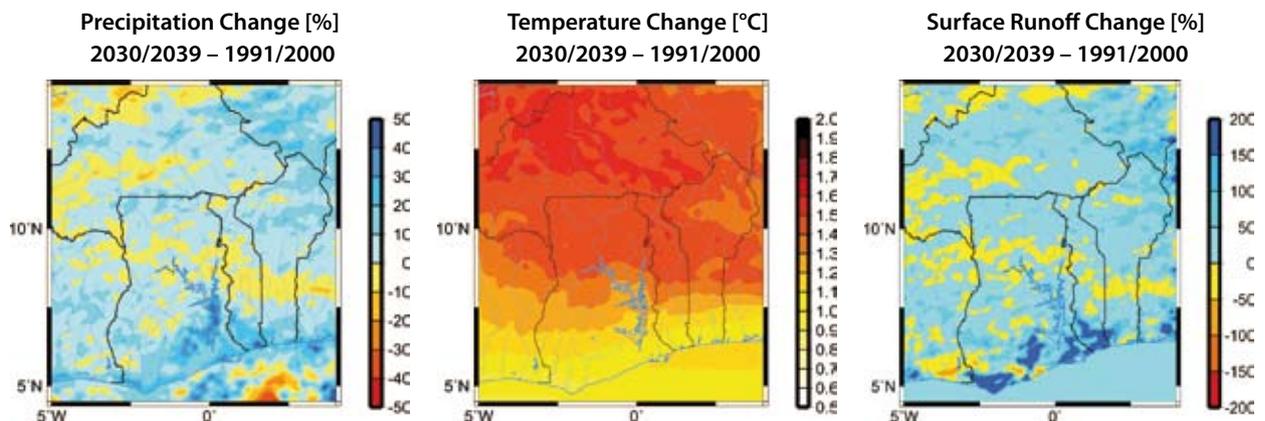


Abbildung 4.20 Prognostizierter Klimawandel und Veränderungen im Oberflächenabfluss (Quelle: Jung & Kunstmann 2007)



Abbildung 4.21 Die Bewässerungslandwirtschaft in den stromaufwärts gelegenen Regionen des Volta-Einzugsgebiets (links) steht in direkter Konkurrenz zur Wasserkrafterzeugung am Akosombo-Damm (rechts) und zu kleineren Wasserkraftwerken im unteren Teil des Volta-Einzugsgebiets.

Wert, der durch unterschiedliche Landnutzungsarten unter verschiedenen Klimaszenarien erzielt wird, wurden beurteilt und verglichen. Hierbei zeigte sich eindeutig die wichtige Rolle der Landnutzungsallokation bei der Minderung der Folgen der künftigen Wasserkrise in dieser Region. Obwohl es von grundlegender Bedeutung ist, die Produktivität von grünem Wasser und die Folgen der Entscheidungen zur Landnutzung zu verstehen, ist der ausschlaggebende Punkt die Umsetzung und Einbindung dieser Kenntnisse in praktische Entscheidungen für die Wasserwirtschaft. Daher wurde der Teilnehmerkreis für den Dialog zwischen Wissenschaftlern und Interessenvertretern um solche Interessenvertreter erweitert, die Sachkenntnisse in der Landnutzung mitbringen. Dazu gehören Landwirtschaftsministerien, Raumordnungsministerien, Umweltministerien, für Naturschutzgebiete zuständige Behörden, Mitglieder von „Friends of the Earth“ aus dem Nahen Osten sowie andere Interessenvertreter und NGOs, die sich mit Landesplanung und Naturschutz beschäftigen. GLOWA JR hat die Bedeutung für Verständnis und Anwendung des Konzepts für grünes und blaues Wasser herausgestellt und verdeutlicht, dass der traditionelle sektorale Ansatz in der Wasserwirtschaft zu ersetzen ist.

4.9 Volta: Implementierung eines Wasser- allokationssystems im Einzugsgebiet des Volta für die grenzüberschreitende Wasserbewirtschaftung

In den stromaufwärts gelegenen Gebieten des Volta-Einzugsgebiets wird Wasser primär für Bewässerungslandwirtschaft verbraucht, die somit in direkter Konkurrenz zur Wasserkrafterzeugung im stromabwärts gelegenen Gebiet von Süd-Ghana steht (Abbildung 4.21). Während die Bewässerungslandwirtschaft in Burkina Faso durch den Bau von Stauseen erweitert wird, sollen gleichzeitig in Ghana die Kapazitäten für die Wasserkrafterzeugung ausgebaut werden. Bei steigendem Wasserbedarf entstehen so Konflikte durch konkurrierende Wassernutzung sowie zwischen stromaufwärts und stromabwärts gelegenen Ländern.

Um auf wissenschaftlicher Basis das Verständnis des Wasserkreislaufs sowie den vielschichtigen institutionellen Aufbaus des Wassersektors im Volta-Einzugsgebiet zu verbessern, arbeitet das GVP (GLOWA Volta Projekt) seit Projektbeginn eng mit den Wasserbehörden in Ghana und Burkina Faso zusammen.

Die Gründung der Volta Basin Authority (VBA) im Juli 2006 war ein Meilenstein in der Konfliktvermeidung und ein wichtiger Schritt in Richtung nachhaltige Bewirtschaftung gemeinsamer Wasserressourcen und regionaler sozioökonomischer Integration (Rodgers et al. 2007).

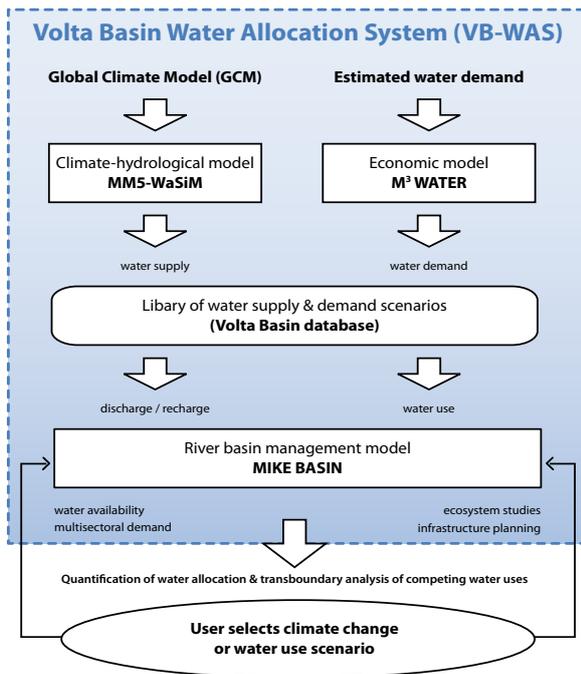


Abbildung 4.22 Aufbau des Wasserallokationssystems (VB-WAS) im Einzugsgebiet des Volta. Ein Modellensemble eines klimatisch-hydrologischen (MM5-WaSiM) und eines ökonomischen Modells (M³WATER), das Wasserversorgungs- und -bedarfs-szenarien für das Bewirtschaftungsmodell des Flusseinzugsgebiets (MIKE BASIN) liefert.

Zu den bedeutenden Ergebnissen des GVP gehört das Wasserallokationssystem (VB-WAS) im Einzugsgebiet des Volta. Das VB-WAS (Abbildung 4.22) ist ein Instrument zur Entscheidungsunterstützung, das die Vorhersage der Auswirkungen des globalen Klimawandels und prognostizierte Wasserbedarfsszenarien auf die künftige Bewirtschaftung der Wasserressourcen und Infrastruktur ermöglicht. Einer der Bausteine des VB-WAS besteht aus einem integrierten Modellensemble, das Wasserversorgungsszenarien unter gegenwärtigen oder prognostizierten zukünftigen Klimabedingungen und Wasserbedarfssituationen simuliert und den Wasserbedarf durch Simulation verschiedener Entwicklungs- und politischer Szenarien

abschätzt. Das Modellensemble besteht aus einem gekoppelten klimatisch-hydrologischen (MM5/WaSiM, Abbildung 4.20, 4.22) und einem ökonomischen Modell (M³WATER).

Diese Szenarien zu Wasserversorgungs- und -bedarf werden in einer der Geodatenbank des Volta-Einzugsgebiets gespeichert. Die Datenbank enthält auch physikalische, ökonomische und soziologische Daten des Einzugsgebiets, auf die für weitere Fallstudienanalysen direkt zurückgegriffen werden kann. Im Rahmen des VB-WAS dient das Flusseinzugsgebietsmodell MIKE BASIN als Entscheidungsunterstützungsplattform, die Simulationen der Auswirkungen konkurrierender Wassernutzungen, einschließlich Bewässerung und Wasserkraft, erlaubt. Das Modell kann Wasserversorgungs- und -bedarfs-szenarien aus der Geodatenbank importieren und diese als Grundeinstellungen für verschiedene Wasserressourcenanalysen verwenden. Durch schnelle Simulationen von Wasserverfügbarkeit und multisektoralem Wasserbedarf können Realisierbarkeit und Auswirkungen beabsichtigter Projektierungen beurteilt, potenzielle Konflikte infolge konkurrierender Wassernutzungen erkannt und als wissenschaftliche Grundlage für die Entscheidungsträger in der Wasserbewirtschaftung genutzt werden. Während der gesamten dritten Projektphase (2006–2009) wird dem Capacity Building ein hoher Stellenwert eingeräumt, um zu gewährleisten, dass die Projektergebnisse lokalen Interessenvertretern erfolgreich vermittelt werden. Fachleute, die mit VB-WAS arbeiten und dieses weiterentwickeln werden, erhalten eine Schulung. Dieser Transfer beinhaltet auch die Förderung einer langfristigen und zuverlässigen Zusammenarbeit zwischen der VBA und anderen Organisationen, die an einer forschungsbasierten Entwicklung interessiert sind, wie z.B. die Universität der Vereinten Nationen, die GTZ und die Europäische Union.

Box 4.5 Wasserallokationssystem im Einzugsgebiet des Volta (VB WAS)

Im Rahmen des GLOWA Volta Projekts wurde ein Wasserallokationssystem (VB-WAS) entwickelt, ein Entscheidungsunterstützungsinstrument zur Analyse der Auswirkungen des Ausbaus der Infrastruktur, wie z.B. dem Bau von Stauseen für Wasserkraftproduktion und Bewässerung, auf die Wasserverteilung im Einzugsgebiet. Außerdem kann das VB-WAS die Folgen des globalen Klimawandels für die Wasserressourcen auf regionaler und Einzugsgebietssebene simulieren.

