

## 4 Ergebnisse der Machbarkeitsstudie für ein Elbe-DSS

### 4.1 Anforderungen an das Pilot-DSS

#### 4.1.1 Nutzer und Fragestellungen

Zur Klärung der Anforderungen an ein DSS wurden zunächst folgende potenzielle Nutzer des DSS, die jeweils ihre besonderen Fragestellungen bearbeiten oder zu entscheiden haben, identifiziert. Die Auswahl der in einer Pilotphase beteiligten Institutionen bzw. Nutzer ergibt sich in Abhängigkeit vom Umfang des später realisierten Systemdiagramms. Dabei haben sich die in Tabelle 1 dargestellten Fragestellungen und Probleme als relevant für die Integration in einem Pilot-DSS herausgestellt.

Tabelle 1: Nutzer und Fragestellungen für ein Pilot-DSS

Potenzielle Nutzer	Fragestellungen und Probleme
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)</li> <li>• Arbeitsgemeinschaft zur Reinhaltung der Elbe (ARGE-Elbe)</li> <li>• Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (IKSE)</li> <li>• Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV)</li> <li>• Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)</li> <li>• Landesministerien für Umwelt, Wasser- und Landwirtschaft im Einzugsgebiet</li> <li>• Länder im Einzugsgebiet</li> <li>• Biosphärenreservate</li> <li>• Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML)</li> <li>• Bundesumweltministerium (BMU)</li> <li>• Umweltbundesamt (UBA)</li> <li>• Wasserwirtschaft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Verbesserung der sozioökonomischen Rahmenbedingungen für die verschiedenen Nutzungen des Flusses und seines Einzugsgebiets (Schifffahrt, Tourismus, Fischerei, Landwirtschaft, etc.)</li> <li>• Wirksame Maßnahmen für den Hochwasserschutz</li> <li>• Erreichen einer nachhaltigen Verbesserung des physikalischen, chemischen und biologischen Zustandes der Elbe und ihrer Nebenflüsse</li> <li>• Reduzierung der Chemikalien- und Nährstofffracht in die Nordsee</li> <li>• Verbesserung des ökologischen Zustandes des Flusses und der Auen im Elbeeinzugsgebiet</li> </ul>

#### 4.1.2 Handlungsziele und Kriterien

Handlungs- bzw. Bewirtschaftungsziele sind Systemzustände, die für den Entscheider wünschenswert sind. Sie sind in enger Abhängigkeit zu den Fragestellungen und Problemen zu sehen. Als Beispiel sei hier die Schiffbarkeit angeführt. Ziel kann es sein, einen Streckenabschnitt für die Schifffahrt auszubauen. Kriterium für das Erreichen dieses Ziels wäre z. B. die Einhaltung einer garantierten Wassertiefe. Für die Entwicklung eines DSS wäre in diesem Fall die Integration aller Informationen zu diesem Thema zu gewährleisten, die für die Lösung der Fragen zu dieser Problematik notwendig sind. In Tabelle 2 sind die wichtigsten Handlungsziele und Kriterien zusammengefasst.

Tabelle 2: Handlungsziele und Kriterien für ein Pilot-DSS

Handlungsziele	Kriterien
Verbesserung der sozioökonomischen Rahmenbedingungen für die Nutzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verbesserung der Schiffbarkeit der Elbe</li> <li>• Erhalt/Verbesserung der landwirtschaftlichen Ertragssituation</li> <li>• Entwicklung von Tourismus und der Erholungsfunktion</li> <li>• Verbesserung der Möglichkeiten der Fischerei</li> </ul>
Hochwasserschutz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduktion des Risikos von Überschwemmungen</li> </ul>
Verbesserung des ökologischen Zustandes des Flusses und der Auen im Elbeeinzugsgebiet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verbesserung der chemischen Qualität des Fluss- und Grundwassers</li> <li>• Verbesserung der Qualität der Sedimente in Fluss und Aue</li> <li>• Reduktion der Chemikalien- und Nährstofffracht in die Nordsee</li> <li>• Herstellung der autotypischen Flora und Fauna sowie der dazugehörigen abiotischen Faktoren (z. B. Wasserstandsdynamik)</li> </ul>

#### 4.1.3 Themen und Maßnahmen

Wie bereits festgestellt wurde, besteht die vornehmliche Aufgabe eines DSS darin, bei verschiedenen Themenstellungen eine Verbindung von Maßnahmen, die der Lösung eines Problems dienen können, herzustellen und transparent zu machen. Vorschläge für relevante Maßnahmen können von den Nutzern selbst oder von den am Aufbau des Systems beteiligten Wissenschaftlern stammen. Für die Erstellung eines Pilot-DSS erfolgte eine Auswahl prioritärer Themen und Maßnahmen, dargestellt in Tabelle 3.

Tabelle 3: Themen und Maßnahmen für ein Pilot-DSS

Themen	Maßnahmen
Hochwassermanagement, Deichrückverlegungen und ähnliche Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deichrückverlegungen (Schaffung von Überschwemmungsräumen)</li> <li>• Gezielte Steuerung der Siedlungsaktivitäten und ähnlicher Maßnahmen im Deichvorland</li> <li>• Schaffung einer Informationsbasis für ein Hochwassermanagement</li> </ul>
Naturschutz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausweisung von Schutzgebieten</li> <li>• Entwicklung von naturnahen Auenlandschaften</li> </ul>
Schiffbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modifikation von Bühnenkonstruktionen</li> <li>• Baggerungen</li> </ul>
Wasserqualität	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduktion diffuser und punktueller Einleitungen (<i>Nährstoffe, Pflanzenschutzmittel</i>), u. a. durch Optimierung der landwirtschaftlichen Praxis</li> <li>• Reduktion des Schadstoffeintrags allgemein</li> <li>• Verbesserung der Reinigungsleistung/Bau von Kläranlagen</li> </ul>
Reduzierung der Sohlenerosion	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zugabe von Geschiebe in den Fluss</li> </ul>

Tourismus wurde während der Befragung verschiedener Institutionen (z. B. Biosphärenreservate) wiederholt als ein wesentlicher Faktor der Entwicklung, vor allem der Auenlandschaft genannt. Allerdings wurden noch keine ausreichend konkreten Angaben zu Maßnahmen gemacht. Zu diesem Thema müssen noch Ergebnisse nachfolgender Forschungsarbeiten abgewartet werden.

