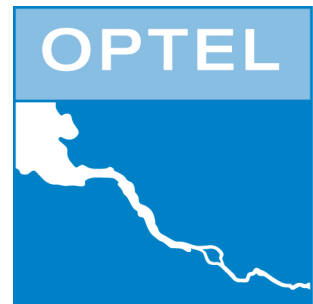

Verbundprojekt OPTEL



Windstaustudien und Entwicklung eines operationellen Tideelbe-Modells

Vorhaben 03KIS069–72:	Teilprojekte OPTEL-A – OPTEL-D Verbundprojektleiter: Dr. Sylvin Müller-Navarra
Zwischenbericht:	01.04.2008–30.04.2009 Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie Hamburg Port Authority
Institutionen:	Bundesanstalt für Wasserbau Deutscher Wetterdienst
Berichtersteller:	Dr. Sylvin Müller-Navarra

Einleitung

Die Elbe, besonders die tidebeeinflusste Unterelbe, ist ein stark frequentierter Schifffahrtsweg. Aufgrund des Tideeinflusses benötigen Schiffe, die von der Nordsee kommend die Elbe nach Hamburg befahren, permanente Vorhersagen des Wasserstandes. Für bestimmte Manöver im Hafen (z. B. Eindocken von Schiffen, Wenden sehr großer Schiffe) sind zusätzlich detaillierte Kenntnisse der tideabhängigen Strömungsverhältnisse wichtig.

Bei extremen Ereignissen wie Sturmfluten, sehr hohen oder auch sehr niedrigen Oberwasserzuflüssen in die Tideelbe sind räumlich und zeitlich detailliertere Vorhersagen von Wasserstands- und Strömungsverhältnissen besonders wichtig. Diese Informationen ermöglichen zusätzlich zu einer verbesserten Beratung der Schifffahrt und der Wasserwirtschaft in den Elbemarschen auch die Möglichkeit, bei Havarien im Bereich der Elbe die Öl- bzw. Schadstoffbekämpfung effizienter zu betreiben.

Die Sturmfluten im Winter 2006/2007 – insbesondere diejenige am 1. November 2006 – zeigten wieder deutlich, dass immer noch ein hoher Bedarf nach einer verbesserten Sturmflutvorhersage für die Elbe und die anderen Ästuar der deutschen Nordseeküste besteht.

Durch die Kopplung numerischer Modelle der Tideelbe mit hydrodynamisch-numerischen Vorhersagemodellen (HN-Modell) der Nordsee und Deutschen Bucht soll im Rahmen dieses Forschungsvorhabens gezeigt werden, dass mit numerischen Modellen und heutiger Rechnerleistung räumlich und zeitlich hochaufgelöste operationelle Wasserstands- und Strömungsvorhersagen für die Elbe möglich sind. Damit kann dann das Projekt OPTEL als Pilotstudie für Jade-Weser und Ems angesehen werden.

Ein für einen operationellen Betrieb geeignetes, hydrodynamisch-numerisches Verfahren in ausreichender horizontaler Auflösung für die deutschen Ästuar existiert noch nicht. Ohne ein solches Verfahren ist aber die von Schifffahrt, Wasserwirtschaft und Katastrophenschutz geforderte höhere Genauigkeit der Wasserstandsvorhersagen nicht möglich. Insbesondere sind die Vorhersagen für die weit von der offenen Nordsee entfernten Gezeitenhäfen Bremen und Hamburg für eine optimale Ausnutzung der Tidefenster nicht genau und detailliert genug. Auch ist bei Sturmfluten die Entwicklung des Windstaus längs der Tideflüsse noch nicht ausreichend erforscht.