Box 4.6 Vorhersage des Beginns der Regenzeit (ORS)

Infolge einer Fehlinterpretation des ORS führen falsch gewählte Pflanzzeiten zu Ernteausfällen und hohen wirtschaftlichen Verlusten im Einzugsgebiet des Volta.

Die Meteorologie- und Klimaforschungsgruppe des GVP hat auf wissenschaftlicher Grundlage ein Modell zur Vorhersage des Beginns der Regenzeit (ORS) entwickelt. Der ORS kann räumlich differenziert für verschiedene Regionen des Volta-Einzugsgebiets vorhergesagt werden und hilft den Bauern somit bei der Bestimmung der richtigen Aussaatzeit.



Abbildung 4.23 Bauern bereiten sich auf das Einsetzen der Regenzeit vor. Eine vorzeitige Aussaat führt oft zum völligen Ernteausfall, während eine späte Aussaat aufgrund der kurzen Anbausaison riskant ist. In Anbetracht der immer unregelmäßigeren Niederschlagsmuster infolge des Klimawandels benötigen Bauern zuverlässige Informationen über den Beginn der Regenzeit, um den richtigen Zeitpunkt für die Aussaat wählen zu können.

Das MIKE BASIN Modell kann von Wasserbehörden als Instrument für die Entscheidungsunterstützung genutzt werden, um die Auswirkungen der Erschließung der Wasserressourcen und des Klimawandels zu analysieren sowie zur Bestimmung grenzüberschreitender Wassernutzung, wie Bewässerung und Wasserkraftnutzung, im Rahmen vorgegebener Szenarien zum Klimawandel- und zur Wassernutzung.

4.10 Volta: Prognose des Beginns der Regenzeit im Volta-Einzugsgebiet

Etwa 70% der westafrikanischen Bevölkerung ist abhängig vom Regenfeldbau (Abbildung 4.23). Die Niederschläge sind auf wenige Monate im Jahr beschränkt. Da die Regenzeiten kurz sind, ist eine möglichst frühe Aussaat wichtig, um keine wertvolle Wachstumszeit zu vergeuden. Die zuverlässige Bestimmung des Beginns der Regenzeit (Onset of Rainy Season [ORS]) ist daher für die nachhaltige Lebensmittelerzeugung von großer Bedeutung. Im Volta-Einzugsgebiet beginnt die ORS selten abrupt; oft gehen ihr kurze, isolierte Schauer mit zeitweiligen Trockenperioden von unterschiedlicher Dauer voran, die häufig als einsetzende Regenzeit fehl interpretiert werden. Ferner berichteten Bauern über eine steigende Variabilität der ORS seit den 1980er Jahren.

Auf Grund der sehr hohen räumlichen und zeitlichen Variabilität der Regenfälle und einer hohen Variabilität der ORS-Daten fällt es den Bauern schwer, zu entscheiden, wann die Aussaat beginnen soll. Hier führen Fehleinschätzungen oft zu vollständigen Ernteausfällen und hohen wirtschaftlichen Verlusten für die Bauern. Daher steigt das Interesse an Vorhersagemethoden auf wissenschaftlicher Grundlage (Laux et al. 2008).

Die Meteorologie- und Klimaforschungsgruppe der GVP hat Modelle zur Vorhersage des ORS im Volta-Einzugsgebiet sowie der möglichen Folgen des Klimawandels für die ORS entwickelt. Die Definition der ORS ist eine grundlegende Voraussetzung für alle Ansätze. Die ORS-Definition des GVP berücksichtigt die Pflanzenphysiologie und ermöglicht die Zeitplanung für verschiedene Kulturpflanzensorten im gesamten Einzugsgebiet. Karten mit den mittleren ORS-Werten wurden erstellt (Abbildung 4.24), um landwirtschaftlichen Beratern und Bauern bei der Bestimmung der richtigen Aussaatzeit zu helfen. ORS-Karten können nunmehr routinemäßig jedes Jahr erstellt werden. Die ORS-Modellierung hat außerdem einen starken Trend in Richtung eines verspäteten Einsetzens der Regenzeit erkannt und hat sich als wertvolles wissenschaftliches Instrument zur Minimierung von Ernteverlusten erwiesen (Laux et al. 2008).

Am United Nations University Institute for Natural Resources in Africa (UNU-INRA), Accra, Ghana, sowie an der Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE) in Ouagadougou, Burkina Faso, fand ein Lehrgang zur hydro-meteorologischen Entscheidungsunterstützung für das Volta-Einzugsgebiet statt.

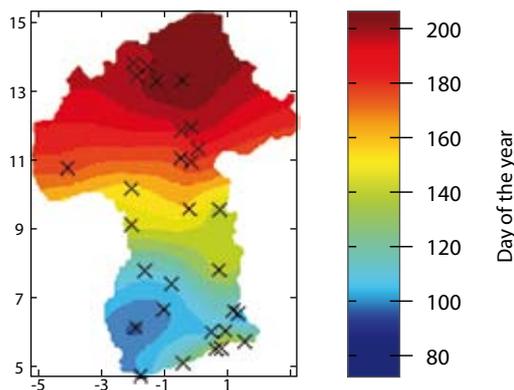


Abbildung 4.24 Die Karte beschreibt die räumliche und zeitliche Verteilung des Mittleren Beginns der Regenzeit (ORS). Die Farbskala zeigt im Jahresverlauf den Tag der ORS für das Volta-Einzugsgebiet von Ghana und Burkina Faso unter Verwendung des Ansatzes nach Laux et al. (2007) an.

Der Transfer der erarbeiteten Methoden ermöglicht den zuständigen Behörden (d.h. den meteorologischen Diensten vor Ort) die Vorhersage der ORS für verschiedene Regionen des Volta-Einzugsgebiets. Die erarbeitete Methode ist generisch und kann auf andere Gebiete in der Welt übertragen werden, die starken Einflüssen durch Monsunjahreszeiten ausgesetzt sind.

4.11 Elbe: Nachhaltige Wassernutzung

Einleitung

Im GLOWA-ELBE Projekt wurden zwei Hauptaspekte der nachhaltigen Wassernutzung untersucht: zum einen Oberflächengewässer und deren Bewirtschaftung für ein breites Bedarfsspektrum verschiedener Nutzer und zum anderen Nährstoffeinträge in das Oberflächengewässersystem und deren Auswirkungen auf das Flusssystem selbst sowie auf das Elbe-Ästuar in der Nordsee. In Zusammenarbeit mit Interessenvertretern wurden Methoden der Konfliktanalyse zur Ausarbeitung politischer Empfehlungen und von Bewirtschaftungsstrategien angewandt, die zur Reduzierung der Folgen des globalen Wandels beitragen könnten.

Der konzeptionelle Rahmen umfasst zwei wesentliche Aufgabenstellungen: 1) die Projektion von Grenzbedingungen für die regionalen Wasserressourcen und 2) die Optimierung von Versorgung und Bedarf unter Verwendung von Ranglisten mit Namen von Wasserkunden und Wasserverschmutzern. Der Kern dieser Projektionen besteht aus der Extrapolation der Entwicklungen in der Vergangenheit bis zum Jahr 2055 für Klima, Oberflächenwasserversorgung und -bedarf sowie Nährstoffeinträge. Die Projektionen enthalten spezifische Aspekte des Wandels hinsichtlich Landnutzung, landwirtschaftlicher Produktion und technologischer Innovation im Wassersektor. Abbildung 4.25 stellt ein Beispiel für die Projektion der Landnutzung dar.

Auf der Grundlage der Projektionen wurden zwei größere einzugsgebietsweite Bilanzen berechnet: die Bilanz von Oberflächenwasserbedarf und -versorgung sowie die Bilanz der Nährstoffemissionen in das

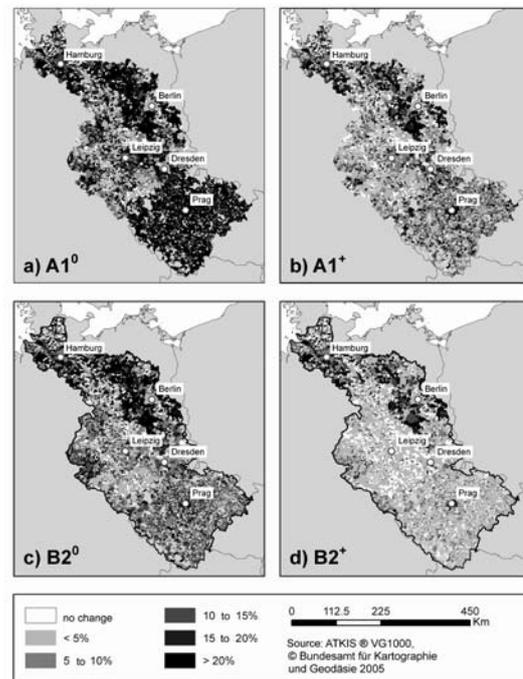


Abbildung 4.25 Projektion des zukünftigen Wandels der Siedlungsflächen im Elbe-Einzugsgebiet bis zum Jahr 2020. Vier Entwicklungsrahmen sind berücksichtigt. Dazu gehören zwei regionale Varianten der IPCC-Szenarien A1 (a, b) und B2 (c, d), die mit zwei politischen Leitlinien kombiniert wurden: eine ohne (a, c) und eine mit einer stärkeren (b, d) umweltpolitischen Ausrichtung (Hoymann 2008, persönliche Mitteilung).

Flusssystem mit dem Ziel einen „guten ökologischen Zustand“ gemäß der European Water Framework Directive (EC 2000) zu erreichen. Die Bilanzen erfassen das gesamte Einzugsgebiet und gehen gleichzeitig auf die Wasserkonflikte von der regionalen bis zur lokalen Ebene ein. Auf der Basis von Tageswerten werden monatliche und jährliche Bilanzen des Abflusses und der Nährstofffrachten berechnet.

