

BMBF-Verbundprojekt

Integrierte Analyse der Auswirkungen des globalen Wandels auf die Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet (GLOWA-Elbe)



Förderkennzeichen: 07GWK03

Schlussbericht zum Teilgebietsprojekt Spreewald



Koordinierung

Leibniz - Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung
(ZALF) e.V.

Institut für Landschaftswasserhaushalt

Prof. Dr. J. Quast

Dr.-Ing. O. Dietrich

Eberswalder Str. 84

15374 Müncheberg

Projektlaufzeit: **05/01 – 04/03**

Einzelvorhaben, beteiligte Institutionen und Bearbeiter:

Vorhaben 2.3: Wasserhaushalt und Wassermanagementstrategien für die Feuchtgebietsregion Spreewald

Leibniz - Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF) e.V., Institut für Landschaftswasserhaushalt, Eberswalder Str. 84
15374 Müncheberg

Unterauftrag: WASY Gesellschaft für wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung mbH, Waltersdorfer Str. 105, 12526 Berlin

Projektleiter: Prof. Dr. J. Quast

Bearbeiter: Dr.-Ing. O. Dietrich (ZALF)
Dipl.-Hydr. M. Hentschel (WASY)
Dr. M. Kayser (ZALF)
Dipl.-Inf. M. Redetzky (WASY)
Dipl.-Ing. C. Schilling (ZALF)
Dr. M. Schramm (WASY)
Dipl.-Ing. R. Tauschke (ZALF)

Vorhaben 2.6: Auswirkungen von Klimaänderungen auf bodenhydrologische Zustandsgrößen

Technische Universität Berlin, Institut für Ökologie, FG Standortkunde und Bodenschutz

Projektleiter: Prof. Dr. G. Wessolek

Bearbeiter: Dr. M. Kayser
Dipl.-Ing. M. Lorenz
Dr. K. Schwärzel

Vorhaben 2.7: Auswirkungen eines verminderten Wasserdargebots und von Klimaänderungen auf die Vegetation im Spreewald

Technische Universität Berlin, Institut für Ökologie, FG Ökosystemkunde/Pflanzenökologie

Projektleiter: Prof. Dr. I. Kowarik und Dr. J. Heimann,

Bearbeiter: Dr. U. Bangert
Dipl.-Ing. G. Vater

Vorhaben 2.8: Optimierung der Landnutzung im Spreewald bei verändertem Wasserdargebot

Technische Universität Berlin, Institut für Landschafts- und Umweltplanung, FG Vergleichende Landschaftsökonomie

Projektleiter: Prof. Dr. V. Hartje
Bearbeiter: Dipl.-Ing. agr. M. Grossmann
Dipl.-Volksw. J. Meyerhoff

Inhaltsverzeichnis

Teil I: Aufgabenstellung und Rahmenbedingungen.....	5
I-1 Ziel- und Aufgabenstellung.....	5
I-2 Voraussetzungen zur Durchführung des Projektes	6
I-3 Planung und Ablauf des Projektes	6
I-4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	7
I-5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	7
Teil II: Ergebnisse	9
II-1 Erzielte Ergebnisse.....	9
1 Einordnung in das Teilprojekt Spree/Havel und in Gesamt-Elbe	9
2 Untersuchungsgebiet Spreewald (Kurzbeschreibung)	10
3 Modellverbund im TGP Spreewald.....	11
3.1 Integrationskonzept des TGP Spreewald	11
3.2 Modellentwicklungen/-erweiterungen/-innovationen	13
4 Stakeholderbeteiligung und Szenarienentwicklung	15
5 Ergebnisse	17
6 Schlussfolgerungen	22
II-2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	23
II-3 Während der Bearbeitung bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen.....	25
II-4 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen.....	25
Literatur.....	27
Abbildungen.....	29

Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 1: Verbreitung grundwassernaher Standorte im Tiefland des Elbe-Einzugsgebietes
- Abb. 2: Einordnung des Feuchtgebietes Spreewaldes zwischen bergbaubeeinflusstem Einzugsgebiet der Oberen Spree (Speisungsgebiet) und Ballungsraum Berlin (Wasserbedarfsgebiet)
- Abb. 3: Integrationskonzept TGP Spreewald
- Abb. 4: Juli – Perzentile des Zusatzwasserdefizits des Referenz- (R) und B2-Basissszenarios (B) ohne und mit (Mo) Priorität Moorschutz
- Abb. 5: Staubereiche des Spreewaldes, in denen eine Gefährdung besonders schutzwürdiger Landschaftselemente zu erwarten ist.
- Abb. 6: Wirkungen des globalen Wandels auf A) Wasserhaushalt, B) feuchtgebietstypische Biotoptypen, C) Abnahme der Torfmächtigkeit und D) Grünlandertrag
- Abb. 7: Verlauf der Gesamtkosten (€₂₀₀₂) der Unterschreitung der Stauziele im Referenzszenario für Landwirtschaft (LW), Teichwirtschaft (TW), Kahnschiffahrt (KA), Erholungsnutzen (ER) und CO₂-Emissionen (CO₂) im Zeitraum 2003 bis 2052
- Abb. 8: Rückgang des Netto-Energieertrags für das 50. Perzentil des Referenzszenarios in ausgewählten Bilanzräumen des Oberspreewalds im Zeitraum 2003 bis 2052 (Polder N II und Innerer Spreewald N sind im Vorteilsbereich der Malxe, Polder S II und Innerer Spreewald S sind im Vorteilsbereich der Spree)

Verzeichnis der Tabellen

- Tab. 1: Untersuchte Szenarienkombinationen im TGP Spreewald (aus Zwischenbericht TGP Spreewald 2003)
- Tab. 2: Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasserhaushalt, Vegetation, Boden und landwirtschaftliche Betriebe, dargestellt anhand ausgewählter Indikatoren für das 50. Perzentil

Abkürzungen

ArcGRM	Wasserbewirtschaftungsmodell
B2	Emissionsszenario des IPCC
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BOWAS	Bodenwasserhaushaltsmodell
BTU Cottbus	Brandenburgische Universität Cottbus
DGM	Digitales Geländemodell
GIS	Geographisches Informationssystem
GLOWA	Globaler Wandel des Wasserkreislaufes
GRSP	Gewässerrandstreifenprojekt Spreewald
IMA	Integrativer methodischer Ansatz von GLOWA-Elbe
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MODAM	Multi-Objective Decision Support Tool for Agroecosystem Management
PIK	Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
RAUMIS	Regionales Agrar- und Umweltinformationssystem
TGP	Teilgebietsprojekt
TP	Teilprojekt
TUB	Technische Universität Berlin
UG	Untersuchungsgebiet
VEGMOS	Vegetationsentwicklungsmodell
VH	Vorhaben
WABI	Wasserbilanzmodell für grundwasserregulierte Niederungsstandorte
WASY	Gesellschaft für wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung mbH
ZALF	Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung Müncheberg

Teil I: Aufgabenstellung und Rahmenbedingungen

I-1 Ziel- und Aufgabenstellung

Die Untersuchungen zur Feuchtgebietsregion Spreewald im Teilgebietsprojekt (TGP) 2.2 wurden im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes „Integrierte Analyse der Auswirkungen des globalen Wandels auf die Umwelt und Gesellschaft im Elbegebiet (GLOWA-Elbe)“ durchgeführt. Entsprechend orientieren sich die Ziel- und Aufgabenstellungen des TGP an den Hauptzielstellungen des Verbundprojektes:

- Entwicklung integrierter Strategien zur nachhaltigen Bewältigung von durch den globalen Wandel bedingten Wasserverfügbarkeitsproblemen und Wassernutzungskonflikten und den daraus resultierenden Umwelt- und sozio-ökonomischen Problemen im Elbe-Einzugsgebiet
- Erfassung und Modellierung der komplexen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zwischen hydrologischem Kreislauf, Klima, Landnutzung und Gesellschaft im Elbe-Einzugsgebiet
- Ableitung von regionalen Zukunftsszenarien
- Anwendung der entwickelten Instrumente im Elbegebiet zum Nachweis ihrer Eignung für die vorausschauende Erkennung und Analyse der sich in Verbindung mit dem globalen Wandel ergebenden Probleme und Konflikte sowie zur Ableitung von Handlungsstrategien und Maßnahmen zur ihrer Überwindung

Untersetzt für die spezifischen Regionalbedingungen der Feuchtgebietsregion Spreewald, geht es im TGP 2.2 um die Klärung der Möglichkeiten einer nachhaltigen Bestandssicherung des Feuchtgebietes Spreewald mit seinen multifunktionalen sozioökonomischen und ökologischen Potenzialen. Im Zusammenhang damit sind insbesondere auch die Wechselwirkungen zwischen nachhaltigem Feuchtgebietsschutz und Landnutzung (Tourismus, Landwirtschaft) aufzuzeigen. Im Interesse der Bestandssicherung der Kernzonen als Feuchtgebiete sind gegebenenfalls Empfehlungen zu gebotenen Landnutzungsänderungen und erforderlichen Restriktionen für die landwirtschaftliche und touristische Nutzung zu geben. Hierbei sind die Entwicklungsrahmen für den Großraum des bergbaubeeinflussten Gebietes der Oberen Spree – als Zuflussgebiet des Spreewaldes – und des Großraums Berlin – als Region mit Anforderungen an den Abfluss aus dem Spreewald – zu berücksichtigen.

Im Rahmen der Gesamtzielstellung des Verbundvorhabens GLOWA-Elbe und eingeordnet in den Kontext des Teilprojektes „Spree/Havel“ wurden mit dem TGP 2.2 folgende wissenschaftliche und technische Arbeitsziele verfolgt:

- Ökohydrologische Analyse des Wasserhaushalts des Spreewaldes unter klimatischen und bergbaubedingten Veränderungen gebietshydrologischer Zustände als Grundlage für die Modellierung der Vegetationsentwicklung, des Moorschwundes und der CO₂-Freisetzung sowie der Grünlanderträge.

- Erarbeitung von Grundlagen für Wassermanagementstrategien zur Bestandssicherung von Feuchtgebieten unter Berücksichtigung vorhandener wasserwirtschaftlicher Regulierungseinrichtungen und Steuerstrategien sowie deren realistischer Modifikation.
- Bewertung potentieller Erhaltungs- bzw. Rückgangstendenzen des Feuchtgebietscharakters des Spreewaldes anhand von Szenarien des Wandels hydroklimatischer und sozioökonomischer äußerer Bedingungen bei Berücksichtigung innerer (landwirtschaftliche Nutzung, Naturschutz, Tourismus) und äußerer Wechselwirkungen (Wasserdargebot aus dem Einzugsgebiet, Anforderungen an den Abfluss vonseiten des Ballungsraums Berlin).

I-2 Voraussetzungen zur Durchführung des Projektes

Durch das BMBF wurden im TGP insgesamt eine volle Wissenschaftlerstelle für 20 Monate, vier halbe Wissenschaftlerstelle für 36 Monate und eine Technikerstelle für 21 Monate sowie eine studentische Hilfskraft (40h) für 72 Monate finanziert. Die Besetzung der Stellen war in einigen Vorhaben (VH) mit Problemen verbunden und wurde auf unterschiedlichen Wegen gelöst (s. Einzelberichte (EB) der VH). Durch Mittelumwidmung konnte im VH 2.3 die Fa. WASY noch als Nachauftragnehmer für notwendige Programmierarbeiten zur Modellerweiterung am ArcGRM Spreewald und für die Entwicklung eines Prototyps zur Kopplung von ArcGRM-Modellen eingebunden werden.

Von den beteiligten Institutionen wurde die Forschungsinfrastruktur (Rechnernetzwerk, GIS-Arbeitsplätze, ArcGRM-Lizenz, Messtechnik, Fahrzeuge) zur Verfügung gestellt und durch die Arbeit haushaltsfinanzierter Mitarbeiter unterstützt.

Weitere wichtige Voraussetzungen für die Projektdurchführung waren:

- Die enge Zusammenarbeit von Hydrologen/Wasserwirtschaftlern, Bodenkundlern, Vegetationsökologen und Sozio-Ökonomen im TGP Spreewald und im TP Spree/Havel
- Die interdisziplinäre Zusammenarbeit in den temporären Querschnittsarbeitsgruppen (z. B. AG Szenarien) von GLOWA-Elbe
- Die enge Kooperation mit den zuständigen Fachbehörden vom Landesumweltamt Brandenburg, den Wasser- und Bodenverbänden, der Biosphärenreservatsleitung Spreewald sowie dem Zweckverband und den zuständigen Planungsbüros des GRSP Spreewald (s. a. Abschnitt I-5)

I-3 Planung und Ablauf des Projektes

Das Projekt wurde wie geplant durchgeführt. Kleinere zeitliche Verschiebungen ergaben sich zum Teil dadurch, dass es in den VH zu Problemen bei der Stellenbesetzung kam (s. Einzelberichte). Die Modelle wurden etwas später fertig als geplant, da der integrative methodische Ansatz des Verbundvorhabens auch auf der Ebene des TGP umgesetzt wurde. Die umfangrei-

chen Abstimmungen mit den Stakeholdern waren nicht im ursprünglichen Zeitplan vorgesehen und die Szenarientwicklung erst zu späteren Bearbeitungsterminen im Bearbeitungsablauf, so dass hier zeitliche Verschiebungen vorgenommen werden mussten.

I-4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Die Untersuchungen zum Wasserhaushalt des Spreewaldes wurden vorwiegend auf den Methoden und Erfahrungen aus dem abgeschlossenen BMBF-Projekt ÖKOSYN aufgebaut. Fragen des Wasserhaushalts und der Wasserbewirtschaftung gehören darüber hinaus seit Jahrzehnten zu den Schwerpunktgebieten des ZALF bzw. seiner Vorgängereinrichtung.

Im VH 2.6 konnte auf langjährige Erfahrungen im FG Standortkunde/Bodenschutz der TU-Berlin, wie z.B. aus dem DFG Projekt „Grundlagen umweltschonender Bodennutzungsstrategien im nordostdeutschen Tiefland – Kennzeichnung der Bodenentwicklungsprozesse von Niedermooren“ (Wessolek et al. 1999) zurückgegriffen werden. Diese umfassen die Bereiche der Bodenwasserhaushaltsmodellierung, der bodenhydrologischen Messverfahren, der Auswirkungen von Änderungen im Wasserhaushalt auf den Ertrag und die Degradierung von Niedermooren, deren CO₂-Freisetzung und den Torfrückgang.

Das Wasserstufenkonzept aus dem Vegetationsformenkonzept von Koska et al. (2001) wurde in das Vegetationsentwicklungsmodell integriert. Das Verfahren der Ökologischen Risikoanalyse (Bachfischer 1987, Scholles 1997) wurde im Modul naturschutzfachliche Risikoanalyse (ERAW) verwendet.

