

GLOWA-Elbe

Integrierte Analyse der Auswirkungen des Globalen Wandels auf die Umwelt und die Gesellschaft im Elbegebiet

Sachbericht 2002

Berichtszeitraum: 2002
Verbundprojektleiter: PD Dr. Alfred Becker (bis 7/2002)
Dr. Frank Wechsung (ab 7/2002)
Potsdam-Institut für
Klimafolgenforschung e.V.

GLOWA-Elbe Projektpartner

Universitäten:

BTU	Brandenburgische Technische Universität, Cottbus - Lehrstuhl für Hydrologie und Wasserwirtschaft
FUB	Freie Universität Berlin - Institut für Meteorologie
FSU	Friedrich Schiller Universität Jena - Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät, Wirtschaftspolitik II
GhK	Universität Gesamthochschule Kassel - Wissenschaftliches Zentrum für Umweltsystemforschung - Fachbereich Wirtschaftswissenschaften
TUB	Technische Universität Berlin - Institut für Management in der Umweltplanung - Institut für Ökologie und Biologie - Institut für Ökologie

Wissenschaftliche Institute und Anstalten:

BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde, Aussenstelle Berlin
DGFZ	Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V.
FAA	Forschungsgesellschaft für Agrarpolitik und Agrarsoziologie e.V., Bonn
IGB	Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei, Berlin
MPI	Max-Planck Institut, Hamburg
PIK	Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
TLL	Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena
UFZ	Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH - Abteilung Ökologische Ökonomie und Umweltsoziologie
ZALF	Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung e.V. - Institut für Landschaftswasserhaushalt, Müncheberg

Ingenieurbüros

BAH	Büro für angewandte Hydrologie, Berlin
WASY	Gesellschaft für wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung mbH

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

ArcEGMO	ArcInfo basiertes gegliedertes hydrologisches Modellsystem
ArcGRM	Modell der langfristigen Wasserbewirtschaftung in Flußgebieten
ArcView	GIS Software
BEWAG	Betreiber der Kraft- und Heizkraftwerke Berlins
BOWAS	Bodenwasserhaushaltsmodell
BSB	Biologischer Sauerstoffbedarf
BWB	Berliner Wasserbetriebe
C-BSB	Kohlenstoff-BSB (BSB unter Hemmung der Nitrifikation)
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
DSI	dynamischer Zirkulationsindex
DSM	Dahme-Seen-Modell
DWD	Deutscher Wetterdienst
ECHAM	Name des GCM des MPI für Meteorologie, Hamburg
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
ECOBAS	Prozessdatenbank
EMMO	Modell für Gewässergütesimulation
GCM	Global Climate Model (General Circulation Model)
GIS	Geographisches Informationssystem
GRUENLAND	Grünlandertragsmodell
GWRP	Gewässerrandstreifenprogramm
HYDRAX	hydrodynamische Modell
ILAT	Institut für Lebensmittel, Arzneimittel und Tierseuchen, Berlin
IPCC	Intergovernmental Panel of Climate Change
LaGeTSi Bln	Landesamt für Arbeitsschutz, Gesundheitsschutz und technische Sicherheit Berlin
LMBV	Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau- und Verwaltungsgesellschaft mbH
LUA Brb	Landesumweltamt Brandenburg
LUSim	ArcView gestütztes Softwaresystem
MODAM	Multikriterielles Entscheidungshilfesystem für das Management von Agrarökosystemen
MODFLOW	Grundwasserströmungsmodell
MONERIS	Wasser- und Stoffhaushaltsmodell
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OPYC	Ocean General Circulation Model
QSIM	Modell für Gewässergütesimulation
RAUMIS	Agrarmarktmodell
REMO	regionales Klimamodell
SciLab	Simulationssoftware
SenGesundheit Bln	Senatsverwaltung für Gesundheit Berlin
SenStadt Bln	Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin
SILVA	Waldwachstums- Simulationsmodell
SWIM	GIS-basiertes gegliedertes ökohydrologisches Modellsystem
TMLNU	Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt

GLOWA-Elbe Zwischenbericht 2002

TOC	Total Organic Carbon (gesamter organischer Kohlenstoff)
VEGMOS	Vegetationsentwicklungsmodell
WABI	Wasserhaushaltsmodell
WaterGAP	integriertes globales hydrologisches Modell
WATSIM	partielles Gleichgewichtsmodell
WSA Bln	Wasser- und Schifffahrtsamt Berlin
WTO	World Trade Organization

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

1. Einführung

2. Erprobung und Weiterentwicklung der Integrationsmethodik

2.1. Der Integrative Methodische Ansatz IMA als verallgemeinerungsfähiges Integrationskonzept

2.2. Erweitertes Leistungsspektrum des integrierten Großräumigen WasserbewirtschaftungsModells ArcGRM zur Umsetzung des IMA im Spree/Havel-Gebiet

2.3. Pilotanwendung des IMA mit dem ArcGRM-GLOWA im Spree/Havel-Gebiet

2.3.1. Stakeholderpartizipation bei der Zielformulierung, Szenarientwicklung und Kriterienfestlegung

2.3.2. Analyse der wasserwirtschaftlichen und ökonomischen Effekte

2.4. Genestete Spezialuntersuchungen im Feuchtgebiet Spreewald

2.4.1. Zielstellung des Teilprojekts und Integration in die großräumigen Analysen

2.4.2. Modellentwicklungen/-erweiterungen/-innovationen

2.4.3. Ergebnisse der Szenarioanalysen

2.5. Genestete Spezialuntersuchungen im urbanen Ballungsraum Berlin

2.5.1. Auswahl von Kriterien und Handlungsalternativen für die Szenario-Analysen in Abstimmung mit den Stakeholdern

2.5.2. Hauptergebnisse der Szenario-Analysen

3. Großräumige Modellierungen und Vorarbeiten zur Anwendung des IMA im gesamten Elbegebiet

3.1. Klimaszenarien für die nächsten 50 Jahre

3.2. Großräumige Szenarioanalysen zum Wasser- und Nährstoffhaushalt sowie zu landwirtschaftlichen Erträgen

3.2.1. Entwicklung von Szenarien der landwirtschaftlichen Nutzung im Elbe-Gebiet

3.2.2. Modellvalidierungen, Impaktanalysen und deren erste Ergebnisse

3.3. Genestete Untersuchungen im Unstrutgebiet als einem durch intensive Landwirtschaft geprägten Landschaftstyp

4. Schlussbemerkungen und Ausblick

Ausgewählte Referenzen

Verzeichnis der Abkürzungen

Anlagen

1. Einführung

In der zurückliegenden Bearbeitungsphase, auf die sich dieser Bericht bezieht (April 2002-März 2003), wurden die für GLOWA-Elbe entscheidende Fortschritte und Durchbrüche erzielt. Hierzu wird nachfolgend unter Herausstellung der erzielten Hauptergebnisse eine Übersicht gegeben, die durch Anlagen und Hinweise auf vorliegende Dokumentationen mit weiterführenden Erläuterungen ergänzt wird.

Während des Winters 2001/02 wurden die als Input für die verschiedenen Impaktanalysen benötigten einhundert Realisierungen des primär ausgewählten Klimaänderungsszenarios als Zeitreihen von Tageswerten aller relevanten meteorologischen Größen, bei denen interne Konsistenz garantiert ist, am PIK generiert und den verschiedenen Modellierungsgruppen in GLOWA-Elbe in direkt weiter verarbeitbarer Form übergeben. Im April/Mai 2002 wurden mit diesen Massendatensätzen die Impaktanalysen begonnen, wonach in bemerkenswerter Breite und Intensität Ergebnisse mit Aussagen über die Auswirkungen des Globalen Wandels auf die Wasserressourcen im Elbegebiet und wichtige, davon abhängige Bereiche der Volkswirtschaft, Umwelt und Gesellschaft vorgelegt wurden, die ständig ergänzt und erweitert werden.

Durch die Einbeziehung der Stakeholder in die Szenarienentwicklung und Ergebnisbewertung gemäß dem Integrativen Methodischen Ansatz (IMA) besteht ihrerseits ein aktives Interesse an der sofortigen Übergabe bestimmter Ergebnisse, da diese bei dringend zu treffenden Entscheidungen unterstützend benötigt werden (speziell im Spree/Havel-Gebiet). Damit wird dem Anspruch der direkten Verwertung der Forschungsergebnisse in effektiver Weise entsprochen.

