

KAPITEL 1

**Veränderung eines Stadt-Land-Fluss
Systems im Verlauf des Klimawandels -
eine Szenarienstudie für das deutsch-
tschechische Flussgebiet der Elbe**

1	Veränderung eines Stadt-Land-Fluss Systems im Verlauf des Klimawandels - eine Szenarienstudie für das deutsch-tschechische Flussgebiet der Elbe	3
1.1	Einleitung	3
1.2	Material und Methoden	5
1.2.1	Das Elbe Einzugsgebiet	5
1.2.2	Generelles Vorgehen	6
1.2.3	Modellansätze für die Bilanzanalysen von Wassermenge und Wassergüte, Nährstoffeinträgen und Güteanforderungen in Bezug auf Oberflächengewässern	8
1.2.4	Vorgelagerte Projektionen zur Wassernachfrage, zur Entwicklung der Nährstoffeinträge, zum Klima und zum Wasserdargebot.....	9
1.2.5	Nachgelagerte Analysen zu den Kosten von Wasserbilanzkonflikten und Maßnahmen zur Verminderung der Nährstofffrachten	12
1.3	Ergebnisse	12
1.3.1	Sozioökonomischer Entwicklungsrahmen.....	12
1.3.2	Klima	14
1.3.3	Wasserdargebot und Erträge	15
1.3.4	Wassermengenkonflikte	15
1.3.5	Gewässergütekongflikte	17
1.4	Schlussfolgerungen	18
1.5	Literatur	18

1 Veränderung eines Stadt-Land-Fluss Systems im Verlauf des Klimawandels - eine Szenarienstudie für das deutsch-tschechische Flussgebiet der Elbe

Frank Wechsung

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V.
Telegrafenberg A62, 14412 Potsdam

Phone: +49(0)331 288 2665

e-mail. wechsung@pik-potsdam.de

Abstract

Die Empfindlichkeit von Stadt-Land-Flusssystemen gegenüber dem Klimawandel hängt wesentlich von der Ausprägung der sozioökonomischen Komponenten des globalen Wandels und von den gewählten Anpassungsstrategien ab. Für die Anpassung des Oberflächenmanagements an die Herausforderungen des globalen Wandels wurde ein Netzwerk von Modellen und Projektionen entwickelt und für das deutsch-tschechische Flussgebiet der Elbe exemplarisch angewandt. Das Netzwerk präzisiert globale Projektionen für die Ebene des Elbeeinzugsgebietes und ermittelt deren Konsequenzen für das landschaftliche Wasserdargebot, für die Nachfrage nach Oberflächenwasser durch öffentliche Wasserversorgung, Industrie und Kraftwerke und für die Einleitung von Nährstoffen aus Punkt- und diffusen Quellen in das Gewässersystem der Elbe. Die Klimaprojektionen umfassen die Periode 2004-2055. Die sozioökonomischen Projektionen betrachten mögliche Änderungen bis 2020. Der bis dahin erreichte Status wird bis 2055 fortgeschrieben. Die Simulationsexperimente mit dem Modellverbund des Netzwerkes haben gezeigt, dass Schifffahrt und thermische Kraftwerke von einem Rückgang des Oberflächenwasserdargebots besonders betroffen sein könnten, wobei die heutige Empfindlichkeit der Energieerzeugung durch den zunehmenden Einsatz der Kreislaufkühlung absehbar eliminiert werden kann.

Die Gewässergüte der Elbe wird sich durch eine Verminderung des landschaftlichen Wasserdargebots nicht oder nur gering verbessern. Die langfristigen Ziele für die Reduktion des Nährstoffeintrages in die Nordsee können nur durch entschiedene Maßnahmen erreicht werden. Ansätze sind die Eliminierung des N-Überschusses in der Landwirtschaft, die Verminderung der NO_x und NH_y-Emissionen aus Industrie, Verkehr und Landwirtschaft sowie die Ausweitung der konservierenden Bodenbearbeitung in der Landwirtschaft.

1.1 Einleitung

Die Diskussion um den Klimawandel und seine Folgen hat sich seit Beginn des Jahrtausends erheblich intensiviert. Der aktuelle Wissenstand zu den Grundlagen und möglichen Folgen des Klimawandels wurde im letzten IPCC-Report (Pachauri & Reisinger, 2007) zusammengefasst. Trotz der nach wie vor bestehenden Unsicherheiten hat das öffentliche Interesse an Szenarien zu möglichen Richtungen des regionalen Klimawandels und den daraus resultierenden Folgen zugenommen. Die strategische Gestaltung der Relation Stadt-Land-Fluss spielt dabei eine zentrale Rolle. Die großen Städte der Welt liegen häufig an bedeutenden Flüssen. Die Städte bildeten sich an Knotenpunkten zwischen den verschiedenen Transportwegen und nutzten gleichzeitig die günstigen Bedingungen für die Anlieferung von Massengütern, um ihr eigenes Wachstum voran-

zutreiben. Wichtige Industriezweige der Grundstoffindustrie (Chemie, Papierherstellung) und die großen Kraftwerke haben sich bevorzugt an Flüssen niedergelassen, wo sie ausreichend Wasser insbesondere zur Abführung von Prozesswärme vorfanden. Oberflächenwasser aus Flüssen spielt eine wichtige Rolle bei der Trinkwasserversorgung in vielen Städten. Sie sind zugleich der Weg auf dem das verbrauchte Wasser wieder die Stadt verlässt.

Die im Verlauf einer zunehmend intensiveren Nutzung der Flüsse aufgetretene Rückgang der Wasserqualität und die bauliche Einfassung der Flüsse führte in den Industrieregionen des 20. Jahrhunderts zu unterschiedlichen Zeiten zu einer Einschränkung der Lebensqualität insbesondere in den Städten. In den Ländern der Europäischen Union wurde lange vor der Wasserrahmenrichtlinie hierauf durch gesetzliche Vorschriften u. a. zur Abwasserklärung, zur zugelassenen Aufwärmung von Flussgewässern und zum morphologischen Rückbau von Flussabschnitten reagiert. Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie gibt der vielfachen Nachfrage nach einer naturnahen Flusslandschaft einen normativen Ausdruck neuer Qualität. Für die Flussgebiete wurden mittel- und langfristige Entwicklungsziele gesetzt, die eine strategische Betrachtung der Systeme Stadt-Land-Fluss erfordern. Nutzungsansprüche und Nutzungskapazitäten sind vorausschauend miteinander zu bilanzieren. Um den ökonomischen Aufwand für die Zielerreichung zu minimieren sind möglichst treffsichere Abschätzungen zu den Randbedingungen aktueller und künftiger Wassernutzung notwendig. Hierzu gehören die regionale demographische und ökonomische Entwicklung, der technologische Wandel, mögliche Veränderungen im natürlichen Wasserangebot und die Einbettung dieser Prozesse in den globalen Wandel. Zum globalen Wandel gehören sowohl der Klimawandel als auch die globale Bevölkerungs- und Wohlstandsentwicklung.