Obwohl die aufgeführten Maßnahmen lediglich einen Vorschlagscharakter haben, sollte ihre Auswahl mit Bedacht erfolgen, da (bisher) keine Prüfung vorgesehen ist, ob diese zu teuer sind oder aus anderer Sicht nicht akzeptabel erscheinen. Weiterhin ist zu beachten, dass sich die Auswahl der abzubildenden Maßnahmen auf die benötigten Modelle und Daten auswirkt. In der Pilotphase muss eine Beschränkung auf bestimmte Themen und Maßnahmen erfolgen.

Tourismus wurde ebenfalls als ein wichtiger Aspekt für die künftige Entwicklung genannt. Es können aber noch keine genaueren Angaben zu spezifischen Maßnahmen und Zielen in diesem Bereich gemacht werden. Daher wird für diesen bedeutenden Themenkomplex empfohlen, eine weitergehende Studie zu dieser Fragestellung anzufertigen. Nach Klärung der anstehenden Fragen sollte eine Integration erwogen werden.

#### **4.1.4 Szenarien**

Szenarien sind in der Terminologie von MISER AND QUADE [1985] unsichere physische, sozioökonomische und andere Bedingungen, die ein betrachtetes System beeinflussen können, sich jedoch nicht im Einflussbereich der Entscheider befinden. Sie bilden eine exogene Einflussgröße. Für die Pilotphase könnten folgende Rahmenbedingungen in das DSS implementiert werden:

- wirtschaftliche Rahmenbedingungen
- demographische Entwicklung
- Landnutzungsänderungen auf Einzugsgebietsebene
- hydrologische Bedingungen
- Klimawandel
- die tschechische Stofffracht in den deutschen Abschnitt der Elbe als Eingangsgröße

Die endgültige Auswahl von Szenarien auf Basis der Variation von Rahmenbedingungen ist in Abhängigkeit vom Entwurf des Systemdiagramms zu sehen.

#### **4.1.5 Umfang und Funktion**

Ein DSS kann verschiedene Aufgaben erfüllen: Bildung/Lernfunktion, Analyse, Information, Management, Bibliothek sowie Kommunikation zwischen Nutzern und der Öffentlichkeit. Der gewünschte Umfang orientiert sich dabei an den von den Nutzern genannten Anforderungen. Restriktionen können sich aus den je nach Themenstellung sehr unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Maßstäben ergeben.

Im Falle der Elbe sind die wichtigsten Funktionen die Analysefunktion, gefolgt von der Kommunikationsfunktion, der Management- und der Bibliotheksfunktion. Für den internen Gebrauch in der Bundesanstalt für Gewässerkunde hat sich eine Funktion zum Wissensmanagement herausgestellt. Die BfG sieht eine ihrer Zukunftsaufgaben in der Bereitstellung von gewässerkundlichen Informationen für die großen, zum Teil grenzüberschreitenden Fließgewässer und Kanäle. Dazu gehört mittel- und langfristig die Strukturierung der vorhandenen Daten und des heute verfügbaren Expertenwissens hin zu Systemen, die kurzfristig Trendausagen zu aktuellen Fragen einer umweltgerechten, nachhaltigen Nutzung der Gewässer liefern. Um die Übertragbarkeit zu gewährleisten, ist eine generelle Strukturierung von existierenden

Problemen und Prozessen sowie von vorhandenen/erforderlichen Daten und Modellen erforderlich.

#### 4.1.6 Zeitlicher und räumlicher Maßstab

Eine der größten Herausforderungen bei der Entwicklung eines DSS ist es, zu entscheiden, auf welche Weise räumliche (Gesamteinzugsgebiet ÷ Flussabschnitt) und zeitliche (Jahrzehnte ÷ Minuten) Skalen integriert werden. Dabei ist immer zu beachten, dass sich das System an den Anforderungen der Nutzer orientieren muss. Unter Berücksichtigung dieser Restriktionen und als Ergebnis der Daten- und Modellevaluierung wird ein System vorgeschlagen, das Funktionen auf drei Skalen bereitstellt. Diese drei Ebenen unterscheiden sich deutlich hinsichtlich ihrer räumlich-zeitlichen Detaillierung von Ergebnissen.

Die drei Ebenen erfahren durch drei Module ihre Entsprechung (Abbildung 5) und werden durch genau definierte Schnittstellen miteinander gekoppelt. Jedes Modul ist mit der Darstellung unterschiedlich großer Untersuchungsgebiete bzw. Ausschnitte des Elbeeinzugsgebietes verbunden.

Für die in Abbildung 5 dargestellten Skalen sind Ziele, Werte, Kriterien und Maßnahmen zu unterscheiden, wobei eine detaillierte Analyse der jeweils notwendigen zeitlichen und räumlichen Auflösung zu Beginn der folgenden Pilotphase erfolgen muss.



• Skala des Gesamteinzugsgebiets	→ <b>Einzugsgebietsmodul</b>
• Skala des „Flusschlauchs“ (Gewässernetz und angrenzende Elb-Auen)	→ <b>Flussmodul</b>
• Skala eines Flussabschnitts der Elbe (Elbe km 400-425, Bereich Havelberg/Sandau)	→ <b>Flussabschnittsmodul</b>

Abbildung 5: Berücksichtigung der unterschiedlichen Skalen durch Module im DSS

#### 4.1.7 Entscheidungsmodelle

Es gibt eine Anzahl von Modellen, die Alternativen abwägen, Prioritäten setzen und diese dem Nutzer vorschlagen. Am meisten gebräuchlich sind räumliche, multikriterielle Bewertungswerkzeuge, die Optimierungsroutinen enthalten. Diese Option konnte im bisherigen Abstimmungsprozess nicht genügend behandelt werden. Es ist daher zu Beginn der Pilotphase zu diskutieren, inwiefern solche Optimierungsansätze Eingang in das zu entwickelnde DSS finden sollen.

