



Projekt 4.02

Prognose des Sedimenthaushaltes und der Flussbettentwicklung

1. Zwischenbericht - Februar 2010

- Projektleitung

Dr.-Ing. Stefan Vollmer, BfG, Tel. 0261-1306 5481, E-Mail: vollmer@bafg.de

Dr.-Ing. Markus Promny, BfG, Tel. 0261-1306 5592, E-Mail: promny@bafg.de

- Projektbearbeiter

Dipl.-Ing. Marc Roberts, BfG, Tel. 0261-1306 5978, E-Mail: roberts@bafg.de

1 Ziele

Ziel dieses Projektes ist es, die Auswirkungen der potenziellen Klimaänderungen auf den natürlichen Feststofftransport an den Bundeswasserstraßen zu ermitteln und zu bewerten. Neben dem Abfluss sind der Sedimenthaushalt und die Entwicklung des Gewässerbettes für die Schiffbarkeit der Binnenwasserstraßen entscheidend. Dabei erfordern sowohl Anlandungstendenzen, als auch großräumig/langfristige defizitäre Flussbettentwicklungen ein aktives Sedimentmanagement. Mögliche großskalige Änderungen haben Einfluss auf die Fahrrinntiefen und auf den für ihre Gewährleistung notwendigen Unterhaltungsaufwand (vgl. Abb. 1).