Hervorzuheben ist, dass der entwickelte Integrative Methodische Ansatz IMA, welcher die Grundlage aller integrativen Forschungsarbeiten in GLOWA-Elbe darstellt, international bereits Beachtung und Anerkennung gefunden hat. Zum Science Forum der EU und Südafrikas anlässlich des Weltgipfels in Johannesburg/Südafrika im September 2002 sowie zu einer von der EC und Vertretern der USA veranstalteten Fachsitzung über Methoden der Integrierten Wasserbewirtschaftung auf der gemeinsamen EGS-AGU-EUG Jahrestagung in Nizza/Frankreich im April 2003 wurde der IMA auf Einladung der EC vorgestellt und von den Veranstaltern als beispielgebend gewürdigt. Im März 2003 wurde der IMA in einer Beratung der Kerngruppe der Konzertierte Aktion „Harmoni-CA“ zum 6. Rahmenprogramm der EU vorgestellt, diskutiert und anschließend als geeignetes „allgemeines Rahmenkonzept“ zum Einsatz integrativer modellbasierter Methoden bei der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie bezeichnet und die umgehende Erarbeitung einer entsprechenden Dokumentation vorgeschlagen.

2. Erprobung und Weiterentwicklung der Integrationsmethodik

2.1. Der Integrative Methodische Ansatz IMA als verallgemeinerungsfähiges Integrationskonzept

Integration ist besonders wichtig bzw. erforderlich für die Analyse von unter Stress stehenden Systemen, z.B. Regionen, Länder, Kreise oder Flussgebiete, bei denen Maßnahmen oder Handlungsstrategien zur Sicherung bzw. Unterstützung einer Nachhaltigen Entwicklung erforderlich sind. Die Stressfaktoren können auf externe Ursachen zurückzuführen sein (z.B. Klimaänderung, globale Marktentwicklungen o.ä.) oder auf interne, z.B. Aktivitäten des Menschen unterschiedlichster Art innerhalb des Bearbeitungsraumes. Sowohl die externen als auch die internen Ursachen (Antriebe, Drivers) üben Druck (Pressure) auf die Zustände (Sta-

tes) im betrachteten System aus, woraus sich Auswirkungen (**Impacts**) auf das Systemverhalten ergeben, die ggf. Maßnahmen (**Responses**) der Gesellschaft erfordern. Diese Abfolge von **Drivers** zu **Pressures**, **States**, **Impacts** und letztendlich **Responses** sowie ihre Analyse und Behandlung wird von der Europäischen Umweltbehörde als **DPSIR**-Rahmenkonzept bezeichnet (OECD 1994, UNCSO 1996). Der IMA schließt an dieser Betrachtungsweise an. Durch die Bereitstellung von Kategorien, Termini und Ablaufschemata werden wichtige Voraussetzungen für eine im Sinne der Integration Ziel führende Kommunikation zwischen Wissenschaftlern der verschiedenen Disziplinen, Entscheidungsträgern, Akteuren und Betroffenen geschaffen.

Antriebe (**Drivers**) sind vor allem die Menschen und die Gesellschaft mit ihren Aktivitäten. Letztere haben auch Vorstellungen oder Visionen über wünschenswerte oder zu erreichende Umweltbedingungen (z.B. "Leitbilder für die Nachhaltige Entwicklung"), andererseits auch über kritische Grenzwerte wichtiger Umweltparameter (Kriterien), die nicht über- oder unterschritten werden sollen (z.B. Grenzwerte der Wasserqualität, minimale oder maximale Abflüsse oder Wasserstände u.ä.). Derartige Kriterien müssen durch die verantwortlichen Behörden und Institutionen festgelegt und von den betroffenen Bürgern oder anderen Stakeholdern akzeptiert werden. Solche Kriterien dienen dann auch zur Bestimmung von Stresszuständen für die Umwelt und Gesellschaft, wobei die gegebenen oder erwarteten, mittels Indikatoren gemessenen Zustände, den festgelegten Kriterien gegenübergestellt werden. Sobald ein Zustandsindikator die vorgegebenen Kriterien bzw. den entsprechenden Zustandsbereich 'verletzt' (über- oder unterschreitet), spricht man von **Impacts** im Sinne von unerwünschten oder nichtakzeptablen Zuständen. Um solche **Impacts** zu vermeiden oder zu mindern, sind Maßnahmen und Aktionen (**Responses**) seitens der Gesellschaft erforderlich, die wiederum mit Stakeholdern diskutiert und von ihnen akzeptiert werden müssen. Dies bedeutet, dass die Beteiligung von Stakeholdern eine entscheidende Komponente jeder Integrationsmethode und Analysetechnik darstellt. Der Begriff "Stakeholder" bezieht sich hier im weitesten Sinne auf Entscheidungsträger, Akteure, Politiker und ihre Repräsentanten (Vertreter von Regierungsbehörden, Ämter und Institutionen), Umweltschutzbehörden (EPAs), nichtstaatliche Organisationen (NGOs), Landeigentümer, die Bevölkerung, Bürgerinitiativen oder Interessensgruppen o.ä. (linker Block in Abbildung 1).

Der für GLOWA-Elbe entwickelte Integrative Methodische Ansatz (IMA) stellt eine Art Transformation des DPSIR-Rahmenkonzepts in ein anforderungsgerecht strukturiertes, handhabbares, verallgemeinerungsfähiges Rahmenkonzept und eine entsprechende Analysetechnik dar, die unter Mitwirkung von Stakeholdern zur Unterstützung von Planungs- und Entscheidungsprozessen eingesetzt werden kann. Der IMA ist hervorgegangen aus Ideen, Entwicklungen und Vorschlägen von Wenzel (1999, 2001) und Messner und Drechsler (2001), die im Rahmen einer Synthese kombiniert wurden. Der als Ergebnis entwickelte IMA mit seinen Hauptkomponenten und Schritten ist in dem Schema in Abbildung 1 dargestellt. Weiterführende Erläuterungen dazu wurden bereits an anderer Stelle gegeben (Becker et al. 2002).

2.2. Erweitertes Leistungsspektrum des integrierten Großräumigen WasserbewirtschaftungsModells ArcGRM zur Umsetzung des IMA im Spree/Havel-Gebiet

Als ein besonders geeignetes Integrationsinstrument für die integrativen Forschungen in GLOWA-Elbe gemäß dem IMA wurden großräumige Wasserbewirtschaftungsmodelle ausgewählt (so genannte Langfristbewirtschaftungsmodelle, hier das Modellsystem ArcGRM). Sie haben sich in einer Reihe von Anwendungen bewährt und deshalb in der wasserwirtschaftlichen Praxis, speziell bei der mittelfristigen Planung von Maßnahmen und Ableitung von Strategien der Wasserbewirtschaftung, große Akzeptanz gefunden. Folgende Eigen-

schaften und Leistungscharakteristika sind besonders herauszustellen:

- a) Die multiskalige Einsetzbarkeit in Flussgebieten unterschiedlicher Größe (bisher bis weit über 10.000 km²).
- b) Die Möglichkeit der lagegerechten Erfassung komplexer Gewässersysteme sowie aller interessierenden Objekte im Einzugsgebiet, wie Bilanzpunkte im Gewässernetz, Nutzungen (Wasserentnahmen und -einleitungen), Bewirtschaftungselemente und Steuereinrichtungen (Speicher, Stauhaltungen, Wasserüberleitungen u.ä.), die bei der detaillierten raum- und zeit-differenzierten Bilanzierung berücksichtigt werden müssen.
- c) Die Beschreibung des stochastischen Charakters der räumlich und zeitlich variablen Zuflüsse aus allen Teileinzugsgebieten, die von den zuvor genannten Nutzungen usw. unbeeinflusst sind (sog. "unbewirtschaftetes Wasserdargebot").
- d) Die Möglichkeit der Untersuchung unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen im Gebiet durch Veränderung der Nutzungen, Speicherabgaben, Wasserüberleitungen, Rangfolge-regelungen für Nutzungen in Wassermangelperioden, Einfügen neuer, möglicher Steuerungselemente (Wasserbauten, Kläranlagen usw.; Handlungsalternativen im weitesten Sinne).
- e) Die Registrierung und wahrscheinlichkeitstheoretisch gestützte Auswertung aller Simulationsergebnisse und ihre Darstellung in einer anwenderfreundlichen, für Bewertungen und zu treffende Entscheidungen geeigneten Form.