#### 4.2 Qualitative Beschreibung

Zweck der qualitativen Beschreibung des DSS ist die Schaffung eines begrifflichen Rahmens für die Verbindung der Bewirtschaftungsmaßnahmen mit den Zielen. In Abbildung 6 wird eine detaillierte Übersicht über das vorgeschlagene Elbe-Systemdiagramm gegeben. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind die Wechselwirkungen zwischen den Szenarien, Funktionen, Maßnahmen und Zielen im Diagramm nicht dargestellt. Es enthält folgende Elemente:

- Szenarien zur Beschreibung exogener Faktoren, die außerhalb der Kontrolle der Entscheidungsträger liegen, aber dennoch das System beeinflussen. Der Vorteil der Szenario-Methode liegt darin, dass Einflüsse bestimmter Prozesse berücksichtigt werden können, selbst wenn diese nicht Bestandteile des Systems sind.
- Die während der Problemdefinition erkannten Maßnahmen, wie Veränderung der Bühnenkonstruktion, Deichrückverlegung und Geschiebezugabe
- Die sozioökonomischen Funktionen und wirtschaftlichen Aktivitäten im Elbe-Gebiet, z. B. Landwirtschaft, Tourismus, Schifffahrt, Kiesabbau
- Die natürlichen (ökologischen) Funktionen im Einzugsgebiet, im Fluss selbst und an seinen Ufern sowie in der Flussaue. Beispiele: Makrozoobenthos und Auenwälder
- Physische Prozesse (Abiotik), die sowohl die natürlichen Funktionen (morphologische Veränderungen, Wasserqualität) als auch die sozioökonomischen Funktionen (Hochwassergefährdung, Trinkwasser) beeinflussen können. Für das Leitprojekt „Elbe 2000“ sind dies Schwebstoff- und Sedimentkonzentrationen. Im Forschungsprogramm „Elbe-Ökologie“ betrifft dies hydrologische, hydraulische und morphologische Prozesse.
- Bewirtschaftungsziele als Systemoutput, wie Wert der landwirtschaftlichen Produktion oder die schiffbare Tiefe eines bestimmten Elbeabschnitts. Die Erfüllung der Ziele wird durch den Vergleich der natürlichen Funktionen und der Nutzungsfunktionen nach bestimmten Kriterien gemessen.

Das qualitative Diagramm in Abbildung 6 beruht auf vorläufigen Ergebnissen der Studie zur Problemdefinition. Damit wird sichergestellt, dass ausschließlich umsetzbare Bewirtschaftungsstrategien und relevante Zielstellungen aufgenommen werden. In einigen Fällen gehören die Verbindungen zwischen verschiedenen Systemelementen nicht zu den Forschungsthemen der Forschungsprogramme „Elbe-Ökologie“ und „Elbe 2000“. Aus praktischen Gründen und hinsichtlich der Beispielfunktion des Pilot-DSS war eine Auswahl von Schlüsselfunktionen und -prozessen erforderlich, die den Nutzen eines integrierten Modells hinreichend demonstrieren. Auch wenn das Diagramm für das Elbe-System erstellt wurde, ist der gewählte Ansatz übertragbar und allgemein auf die Flussgebetsbewirtschaftung anwendbar.

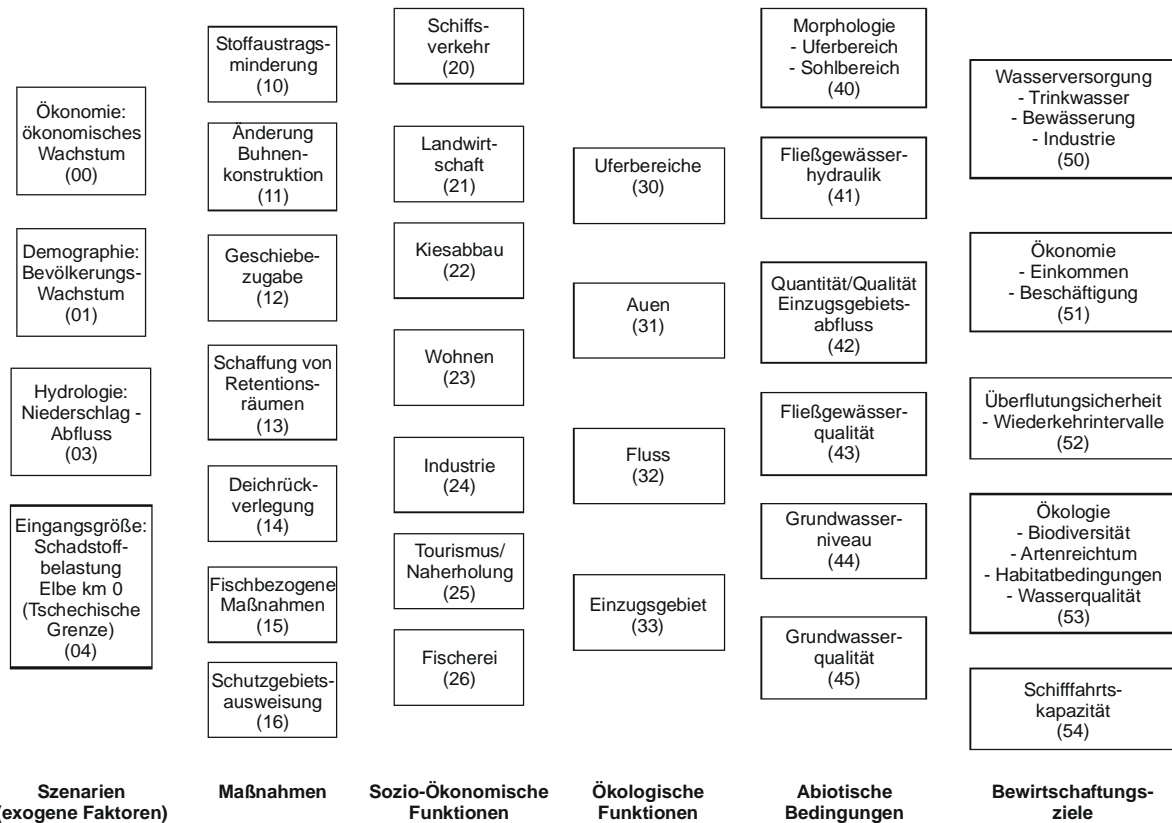


Abbildung 6: Entwurf eines Systemdiagramms für die Elbe, basierend auf Inhalten des Elbe-Ökologie- und des Elbe 2000-Programms.  
(Zur Wahrung der Übersichtlichkeit sind die Systeminteraktionen nicht dargestellt.)