Im Vorhaben VH 2.8. konnte teilweise auf den landwirtschaftlichen Betriebsmodellierungsansatz MODAM (Kächele, 1999) zurückgegriffen werden.

Eine ausführliche Darstellung des Wissenstandes ist in den EB der VH dargestellt.

I-5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im TGP Spreewald entwickelte sich eine enge inhaltliche Zusammenarbeit zwischen den beteiligten VH. Sie kommt im gemeinsam entwickelten Integrationskonzept für das TGP (s. Abschnitt 3.1), in der gemeinsamen Szenarientwicklung (s. Abschnitt 4) und in den Ergebnissen der Szenarien (Abschnitt 5) zum Ausdruck.

Innerhalb des Verbundprojektes fand eine enge vorhabens- und teilprojektsübergreifende Zusammenarbeit mit folgenden Partnern statt:

- **Brandenburgische Technische Universität Cottbus**, Fak. Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik, LS Hydrologie und Wasserwirtschaft (Prof. Grünwald, Dr. Kaltoven, H. Koch): Übernahme von Datenreihen zum Gebietszufluss für verschiedene Szenarien, methodische Diskussion und Mitarbeit bei der Entwicklung der Modellkopplung von ArcGRM Spreewald und ArcGRM GLOWA

- **Bundesanstalt für Gewässerkunde** (Dr. Oppermann, Dr. Finke, C. Rachimow): Methodische Diskussionen der TP - Zusammenarbeit
- **Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung** (Dr. Becker, Dr. Gerstengarbe, Dr. Wechsung, P. Gräfe): Kontrolle des Bearbeitungsstandes durch die Projektleitung/Koordinierungsgruppe und methodische Diskussion zur Umsetzung des IMA im TGP Spreewald, Übernahme der Klimaänderungsszenarien
- **Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH** (Dr. Messner): Zusammenarbeit bei der Entwicklung der Szenarien in der AG Szenarien

Im Rahmen der Datenakquisition, der Stakeholderintegration und der Einbeziehung von Expertenwissen im UG sowie der potentiellen Interessenten und Anwender der Ergebnisse waren folgende Behörden und Büros einbezogen:

- Landesumweltamt Brandenburg, Außenstelle Cottbus
- Landesumweltamt Brandenburg, Potsdam
- Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg
- Versuchsstation Paulinenaue (ZALF)
- Landesanstalt für Großschutzgebiete, Eberswalde
- Leitung des Biosphärenreservats „Spreewald“
- Fachhochschule Eberswalde, Prof. Dr. V. Luthardt
- Wasser- und Bodenverbände „Nördlicher Spreewald“ und „Oberland Calau“
- Zweckverband „Gewässerrandstreifenprojekt Spreewald (GRPS)“
- Deutscher Wetterdienst
- Planungsbüro IHC Beeskow

Einige Synergieeffekte mit dem Teilprojekt 4 „Stoffumsatz im Spreewald“ des BMBF-Verbundprojektes „Untersuchungen zur Gewässerbeschaffenheitsentwicklung der Spree“ (ZALF, Institut für Landschaftswasserhaushalt) konnten insbesondere bei der Beschaffung und Aufbereitung der Datengrundlagen genutzt werden.

Teil II: Ergebnisse

II-1 Erzielte Ergebnisse

1 Einordnung in das Teilprojekt Spree/Havel und in Gesamt-Elbe

Feuchtgebiete sind charakteristische Landschaftselemente im Elbe-Tiefland. Sie nehmen rd. 20 % der Fläche ein (Abb. 1). Ursprünglich waren sie die natürlichen Senken im Wasser- und Stoffkreislauf der Tieflandeinzugsgebiete. Infolge ihrer schrittweisen Entwässerung und In-nutzungnahme während der letzten 250 Jahre haben sie diese Funktion bereits größtenteils verloren. Trotzdem wird ihr Wasserhaushalt nach wie vor durch grundwassernahe Standortbedingungen charakterisiert und durch wasserwirtschaftliche Maßnahmen auf ihn eingewirkt, ist ihre gegenwärtige Nutzung auf diese Besonderheiten des Wasserhaushalts abgestimmt. Der Grad zwischen Erhalt oder Zerstörung eines Feuchtgebietes bzw. einer ressourcenschonenden oder –vernichtenden Nutzung dieser Gebiete ist sehr schmal. Bereits geringfügige Veränderungen im Landschaftswasserhaushalt können hier große Folgen für den zukünftigen Erhalt des Landschaftscharakters, geprägt durch eine feuchtgebietstypische Vegetation, haben.

In GLOWA-Elbe wurden Folgen des globalen Wandels auf den Wasserhaushalt, die Ökologie und Nutzung eines Feuchtgebietes im Rahmen einer genesteten Pilotstudie am Spreewald, einem der herausragendsten Feuchtgebiete Deutschlands, untersucht. Die Klimaänderungs-szenarien und veränderte sozio-ökonomische Bedingungen bilden den Entwicklungsrahmen für die Untersuchungen im Spreewald. Innerhalb des TP Spree/Havel ist das TGP Spreewald über den Wasserhaushalt eng mit den TGP Obere Spree und Ballungsraum Berlin verknüpft. Das bergbaubeeinflusste Teileinzugsgebiet der Oberen Spree ist das Speisungsgebiet des Spreewaldes, der wiederum die Zuflüsse zum Ballungsraum Berlin beeinflusst (Abb. 2). Eine besonders enge Verknüpfung der VH im TGP Spreewald ist Voraussetzung für das Erreichen der gestellten Ziele. Die Zusammenarbeit betrifft die Entwicklung eines gemeinsamen Modellkonzepts mit eindeutiger Definition der Schnittstellen zwischen den VH, das abgestimmte Vorgehen bei der Integration der Stakeholder und der Entwicklung und Bearbeitung gemeinsamer Szenarien (s. Abschnitt 3.1).

Das TGP Spreewald arbeitet damit in Phase I von GLOWA-Elbe auf der kleinsten Maßstabsebene innerhalb des Verbundprojektes. Einige Folgen des globalen Wandels sind nur hier ermittelbar, werden bei einer Betrachtung in größerem Maßstab gar nicht wahr genommen. Weiterhin wird damit aber auch die regionale Differenziertheit deutlich, mit der Folgen zu erwarten sein können und wie ihnen mit geeigneten Maßnahmen entgegengewirkt werden kann. Die entwickelten Methoden und Ergebnisse sind Voraussetzung, um in Phase II im Gesamtgebiet der Elbe Aussagen zur Betroffenheit der Feuchtgebiete machen zu können, die dann allerdings mit stärker regionalisierten Methoden bearbeitet werden müssen.

2 Untersuchungsgebiet Spreewald (Kurzbeschreibung)

Der Spreewald, 70 km südöstlich von Berlin gelegen, ist in seiner heutigen Ausdehnung eine rd. 320 km² große Niederung, die naturräumlich in den Oberspreewald im Baruther Urstromtal und in den Unterspreewald, in einer jüngeren Talabzweigung zum Berliner Urstromtal gelegen, gegliedert ist (Abb. 2). Die Region gehört mit einem mittleren Jahresniederschlag von 540 mm/a zu den niederschlagsärmsten Gebieten Deutschlands. Bei einer potentiellen Verdunstung von 610 mm/a ist die klimatische Wasserbilanz in der Jahressumme negativ. Der Feuchtestatus des Spreewaldes wird dominiert durch die Spreezuflüsse von oberhalb, die Gebietsniederschläge und -verdunstung sowie die Abflusssituation am Pegel Leibsch unterhalb des Spreewaldes.

Die heutige Gebietsstruktur und das Gebietswasserregime sind gekennzeichnet durch ein dichtes Netz größtenteils kanalisierter Fließe (1.600 km) mit einem System von rd. 600 Wehren und Stauen, die bei ausreichendem Wasserdargebot eine zielstellungsgemäße Regulierung der Wasserstände/Grundwasserstände bis hin zum flächenhaften Überstau ermöglichen.

Ein Großteil der Niederung ist durch Grünland geprägt. Es handelt sich überwiegend um halbintensiv bis extensiv genutzte Mähweiden und Wiesen. Der wichtigste Grünlandtyp ist das feuchte Grünland. Aus aufgelassenem Grünland insbesondere im Inneren der Spreewaldniederung sind Staudenfluren und Landröhrichte hervorgegangen. Die Waldgesellschaften konzentrieren sich in erster Linie auf den inneren Bereich der Niederung. Die großen zusammenhängenden Niederungswälder werden dominiert von feuchten Erlen-Eschen-Wäldern und nassen Erlenwäldern. Zum Teil werden sie heute durch Erlen- und Pappelforsten ersetzt. Äcker, hauptsächlich Intensiväcker auf sandigen oder meliorierten Niedermoorböden, konzentrieren sich vorwiegend auf die Randlagen der Niederung.

Naturraum und Landnutzung sind angepasst an die Besonderheiten des Wasserhaushalts mit grundwassernahen Standortverhältnissen und ausreichenden Zuflüssen aus oberhalb gelegenen Einzugsgebieten. Die Stabilität und Weiterentwicklungsmöglichkeiten dieser naturräumlichen und sozioökonomischen Strukturen sind grundsätzlich abhängig von der Erhaltung und Bewirtschaftung des Spreewaldes als Feuchtgebiet. Die Möglichkeiten für den Feuchtgebiets-erhalt werden bestimmt durch die zukünftige Entwicklung des Niederschlagsgeschehens, die Wasserverfügbarkeit aus der von oberhalb einspeisenden Spree und die Entwicklung des gebietlichen Wasserverbrauches über die Verdunstung. Die Zuflussbedingungen werden bereits heute durch das verminderte Dargebot aus den Bergbaufolgelandschaften der Lausitz reduziert. Aufwendige wasserwirtschaftliche Maßnahmen im oberhalb gelegenen Einzugsgebiet helfen die negativen Folgen für das Abflussgeschehen zu mindern, jedoch ist das Feuchtgebiet des Spreewaldes dabei nur einer von vielen Wassernutzern.

Der Spreewald wurde 1991 in die Liste der UNESCO – Biosphärenreservate aufgenommen und damit zusätzlich unter einen besonderen internationalen Schutzstatus gestellt. Ziel ist der Erhalt der in Mitteleuropa einzigartigen Kulturlandschaft. Seit Dezember 2000 wird über eine voraussichtliche Dauer von 12 Jahren das Gewässerrandstreifenprojekt Spreewald (GRPS) vom Bundesamt für Naturschutz gefördert. Erste Ergebnisse aus dem VH 2.3 bilden bereits eine Planungsgrundlage des GRPS.

3 Modellverbund im TGP Spreewald

3.1 Integrationskonzept des TGP Spreewald

Die Umsetzung des einheitlichen methodischen Herangehens in GLOWA-Elbe spiegelt sich auch im integrativen Modellverbund für die ökologischen, wasserwirtschaftlichen und sozio-ökonomischen Untersuchungen im Spreewaldgebiet wider. Eine Besonderheit stellt hierbei jedoch der gewählte ökosystemare Ansatz dar, der verstärkt die Wechselwirkungen zwischen belebter und unbelebter Umwelt sowie dem menschlichen Wirtschaftsraum zum Ausdruck bringt. Den Entwicklungsrahmen für das TGP Spreewald bilden das Klima, die agrarpolitischen Rahmenbedingungen und die Zuflüsse aus den oberhalb des Spreewaldes liegenden Teileinzugsgebieten (Abb. 3). Die notwendigen Abstimmungen mit den teilgebietsübergreifenden VH erfolgten vorrangig über die AG Szenarien und direkt mit VH 2.2 bezüglich der Integration des ArcGRM Spreewald in das ArcGRM Spree/Schwarze Elster.

Die Variablen der regionalen Handlungsoptionen werden exogen mit den Stakeholdern als Szenarien formuliert. Im Untersuchungsgebiet (UG) sind es die unterschiedlichen Landnutzungstypen mit ihren differenzierten Ansprüchen an die Grundwasserstände und unterschiedlichem Wasserverbrauch von denen ein Einfluss auf den Wasserhaushalt des Gesamtgebietes ausgeht. Ein Beispiel hierfür sind die mit dem GRSP Spreewald verbundenen langfristigen Änderungen in der Landnutzung, wie z. B. Flächenstillegung oder Aufforstung, die zu berücksichtigen sind. Direkt mit der Flächennutzung verbunden sind auch Stauziele und Wasserverteilung im Gebiet. Auf die Bewirtschaftung der Flächen wirken sich weiter Restriktionen und Förderprogramme aus.

Kernstück des integrativen Modellverbunds ist das Wasserbewirtschaftungsmodell ArcGRM Spreewald (ausführliche Beschreibung s. EB VH 2.3). Dieses selbst kann direkt oder über Datentransfer mit dem Wasserbewirtschaftungsmodell des Einzugsgebietes ArcGRM GLOWA verbunden werden, so dass hier die direkte Kopplung zum Einzugsgebiet gewährleistet ist. Alle benötigten Klimadaten stehen für beide Modelle einheitlich zur Verfügung.

Direkt im ArcGRM Spreewald implementiert ist das Wasserhaushaltsmodell WABI. Grundlage für die Wasserhaushaltsberechnungen mit WABI ist eine Einteilung des UG in Staubereiche. Sie stellen die kleinste im Grundwasserstand regulierbare Flächeneinheit dar und sind gleichzeitig der einheitliche räumliche Bezug für alle anderen VH im TGP Spreewald. Die von WABI benötigten Angaben zur Verdunstung der unterschiedlichen Vegetationsformen in Abhängigkeit von der Bodenartenhauptgruppe und dem Grundwasserflurabstand werden in einer Datenbank bereitgestellt. Die Berechnungen hierfür erfolgten mit dem Bodenwasserhaushaltsmodell BOWAS im VH 2.6 ebenfalls mit den Klimareihen aus VH 4.2 (ausführliche Beschreibung s. EB VH 2.6).

Die im ArcGRM Spreewald enthaltenen Regeln der Wasserverteilung und die für die WABI-Berechnung erforderlichen Angaben zu den Stauzielen sind regionale Handlungsoptionen und werden über die Szenarien variiert. Das von den anderen VH im TGP Spreewald weiter genutzte Ergebnis aus den Wasserhaushaltsuntersuchungen sind Aussagen zur Entwicklung der Grundwasserstände in den Staubereichen. Diese werden in einer Datenbank abgelegt, auf die dann andere Teilmodelle des Modellverbunds zugreifen können.

Im VH 2.7 wurde das Vegetationsentwicklungsmodell VEGMOS entwickelt (ausführliche Beschreibung s. EB VH 2.7). Es berechnet auf der Basis hydrologischer und nutzungsbezogener Daten die Entwicklung der Vegetation und Risiken für besonders schutzwürdige Landschaftsbestandteile für die untersuchten Szenarien im Spreewald.