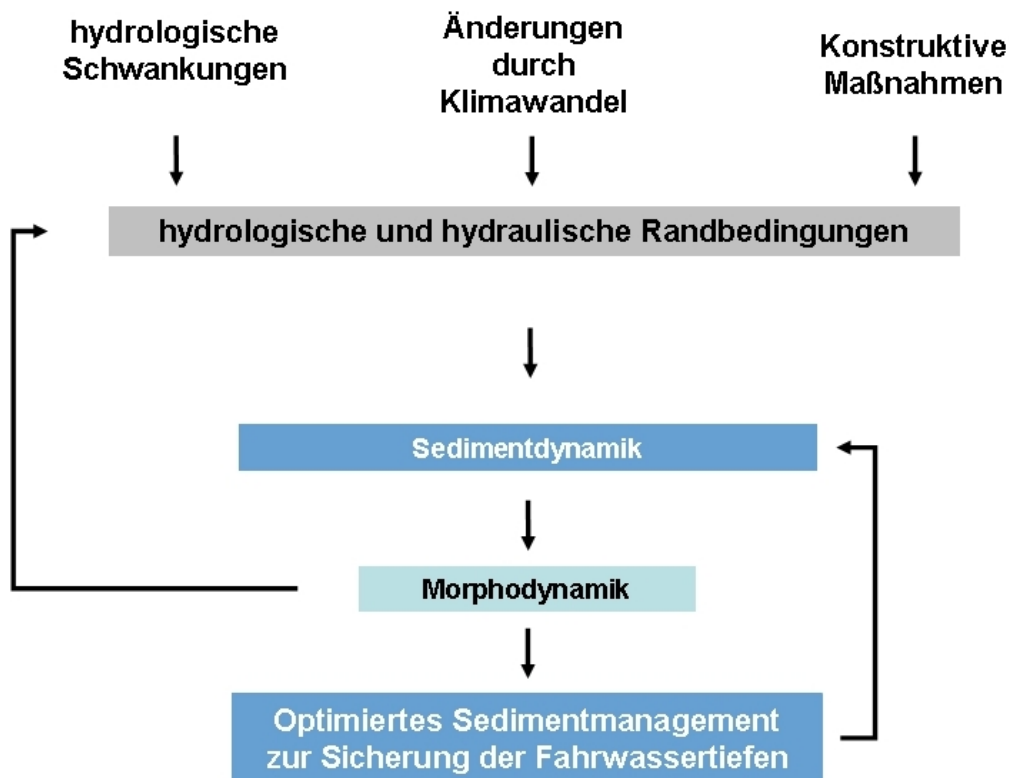


Abb. 1: Wirkungsschema in PJ 4.02

Um die Aufwendungen für eine gesteigerte Unterhaltung abschätzen zu können, aber auch zur Ermittlung geeigneter Anpassungsoptionen, werden mit Hilfe morphodynamischer Modellierung die Bandbreiten der klimabedingten Änderungen von Flussbett und Wasserspiegel für die freifliessenden Flussstrecken von Rhein und Elbe berechnet. Hierfür werden Niederschlag-Abfluss-Modellierungen aus PJ 4.01¹ berücksichtigt, um die Auswirkungen auf Sedimentfrachten, Sohl- und Wasserspiegeländerungen sowie auf die Substratzusammensetzung zu erfassen und räumlich/zeitlich extrapoliert darzustellen. Neben den Projektionen zur potenziellen Änderung des Feststoffhaushaltes und der Flusssohle wird

¹ KLIWAS Projekt 4.01: Wasserhaushalt, Wasserstand und Transportkapazität. Klimabedingte Änderungen des Wasserhaushalts und der Wasserstände, Handlungsoptionen für Binnenschifffahrt und verladende Wirtschaft.

für den Referenzzeitraum die Datenverfügbarkeit bezüglich sedimentologischer Detaildaten für andere Projekte des Forschungsprogramms KLIWAS (z. B. Güte und Ökologie) gewährleistet.

2 Methoden

Die Prognose des Sedimenthaushalts und der Flussbettentwicklung erfordert einerseits Kenntnisse der maßgebenden Sedimenttransportprozesse und der flussbezogenen Daten und andererseits die Umsetzung von Prozess- und Systemverständnis in geeigneten Prognosewerkzeugen.

Innerhalb des Projektes 4.02 werden deshalb zwei Ansätze verfolgt, um die Fragestellung der morphologischen Entwicklung sowie der Sedimentbewirtschaftung sowohl auf groß- als auch kleinskaliger Ebene zu erfassen. Für die integrale Bewertung von großskaligen, langfristigen Änderungen eignen sich besonders die eindimensionalen Flussgebietsmodelle, lokale prozessorientierte Untersuchungen erfordern mehrdimensionale Modelle.

Innerhalb des Modellinstrumentariums der BfG ist mit dem Programmpaket SOBEK ein geeignetes Feststofftransportmodell vorhanden, welches als Flussgebietsmodell für die deutsche Elbe-Strecke (SOBEK River; Ústí nad Labem - Geesthacht) und den Rhein (SOBEK Re; Iffezheim – Andernach (Köln), Köln - Lobith) auf Grundlage der jeweils aktuellen DGM erstellt und als zentraler hydraulisch/morphologischer Baustein der integralen Modellkette auf Flussgebietskala verwendet wird.

Die prozessorientierten Untersuchungen erfolgen kleinräumlich an charakteristischen morphologisch aktiven Flussabschnitten (Rheingau km 495-512, Mittlere Elbe km 207-222 und km 239-254) mit dem dreidimensionalen morphologischen Modell SSIIM der Universität Trondheim. Prozessverständnis meint, das Wissen um die sedimentologischen Vorgänge (Transportbeginn, stochastische Ansätze der Transportformulierung, Abpflasterung, Sortierung, Bedeutung von Transportkörpern) an der Flusssohle zu erweitern und mit den Erkenntnissen der großskaligen Modelle zu verknüpfen bzw. auf die Flussgebietskala zu übertragen.

Die Skalenintegration erfolgt dabei von der kleinen Skala zur großen Skala (räumlich und zeitlich). Somit können lokale Anpassungen vor dem Hintergrund der Projektionen auf Flussgebietskala (Überlagerung mit langfristigen hydrologischen-/ morphologischen Änderungen, veränderlichen Landnutzungen etc.) beurteilt werden.

Durch Kooperationen mit den Modellentwicklern von SOBEK (Deltares) und SSIIM (Universität Trondheim) wird die spezielle Ausrichtung auf die Einflüsse der potenziellen Klimaänderungen auf den Sedimenthaushalt und die Sohlhöhen- und Substratänderung gewährleistet. Es ist so sichergestellt, dass zukünftige Forschungsarbeiten (intern & extern) zeitnah in das Modellinstrumentarium einfließen können.