Der Klimawandel wirkt zunächst unmittelbar durch seine mögliche Modifikation des regionalen natürlichen Wasserangebots. Mittelbar kann er aber auch im Wechselspiel mit den sozioökonomischen Komponenten des globalen Wandels die Randbedingungen für Stadt-Land-Fluss Systeme wesentlich verändern. Dies wird augenfällig illustriert durch die in den letzten Jahren erfolgte Ausdehnung des Anbaus von landwirtschaftlichen Kulturen zur Gewinnung von Energie und Treibstoffen. Der Klimawandel, obwohl nicht in jedem Fall ausschlaggebendes Motiv, hat wesentlich zur Akzeptanz und Motivierung der hiermit verbundenen direkten und indirekten Subventionen beigetragen. Die infolgedessen eingetretene Verknappung von agrarischen Rohstoffen hat der landwirtschaftlichen Flächennutzung und damit auch der Wasserinanspruchnahme durch die Landwirtschaft eine starke Aufwertung verliehen. In Bezug auf den Klimawandel zeigt dies wie Anpassungsmaßnahmen auf den Klimawandel die Randbedingungen des regionalen Wasserhaushaltes verändern können. Genereller betrachtet, wird ein wichtiger Wirkungspfad globaler Prozesse deutlich, der die Relationen Stadt-Land-Fluss erheblich verändern könnte. Nach Jahrzehnten des Bedeutungsverlustes landwirtschaftlicher Flächennutzung in Europa gibt es wieder einen deutlichen Nachfrageanstieg, der durch globale Prozesse angetrieben wird. Neben dem Bedarf an Fläche für die Energie- und Kraftstoffproduktion ist hier vor allem die gestiegene zahlungsfähige Nachfrage nach tierischen Produkten aus Asien zu nennen. Sie wird anhalten und sich noch ausweiten, womit die gegenwärtigen Intensivierungsanreize für die landwirtschaftlichen Flächen mindestens auf dem heutigen Niveau verharren dürften.

Das Elbeeinzugsgebiet in Mitteleuropa (Abb. 1), das die westliche Hälfte der tschechischen Republik im Unterlauf, 85% der Fläche Ostdeutschlands im Mittellauf und den nordwestlich davon befindlichen Mündungsbereich zur Nordsee umfasst, ist auf Grund der vergleichsweise geringen

Jahresniederschläge einerseits besonders anfällig gegenüber Minderungen im natürlichen Wasserdargebot. Andererseits, hat sich jedoch die Wassernachfrage nach Trink-, Kühl- und Prozesswasser in den letzten 15 Jahren deutlich verringert. Die Einleitung von Nährstoffen aus Punkt- und diffusen Quellen wurde durch eine bessere Klärung der Abwässer und Absenkung der Nährstoffüberschüsse ebenfalls deutlich vermindert. Wenn sich diese Entwicklung fortsetzt, mindert das die tatsächliche regionale Empfindlichkeit gegenüber den wasserbezogenen Auswirkungen des Klimawandels. Um die regionale Relevanz eines möglichen Klimawandels tatsächlich abschätzen zu können, ist eine regionale Bilanzierung der möglichen Veränderungen beim Wasserdargebot und der Wassernachfrage, bei den Nährstoffeinleitungen und den Wassergüteansprüchen erforderlich.

Die Szenarienstudie GLOWA-Elbe 2 hat eine solche Bilanzierung für den Bereich der Oberflächengewässer Bezug nehmend auf die Periode 2004 bis 2055 vorgenommen. Vorgehen und Ergebnisse der Bilanzierung werden im Folgenden vorgestellt. Sie verdeutlichen mögliche Veränderung von Stadt-Land-Fluss Systemen im Verlauf des Klimawandels.

1.2 Material und Methoden

1.2.1 Das Elbe Einzugsgebiet

Die Elbe (148 268 km²) ist nach Donau, Weichsel und Rhein das viertgrößte Flusseinzugsgebiet Mitteleuropas (Abb. 1). In der Region leben 24.5 Mio Menschen. Das Gebiet befindet sich im Übergangsbereich zwischen atlantisch und kontinental geprägtem Klima. Ersteres ist durch einen ausgeglichenen Jahresverlauf von Niederschlägen und Temperatur gekennzeichnet. Für letzteres sind trockene und warme Sommer im Wechsel mit kalten Wintern kennzeichnend, wobei das Gesamtniederschlagsniveau geringer ist. Die Hälfte des Gebietes weist Höhen von unter 200 m auf, ca. 1/3 des Elbegebietes kann dem Hügelland (500-750 m) zugerechnet werden, auf das Bergland (750-1200 m) entfallen 17%. Die Hauptgebiete befinden sich in Deutschland (97 175 km², 65.54%) und Tschechien (49 933 km², 33, 68%). Die wichtigsten Städte auf deutscher Seite sind Hamburg, Magdeburg, Berlin, Leipzig und Dresden und auf tschechischer Seite Prag (Zahlenangaben nach Simon, Bekele, Kulasova, Maul, Oppermann & Rehak, 2005).

1. Veränderung eines Stadt-Land-Fluss Systems im Verlauf des Klimawandels – eine Szenarienstudie für das deutsch-tschechische Flussgebiet der Elbe (Wechsung)