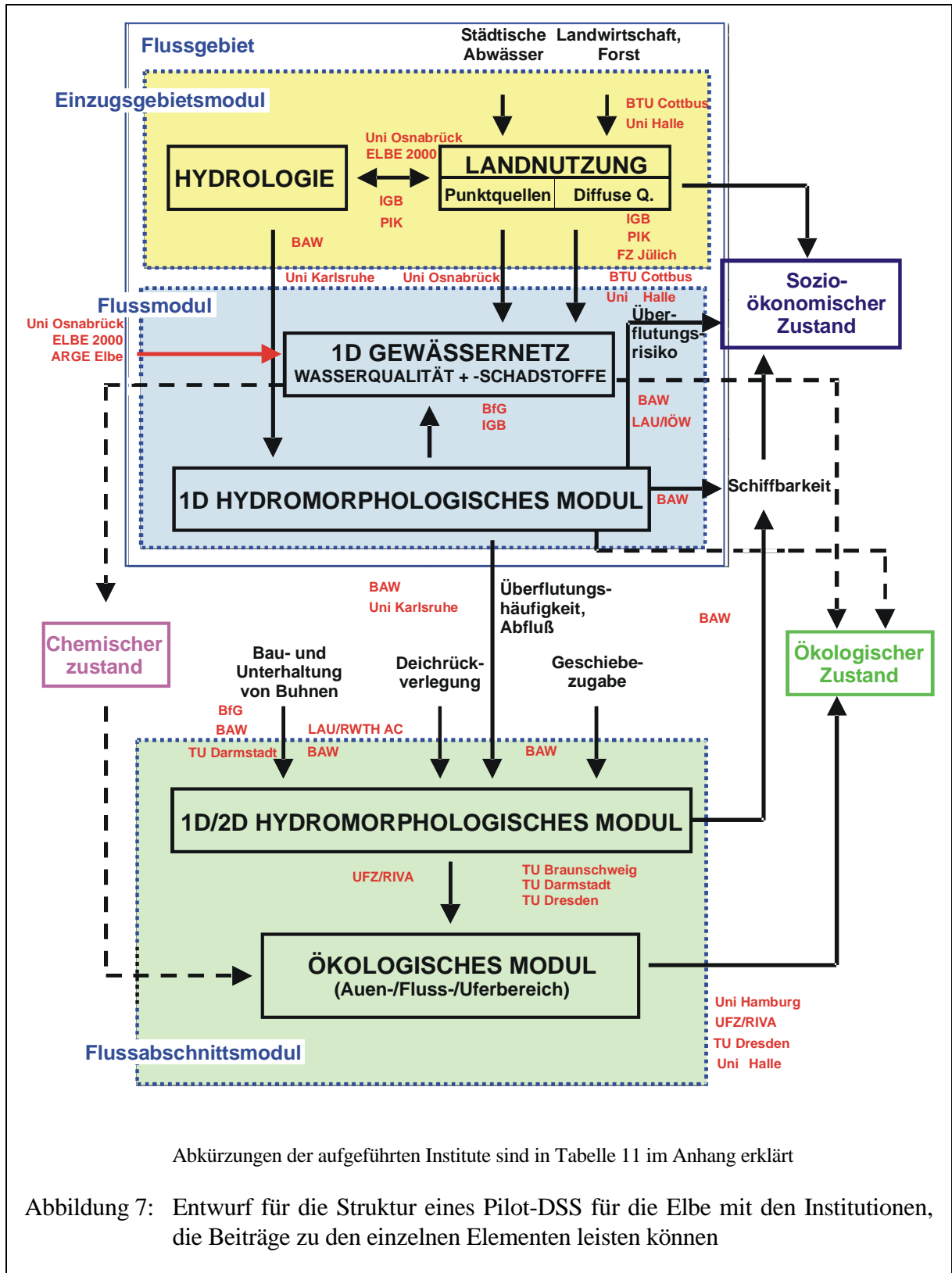
#### 4.2.1 Modulare Struktur

Eines der Probleme bei der Erarbeitung eines Pilot-DSS bestand darin, dass Modelle und Daten in einer Vielzahl verschiedener räumlicher und zeitlicher Maßstäbe (Skalen) erhoben werden (1m<sup>2</sup>-Raster bis 1000 km<sup>2</sup> große Teileinzugsgebiete). Es stellt sich daher die Frage, wie diese unterschiedlichen Modelle und Daten in einen gemeinsamen Analyserahmen eingepasst werden können. Abbildung 7 zeigt, wie dieses Problem im Pilot-DSS angegangen werden könnte. Dabei wird zwischen drei Analyseebenen unterschieden, die in den Forschungsprojekten des Programms Elbe-Ökologie auftreten.

Auf der höchsten Analyseebene (Einzugsgebietsmodul, Kapitel 4.2.2) finden sich Prozesse, die im Maßstab des gesamten deutschen Elbe-Einzugsgebiets von knapp 100.000 km<sup>2</sup> untersucht werden. Die hier vorliegenden Modelle beschreiben die Auswirkungen der Landnutzung und der Hydrologie auf den diffusen (Nährstoff-) Austrag sowie die Auswirkungen der punktförmigen Einleitungen. Der Zeithorizont auf diesem Maßstabniveau ist lang (25 - 100 Jahre) und die räumliche und zeitliche Auflösung ist gering (100 – 1000 km<sup>2</sup> bei Zeitschritten von Monaten bzw. Jahren).

Auf dem zweiten Analyseniveau (Flussmodul, Kapitel 4.2.3) findet man die Modelle, die sich auf die gesamte Flusslänge der Elbe von 700 - 800 km beziehen. Dazu gehören beispielsweise Modelle zur Beschreibung der Schiffbarkeit, der Hochwassergefahr und der Wasserqualität. Obwohl für diese Zwecke viele Modelle einsetzbar wären, ist für ein Pilot-DSS ein eindimensionales Modell eher geeignet. Im Fluss-Modul liegt die räumliche und zeitliche

Auflösung je nach dem untersuchten Prozess in einer Größenordnung von 100 m bis 10 km bzw. von Wochen bis Jahren (Sohlveränderungen erfordern eine geringere zeitliche Auflösung als Hochwasserstandvorhersagen).