Einzugsgebietsweite und regionale Wasserkonflikte

1) Einzugsgebietsweite Konflikte

Das sommerliche Niedrigwasser der Elbe und die Nährstoffüberschüsse aus der Landwirtschaft sind die Ursachen von zwei schwerwiegenden einzugsgebietsweiten Konflikten, mit denen sich GLOWA-Elbe auseinandersetzt. Abbildung 4.26 zeigt die möglichen Folgen von 100 stochastischen Implementierungen eines regionalen Abfluss-Szenarios zum Klimawandel im Hauptstrom der Elbe.

Das Niedrigwasser im Sommer ist besonders stark betroffen. Man schätzt, dass das 25. Perzentil des Niedrigwasserabflusses für den Zeitraum 2004–2013 zum Mittelwasser für den Zeitraum 2044–2053 wird.

Zwei Bereiche reagieren besonders empfindlich auf diese Entwicklung: Binnenschifffahrt und Energieerzeugung durch Wärmekraftwerke. Jedoch haben die Wärmekraftwerke ihre Investitionsstrategie geändert, um die Auswirkungen dieser Entwicklung durch vermehrten Einsatz von Kühlkreisläufen zu reduzieren. Für die Schifffahrt werden geeignete Anpassungsmaßnahmen geprüft.

Die Niedrigwasserstände werden zu einer verstärkten Rückhaltung der Nährstoffe in den Oberflächengewässern führen. Der ökologische Zustand des Hauptstroms wird sich jedoch nicht verbessern, z.B., weil höhere Temperaturen das Wachstum von Phytoplankton anregen.

2) Regionaler Konflikt im Einzugsgebiet Spree-Havel (Wechsung et al. 2005).

Die simulierten Auswirkungen des Klimawandelszenarios zeigten eine hohe Anfälligkeit der Wasserversorgungssicherheit im Teileinzugsgebiet Spree-Havel gegenüber abnehmenden Niederschlägen nach dem Jahr 2030. Daher wurden Bewirtschaftungsalternativen zur Reduzierung dieser Verwundbarkeit untersucht (Koch et al. 2006).

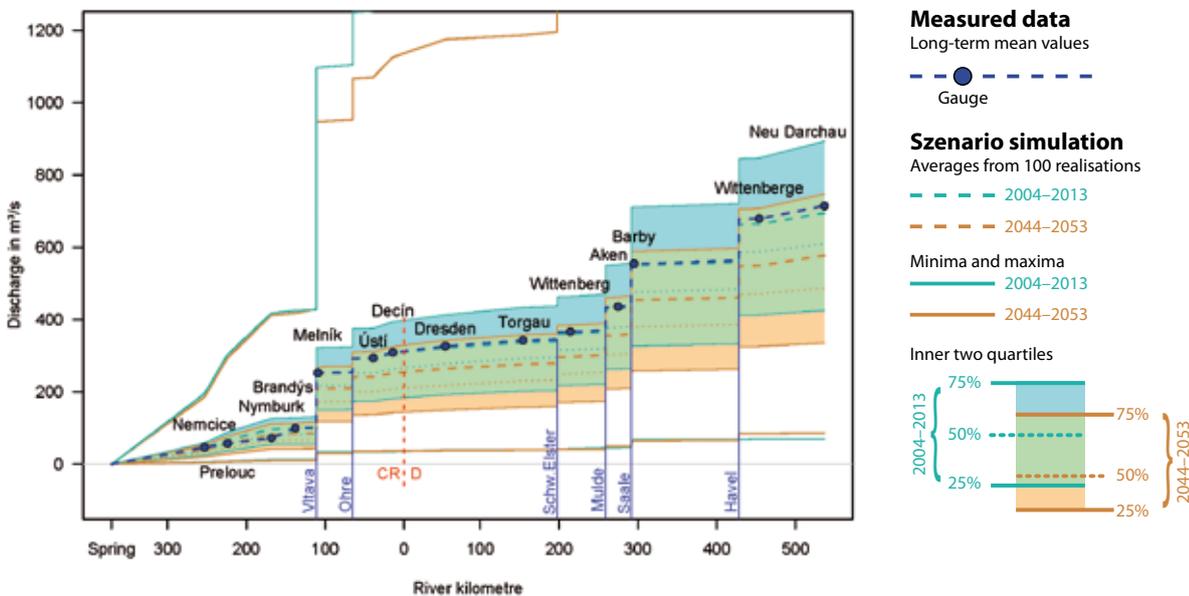


Abbildung 4.26 GLOWA-Elbe Simulationen für verschiedene Flussabschnitte des Hauptstroms. Um die 100 statistischen Umsetzungen, eines künftigen Klimawandels für zwei Szenario-Zeiträume (2004–2013, 2044–2053) auf den Abfluss umzurechnen wurde der mittlere jährliche Abfluss mit dem SWIM Modell (Conradt et al. 2007, Hattermann et al. 2006) berechnet. Im Vergleich dazu die beobachteten Langzeitmittel für den jeweiligen Flussabschnitt. Das Klimawandelszenario geht von einem mittleren Temperaturanstieg von 2,1°C zwischen 2004 und 2055 aus. Die Temperaturspanne für den Trend betrug 2.21–2.41°C. Die mittlere Niederschlagshöhe blieb unverändert, jedoch gingen die Sommerniederschläge zurück, während die Winterniederschläge zunahmen. Die Niederschlags-spanne innerhalb des Trends betrug zwischen -48 mm bis 0 mm (Conradt 2008, persönliche Mitteilung).

Als Ergebnis eines Dialogs mit Interessenvertretern wurden vier Strategien zur Wasserbewirtschaftung vorgeschlagen, um die Wasserknappheit zu entschärfen (Messner et al. 2004): zwei alternative Strategien im Zusammenhang mit der Flutung ehemaliger Tagebaugruben („beschleunigtes Fluten“ der Tagebaugruben und „Trockenfallen der Gewässer“ nahe der Tagebaugruben) sowie zwei Strategien zur Bewältigung des Wasserdefizits durch den Import von Wasser aus dem angrenzenden Oder-Einzugsgebiet (Oder Brb – Import über den Oder-Malxe-Kanal in den Spreewald nach Brandenburg, Oder Bln – Import über den Oder-Spree-Kanal nach Berlin).

Die ersten beiden Strategien haben den Vorteil, dass niedrige Kosten für die Wasserversorgung anfallen und zu einem früheren Zeitpunkt ein neuer See als Naherholungsgebiet entsteht, denen jedoch als Nachteil eine Reduzierung der Anzahl an Fischteichen und hohe Wasseraufbereitungskosten gegenüberstehen. Die letztgenannten Varianten verbessern die Bedingungen für die Fischzucht vor Ort zusammen mit niedrigeren Kosten für die Wasseraufbereitung; zu den Nachteilen gehören jedoch gleichzeitig hohe Kosten für die Wasserversorgung sowie eine zeitlich stark verzögerte Nutzung des Sees als Naherholungsgebiet.

Wenn man zusätzlich die Funktionssicherheit der Wasserversorgung für Ökosysteme und Industrie berücksichtigt sowie eine minimale Restwassermenge, erscheinen die Strategie der „beschleunigten Flutung“ und die beiden Strategien zur Nutzung von Wasser aus dem Oderbecken (Oder Bln, Oder Spree) im Hinblick auf den Klimawandel allgemein verlässlicher zu sein. Dies ist die aktuell beabsichtigte Basisstrategie. Wenn man die möglichen Bedenken der polnischen Seite

gegenüber einer Wasserumleitung aus der Oder in Betracht zieht, dann ist die Strategie der „beschleunigten Flutung“ vorzuziehen.

Jedoch zeigte eine Sensitivitätsstudie zu den vier wirtschaftlichen Kriterien und mit zwei Diskontsätzen, dass der Vorteil der Strategie der „beschleunigten Flutung“ mit steigendem Diskontsatz abnimmt (entsprechend den langfristigen Wachstumsraten des Bruttoinlandsprodukts) und bei einem Betrag von 5% ganz wegfällt.

Box 4.7 Folgen der regionalen Erwärmung

Durch die regionale Erwärmung wird die Verfügbarkeit von Oberflächenwasser so stark zurückgehen, dass während Niedrigwasserperioden im Spätsommer kritische Schwellenwerte unterschritten werden.

Die Schifffahrt ist von dieser Entwicklung besonders stark betroffen. Die Wärmekraftwerke sind dabei, sich dieser Situation anzupassen. Der ökologische Zustand wird nicht von einer verstärkten Rückhaltung der Nährstoffe bei Niedrigwasserbedingungen profitieren.

Box 4.8 Reduzierung der Vulnerabilität

Die Anfälligkeit des Teileinzugsgebietes Spree-Havel für Niedrigwasser kann durch eine angemessene Anpassung der aktuellen Wasserbewirtschaftungsstrategie gemindert werden

Das Verfahren der Diskontierung hat einen großen Einfluss auf die wirtschaftlichen Unterschiede von Bewirtschaftungsalternativen.

5 Erfahrungen in der nachhaltigen Entwicklung

5.1 Donau: Folgen des Klimawandels auf die Niedrigwasserführung in Gebirgsregionen

Der Klimawandel in der Gebirgsregion der Oberen Donau wird zu einem beträchtlichen Rückgang der Oberflächenabflüsse aus Schnee- und Gletscherschmelze sowie zu verminderten Sommerniederschlägen führen (Abbildung 5.1). Mittels einer detaillierten Analyse wurden Umfang, saisonale und räumliche Verteilung der Auswirkungen auf verschiedene Bereiche der Wassernutzung ermittelt. Beispielsweise hängen 70 % der österreichischen Stromversorgung von der Wasserkraft ab, die zum Teil in der Oberen Donau erzeugt wird. Der prognostizierte Wandel im hydro-

Box 5.1 Zusammenfassung

Reduzierte Wasserspeicherung in Form von Schnee, Sommerniederschläge, Rückgang der Gletscher und eine steigende Evapotranspiration werden zu einem verminderten Sommerabfluss führen.

Als Folge müssen die Handlungsoptionen bei der Bewirtschaftung der Wasserressourcen dem Klimawandel angepasst werden.

logischen Regime wird die Energieinfrastruktur der Region sowie Konstruktion und Betrieb von Wasserkraftprojekten in den Alpen stark prägen.

Diese Schlussfolgerung regte die Diskussion mit Interessenvertretern über eine effiziente künftige Implementierung von Bewirtschaftungsinstrumenten und langfristigen Investitionen zur Anpassung an die Veränderungen der Oberflächenabflüsse an.