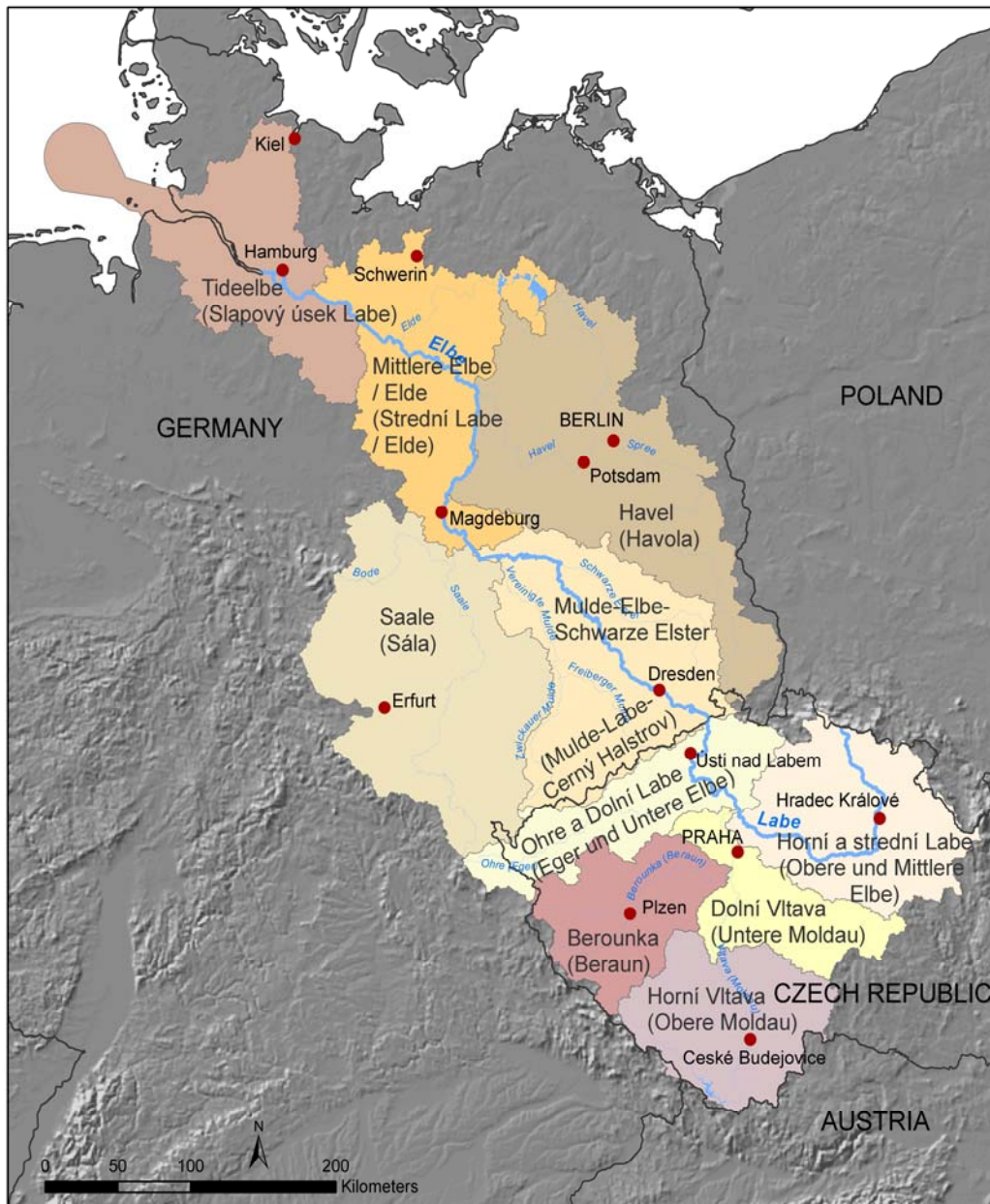


Abbildung 1: Die Elbe, ihr Einzugsgebiet und wichtige Teilgebiete

1.2.2 Generelles Vorgehen

Die Szenarienanalyse beruht auf Projektionen zu Wassernachfrage und Wasserdargebot, von Nährstoffeinleitungen und Vorgaben für die Gewässergüte für den Zeitraum 2004-2055. Das Klima wird transient fortgeschrieben. Basierend auf der Klimaprojektion werden auch die Projektionen für das Wasserdargebot transient vorgenommen. Wassernachfrage und Wassereinträge der Nutzer und Vernutzer von Oberflächengewässern werden für das Zieljahr 2020 projiziert. Für die Kraftwerke erfolgt eine darüber hinausgehende Projektion bis ins Jahr 2030. Zwischen 2004

und 2020 bzw. 2030 wird linear interpoliert. Für den Kraftwerksbereich werden zusätzliche Stützstellen genutzt. Für den Wasserbedarf zwischen 2020 bzw. 2030 und 2055 werden vereinfacht die Verhältnisse von 2020 bzw. 2030 fortgeschrieben. Die Projektion und Bilanzierung von Wassernachfrage und Wasserdargebot erfolgt flächendeckend für das gesamte Einzugsgebiet unter Berücksichtigung aller relevanten Wassernutzer und Nährstoffeinleiter in der Region. Ökonomische Bewertung und die daran anschließende vergleichende Betrachtung von Handlungsalternativen bleibt auf das deutsche Teilgebiet beschränkt.

Die Projektionen für Klima, Wasserdargebot und Wassernachfrage, Nährstoffeintrag und Wassergüteanforderung nehmen Bezug auf vier unterschiedliche Entwicklungsrahmen für die regionale Entwicklung. Ein Entwicklungsrahmen ist definiert als Zusammenfassung von Wandelszenarien externer Triebkräfte (Driving Forces), die innerhalb der Untersuchungsregion von Einzelakteuren nicht beeinflussbar sind (Bevölkerungsentwicklung, Wirtschaftswachstum, technologischer Wandel etc.). Entwicklungsrahmen bilden in dieser Szenarienstudie teilweise den unmittelbaren Kontext für Szenarioanalysen und die Untersuchung von Handlungsstrategien. Teilweise wird auf die Entwicklungsrahmen im nachhinein Bezug genommen, um Handlungsstrategien, die übergreifend definiert wurden nachträglich einzuordnen.

Jedem Entwicklungsrahmen liegen spezielle Annahmen zu Grunde, die auf einer besonderen Zukunftsvision beruhen. Bezugssystem für die Definition der Entwicklungsrahmen sind die vom IPCC postulierten grundsätzlichen makroökonomischen Entwicklungspfade des globalen Wandels im 21. Jahrhunderts. Zwei Pfade werden herausgegriffen und dann jeweils durch zwei Politikvarianten untersetzt. In Verlängerung der IPCC Pfade A1 und B2 werden die Entwicklungsrahmen ‚Globalisierung‘ und ‚Differenzierung‘ definiert. Sie folgen unmittelbar, den für A1 und B2 unterstellten dominanten Entwicklungsparadigmen und werden analog bezeichnet. In Konsistenz mit A1 wird in ‚Globalisierung‘ von einem Voranschreiten von Globalisierungsprozessen ausgegangen mit hohem Produktivitätswachstum und einer Angleichung von Entwicklungsunterschieden. In Verlängerung von B2 bleiben im Entwicklungsrahmen ‚Differenzierung‘ regionale Entwicklungsunterschiede länger erhalten, u. a. auch weil die Einhaltung von Nachhaltigkeitskriterien für die Nutzung von Naturressourcen stärker in den Vordergrund gestellt wird.

Nicht in jedem Fall führen unterschiedliche Entwicklungsrahmen zu einer Variation in den Projektionen. Obwohl die Szenarien des IPCC ursprünglich im Hinblick auf die Klimaproblematik formuliert wurden, gibt es bis 2055 hier kaum Unterschiede zwischen den Entwicklungsrahmen. Bis Mitte des Jahrhunderts liegen die CO₂-Konzentrationen nach den verschiedenen Emissionszenarien des IPCC noch relativ nahe beieinander. Auf eine Widerspiegelung dieser relativ kleinen Differenzen in unterschiedlichen Klimaszenarien kann verzichtet werden, da die Unsicherheitsbereiche der verschiedenen Szenarien sich stark überlappen würden. Der Unsicherheit von Klimaprojektionen wird Rechnung getragen durch Parametervariation bei der modellgestützten Szenariengenerierung. Die Parametervariation führt zu 100 statischen Realisierungen eines Klimaszenarios. Die von den 100 Realisierungen aufgespannte Weite von unterschiedlichen Niederschlagsentwicklungen wird in den anschließenden Analysen genutzt, um die Bandbreite möglicher Folgen auf die Oberflächengewässer abzuschätzen.

1.2.3 Modellansätze für die Bilanzanalysen von Wassermenge und Wassergüte, Nährstoffeinträgen und Güteanforderungen in Bezug auf Oberflächengewässern

Auf der Bilanzierungsebene werden zwei Modelle eingesetzt: WBalMo (Kaltoven, Hentschel & Kaden, 2008, Kapitel 3.1) und MONERIS (Behrendt, Venohr & Opitz, 2008, Kapitel 4.1). WBalMO bilanziert das Dargebot und die Nachfrage von Oberflächenwasser für 975 Teileinzugsgebiete. Die Teileinzugsgebiete werden teilweise noch einmal nach Bilanzprofilen untergliedert. Zu den wassernachfragenden Akteuren in Form von Durchfluss- und Entnahmeanforderungen gehören die Industrie, thermische Kraftwerke, die Landwirtschaft, Binnenfischerei, Kommunale Anlagen der Trinkwassergewinnung, der Rekultivierungsbergbau mit seinen Forderungen zur Tageauseflutung sowie Anlagen zur Stromerzeugung. Hinzu kommen wichtige Bewirtschafter von Wasserressourcen, wie Kläranlagen, Talsperren und ähnliches (vg Tabelle 1).

Table 1: Modellhaft in WBalMo berücksichtigte Wassernutzer des Elbeeinzugsgebietes gegliedert nach Sektoren und Länderzugehörigkeit

	Wassernutzer	
	Tschechien	Deutschland
Teichwirtschaft	1	59
Industrie	30	78
Thermische Kraftwerke	17	25
Beregnung	15	86
Schleusen	*	25
Wasserkraftanlagen	*	50
Öffentliche Wasserversorgung	34	94
Feuchtgebiete	0	35
Flutung von Tagebaurestlöchern	*	19

* bisher keine Daten

Die Bilanzierung erfolgt monatsweise für die statistischen Wasserdargebotsverhältnisse einer Pentade und monatsweise vorgegebene Erwartungswerte für die Nachfragemengen. Die statistischen Wasserdargebotsverhältnisse einer Pentade im Zeitraum 2004-2053 werden durch 100 Realisierungen der Abflussverhältnisse einer Fünfjahresfolge repräsentiert also je Pentade von insgesamt 500 Jahreswitterungsverläufen.

Das Modell MONERIS ermittelt für ein gegebenes Wasserdargebot die Stofffrachten der Makronährstoffe Stickstoff und Phosphor, die über verschiedene Eintragungspfade zunächst in das Flusssystem und von dort in die Nordsee gelangen.