3 Im Berichtszeitraum durchgeführte Arbeiten

Wesentliche Schritte für die KLIWAS-Projekte 4.01 und 4.02 waren die seit 2008 startenden Vergaben an die Kooperationspartner Deltares, BCE Björnsen und Meander zum Aufbau der hydraulischen Flussgebietsmodelle an Rhein und Elbe. Im Jahr 2009 erfolgte die morphologische Aktivierung von beiden großskaligen Flussgebietsmodellen.

Die einzelnen Arbeitsschritte in PJ 4.02 sind nachfolgend nach Flussgebieten getrennt aufgeführt.

Rhein:

- Datenanalyse Oberrhein zu Sedimentologie, Morphologie, Hydrologie
- Modellaufbau /Abnahme des morphologischen Teils des SOBEK RE-Modells Iffezheim - Andernach.
- Abschnittsweise Optimierung der bestehenden Kalibrierung, durch Anpassung von hydraulischen und morphologischen Parametern.
- Kopplung der morphologischen aktivierten SOBEK RE Modelle (Iffezheim – Andernach (Weiterführung bis Köln) und Köln – Lobith).

Elbe

- Modellaufbau /Abnahme des morphologischen Teils (Ústí nad Labem - Geesthacht) des SOBEK River-Modells (endgültige morphologische Abnahme noch ausstehend, voraussichtlich bis Ende März 2010).
- Fachliche Aufbereitung von GIS basierten Daten für das prozessorientierte numerische 3D Strömungs- und Sedimenttransportmodell SSIIM.
- Erstellung zweier 3D-Strömungs- und Sedimenttransportmodelle in der mittleren Elbe bei Wittenberg und Vockerode mit SSIIM für einen mittleren Abflusszustand.

Entwicklung von Modellketten/ Schnittstellen

- Implementierung des Datenaustausches zwischen den Modellen der SOBEK-Familie sowie dem integrierten Flussauenmodell INFORM 3 mit den Modulen MORPHO/ VALMORPH für die Bewertung aus hydromorphologischer und ökologischer Sicht.

In der Tabelle 1 sind die Kooperationen und Aufträge von PJ 4.02 mit Universitäten, staatlichen Forschungseinrichtungen sowie Ingenieurbüros aufgelistet.

Tab. 1: Projekt 4.02 - Kooperationen und Aufträge

Kooperationspartner/ Auftragnehmer	Kurztitel	Ansprechpartner
Deltares	„Weiterentwicklung der SOBEK Flussgebietsmodelle“, Erstellung des eindimensionalen Feststofftransportmodells für die Elbe (SOBEK River)	Vollmer, Promny, Roberts
Uni Utrecht, Dept. of Physical Geography	„Implementierung geeigneter Ansätze zum Transportverhalten der feinen Feststofftransportfraktionen in BfG-Werkzeuge“	Vollmer, Frings
Uni Trondheim (NTNU), Department of Hydraulic and Environmental Engineering	„Weiterentwicklung mehrdimensionaler Sedimenttransportmodelle zur Anwendbarkeit auf Wasserstrassen“	Vollmer, Promny, Roberts
Meander / Arcadis Gewecke und Partner – Beratende Ingenieure GmbH	„Aktualisierung des SOBEK-Modells Iffezheim/Maxau – Andernach ; Hydraulische und morphologische Modellkalibrierung“ (SOBEK Re)	Vollmer, Promny, Roberts
BCE Björnsen Beratende Ingenieure GmbH, IWU Schumacher Ingenieure	Erstellung des eindimensionalen hydraulischen Modells für die Elbe (SOBEK River)	Meißner, Promny, Vollmer

4 Vernetzung des Projektes

Die Projektgruppe 4.02 arbeitet eng mit Gruppen innerhalb des Ressorts wie BAW, BfG und WSÄ sowie mit nationalen und internationalen Wissenschaftlern aus Universitäten zusammen. Die nachfolgende Abbildung 2 gibt einen Überblick der Vernetzung des PJ 4.02 innerhalb des KLIWAS-Ressortforschungsprogramms.