5.2 Donau: Die komplexen Wechselwirkungen zwischen Klimawandel und landwirtschaftlicher Erzeugung

Der Rückgang der Niederschläge und zunehmende Evapotranspiration werden zu einem Rückgang der für die landwirtschaftliche Erzeugung verfügbaren Bodenfeuchte führen. Es ist zu erwarten, dass ausgedehnte Gebiete in den trockeneren Regionen der Oberen Donau bewässert werden müssen, um die derzeitigen Ernteerträge zu erzielen.

Gleichzeitig werden die feuchteren Gebiete in der Nähe der Alpen ihre landwirtschaftliche Produktion umstellen müssen. Nach den Vorhersagen werden die derzeit als Wiesen und Wälder genutzten Flächen potentielle Weizen- und Maisanbauggebiete ohne Bewässerung.

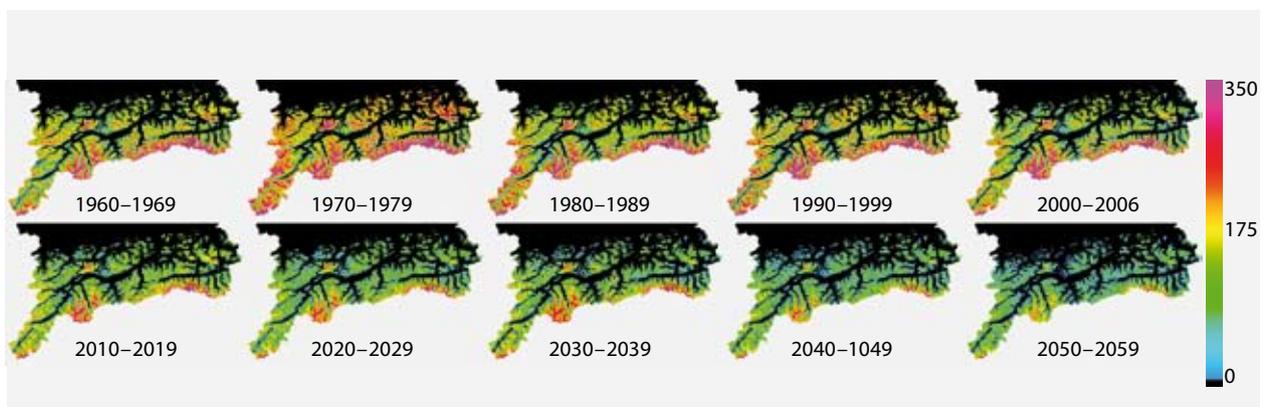


Abbildung 5.1 Szenario-Simulationen der mittleren jährlichen Schneebedeckung in den deutschen und österreichischen Alpen im Einzugsgebiet der Oberen Donau. Die Simulationen zeigen den dekadischen Wandel in der Anzahl von Tagen mit einer Schneespeicherung von mehr als 50 mm im Verlauf eines Jahrhunderts (1961–2060).

Zusammen mit der Bewässerung in den trockeneren Regionen wird dieser Landnutzungswandel zu einer vermehrten Grundwasserentnahme und einer weiteren Verschärfung der sommerlichen Niedrigwassersituation führen. Infolgedessen wird es zu einer erheblichen Abnahme des Wasserexports in stromabwärts gelegene Länder kommen.

Box 5.2 Zusammenfassung

Der Temperaturanstieg und Rückgang des Niederschlags im Sommer wird sich stark auf die Landwirtschaft auswirken. Große Teile des Einzugsgebiets der Oberen Donau werden auf Bewässerung angewiesen sein, um die derzeitigen landwirtschaftlichen Erträge aufrecht-erhalten zu können. Bei anderen Flächen kann es zu einem Landnutzungswandel von Grünland zu Ackerland kommen.

5.3 IMPETUS: Der Umgang mit Unsicherheiten bei der Klimafolgenmodellierung

Wie in Abschnitt 3.2 beschrieben, gründet sich IMPETUS durch innovative Forschung auf einen interdisziplinären, ganzheitlichen Ansatz, auf dessen Grundlage verschiedene, nachfolgend zusammengefasste, Erfahrungen gemacht wurden.

Es wurde festgestellt, dass tropisch-außertropische Wechselwirkungen des Wetters für etwa 50 % der Niederschläge in weiten Teilen des Drâa-Tals verantwortlich sind (vgl. Knippertz et al. 2003). Der Verlauf kann die phasenverschobene Relation zum langjährigen Niederschlag im Nordwesten des Atlas-Gebirges erklären. Dies stellt die Klimawandelprognosen im 4. AR IPCC-Bericht für die Region in Frage, d.h. die Einstufung des gesamten Maghreb als Zone mit „sehr wahrscheinlich“ zunehmenden Dürreperioden. Das erweiterte „Prozessverständnis“ des Klimaszenarios deutet auf einen moderaten Anstieg der Niederschläge im Tal des Drâa aufgrund häufigerer und intensiverer tropisch-außertropischer Wechselwirkungen hin. Solche empirischen Klimaprognosen sind jedoch für viele Anwendungen ungeeignet, zum Beispiel in der Hydrologie, wo gerasterte meteorologische Eingabefelder benötigt werden.

Eine andere Methode zum Umgang mit Klimamodelunsicherheiten bietet der Multimodellansatz.

IMPETUS war das erste Projekt weltweit, in dem Ensembleprognosen zum regionalen Klima erstellt wurden, die realistische, vorübergehende Veränderungen der Landnutzung in West-Afrika beinhalten (Abschnitt 3.2). Eine zentrale Schlussfolgerung besagt, dass die beobachtete und prognostizierte Dürre im tropischen Westafrika größtenteils auf Abholzung zurückzuführen ist.

Die Entwicklung der regionalen Klimamodellierung schreitet rasch voran und Ergebnisse aus Multi-Modell-Simulationen werden Wissenschaftlern, die sich mit dem Klimawandel beschäftigen, zunehmend zugänglich sein. Niederschlag erzeugende Prozesse werden in Zukunft realistischer erfasst werden. In besonderem Maße zum Erfolg des Projekts hat beigetragen, dass der Aus- und Fortbildung von Anwendern vor Ort, einschließlich der akademischen Interessengemeinschaft, die in der Anwendung und Modifizierung der Modelle geschult wurden, ein hoher Stellenwert zukam.

5.4 IMPETUS: Langfristige Klimaüberwachung im Einzugsgebiet des Drâa

Zusätzlich zu den obengenannten Schlussfolgerungen wurden spezifische Erfahrungen gemacht. Die Daten für beide Einzugsgebiete waren sehr beschränkt, insbesondere im Hinblick auf die räumlich stark differenzierte subtropische Gebirgsregion im Einzugsgebiet des Drâa. Zur Verbesserung dieser Situation wurden 13 Klimamessstationen eingerichtet, um die Temperatur-Variabilität der topographischen und geologischen Einheiten zu erfassen. Besonders erwähnenswert sind sechs Stationen in der Jebel M'Goun Region (1900 m bis 3850 m ü.d.M.), die im nordafrikanischen Hochgebirge einzigartig sind.

Die Überwachung der Schneedecke in den drei höchstgelegenen Stationen ist von zentraler Bedeutung für die Vorhersage der Frühjahrsschmelze. Diese Informationen standen regionalen marokkanischen Wasser- und Agrarbehörden zuvor nicht zur Verfügung. Daher sind die marokkanischen Partner sehr daran interessiert, das Messnetz für ein langfristiges Umwelt-Monitoring zu erhalten.

Techniker wurden in der operationellen Anwendung des Messnetzes unterrichtet, einschließlich des Modellsystems für die Berechnung des Abflusses aus Schneeschmelze. Die Überwachungsstationen, Daten, Systeme und Werkzeuge werden sämtlich auf die „Agence de Bassin Drâa“ übertragen.

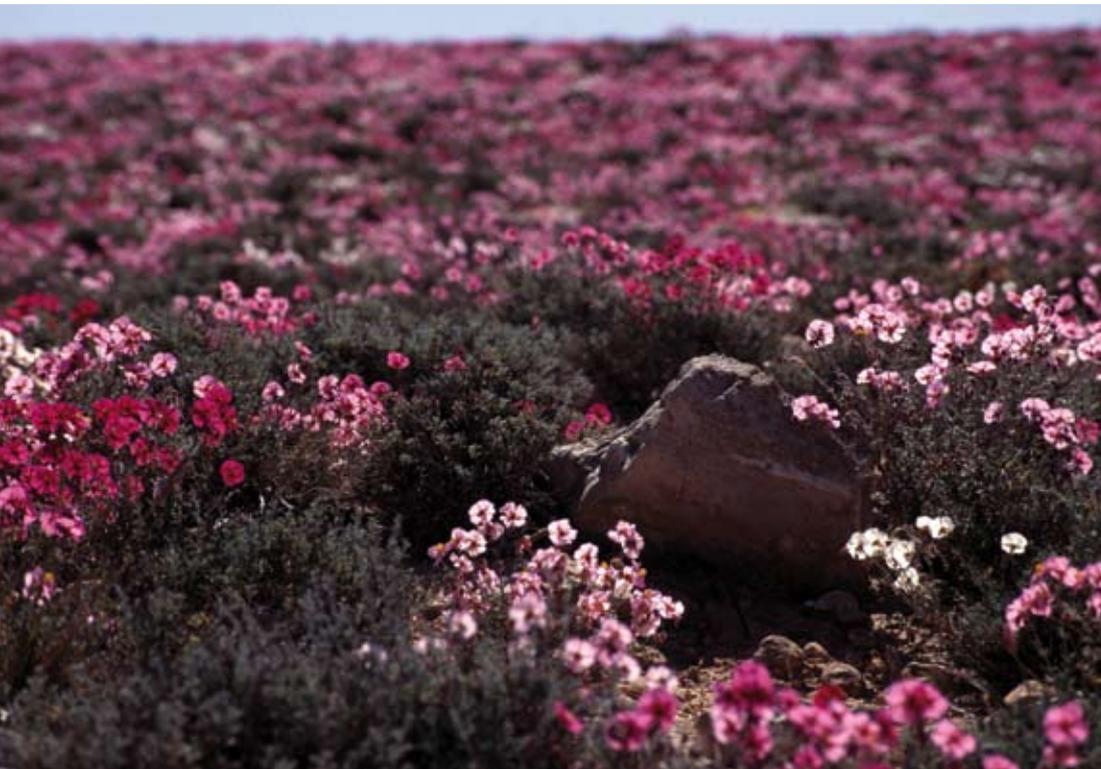


Abbildung 5.3

Mäßig abgegraste Weide in einer semiariden Region. Biodiversität, Erosionskontrolle, Futterwert, Erholungswert, sowie Wasser- und Nährstoffkreislauf gehören zu den vielen ökonomischen Dienstleistungen des grünen Wassers dieser Landnutzungsart, die gegenüber einem Klimawandel sehr widerstandsfähig ist.