Zur Berechnung der klimabedingten Veränderungen der CO₂-Freisetzungsraten und des Torfschwundes wurde im VH 2.6 ein Modul integriert, das auf Grundlage der Torfart, der Moormächtigkeit, der Grundwasserstände, der Nutzung und der Klimabedingungen flächenhafte Aussagen für die Niedermoore des Spreewaldes zulässt (vgl. EB VH 2.6).

Des Weiteren wurde ein Ansatz zur Berechnung der Grünlandbiomasseerträge entwickelt, der durch die Verknüpfung von potentiellen Erträgen für verschiedene Standortklassen mit den realen bzw. angenommenen Klimaverhältnissen über ertragsbeeinflussende Trockenstressfaktoren eine dynamische Biomasseertragsberechnung ermöglicht (vgl. EB VH 2.6).

Für die ökonomische Bewertung wurden verschiedene Auswertungsroutinen für das ArcGRM Spreewald formuliert, mit welchen die jeweilige Unterschreitungswahrscheinlichkeit von ökonomisch relevanten Schwellen der Wasserversorgung ausgewertet werden kann (vgl. EB VH 2.8). Im einzelnen wurden monetäre Bewertungsansätze für die landwirtschaftliche Grünlandnutzung, Teichwirtschaft, Kahnschifffahrt, Erholungsnutzen und die CO₂ Freisetzung realisiert. Hinsichtlich der landwirtschaftlichen Grünlandnutzung beziehen sich die kritischen Schwellen auf die mittleren Grundwasserflurabstände in der Vegetationsperiode. Für die Teichwirtschaft beziehen sich die Schwellen auf die Wasserstände in den Teichen. Für die Kahnschifffahrt und den damit verbundenen Erholungsnutzen wird die Unterschreitung der kritischen Schwimmtiefe von Schleusen ausgewertet.

Der Einfluss veränderter klimatischer und hydrologischer Bedingungen auf die landwirtschaftlichen Betriebe wird über das MODAM Grünland Modul abgebildet. Zunächst werden die für eine wirtschaftliche Bewertung relevanten Netto-Energieerträge (MJ NEL / ha) in Abhängigkeit von den Grünlandnutzungsverfahren, der Vegetation und den Grundwasserflurabständen modelliert. Aus VEGMOS werden dazu Vegetationseinheiten zu Ertragsgruppen zusammengefasst, welche ähnliche Ertragsniveaus und Futterqualitäten aufweisen. Diese werden aus Expertenschätzungen und Tabellenwerken abgeleitet (vgl. Käding, 2000). Aus dem VH 2.6. werden Ertragskoeffizienten für die relative Ertragsveränderung bei verschiedenen mittleren Grundwasserflurabständen und klimatischen Bedingungen übernommen. Für jedes Verfahren wird dann eine ökonomische Partialanalyse durchgeführt, mit welcher die Netto-Erzeugungskosten pro ha oder MJ NEL berechnet werden.

Die ökonomische Partialanalyse der Grünlandverfahren ist Grundlage für die flächenbezogene Bewertung von veränderter Wirtschaftsfuttererzeugung in Folge veränderter Wasserversorgung und ermöglicht darüber hinaus eine weitergehende betriebspezifische Betrachtung mit dem komparativ-statischen Betriebsoptimierungsmodul von MODAM. Als Abbildungsebene dienen dabei typische Betriebe, welchen jeweils Anteile von Staubereichen als Betriebsflächen zugeordnet sind. Neben der Nutzung der Betriebsflächen können somit ihre Lage im Raum (Entfernung zur Hofstelle) und die konkreten Ertragspotentiale berücksichtigt werden.

Für die Kahnschiffahrts- und Teichwirtschaftsbetriebe wurden Deckungsbeitragskalkulationen entwickelt, auf deren Basis Deckungsbeitragsänderungen in Folge veränderter Schiffbarkeit bzw. Benetzung der Teiche berechnet werden können. Um den Verlust an Erholungsnutzen seitens der Touristen infolge eingeschränkter Schiffbarkeit zu ermitteln, wurde mit Hilfe der Reisekostenanalyse die Konsumentenrente und deren potenzielle Änderung berechnet. Grundannahme der Reisekostenmethode ist, dass die Kosten, die eine Person für die Anreise aufwendet, eine untere Grenze für den Nutzen darstellen, den sie aus dem Besuch des Erholungsorts zieht. Die CO₂-Emissionen wurden anhand der volkswirtschaftlichen Grenzvermeidungskosten auf der Basis einer Literaturlauswertung bewertet.

Voraussetzung für das Funktionieren des gesamten Modellverbundes ist eine einheitliche Datengrundlage. Diese wurde auf drei unterschiedlichen Ebenen geschaffen. Es wird unterschieden zwischen Gewässerstruktur, Landschaftsstruktur und Landnutzungsstruktur. Die Gewässerstruktur ist maßgebend für den Aufbau des ArcGRM Spreewald und die Übergabe der Zuflüsse, die Wasserverteilung im Gebiet und die Abgabe der Abflüsse an die Unterlieger sowie die Einhaltung gewässerökologischer Vorgaben wie z. B. Mindestabflüsse in ausgewählten Gewässern. Die Landschaftsstruktur mit ihren unterschiedlichen Boden- und Landnutzungseinheiten ist Grundlage für die Berechnungen zum Bodenwasser-, Flächenwasser- und Gebietswasserhaushalt, zur Vegetationsentwicklung, zur Degradierung der Niedermoore und für die Ertragsmodellierung. Die einheitlichen GIS-Daten zur Geländehöhe, zum Boden und zur Landnutzung werden direkt von den einzelnen Modellen verwendet. Der Datenfluss zwischen den Modellen erfolgt nicht durch direkte Kopplung der Modelle, sondern durch Weitergabe von Modellergebnissen über Datenbanken. Diese werden in den einzelnen VH teilweise bereits verdichtet und bewertet. Eine entscheidende Rolle für alle räumlichen Daten spielen die Staubereiche. Sie übernehmen eine Transferfunktion. Durch eine einheitliche Kodierung der Staubereiche können auch die raumbezogenen Daten in einfachen Datenformaten zwischen den VH übergeben werden, ohne dass der räumliche Bezug verloren geht.

Die Realisierung dieses ökosystemaren Modellansatzes, mit welchem Veränderungen im Landschaftswasserhaushalt, in der Boden- und Vegetationsentwicklung sowie der Landnutzung in Wechselwirkung mit den Möglichkeiten der Wasserbewirtschaftung des Feuchtgebietes abgebildet werden, ist die Voraussetzung für eine Bewertung entsprechend Schritt 4 des ökonomischen und ökologischen Bewertungsverfahrens von GLOWA-Elbe. Durch die enge Zusammenarbeit mit dem Zweckverband GRSP Spreewald konnten Ergebnisse des Modellverbundes bereits unmittelbar in die Planungsvorbereitung des GRSP einfließen.

3.2 Modellentwicklungen/-erweiterungen/-innovationen

Für das Feuchtgebiet Spreewald wurde auf Basis des Modellsystems ArcGRM und des Wasserbilanzmodells WABI ein Wasserbewirtschaftungsmodell ArcGRM Spreewald aufgebaut und anhand des Gebietsabflusses validiert. Um die Heterogenität und Komplexität des Spreewaldes abbilden zu können, wurden die genannten Basismodelle und damit auch ihr zukünftiger Anwendungsbereich beträchtlich erweitert (s. EB VH 2.3, Abschnitt 2.1.3). Mit der Einbindung des genesteten Detailmodells ArcGRM Spreewald in das ArcGRM GLOWA wurde

ein Prototyp für die Kopplung von ArcGRM Modellen geschaffen, der eine Grundlage für den Aufbau eines ArcGRM GLOWA-Elbe bilden kann (s. EB VH 2.3, Abschnitt 3.4).

Für die Ermittlung der Vegetationsentwicklung unter veränderten Grundwasserstandsbedingungen wurde das Modell VEGMOS im VH 2.7 entwickelt (vgl. EB VH 2.7). Räumliche Grundlage für das Modell ist die Biotoptypenkarte des Pflege- und Entwicklungsplans (LAGS 1996). Eingangsdaten für das Vegetationsentwicklungsmodell sind die Grundwasserstände der Staubeiche aus dem ArcGRM Spreewald. Um die Ergebnisse in Indikatoren zu übersetzen, mit denen die ökologischen und sozio-ökonomischen Folgen des globalen Wandels für den Spreewald vor dem Hintergrund gesellschaftlicher Ziele integrativ bewertet werden können, wurde eine naturschutzfachliche Risikoanalyse als Modul in das VEGMOS implementiert (ERAW- Ecological Risk Assessment for Wetland Vegetation).

In VH 2.6 wurde ein Modul zur Abschätzung der Degradierung von Niedermooren unter veränderten Klimabedingungen integriert. Auf Grundlage der Grundwasserstände aus dem ArcGRM Spreewald, einer Moorkarte (LUA-Brandenburg) und eigenen Messungen zum Zustand der Torfe im Spreewald können flächenhafte Aussagen zur Freisetzung des klimarelevanten Gases CO₂ und des Torfschwundes getroffen werden.

Zur Berechnung der Grünlanderträge wurde in VH 2.6 ein Ansatz entwickelt, der über die Kopplung potentieller Erträge mit den im Szenario vorherrschenden Klimaverhältnissen eine dynamische Ertragsberechnung ermöglicht (vgl. EB VH 2.6).

Für die ökonomische Analyse wurde ein zweistufiges Bewertungsverfahren in Bezug auf die ArcGRM / WABI Methodik entwickelt. Im ersten Schritt werden kritische Schwellen bezüglich der Wasserverfügbarkeit für verschiedenen Nutzer definiert und deren Unterschreitung anhand des ArcGRM Spreewald ausgewertet (vgl. EB VH 2.8). Im zweiten Schritt wurden die ermittelten Unterschreitungswahrscheinlichkeiten anhand spezifischer Bewertungsansätze für verschiedene Güter und Leistungen monetär bewertet.

Im VH 2.8. ist insbesondere die Entwicklung des MODAM Grünland Modul sowie eines zonalen Reiskostenmodellansatzes hervorzuheben. Zur konsistenten Berechnung von Grünlanderträgen und Kosten der Grünlandbewirtschaftung für verschiedene Kombinationen aus Grünlandnutzungsverfahren (u. a. nach Ernteverfahren, Nutzungsart, Intensität und Schnitzeitpunkt) und den regionalisierten Grünlandvegetationsformen (VEGMOS), den ermittelten Grundwasserflurabständen (ArcGRM Spreewald) und verdunstungsabhängigen Ertragspotentialen (BOWAS) wurde das MODAM Grünland Datenbankmodell aufgebaut. Hierbei handelt es sich um eine Prinziplösung, welche die Schnittstelle zwischen einer räumlich differenzierten Feuchtgebietsmodellierung auf der Ebene von Staubeichen und der Modellierung von landwirtschaftlichen Betrieben darstellt.

Es wurde ein Reisekostenmodell für die Prognose der Besuchsrates und Konsumentenrente von Erholungssuchenden, welche zum Bootsfahren in den Spreewald kommen entwickelt. Die Nachfragefunktion wurde in Abhängigkeit von der Bevölkerungs- und Urlauberverteilung im Besuchereinzugsgebiet des Spreewalds mit einer Poisson-Regression geschätzt (vgl. Haab et al 2002). In Anlehnung an Eiswerth et al. (2000) wurde ein gepooltes Modell, welches sowohl beobachtetes als auch hypothetisches Verhalten verbindet, gerechnet. Hierbei wurde

insbesondere auf die strukturelle Übertragbarkeit auf andere Gewässerabschnitte im Elbe-Einzugsgebiet geachtet. Für eine verallgemeinerbare Nachfrage Funktion als Grundlage für „Benefit Transfer“ bedarf es jedoch noch einer weiteren empirischen Fundierung.

4 Stakeholderbeteiligung und Szenarienentwicklung

Die Stakeholderbeteiligung bildet entsprechend des IMA einen wichtigen Baustein bei der Erarbeitung von Szenarien zur zukünftigen Entwicklung im UG. Bereits vor Projektbeginn wurden daher erste Kontakte zu den zuständigen Behörden und Institutionen vor Ort aufgenommen und ständig weiterentwickelt. Dieses waren in erster Linie die Leitung des Biosphärenreservats Spreewald, das Landesumweltamt Brandenburg mit der Außenstelle in Cottbus, die betreffenden Wasser- und Bodenverbände, aber auch einzelne Landwirtschaftsbetriebe und forstliche Einrichtungen.

In den ersten Schritten wurden die Projektziele vorgestellt und die Interessenlagen, Probleme und Konfliktbereiche bzgl. des Wasserhaushalts erfragt. Wichtige Planungsunterlagen wie das Rahmenkonzept zur Wasserbewirtschaftung im Spreewald (LUA 1996), später auch die Studie zur Staugürtelschließung (LUA 2002), der Landschaftsrahmenplan des Biosphärenreservats Spreewald (MUNR 1998), der Pflege- und Entwicklungsplan für das Biosphärenreservat Spreewald (LAGS 1996) oder das GRSP Spreewald (BfN 1999) wurden analysiert und in den Prozess der Szenarienentwicklung einbezogen. Eine besondere Rolle spielte dabei das GRSP, da im Rahmen seiner Bearbeitung bereits alle Interessengruppen des UG innerhalb eines Moderationsverfahrens in Überlegungen zur zukünftigen Gebietsentwicklung einbezogen waren und aktuelle Erhebungen zum Wasserhaushalt und zur Flächennutzung im Gebiet durchgeführt wurden, die im GLOWA-Elbe-Projekt mit genutzt werden konnten. Auf der anderen Seite bestand vonseiten des GRSP großes Interesse an der Nutzung von Ergebnissen aus dem BMBF-Projekt. Auf dieser Grundlage entwickelte sich eine gute Zusammenarbeit zwischen dem TGP Spreewald und den Stakeholdern im UG.

Die wichtigsten Integrationsinstrumente der Wasserbewirtschaftung vor Ort sind die Staubeiräte im Ober- und Unterspreewald. Sie beraten zweimal jährlich und stimmen alle wasserbaulichen Maßnahmen, die Gewässerunterhaltung und die Bewirtschaftung der Staugürtel, sprich die Staumarken für das nächste halbe Jahr, ab. An diesen Beratungen konnten Mitarbeiter des TGP Spreewald immer direkt teilnehmen und so die praktische Wasserbewirtschaftung im UG kennen lernen.

Die Rahmenbedingungen für die Szenarien zur Wirkung des globalen Wandels auf das Feuchtgebiet Spreewald bilden veränderte klimatische Bedingungen sowie die davon und von veränderten ökonomischen Bedingungen im Einzugsgebiet beeinflussten Zuflüsse (s. EB VH 2.3, Abschnitt 4.2). Diese wurden in anderen VH von GLOWA-Elbe erarbeitet und den Stakeholdern als Ausgangssituation dargestellt.