Folgende Eintrittspfade werden berücksichtigt: punktuelle Eintrittspfade aus kommunalen Kläranlagen und industriellen Direkteinleitern, diffuse Eintrittspfade über atmosphärische Depositionen, Erosion, Abschwemmung, Grundwasser und Dränagen.

MONERIS verwendet eine zu WBalMo analoge Teileinzugsgebietsgliederung, die modellintern nicht weiter untersetzt wird. Die Einträge werden verglichen mit normativen Zielen für den Gebietsaustrag in die Nordsee und von Konzentrations- und Gütezielen für einzelne Abschnitte des Gewässersystems. Zur Einschätzung der Eintragsfolgen auf die Gewässergüte wird für den Hauptstrom eine klimaabhängige Umrechnung der Nährstoffkonzentrationen in Eutrophierungsniveaus mit dem Gewässergütemodel QSIM (Quiel, Fischer, Kirchesch, Becker & Schöl, 2008, Kapitel 4.3) angeschlossen.

1.2.4 Vorgelagerte Projektionen zur Wassernachfrage, zur Entwicklung der Nährstoffeinleitungen, zum Klima und zum Wasserdargebot

Wassernachfrage

Die den Bilanzrechnungen vorangestellten Projektionen beziehen sich mit Ausnahme des Klimas auf vier verschiedene Entwicklungsrahmen. Der Entwicklungsrahmen wird zum einen im Rahmen jeder Einzelprojektion bereichsspezifisch konkretisiert zum anderen wird in den Einzelprojektionen aufeinander Bezug genommen, soweit es eine kausale Beziehung zwischen diesen gibt. Von zentraler Bedeutung für die vorgelagerten Projektionen ist die makroökonomische Untersetzung der Szenarien ‚Globalisierung‘ und ‚Differenzierung‘.

Mit Hilfe eines makroökonomischen Modells werden vorliegende Projektionen zur globalen ökonomischen Entwicklung für Deutschland und Tschechien spezifiziert und schließlich regionalisiert (Blazejczak, Gornig, Schulz & Schäpel, 2008, Kapitel 2.3). Die Spezifizierung beinhaltet Projektionen zur Entwicklung der Volkswirtschaft insgesamt und zur Entwicklung einzelner Sektoren.

Als Ergebnis der makroökonomischen Regionalisierung liegen für alle Raumordnungsregionen im deutschen Teil des Elbeeinzugsgebietes und für die NATS 2 Regionen des tschechischen Teilgebietes Projektionen zur Entwicklung des Bruttosozialprodukts, der Bevölkerung und der Beschäftigten bis ins Zieljahr 2020 vor.

Die Projektionen zur Sektorentwicklung werden auf den Nettoproduktionswert der einzelnen Industriestandorte übertragen.

Die Wassernachfrage der Industrie wird standortweise durch Multiplikation mit dem spezifischen Wasserverbrauchfaktor ermittelt, der je Einheit Bruttowertschöpfung definiert ist und separat projiziert wird (Mutafoğlu, 2008, Kapitel 2.7). Die Projektion des spezifischen Wasserverbrauchsfaktors basiert auf Abschätzungen und Umfragen zur sektorspezifischen Entwicklung des technologischen Wasserverbrauchs abgestuft nach Entwicklungsrahmen. Hierzu wurden neben der verfügbaren Literatur Umwelterklärungen von Unternehmen, Patentanmeldungen und Merkblätter zu den europaweit verfügbaren besten Techniken berücksichtigt (Hillenbrand, Sartorius & Walz, 2008, Kapitel 2.9).

Für die Energiewirtschaft findet eine separate Betrachtung statt (Vögele & Markewitz, 2008, Kapitel 2.6). Die Energiewirtschaft ist der Industriesektor mit dem relativ höchsten Wasserverbrauch. Wasser wird hier insbesondere zu Kühlzwecken eingesetzt. Ausgehend vom volkswirtschaftlichen Strombedarf erfolgt eine Fortschreibung der Kraftwerkskapazitäten an den aktu-

ellen Kraftwerksstandorten bis ins Jahr 2030. Der Wasserbedarf je Standort ergibt sich aus der Kraftwerkskapazität und dem genutzten Kühlverfahren. Die Kapazitätsfortschreibung erfolgt standortweise unter Berücksichtigung standörtlicher Gegebenheiten. Für die Wasserbedarfsermittlung werden drei technologische Standardfälle unterschieden Durchlaufkühlung, Ablaufkühlung und Kreislaufkühlung. Die Durchlaufkühlung kühlt technologische Prozesse im Austausch gegen eine Erwärmung des Flusswassers. Sie hat die höchsten Anforderungen an den Mindestdurchfluss ist aber am kostengünstigsten. Die Kreislaufkühlung kühlt das Wasser in geschlossenen Kreisläufen zurück, benötigt aber einen Verdunstungsturm und ist daher besonders kostenintensiv. Die Ablaufkühlung kombiniert beide Verfahren nach Notwendigkeit.

Die makroökonomische Regionalisierung der Bevölkerungsentwicklung und des Bruttosozialprodukts bildet die Grundlage für eine flächendeckende Projektion zur Entwicklung der Siedlungsfläche und der landwirtschaftlichen Nutzfläche (Hoymann, Dekkers & Koomenb, 2008, Kapitel 2.4). Die Waldfläche wird als fix angesehen. Mit Hilfe des Modells Land-Use-Scanner werden die Raumnutzungsansprüche von Landwirtschaft und Siedlungen miteinander bilanziert. Die sich daraus ergebende Veränderung in der Siedlungsausdehnung und Struktur bildet eine wichtige Eingangsinformation für die Projektion des öffentlichen Wasserbedarfs. Ein ökonometrisches Modell schätzt diese mit Bezug auf Projektionen zur Siedlungsentwicklung (Haushaltsgröße, Gebäudetyp), zum Wasserpreis und zum verfügbaren Haushaltsnettoeinkommen (Ansmann, 2008, Kapitel 2.8).

Nährstoffeinleitungen

Die Entwicklung der Nährstoffeinleitungen in den verschiedenen Entwicklungsrahmen wird getrennt für die diffusen und Punktquellen betrachtet. Sie beruhen auf Modellstudien zur künftigen Entwicklung der Landwirtschaft als wichtigster diffuser Quelle und Projektionen zur Änderung des Kläranlageninventars von Punktquellen. Die Entwicklung der diffusen Emissionen aus der Landwirtschaft für die vier Entwicklungsrahmen wird mit dem Modell RAUMIS kalkuliert (Gömann, Kreins & Richmann, 2008, Kapitel 2.5). RAUMIS fasst die landwirtschaftliche Struktur einer Region in Regionalhöfen zusammen und reproduziert das strategische Planungsverhalten der regionalen Landwirte mit Hilfe eines Optimierungsansatzes, der landwirtschaftliche Produktionszweige und Intensitätsniveaus nach dem Gewinnmaximierungsprinzip kombiniert. Den Projektionen je Entwicklungsrahmen werden Änderungen auf den Weltagrarmärkten, in der Europäischen Agrarpolitik, bei den Agrartechnologien und bei den nationalen Umweltpolitiken zu Grunde gelegt, die mit den grundsätzlichen Annahmen der Entwicklungsrahmen konsistent sind. Mögliche Wirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft werden über Modifikationen der standorttypischen Ertragspotenziale berücksichtigt. Die Projektionen zur Kläranlagenausstattung konzentrieren sich auf die Einleitungen aus kommunalen Kläranlagen und Kleinkläranlagen, die für den überwiegenden Teil der Direkteinleitungen verantwortlich sind. In diesem Zusammenhang wird auch der Effekt von Retentionsbodenfiltern als Ergänzung von vorhandenen Regenüberlauf- und Regenklärbecken sowie die Abkopplung versiegelter Flächen von der Kanalisation berücksichtigt. Die Projektionen werden nach Entwicklungsrahmen differenziert (Sartorius, Hillenbrand & Walz, 2008, Kapitel 4.5).