5.5 IMPETUS: Dialog mit Interessenvertretern auf verschiedenen Ebenen und der Dezentralisierungsprozess in Benin

Im Rahmen des IMPETUS Projekts wurde ein ständiger Gesprächskreis für Interessenvertreter und Entscheidungsträger eingerichtet. Ebenso wurden Aus- und Fortbildungsmöglichkeiten auf verschiedenen Ebenen, für Regierungsbehörden und Bauern vor Ort angeboten.

Im Verlauf des Projekts hat sich eine weitere Gelegenheit auf der „commune“-Ebene ergeben. Infolge des im Jahr 2002 (Box 3.2) begonnenen Dezentralisierungsprozesses ist ein beträchtlicher Informations- und Schulungsbedarf in den neu gegründeten „commune“-Behörden entstanden. Ein Kernziel des Dezentralisierungsprozesses ist die Optimierung der Wasser- und Bodennutzung. Wegen seiner umfassenden Kenntnisse war IMPETUS in der Lage, die sieben „communes“ im Tal des Oberen Ouémé zu unterstützen. Dies erfolgte in zwei „commune“-Workshops (Abbildung 5.2), in denen der Informations- und Schulungsbedarf definiert und GIS-Schulungen angeboten wurden.

Da die „communes“ nur beschränkten Zugang zu Computern haben, stellt die gedruckte Fassung des

IMPETUS-Atlas (Judex and Thamm 2008) eine ergiebige und leicht zugängliche Informationsquelle dar. Der Inhalt des Atlas wurde den „commune“-Stellvertretern und Bürgermeistern erläutert; das Aus- und Fortbildungsangebot ist auf der „commune“-Ebene in der gesamten Region positiv aufgenommen worden.



Abbildung 5.2 Festakt zur Eröffnung des IMPETUS „commune“-Workshop 2007

5.6 Jordan: Die Bedeutung natürlicher und naturnaher Gebiete für die nachhaltige Entwicklung

Eine der wesentlichen Lehren, die aus dem Ansatz des „blauen und grünen Wassers“ gezogen werden können, ist die immens große Bedeutung natürlicher und naturnaher Gebiete für die nachhaltige Entwicklung. Natürliche Ökosysteme in ariden und semiariden Regionen sind sehr widerstandsfähig hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels, im Gegensatz zu bewässerten landwirtschaftlichen Flächen. Gleichzeitig kann die Wasserproduktivität von naturnahen Flächen um Größenordnungen höher sein, als der Wert, den das Wasser in der bewässerten Landwirtschaft produziert.

Der Wert von ‚natürlichem‘ Offenland schwankt je nach Wirtschaftsraum, die Ökosystem-Dienstleistungen sind jedoch beachtlich, selbst bei schlechten wirtschaftlichen Bedingungen (Fleischer & Sternberg 2006). Aufgrund der hohen Widerstandskraft von naturnahen Flächen gegenüber dem Klimawandel könnte der Rückbau landwirtschaftlicher Flächen zugunsten von Flächen mit natürlicher Vegetation angesichts des globalen Wandels eine effiziente und nachhaltige Wasserbewirtschaftungsoption darstellen. Die regionalen Ökosysteme reagieren jedoch sehr empfindlich auf Landnutzungswandel (Weideland und Wiederaufforstung), was bei der Ausweitung des Flächenanteils bedacht werden muss. Die Feststellungen sind sehr innovativ, weil sie Optionen für die nachhaltige Entwicklung aufzeigen, die bislang völlig ignoriert worden sind.

Diese Optionen lassen sich prinzipiell auf jede Region der Welt mit großer klimatischer Variabilität und Wasserknappheit übertragen (Abbildung 5.3)

5.7 Jordan: Nachhaltige Ressourcenbewirtschaftung durch einen innovativen, integrierten Ansatz

Die Kombination aus Grundlagenwissenschaft und einem effizienten Dialog mit Interessenvertretern kann eine solide Basis für sinnvolle Entscheidungen in der Wasserbewirtschaftung schaffen. Angesichts des globalen Wandels muss die Bewirtschaftung der Wasserressourcen auf einen integrierten Ansatz aufbauen, der den Wasserbedarf und die Versorgung der verschiedenen Bereiche einbezieht. GLOWA JR hat ein innovatives Konzept zur Bewertung ‚neuer‘ blauer und grüner Wasserquellen (d.h. Landbewirtschaftungs- und Umverteilungsoptionen) sowie einer

integrierten Oberflächen- und Grundwasserbewirtschaftung entwickelt, um den traditionell fragmentierten Ansatz zur nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung zu überwinden. Dieser Ansatz erlaubt eine Abwägung bislang unabhängiger Bewirtschaftungsoptionen. Als Beispiel hierfür dient die erfolgreiche Implementierung von WEAP als Entscheidungsunterstützungssystem, das Kosten-Nutzen-Abwägungen zwischen der Bewirtschaftung von blauem und von grünem Wasser ermöglicht (Abbildung 5.4).

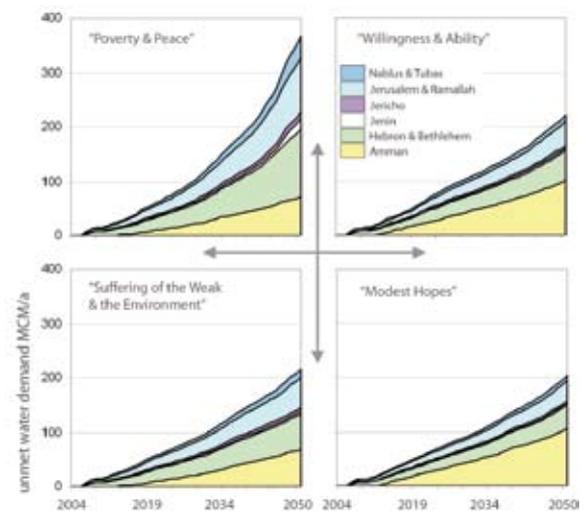


Abbildung 5.4 Entscheidungsunterstützung durch WEAP: berechneter, ungedeckter Wasserbedarf (MCM/Jahr) unter Anwendung der simulierten Bevölkerungswachstumsraten der vier SAS-Szenarien für die größeren Städte im Jordan-Gebiet unter Einfluss des Klimawandels

Obschon WEAP wissenschaftliche Erkenntnisse aus einer großen Vielfalt von Disziplinen erfolgreich an die Endnutzer übermittelt hat, kann die Integrierung nur mit Verlust an Detailinformation realisiert werden. Daher muss den Endnutzern Zugriff auf die originalen wissenschaftlichen Erkenntnisse gewährt werden, damit sie die Plausibilität lokaler Bewirtschaftungsoptionen beurteilen können. In der Region ist sektorübergreifende Kooperation unverzichtbar, um sicherzustellen, dass die komplexen Wechselwirkungen von Land und Wasser in die langfristige Planung einer nachhaltigen Wasserbewirtschaftung einbezogen werden.

GLOWA JR hat hier eine hilfreiche Rolle gespielt und unter anderem zur Bildung einer interministeriellen Arbeitsgruppe zur Klimaanpassung in Israel beigetragen.



Abbildung 5.6
Teilnehmer eines Capacity-Building-Workshops, 2007 in Accra

5.8 Volta: Entwicklung von Datenmanagement-Tools zur gemeinsamen Bewirtschaftung grenzüberschreitender Wasserressourcen

Eine der wesentlichen Erfahrungen aus dem Volta Projekt war die Erkenntnis, wie wichtig der Austausch von Umweltdaten und die Notwendigkeit institutionellen Wandels ist, um die Entwicklung von Datenbanken und die Weitergabe von Daten voranzutreiben. Der Klimawandel wirkt sich unabhängig von Ländergrenzen auf Regionen aus, während Wirtschaftspolitik und Erschließung von Wasserressourcen in der jeweiligen nationalen Verantwortung liegen. Zur Vermeidung grenzüberschreitender Konflikte müssen Strategien entwickelt werden, die den steigenden Wasserbedarf bei begrenztem Angebot in einem größeren, einzugsgebietsweiten Kontext decken können. Die grenzüberschreitende Wasserbewirtschaftung sowie die Erschließung von Wasserressourcen in einzelnen Ländern müssen sich auf zuverlässige, geophysikalische Daten stützen, um eine solide Entscheidungsunterstützung zu gewähren. Der Bedarf an derartigen Daten ist sehr hoch, sowohl auf nationaler Ebene als auch auf der Ebene der Einzugsgebiete. Der Zugang zu Daten und das Wissen, dass Daten überhaupt vorhanden sind, beruht jedoch größtenteils auf persönlichen Kontakten. Um die Datenknappheit

in den Anliegerstaaten zu überwinden und grenzüberschreitende sowie nationale Wasserbewirtschaftung in die Tat umzusetzen war es unumgänglich, ein Datenmanagement (Abbildung 5.5) sowie eine Daten-Plattform einzurichten (Rodgers et al. 2007).