Als mögliche Handlungsoptionen zur langfristigen Einflussnahme auf den Wasserhaushalt und Minderung negativer Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasserhaushalt, Ökologie und Wirtschaft wurden in erster Linie wasserwirtschaftliche Optionen identifiziert. Sie betref-

fen die Steuerung der Zuflussverteilung im Niederungsgebiet, die Höhe der Stauziele in Verbindung mit der Flächennutzung und wasserbauliche Veränderungen am Gewässersystem.

Veränderungen an der Zuflussverteilung bedeuten gegenüber den bestehenden Regelungen immer die Bevor- oder Benachteiligung einzelner Wassernutzer, da das insgesamt verfügbare Wasserdargebot damit nicht verändert werden kann. Es werden lediglich die Prioritäten bei der Wasserversorgung verändert, das Wasser welches bevorzugte Wassernutzer mehr erhalten würden, wird anderen Wassernutzern vorenthalten. Interessenkonflikte sind hiermit vorprogrammiert. Diese Varianten werden in den Szenarien daher auch zunächst nicht als Handlungsalternativen untersucht, was auch für die Einbeziehung geplanter wasserbaulicher Maßnahmen in die Szenarien gilt.

Durch die Erhöhung von Stauzielen kann ein verbesserter Wasserrückhalt im Gebiet betrieben werden. In Perioden mit hohem Wasserdargebot wird der Flächenspeicher aufgefüllt, so dass in Defizitperioden aus diesem gezehrt werden kann. Der erhöhte Wasserrückhalt ist immer eng an die Flächennutzung gekoppelt, werden durch diese doch die zulässigen Höchstwasserstände in den Staubereichen bestimmt. Der Wasserrückhalt im Gebiet wurde in Abstimmung mit den Stakeholdern als eine vordringlich zu untersuchende Handlungsalternative angesehen, da er auch in den Planungen der Wasserwirtschaft im Rahmen des Landschaftswasserprogramms von Brandenburg als wichtiges Instrument zur Verbesserung des Landschaftswasserhaushalts angesehen wird.

Durch die Flächennutzung kann ebenfalls langfristig Einfluss auf den Wasserverbrauch im UG genommen werden. Aufforstung oder Renaturierung von Niedermoorflächen können z. B. zu einem erhöhten Wasserverbrauch führen (s. EB VH 2.3 und 2.6). Die im Landschaftsrahmenplan des Biosphärenreservats (MUNR 1998) vorgeschlagenen Flächenentwicklungen wurden jedoch noch nicht in die ersten Handlungsalternativen aufgenommen, da sie sich im Zusammenhang mit dem GRSP gerade wieder in der Diskussion befinden. Hierzu wären zu einem späteren Zeitpunkt noch einmal Untersuchungen möglich.

Als Abschluss der Szenarientwicklung wurde im Juli 2002 ein gemeinsamer Workshop mit den Stakeholdern im Gebiet durchgeführt. Die gemeinsam entwickelten Szenarien wurden hier vorgestellt, diskutiert und abschließend festlegt. Es wurde sich darauf geeinigt, im Gebiet zunächst jeweils zwei Szenarien in Kombination mit den Szenarien des Einzugsgebietes (Rahmenbedingungen) zu bearbeiten (Tab. 1). Ein Szenario geht von der gegenwärtig praktizierten Wasserbewirtschaftung und Flächennutzung aus, im zweiten Szenario wird die Nutzung auf den Niedermoorflächen aufgegeben bzw. stark extensiviert und die Zielwasserstände auf diesen Flächen angehoben.

Tab. 1: Untersuchte Szenarienkombinationen im TGP Spreewald (aus Zwischenbericht TGP Spreewald 2003)

Rahmenbedingung Einzugsgebiet Handlungs- alternativen im Feuchtgebiet	Referenzszenario	B2-Basisszenario
Ist-Zustand	Referenzszenario	B2-Basisszenario
Moorschutzszenario	Referenzszenario mit Moorschutz	B2-Basisszenario mit Moorschutz

5 Ergebnisse

Die Szenarienergebnisse werden in drei Blöcken mit ausgewählten Indikatoren dargestellt und diskutiert. Im ersten Block werden Veränderungen des Zusatzwasserdefizit dargestellt. Das Zusatzwasserdefizit vereint sowohl die Wirkungen der klimatischen Änderungen als auch die indirekte Beeinflussung des Wasserhaushalts eines Feuchtgebietes über den Zufluss aus dem Einzugsgebiet. Die Juli-Werte weisen im Jahresverlauf immer die größten Monatssummen des Zusatzwasserdefizits auf und sind in Abb. 4 jeweils als Mittelwert aller Staubereiche des 20. und 50. Perzentils für alle 4 Szenarien in allen Perioden dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen relativ geringe Unterschiede jeweils zwischen den Szenarien mit und ohne Moorschutz. Die Ursachen liegen im Flächenanteil der unter Moorschutz fallenden Staubereiche (rd. 25 %), in den im Ist-Zustand schon teilweise recht hohen Wasserständen auf den Moorflächen und der einfachen Mittelwertbildung in der Darstellung von Abb. 4. Im direkten Vergleich der betroffenen Staubereiche sind Änderungen im Wasserhaushalt aufgrund des abgewandelten Entwicklungsziels deutlicher erkennbar (s. EB VH 2.3, Abschnitt 6).

Der Vergleich von Referenz- und B2-Basisszenario unterstreicht die zunehmenden Risiken bei der Wasserversorgung der Niederungsflächen, deren Folgen tiefere Grundwasserstände in den Flächen sind. Das Zusatzwasserdefizit des Gesamtgebietes steigt im 50. Perzentil der Sommermonate von rd. 20 mm im Referenzszenario auf rd. 45 mm im B2-Basisszenario an. Ursachen sind der leichte Rückgang der Sommerniederschläge und der Anstieg der potentiellen Verdunstung, der sich bei weiterhin gegebener Wassernachlieferung aus dem Grundwasser auch in einem Anstieg der realen Verdunstung niederschlägt. Mit den Zuflüssen aus dem Einzugsgebiet konnten nur rd. 25 mm des Zusatzwasserbedarfs im Referenzszenario und rd. 30 mm im B2-Basisszenario gedeckt werden. Es trat bei den Gesamtzuflüssen also keine gravierende Verschlechterung der Situation ein, was auf die wasserwirtschaftlichen Maßnahmen und das Auslaufen der Restlochflutungen in einem Großteil des Einzugsgebietes zurückzuführen ist. In der letzten Periode übersteigt das Zusatzwasserdefizit des B2-Basisszenarios im 50. Perzentil den Wert des Referenzszenarios im 20. Perzentil, was auf eine Zunahme der Jahre mit Wasserverfügbarkeitsproblemen hinweist.

Im zweiten Block werden die Perioden 2003/07 und 2048/52 des B2-Basisszenarios für die Indikatoren Grundwasserstandsänderung, Gefährdung feuchtgebietstypischer Vegetation, Torfschwund und Grünlandertrag verglichen (Abb. 6). Im direkten Vergleich dieser beiden

Perioden können die Veränderungen am besten veranschaulicht und auch flächendifferenziert dargestellt werden. Hier werden die Ergebnisse nur kurz andiskutiert. Details zur Ermittlung der einzelnen Indikatoren und ihre ausführliche Diskussion sind den EB der VH zu entnehmen.

Die Folgen eines erhöhten Wasserbedarfs und verminderten Wasserdargebots schlagen sich im Feuchtgebiet in veränderten Grundwasserverhältnissen nieder. Die Differenzen der 50. Perzentile der berechneten Grundwasserstände für jeden einzelnen Staubereich (Abb. 6-A) zeigen, dass sich das veränderte Wasserdargebot nicht gleichmäßig im gesamten Niederungsgebiet auf die Grundwasserverhältnisse auswirkt. Die zentralen Spreewaldbereiche, welche vorrangig vom Spreezufluss versorgt werden, sind weniger von sinkenden Grundwasserständen betroffen, als der Versorgungsbereich des Großen Fließes (schraffierte Fläche) oder die Randbereiche mit 25 cm bis 50 cm tieferen Grundwasserständen im Median der Periode 2048/52 gegenüber 2003/07.

Die Gründe: Das Große Fließ wird vom Einzugsgebiet der Malxe mit Wasser versorgt. Der Abfluss der Malxe besteht auch heute noch zu einem großen Anteil aus Sumpfungswässern von Tagebauen. Mit Auslaufen dieser Tagebaue nach 2030 und der dann anstehenden Flutung der Restlöcher werden sich die Abflussmengen in der Malxe stark reduzieren, was sich in den von ihr zu versorgenden Teilen der Spreewaldniederung auswirkt. Bei den Randbereichen ist das Verhältnis von zu versorgender Niederungsfläche zu dargebotsbildender Einzugsgebietsfläche sehr ungünstig, so dass sich eine Verringerung der Sommerabflüsse aus den kleinen Teileinzugsgebieten in einem verstärkten Absinken der Grundwasserstände niederschlägt.

In Abb. 5 sind die Gefährdungen der besonders schutzwürdigen Landschaftsbestandteile zusammengefasst für die Staubereiche des Spreewaldes dargestellt.

Die Veränderungen sind im B2-Basisszenario größer als im Referenzszenario. Es werden jedoch Unterschiede zwischen den Schutzgütern sichtbar:

Semiterrestrische Biotope und ihre Vegetation sind in nahezu allen Staubereichen, in denen das ArcGRM Spreewald Änderungen der Wasserstände ausweist, gefährdet (Abb. 5a), weil im überwiegenden Teil der Staubereiche diese Standorttypen vorkommen. Besonders gefährdet sind die Ränder des Feuchtgebietes und der Versorgungsbereich des Großen Fließes. Die aus Sicht des Arten- und Biotopschutzes wertvollsten Bereiche konzentrieren sich vor allem auf die Kerngebiete und die Pflege- und Entwicklungszonen des Biosphärenreservates, in denen die Grundwasserstände gegenüber heute weitgehend unverändert bleiben. Die gleichen räumlichen Gefährdungsschwerpunkte gelten auch für andere biotische Schutzgüter sowie das Landschaftsbild (zur Quantifizierung der gefährdeten schutzwürdigen Landschaftselemente über alle Perioden bis 2053 siehe EB VH 2.7, Kap. 5.2).

Aus den Berechnungen zum Torfchwund bis 2050 folgt, dass die größten Abnahmen der Torfmächtigkeit (bis zu 25 cm) an den Randbereichen der Niederung auftreten (Abb. 6-C). Dies bedeutet, dass der Großteil dieser Flächen, v. a. nördlich des Nordumfluters, die schon jetzt eine geringe Torfmächtigkeit aufweisen, zunehmend degradieren und im Jahr 2050 nicht mehr als Niedermoorflächen zu bezeichnen wären. In den zentralen Bereichen des Oberspreewalds treten überwiegend Torfverluste zwischen 0 und 15 cm auf. Da hier auch die Flä-

chen mit den höchsten Torfmächtigkeiten liegen, ist innerhalb der betrachteten Zeitspanne nicht mit einem Übergang dieser Niedermoorflächen zu Anmoorstandorten zu rechnen. Auf den Flächen, bei denen der mittlere jährliche Grundwasserstand über Geländeoberkante liegt (gepunktet), wurde ein Torfakkumulationsterm in das Modell integriert. Hierfür wurde ein moderater Torfzuwachs für Niedermoore nach Göttlich (1990) mit 0,5 mm/a angenommen.

Auch die Grünlanderträge spiegeln die beschriebenen räumlichen Muster wieder. Insbesondere in den komplex meliorierten Poldern der Randlagen aber auch in der Stauabsenkung Nord, welche durch aktive Einstaubewässerung aus den Hauptgewässern versorgt werden, sind bei gleichbleibendem Wassermanagement Ertragsrückgänge zu erwarten. Im inneren Spreewald werden die Grünlandflächen nicht nur extensiv, sondern zum größten Teil auch bei relativ hohen Wasserständen bewirtschaftet. Abnehmende mittlere Grundwasserstände bewirken in diesen Bereichen daher in geringerem Maße ertragsmindernden Wasserstress.

Im dritten Block wurden ausgewählte Indikatoren als Mittelwerte über alle Staubereiche zusammengefasst (Tab. 2). Indikatoren für Änderungen im Wasserhaushalt sind reale Verdunstung, Zusatzwasserbedarf, Zusatzwasserdefizit sowie Differenz zwischen Zielgrundwasserstand und erreichtem Grundwasserstand jedes Staubereichs. Die Ergebnisse der Modellrechnungen ergeben einen leichten Anstieg der realen Verdunstung. Die höhere potentielle Verdunstung führt aufgrund der weiterhin bestehenden Wassernachlieferung aus dem Grundwasser trotz abnehmender Sommerniederschläge auch zu einer höheren realen Verdunstung. Zusammen mit den abnehmenden Sommerniederschlägen steigt damit der Zusatzwasserbedarf des Juli auf rd. 75 mm im Median des B2-Basisszenarios an. Durch die Zuflüsse aus dem Einzugsgebiet können nur 30 mm des Zusatzwasserdefizits kompensiert werden, so dass infolge des Defizits die Grundwasserstände gegenüber dem Referenzszenario noch tiefer absinken. Unterschreitungen der Zielgrundwasserstände, die im Referenzszenario nur in den trockenen Jahren zu erwarten sind, treten unter veränderten Bedingungen im Median der Jahre ein.

Als Indikatoren zur Visualisierung möglicher Konsequenzen für Biodiversität und Erlebnisqualität der Landschaft werden die Flächenanteile durch Grundwasserabsenkung gefährdeter Schutzgüter (semiterrestrische Standorte, besonders wertvolle Biotoptypen, Elemente erhaltenswerter Landschaftsbildtypen, Habitate von Pflanzenarten der Roten Liste) herangezogen. Die Modellierung basiert auf der für die Vegetation ausschlaggebenden 50. Perzentile der Modellergebnisse des ArcGRM Spreewald. Entsprechend des steigenden Zusatzwasserdefizits nimmt die Gefährdung der einzelnen Schutzgüter bis 2050 zu. Im B2-Basisszenario ist dieser Trend stärker ausgeprägt.

Der Zustand der Moore wird durch die Abnahme der Torfmächtigkeit und die CO₂-Freisetzung beschrieben. Der mittlere, über die Zeit akkumulierte Torfschwund zeigt, dass Flächen mit geringmächtigen Torfen (40 bis 50 cm, besonders an den Randbereichen der Niederung) in 50 Jahren in Anmoorstandorte übergegangen sein werden. Die mittlere akkumulierte Abnahme der Torfmächtigkeit ist nach Ablauf des betrachteten Zeitraums im B2-Basisszenario um über 3 cm höher als im Referenzszenario. Dies entspricht einer Steigerung von ca. 20 %.