Wie auf dem ersten KLIWAS-Workshop im Binnenbereich der Vorhaben 1, 4, 5 festgelegt, ist die Grundlage für alle Datentransfers eine zeitliche Auflösung von 24 Stunden. Die räumliche Komponente ist je nach Prognose- bzw. Simulationsmodell variabel. In der nachfolgenden Tabelle 2 sind die Parameter aufgelistet, die für andere Projekte relevant sind und von PJ 4.02 geliefert werden können. Die Änderungen von hydraulischen und morphologischen Parametern beziehen sich auf Ergebnisse, die mit unveränderlicher Sohle, wie z.B. im PJ 4.01, mit SOBEK ermittelt wurden (vgl. Tab.2).

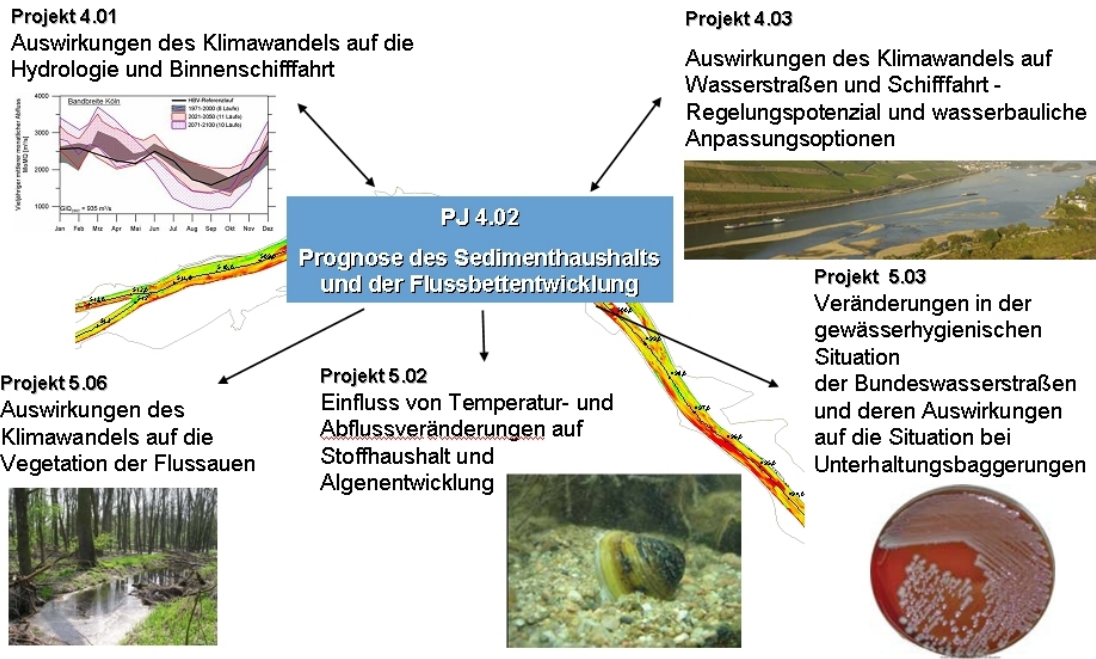


Abb. 2: Verknüpfungen von PJ 4.02 zu anderen Projekten innerhalb von KLIWAS

Tab. 2: Relevante Parameter für andere Projekte innerhalb von KLIWAS

Parameter	Variable	Zeitliche Auflösung	Projekte
Fließgeschwindigkeitsänderung	Δv	24h	PJ 4.01, PJ 5.06
Wassertiefenänderung	Δh	24h	PJ 4.01,
Wasserspiegelbreite	b	24h	PJ 4.01
Sohlschubspannung	τ	24h	PJ 5.06
Sohlhöhenänderung	ΔS	24h	PJ 4.01
Sohlgefälleänderung	ΔI	jährlich	PJ 4.03
Geschiebefracht	Mg	jährlich	PJ 4.03
Schwebstofffracht (suspendierte Sandfracht)	Ms	jährlich, 24h	PJ 4.03, PJ 5.03
Schwebstoffkonzentration	Cs	24h	PJ 5.02