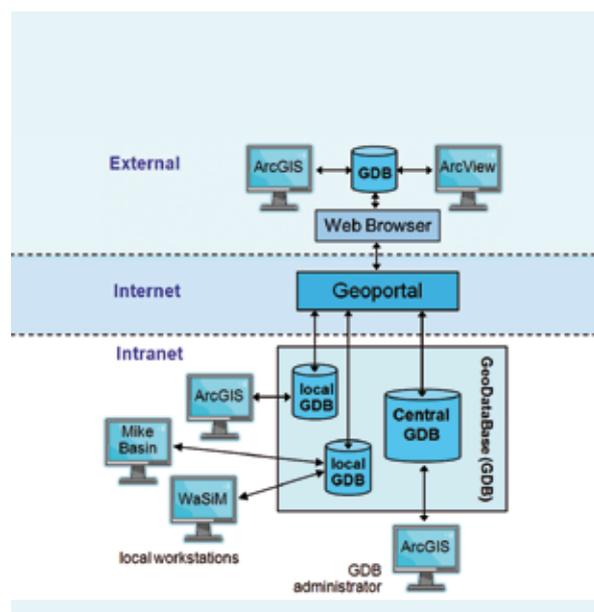


Abbildung 5.5 Infrastruktur der GLOWA Volta Geodatenbank

Die GLOWA Volta Stakeholder-Workshops machen deutlich, dass eine nutzerfreundliche Plattform zur Sammlung, Verwaltung und Weitergabe sachrelevanter Daten erforderlich ist. Daher hat das GLOWA Volta Projekt (GVP) eine Geodatenbank entwickelt, in der die zu Beginn im GVP erhobenen oder generierten Daten archiviert wurden. Die Daten sind über Internet zugänglich.

Besonders wichtig war es, den Impuls für die Entwicklung einer einzugsgebietsweiten Geodatenbank zu geben und ein Aus- und Fortbildungsangebot in Form von gut frequentierten Datenmanagement-Workshops (Abbildung 5.6) zu implementieren. Für die Weiterführung und Erweiterung der Datenbank wurde mit nationalen Einrichtungen wie meteorologischen und hydrologischen Diensten und anderen Forschungsinstituten zusammengearbeitet.

5.9 Volta: Verschiedene Ebenen der Entscheidungsunterstützung in einem Einzugsgebiet mit polyzentrischer Water Governance

Die Wasserbewirtschaftung und Wasserzuweisung im Volta-Einzugsgebiet zeichnet sich durch eine große Anzahl von Akteuren und Institutionen sowie durch das Fehlen eines umfassenden Konzeptes zur



Abbildung 5.7 GLOWA Volta Forschungsnetzwerk (Auswahl)

Wasserbewirtschaftung aus. Obschon die nationalen Wasserbehörden seit den 1980iger Jahren drastischen Reformen unterzogen wurden, wurde die Volta Basin Authority erst 2006 mit dem Auftrag „Bewirtschaftung der grenzüberschreitenden Wasserressourcen“

Tabelle 5.1 Wissenschaftliche Entscheidungsunterstützung für eine dezentralisierte Bewirtschaftung der Wasserressourcen

	BASIN SCALE (Transboundary)	SUB-BASIN SCALE (National)	SUB-BASIN SCALE (Regional)	CATCHMENT (Local)
ISSUES	Water Allocation Climate Change Impact Data Management	Water Allocation Infrastructure Development Data Management	Storage Development Irrigation Development	Land Use Change
GVP SOLUTIONS	Volta Basin Water Allocation System GVP Geoportal	National Water Allocation System GVP Geoportal	White Volta Water Allocation System GVP Geoportal	Multi-Agent Land and Water Use Model
PARTNERS	Volta Basin Authority National Water Administrations International Donors	National Water Administrations Government Agencies Research Institutes NGOs International Donors	Water Resources Commission Ministry of Food and Agriculture	Farmers NGOs Water Resources Commission Ministry of Food and Agriculture



Abbildung 5.8 Links: Luftbild des Hochwassers an der Elbe im Jahr 2002.

Rechts: Sandbänke der Mulde während einer Niedrigwasserperiode im Jahr 2005.

gegründet. In der Vergangenheit fehlten den offiziellen Akteuren oft die Ressourcen zur Umsetzung der Wasserbewirtschaftungsstrategien. Dezentralisation und die (informelle) Macht der lokalen Akteure trägt zur Lage der polyzentrischen Water Governance bei. Daher muss die wissenschaftliche Entscheidungsunterstützung sich an den verschiedenen Zielgruppen (Tabelle 5.1) mit ihren unterschiedlichen Anforderungen auf verschiedenen Ebenen orientieren.

Auf der Einzugsgebietsebene bietet das GVP ein innovatives Datenmanagementsystem an sowie das Volta Basin Water Allocation System (VB-WAS), das einen Klimawandel berücksichtigt.

Auf nationaler Teileinzugsgebietsebene hat das GVP Datenmanagement-Dienste und National Water Allocation Systems (N-WAS) entwickelt, die die Auswirkungen des Klimawandels modellieren und Entscheidungen optimieren können. Auf regionaler Teileinzugsgebietsebene modelliert das White Volta Water Allocation System (WV-WAS) die Folgen steigender Wasserspeicherung und Bewässerungsentwicklung im Einzugsgebiet des Weißen Volta.

Um die Auswirkungen der Landnutzungsänderungen zu erfassen, projiziert ein innovatives Modell lokale sozioökonomische, ökologische und hydrologische Folgen einer durch Klimawandel bedingten Änderung der Landnutzung in die Zukunft.

Diese Aktivitäten zielen auf die Einrichtung eines Netzwerks für den Informationsaustausch, Capacity Building und Wissensaustausch zugunsten der zahlreichen involvierten Interessengruppen, Institutionen und Programme (Abbildung 5.7) (Laube et al. 2005).

5.10 Elbe: Die Unsicherheit künftiger Niederschlagstrends kann und muss in komplexen regionalen Wirkungsstudien auf Einzugsgebietsebene erfasst werden

In der Hydrologie gibt es eine lange Tradition im Umgang mit Unsicherheiten. Die Berechnung von Wiederkehrperioden extremer hydrologischer Ereignisse wie Hochwasser (Grünwald 2001) und Dürren (Abbildung 5.8) ist ein herausragendes Beispiel.



Abbildung 5.9 Links: Brachland.

Rechts: Ein Maisfeld während der Ernte in einem Tieflandgebiet.

Unter Berücksichtigung der inhärenten Unsicherheit jeder Projektion in die Zukunft war das Ziel des Projekts, unter Anwendung eines stochastischen Ansatzes, die Quantifizierung der potentiellen Schwankungsbreite künftiger Veränderungen der Wasserressourcen im Einzugsgebiet der Elbe.

Die Klimaforschungsgruppe lieferte nicht nur eine Klimaszenario-Projektion, sondern einen ganzen Satz mit 100 Projektionen eines möglichen künftigen Klimas (Orlowsky 2007). Jede von ihnen bildet eine Grenzbedingung für die hydrologische Szenario-Analyse im GLOWA Elbe Projekt. Dies wurde mittels statistischem Downscaling der Klimawandelsignale aus den globalen Zirkulationsmodellen erreicht. Auf diese Weise konnte insbesondere auf die große Bandbreite möglicher regionaler Niederschlagsänderungen im Kontext der Klimaerwärmung eingegangen werden.

Abschließend ist zu bemerken, dass, eine anhaltende Klimaerwärmung vorausgesetzt, GLOWA Elbe in der Lage ist vorherzusagen, dass das Mittelwasser im Jahr 2050 sehr wahrscheinlich den aktuellen Mindestwasserständen im Elbe-Hauptstrom entsprechen wird.

Box 5.3 Zusammenfassung

Statistische Umsetzung regionaler Szenarien zum Klimawandel können zur Ableitung zuverlässiger Schlussfolgerungen hinsichtlich der Veränderungen extremer hydrologischer Ereignisse angewandt werden.

5.11 Elbe: Rascher Wandel der globalen Agrarmärkte beeinflusst die prognostizierten Ergebnisse

Die Klimaprognosen für die Elbe-Region wurden mit einer ganzen Bandbreite sozioökonomischer Prognosen für die wasserrelevanten Kernbereiche, z.B. für die Landwirtschaft, kombiniert. Jedoch mussten diese Prognosen im Zeitrahmen von GLOWA Elbe neu angepasst werden. Der Grund hierfür war das Missverhältnis zwischen Nahrungsangebot und -nachfrage auf den globalen Märkten. Durch dieses Ungleichgewicht und die Agroproduktion für Bio-Treibstoffe wird eine intensivere Nutzung von Ackerland in der Zukunft sehr viel wahrscheinlicher (Abbildung 5.9).

In der ersten Phase von GLOWA Elbe (Wechsung et al. 2005) war letzteres das Ergebnis eines Szenarios zur Marktliberalisierung in Gebieten mit weniger produktiven, sandigen Böden (bis zu 30 % der gesamten Ackerflächen).

Änderungen bei Projektionen infolge Veränderungen der zu erwartenden Wirtschaftsbedingungen sind unvermeidbar. Um die Beurteilung der Folgen neu anpassen zu können, müssen die Grundannahmen und Prognosen klar definiert und erkennbar sein. Außerdem sollten das Modellsystem und die dazugehörige Datenbank nach Fertigstellung der Studie öffentlich zugänglich gemacht werden. GLOWA Elbe wird den Modellierungsrahmen in Form einer Toolbox nach Abschluss der letzten Projektphase im Jahr 2010 freigeben. Institutionen im Einzugsgebiet können das

Modellsystem zur späteren Wiederanpassung der GLOWA Elbe Bewertung verwenden; Nutzer aus anderen Einzugsgebieten können die Parametrisierung des Einzugsgebietes der Elbe als Ausgangspunkt für neue Studien einsetzen.

Box 5.4 Zusammenfassung

Der öffentliche Zugang zu Modellen und Daten von Wirkungsstudien ist eine wesentliche Voraussetzung zur Sicherstellung transparenter und reproduzierbarer Ergebnisse, aber auch zur Revidierung von Ergebnissen, wenn die anfänglichen Projektionen nicht mehr gültig sind.

Danksagung

Kapitel 1

UNESCO IHP for permission to publish Figures 2.1 and 2.2, Nick Reynard and Gwyn Rees from the Centre of Ecology and Hydrology, UK, for contributions to Chapter 2.

Donau

The authors wish to thank the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF), the Free State of Bavaria, the State of Baden-Wuerttemberg and the Ludwig-Maximilians-University Munich for funding the GLOWA-Danube project. Thanks also go to the German and Austrian Weather Services as well as the Bavarian State Authority for the Environment (LfU) for the supplied data.