Die mittlere CO₂-Freisetzung zeigt im Referenzszenario keine größeren Änderungen im Zeitverlauf. Im B2-Basiszenario ist aufgrund der durch die angenommenen Klimaänderungen erhöhten Mineralisation der Torfe mit einer steigenden Freisetzung von CO₂ in den nächsten 50 Jahren zu rechnen. Mit der Torfmineralisierung und dem prognostizierten Torfschwund sind nicht nur Stoffausträge in die Atmosphäre, sondern auch Austräge in die Gewässer verbunden. Für die Betrachtungen der Auswirkungen von Klimaveränderungen, v.a. unter Berücksichtigung der Unterlieger (Ballungsraum Berlin), können sich hieraus im Zusammenspiel mit Wasserquantitätsproblemen auch Wasserqualitätsprobleme ergeben. Im Rahmen dieses Vorhabens konnte auf diese Problematik jedoch nicht weiter eingegangen werden.

Die Auswirkungen der Unterschreitung der Stauziele auf verschiedene Nutzenkomponenten des Feuchtgebiets Spreewald werden anhand monetärer Indikatoren für Landwirtschaft, Teichwirtschaft, Kahnschiffahrt, Erholungsnutzen, und CO₂ Emissionen dargestellt. Der Verlauf der jeweiligen Gesamtkosten (in €₂₀₀₂) der Unterschreitung der Stauziele im Referenzszenario (R) ohne Priorität Moorschutz wird exemplarisch in Abb. 7 dargestellt. Hierbei handelt es sich näherungsweise um die Nutzungskosten des Wassers, welche bei der jeweils realisierten Wasserallokation im Einzugsgebiet der Spree entstehen.

Die Bewertung der Veränderungen in der Sicherheit der Grünlanderträge erfolgt über einen flächenbezogenen Ansatz, welcher die jeweilige im Szenario spezifizierte Grünlandnutzung berücksichtigt. Die aktuelle Organisation der landwirtschaftlichen Betriebe orientiert sich an den Anforderungen, welche sich aus der Lage in einem Biosphärenreservat ergeben und ist größtenteils eine extensive Bewirtschaftung bei teilweise hohen Grundwasserständen. Als monetärer Bewertungsindikator für die Produktivitätsveränderung wird die Einkommensänderung durch Wirtschaftsfutterausgleich (Kosten für zusätzlichen Feldfutteranbau bzw. Grundfutterzukauf zu mittleren Erzeugungskosten unter den agrarpolitischen Randbedingungen der Agenda 2000) herangezogen. Insbesondere am Ende des betrachteten Zeitraums ist im B2-Basiszenario mit einem Ertragsrückgang und Einkommenseinbußen zu rechnen, die sich jedoch ungleichmäßig zulasten der in den Randbereichen wirtschaftenden Betriebe, insbesondere aber der Betriebe im Vorteilsbereich der Malxe, verteilen (Abb. 8).

Die Teichwirtschaft im Spreewald ist von der veränderten Wasserverfügbarkeit nur unwesentlich betroffen. Anders hingegen der wassergebundene Tourismus. Grundlage der Bewertung ist die Anzahl an Monaten, in welchen gleichzeitig in elf ausgewählten Schleusen des Oberspreewalds die kritische Schwimmtiefe der Kähne unterschritten wird und die Gewässer somit nur stark eingeschränkt schiffbar sind. Die Bewertung der veränderten Wasserführung für den wassergebundenen Tourismus wird anhand des Deckungsbeitragsverlusts der Kahnschiffer und dem Verlust an Erholungsnutzen der Besucher in Bezug auf die Anzahl eingeschränkt schiffbarer Monate festgemacht. Da der wassergebundene Tourismus eine bedeutende wirtschaftliche Nutzung des Spreewald darstellt, errechnen sich bereits bei relativ wenigen Monaten eingeschränkter Nutzung pro Periode relativ hohe Einbußen. Im Jahr ist durchschnittlich mit 1 Mio. Kahnschiffahrtsgästen zu rechnen. Das Wohlfahrtsmaß, welches sich aus dem Kehrwert des Koeffizienten der Reisekostenvariablen ergibt, liegt zwischen 5,46 € und 6,18 € pro Besuch, insgesamt somit bei ca. 6.180.000 € / Jahr. Für jeden eingeschränkt schiffbaren

Monat wird der Rückgang des Deckungsbeitrag der gewerblichen Kahnschiffahrt mit 504.800 € veranschlagt.

Tab. 2: Auswirkungen des globalen Wandels auf Wasserhaushalt, Vegetation, Boden und landwirtschaftliche Betriebe, dargestellt anhand ausgewählter Indikatoren für das 50. Perzentil

Indikator	Methode	Erläuterung	Referenzszenario			B2-Basisszenario		
			2005	2020	2050	2005	2020	2050
Reale Verdunstung [mm/Monat]	ArcGRM Spreewald	Mittelwert aller Staubereiche im Juli	86	85	83	92	91	94
Zusatzwasserbedarf [mm/Monat]	ArcGRM Spreewald	Mittelwert aller Staubereiche im Juli	49	43	44	44	54	76
Zusatzwasserdefizit [mm/Monat]	ArcGRM Spreewald	Mittelwert aller Staubereiche im Juli	21	20	21	21	29	45
Differenz GW _{soll} - GW _{ist} [cm]	ArcGRM Spreewald	Mittelwert aller Staubereiche im Juli	17	16	16	17	25	33
Flächenanteil gefährdeter semiterrestrischer Standorte [%]	VEGMOS (ERAW) + ArcGRM Spreewald	Hydrotypen der Wasserstufen 2+ bis 5+ entsprechend des Wasserstufenkonzeptes (KOSKA et al. 2001)	<1	6	6	<1	10	27
Flächenanteil gefährdeter besonders wertvoller Biotope [%]	VEGMOS (ERAW) + ArcGRM Spreewald	Biotope der Wertstufe "sehr wertvoll" des Pflege- und Entwicklungsplans Spreewald (LAGS 1996)	<1	4	3	<1	6	13
Flächenanteil gefährdeter Elemente erhaltenswerter Landschaftsbildtypen [%]	VEGMOS (ERAW) + ArcGRM Spreewald	Landschaftsbildtypen der Wertstufe "(besonders) erhaltenswert" des Landschaftsrahmenplans (MUNR 1998), charakteristische Vegetationseinheiten	<1	3	3	<1	6	10
Anteil gefährdeter Habitate von Pflanzenarten der Roten Liste [%]	VEGMOS (ERAW) + ArcGRM Spreewald	Rote Liste der Farn- und Blütenpflanzen (Brdbg.) (Benkert & Klemm 1993)	<1	<1	<1	<1	3	7
mittlerer akkumulierter Torfschwund [mm]	Torfdegradierungsmodell + ArcGRM Spreewald	mittlerer, über die Zeit akkumulierter Torfschwund ab 2003 bezogen auf die Gesamtmoorfläche des Spreewaldes	7 (3,2 [*])	55 (3,2 [*])	152 (3,2 [*])	7 (3,6 [*])	66 (3,7 [*])	185 (3,8 [*])
Mittlere CO ₂ -Freisetzung [kg CO ₂ /ha a]	Torfdegradierungsmodell + ArcGRM Spreewald	mittlere CO ₂ -Freisetzung/a bezogen auf die Gesamtmoorfläche des Spreewaldes	2650	2650	2650	2910	2990	3080
Energieertragsdifferenz ^{**} [GJ NEL/a]	MODAM Grünland + ArcGRM Spreewald	Δ Netto Energieertrag Szenario zu Stauziel pro Jahr im Mittel der Periode	5623	8035	6451	10439	14045	17144
Δ DB Landwirtschaft ^{**} [1000 €/a]	MODAM Grünland + ArcGRM Spreewald	Δ DB Szenario zu Stauziel pro Jahr im Mittel der Periode	112,4	160,7	129,0	208,7	281,0	342,8
Δ DB Teichwirtschaft [€/a]	DBR + ArcGRM Spreewald	Δ DB Szenario zu Stauziel pro Jahr im Mittel der Periode	11	26	46	10	82	250
Δ DB Kahnschiffahrt [€/a]	DBR + ArcGRM Spreewald	Δ DB Szenario zu Stauziel pro Jahr im Mittel der Periode	1193	20745	28456	91	15329	91979
Δ Erholungsnutzen [€/a]	RKM + ArcGRM Spreewald	Δ Erholungsnutzen Szenario zu Stauziel pro Jahr im Mittel der Periode	1167	20291	27833	89	14994	89965
Δ CO ₂ Emissionen zu Vermeidungskosten [€/a]	VER + Torfdegradierungsmodell + ArcGRM Spreewald	Δ CO ₂ Emissionen zu Vermeidungskosten bewertet Stauziel pro Jahr im Mittel der Periode	5130	6850	6541	6123	9357	9919

ArcGRM – Großraummodell, VEGMOS – Vegetationsentwicklungsmodell Spreewald, ERAW - Ecological Risk Assessment for Wetland Vegetation, MODAM Grünland – ökonomische Partialanalyse der Grünlandverfahren, DBR – Deckungsbeitragkalkulation, RKM – Resiekostenmethode, VER – Vermeidungskostenansatz, Δ DB – Differenz Deckungsbeitrag Soll – Ist.

^{*}Zahlen in Klammern geben die mittlere Abnahme der Torfmächtigkeit pro Jahr [mm/a] für die entsprechende Periode an, ^{**} Flächengröße 13.600 ha

6 Schlussfolgerungen

Steigende Temperaturen und rückläufige Sommerniederschläge führen zur Erhöhung des Wasserverbrauchs im Feuchtgebiet. Da die Einzugsgebietszuflüsse in den Randgebieten des Spreewaldes und im Versorgungsbereich der Malxe nicht ausreichen, um diesen steigenden Zusatzwasserbedarf zu decken, sind insbesondere in diesen Bereichen negative ökologische Auswirkungen (Gefährdung semiterrestrischer Standorte, wertvoller Biotope, Elemente erhaltenswerter Landschaftsbildtypen, Habitate von Pflanzenarten der Roten Liste, Torfabbau, erhöhte CO₂-Freisetzung) infolge sinkender Grundwasserstände zu erwarten. Gleichzeitig ist hier mit sinkenden Grünlanderträgen zu rechnen, die mit Einnahmeneinbußen der Landwirte verbunden sind. In VH 2.7 wird ein Handlungskonzept zur nachhaltigen Sicherung der Schutzgüter vorgeschlagen. Es wurde in der Risikoanalyse (ERAW) aus Sicht der aktuellen, zum Bearbeitungszeitpunkt formulierten Naturschutzziele abgeleitet. Das Verfahren ermöglicht eine Anpassung dieser Ziele an die sich mit den ökologischen und sozioökonomischen Rahmenbedingungen ändernden Ziele und Wertsetzungen des Naturschutzes.

Soll der Feuchtgebietsstatus im Gesamtgebiet auch langfristig erhalten werden, kommen folgende Maßnahmen hierfür in Frage:

- Stabilisierung des Wasserhaushalts im Feuchtgebiet durch Erhöhungen der Speicherabgaben oder eine Reduzierung der Restlochflutung im Einzugsgebiet während der Sommermonate.
- Änderungen in der Wasserverteilung im Spreewald und damit in der Landnutzung.
- verstärkter Rückhalt von Winterüberschüssen durch Anhebung von Stauzielen.

Können die negativen ökologischen und ökonomischen Folgen nicht im gesamten Feuchtgebiet verhindert werden, ist diesem Tatbestand bei der Entwicklungsplanung Rechnung zu tragen. Der Schutz des Feuchtgebietes sollte sich dann auf die weniger betroffenen Bereiche konzentrieren.

Die Ergebnisse zeigen die differenzierten Auswirkungen des globalen Wandels auf den Spreewald, stellvertretend für die nicht nur aufgrund ihres hohen Flächenanteils bedeutenden Feuchtgebiete im gesamten Elbe-Einzugsgebiet. Die Feuchtgebiete spielen als sensible Kompartimente des Naturhaushalts und als Brennpunkte für verschärfte Konfliktsituationen aufgrund der angespannten Wassernutzung mit unterschiedlichen Entwicklungszielen in der Zukunft eine enorme Rolle. Die Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit der Einbeziehung der Wasserbewirtschaftung in die Untersuchung der Auswirkungen des globalen Wandels. Eine ausschließlich hydrologische Gebietsbetrachtung kann ohne Berücksichtigung des Regulierungssystems leicht zu falschen Schlussfolgerungen verleiten.

Alle im TGP entwickelten Methoden und Modelle lassen sich prinzipiell bei Berücksichtigung der konkreten Randbedingungen auf die anderen großen Feuchtgebiete im Elbe-Einzugsgebiet übertragen. Gerade die detaillierte Betrachtung des Spreewalds ermöglicht eine Vereinfachung und Regionalisierung der Modelle bei weniger detaillierten Eingangsdaten für eine großräumige Betrachtung. Die Ergebnisse für die einzelnen Feuchtgebiete werden ent-

sprechend weniger differenziert sein, die engen Wechselwirkungen zwischen Klima und Wasserhaushalt im Einzugsgebiet sowie Wasserhaushalt, Ökologie und Landnutzung in den Feuchtgebieten können jedoch noch beachtet werden. In der Komplexität der Wirkungsgefüge bestimmen sie den zukünftigen Zustand und Charakter der Landschaft mit ihren ökologischen Funktionen und die Qualität der Lebens- und Wirtschaftsbedingungen im Tiefland des Elbe-Einzugsgebietes.

II-2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Arbeiten im TGP sind so konzipiert, dass die Ergebnisse der einzelnen VH die Grundlage für die Untersuchungen in anderen VH bilden und damit innerhalb des TGP bereits weiter genutzt werden. Mit dem Prototyp der Modellkopplung wurde eine Grundlage für den Aufbau eines ArcGRM Elbe in der Weiterführung des GLOWA-Elbe-Projektes geschaffen.

Die Ergebnisse zum Flächenwasserhaushalt der Niederungsflächen flossen bereits in die Untersuchungen im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes „Untersuchungen zur Gewässerbeschaffenheitsentwicklung der Spree“, TP 4 „Stoffumsatz im Spreewald“ ein. Die Wasserentnahmen und Rückleitungen der Staubereiche sind Grundlage für Berechnungen zu Stoffakkumulationen und Stoffausträgen in der Niederung.

Für Planungen im laufenden GRSP Spreewald wurde das Modell ArcGRM Spreewald vom Zweckverband GRSP angefordert und bereits vom zuständigen Planungsbüro eingesetzt. Das verantwortliche Planungsbüro wurde bei der Einarbeitung und Anwendung unterstützt. Damit ist eine unmittelbare wirtschaftliche Anschlussfähigkeit bereits gegeben. Erst durch die methodischen Entwicklungen aus GLOWA-Elbe wird es teilweise möglich, Wirkungen der im GRSP geplanten Maßnahmen abzuschätzen. Im Rahmen des GRSP wurde die Datengrundlage des Modells weiter verbessert, indem für große Teile des UG eine Laser-Scan-Befliegung durchgeführt wurde. Das verbesserte Höhenmodell steht dem VH 2.3 ebenfalls zur Verfügung, wurde in die dargestellten Ergebnisse aber noch nicht einbezogen.