Klima

Die Klimaprojektionen sind zentral für die Szenarienstudie. Unter Bezug auf Temperaturprojektionen des Klimamodells ECHAM5/OPYC3 für Mitteleuropa wird ein heuristisches statistisches Verfahren genutzt, um die für ein Netzwerk von Klimastationen historische Klimareihen für den Zeitraum 1951-2003 transient vom Jahr 2004 bis ins Jahr 2055 fortzuschreiben (Gerstengarbe, Werner, Orłowsky & Wodinski, 2008, Kapitel 2.2). Insgesamt standen 369 Klimareihen für den rezenten Zeitraum zur Verfügung. Für 84 meteorologischen Hauptstationen lag ein kompletter Klimadatensatz vor. Für 285 weitere Messpunkte gab es tägliche Niederschlagsmessungen. Diese Datenreihen wurden mittels Interpolation zu vollständigen Klimareihen ergänzt. Die eigentliche Projektion basiert auf einer Neukombination von beobachteter Witterung. Die Witterungsjahre je Station werden gemischt und nach dem Zufallsprinzip der Jahresfolge 2004-2055 neu zugeordnet. Der zu dem vorgegebenen Temperaturtrend bestehende Abstand wird minimiert durch eine zielgerichtete Ersetzung kompletter 21 Tage Witterungsblöcken innerhalb eines Jahres. Die Witterungsblöcke an einem Datumstag werden ersetzt durch Witterungsblöcke mit einer Temperatur, welche den allgemeinen Temperaturtrend näher an den vorgegebenen Trend heranführt. Die Ersetzung wird rationalisiert durch eine vorausgehende Klassifizierung der Klimablöcke. Durch eine Synchronisierung der Szenarienbildung für räumliche Gruppen von Klimastationen wird neben der zeitlichen auch eine räumliche Erhaltungsneigung des Klimas in die Zukunft fortgeschrieben. Die im ersten Schritt der Szenarienbildung erfolgende Mischung von Klimavariablen erzeugt in ihrer Endkonsequenz ganz unterschiedliche Varianten eines regionalen Klimaszenarios, die alle dem gleichen Temperaturtrend folgen, sich aber insbesondere bei den Niederschlags-trends unterscheiden. Die Variabilität wird ausgenutzt, um 100 Realisierungen eines Klimaszenarios zu simulieren. Es wird unterstellt, dass die darin enthaltene Bandbreite von Niederschlags-entwicklungen, den bestehenden Möglichkeitsbereich bei der künftigen Niederschlagsentwicklung abbildet. In den sich anschließenden Analysen zum Wasserdargebot und zum Oberflächen-wassermanagement wird auf das gesamte Spektrum der Szenariorealisationen oder auf ausgewählte Repräsentanten Bezug genommen. Im letzteren Fall sind dies unter anderem die 25 trockensten und feuchtesten Realisierungen sowie einzelne Jahre. Auswahlkriterium für einzelne Realisierungen ist die mittlere klimatische Wasserbilanz an den klimatisch repräsentativen Stationen. Einzelne Jahre werden in den Analysen mit Gütebezug genutzt. Sie werden ausgehend von den Abflussverhältnissen am Unterlauf der Elbe ausgewählt.

Wasserdargebot und Erträge

Das landschaftliche Wasserdargebot für unterschiedliche Entwicklungsrahmen und die und die Klimafolgen für den Ertrag werden mit dem Einzugsgebietsmodell SWIM simuliert (Conradt, Hattermann & Wechsung, 2008, Kapitel 2.2). Bei diesem Modell handelt es sich um ein regionales Derivat des SWAT-Modells. Die Simulation der landschaftlichen Abflussbildung erfolgt im Tagedakt. Zunächst wird der Abfluss für einzelne Hydrotope bestimmt. Hydrotope sind modellintern die kleinsten homogenen räumlichen Einheiten. Die Homogenitätsannahme bezieht sich auf das Klima, die Höhenlage und Hangneigung, den Boden und die Landnutzung. Das Elbegebiet wurde insgesamt in 46 515 Hydrotope untergliedert mit 15 Landnutzungsklassen und 77 Bodentypen. Die Abflusszusammenführung erfolgt auf der Ebene von Teileinzugsgebieten. Dies

sind geographisch geschlossene Hydrotopverbünde. Die horizontale Wasserbewegung entlang dem Gewässernetz wird durch sukzessive Wasserakkumulation der Teileinzugsgebietsflächen entlang der Höhengradienten reproduziert. Die virtuellen Wasserflüsse folgen dem Gerinnesystem des Flussnetzes und werden an ausgewählten Pegeln mit den tatsächlichen Durchflussmengen verglichen. Für jedes Teileinzugsgebiet wird ein homogenes Klima angenommen. Das Elbegebiet wird in insgesamt 2278 Teileinzugsgebiete untergliedert. In der Szenarienstudie wird der simulierte Abfluss durch die Klimaprojektion und die Projektion zur Landnutzung verändert. Die klimaabhängige Abflussbildung wird für das gesamte Spektrum der Szenariorealisationen betrachtet. Für alle 100 Realisationen gibt es eine Abflusssimulation. Die Projektionen zur Landnutzung variieren mit dem Entwicklungsrahmen und werden vom Modell Land Use Scanner übernommen. Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Ertrag wurden mit dem EPIC Modul in SWIM flächendeckend für die Kulturarten Weizen und Mais untersucht. Von dort wurden die Effekte auf das gesamte Kulturartenspektrum übertragen.

1.2.5 Nachgelagerte Analysen zu den Kosten von Wasserbilanzkonflikten und Maßnahmen zur Verminderung der Nährstofffrachten

Für die vergleichende Bewertung unterschiedlicher Handlungsstrategien zur Minderung von Wasserkonflikten wird davon ausgegangen, dass der Nutzen in Form vorgegebener Ansprüche der Wassernutzer an Menge und Güte nicht zur Disposition steht (Grosmann, Lienhoop, Vögele, Mutaoglu, Koch, Kaltofen & Dietrich, 2008). Es also für das gebietliche Wassermanagement um eine Minimierung von Verlust- und Anpassungskosten geht. Die Verlustkosten ergeben sich aus den Produktionseinschränkungen vermindert um die eingesparten variablen Aufwendungen (Wassermenge). Die Anpassungskosten beinhalten Investitionen und laufende Aufwendungen einschließlich Subventionszahlungen, die notwendig sind für die Maßnahmerealisierung.

1.3 Ergebnisse

1.3.1 Sozioökonomischer Entwicklungsrahmen

Makroökonomie (Blazejczak et al., 2008, Kapitel 2.3)

Insgesamt wurden durch Kombination der zwei Makroökonomieszenarien Differenzierung (A1) und Globalisierung (B2) mit den beiden Politikansätzen ‚Konventionelle Umweltorientierung‘ (0) und ‚Verstärkte Umweltorientierung‘ (B2) vier Entwicklungsrahmen (A10, A1+, B20, B2+) definiert. Nach dem Szenario Globalisierung hält Deutschland seinen hohen Anteil am Welthandel aufrecht, Tschechien kann seinen Anteil ausweiten. Problemlösungen jeglicher Art erfolgen durch Effizienzsteigerungen und im Vertrauen auf Wachstum. Das Szenario Differenzierung geht von einem schwächeren Anstieg des Welthandels aus, Deutschland verliert Handelsanteile, Tschechien gewinnt leicht dazu. Problemlösungen erfolgen vielfach durch Umverteilung, Nachhaltigkeitsdefizite gewinnen an Bedeutung. In beiden Szenarien steigen die Lebenserwartung und Erwerbsbeteiligung. Im Szenario ‚Globalisierung‘ ist die Steigerung allerdings stärker ausgeprägt als im Szenario ‚Differenzierung‘. Das generelle Geburtenniveau unterscheidet sich nicht

zwischen den Szenarien. Für das Gebärverhalten der ostdeutschen Frauen wird eine weitere Angleichung an die westdeutschen Verhältnisse erwartet.