Die Ausgangsbasis für die Projektbearbeitung von PJ 4.02 bilden dabei die projizierten Abflussganglinien von PJ 4.01. Ein entsprechendes Arbeitstreffen sowie die erste Lieferung eines Testdatensatzes für die freiließende Strecke des Rheins haben stattgefunden. Darauf aufbauende Testläufe mit SOBEK RE befinden sich in der Auswertung. Es wurde festgehalten, dass vorläufig ein provisorischer Datenaustausch zwischen beiden Projekten stattfindet.

Weiterhin wurden zwei Arbeitstreffen mit dem PJ 4.03 durchgeführt, um den gegenseitigen Informations- und Datenaustausch sicherzustellen. Gegenstand dieser Besprechungen war es, den wechselseitigen und zukünftig iterativ erfolgenden Datentransfer von hydraulischen und morphologischen Modellergebnissen zwischen den beiden Projekten zu gewährleisten. Des Weiteren wurden von PJ 4.02 Informationsanfragen bzgl. Baggerszenarien, Ausbau- sowie Anpassungsstrategien für zukünftige Unterhaltungen an PJ 4.03 gestellt. Die Datenabfragen zur Verfahrenspraxis der WSÄ bei Baggerung/Verklappung an den Bundeswasserstraßen Rhein und Elbe werden durch PJ 4.03 durchgeführt und PJ 4.02 zugänglich gemacht.

Weiterhin besteht ein Datenbedarf der KLIWAS-Projekte 5.02, 5.03, 5.06 bezüglich Fließgeschwindigkeiten, Schwebstoffkonzentrationen sowie möglicher klimabedingter Änderungen in den Schwebstofffrachten. Zwischen diesen Projekten und PJ 4.02 haben noch keine Abstimmungsgespräche stattgefunden. Die Daten der Schwebstofffrachten und Konzentrationen können für gegenwärtige Zeiträume aus der SchwebDB sowie für den Projektionszeitraum zukünftig aus SOBEK River (suspendierter Sandfraktionen) erhalten werden. Für den Rhein stehen nur Schwebstoffdaten aus der SchwebDB zu Verfügung. Eine Schwebstoffberechnung ist in SOBEK RE nicht implementiert.

5 Ergebnisse

Rhein

Das bestehende SOBEK RE-Modell der Rheinstrecke Maxau - Andernach wurde nach sechs Jahren Betrieb einer umfassenden Aktualisierung unterzogen (Meander, 2009). Wesentliche Neuerung ist die Implementierung eines morphologischen Bausteins zur Simulation von makroskaligen Systemveränderungen auf Flussgebietsgröße unter der Prämisse einer klimatischen Langzeitmodellierung. Die Aktivierung des Morphologiemoduls erfolgte mit der Forderung, den fraktionierten Geschiebetransport mit einer in sich geschlossenen Feststoffbilanz zu modellieren. Gefordert wurden weiterhin, morphologische/sedimentologische Phänomene wie Sortierung, Abpflasterungen, unerodierbare Schichten oder Schichtwechsel zwischen groben und sehr feinen Sedimenten abzubilden, aber auch Sedimentmanagementmaßnahmen wie Geschiebezugaben oder -entnahmen zu berücksichtigen.

Mit der derzeit in Bearbeitung befindlichen Modellerweiterung bis Köln sowie der Kopplung mit dem Modell Köln – Lobith wird ab Mitte des Jahres ein Gesamtmodell der deutschen freifließenden Rheinstrecke für das Projekt zur Verfügung stehen. Die im aktuellen Modellzustand erreichte Genauigkeit der morphologischen Modellergebnisse muss stellenweise durch Nachkalibrierung verbessert werden.