Das Modell ArcGRM Spreewald und die erzielten Ergebnisse wurden in einer Arbeitsgruppensitzung der Länderarbeitsgemeinschaft Sachsen-Brandenburg-Berlin „Flussgebietsbewirtschaftung Spree - Schwarze Elster“, den Betreibern des ArcGRM Spree/Schwarze Elster (Basismodell des ArcGRM GLOWA), vorgestellt. Im Ergebnis wurde beschlossen, auf der Basis des ArcGRM Spreewald eine vereinfachte Version des Spreewaldmodells zu entwickeln und in das bestehende Planungsmodell zu übernehmen, um dieses zu verbessern. Die Voruntersuchungen hierzu wurden bereits von dem das ArcGRM Spree/Schwarze Elster betreuenden Büro durchgeführt und für 2004 die Umsetzung geplant.

Die Szenarien mit verstärktem Moorschutz im UG Spreewald wurden im besonderen Interesse der Biosphärenreservatsverwaltung Spreewald in die Betrachtungen aufgenommen. Die Ergebnisse werden in den Entscheidungen und bei der Entwicklungsplanung der Behörde einfließen.

Das entwickelte Modell kann weiterhin im Rahmen von Untersuchungen zum Programm Landschaftswasserhaushalt Brandenburg des Landesumweltamtes Brandenburg genutzt werden. Die aufgezeigte Bedeutung der sich ändernden klimatischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für den Wasserhaushalt des Feuchtgebietes Spreewald sollte auch in den Planungen für andere Gebiete Berücksichtigung finden.

Die Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) bietet weitere gute Voraussetzungen für die Anwendung der Ergebnisse des TGP. So werden in der EU-WRRL Bewirtschaftungspläne für jedes Flussgebiet gefordert, die geeignete Maßnahmen für das Erreichen der Umweltziele beschreiben. Die entwickelte Methodik bietet die Möglichkeiten hierfür. So kann die Wirkung von wasserwirtschaftlichen Maßnahmen im Einzugsgebiet auf das Grundwasserregime im Feuchtgebiet analysiert oder Möglichkeiten zur Wasser- und Stoffretention in der Niederung untersucht werden.

Das Modell VEGMOS kann prinzipiell auf andere Feuchtgebiete im Elbeeinzugsgebiet übertragen werden. Das Wasserstufenkonzept nach KOSKA et al. (2001) ist auf den Klimaraum, in dem die Feuchtgebiete des Elbeeinzugsgebietes liegen, übertragbar. Biotoptypenkarten stehen für viele Gebiete zur Verfügung, sie müssen allerdings mit Untersuchungen zur Vegetation unterlegt werden.

Das Modul zur naturschutzfachlichen Risikoanalyse (ERAW) stellt keine großen Software- und Hardwareanforderungen. Die Abfragevariablen sind interaktiv modifizierbar. Daher ist es ohne weiteres von Dritten (z.B. der Verwaltung des Biosphärenreservates) anwendbar, um weitere Wasserbewirtschaftungsstrategien in ihrer Wirkung auf die Schutzgüter zu simulieren. Damit ist über die Laufzeit von GLOWA hinaus ein Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung des Spreewaldes geleistet worden.

Mit den im sozio-ökonomischen Teilvorhaben entwickelten Ansätzen wurde eine Methodik zur systematischen Quantifizierung von Umwelt- und Ressourcenkosten bei der Modellierung von Gewässerbewirtschaftung mit dem ArcGRM Model erprobt. Es wurde gezeigt wie mit entsprechendem Aufwand die wasserwirtschaftliche Analyse um eine ökonomische Teilbetrachtung ergänzt werden kann. Die Berücksichtigung des ökonomischen Wertes von Feuchtgebieten bei der Wasserallokation in Flussgebieten ist eine immer wieder aufgestellte Forderung, z.B. durch die Ramsar Konvention. Die Ergebnisse weisen auf die Existenz und mögliche Höhe von Nutzungskosten hin, welche mit einer unzureichenden Wasserversorgung von Feuchtgebieten verbundenen sein können.

Die Ergebnisse des TGP werden voraussichtlich im März 2004 auf einem Workshop im Projektgebiet vorgestellt und mit allen interessierten Stakeholdern und Entscheidungsträgern diskutiert.

II-3 Während der Bearbeitung bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen

Im Auftrag des Landesumweltamtes Brandenburg wurde eine Studie zur Staugürtelschließung im Spreewald (LUA, 2002) erarbeitet. Große Teile dieser Arbeit standen dem Projekt in Abstimmung mit dem Landesumweltamt dankenswerter Weise schon vor der endgültigen Abnahme der Studie zur Verfügung und konnten so noch in den Modellaufbau einfließen. Inhaltlich betraf es vor allem die Vervollständigung und Aktualisierung der wasserwirtschaftlichen Anlagen, die Entwicklung der Verteilungsregeln und auch die Stauziele für die Staugürtel des UG.

Die Planungen für das GRSP Spreewald liefen teilweise parallel zum BMBF-Projekt und konnten sich durch die gute Zusammenarbeit mit dem Zweckverband des GRSP gut ergänzen. Aktuell erhobene Daten aus dem GRSP standen auch dem TGP Spreewald zur Verfügung, die Szenarien wurden teilweise gemeinsam entwickelt.

II-4 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Erfolgte Veröffentlichungen:

- Bangert, U., G. Vater, J. Heimann & I. Kowarik (2002): Modelling vegetation development as a contribution to long range wetland management in the Spreewald. *Verh. Ges. Ökol.* 32, 265.
- Bangert, U., G. Vater, J. Heimann & I. Kowarik (2003): Ecological risk assessment for wetland vegetation in the Spreewald under conditions of altered water supply. *Verh. Ges. Ökol.* 33, 332.
- Dietrich, O., M. Redetzky & K. Schwärzel (2002): Modelling the water balance of wetlands with drainage/sub-irrigation systems and surface water surplus integrated in watershed management model. Conference on Water Resources and Environment Research, Dresden 2002, Schriftenreihe des Institutes für Abfallwirtschaft und Altlasten, Volume I, Modeling Water Resources Management, S. 382-388.
- Dietrich, O. & K. Schwärzel (2002): Untersuchungen zu Auswirkungen des globalen Wandels auf den Wasserhaushalt von Feuchtgebieten am Beispiel des Spreewaldes. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, Band 32, Berlin 2002, S. 264.
- Dietrich, O. & M. Redetzky (2003): WbalMo Spreewald – ein Modell zur Analyse des globalen Wandels auf den Wasserhaushalt eines Feuchtgebietes mit Wasserbewirtschaftung. *WASY Aktuell* (Firmenschrift), H. 3, Oktober 2003, S. 1-3.
- Dietrich, O., J. Quast & M. Redetzky (2003): ArcGRM Spreewald - ein Modell zur Analyse der Wirkungen des globalen Wandels auf den Wasserhaushalt eines Feuchtgebietes mit Wasserbewirtschaftung. In: Kleeberg, H.-B. (Hrsg.): *Klima – Wasser – Flussgebietsmanagement - im Lichte der Flut -*. Beiträge zum Tag der Hydrologie am 20./21. März 2003 in Freiburg, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 4, S. 215-223.

- Dietrich, O. & J. Quast (2004): Wirkungen des globalen Wandels auf den Wasserhaushalt von Feuchtgebieten – Modelluntersuchungen am Beispiel des Spreewaldes. Fachtagung „Ökhydrologie & Hydrochemie von Mooren und Feuchtgebieten“, Sankelmark 6.-8. April 2003, Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung, Heft 1 (im Druck).
- Grossmann, M., O. Dietrich, U. Bangert, K. Schwärzel, G. Vater, V. Hartje, I. Kowarik, J. Quast & G. Wessolek (2002): Management strategies for regulated wetland ecosystems in the context of global change: case study Spreewald. German programme on Global Change in the Hydrological Cycle (Phase I, 2000 – 2003) Status Report 2002, S. 14-17.
- Heimann, J., U. Bangert, G. Vater, A. Wolter & I. Kowarik 2002: Auswirkungen des Klimawandels auf den Spreewald. Garten und Landschaft 8, 15-17.
- Monsees, J. & Grossmann, M. (2003): Institutionelle Arrangements zur Wasserregulierung: Staubeiräte in Brandenburg, UFZ Bericht (im Druck)
- Schwärzel, K., M. Renger, R. Sauerbrey & G. Wessolek (2002): Soil physical characteristics of peat soils. J. Plant Nutrition and Soil Science, No. 165, pg. 479-486.
- Vater, G., U. Bangert, J. Heimann, & I. Kowarik 2003: Modelling vegetation development on the basis of hydrological and land use data. Verh. Ges. Ökol. 33: 303.
- Wessolek, G., K. Schwärzel, M. Renger, R. Sauerbrey & C. Siewert (2002): Soil hydrology and CO₂ mineralization of peat soils. J. Plant Nutrition and Soil Science, No. 165, pg. 494-500.

Geplante Veröffentlichungen:

- Bangert, U., G. Vater, J. Heimann & I. Kowarik: Vorstellung der Ergebnisse im Rahmen eines geplanten PIK-Reports zu GLOWA-Elbe.
- Bangert, U., G. Vater, J. Heimann & I. Kowarik: Vegetation development and consequences for a long range wetland management in the context of global change. Englischsprachige Fachzeitschrift
- Dietrich, O., J. Quast & M. Redetzky: Wirkungen des globalen Wandels auf den Wasserhaushalt von Feuchtgebieten – Untersuchungen mit einem Langfristbewirtschaftungsmodell am Beispiel des Spreewaldes. Publikation zur Fachtagung „Moderne Methoden und Instrumentarien für die Wasserbewirtschaftung und den Hochwasserschutz“, Dresden 3.-4.11.2003.
- Dietrich, O. et al.: Vorstellung der Ergebnisse im Rahmen eines geplanten PIK-Reports zu GLOWA-Elbe.
- Dietrich, O., M. Redetzky & K. Schwärzel: Vorstellung des Wasserbewirtschaftungsmodells ArcGRM Spreewald und Anwendung für Untersuchungen zum globalen Wandel. Englischsprachige Fachzeitschrift
- Dietrich et al.: Vorstellung des integrativen Modellkonzepts des TGP Spreewald und Ergebnisse. Journal of Regional Environmental Change

- Grossmann, M., Lorenz, M., & K. Schwärzel: Economic valuation of CO₂ sequestration and emission from wetlands in the north east German lowlands.
- Grossmann, M., & Meyerhoff, J.: Impacts of unanticipated trip limitations on value of water based recreation in the Spree-Havel River Basin: application of a GIS approach to travel cost analysis.
- Grossmann, M. & Monsees, J.: Transformation von Governancestrukturen für die Wasserregulierung: empirische Untersuchung Anhand der Staubeiräte in Brandenburg
- Grossmann, M. & Hartje, V., Economic aspects of integrating wetland management into river basin management: a case study of the Spreewald / Spree – Havel River Basin.
- Lorenz, M., K. Schwärzel & G. Wessolek.: Torfschwund und CO₂-Freisetzung von Niedermoortorfen unter dem Einfluss globaler Klimaveränderungen am Beispiel des Spreewaldes
- Lorenz, M. et al.: Vorstellung eines Modellansatzes zur Abschätzung des Grünlandertrages von Feuchtgebieten unter dem Einfluss globaler Klimaveränderungen und deren sozio-ökonomische Folgen
- Lorenz, M., & K. Schwärzel: CO₂-Freisetzung von Niedermooren des nordostdeutschen Tieflandes unter dem Einfluss globaler Klimaveränderungen

Weitere Vorträge, Dissertationen, Diplomarbeiten s. EB der VH.

Literatur

- Bachfischer, R. 1987: Die ökologische Risikoanalyse. Diss., TU München, 276 S.
- Benkert, D. & G. Klemm (1993): Rote Liste der Farn- und Blütenpflanzen. In: Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg (MUNR) (Hrsg.) (1993): Rote Liste - Gefährdete Farn- und Blütenpflanzen, Algen und Pilze im Land Brandenburg. Unze: Potsdam, 216 S.
- Eiswerth, Englin, Fadali & Shaw (2000): The value of water in water-based recreation: A pooled revealed preference/contingent behavior model, in: Water Resources Research, Vol. 36, (4): 1079-1086.
- Göttlich, K. (Hrsg.) (1990): Moor- und Torfkunde. 3. Aufl., Schweizerbart, Stuttgart, 529 S.
- Haab & McConnell (2002): Valuing Environmental and Natural Resources. Cheltenham.
- Kächele, H. (1999): Auswirkungen großflächiger Naturschutzprojekte auf die Landwirtschaft: Ökonomische Bewertung der einzelbetrieblichen Konsequenzen am Beispiel des Nationalparks „Unteres Odertal“. Agrarwirtschaft, Sonderheft 163.

- Käding, H. (2000): Futtererzeugung auf dem Niedermoorgrünland – Einfluss von Standortbedingungen und Management, in: DLG Grünlandtagung: Niedermoor – Problemstandort und Futterquelle, pp. 27-33.
- Koska, I., M. Succow & U. Clausnitzer (2001): Vegetation als Komponente landschaftsökologischer Naturraumkennzeichnung. In: Succow, M & H. JOOSTEN (Hrsg.) (2001): Landschaftsökologische Moorkunde. 2. Aufl.; Schweizerbart: Stuttgart, 622 S.
- LAGS (1996): Pflege- und Entwicklungsplan für das Biosphärenreservat Spreewald. Landesanstalt für Grossschutzgebiete Brandenburg, Lübbenau.
- LUA (1996): Rahmenkonzept zur Wasserbewirtschaftung im Spreewald. Landesumweltamt Brandenburg, Cottbus, 63 S.
- LUA (2002): Staugürtelschließung Spreewald. Studie im Auftrag des Landesumweltamtes Brandenburg, Cottbus.
- MUNR (Hrsg.) (1998): Biosphärenreservat Spreewald Landschaftsrahmenplan. Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg, Potsdam, 294 S.
- Scholles, F. (1997): Abschätzen, Einschätzen und Bewerten in der UVP. Weiterentwicklung der Ökologischen Risikoanalyse vor dem Hintergrund der neueren Rechtslage und des Einsatzes rechnergestützter Werkzeuge, Dortmund (UVP-Spezial, 13).
- Succow, M. & H. Joosten (Hrsg.) (2001): Landschaftsökologische Moorkunde. 2. völlig neu bearb. Aufl.; Schweizerbart: Stuttgart.
- Wessolek, G., D. Eschner, M. Renger, K. Schwärzel & R. Sauerbrey (1999): Kennzeichnung der Bodenentwicklungsprozesse in Niedermooren. Ökolog. Hefte der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin, Endbericht der DFG-Forschergruppe: Grundlagen umweltschonender Bodennutzungsstrategien im norddeutschen Tiefland Heft 11, 228 S.