Ein ArcGRM mit diesen Leistungsmerkmalen wurde im Auftrag der Bundesländer Sachsen, Sachsen-Anhalt, Brandenburg und Berlin sowie des Trägers des Sanierungsbergbaus (LMBV) für das Einzugsgebiet Spree / Schwarze Elster entwickelt und von ihnen genutzt ("ArcGRM Spree/Schwarze Elster"). Dieses Modell und partiell auch die zugrunde liegende Software (ArcGRM) wurde für die in GLOWA-Elbe geplanten integrativen Untersuchungen zum ArcGRM-GLOWA weiterentwickelt, das nun in Verbindung mit dem Integrativen Methodischen Ansatz IMA zur Erreichung eines neuen Niveaus bei flussgebietsbezogenen integrativen Untersuchungen zum Globalen Wandel und seinen Auswirkungen geführt hat. Seine Leistungseigenschaften können zusammenfassend wie folgt charakterisiert werden:

- Ausgehend von 100 Realisierungen eines Klimaszenarios (Ensembleszenario) werden zunächst Abflussreihen der Zuflussgebiete des im ArcGRM-GLOWA erfassten Flusssystem als "unbewirtschaftetes Wasserdargebot" gemäß c) (oben) mit Hilfe eines hydrologischen Flussgebietsmodells berechnet (bisher ArcEGMO bzw. EGMOD).
- Das ArcGRM-GLOWA wird dann mit allen Zuflussreihen durchgerechnet, so dass für jeden Bilanzpunkt Ergebnisse über 50 Jahre in monatlicher Auflösung zu je 100 Realisierungen erhalten werden. Mit ihnen können statistisch abgesicherte Verteilungsfunktionen der zu erwartenden Abflüsse, wie auch der Häufigkeiten von Wasserdefiziten usw. aufgestellt werden, womit der Vielfalt und Variationsbreite (Varianz) zukünftig möglicher Klimaentwicklungen, speziell der bei ihnen eintretenden Niederschläge und Abflüsse, Rechnung getragen wird. Zugleich können auch die Unsicherheiten in den Ergebnissen angemessen beschrieben werden. Dies ist eine Pilotleistung, auch im internationalen Vergleich.
- Das Bewirtschaftungsmodell ArcGRM wurde so erweitert, dass die Einbindung genesteter Detailmodelle, wie des ArcGRM-Spreewald, möglich ist. Damit wurde eine Grundvoraussetzung für den geplanten Aufbau eines großräumigen ArcGRM-GLOWA-Elbe geschaffen, in das ArcGRM für Nebenflussgebiete, von denen einige bereits vorhanden sind, "eingenestet" werden können.
- In jedem ArcGRM können sozioökonomische Wirkungen sowie Ziele und Aufgabenstellungen integriert mitbearbeitet und in die Ableitung von Lösungen und Maßnahmevorschlägen einbezogen werden.
- So wurden essentielle sozioökonomische Grundlagendaten zur Wasserentnahme der Energiewirtschaft und des Sanierungsbergbaus sowie der Wassereinleitungen durch den aktiven

Braunkohleabbau, die zuvor nach dem Status quo vorgegeben waren, modellgestützt mit der IKARUS-Datenbank für die globalen Entwicklungsrahmen gemäß IMA bis 2052 modelliert und in das ArcGRM integriert, zum Zweck der sozioökonomischen Fundierung der Ergebnisse der wasserwirtschaftlichen Modellierung.

- Die Ergebnisse des ArcGRM, speziell die Eintrittswahrscheinlichkeiten bestimmter Abflüsse an den betrachteten Bilanzpunkten und Pegeln bis 2052, dienen als Bezugsgrößen zur Berechnung der sozioökonomischen Effekte (Nutzen, Kosten, Beschäftigung) für verschiedene Wassernutzungen im Einzugsgebiet. Es wurden für alle betroffenen Wassernutzungskategorien (und Sektoren) ökonomische Transfer-Bewertungsfunktionen erarbeitet und ebenfalls in das ArcGRM integriert, so dass simultan mit den Abflussdaten die aus den Veränderungen der Wasserverfügbarkeit resultierenden Nutzen- und Kostendaten ermittelt werden.
- Auf der Basis derartiger Daten für jeweils 100 Realisierungen eines Klimaszenarios lassen sich unsicherheitstheoretische Angaben zu den Erwartungswerten auch der ökonomischen Effekte aller Handlungsalternativen berechnen.
- Die Resultate zu den einzelnen Handlungsalternativen werden mit Stakeholdern und Entscheidungsträgern diskutiert und softwarebasiert multikriteriell bewertet, wobei sowohl die Unsicherheiten in den Ergebnisdaten als auch zukünftige Entwicklungstrends mit ihren vorgegebenen Eintrittswahrscheinlichkeiten bei den verschiedenen Entwicklungsrahmen mitberücksichtigt werden. Die Bewertungsergebnisse dienen als Grundlage für zu treffende Entscheidungen.

2.3. Pilotanwendung des IMA mit dem ArcGRM-GLOWA im Spree/Havel-Gebiet

2.3.1. Stakeholderpartizipation bei der Zielformulierung, Szenarientwicklung und Kriterienfestlegung

Nach Abschluss der Erweiterung des ArcGRM Spree/Schwarze Elster zum ArcGRM GLOWA wurde als erstes ein Basisszenario zum Nachweis der wasserwirtschaftlichen Effekte des Klimawandels mit einer ersten Handlungsalternative „prioritäre Flutung“ berechnet. Danach wurde im Juni 2002 ein Stakeholderfachgespräch durchgeführt. Teilnehmer waren Mitglieder der länderübergreifenden Arbeitsgruppe Flussgebietsmanagement (z. B. aus den Landesumweltämtern Sachsen und Brandenburg, dem Braunkohletagebausanierungsträger LMBV, aus Unternehmen des aktiven Braunkohlebergbaus LAUBAG und der VeAG, die für die Vorbereitung der Entscheidungsprozesse zur Wasserbewirtschaftung im Spree/Havel-Gebiet verantwortlich sind.

Präsentiert wurden die ersten Ergebnisse aus GLOWA-Elbe für das interessierende Gebiet, speziell zu den Wirkungen des globalen Klimawandels auf die Wasserverfügbarkeitsprobleme. Hierbei wurde verdeutlicht, dass die Klimaänderungen die Wasserverfügbarkeitsproblematik im Spreegebiet deutlich verschärfen werden.

Im Rahmen der Diskussion der Ergebnisse ergaben sich diverse Vorschläge zur Lösung der sich verschärfenden Konflikte. Diese Vorschläge wurden in das Programm der geplanten Arbeiten aufgenommen und die bereits vorliegenden Szenarien wurden entsprechend präzisiert und ergänzt. Den zugrunde gelegten ökonomischen Bewertungsmethoden -kriterien wurden seitens der Stakeholder zugestimmt. Im Ergebnis des Gesprächs wurden insgesamt 5 Wasserbewirtschaftungsstrategien für Szenarioanalysen konzipiert. Sie gehen deutlich über die bisherigen Planungen der Länder, die als Basisszenario bezeichnet werden hinaus und können wie folgt kurz charakterisiert werden:

- ‚prioritäre Flutung‘, d.h. prioritäre Bereitstellung von Flutungswasser unter Beachtung ökologischer Mindestabflüsse

- ‚reduzierte Fließe‘, zusätzliche Bereitstellung von Flutungswasser im Raum See-See/Schlabendorf aus für die Stützung von Fließen vorgesehenen Wassermengen
- ‚Oder-Malxe‘, Überleitung von Wasser aus der Oder in die Malxe (Einzugsgebiet der Spree) für Tagebauseeflutung und andere Nutzer
- ‚Oder-Spree-Kanal‘ = Überleitung von Wasser aus der Oder über den Oder-Spree-Kanal nach Berlin.