Elbe

Das von der Björnson Beratende Ingenieure GmbH aufgebaute hydrodynamische Modell umfasst die Elbe von Ústí nad Labem bis Geesthacht sowie Nebengewässerabschnitte der Havel, Saale, Mulde und Schwarzen Elster (BCE, 2009). Die Erstellung des morphologischen

Modells erfolgte durch Deltares, wobei von den Nebengewässern nur der untere Abschnitt der Saale (Calbe bis Mündung in die Elbe) als morphologisch aktiv betrachtet wird. Da der modellierte Elbeabschnitt sehr lang ist, umfasst das Modell Abschnitte mit unterschiedlicher morphologischer Charakteristik. Um das unterschiedliche Verhalten der verschiedenen Korngrößen berücksichtigen zu können wird fraktioniert gerechnet (Deltares, 2010).

Abbildung 3 zeigt die gemessenen Sohlpeilungen der Messkampagnen 2004 und 2007 als relative Sohlagedifferenz (gemittelt über 1,5 km) zwischen Torgau (km 155) und Wittenberg (km 215) innerhalb der sogenannten Erosionsstrecke der Elbe. Weiterhin sind in der Grafik die mit SOBEK simulierten Ergebnisse der morphologischen Sohlagenentwicklung für den selben Zeitraum aufgetragen. Es ist zu erkennen, dass eine hinreichend gute Übereinstimmung zwischen Realität und Modell für den Validierungszeitraum hinsichtlich der Sohlagenentwicklung erreicht wird.

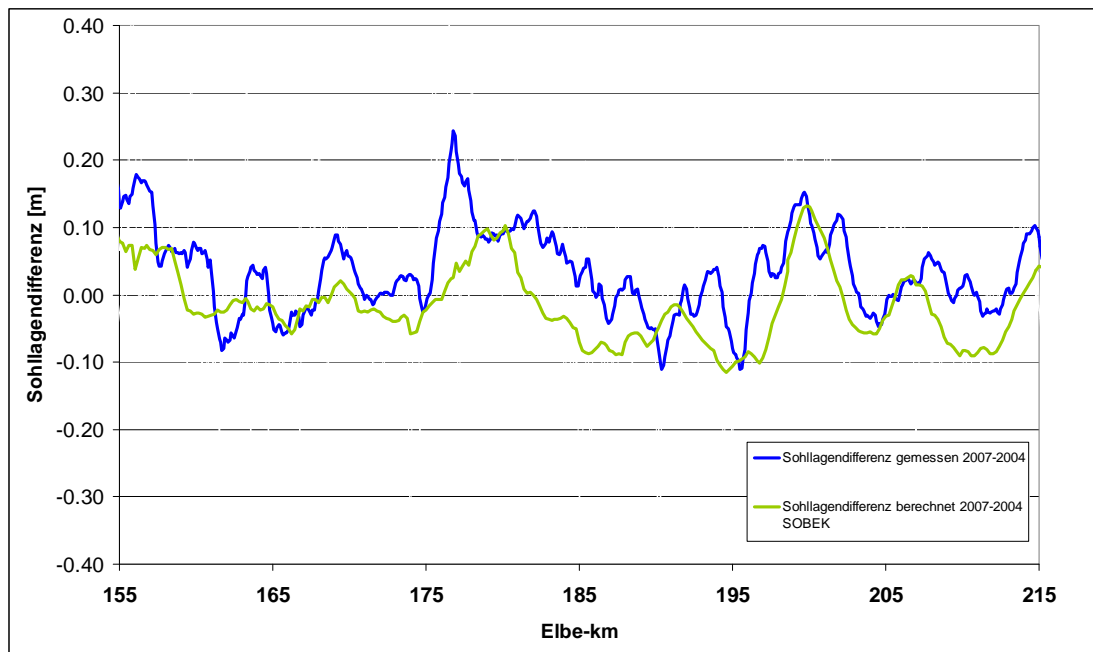


Abb. 3: Sohlagenentwicklung im Validierungszeitraum 2004 – 2007 zwischen Torgau und Wittenberg