Ein drittes Analyseniveau (Flussabschnittsmodul, Kapitel 4.2.4) enthält die detailliertesten Modelle, die die Auswirkungen von wasserbaulichen Maßnahmen, wie Deichrückverlegung und Habitatbedingungen, für verschiedene Arten im Gewässer, am Ufer und in der Aue beschreiben. In diesem Maßstab findet man eine räumliche Auflösung von 10 - 50 m mit entsprechenden Zeitschritten. Dieses Modul könnte für einen ausgewählten Beispielabschnitt der Elbe von 10 - 100 km Länge entwickelt werden, der dann repräsentativ für den gesamten Fluss wäre und für den Daten sowie Modelle vorhanden wären bzw. im Zeitrahmen der Pilotstudie erhoben werden könnten. Diese drei Module sollten möglichst von oben nach unten miteinander verbunden werden, wie in Abbildung 7 dargestellt, indem die Ausgabewerte des höherstufigen Modells als Eingangswerte der Module auf niedrigerer Ebene fungieren. Beispielsweise kann die für das Einzugsgebiet berechnete Gesamt-Stickstofffracht als Eingangswert für ein eindimensionales Gewässerqualitätsmodul der Elbe genutzt werden. Andererseits können die im Fluss-Modul berechneten Wasserstände oder Hochwasserhäufigkeiten in den ökologischen Habitat-Modellen der dritten Analyseebene eingesetzt werden.

In den folgenden Abschnitten werden die Funktionen der drei Module allgemein diskutiert und Fragen formuliert, die bei der Gestaltung der drei Module zu beantworten sind. Natürlich waren oder sind viele dieser Fragen Gegenstand der Untersuchungen, die im Rahmen der Programme Elbe-Ökologie und Elbe 2000 durchgeführt wurden. Die Machbarkeitsstudie hatte die Aufgabe zu klären, in welchem Maß Modelle und Daten zur Beantwortung dieser Fragen zur Verfügung gestellt werden können.

#### **4.2.2 Modul 1 (Einzugsgebiet): Landnutzungsänderung/Abfluss im Elbeeinzugsgebiet**

Modul 1 dient der Beschreibung der Auswirkungen der Landnutzungs- und Klimaänderungsszenarien auf die Gesamtbelastung der Elbe mit ausgewählten Substanzen aus dem Einzugsgebiet (N, P, Sedimentbelastung). Darüber hinaus sind für das DSS Informationen über die wirtschaftlichen Aspekte des Landnutzungswandels wünschenswert. Änderungen der Landnutzung betreffen eher Fragen der Intensivierung/Extensivierung und der Änderung landwirtschaftlicher Techniken als den Übergang von einer Landnutzungsart zu einer anderen. Das Modul 1 umfasst auch die Auswirkungen industrieller und urbaner Aktivitäten, die direkt mit Abwassereinleitungen verbunden sind. Hierbei ist auch die Art der Abwasserbehandlung zu berücksichtigen.

Die Entwicklung des Moduls 1 zielt auf die Beantwortung der folgenden Fragen:

- 1a Für welche Schadstoffe sind die Gesamtlasten zu ermitteln?
- 1b Welche Änderungen der Landnutzung und landwirtschaftlicher Techniken beeinflussen die Belastung durch diese Stoffe pro Flächeneinheit und auf welche Weise?
- 1c Welche sozioökonomischen Folgen haben diese Änderungen?
- 1d Welche physischen Bedingungen beeinflussen die Schadstoffbelastung und auf welche Weise?
- 1e Wie gelangt die flächenhafte stoffliche Belastung in den Fluss und wie verteilt sie sich dort?



Tabelle 4: Minimales Set von Systemvariablen für Modul 1

Teilmodul	Systemvariablen	Institute	Genauigkeit
Hydrologie	Input: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Niederschlag</li> <li>• Landnutzungsarten</li> <li>• Geländetopografie</li> <li>• Vegetationskartierung</li> <li>• Kartierung der Landnutzung</li> </ul>	PIK IGB Uni Osnabrück FZ Jülich	$\Delta x = 1 - 5 \text{ km}$ $\Delta t = 1 \text{ Monat} - 1 \text{ Jahr}$
	Output: <ul style="list-style-type: none"> <li>• N- und P-Frachten</li> <li>• Frachten der einzelnen Flussabschnitte</li> </ul>		
Landnutzung	Input: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Szenarium der Landnutzungsarten</li> <li>• Szenarium der üblichen Landbewirtschaftung</li> </ul>	PIK IGB Uni Osnabrück	$\Delta x$ $\Delta t$ noch festzulegen
	Output: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ökonomische Bewertung</li> </ul>		

Derzeit ist schon eine Anzahl von Modellen fertiggestellt, mit denen diese Fragen behandelt werden können, hauptsächlich am PIK und im IGB (s. Tabelle 12). Es stellt sich die Frage nach deren Eignung für das DSS. Sehr komplexe Modelle, die viel Rechenzeit erfordern, sind ungünstig, sie könnten allerdings vor ihrem Einsatz eventuell vereinfacht werden, z. B. in Form von Metamodellen.

#### 4.2.3 Modul 2 (Fluss): Schiffbarkeit, Hochwasser und Gewässerqualität entlang der Elbe

Modul 2 dient dem Zweck der Aufklärung und Darstellung der Schiffbarkeit (Wasserstand, Fließgeschwindigkeit, Sohlniveau), der Wasserqualität (ausgewählte Parameter), der Überschwemmungshäufigkeit (hinsichtlich der ökologischen Funktionen des Moduls 3) und der Hochwassergefährdung (hinsichtlich der wirtschaftlichen Ziele) im deutschen Teil der Elbe. Im Modul spielt ein eindimensionales hydromorphologisches Modell eine zentrale Rolle. Gegenwärtig steht ein solches Modell für die Elbe an der Universität Karlsruhe zur Verfügung. Ein entscheidender Aspekt des Moduls 2 ist die Wasserqualität, die sowohl die wirtschaftlichen Funktionen (Fischerei, Trinkwasserversorgung) als auch die ökologischen Funktionen entlang der Elbe beeinflusst.

Wenn sich auch im letzten Jahrzehnt bei der Elbe die Wasserqualität im Fluss selbst beträchtlich verbessert hat, bestehen weiterhin Probleme mit Schadstoffen wie Schwermetallen und mit Düngemitteln. Trotz verbesserter Abwasserbehandlung bleiben die Probleme der diffusen Einträge, z. B. aus der Landwirtschaft und der Abfallentsorgung, bestehen. Daher ist eine Verbindung des Moduls 2 mit dem Modul 1 (Landnutzung) wesentlich. In diesem Sinn bildet die Wasserqualität die Grundlage der Verbindung der Ergebnisse des Leitprojekts „Elbe 2000“ mit denen des Forschungsverbundes „Elbe-Ökologie“ im DSS.