Jede Wasserbewirtschaftungsstrategie wurde sowohl unter der Annahme konstanten Klimas als auch mit Klimatrend gerechnet, so dass insgesamt 10 wasserwirtschaftliche Szenarien zur Verfügung standen.

Zusätzlich wurden regionale Szenarien des sozioökonomischen Wandels abgeleitet, und zwar für die Sektoren Binnenfischerei, tagebauseengebundener Tourismus, Wasserbereitstellungskosten, Konditionierungskosten und Landwirtschaft. Hier wurden für Teilaspekte des globalen sozioökonomischen Wandels die Konsequenzen für Preise und Absatzmärkte bestimmt, und zwar für die Storylines A1 und B2.

Schließlich wurden gemäß dem IMA im Rahmen des partizipativen Prozesses und aufbauend auf den Forschungsergebnissen zu den Auswirkungen der sich verändernden Wasserverfügbarkeit folgende Bewertungskriterien festgelegt:

1. Nettonutzen für die vom Wasserverfügbarkeitskonflikt am stärksten betroffenen Wassernutzer (Binnenfischerei; Wasserbereitstellung der Bergbauseenflutung; Konditionierung der Seen; allgemeine Maßnahmen der Wasserbewirtschaftung zur Gewährleistung der Gütevorschriften; touristische Nachnutzung der Bergbauseen; Wasserwerke)
2. Beschäftigungsrate bzw. Gesamtbeschäftigung
3. Index zur Verteilung der ökonomischen Effekte zwischen den Bundesländern
4. notwendige Menge an Neutralisierungsmitteln für die Sanierung bzw. Konditionierung der Seen (als Indikator für die ökologische Eingriffstiefe)
5. Einhaltung des ökologischen Mindestabflusses an ausgewählten Pegeln

Wie zuvor beabsichtigt umfassen diese Kriterien sowohl ökonomische Effekte (siehe 1.), als auch soziale (siehe 2. und 3.) und ökologische Effekte (siehe 4. und 5.) und dienen damit der multikriteriellen Bewertung. Die Einbeziehung der einzelnen ökonomischen Nettonutzen für verschiedene betroffene Wassernutzer als Einzelkriterien im Rahmen der Multikriterienanalyse wird als besonderer Vorteil angesehen, da dadurch z.B. betriebswirtschaftliche Gewinne oder Verluste einzelner Betroffener einzeln betrachtet und bewertet werden können und zusätzlich auch gesellschaftliche Kosten, wie z.B. die Konditionierung der Bergbauseen, getrennt in die Bewertung eingehen können – und nicht als aggregierte Summe, wie sonst üblich im Rahmen von Nutzen-Kosten-Analysen.

2.3.2. Analyse der wasserwirtschaftlichen und ökonomischen Effekte

Um die ökonomischen Effekte des Klimawandels und einer geänderten Wasserbewirtschaftung zu modellieren, wurden für diverse Sektoren ökonomische Bewertungsfunktionen abgeleitet und direkt in das ArcGRM integriert. Es wurde ein generalisiertes Schema entwickelt, das eine Typisierung der zu bewertenden Effekte ermöglicht sowie eine notwendige Beschreibung des Vorgehens. Eine zusammenfassende Analyse der wasserwirtschaftlichen Ergebnisse der Szenarioanalysen zeigt:

- Auch unter Annahme eines konstanten Klimas ist nach dem Auslaufen der noch aktiven Tagebaue ab etwa 2030 durch das Ausbleiben der Sumpfungswässer gerade in Trockenperioden verstärkt mit Wasserverfügbarkeitsdefiziten zu rechnen.

- Aufgrund eines möglichen Klimawandels würden sich diese Defizite weiter erhöhen, da mit dem momentanen wasserwirtschaftlichen System ein Ausgleich der Klimawirkungen nicht erreicht werden kann.
- Bei Umsetzung der Wasserbewirtschaftungsstrategie ‚prioritäre Flutung‘ wird auch in abflussarmen Zeiten ein hoher Anteil des Flutungswasserbedarfs gedeckt. Aufgrund der notwendigen Wasserumverteilung können aber für andere Wassernutzer in dargebotsarmen Situationen größere Defizite auftreten, z.T. beispielsweise für den Berlin-Zufluss auch gewisse Verbesserungen.
- Unter der Wasserbewirtschaftungsstrategie ‚reduzierte Fließe‘ kann ein früherer Füllungszeitpunkt der Tagebauseen und der umgebenden Grundwasserabsenkungstrichter erreicht werden. Gleichzeitig sind bis Flutungsabschluss erhebliche Defizite in den betroffenen Fließen zu erwarten.
- Mit der Wasserbewirtschaftungsstrategie ‚Oder-Malxe‘ kann eine Minderung von Wasserdefiziten speziell bei der Flutung von Tagebauseen, aber auch für alle anderen Nutzer, besonders im Land Brandenburg, erreicht werden.
- Durch die Überleitung von Oderwasser über den Oder-Spree-Kanal (Wasserbewirtschaftungsstrategie ‚Oder-Spree-Kanal‘) können sowohl die negativen Effekte des Ausbleibens der Sumpfungswässer aus den Tagebauen nach 2030 als auch der Klimawirkung für den Zufluss nach Berlin ausgeglichen werden.

Alle wasserwirtschaftlichen Ergebnisdaten der Szenarienanalysen wurden den Teilvorhaben ‚Wasserhaushalt Spreewald‘ (ZALF) und ‚Berlin‘ (BfG) zur Weiterverwendung bereitgestellt.

Es wurden auch erste Ergebnisse der Nutzen-Kosten-Analysen vorgelegt, die auf den Modellierungen des ArcGRM mit der integrativ eingebundenen ökonomischen Bewertungsfunktionen basieren. Bis Ende 2002 wurden zunächst für drei wichtige Wassernutzer (Binnenfischerei, Wasserbereitstellung für Bergbausee-Flutung und touristische Nachnutzung der Seen) erste ökonomische Ergebnisse für sieben Szenarien berechnet. Hierbei zeigte sich u.a., dass sich eine Veränderung des Klimas direkt auf die Binnenfischerei auswirkt, und zwar in Höhe von Gewinneinbußen von 2-3 Sektorjahresgewinnen (2-3 Mio. €). Eine vorrangige Flutung der Bergbauseen bis 2052 würde nochmals einen ähnlichen Verlust bei den Binnenfischern der Region bewirken. Gleichzeitig wurde aber auch deutlich, dass Veränderungen bei den sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen (Liberalisierung des Sektors und Öffnung für Produkte aus Osteuropa) deutlich höhere Wirkungen verursachen können. Für das Szenario ‚prioritäre Flutung‘ ergab sich, dass bei einer schnellen Flutung Einsparpotentiale in Höhe von mindestens 8 Mio. € bestehen – ein Betrag, der sich bei Einbeziehung der Kosten zur Konditionierung der Seen noch deutlich erhöhen wird. Für die touristische Nachnutzung der Seen zeigte sich, dass eine schnellere Flutung der Seen Gewinnvorteile von etwa 5% mit sich bringt. Die sozioökonomischen Rahmenbedingungen sind allerdings auch hier von großer Bedeutung und können die Ergebnisse sehr beeinflussen.

2.4. Genestete Spezialuntersuchungen im Feuchtgebiet Spreewald

2.4.1. Zielstellung des Teilprojekts und Integration in die großräumigen Analysen

Unter Beachtung der Wirkung der globalen Veränderungen auf den Wasserhaushalt des Feuchtgebietes, welche sich u. a. in veränderten Grundwasserverhältnissen in den Niederungsflächen widerspiegeln, wurden die Folgen für den ökologischen Zustand und die landwirtschaftliche Nutzung des Gebietes ermittelt. Wichtige Indikatoren für Veränderungen im Wasserhaushalt sind Zusatzwasserbedarf, Zusatzwasserdefizit oder Einhaltung der Zielgrundwasserstände sowie für den ökologischen Zustand die Gefährdung feuchtgebietstypischer Biotope und erhaltenswerter Landschaftsbildtypen oder der weitere Torfabbau auf den Niedermoorflächen. Die Landnutzung kann durch Änderungen im Ertragsniveau oder veränderte Förderbedingungen beeinflusst werden.