6 Ausblick

Die anstehende Bearbeitung der SOBEK Modelle von Rhein und Elbe umfasst sowohl eine sukzessive Verbesserung der morphologischen Kalibrierung, als auch die Implementierung von Algorithmen zur Berücksichtigung zukünftiger Baggerungen und Verklappungen im numerischen Modell. Diese Ergänzung verbessert die Eignung des Programms für projizierte Abflusszeitreihen und erlaubt es, den betrieblichen Unterhaltungsaufwand an Rhein und Elbe

im Prognosezeitraum abschätzen zu können. Weiterhin werden zukünftige bauliche Anpassungsoptionen aus PJ 4.03² in beide SOBEK-Modelle eingepflegt.

Zeitgleich erfolgt die testweise Fortführung von Simulationsläufen mit projizierten Abflussganglinien (PJ 4.01), um numerische Probleme des Programmpakets SOBEK infolge der außergewöhnlich langen Berechnungszeiträume auszuschließen. Ein weiterer Fokus der Bearbeitung liegt auf der Erstellung von repräsentativen Kriterien zur Selektion der generierten Abflusszeitreihen aus der Niederschlags-Abfluss-Modellierung unter dem Aspekt der morphologischen Sensitivität bzw. Verwundbarkeit der Bundeswasserstraßen.

Die prozessorientierten SSIIM Modelle werden um die Vorlandbereiche sowie die Auwaldgebiete in der Mäanderstrecke der Elbe erweitert. Dies ermöglicht die Simulation des gesamten Abflussspektrums der projizierten Abflusszeitreihen und erlaubt somit die Abbildung der morphologisch äußerst bedeutenden Hochwasserereignisse sowie die Sicherstellung der Skalenintegration. Schwierigkeiten bei der Modellerstellung sind im Anhang A (Erfolgskontrollbericht) erläutert.

Die Methoden der Projektbearbeitung von PJ 4.02 innerhalb des Ressortforschungsprogramms KLIWAS sollen in der wissenschaftlichen Fachwelt diskutiert werden. Zu diesem Zweck sind Publikationen und Veröffentlichungen auf Kongressen sowie Fachzeitschriften im Rahmen der Projektlaufzeit vorgesehen. Konzepte und erste Teilergebnisse des PJ 4.02 sollen im September 2010 auf der Fachkonferenz River Flow in Braunschweig vorgestellt werden (Weichert et al., 2010).

Literatur

BCE (2009): BCE Björnsen Beratende Ingenieure GmbH: Erstellung eines eindimensionalen Feststofftransportmodells für die Elbe – Dokumentation hydraulisches Modell, 2009; Vorabzug.

BUSCH ET. AL. (2009): Busch, N., Larina, M., Vollmer, S.: Analyse von Wasserspiegelfixierungen am Rhein zwischen Iffezheim und Mainz zur Ermittlung zeitlicher Wasserstandsänderungen zwischen 1978 und 2008, BfG-1634, Bericht der Bundesanstalt für Gewässerkunde, 2009.

DELTARES (2010): Deltares: Erstellung eines eindimensionalen Feststofftransportmodells für die Elbe – Dokumentation morphologisches Modell, 2009; Vorabzug.

FRINGS UND VOLLMER (2009) Frings, R., Vollmer, S.: Morphological development of the Rhine river between 1996 and 2006 – A comparison of two approaches - sediment transport measurements and echosounding surveys; Iffezheim-Brohl (km 336-620),

² KLIWAS Projekt 4.03: Verkehrswasserbauliche Regelungs- und Anpassungsoptionen an klimabedingte Veränderungen des Abflussregimes.

internal document, BfG-Bericht 1640, Bericht der Bundesanstalt für Gewässerkunde, 2009.

MEANDER (2009): Aktualisierung des SOBEK-Modells Iffezheim/ Maxau – Andernach
Erstellung der BASELINE-Datensätze und der SOBEK-Modelle, hydraulische und
morphologische Modellkalibrierung und –verifizierung, 2009; Endbericht.