Tabelle 5: Minimales Set von Systemvariablen für Modul 2

Teilmodul	Systemvariablen	Institute	Genauigkeit
Wasserqualität	Input: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Frachten der einzelnen Flussabschnitte</li> <li>• Hydraulische Parameter</li> <li>• Querprofile der Fließquerschnitte</li> </ul>	PIK IGB Uni Osnabrück Elbe 2000	1D Modell $\Delta x = 5000 \text{ m}$ $\Delta t = 1 \text{ Monat}$
	Output: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wasserqualität (chemischer und ökologischer Status)</li> </ul>		
Sozio-ökonomische Bewertung	Input: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überflutungshäufigkeit</li> <li>• Bodenbewertung</li> <li>• Wasserspiegel</li> <li>• Flussbettgeometrie</li> <li>• Strömungsgeschwindigkeit</li> </ul>	BAW Uni Karlsruhe	$\Delta x$ $\Delta t$ noch festzulegen
	Output: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überflutungsrisiko</li> <li>• Schiffbarkeit (in Tagen)</li> </ul>		
Hydromorphologie	Input: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Niederschlag</li> <li>• Abfluss</li> <li>• Hydraulik</li> <li>• Flussbettgeometrie</li> <li>• Sedimenteigenschaften</li> </ul>	BAW Uni Karlsruhe	1D Modell $\Delta x$ $\Delta t$ noch festzulegen
	Output: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wasserspiegellage</li> <li>• Überflutungshäufigkeit</li> <li>• Sohlage</li> <li>• Fließgeschwindigkeit</li> </ul>		

Die Gestaltung dieses Moduls integriert die folgenden (zusammenhängenden) Forschungsaufgaben:

- 2a Welche physischen Bedingungen beeinflussen auf welche Weise den Wasserstand, das Sohlniveau, die Fließgeschwindigkeit?
- 2b Welche physischen und sozioökonomischen Bedingungen beeinflussen auf welche Weise die Hochwasserhäufigkeit und die Hochwassergefahr?
- 2c Inwiefern hängt die zukünftige Wasserqualität der Elbe von diesen physischen und sozioökonomischen Bedingungen ab?
- 2d Welchen Einfluss hat der Landnutzungswandel (Modul 1) auf die Flusswasserqualität?

Flussbauliche Maßnahmen, wie die Veränderung der Buhnenkonstruktion und die Rückverlegung von Deichen, beeinflussen die hydraulischen Bedingungen und sind somit auch für die ersten beiden Fragen von Bedeutung. Die umfassenden Auswirkungen dieser Maßnahmen können im Modul 2 behandelt werden, während die lokalen Konsequenzen detaillierter im Modul 3 untersucht werden.

#### 4.2.4 Modul 3 (Flussabschnitt): Hydromorphologie und Ökologie der Elbe, ihrer Uferbereiche und Auen

Der Zweck des Moduls 3 besteht darin, in einem geeigneten Maßstab die Auswirkungen sich verändernder Lebensraumbedingungen auf den Zustand der zentralen ökologischen Funktionen des Flusses selbst, seiner Ufer und Auen darzustellen. Dazu zählen beispielsweise sich ändernde Grundwasserstände, Überflutungshäufigkeiten oder flussbauliche Maßnahmen, wie die Veränderung der Buhnen und die Rückverlegung von Deichen. Außerdem könnte die Erosion des Flussbetts als eigenständiges Thema aufgenommen werden. Besondere Erosionsprobleme treten im Flussabschnitt bei Torgau auf. Sie fanden im Hinblick auf die Schiffbarkeit Erwähnung (größere Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit) sowie hinsichtlich der potenziellen Absenkung des Grundwasserspiegels (wodurch die ökologischen Funktionen beeinträchtigt werden können). Allerdings ist die Bedeutung des letztgenannten Problems für die Integration in einem Pilot-DSS gegenwärtig noch nicht geklärt. Es könnte zum Gegenstand einer Sensitivitätsanalyse werden, bevor ein endgültiges Systemdiagramm für das Pilot-DSS formuliert wird. Eine flussbauliche Maßnahme, die dem Erosionsproblem entgegenwirkt, ist die Geschiebezugabe (Abbildung 7).

Tabelle 6: Minimales Set von Systemvariablen für Modul 3

Teilmodul	Systemvariablen	Institute	Genauigkeit
Hydromorphologie	Input: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abfluss</li> <li>• Flussbettgeometrie</li> <li>• Buhnenform und -lage</li> <li>• Lage der Deiche</li> <li>• Sedimenteintrag</li> </ul>	BAW Uni Karlsruhe	2D Modell $\Delta x$ $\Delta t$ noch festzulegen
	Output: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sohlage</li> <li>• Überschwemmungshöhe</li> <li>• Überflutungshäufigkeit</li> <li>• Wasserqualität (aus Modul 2)</li> </ul>		
Ökologie	Input: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Strömungsgeschwindigkeit</li> <li>• Überschwemmungshöhe</li> <li>• Überflutungshäufigkeit</li> <li>• Sohlage</li> <li>• Wasserqualität</li> </ul>	UFZ/RIVA TU Braunsch. TU Darmstadt Uni Hamburg Uni Halle	2D Modell $\Delta x$ $\Delta t$ noch festzulegen
	Output: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Karte der Habitat-Eignung</li> <li>• Artenvorkommen</li> <li>• Artenreichtum</li> <li>• Artenvielfalt</li> </ul>		

Zusammenfassend gehören die folgenden Forschungsaufgaben zum Modul 3:

- 3a Welcher Flussabschnitt inklusive der Aue ist am besten für Modul 3 geeignet?
- 3b Worin bestehen die ökologischen Schlüsselfunktionen der Elbe, ihrer Ufer und Auen, und wie kann der Zustand dieser Funktionen erfasst werden?
- 3c Welche Lebensraumfaktoren haben den stärksten Einfluss auf diese ökologischen Funktionen?
- 3d Welche Faktoren beeinflussen auf welche Weise die Sohlerosion?
- 3e Wie beeinflusst die Sohlerosion den Grundwasserstand?
- 3f Wie werden diese Lebensraumfaktoren durch die ausgewählten Flussbaumaßnahmen beeinflusst?

Die Einbeziehung der Fluss- und Grundwasserqualität in Modul 3 sollte von deren Bedeutung als Lebensraumbedingung abhängig gemacht werden (ein allgemeines Wasserqualitätsmodell ist bereits in Modul 2 verfügbar).