Zur Abstimmung der zu analysierenden Szenarien mit den Stakeholdern wurde im Juli 2002 ein Workshop im Untersuchungsgebiet durchgeführt, in dessen Ergebnis zunächst zwei Szenarien der Entwicklung im Spreewald definiert wurden: 1. Beibehaltung der gegenwärtigen Landnutzung und Wasserbewirtschaftung im Niederungsgebiet, 2. verstärkter Niedermoor-schutz im Spreewald, mit Anhebung der Wasserstände auf allen Niedermoorflächen, um eine weitere Degradierung des Torfes zu mindern bzw. neues Torfwachstum zu initiieren.

Bei der Festlegung der Stauziele ist das wasserwirtschaftliche Regulierungssystem zu beachten. In Kombination mit zwei der beiden Gesamtspreewald-Szenarien (Referenzszenario und B2-Basisszenario) wurden somit 4 Szenarien für den Spreewald untersucht.

Die Integration des TGP Spreewald erfolgte über definierte Schnittstellen in die einheitliche Modellgrundlage ArcGRM-GLOWA. Das ArcGRM Spreewald übernimmt danach die benötigten Gebietszuflüsse direkt als Modell-Input von ArcGRM-GLOWA.

2.4.2. Modellentwicklungen/-erweiterungen/-innovationen

Für das Feuchtgebiet Spreewald wurde auf Basis des Modellsystems ArcGRM und des Wasserbilanzmodells WABI ein spezielles Wasserbewirtschaftungsmodell ArcGRM Spreewald aufgebaut und anhand des Gebietsabflusses validiert. Zur Abbildung der Heterogenität und Komplexität des Spreewaldes, wurden die genannten Basismodelle und damit auch ihr zukünftiger Anwendungsbereich beträchtlich erweitert. Mit der Einbindung des genesteten Detailmodells ArcGRM Spreewald in das ArcGRM GLOWA wurde ein Prototyp für die Kopplung genesteter ArcGRM Modelle geschaffen, der eine Grundlage für den Aufbau eines ArcGRM GLOWA-Elbe dienen soll.

Das GIS-gestützte Vegetationsentwicklungsmodell VEGMOS nutzt die im ArcGRM Spreewald berechneten Grundwasserstände als Eingangsinformationen. Basis sind die Biotoptypenkarte, eine aktualisierte Nutzungskarte, Bodensubstrat und Regeln für die Sukzession. Anhand der hydroökologischen Amplitude der mit den Biotoptypen korrespondierenden Vegetation kann deren potentielle Entwicklung bei sich ändernden Wasserhaushaltsbedingungen räumlich explizit ermittelt werden. Ein Modul zur ökologischen Risikoanalyse wurde implementiert, mit dem das Risiko einer nachhaltigen Veränderung des Vegetations- bzw. Biototyps für jede Zeitscheibe angegeben werden kann.

Zur konsistenten Berechnung von Grünlanderträgen und Kosten der Grünlandbewirtschaftung für verschiedene Kombinationen aus Grünlandnutzungsverfahren (u. a. nach Ernteverfahren, Nutzungsart, Intensität und Schnittzeitpunkt) und den regionalisierten Grünlandvegetationsformen (VEGMOS), den ermittelten Grundwasserflurabständen (ArcGRM Spreewald) und verdunstungsabhängigen Ertragspotentialen (BOWAS) wurde ein Datenbankmodell aufgebaut. Hierbei handelt es sich um eine Prinziplösung, welche die Schnittstelle zwischen einer

räumlich differenzierten Feuchtgebietsmodellierung auf der Ebene von Staubereichen und der Modellierung von landwirtschaftlichen Betrieben darstellt.

Außerdem wurde ein Reisekostenmodell für die Prognose der Besuchsrate und Konsumentenrente von Erholungssuchenden, die zum Bootsfahren in den Spreewald kommen, in Abhängigkeit von der Bevölkerungs- und Urlauberverteilung im Besuchereinzugsgebiet entwickelt. Hierbei wurde insbesondere auf die strukturelle Übertragbarkeit auf andere Gewässerabschnitte im Elbe-Einzugsgebiet geachtet. Für die anzustrebende Benefit-Transfer Funktion bedarf es jedoch noch einer weiteren empirischen Fundierung.

2.4.3. Ergebnisse der Szenarioanalysen

Die Ergebnisse der durchgeführten Szenarienanalysen können zusammenfassend wie folgt charakterisiert werden:

- Im Zeitraum bis 2050 wird das Wasserdefizit in den Sommermonaten in Menge und Häufigkeit zunehmen. Die Speisungszuflüsse aus dem Einzugsgebiet können dieses Defizit nicht kompensieren. Daraus folgen tiefere Grundwasserstände im Sommer, jedoch differenziert innerhalb des Spreewaldes. Zentrale, von der Spree versorgte Bereiche werden deutlich weniger von den Auswirkungen des globalen Wandels betroffen sein, als die Randbereiche und von der Malxe versorgte Flächen.
- Diese Unterschiede spiegeln sich analog in den ökologischen Auswirkungen wider. Zur stärksten Torfdegradierung kommt es in den Randbereichen der Niederung (bis zu 25 cm). Ein Großteil dieser Flächen verliert unter den Bedingungen des B2-Basisszenarios seinen Niedermoorcharakter. Im Inneren Oberspreewald liegt die Abnahme der Torfmächtigkeit zwischen 0 und 15 cm. Da hier die Flächen mit den größten Torfmächtigkeiten vorliegen, sind diese innerhalb des betrachteten Zeitraumes im wesentlichen als weniger gefährdet einzustufen.
- Nach dem B2-Basisszenario wird durch die Umwandlung von landschaftstypischen Feuchtwiesen des *Calthion*- und *Cnidion*-Typs zu allgemein verbreiteten Grünlandgesellschaften des *Arrhenatherion*- und *Cynosurion*-Typs ein Verlust des für den Spreewald typischen Feuchtgrünlands von 40 % (gegenüber 9 % im Referenzszenario) eintreten. Die zweite spreewaldtypische Vegetationseinheit, die Erlenbruchwälder (*Carici-Alnetum*), geht im B2-Basisszenario bis 2050 um 15 % zurück. Im Referenzszenario bleibt ihr Anteil relativ stabil. Sämtliche der definierten Schutzgüter des Naturschutzes (Feuchtgebietsbiotope, besonders wertvolle Biotope, Elemente erhaltenswerter Landschaftsbildtypen, Vorkommen von Pflanzenarten der Roten Liste Brandenburgs) sind im B2-Basisszenario stärker gefährdet als im Referenzszenario.
- Für die Gesamtheit der landwirtschaftlichen Betriebe werden bei Beibehaltung der derzeitigen Betriebsorganisation zukünftig Ertragseinbußen erwartet. So ist bei unverändertem Wassermanagement mit einer ungleichen Verteilung der betrieblichen Auswirkungen zulasten der in den Randbereichen wirtschaftenden Betriebe zu rechnen.

2.5. Genestete Spezialuntersuchungen im urbanen Ballungsraum Berlin

2.5.1. Auswahl von Kriterien und Handlungsalternativen für die Szenario-Analysen in Abstimmung mit den Stakeholdern

Nachdem die unterschiedlichen exogenen Trends des globalen Wandels für den Raum Berlin im Laufe des Jahres 2001 ermittelt bzw. festgelegt worden waren, wurden in 2002 zehn zu vergleichende Handlungsalternativen vorgegeben. Diese wurden durch Variation von Optio-

nen in den 6 Handlungsfeldern Standortpolitik (Kapazität und räumliche Zuordnung von Wasserwerken und Kläranlagen), Klärwerksleistungen (Reinigungstechnologie), Regenwasserbewirtschaftung (Entsiegelungsmaßnahmen), Kraftwerkspolitik (Kapazität, Kühltechnologie), Flussregulierung (Umleitung von Teilströmen) und Umweltschutzmaßnahmen (Biotopaufwertung) definiert. Dabei wurden die wichtigsten wasserpolitischen Ziele Berlins berücksichtigt, wie die Deckung des Wasserbedarfs für die Trinkwasserversorgung, die Kraftwerke, die Schifffahrt und die Fischerei, die Gewährleistung von Mindestdurchflüssen gemäß der Vorgaben, die Erlangung bzw. der Erhalt von Badegewässerqualität für alle Badestellen und die Gewährleistung der Güteklasse II für die Fließgewässer, sowie die Minimierung des finanziellen Aufwandes. Im Zusammenhang mit der Erlangung dieser Ziele wurden verschiedene Konflikte betrachtet. Ein objektives Problem stellt zum einen das geringe Eigenwasserdargebot im Berliner Raum dar, das durch den Klimawandel noch verschärft wird, und zum anderen der abnehmende Zufluss nach Berlin, bedingt durch die erwartete Klimaänderung sowie die Sanierung des Wasserhaushalts im Bergbauggebiet der Lausitz. Für Berlin-Spandau wurde eine Landschaftskonferenz vorbereitet, deren Ziel die Ausarbeitung von Bürger-Visionen zur zukünftigen Entwicklung der Stadt/Naturlandschaft Spandau ist.