Zur Lösung des Problems wurden vier Teilprojekte definiert:

- OPTEL-A: Entwicklung eines operationellen Tideelbemodells auf der Basis des hydrodynamisch-numerischen Modellverfahrens (*BSHcmod*) für die Nord- und Ostsee (03KIS069, BSH),
- OPTEL-B: Downscaling von Windfeldern aus Lokalmodellen auf die Tideelbe (03KIS070, DWD),
- OPTEL-C: Entwicklung eines operationellen Tidemodells der Elbe sowie einer Modellkopplung mit dem BSH-Vorhersagemodell der Nordsee (03KIS071, BAW),
- OPTEL-D: Studien zur Stauentwicklung in der Tideelbe (03KIS072, HPA)

Tab. 1: Teilprojektleiter und Projektmitarbeiter (kursiv)

OPTEL	
OPTEL-A, 03KIS069 Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) Bernhard-Nocht-Straße 78, 20359 Hamburg	Dr. Sylvin Müller-Navarra (zugleich Leiter des Verbundprojektes) <i>Dipl.-Ozeanogr. Ingrid Bork</i> Tel.: (040) 3190-3110 e-Mail: mueller-navarra@bsh.de
OPTEL-B, 03KIS070 Deutscher Wetterdienst (DWD) Bernhard-Nocht-Straße 76, 20359 Hamburg	Dipl.-Met. Gudrun Rosenhagen <i>Dr. Annette Ganske</i> Tel.: (040) 6690-1820 e-Mail: gudrun.rosenhagen@dwd.de
OPTEL-C, 03KIS071 Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) Dienststelle Hamburg Wedeler Landstraße 157, 22559 Hamburg	Dr. Harro Heyer, Dr. Elisabeth Rudolph <i>Dr. Christine Kremp</i> Tel.: (040) 81908-361 e-Mail: elisabeth.rudolph@baw.de
OPTEL-D, 03KIS072 Hamburg Port Authority (HPA) Neuer Wandrahm 4, 20457 Hamburg	Dipl.-Ing. Thomas Strotmann <i>Dipl.-Ing. Caroline Radegast</i> Tel.: (040) 428 47-2801 e-Mail: thomas.strotmann@hpa-hamburg.de

OPTEL-A: Entwicklung eines operationellen Tideelbmodells auf der Basis des hydrodynamisch-numerischen Modellverfahrens (*BSHcmod*) für die Nord- und Ostsee (03KIS069, BSH)

Am 1.7.08 wurde mit den Arbeiten im Teilprojekt des BSH begonnen. Ziel ist die Entwicklung eines Modells der Unterelbe von der Mündung bis Bleckede auf Basis der im BSH verwendeten operationellen Modelle und seine Integration in das Modellsystem des BSH. Der zweite wichtige Teil des Projekts ist es, eine solche Integration auch für externe Ästuarmodelle, speziell für das Elbmodell der BAW zuzulassen. An beiden Zielen wird in enger Zusammenarbeit mit der BAW gearbeitet.

Die Integration externer Modelle wird entscheidend vereinfacht, wenn ihr Rand mit Gitterzellen des Küstenmodells des BSH zusammenfällt. Da bekannte externe Ästuarmodelle mit variablen Gittern arbeiten, bedeutet dies keine grundsätzliche Einschränkung. In einem ersten Schritt wurde daher ein gemeinsamer Rand zum Küstenmodell festgelegt. Für den gewählten Rand wurde eine provisorische Schnittstelle zwischen Küstenmodell und BAW-Modell geschaffen und Daten für erste Testrechnungen mit Ergebnissen für die Sturmflut 2002 aus dem MUSTOK-Projekt übergeben.

Die Arbeiten zur Entwicklung des Elbmodells auf der Grundlage des BSH-Modells begannen mit der Festlegung zweier Gitternetze mit horizontaler Auflösung von 90 m und 45 m. Auf beide Gitternetze interpolierte die BAW die Bodentopographie der Elbe von 2003. Die feine Topographie wurde vorerst nur geprüft und dargestellt. Die Entwicklungsarbeiten erfolgen auf der Grundlage der 90 m Topographie. Aus diesen Daten wurde eine Modelltopographie konstruiert und so modifiziert, dass die Strömung im Modell nicht unrealistisch behindert wird. Die BSH-Modelle arbeiten mit verallgemeinerten vertikalen Koordinaten. In der Vertikalen wurden im Elbmodell maximal sieben Schichten zugelassen. Abbildung 1 zeigt die Schichtdicke der obersten Schicht.