WEICHERT ET AL. (2010): Weichert, R. B., Wahrheit-Lensing, A., Frings, R. M., Promny, M.
und Vollmer, S.: Morphological characteristics of the river Rhine between Iffezheim
and Bingen. Eingereicht für River Flow 2010, Braunschweig.

PROMNY ET AL. (2010): Promny, M. , Frings, R. M., Gehres N., Busch, N., Vollmer, S. und
Gölz, E.: Analyse und Bewertung der hydraulisch-morphologischen Situation zwischen
Iffezheim und Mainz, internes Dokument, BfG-Bericht, Bericht der Bundesanstalt für
Gewässerkunde, 2010; Entwurf.

Abkürzungen

3D	Dreidimensional
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde
DAS	Deutsche Anpassungsstrategie
DGM	Digitales Geländemodell
GLQ	Gleichwertiger Abfluss
GLW	Gleichwertiger Wasserstand
HW	Hochwasser
NTNU	Norwegian University of Science and Technology (<i>Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet</i>)
NW	Niedrigwasser
SchwebDB	Schwebstoffdatenbank
SedDB	Sedimentdatenbank
SSIIM	S imulation of S ediment Movements I n Water I ntakes with M ultiblock Option
WSÄ	Wasserschiffahrtsämter
WSV	Wasser- und Schifffahrtsverwaltung

Anhang Zeitplan

Vorhaben 4 Klimawandel im Binnenbereich: Erfassung der Veränderungen des hydrologischen Systems: Sedimenthaushalt und Morphologie u. Anpassungsoptionen für Schifffahrt und Wasserstraßen (Dr. Maurer, BIG/M2)																																					
PJ.Nr.	TP																																				
PJ 4.02	-1	Feststoffhaushalt und Sohlhöhenentwicklung	BfG M3																																		
PJ 4.02	-2	Modellaufbau Rhein, Elbe	DeltaRes, HKV, BCE																																		
PJ 4.02	-3	Entwicklung Modellkette	BCE, DeltaRes																																		
PJ 4.02	-3	Skalenintegration	Univ. Trondheim, Utrecht, Deltares																																		
PJ 5.01 - TP Aufgaben			Verantwortlicher Partner	P-Ressource (g)	2009				2010				2011				2012				2013																
					Quartal	01	02	03	04	01	02	03	04	01	02	03	04	01	02	03	04	01	02	03	04												
					Monat	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	01	02	03	04	01	02	03	04
Koordination KLIWAS-Morphologie Binnen																																					
Rhein																																					
<u>Modellaufbau Hydrologie + Morphologie (Iffezh.-Andermach)</u>																																					
Vergabe Universität Utrecht																																					
Vergabe Meander																																					
<u>Erstellung Flussgebietsmodell Rhein (Iffezh. - NL)</u>																																					
Projektpartner Waterdienst, Deltares																																					
Hydrographische Analysen (mit Referat M5)																																					
Entwicklung Klimaszenarien Morphologie																																					
Auswertung Klimaszenarien Morphologie																																					
Projektpartner DST (s.o. TP 4.01)																																					
Berichterstellung																																					
Elbe																																					
<u>Modellaufbau Hydrologie + Morphologie</u>																																					
Vergabe BCE Björnsen, Deltares																																					
Hydrographische Analysen (mit Referat M5)																																					
Entwicklung Klimaszenarien Morphologie																																					
Auswertung Klimaszenarien Morphologie																																					
Berichterstellung																																					
Entwicklung Modellkette/Schnittstellen/Skalenintegration																																					
<u>Entwicklung Modellkette Morphologie/Anpassungen/Ökologie</u>																																					
Schnittstelle Vorhaben 5 (Inform 3, Referate U2,4) Projektpartner BCE Björnsen																																					
<u>Skalenintegr. (sediment.) lokale Prozesse/Flussgebietskala</u>																																					
Projektpartner NTNU Trondheim																																					
Projektpartner Univ. Utrecht, Deltares																																					