Abbildungen

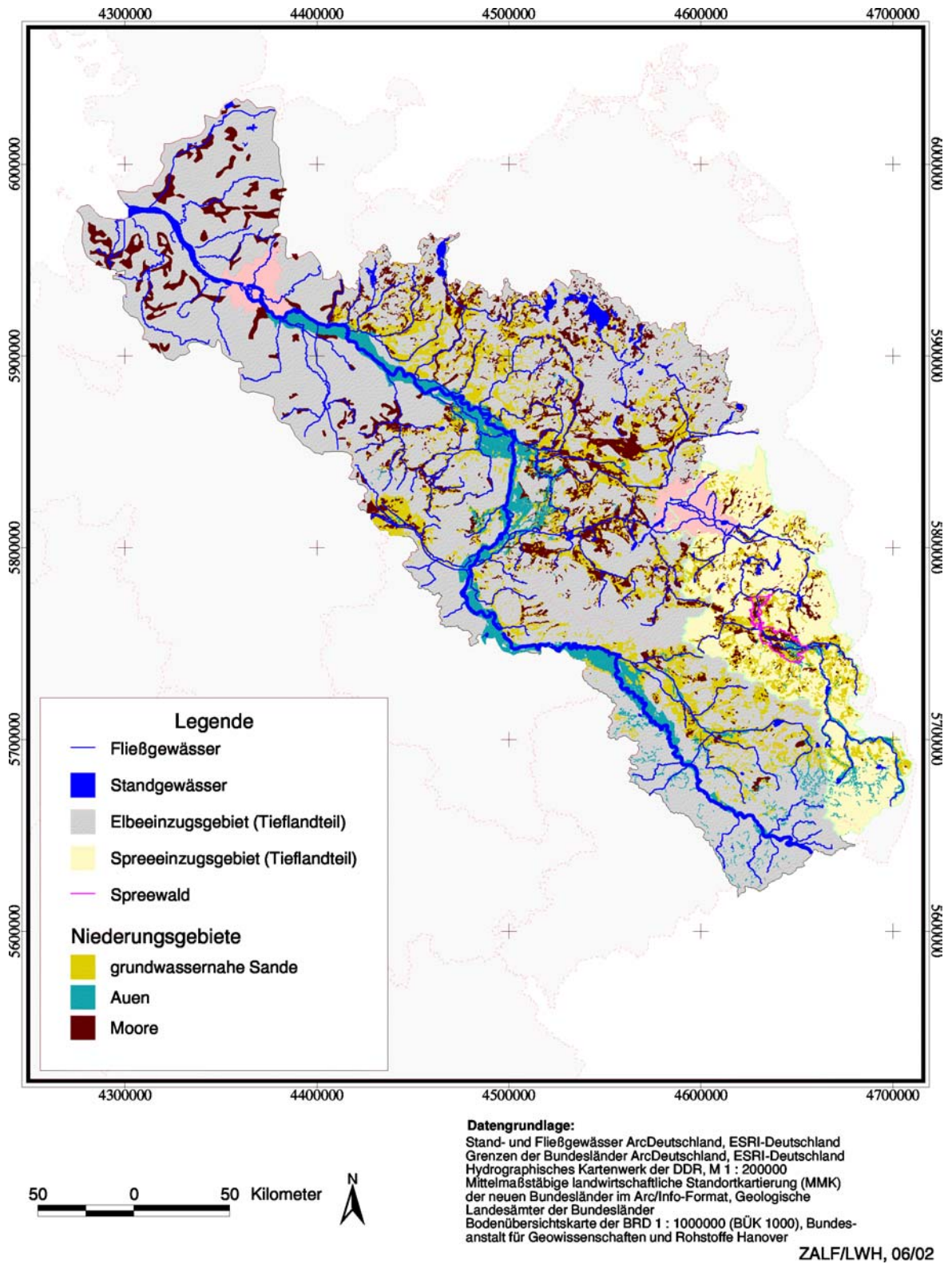


Abb. 1: Verbreitung grundwassernahe Standorte im Tiefland des Elbe-Einzugsgebietes

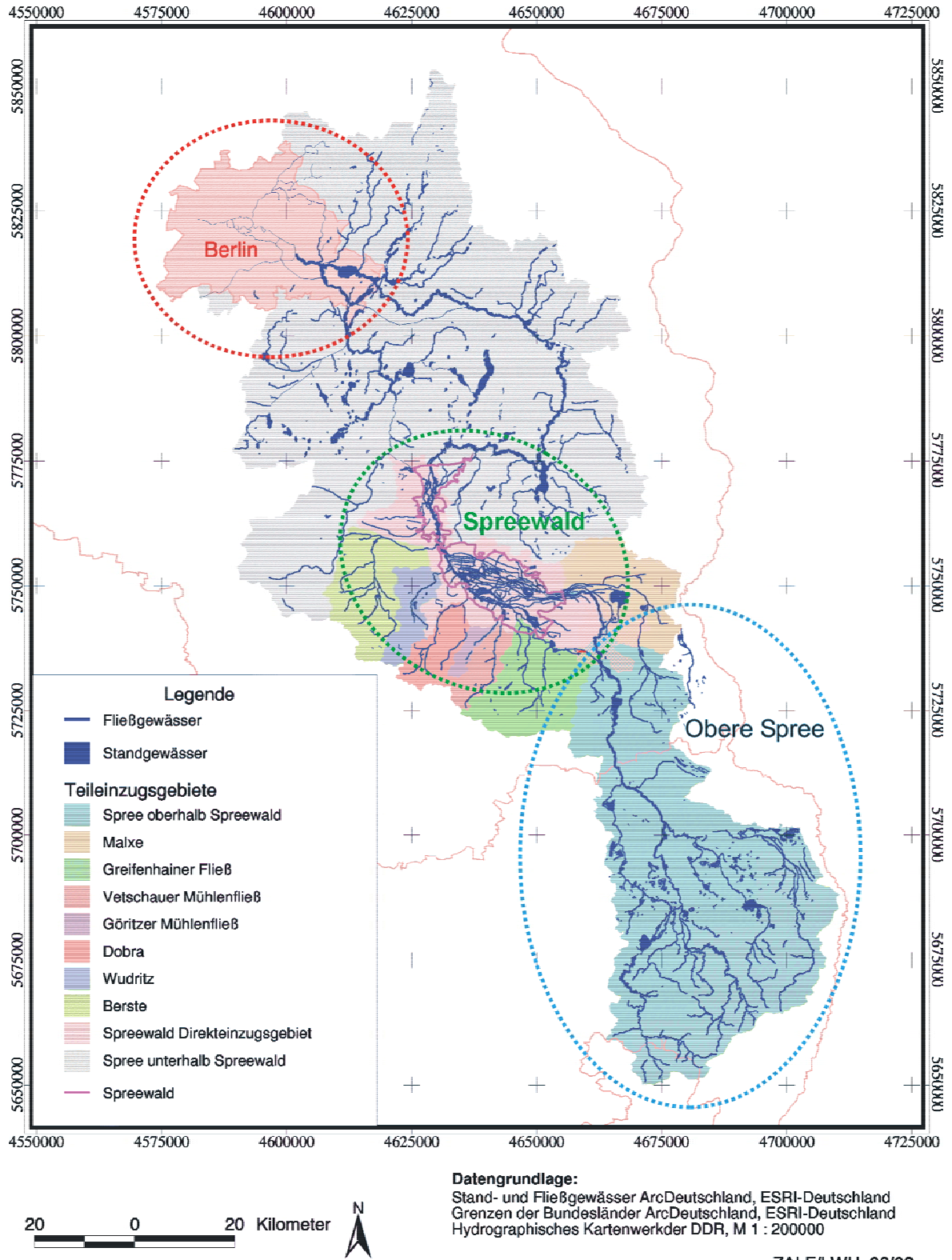


Abb. 2: Einordnung des Feuchtgebietes Spreewaldes zwischen bergbaubeeinflusstem Einzugsgebiet der Oberen Spree (Speisungsgebiet) und Ballungsraum Berlin (Wasserbedarfsgebiet)

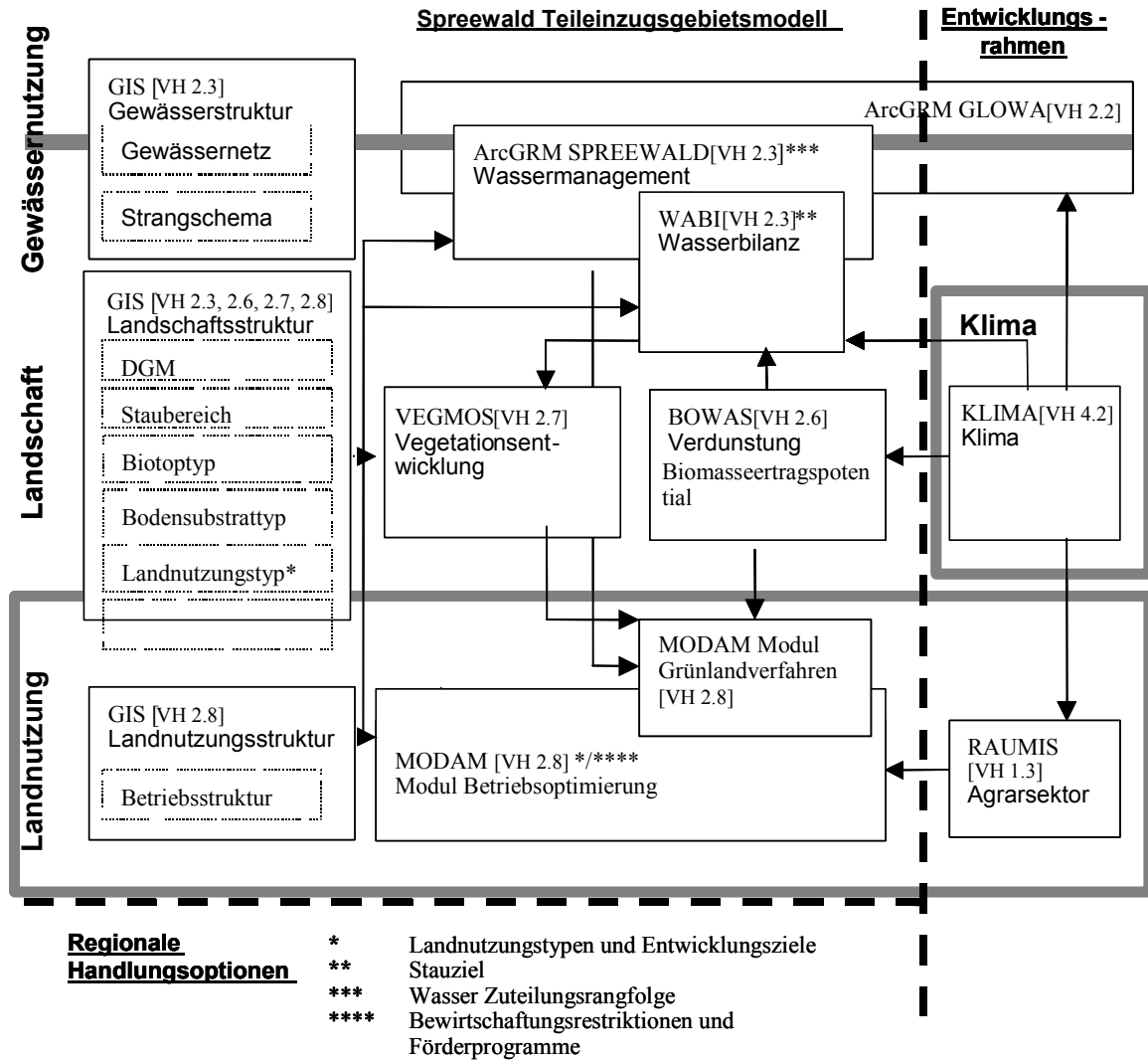


Abb. 3: Integrationskonzept TGP Spreewald

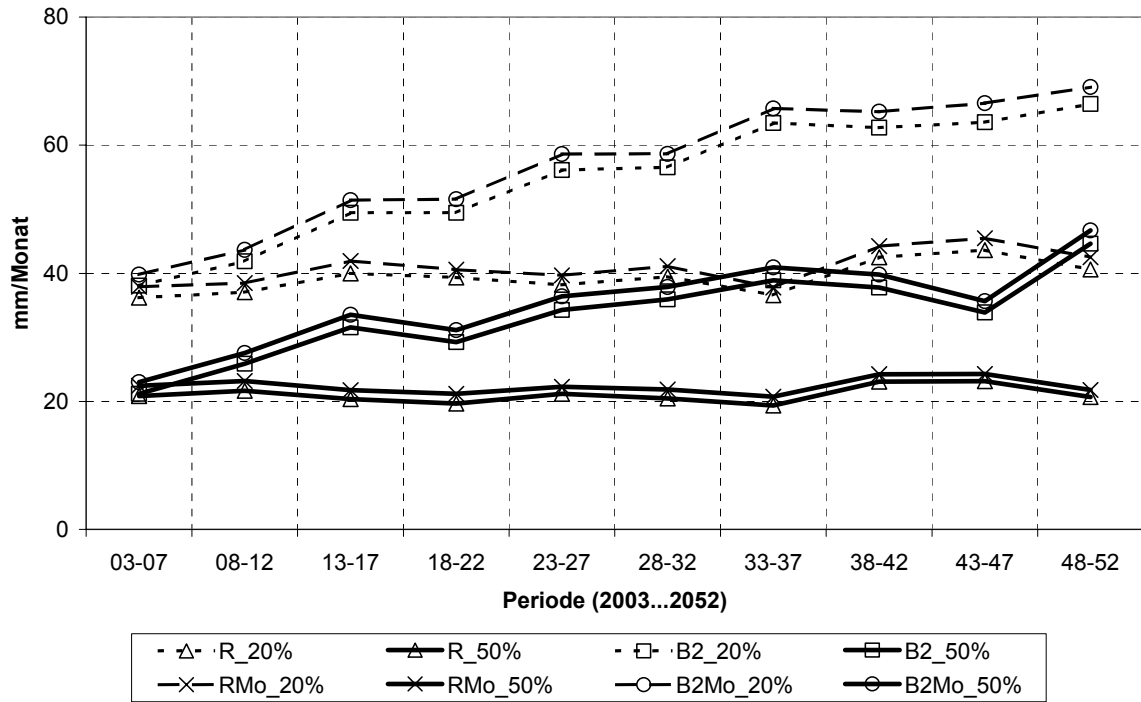


Abb. 4: Juli – Perzentile des Zusatzwasserdefizits des Referenz- (R) und B2-Basisszenarios (B) ohne und mit (Mo) Priorität Moorschutz