Zur Konstruktion von Anfangswerten für die Modellvariablen wurden verschiedene Möglichkeiten getestet, besonders die Interpolation von Werten aus dem Küstenmodell auf das Elbmodell. Diese Version wurde jedoch zu Gunsten sehr simpler Anfangsfelder verworfen.

Im Rahmen von Optel ist im Teilprojekt des DWD eine spezielle Modifikation des operationellen meteorologischen Antriebs vorgesehen. Dazu wird die Erstellung einer neuen Schnittstelle zu den meteorologischen Modellen nötig. Testrechnungen erfolgen mit Antrieb aus dem LM-Modell (2002). Dazu wurde die operationelle Schnittstelle dem feineren Gitter der Elbe angepasst.

Hinsichtlich der eigentlichen Modellentwicklung wurde das Modellsystem Nordsee-/Küstenmodell zu einem System Nordsee-/Küsten-/Elbmodell ergänzt. Die Koppelung zwischen Nordsee- und Küstenmodell wird

intern, simultan und beidseitig erfolgen (Abb. 2). Erste Modellrechnungen laufen zur Zeit mit einer internen, simultanen, einseitigen Koppelung.

Als nächstes sollen mehrere Kopplungsoptionen entwickelt werden. 2009 hat die Testphase des vollständigen BSH-Modells in barokliner Version begonnen. Erste Simulationen waren erfolgreich, aber nur unter erheblichem Rechenaufwand. Zur Zeit wird an einer Optimierung des Programmablaufs gearbeitet. Des Weiteren ist die Schnittstelle zum COSMO-EU/WASP-Verfahren zu realisieren (03KIS070). Eine modellinterne Beschreibung der Staustufe Geesthacht ist zu entwerfen, die bei sehr hohen Sturmflutwasserständen gelegt wird.