Source Figure 3.2: Klaus Leibdorf,
84172 Buch am Erlbach

Impetus

Ouémé

Ministère des Mines, de l'Énergie et de l'Hydraulique (MMEH); Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme (MEHU); Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche (MAEP); Direction des Forêts et Ressources Naturelles (DFRN/MAEP); Direction de l'Hydraulique (DH/MMEH), Services Départementale de l'Hydraulique (SDH/DH/MMEH) (Parakou, Djougou, Dassa and Bohicon); Direction de la Météorologie Nationale (DMN); Centre National de Télédétection (CENATEL/MAEP); Institut National de Recherche Agricole au Bénin (INRAB/MAEP); Centre d'Action Régionale pour le Développement Rural (CARDER/MAEP); Université d'Abomey-Calavi (UAC); Faculté de Sciences Agronomiques (FSA/UAC); Université de Parakou; CATCH/AMMA (Couplage de l'Atmosphère Tropicale et du Cycle Hydrologique / Analyse Multidisciplinaire de la Mousson ouest Africaine); long-termed component of the project supported by IRD (Institut de Recherche pour le Développement); German Technical Cooperation (GTZ); Projet de Gestion des Terroirs et Ressources Naturelles (PGTRN); Projet

d'Aménagement des Massifs Forestiers du Mont Couffé (PAMF/DFRN/MAEP)

Drâa

Royaume du Maroc Ministère, de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, Secrétariat d'Etat auprès du Chargé de l'Eau et de l'Environnement, Rabat; Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement (MATEE); Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime, Administration du Génie Rural, Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et la Lutte contre la Désertification, Rabat; Office Régional de Mise en Valeur Agricole de Ouarzazate (ORMVAO); Direction Régionale de L'Hydraulique (DRH), Agadir: Service Hydraulique Ouarzazate; Office National de l'Eau Potable (ONEP) - Région of Ouarzazate; University of Rabat, Department of Geography, Department of Forestry and Department of Plant Ecology; Institute of Agricultural & Veterinary Science, Rabat; University of Agadir, Department of Geography; University of Cadi Ayyad, Faculty of Sciences and Techniques, Faculté des Sciences Semlalia, Marrakech; Centre National de l'Énergie, des Sciences et des Techniques Nucléaires (CNESTEN), Rabat; Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Marrakech; CBTHA (Conservation Project for Biodiversity through Transhumance in the Southern High Atlas); ROSELT, OSS (Observation Network for the Long Term Ecological Surveillance of the Sahara and of the Sahel), Zagora; German Technical Cooperation (GTZ), Zagora, Agadir; Foundation Konrad Adenauer, Rabat

Jordan

Al-Quds University, An-Najah National University, Arab Agronomist Association, Arab Technologist for Economical and Environmental Consultations, Arava Institute for Environmental Studies, Bar-Ilan University, Ben-Gurion University, Biodiversity & Environmental Research Center, Forschungszentrum Karlsruhe - IMK-IFU Garmisch-Partenkirchen, Haifa University, Hebrew University of Jerusalem, House of Water and Environment, Israel-Palestine Centre for Research and

Information, Kinneret Limnological Laboratories, Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research, Max-Planck-Institute for Colloids and Interfaces, Mekorot, MIGAL – Galilee Technology Centre, Ministry of Agriculture (Israel), Ministry of Agriculture (PA), Ministry of Water and Irrigation, Mu'tah University, Palestinian Academy of Sciences, Palestinian Hydrology Group, Palestinian Water Authority, STAV-GIS, Stockholm Environment Institute, Tahal, Tel Aviv University, Tel-Hai College, University of Bochum, University of Freiburg, University of Hannover, University of Hohenheim, University of Jordan, University of Kassel, University of Potsdam, University of Tübingen, Volcani Center, Weizman Institute

Volta

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Center for Development Research (ZEF), Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (France, Burkina Faso), Council for Scientific and Industrial Research (Ghana), Delft University of Technology, Direction Général des Ressources en Eau (Burkina Faso), Forschungszentrum Karlsruhe IMK-IFU, German Aerospace Center (DLR)/

University of Würzburg, Ghana India Kofi Annan Centre of Excellence in ICT, Ghana Meteorological Agency, Hydrological Services Department (Ghana), Institute of Statistical, Social and Economic Research (University of Ghana), Institut de l'Environnement et des Recherches Agricoles (Burkina Faso), International Institute for Water and Environmental Engineering (Burkina Faso), International Water Management Institute, Kwame Nkrumah University of Science and Technology (Kumasi, Ghana), New Mexico Tech (USA), Savannah Agricultural Research Institute (Ghana), Small Reservoirs Project, United Nations University – Institute for Environment and Human Security, United Nations University – Institute for Natural Resources in Africa, University of Bonn, University of Ghana, Volta Basin Authority, Water Research Institute (Ghana), Water Resources Commission (Ghana)

Elbe

The GLOWA-Elbe research was kindly supported by the International Commission for the Protection of the Elbe River (IKSE) and the River Basin Community Elbe (FGG Elbe).

Abkürzungen

Kapitel 1

BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
GDP	Gross Domestic Product
GLOWA	Global Change and the Hydrological Cycle
GWSP	Global Water System Project
HELP	Hydrology for Environment, Life and Policy
PA	Palestinian Authority
PT-DLR	Projekträger im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
UN	United Nations
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

Kapitel 2

AGCM	Atmospheric General Circulation Models
GLOWA	Global Change and the Hydrological Cycle
GCM	Global Circulation Models
RCM	Regional Circulation Models

Donau

GLOWA	Global Change and the Hydrological Cycle
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change

Impetus

CLUE-S	Conversion of Land-Use and its Effects at Small regional extent
DRH	Direction Regional de L'Hydraulique
FAO	Food and Agriculture Organization
GDP	Gross Domestic Product
HCEFLCD	Haut Commissariat aux Eaux et Forets et la Lutte contre la Desertification
HYDRAA	Hydrologic model for the Drâa-catchment
INRAB	Institut National des Recherches agricoles du Bénin
IPCC AR4	Intergovernmental Panel on Climate Change: 4th Assessment Report
IPCC SRES	Intergovernmental Panel on Climate Change: Special Report on Emission Scenarios
IS	Information System
IWEGS	Impact of Water Exploitation on Groundwater and Soil
LMM	Liverpool Malaria Model
MalaRis	Malaria Risk
MATEE	Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement

MT	Monitoring Tool
ORMVAO	Office Régional de Mise en Valeur Agricole de Ouarzazate
PESERA	Pan European Soil Erosion Risk Assessment
PRO-RES	Prognosis of snowmelt runoff for the water reservoir
REMO	REgional climate Model
SDSS	Spatial Decision Support System
SEDRAA	Soil Erosion in the Drâa region

Jordan

BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
DSS	Decision support system
GDP	Gross Domestic Product
GLOWA JR	GLOWA Jordan River project
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IWRM	Integrated Water Resource Management
MODFLOW	MODular three-dimensional finite-difference ground-water FLOW model
SAS	Story and simulation approach
SEI	Stockholm Environment Institute
WEAP	Water Evaluation and Planning

Volta

DGRE	Direction Générale des Ressources en Eau
GDP	Gross Domestic Product
GTZ	Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit
GVP	GLOWA Volta Project
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LUDAS	Land Use Dynamic Simulator
M ³ WATER	Multi-country, Multi-sector, Multi-use (M3) Water Allocation Technology for Efficient Management of Resources (WATER)
MM5	Mesoscale Meteorology Model 5
NGOs	Nongovernmental Organisations
N-WAS	National Water Allocation System
ORS	Onset of the Rainy Season
UNU-INRA	United Nations University - Institute for Natural Resources in Africa
VBA	Volta Basin Authority
VB-WAS	Volta Basin Allocation System
WaSiM	Water Flow and Balance Simulation Model
WV-WAS	White Volta Water Allocation System

Elbe

Bln	Berlin
Brb	Brandenburg
GDP	Gross Domestic Product
IPCC	International Panel for Climate Change
SWIM	Soil and Water Integrated Model

Literatur

Kapitel 2

Intergovernmental Panel on Climate Change (2001) *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press: Cambridge, UK.

Jenkins, G and Lowe, J. (2003) Handling uncertainties in the UKCIP02 scenarios of climate change. *Hadley Centre technical note 44*.

Prudhomme, C., Piper, B., Osborn, T. & Davies, H. (2005) *Climate Change Uncertainty in Water Resource Planning*. Report to UKWIR. 305pp (incl. Annexes).

WMO 1994 Guide to Hydrological Practices - Data Acquisition and Processing, Analysis, Forecasting and Other Applications. Fifth Edition, *WMO-No. 168*. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 735 pp.

UNESCO 2006 *World Water Development Report*. UNESCO, Paris, 584 pp

Donau

Barthel, R., Mauser, W. & Braun, J. (2008): Integrated modelling of global change effects on the water cycle in the upper Danube catchment (Germany) – the groundwater management perspective. In J.J. Carillo & M.A. Ortega (Eds.) *Groundwater flow understanding from local to regional scale*, International Association of Hydrogeologists, Selected Papers on Hydrogeology, Vol. 12, pp. 47–72.

Barthel, R., Nickel, D., Meleg, A., Trifkovic, A. & Braun, J. (2005): Linking the physical and the socio-economic compartments of an integrated water and land use management model on a river basin scale using an object-oriented water supply model. *Physics and Chemistry of the Earth*, 30 (6–7), 389–397.

Ernst, A., Schulz, C., Schwarz, N. & Janisch, S. (2008). Modelling of water use decisions in a large, spatially explicit, coupled simulation system. In B. Edmonds, C. Hernández & K.G. Troitzsch (eds.), *Social Simulation: Technologies, Advances and New Discoveries* (pp. 138–149). Hershey, NY: Information Science Reference.

Mauser, W. & Bach, H. (2008): PROMET - a Physical Hydrological Model to Study the Impact of Climate Change on the Water Flows of Medium Sized, Mountain Watersheds, *Journal of Hydrology* (submitted)

Schwarz, N. & Ernst, A. (in press). Agent-based modelling of the diffusion of environmental innovations – An empirical approach. *Technological Forecasting and Social Change*

IMPETUS

Christensen, J.H. et al, 2007: Regional Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the 4th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Hoshen, M. B., and Morse, A. P., 2004: A weather-driven model of malaria transmission. *Malaria Journal*, 3:32, doi:10.1186/1475-2875-3-32.