Bedingt durch den Kohorteneffekt des Geburtenrückganges Anfang der 90er Jahre nimmt die Gesamtbevölkerung im deutschen Teil des Elbeinzugsgebietes bis 2020 wahrscheinlich ab. Dieser Rückgang ist im Globalisierungsszenario geringer als im Differenzierungsszenario, da er bei ersterem stärker durch Zuwanderungsgewinne ausgeglichen wird. Die Zahl der Beschäftigten nimmt trotz des Bevölkerungsrückganges bis 2020 zu. Dies hängt mit der verlängerten Lebensarbeitszeit und dem unterstellten Rückgang der Arbeitslosigkeit zusammen. Letztere verringert sich im Globalisierungsszenario stärker als im Differenzierungsszenario. Der Beschäftigungsaufbau konzentriert sich auf die Ballungsräume und deren Umland. Um Berlin und Hamburg sind Beschäftigungszuwächse um bis zu 20% möglich. Zu den Verlustregionen im deutschen Teilgebiet gehören u. a. Dessau, Halle und die Oberlausitz.

Im Differenzierungsszenario bleibt der Beschäftigungsaufbau stärker als im Differenzierungsszenario auf Kernregionen begrenzt. In Tschechien findet eine analoge Entwicklung statt. Im Unterschied zum deutschen Teilgebiet nimmt die Bevölkerungszahl im tschechischen Teil jedoch zu. Dies hängt mit der Dominanz des Großraums Prag zusammen. Der starke Beschäftigungsaufbau in der Region zieht Zuwanderer aus anderen Regionen Tschechiens an. Generell lässt sich feststellen, dass die Unterschiede zwischen den makroökonomischen Szenarien in den ländlichen Regionen deutlich größer als in den urbanen Ballungszentren sind.

Siedlungsentwicklung

In allen Entwicklungsrahmen ist nach Simulationsrechnungen mit dem Modell Land Use Scanner mit einer Ausdehnung der Siedlungsflächen zu rechnen (Hoymann *et al.*, 2008, Kapitel 2.4). In Konsistenz zur Bevölkerungsentwicklung in den Ballungsräumen ist die Ausdehnung in diesen Regionen am stärksten und in den Entwicklungsrahmen A1 höher als in den Entwicklungsrahmen B2. Durch entsprechende Umweltpolitiken kann der Anstieg im Elbeinzugsgebiet jedoch deutlich reduziert werden.

*Landwirtschaft und Stickstoffüberschuss (Gömann *et al.*, 2008, Kapitel 2.5)*

Für die Entwicklungsrahmen ‚Globalisierung‘ wird grundsätzlich unterstellt, dass es ein ausreichendes Potential für die weitere Steigerung der Nahrungsmittelproduktion gibt. Im Entwicklungsrahmen A10 wird davon ausgegangen, dass die Subventionen für die Produktion von Energie auf Agrarflächen reduziert werden, was den Anstieg der Erzeugerpreise für Weizen bis 2020 begrenzt. Bei einer Beibehaltung dieser Ziele unter Globalisierungsbedingungen steigt der Weizerzeugerpreis nach Simulationen mit dem Modell RAUMIS hingegen um 47%. In beiden Fällen kommt es zu einer deutlichen Ausdehnung der Produktionsmengen. In den beiden Entwicklungsrahmen B10 und B1+ erfolgt die Preisbildung weitgehend abgekoppelt vom Weltmarkt. Die Produktionsmengen für Weizen sinken leicht (-4/-5%) und die Erzeugerpreise steigen geringfügig (+4/+4%). Zum Kontext der in diesen Szenarien stärkeren Marktregulierung gehören das Bestehen bleiben von regionalen Handelsgebieten für die Milchquote und von Stilllegungsverpflichtungen. In allen Entwicklungsrahmen kommt es tendenziell zu einem Rückgang der Rinderbestände und in Folge dessen zu einer Minderung der Stickstoffüberschüsse. Der mittlere Stick-

stoffüberschuss sinkt von 74.1 kg N/Jahr auf 67 kg N/ha in den Entwicklungsrahmen A10, A1+ und B20 sowie darüber hinaus auf 61 kg/ha im Entwicklungsrahmen B2+. In allen Szenarien kommt es zu einer erheblichen Ausdehnung des Energiemaisanbaus für den die bestehenden gesetzlichen Rahmenbedingungen zur Förderung der Biogasproduktion einen erheblichen Anreiz schaffen. Die Maisanbaufläche (Silomais+ Energiemais) würde sich hierdurch um ca. die Hälfte erhöhen.

1.3.2 Klima

Der Temperaturanstieg von 1.2 °C der für den Zeitraum 1951 bis 2003 für das Elbegebiet konstatiert wurde, wird sich gemäß der Klimaprojektion, die mit dem Modell STAR 2 vorgenommen wurde, fortsetzen und dabei mit 2.1 °C deutlich über dem bisherigen langfristigen Trendwert liegen (Gerstengarbe *et al.*, 2008, Kapitel 2.1). Im Unterschied zur Temperatur gibt es bei den Niederschlägen größere Schwankungen bei den Realisierungen. Die bezüglich der klimatischen Wasserbilanz mittlere Realisierung beinhaltet ein nahezu unverändertes Niederschlagsniveau. In der trockensten Realisierung gehen die Niederschläge um 49 mm zurück. Im Vergleich zur Periode 1951-2003 kommt es zu einer drastischen Verschlechterung der klimatischen Wasserbilanz, der Differenz zwischen Niederschlag und potenzieller Verdunstung. Während die Abnahme im Zeitraum 1951-2003 nur 13 mm betrug, wird sich der künftige Rückgang nach der STAR Projektion im Bereich zwischen -106 bis -162 mm bewegen. Die Anzahl der niederschlagsfreien Tage im Verlaufe eines Jahres nimmt dabei zu. Die in der Vergangenheit beobachtete Umverteilungstendenz für Niederschläge vom Winter in den Sommer setzt sich in vielen Gebieten fort (Gerstengarbe *et al.*, 2008, Kapitel 2.1).

1. Veränderung eines Stadt-Land-Fluss Systems im Verlauf des Klimawandels – eine Szenarienstudie für das deutsch-tschechische Flussgebiet der Elbe (Wechsung)