#### 4.2.5 Verbindung der drei Module

Aus konzeptionellen Gründen dürfen die drei Module nicht unabhängig voneinander arbeiten. Die Integration kann auf zwei Wegen erfolgen. Eine top-down-Integration ist der näherliegende Ansatz, was auch bedeutet, dass Prozesse auf höherer Maßstabsebene das System auf der tieferen Ebene beeinflussen. So kann z. B. der im Modul 2 für einen bestimmten Flussabschnitt berechnete Wasserstand die ökologischen Funktionen auf der im Modul 3 beschriebenen lokalen Ebene beeinflussen.

Dies könnte implizieren, dass die Überschwemmungshäufigkeit der Flussaue in allen Zellen entlang des betreffenden Flussabschnitts von einem Wert des Wasserstandes im Fluss sowie der Höhenlage jeder Zelle abhängt. Die top-down-Integration hat Konsequenzen für den benötigten Modelltyp. Eine Einbeziehung der Wasserqualität in Modul 2 beispielsweise erfordert ein Modell der Eintragspfade für den Schadstofftransport im Modul 1.

Ein anderer Ansatz ist die bottom-up-Integration der drei Module. Ein Beispiel dafür ist der Einfluss der molekularen Diffusion auf großräumige Transportprozesse. Für das Elbe-DSS könnte Integration von unten nach oben bedeuten, dass lokale Prozesse Auswirkungen auf die Analyse auf der Meso-Ebene (Fluss) und sogar der Makro-Ebene (Einzugsgebiet) haben. Dabei stellt sich allerdings die Frage, ob die im DSS-Elbe aufgenommenen Prozesse (wie die Lebensraum-Modelle) einen Einfluss von unten nach oben ausüben.

Es sind mindestens zwei Wechselwirkungen zwischen den Modulen zu unterscheiden:

- die Schadstofffracht von Modul 1 als Eingangsgröße des Wasserqualitätsmodells in Modul 2
- die in Modul 2 berechneten Werte des Abflusses, der Wasserqualität und des Wasserstandes als Eingangsgrößen für die Lebensraum-Modelle in Modul 3

### 4.3 Recherche der verfügbaren Modelle und Daten

Um einen Überblick über den gesamten Bestand an vorhandenen Modellen und Daten zu erhalten, wurde ein Fragebogen an die am Forschungsverbund beteiligten Institute gesendet, um die für die Entwicklung des Pilot-DSS relevanten Informationen zu möglichen Beispielgebieten, räumlicher und zeitlicher Auflösung, Eingangs- und Ausgangsvariablen sowie zu der Übertragbarkeit oder der Allgemeingültigkeit der verfolgten Ansätze zu prüfen. Das Ergebnis der umfangreichen Abfrage ist in Auszügen im Anhang (Tabelle 12) dokumentiert. Nicht alle Teile des dargestellten Systemdiagramms können derzeit in einem Pilot-DSS umgesetzt werden. Dazu wäre eine weitergehende Prüfung der Verfügbarkeit von Daten und Modellen erforderlich.

Die zeitliche Auflösung der vorhandenen Modelle und Daten reicht von 10 Sekundenschritten bis zu 5 Jahren oder mehr. Die räumliche Auflösung liegt zwischen 1 m und 5-10 km. Es ist offensichtlich, dass eine vollständige Integration solch unterschiedlich strukturierter Modelle und Daten nicht zu befriedigenden Ergebnissen führen würde. Der vorgeschlagene modulare Aufbau berücksichtigt diese Problematik und gewährleistet eine hinreichende Konsistenz zwischen den Modulen.

Die Auswahl des Maßstabs sollte sich an den Eigenschaften und Möglichkeiten der gewählten Modelle orientieren. Das Ziel des Moduls 1 ist es z. B., den Einfluss von Landnutzungsänderungen auf die Nährstoffflüsse zu beschreiben. Dabei kann bei der Betrachtung des Einzugsgebietes davon ausgegangen werden, dass eine feinere Auflösung als 10 km<sup>2</sup> nicht erforderlich ist. Für die Durchführung der Pilotphase ist zu diesem Zeitpunkt noch keine Festlegung auf einen genauen Maßstab möglich. Diese Auswahl und Anpassung muss zusammen mit der Validierung der integrierten Ansätze erfolgen. Es müssen Sensitivitäts- und Unsicherheitsanalysen erfolgen, um zu erfahren, welche Sub-Modelle zu detailliert oder zu grob arbeiten.

#### 4.3.1 Empfehlungen für die quantitative Systemgestaltung

Unter Berücksichtigung der in das DSS zu integrierenden Modelle (Abbildung 7) können folgende Situationen unterschieden werden:

- Prozesse, für die Daten und Modelle in der entsprechenden zeitlich-räumlichen Auflösung verfügbar sind; diese können in das DSS integriert werden. Da einige Prozesse in mehr als einem Projekt bearbeitet werden, kann in diesem Fall eines zur Koordination herangezogen werden. Beispiel: 1D-Wasserstands-Modell für die Elbe.
- Prozesse, für die Daten und Modelle verfügbar sind, aber nicht in der entsprechenden zeitlich-räumlichen Auflösung. Dies trifft hauptsächlich für die Prozesse des Moduls 3 zu. In diesem Fall ist zu entscheiden, ob die existierenden Modelle auf andere Beispielgebiete übertragbar sind. Beispiel: Fisch-Habitat-Modell.
- Prozesse, für die Daten und Modelle verfügbar sind, aber nicht in einem angemessenen Maß der zeitlich-räumlichen Auflösung. Dabei übersteigen die vorhandenen Modelle meist den für ein DSS notwendigen Detaillierungsgrad. In diesem Fall ist zu prüfen, ob der Grad der Auflösung der Modelle angepasst werden kann. Beispiel: Lebensraum-Eignungs-Modell. Wenn eine derartige Modellanpassung unerwünscht oder nicht möglich ist, kann dem entsprechenden Modell eine „dummy“-Funktion zugeordnet werden, indem ein Verweis gegeben bzw. eine hyperlink-Verbindung im DSS gelegt wird.
- Prozesse, für die Daten und Modelle in der entsprechenden Auflösung verfügbar sind, welche aber nicht direkt in das DSS appliziert werden können, z. B. ein physikalisches (gegenständliches) Fluss-Modell. In diesem Fall ist zunächst das Modell zu „transformieren“, d. h. eine analytische Form zu realisieren.