- Kirkby, M.J., Jones, R.J.A., Irvine, B., Gobin, A., Govers, G., Cerdan, O., Van Rompaey, A.J.J., Le Bissonnais, Y., Daroussin, J., King, D., Montanarella, L., Grimm, M., Vieillefont, V., Puigdefabregas, J., Boer, M., Kosmas, C., Yassoglou, N., Tsara, M., Mantel, S., Van Lynden, G.J., and Huting, J., 2004: Pan-European Soil Erosion Risk Assessment: The PESERA Map, Version 1 October 2003. Explanation of Special Publication Ispra 2004 No.73 (S.P.I.04.73). European Soil Bureau Research Report No.16, EUR 21176, 18pp. and 1 map in ISO B1 format. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Knippertz, P., Fink, A. H., Reiner, A., and Speth, P. 2003: Three late summer/early autumn cases of tropical-extratropical interactions causing precipitation in northwestern Africa. *Mon. Wea. Rev.*, **131 (1)**, 116–135.
- Paeth H (2004) Key factors in African climate change evaluated by a regional climate model. *Erdkunde* **58**:290-315.
- Judex M. and Thamm H. P., 2008. IMPETUS Atlas Benin. Research Results 2000–2007. Department of Geography, University of Bonn, Germany, ISBN-13 978-3-9810311-5-7, 128 Seiten.
- Schulz, O. and M. Judex, 2008. IMPETUS Atlas Morocco, Research Results 2000–2007. Department of Geography, University of Bonn, Germany, ISBN-13 978-3-9810311-5-7, 78 Seiten.
- Verburg, P., Soepber, W., Veldkamp, A., Limpiada, R., Espaldon, V., and Mastura, S., 2002: Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model. *Environmental Management*, **30**, 391–405.
- Yassin, M., S. Bouh. And I. Akdim, 1996: Approche methodologique de cartographie de l'érosion dans le bassin versant de Oued Korifla. *Ann. Rech. For. Maroc* **29**: 133–150.

Jordan

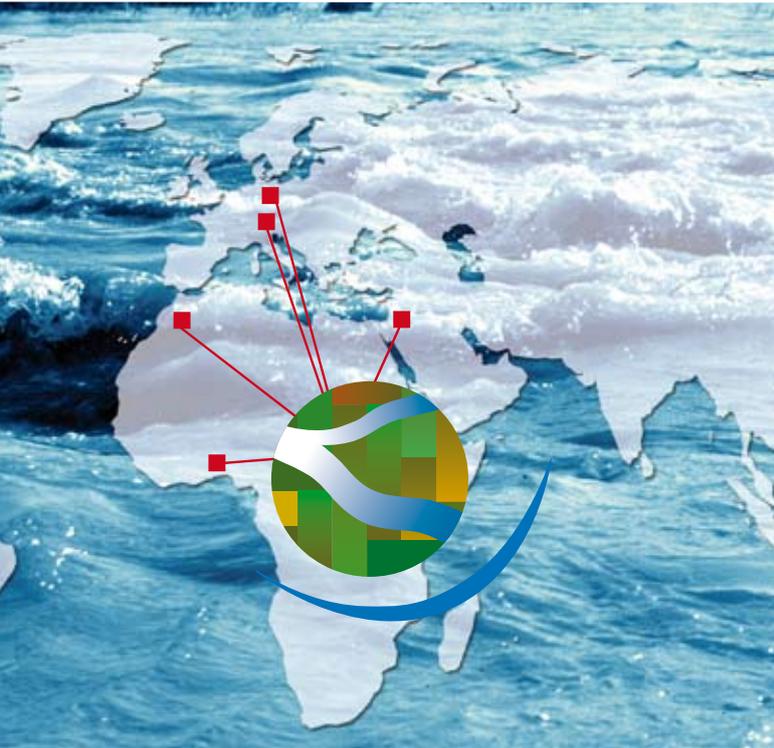
- Alcamo, J. (2001) Scenarios as Tools for International Environmental Assessment. *Environmental Issue Report* **24**, 1-31.
- Falkenmark, M. & Rockström, J. (2006) The New Blue and Green Water Paradigm: Braking New Ground for Water Resources Planning and Management. *Journal of Water Resources Planning and Management* **132(3)**, 129–132.
- Fleischer, A. & Sternberg, M. (2006) The economic impact of global climate change on Mediterranean rangeland ecosystems: a space-for time approach. *Ecological Economics* **59**, 287-295.
- Yates, D., Sieber, J., Purkey, D. & Huber-Lee, A. (2005) WEAP21 – A Demand-, Priority, and Preference-Driven Water Planning Model: Part 1, Model Characteristics. *Water International* **30**, 487-500.

Volta

- Barry, B., Obuobie, E., Andreini, M., Andah, W., Pluquet, M. (2006). The Volta River Basin. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. Comparative study of river basin development and management. Challenge Programme Water and Food, Accra.
- IPCC (2007) Climate Change 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge.
- Jung, G. & Kunstmann, H. (2007) Modelling Regional Climate Change and the Impact on Surface and Sub-Surface Hydrology. *IAHS*, 313, 1-8.
- Laube, W. & van de Giessen, N. (2005). Ghanaian Water Reforms: Institutional and Hydrological Perspectives. In Hydrological information in water law and policy: current practice and future potential (eds J.S. Wallace, P. Wouters & S. Pazavakavambwa). Kluwer.

- Laux, P., Kunstmann, H. & A. Bárdossy (2008) Predicting the Regional Onset of the Rainy Season in West Africa; *International Journal of Climatology*, Vol. 28, Issue 3, pp. 329-342.
- Rodgers, C., van de Giesen, N., Laube, W., Vlek, P.L.G., Youkhana, E. (2007) The GLOWA Project: A framework for water resources decision-making and scientific capacity building in a transnational West African basin. *Water Resource Management*, 295–313.
- UNDP (2007). Human Development Report 2007/2008. United Nations Development Programme, New York.
- Elbe**
- Becker, A., and Grünewald, U. (2003) Flood Risk in Central Europe: *SCIENCE*, v. 300, p. 1099.
- Behrendt H., Bach M., Opitz D. & Pagenkopf W.-G. Massgebliche anthropogene Einflüsse auf die Gewässerqualität (2004) S. 42-58. In: Wasser- und Nährstoffhaushalt im Elbegebiet und Möglichkeiten zur Stoffeintragsminderung Herausgeber: Alfred Becker/Werner Lahmer (Hrsg.) Berlin September 2004, 520 Pages; ISBN 3-89998-007-7
- Conradt, T., Kaltofen, M., Hentschel, M., Hattermann, F., and Wechsung, F. (2007) Impacts of global change on water-related sectors and society in a trans-boundary central European river basin, Part 2: from eco-hydrology to water demand management, in Lindenschmidt, K.-E., ed., *Advances in Geosciences: Large-scale hydrological modelling and the European Union water policies, Volume 11*, p. 93–99.
- EC (2000) Establishing a framework for community action in the field of water policy. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000, Official Journal of the European Communities, Brussels.
- Grünewald, U. (2001) Water resources management in river catchments influenced by lignite mining, *Ecological Engineering*, Volume 17 Special Issue: Ecology of post mining landscapes, Amsterdam, London, New York u. a. O., *Elsevier Science*, p. 143–152.
- Hattermann, F.F., Krysanova, V., Habeck, A., and Bronstert, A., 2006, Integrating wetlands and riparian zones in river basin modelling: *Ecological Modelling*, available online, in press, v. 199, p. 379–392.
- Koch, H., Kaltofen, M., Schramm, M., Grünewald, U. (2006). Adaptation strategies to global change for water resources management in the Spree river Catchment, Germany. *Intl. J. River Basin Management*, 4 (4), 273–281.
- Messner F., Zwirner O., Karkuschke M. (2004) Participation in multi-criteria decision support for the resolution of a water allocation problem in the Spree River basin. *Land Use Policy*, available online
- Orlowsky, B., Gerstengarbe, F.-W., and Werner, P. C. (2007). A resampling scheme for regional climate simulations and its performance compared to a dynamical RCM. *Theoretical and Applied Climatology*
- Stanners D. & Bourdeau P. (eds) (1995) Europe's Environment: The Dobris Assessment. European Environment Agency, Copenhagen 1995.
- Wechsung, F., Becker, A. and Graefe, P. (2005) *Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasser; Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet: Berlin, Weißensee Verlag, p. 407. will be published in english soon*

Webseiten



Kapitel 1

www.glowa.org

Donau

www.glowa-danube.de

IMPETUS

www.impetus.uni-koeln.de

Jordan

www.glowa-jordan-river.de • www.weap21.org

Volta

www.glowa-volta.de

Elbe

www.glowa-elbe.de

Veröffentlichungen in der Reihe IHP/HWRP-Berichte

Der deutsche Beitrag zum International Hydrological Programme (IHP) der UNESCO und zum Hydrology and Water Resources Programme (HWRP) der WMO wird durch ein Nationalkomitee betreut. Die Geschäftsführung für beide Programme wird vom IHP/HWRP-Sekretariat wahrgenommen. Wissenschaftliche Berichte aus der Arbeit des deutschen IHP/HWRP-Nationalkomitees werden in der Reihe IHP/HWRP-Berichte, ISSN 1614-1180, veröffentlicht.



Heft 6
Forest hydrology – results of research in Germany and Russia

Editors Part I: H. Puhmann, R. Schwarze
 Editors Part II: S.F. Federov and S.V. Marunich (dec.)
 308 pp, Koblenz 2007



Heft 5
Irrigation control: towards a new solution of an old problem

G.H. Schmitz, N. Schütze and T. Wöhling,
 224 pp, Koblenz 2007



Heft 2 (Out of print)
Studies in Mountain Hydrology

Edited by Andreas Herrmann and Ulrich Schröder,
 104 pp, Koblenz 2004



Heft 4
Runoff from Nepalese Headwater Catchments – Measurements and Modelling

M. Konz, L.N. Braun, W. Grabs, A. Shrestha and S. Uhlenbrook,
 166 pp, Koblenz 2006



Heft 1
Problematik der Wasserbewirtschaftung der Insel Föhr

F. Steinmann und H. Ketelsen,
 74 pp, Koblenz 2004



Heft 3
Value of Water – Different Approaches in Transboundary Water Management

German IHP/HWRP National Committee,
 128 pp, Koblenz 2005