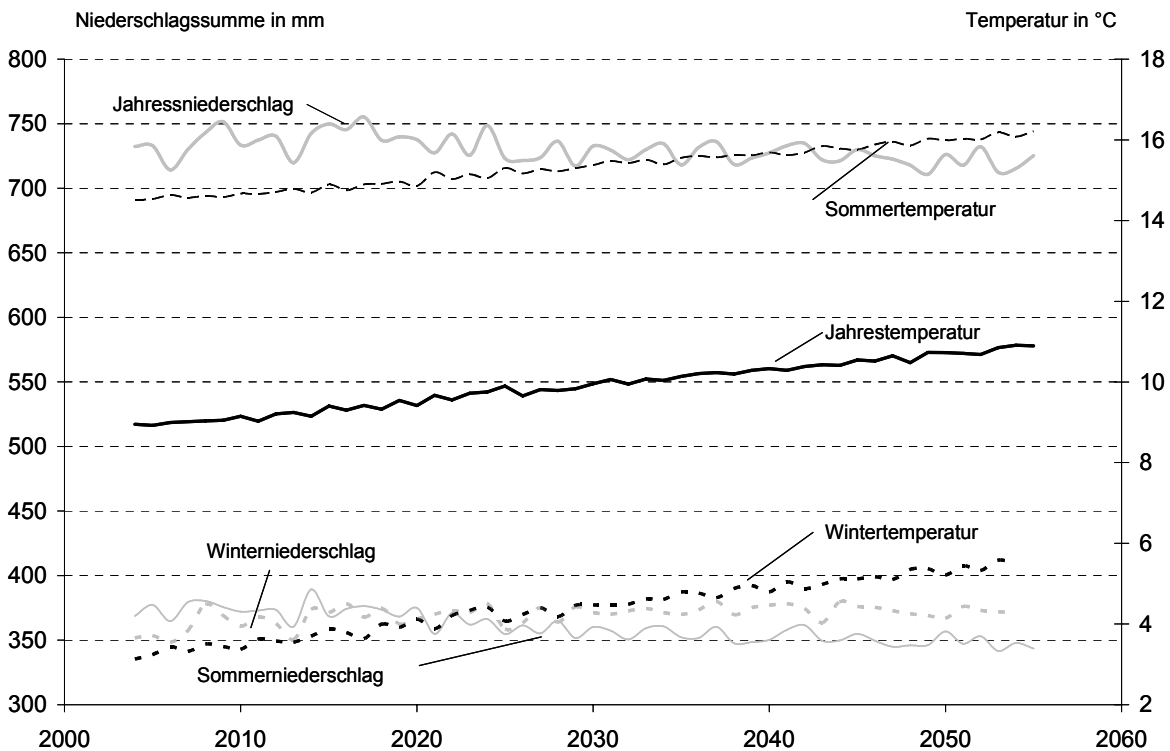


Abbildung 2: Klimaveränderung projiziert mit STAR II gemittelt über alle 100 Realisierungen und alle Stationen des Elbeeinzugsgebietes

1.3.3 Wasserdargebot und Erträge

Das Wasserdargebot im Elbeeinzugsgebiet vermindert sich während der Szenarienperiode deutlich (Conradt *et al.*, 2008, Kapitel 2.2). Im Vergleich der Szenarioperioden gehen die Hydrotopabflüsse für das Spektrum aller Realisierungen flächig um 20 – 60 mm zurück. Gleichzeitig gibt es einen Anstieg der Verdunstung (+20 mm), der in den Wasserüberschussgebieten entlang der Mittelgebirgszüge des Einzugsgebietes besonders stark ausfällt. Als Konsequenz dieser Veränderung gehen die mittleren Jahresdurchflüsse an den wichtigsten Teilgebietsausflüssen und im Hauptstrom (-18%) deutlich zurück. Ungeachtet der höheren Verdunstungsansprüche sind die simulierten Ertragsverluste bei C3 Pflanzen relativ gering. Beim Mais hingegen können zum Ende der Szenarienperiode deutliche Ertragsgewinne realisiert werden. Im Zeitraum 2015-2025 sind die Ertragsverhältnisse relativ stabil. Bei den Szenariorechnungen für die Landwirtschaft mit dem Modell RAUMIS wurden deshalb die Klimaeffekte auf den Ertrag vernachlässigt (Conradt *et al.*, 2008, Kapitel 2.2).

1.3.4 Wassermengenkonflikte

In Abb. 2 wird ein Überblick gegeben zum mittleren Durchflussbedarf der wichtigsten Landnutzer von Oberflächenwasser aus dem Elbe Flusssystem und deren Veränderung über der Zeit bei den zwei Entwicklungsrahmen A10 und B2+. Den größten mittleren jährlichen Bedarf mit 35

m³/s haben thermische Kraftwerke. Während der Durchflussbedarf aller anderen Wassernutzer jedoch konstant bleibt, gibt es bei den thermischen Kraftwerken einen erheblichen Rückgang auf Grund des zunehmenden Einsatzes von Kreislaufkühlsystemen. Das mittlere Wasserdefizit geht von 20 % in der Periode 2003-2007 auf 0% in der Periode 2048-2052 zurück (Kaltofen *et al.*, 2008, Kapitel 3.1).

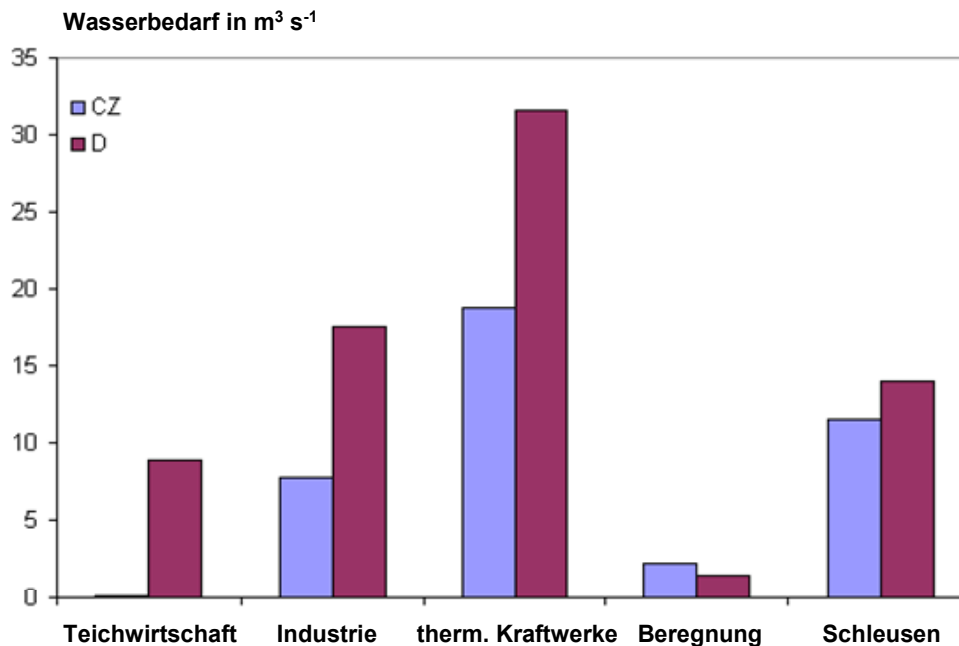


Abbildung 3: Schätzung der mittleren Wassernachfrage in Form von Wasserentnahmen oder Abflussforderungen für die wichtigsten Wassernutzer in Tschechien (linke Säule) und Deutschland (rechte Säule) für die Periode 2003-2007.

Wenn dieser Einsatz nicht stattfindet, ist bei den thermischen Kraftwerken mit erheblichen Produktionseinschränkungen und damit auch ökonomischen Verlusten zu rechnen.

Die stärksten Diskrepanzen zwischen Wasserbedarf und –angebot gibt es für die Schifffahrt im Hauptstrom und hier ist insbesondere der Abflussrückgang unterhalb Aken als gravierend anzusehen. Unter den Bedingungen des Entwicklungsrahmens A10 muß bei Klimawandel und einer Betrachtung über alle 100 Realisierungen mit einem Abflussrückgang im August von 34% gerechnet werden. Bei den 25% trockensten Realisierungen beträgt der Rückgang sogar 50%. Bei den 25% feuchtesten immer noch 8%. Für die Analyse aller 100 Realisierungen zeigt sich, dass die ausgeprägten

Die gegenwärtigen Niedrigwasserabflüsse mit einer Jährlichkeit von 20 Jahren entsprechen im Jahr 2050 dem simulierten Niveau der mittleren Augustabflüsse.