In Vorbereitung der Impaktanalysen wurden mit den Wasserbewirtschaftungs- und Gewässergütemodellen (s.u.) zahlreiche Proberechnungen durchgeführt und zunächst einzelne Varianten zur Ergebnisgenerierung berechnet. Für die integrierende Bewertung wurde weiter intensiv an der Modellierung von aggregierten Indikatoren gearbeitet (Versorgungssicherheit, Gewässerqualitätsindex, Badegewässerindex, Episodische Fischmortalität, Ökonomische Bilanzen). Die Berechnung dieser Indikatoren ist in die Modelle ArcGRM GLOWA (Berlinbaustein) und QSIM implementiert worden. Für den Index zur ökonomischen Bewertung wurden Investitionskosten und veränderte Betriebskosten für die kostenrelevanten Maßnahmen der 10 zu vergleichenden Alternativen ermittelt. Es wurden Kosten für verschiedene Handlungsoptionen, wie Umleitung von Teilströmen oder neue Reinigungstechnologien in einzelnen Kläranlagen abgeschätzt. Zur Vorbereitung der multikriteriellen Analysen (MKA) mit dem Bewertungssystem NAIADA wurden die Strukturen der Impakt- und Equity-Matrizen aufgestellt und erste Proberechnungen durchgeführt. Durch die Konfliktanalyse wurden bereits erste interpretierbare und verwertbare Koalitionsdendrogramme erzeugt.

2.5.2. Hauptergebnisse der Szenario-Analysen

Mit dem Einzugsgebietsmodell ArcEGMO wurde das Eigenwasserdargebot des Raumes Berlin auf der Grundlage zweier Szenarien berechnet: des Klimaentwicklungsszenarios A1 und des Urbanisierungsszenarios A1, das aus der zu erwartenden Bevölkerungsentwicklung die Bebauung und die Versiegelung für künftige Entwicklungszustände (2010 und 2015) prognostiziert. Es wurden je Szenario flächendifferenzierte Wasserhaltungsgrößen und für jedes Einzugsgebiet bzw. jeden Bilanzquerschnitt 100 Abflusszeitreihen erzeugt, die als unmittelbare Eingangsgröße für die Bewirtschaftungsmodellierung dienen. Im Ergebnis der Untersuchungen kann der Einfluss der Bebauungsentwicklung auf das Wasserdargebot Berlins als (maßstabsbedingt) gering eingeschätzt werden. Dagegen sind die klimainduzierten Auswirkungen auf den Gebietswasserhaushalt und die Abflussverhältnisse beträchtlich.

Der Berlinbaustein des Bewirtschaftungsmodells ArcGRM-GLOWA wurde weiter vervollkommen und aktualisiert. Der dynamische Baustein Mischwasserkanalisation wurde um zwei weitere Mischwassereinzugsgebiete erweitert. Es wurden Schnittstellen zum Fließgewässergütemodell QSIM sowie zur Ergebnisbewertung geschaffen. Zunächst wurden drei verschiedene Nutzungsvarianten 1. ohne Veränderung, 2. veränderte Bewirtschaftung von Wasserwerken bzw. Kläranlagen und 3. rationalisierte Energiepolitik, die auf den o.g. ver-

schiedenen Handlungsoptionen beruhen, aufbereitet. Die drei Varianten wurden für zwei verschiedene Flutungsregime des Bergbaugebietes der Lausitz auf der Grundlage des Klimaszenarios A1 und eines Urbanisierungsszenarios A1 berechnet. Die Ergebnisse bestätigten die Verschärfung der Wasserverfügbarkeitsprobleme. Beim Basisszenario (konditionierte Flutung) ist zunächst eine vorübergehenden Verbesserung der Situation für die Zeit von 2020 bis 2030, die mit der Stabilisierung des Wasserhaushaltes im ehemaligen Bergbaugebiet (Beendigung der Flutungen) zusammenhängt, zu verzeichnen. Doch bewirkt der Klimaeinfluss ab 2030 eine Zunahme der Wasserknappheit. Das Flutungsszenario (prioritäre, also schnellere Flutung) wirkt sich lediglich in der ersten Periode (2003 - 2007) schlechter als das Basisszenario auf die Einhaltung der Mindestdurchflüsse in Berlin aus. Danach ist die Gewährleistung der Mindestzuflüsse aus dem Gebiet der oberen Spree beim Flutungsszenario größer, weshalb dieses Szenario für Berlin, bezogen auf den gesamten Zeitraum, günstiger ist. Das Urbanisierungsszenario (Versiegelung steigt mit der Bebauung) zeigte für Berlin, auf der Basis von Monatsmittelwerten, wenig Änderung in der Wasserverfügbarkeit.

Mit dem Ökosystemmodell QSIM wurden drei Varianten zur Untersuchung der Auswirkungen der zusätzlichen Einleitung von Klarwasser in die Spree in den Sommermonaten anstelle der jetzt üblichen Umleitung in den Teltowkanal aufbereitet, wobei eine Variante den Einsatz von Mikrofiltern beinhaltet. Die Modellvalidierung konnte durch Einbeziehung der neuen allgemein nutzbaren Bausteine "Blualgen", "Schichtung" und "Colibakterien" verbessert werden. Somit ist es jetzt möglich, die Gewässergüteklassen und den hygienischen Zustand der Gewässer für die verschiedenen Varianten zu bestimmen. Der hygienische Zustand dient u.a. zur Beschreibung der Badegewässerqualität und somit zur Berechnung des für Berlin wichtigen Badegewässerindex.

Derzeit befinden sich die mit QSIM geplanten Berechnungen zu den Auswirkungen von Abwasserstößen infolge von Starkregenereignissen in der Schlussphase der Bearbeitung. Anschließend werden Szenariorechnungen durchgeführt, für den Fall der Ersetzung der derzeitigen Mischkanalisation durch Trennkanalisation in einigen Gebietsteilen, die in die Stadt-Spree entwässern.

Die teilweise noch laufenden Untersuchungen bestätigen, dass es sinnvoll ist, eine geeignete Standortpolitik mit der Nutzung neuer Technologien zu kombinieren, um sowohl den Mengen- als auch den Güteanforderungen bezüglich der Fliessgewässer Berlins weitgehend gerecht zu werden. Diesbezügliche Handlungsalternativen wie Umleitungen von Teilströmen oder Überleitungen aus anderen Gewässern wurden definiert und für die Berechnungen vorbereitet.

3. Großräumige Modellierungen und Vorarbeiten zur Anwendung des IMA im gesamten Elbegebiet

3.1. Klimaszenarien für die nächsten 50 Jahre

Das Hauptziel dieser Untersuchungen besteht in der Bereitstellung räumlich und zeitlich hochauflösender Datenreihen relevanter Parameter für verschiedene Klimaszenarien bis 2052, speziell für die globalen IPCC Emissionsszenarien A1 und B2. Diese Daten werden als atmosphärische Randinformationen allen Forschungsgruppen in GLOWA-Elbe zur Verfügung gestellt. Im Einzelnen wurden folgende Ergebnisse bereits erreicht:

Am PIK wurde für 369 Klimastationen im Elbebereich für das Emissionsszenario A1 ein sog. Basisszenario für den Zeitraum 1951 bis 2000 erstellt und für dieses A1-Basisszenario wurden über eine Monte-Carlo-Simulation 100 Realisierungen der zukünftigen Klimaentwicklung

generiert und allen Projektpartnern für hydrologische und andere weiterführende Modellierungen als Modellinput übergeben.