- Prozesse, für die Daten und Modelle nicht in absehbarer Zeit verfügbar sind. In diesem Fall müssten angepasste Modellansätze formuliert und die dazugehörigen Daten erhoben werden. Dieses sollte kein grundsätzliches Problem darstellen. Beispiel: Einfluss der Sohlerosion auf den Grundwasserspiegel.

Schließlich ist eine Anzahl von Forschungsthemen zu benennen, die nicht aus dem Fundus der Elbe-Ökologie Vorhaben angemessen bedient werden können:

- Großskalige Modelle, welche den Einfluss von auf der Skala der gesamten Flusstrecke vorhandenen, aggregierten Habitatparametern auf ökologische Funktionen beschreiben können. Diese Modelle könnten eine Verbindung von Modul 2 mit den Indikatoren des ökologischen Status des Gewässers ermöglichen.
- Ein Modell, das den Einfluss der Sohlerosion auf den Grundwasserspiegel in den Auen beschreiben kann. Zur Zeit ist noch nicht geklärt, ob dieser Prozess von besonderer Relevanz ist, aber er könnte von Bedeutung für das Modul 3 und eventuell für das Modul 2 sein.
- Es besteht ein Bedarf für Modelle, die die Beziehung von chemischen Parametern und ökologischen Qualitäten beschreiben können, wenn der Einfluss der Wasserqualität auf ökologische Funktionen als Entscheidungsgröße relevant ist. Bisher ist diese Anforderung nur im Zusammenhang mit Schadstoffgehalten in Fischen benannt worden.
- Ökonomische Modelle für die Bewertung der Überflutungsgefahr (Hochwasservorhersage) und der Einfluss hydromorphologischer Änderungen auf die Schifffahrt.

#### **4.3.2 Koordination mit dem Elbe 2000 Programm**

Die Ergebnisse des Forschungs- und Messprogramms Elbe 2000 sind sehr wertvoll für die Kalibrierung und Validierung der Wasserqualitätsmodelle. Dies trifft ebenso auf die laufenden Messprogramme der ARGE Elbe und der IKSE zu. Diese Daten sind im GIS-orientierten Elbe-Informationssystem ELBIS abrufbar, das seit November 2000 über das Internet zugänglich ist. Die geplanten Verbindungen zum DSS werden im Detail im Bericht zu den informatorischen Rahmenbedingungen geschildert.

Hauptproblem für die Integration der Daten des Leitprojektes „Elbe 2000“ in das Wasserqualitätssystem sind die meist fehlenden georeferenzierten Angaben zu den verantwortlichen Emittenten bzw. Quellen der Schadstoffe. Hierzu gibt es nur vereinzelte Informationen (Industriestandorte, Kläranlagen etc.). Für die Modellierung der Wasserqualität fehlen vollständige Daten zu folgenden Punkten:

- Orte und Mengen der Siedlungsabwässer und Kläranlagen, wobei Abwassermengen anhand von demographisch-statistischen Zusammenhängen abgeschätzt werden könnten
- Orte und Mengen der industriellen Einleitungen, wobei die Abwassermengen ebenfalls grob aufgrund statistischer Erhebungen ermittelt werden könnten

Zu dem Zeitpunkt, da Indikatoren für die Wasserqualität auf Basis ihres Einflusses auf ökologische Funktionen oder im Sinne allgemeiner Indikatoren der Belastung ausgewählt werden, kann ein 1D-Wasserqualitätsmodell für die Elbe entworfen werden. Dieses Modell sollte physikalische, chemische und biologische Faktoren, die zeitlich und räumliche Muster beeinflussen, berücksichtigen. Die EU-Wasserrahmenrichtlinie kann dabei als Richtschnur für die Integration der relevanten Substanzen dienen. Die künftig zu bearbeitenden Fragen für die Integration des Wasserqualitätsaspektes sind:

- Welche Stoffe müssen unter dem Aspekt ihres Einflusses auf ökologische Funktionen betrachtet werden und wie kann dieser Einfluss beschrieben werden?
- Wie korreliert die Konzentration dieser Stoffe in der Elbe mit den Quellen, den Kläranlagen und den Prozessen im Einzugsgebiet bzw. des Transports?

### 4.3.3 Offene Fragen

Die Machbarkeitsstudie stellt eine Reihe von methodischen Aspekten heraus, die einer weiteren Klärung bedürfen, bevor über das Systemdiagramm für ein Pilot-DSS entschieden wird:

- Ist die Liste der formulierten Forschungsfragen vollständig?
- In welcher Weise können die drei Module verbunden werden?
- Welcher repräsentative Flussabschnitt sollte für das Modul 3 gewählt werden?
- Welche Habitatfaktoren und welche ökologischen Indikatoren sind zu verwenden?
- Wie können Forschungsdefizite behoben werden?
- Bis zu welchem Grad sind Modelle und Daten gebietsspezifisch?
- Welche Rolle werden die Wasserqualitätsmodelle im DSS spielen?

Neben den methodischen Aspekten existieren organisatorische Fragen, die beantwortet werden müssen:

- Wie können Forschungsergebnisse, die nicht direkt in das DSS integriert sind, präsentiert werden?
- Wie können die Ergebnisse von Forschungsvorhaben mit ähnlichen Inhalten kombiniert werden?
- Wie sollten die Nutzer konkret in den Prozess der Erstellung des Systemdiagramms einbezogen werden?

Für jedes der drei Module sind offene Forschungsfragen mit Relevanz für das zu erstellende Systemdiagramm erkannt worden, die es zu beantworten gilt. Abbildung 7 zeigt, welche Institute einen Beitrag in Form von Daten und Modellen zur Beschreibung der Zusammenhänge leisten können. Tabelle 12 gibt einen Überblick über die Modellcharakteristiken und die vorhandenen Daten. Diese Liste ist an einigen Stellen noch zu komplettieren. Ein minimales Set von Systemvariablen für die drei Module ist in Abbildung 8 aufgeführt.

Das folgende Kapitel enthält eine Reihe von abschließenden Empfehlungen für das mögliche Design eines Pilot-DSS. Diese Empfehlungen berücksichtigen die Machbarkeit, die Gesamtproblematik, die Auswahl eines geeigneten Beispielgebietes, die Anforderungen der informatischen Umsetzung sowie die Verfügbarkeit der entsprechenden Daten und Modelle.