Neben den Effekten im Hauptstrom gibt es auch deutliche Nutzungskonflikte in den einzelnen Teilgebieten, wobei die Schwerpunkte variieren. Im Mulde- und Saalegebiet dominieren Konflikte bei den Wasserkraftanlagen. Im Spree-Schwarze-Elstergbiet sind insbesondere die Binnenfischerei, die landwirtschaftliche Bewässerung und Forderungen für landschaftliche Mindestab-

flüsse betroffen. Die ökonomischen Effekte dieser Wasserkonflikte wurden in Form der mittleren jährlichen Verluste für die Zeitspanne 2003-2052 ausgedrückt, wobei Kosten in der Zukunft mit 3% jährlich diskontiert wurden (Grosman *et al.*, 2008). Die Effekte in folgenden Bereichen wurden ökonomisch bewertet: Feuchtgebiete, die Industrie ohne Wärmekraftwerke, landwirtschaftliche Bewässerung, Teichwirtschaft, Boots- und Seentourismus sowie Wasserkraftanlagen. Die simulierten mittleren jährlichen Verluste sind am höchsten für den Bereich landwirtschaftliche Bewässerung (10-12 Mill. €/ Jahr) und Wasserkraftanlagen (8-10 Mill. €/ Jahr), wobei zwischen den verschiedenen Entwicklungsrahmen nur geringfügige Unterschiede bestehen.

Regional traten die deutlichsten ökonomischen Mehrkosten in der Region Spree-Havel auf. Für die Region Spree-Havel wurde die Zuflusssituation nach Berlin einer tieferen handlungsorientierten Analyse unterzogen. Hier bei extremer Trockenheit auftretende Einschränkungen können durch unterschiedliche Handlungsstrategien gemindert werden. In den Fallbetrachtungen am wirkungsvollsten hat sich dabei eine Wasserüberleitung aus dem östlich benachbarten Flussgebiet der Oder erwiesen (Kaltoven *et al.*, 2008, Kapitel 3.1; Lienhoop, Grossmann & Koch, 2008, Kapitel 3.4).

1.3.5 Gewässergütekongflikte

Mit dem Modell MONERIS wurden Folgen unterschiedlicher Abflussszenarien auf den Eintrag von Stickstoff und Phosphor ins Flussgebiet und die daraus resultierenden Frachten untersucht (Behrendt *et al.*, 2008, Kapitel 4.1). Anknüpfend an den Ergebnissen wurden Handlungsstrategien formuliert. Die sich aus diesen ergebenden Modifikationen für Nährstoffeintrag und -fracht wurde ebenfalls bestimmt.

Die Analysen bezogen sich auf je 10 feuchte, mittlere und trockene Abflussjahre aus dem Spektrum der 100 Realisierungen des Klimaszenarios. Diese Auswahl erfolgte an Hand der mit dem Modell SWIM für jede Klimarealisierung durchgeführten Abflusssimulationen. Auswahlkriterium war der Gebietsausfluss am Pegel Neu Darchau. Aus technischen Gründen wurde aus diesen 10 Abflussjahren unter Bezug auf das gleiche Kriterium wiederum ein mittleres Abflussjahr ausgewählt. Die Abflüsse dieser drei Jahre liegen mit Ausnahme des trockenen Jahres im Bereich zwischen den extremen Abflussjahren 2002 (Elbehochwasser) und 2004 (lang anhaltendes Niedrigwasser). Im Vergleich zum Mittel der Abflussjahre 2001-2005 hatte das mittlere Abflussjahr nur einen leicht niedrigeren Abfluss. Unter diesen Bedingungen vermindern sich die P-Einträge und Frachten kaum, die N-Einträge und Frachten verringern sich um 14 bzw. 17%. Die relativen Änderungen bei den Frachten sind stärker als bei den Einträgen, da sich abflussbedingt zusätzlich die Retention von N- und P ändert, wobei geringe Abflüsse tendenziell Abflüsse die Einträge vermindern und die Retentionswirkung erhöhen. In Verbindung mit den klimatischen Änderungen führt dies zu deutlichen Veränderungen des Phytoplanktonzuwachses auf der Fließstrecke. Die Phytoplanktonkonzentrationen am Unterlauf bei Schnakenburg (Elbe km 475) werden zwar kaum beeinflusst. Oberhalb davon in Dommitsch (Elbe km 173) kommt es jedoch zu einem deutlichen Anstieg (Quiel *et al.*, 2008, Kapitel 4.3).

Ohne eine zwingende Zuordnung zu den Entwicklungsrahmen für landwirtschaftliche Nährstoffüberschüsse und kommunale Punkteinleitungen aber ausgehend vom mittleren Abflussjahr unter Klimawandel wurden unterschiedliche Handlungsstrategien für die Verminderung der N- und P

Einträge in das Flusssystem der Elbe untersucht. Dabei zeigte sich, dass die Reduktionsziele für den Nährstoffeintrag der Elbe in die Nordsee nur durch ein aus heutiger Sicht anspruchsvolles Maßnahmenpaket erreicht werden können. Für Phosphor gehören hierzu die Durchführung der konservierenden Bodenbearbeitung auf allen Ackerflächen mit einer Hangneigung von mehr als 1%, eine P-Eliminierung mit Ablaufkonzentrationen von 2 mg/l für alle Kläranlagen von Kommunen mit weniger als 10000 Einwohnern, eine 20% ige Verminderung der versiegelten urbanen Fläche, einem Ausbaugrad der Mischkanalisation auf mindestens 100% und die Realisierung einer 50% igen P-Eliminierung bei Rückhaltebecken im Trennsystem. Für Stickstoff wäre eine vollständige Eliminierung des Nährstoffüberschusses der Landwirtschaft (Düngung-Entzug) erforderlich. Falls dies nicht gelingt, müssen die NO_x- und NH_y- Emissionen entsprechend gesenkt werden. Wichtige Quellen dieser Emissionen sind die Verbrennung fossiler Rohstoffe und der Verkehr für NO_x und die Tierhaltung für NH_y (Behrendt *et al.*, 2008, Kapitel 4.1).

1.4 Schlussfolgerungen

Der Klimawandel im Elbeeinzugsgebiet verschärft Wassermengenkonflikte insbesondere für die Schifffahrt im Hauptstrom und potenziell auch für die thermischen Kraftwerke im Gebiet. Während letztere aber ihre Vulnerabilität gegenüber Niedrigwasserverhältnissen absehbar in den nächsten 15 Jahren deutlich verringern, ist dies für die Schifffahrt bisher nicht absehbar. Bei der Gewässergüte zeigt sich, dass zurückgehende Abflüsse nicht zu einer deutlichen Verminderung der Nährstoffeinträge in die Nordsee und der Eutrophierung im Hauptstrom führen. Hier sind weitergehende Maßnahmen notwendig. Hervorzuheben sind die Eliminierung des N-Düngeüberschusses in der Landwirtschaft, die Minderung des Bodenabtrages durch eine Ausweitung der pfluglosen und konservierenden Bodenbearbeitung auf Hangflächen sowie die deutliche Reduktion von N-Depositionen durch Industrie, Verkehr und Landwirtschaft.

1.5 Literatur

EC (2000) Establishing a framework for community action in the field of water policy. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000, Official Journal of the European Communities, Brussels.

EG 2000: Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Wasserrahmenrichtlinie).

Grossmann M., Lienhoop N., Vögele S., Mutafoglu K., Koch H., Kaltofen M. & Dietrich O. (2008) Economic assessment of risk associated with low flows in the Elbe River Basin: an integrated economic-hydrologic modelling approach.

Pachauri R.K. & Reisinger A., eds (2007) Climate Change 2007: Synthesis Report. *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC*, Geneva, Switzerland.

Simon M., Bekele V., Kulasova V., Maul C., Oppermann R. & Rehak P. (2005) *Die Elbe und ihr Einzugsgebiet*. Internationale Kommission zum Schutz der Elbe, Magdeburg.