Am MPI Hamburg wurden Modellläufe mit dem System ECHAM/REMO für das globale Emissionsszenario B2 durchgeführt. Mit dem Antrieb des globalen ECHAM4-OPYC3 Modelllaufs wurden zwei Versionen des regionalen Klimamodells REMO mit den Gitterauflösungen 0.5° und 0.16° hintereinander berechnet, wobei die 0.16° -Version durch Randwerte der 0.5° -Version angetrieben wird. Zur Modellvalidierung, bezogen auf die Niederschlagsimulation, wurden die Simulationen der letzten 20 Jahre verwendet und 6-stündig bereitgestellt. Es zeigt sich eine generelle Übereinstimmung mit Beobachtungen. Die Klimaprognose wurde zunächst für den Zeitraum 2020 bis 2050 durchgeführt und später vervollständigt. Es zeigen sich recht starke Variabilitäten in der lokalen Temperaturentwicklung in den zukünftigen Jahrzehnten, mit einer mittleren Zunahme speziell in den 40-er Jahren. Die Niederschläge ergeben im Regionsmittel eine leichte Zunahme, wobei eine stärkere Zunahme der Winterniederschläge prognostiziert wird. Die Anzahl der Tage mit starken Niederschlägen steigt an. Die hohe Auflösung der 0.16° -REMO-Version zeigt die erwartete horizontale Detaillierung der Niederschlagsfelder, die die orographischen Effekte besser wiedergeben.

An der FU Berlin wurden aus Analysen und REMO-Daten Großwetterlagen und Großwetterlagenübergänge, der dynamische Zirkulationsindex DSI in verschiedenen Varianten und weitere hydrologisch relevante Parameter analysiert. Es wurde ein Verfahren zur lokalen Modellierung von Klimaszenarien entwickelt, das auf Neurofuzzy-Verfahren aufbaut. Mit ihm wurde für das Szenario B2 und den Zeitraum 2001 bis 2052 über eine Zufallssteuerung des linearen Trends und des Jahres-, Monats- und Wochenganges der Temperatur sowie des Niederschlags 100 Realisierungen lokaler Klimaszenarien berechnet und für die Projektpartner bereit gestellt.

3.2. Großräumige Szenarioanalysen zum Wasser- und Nährstoffhaushalt sowie zu landwirtschaftlichen Erträgen

3.2.1. Entwicklung von Szenarien der landwirtschaftlichen Nutzung im Elbe-Gebiet

Zunächst wurden von der FAA unter Einsatz der Modelle RAUMIS und SWIM basierend auf den in Zusammenarbeit mit der TLL Jena und der TU Berlin konsistent erstellten Szenarien für die Agrarpolitik Auswirkungen agrar- und agrarumweltpolitischer Maßnahmen auf die Landnutzung im Elbe-Einzugsgebiet für die Zieljahre 2010 und 2020 untersucht. Einflüsse des veränderten Landnutzungsmusters auf die Umwelt wurde durch die Ausweisung regionaler Stickstoffbilanzen dargestellt. Betrachtet man die Auswirkungen einer Entkopplung von Direktzahlungen auf die regionalen landwirtschaftlichen Stickstoffsalden, so ist eine Abnahme der Stickstoffüberschüsse im überwiegenden Teil der betrachteten Modellregionen festzustellen. Dies ist vornehmlich auf die Zunahme nicht landwirtschaftlich genutzter Flächen zurückzuführen.

Darüber hinaus sind von der EU-Kommission im Rahmen der Halbzeitbewertung (MTR) der Agenda 2000 Veränderung der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) vorgeschlagen worden, die tendenziell eine Entwicklung der GAP hin zu dem bereits im Rahmen des GLOWA-Elbe Projektes untersuchten Teilliberalisierungsszenarios bedeuten. Aufgrund dieser im GLOWA-Elbe Projekt geleisteten Vorarbeiten wurde die FAA seitens der EU-Kommission vorab in den Diskussionsprozess zur Konkretisierung der MTR-Vorschläge einbezogen. Neben dem Beitrag der FAA durch die inhaltliche und fachliche Diskussion wurden quantitative Analysen zu den Auswirkungen der MTR-Vorschläge für Deutschland erstellt. Deutschland war für die EU

aufgrund seiner dualen Betriebsgrößenstruktur in den alten bzw. neuen Bundesländern (Elbegebiet) als Beispielsland für eine Fallstudie von besonderem Interesse, da die Maßnahmen u.a. eine Kappung der Direktzahlungen bei 300.000 EUR vorsahen. Die resultierenden Auswirkungen auf die Nettowertschöpfung und die Einkommen wurden abgeschätzt.

3.2.2. Modellvalidierungen, Impaktanalysen und deren erste Ergebnisse

Diese Arbeiten erfolgten mit dem ökohydrologischen Modell SWIM, das zunächst in 13 Teilzugsgebieten validiert wurde. Die Teilgebiete sind teilweise genestet und liegen verteilt in den 3 wichtigsten naturräumlichen Einheiten im Elbegebiet: dem pleistozänen Tiefland, der Lössregion und der Mittelgebirgsregion. Das größte Validierungsgebiet ist die Elbe bis zum Pegel Neu Darchau. Für die überwiegende Zahl der Validierungsgebiete wurden bezüglich der Monatswerte des Abflusses Effizienzkriterien nach Nash und Sutcliffe von über 0.95 erzielt, z. B. für Neu Darchau 0.97. Nur bei einem Gebiet ergab sich ein geringfügig kleinerer Wert (0.88).

Die Ergebnisse der Ertragsmodellierung für die Elberegion (4jährige Mittelwerte) wurden mit entsprechenden Werten aus der Ertragsstatistik auf Kreisebene verglichen. Erwartungsgemäß wurden höhere Erträge in der Lössregion und die niedrigsten Erträge in Brandenburg berechnet. Größere Abweichungen von den Daten der statistischen Erträge ergaben sich in Niedersachsen, wofür die Gründe nicht eindeutig geklärt werden konnten.

Mit dem validierten Modell SWIM wurden dann Szenarioanalysen für die wahrscheinlichste Realisierung des Klimaänderungsszenarios durchgeführt; mit folgenden Hauptergebnissen:

- Die Verdunstung nimmt geringfügig insgesamt ab (-4%), wobei der nördliche Teil eine Zunahme und der südliche Teil eine Abnahme verzeichnet.
- Die Grundwasserneubildung nimmt deutlicher ab als die Verdunstung (-41% im Mittel) im gesamten Gebiet.
- Für die landwirtschaftlichen Erträge werden Abnahmen bei Winterweizen und Wintergerste erwartet (-14%, -11% als Mittelwerte), die besonders stark in der Lößregion sind. Die Erträge von Silomais nehmen zu (+15% als Mittelwert)

Die Änderungen des Ertragspotentials in Folge eines verminderten Wasserdargebots und der Klimaerwärmung erfordert eine Anpassung der landwirtschaftlichen Betriebsstrukturen. Richtung und Ausmaß der Anpassungsoptionen werden jedoch wesentlich von den gesetzten politischen Rahmenbedingungen abhängen. Voruntersuchungen in GLOWA-Elbe zu den Folgen einer Politikänderung in den nächsten 10-20 Jahren ergaben, dass bei einer partiellen Liberalisierung (Subventionsabbau) bis zu 30% der jetzt noch genutzten landwirtschaftlichen Flächen brach fallen. Dies betrifft vor allem Ungunststandorte, die durch niedrige Ertragspotentiale gekennzeichnet sind und derzeit extensiv bewirtschaftet werden.