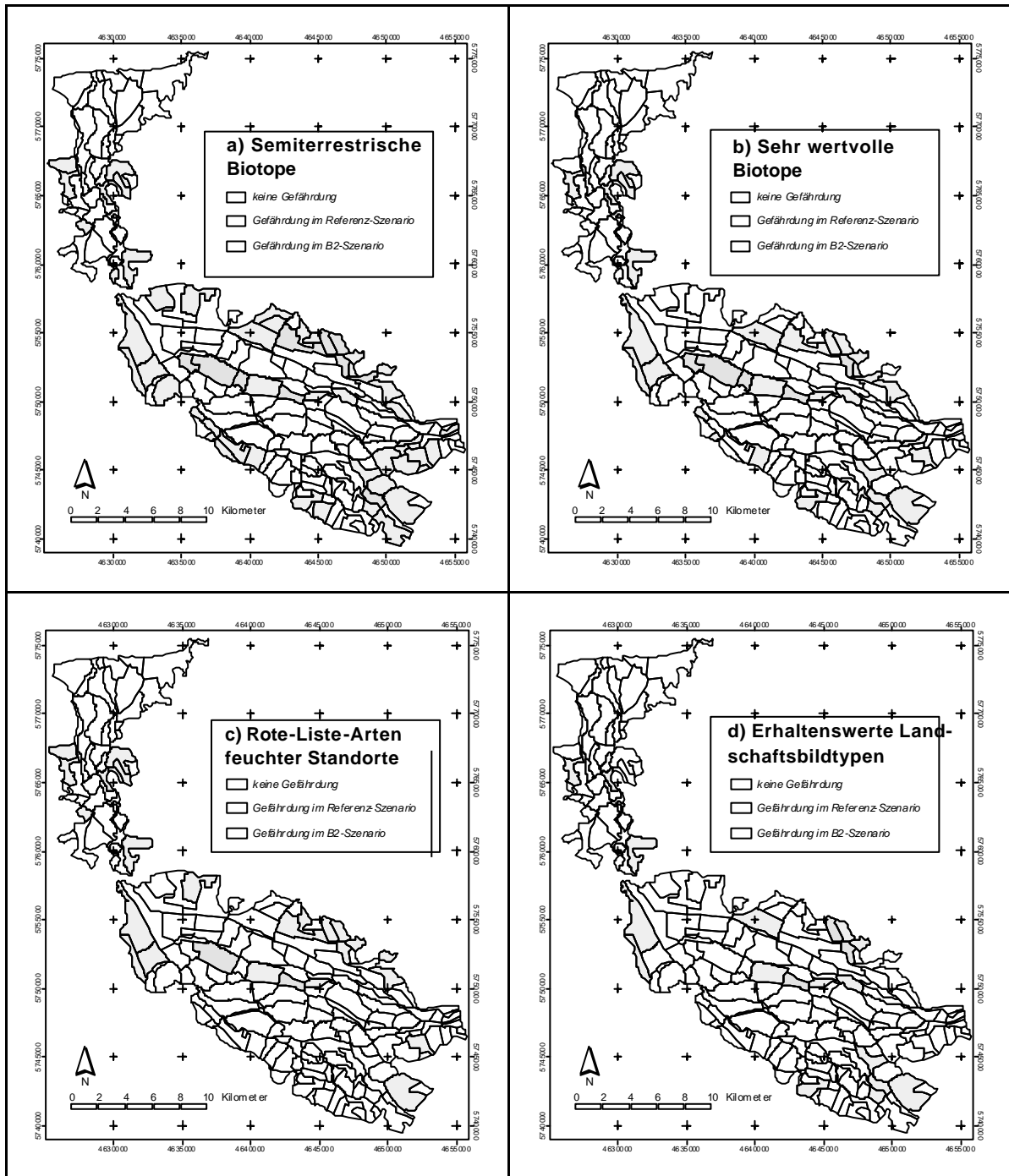


Abb. 5 Staubereiche des Spreewaldes, in denen eine Gefährdung besonders schutzwürdiger Landschaftselemente zu erwarten ist.

- a) Semiterrestrische Biotope (Klassifizierung nach Wasserstufen, SUCCOW & JOOSTEN 2001)
- b) Sehr wertvolle Biotope (Wertstufe des Pflege- und Entwicklungsplans, LAGS 1996)
- c) Habitate von Pflanzenarten der Roten Liste Brandenburgs (Klassifizierung nach BENKERT & KLEMM 1993)
- d) Erhaltenswerte Landschaftsbildtypen (Wertstufe des Landschaftsrahmenplans, MUNR 1998)

Modellrechnung ERAW für eine mittlere Empfindlichkeit der Leitvegetation/Arten; für die Staubereiche wird eine Gefährdung ausgewiesen, wenn bereits ein Habitat oder ein Biotop (Flächenanteil $\geq 1\%$), die von besondere Bedeutung für den Naturschutz sind, gefährdet werden

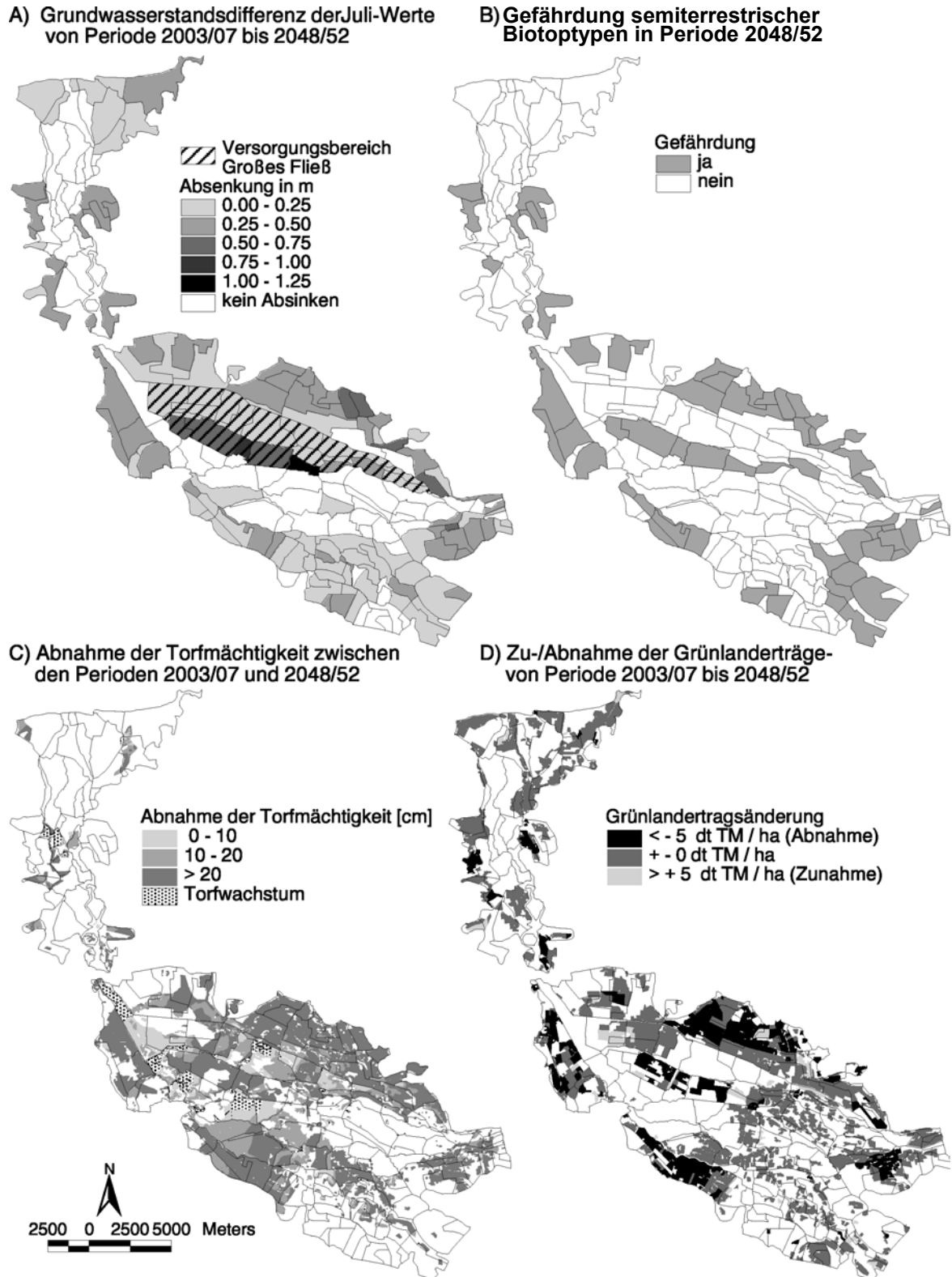


Abb. 6: Wirkungen des globalen Wandels auf A) Wasserhaushalt, B) semiterrestrische Biotoptypen, C) Abnahme der Torfmächtigkeit und D) Grünlandertrag

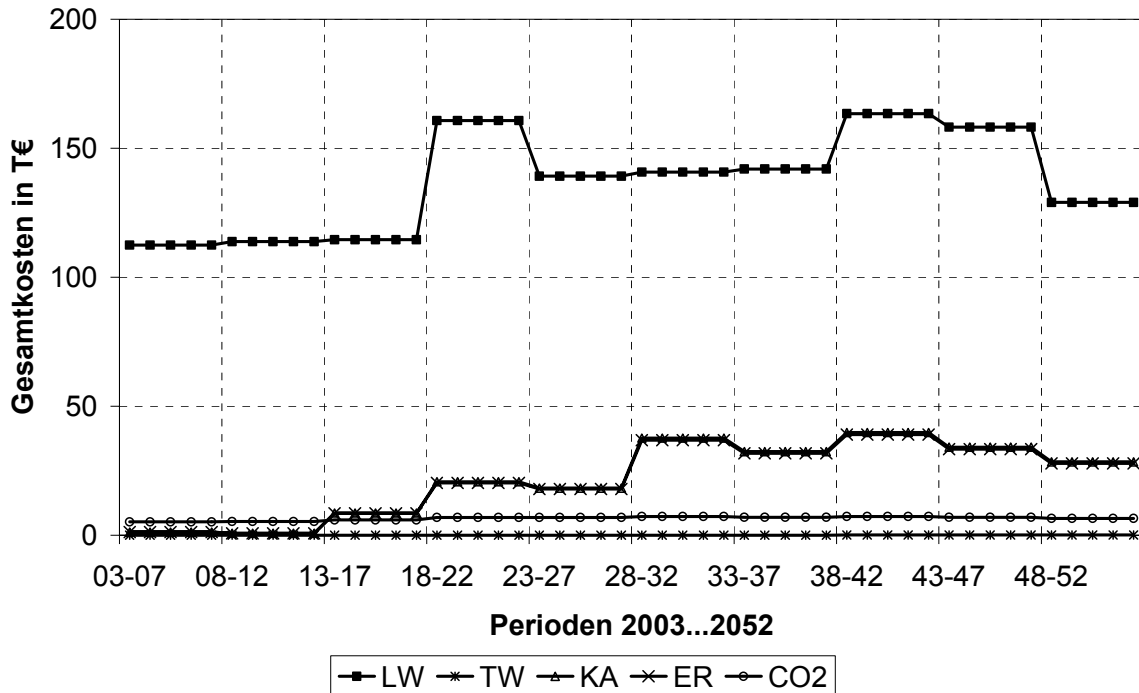


Abb. 7: Verlauf der Gesamtkosten (€₂₀₀₂) der Unterschreitung der Stauziele im Referenzszenario für Landwirtschaft (LW), Teichwirtschaft (TW), Kahnschifffahrt (KA), Erholungsnutzen (ER) und CO₂-Emissionen (CO2) im Zeitraum 2003 bis 2052

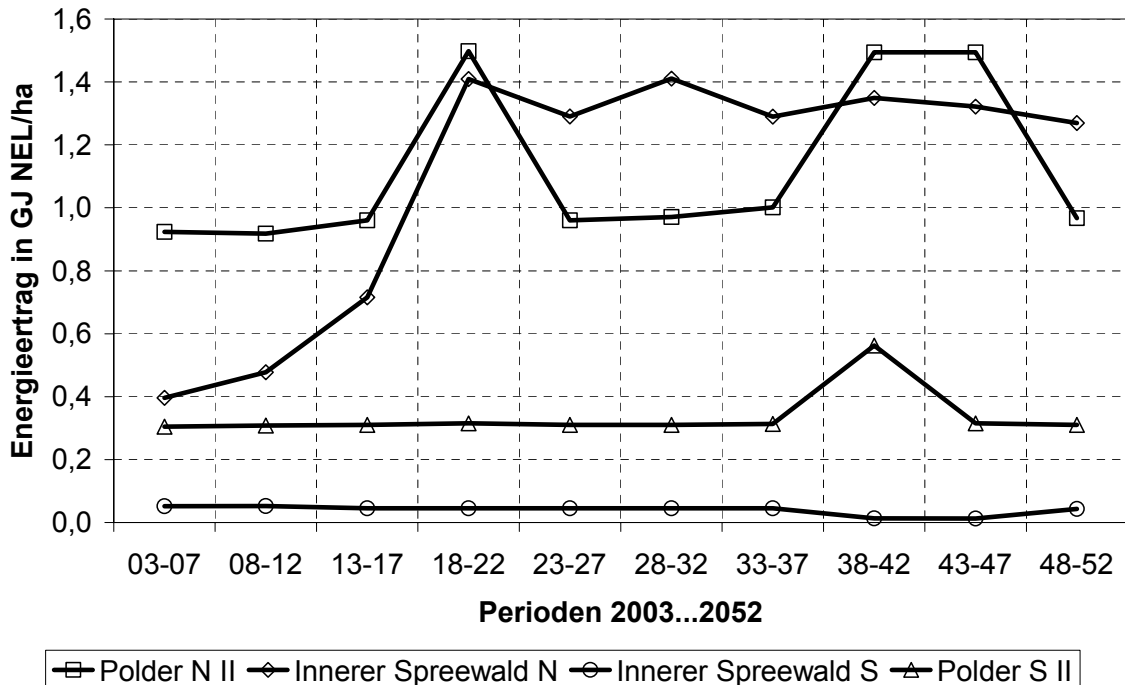


Abb. 8. Rückgang des Netto-Energieertrags für das 50. Perzentil des Referenzszenarios in ausgewählten Bilanzräumen des Oberspreewalds im Zeitraum 2003 bis 2052 (Polder N II und Innerer Spreewald N sind im Vorteilsbereich der Malxe, Polder S II und Innerer Spreewald S sind im Vorteilsbereich der Spree)