Die Landwirtschaft bestimmt über den Nährstoffüberschuss (Stickstoff, Phosphor) eine wesentliche Randbedingung der Wasserqualität der Elbe und der Nährstoffeinträge in die Nordsee. Simulationsexperimente haben gezeigt, dass die jetzige Situation nur durch eine Reduzierung der Nährstoffüberschüsse verbessert werden kann. Die von der EU-Kommission im Rahmen der Halbzeitbewertung der Agenda2000 vorgeschlagenen agrarpolitischen Maßnahmen führen zu keiner nennenswerten Änderung der Stickstoffüberschüsse. Klimaänderungen bleiben zunächst ebenfalls ohne unmittelbare Wirkung auf den Nährstoffeintrag der Elbe in die Nordsee. Dabei wurden jedoch mögliche Änderungen des Düngeregimes und temperaturbedingt erhöhte Mineralisationsraten noch nicht berücksichtigt

3.3. Genestete Untersuchungen im Unstrutgebiet als einem durch intensive Landwirtschaft geprägten Landschaftstyp

Mit diesen Untersuchungen wurden die makroskaligen Analysen im Gesamteinzugsgebiet untersetzt. Zunächst wurden für die Kreise Eichsfeld, Sömmerda mit Erfurt, Nordhausen, Unstrut-Hainich und den Kyffhäuserkreis über einen Klassifizierungs- und Wichtungsmodus fünf typische landwirtschaftliche Betriebe aus einem Pool von 1449 Betrieben der Region ausgewählt. Die Hochrechnung der Betriebsdaten 1999 für die Auswahlbetriebe (typische Betriebe) plus virtueller Betrieb und das daraus entwickelte Landnutzungsszenario (Status-Quo-Szenario) wurde mit einer entwickelten Flächennutzung aus der Agrarstatistik 1999 validiert. Die Anwendung dieser Methode unter den politischen Bedingungen der AGENDA 2000 (Abbildungsjahr 2010) bildet das Referenzszenario mit seiner Landnutzung und seinen ökonomischen Ergebnissen.

Die Folgen der Liberalisierung des EU Agrarmarktes und einer regionalisierten/ ökologisierten Landwirtschaft wurden mit einem betriebswirtschaftlichen Planungsprogramm untersucht und ein mögliches Liberalisierungsszenario A1 und ein Regionalisierungsszenario B2 in 2010 ohne Klimawandel mit seiner jährlichen gebietsspezifischen Flächennutzung (40-gliedrige Fruchtfolge) erstellt.

Für die Erfassung benötigter Messdaten zum Wasser- und Stoffhaushalt wurden verschiedene experimentelle Untersuchungen durchgeführt, und zwar Lysimetermessungen, Messungen mit Saugsoden zur Bodenwasser-/Grundwasserbeschaffenheit, Tracerversuche mit Bromid, Stichtags- und Loggermessungen der Grundwasserstände sowie Grundwasserbeprobungen sowohl im Einzugsgebietsmaßstab als auch in den sensiblen Auengebieten, deren Ergebnisse umfassend ausgewertet und verallgemeinert werden.

Ein Schwerpunkt war die programmtechnische Kopplung des Niederschlags-Abflussmodells ArcEGMO mit dem Grundwassersimulationsmodell MODFLOW, bei der das Problem der Kopplung unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Diskretisierungsschemen, die in den einzelnen Modellen genutzt werden, gelöst wurde.

4. Schlussbemerkungen und Ausblick

Insgesamt kann eingeschätzt werden, dass nach zwei Jahren Projektlaufzeit gute Voraussetzungen für die Erreichung der gesetzten handlungs- und methodenorientierten Ziele von GLOWA-Elbe bestehen. Basierend auf dem Integrierten Methodischen Ansatz wurden für das Gesamtgebiet der Elbe die Auswirkungen des Globalen Wandels auf Klima, Landnutzung und Wasserhaushalt sowie die von ihnen abhängigen Bereiche unter Berücksichtigung der übergreifenden Bedeutung des Klimas ermittelt. Für das Spree-Havel Gebiet liegt eine umfassende Analyse zur Entwicklung von Wasserverfügbarkeitskonflikten vor, aus der bereits erste Handlungsempfehlungen für das strategische Oberflächenwassermanagement in diesem Gebiet abgeleitet wurden. Diese werden bis zum Ende der ersten Phase ergänzt und weiter präzisiert. Die Forschungsleistungen und Handlungsempfehlungen werden nach Abschluss der ersten Phase in einer zweiten Statuskonferenz einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht, sowie mit Interessenvertretern und Betroffenen diskutiert.

Die bisher in GLOWA I erbrachten Forschungsleistungen stellen wichtige Vorleistungen für die zweite Phase von GLOWA-Elbe dar. Insbesondere betrifft dies die Regionalisierung des Globalen Wandels (Klima, Landnutzung, Bevölkerungsentwicklung, Energieproduktion), die elbweite Modellierung der Niederschlags-Abflusscharakteristik gekoppelt mit den Stoff- und Energieumsätzen von Agrar- und Forstökosystemen, die Modellierung der Nährstofffrachten in der Gesamtelbe einschließlich Tschechien und die Analyse von Wassernutzungskonflikten in Spree-Havel bei integrierter Berücksichtigung sowohl von wirtschaftlichen als auch land-

schaftlichen Wasserforderungen. In GLOWA-Elbe II werden die handlungsorientierten Untersuchungen auf die Gesamtelbe ausgedehnt und die sozioökonomischen Aspekte des Globalen Wandels insbesondere der Technologische Wandel umfassender berücksichtigt. Wasserverfügbarkeit und -qualität werden in GLOWA II zudem noch um einen wichtigen Problembereich ergänzt - das Hochwasserrisiko.

Ausgewählte Referenzen

Becker A., Messner, F., Wenzel, V. (2002): Integrated analysis of the impacts of global change on the environment and society in the Elbe river basin. GLOWA, Status Report 2002 (Phase I, 2000 - 2003).

Messner, F., Drechsler, M. (2001): Monetäre versus multikriterielle Bewertung. In: Horsch, H.; Ring, I.; Herzog, F. (Hrsg.): Nachhaltige Wasserbewirtschaftung und Landnutzung – Methoden und Instrumente der Entscheidungsfindung und –umsetzung, Metropolisverlag, Marburg, S. 225-234.

Wenzel, V. (1999): Ein integrativer Algorithmus zur Unterstützung regionaler Landnutzungsentscheidungen. In: Horsch, H., Messner, F., Kabisch, S. und Rohde, M. (Hrsg.): "Flußbeinzugsgebietsmanagement und Sozioökonomie". UFZ-Ergebnisbericht Nr. 30, Leipzig, 75-86.

Wenzel, V. (2001): Nachhaltigkeitsstudien und NAIAD: Entscheidungshilfe und Konfliktanalyse. Schriftenreihe Wasserforschung Band 7, 241-256.

ANLAGEN

- Anlage1:** THESEN zu den Folgen des globalen Wandels auf Wasserverfügbarkeit und Wassernutzungskonflikte im Elbeeinzugsgebiet
- Anlage2:** ÜBERSICHT zu wichtigen Forschungsleistungen und zur Methodenentwicklung in GLOWA-Elbe
- Anlage3:** GLOWA-Elbe Integrierte Analyse der Auswirkungen des Globalen Wandels auf die Umwelt und die Gesellschaft im Elbegebiet – Flyer
- Anlage4:** GLOWA-Elbe Verbundvorhaben: Institutionen-Mitarbeiter-Thematik (Teilvorhaben)
- Anlage5:** Zitate im Internet <http://www.glowa-elbe.de>
- Anlage6:** GLOWA-Elbe Präsentationen
- Anlage7:** Ablaufschema zum Intergrativen Methodischen Ansatz IMA

Anlage1: THESEN zu den Folgen des globalen Wandels auf Wasserverfügbarkeit und Wassernutzungskonflikte im Elbeeinzugsgebiet

Anlage2: ÜBERSICHT zu wichtigen Forschungsleistungen und zur Methodenentwicklung in GLOWA-Elbe

Anlage3: GLOWA-Elbe Integrierte Analyse der Auswirkungen des Globalen Wandels auf die Umwelt und die Gesellschaft im Elbegebiet – Flyer

**Anlage4: GLOWA-Elbe Verbundvorhaben: Institutionen-Mitarbeiter-Thematik
(Teilvorhaben)**

Anlage5: Zitate im Internet <http://www.glowa-elbe.de>

Anlage6: GLOWA-Elbe Präsentationen

Anlage7: Ablaufschema zum Intergrativen Methodischen Ansatz IMA