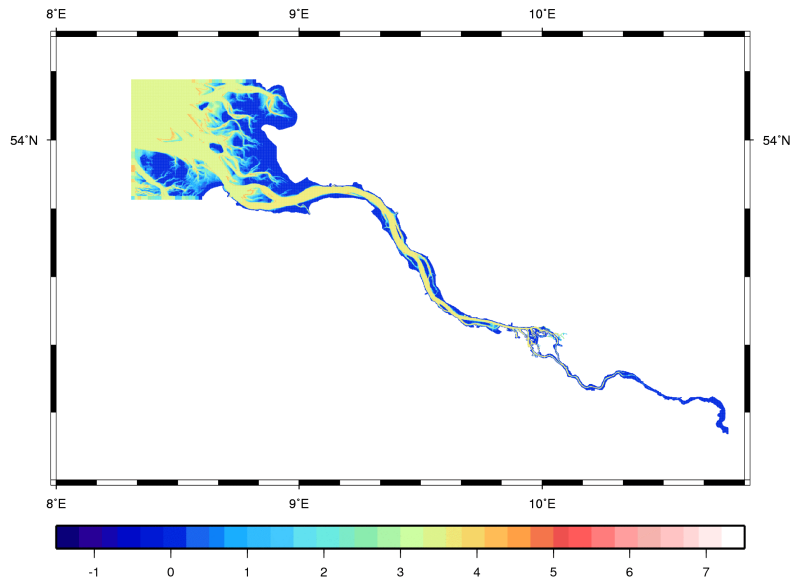


Abb. 1: Anfangsschichtdicke der obersten Schicht des Elbemodells

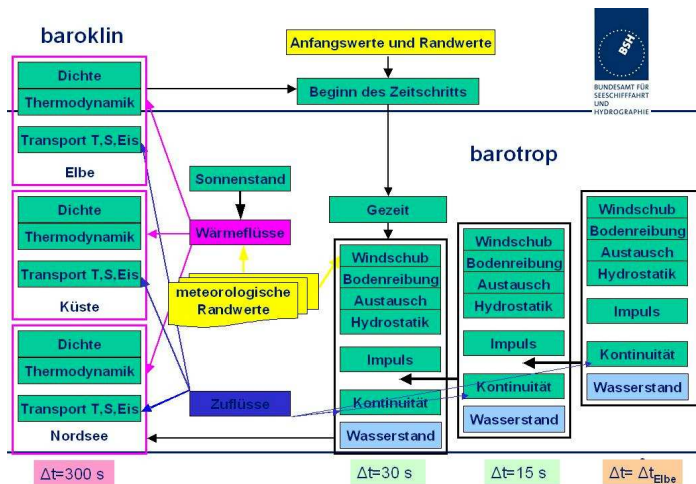


Abb. 2: Raum-zeitliche Interaktion der Module des Nordsee/Küste/Elbe-Modells

OPTEL-B: Downscaling von Windfeldern aus Lokalmodellen auf die Tideelbe (03KIS070, DWD)

Der Deutsche Wetterdienst bereitet im Projekt OPTEL Verfahren vor, mit denen räumlich hoch aufgelöste Windfelder über der Elbe operationell bestimmt werden. Dabei besteht das Problem, dass zurzeit dem Projekt nur die räumlich grob aufgelösten Windfelder der Vorhersagemodelle COSMO-EU und COSME-DE des Deutschen Wetterdienstes zur Verfügung stehen. Deshalb werden im Projekt OPTEL mit Hilfe des Modells WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program) Korrekturfaktoren für die mit COSMO-EU und COSMO-DE berechneten Windgeschwindigkeiten in 10 m Höhe über Grund bzw. NN bestimmt. Zur Berechnung der Korrekturfaktoren werden zuerst mit WASP verschiedene Windfelder berechnet, in dem man unterschiedliche Randbedingungen vorgibt. Diese Randbedingungen sind:

1. Topographie- und Rauigkeitsfelder, die in COSMO-EU als Randbedingung vorliegen (COSMO-EU-Randfelder).
2. Topographie- und Rauigkeitsfelder, die in COSMO-DE als Randbedingung vorliegen (COSMO-DE-Randfelder).
3. Randfelder, die aus topographischen Rasterdaten und amtlichen topographischen Karten erstellt wurden und die weiter als OPTEL-Randfelder bezeichnet werden.

Aus dem Vergleich der mit den COSMO-Randfeldern und den OPTEL-Randfeldern berechneten Windfelder werden dann die Korrekturfaktoren bestimmt. Zur Berechnung der Windfelder und Faktoren wird das Gebiet über der Elbe in fünf Teilgebiete aufgeteilt. Im westlichsten Teilgebiet, das die Messstationen Scharhörn und Brunsbüttel enthält, wurde mit der Berechnung der Windfelder und der daraus resultierenden Faktoren begonnen.

Je höher die Modellauflösung, desto genauer wird die Elbmündung aufgelöst. Je besser die Ausdehnung der wahren Wasserfläche erfasst ist, desto höher sind die Windgeschwindigkeiten und desto weiter reicht die Zone erhöhter Windgeschwindigkeiten von der Nordsee in die Elbe. Die Korrekturfaktoren werden berechnet aus dem Verhältnis der Windgeschwindigkeiten, die einerseits mit den COSMO-DE-Randfeldern und andererseits mit den OPTEL-Feldern bestimmt werden. Das rechte Bild in Abbildung 3 zeigt ein Beispiel für die Korrekturfaktoren bei Windrichtungen zwischen 285° und 315°. Dabei ist im linken Bild das mit den COSMO-DE-Randfeldern bestimmte Windfeld und in der Mitte das mit den OPTEL-Randfeldern berechnete Windfeld gezeigt. In dem mit den OPTEL-Randfeldern bestimmten Windfeld erkennt man die Abnahme der Windgeschwindigkeiten im Lee von Inseln und Sandbänken in der Elbe. Im Mittel liegen die Korrekturfaktoren zwischen 0.8 und 1.2, am südlichen Ufer der Elbe erreichen sie Werte bis maximal 1.6. Über Land nehmen die Faktoren in Gebieten mit Ortschaften oder Wäldern Werte 1.0 bis 0.6 an. In analoger Weise sind Korrekturfaktoren für andere Windrichtungsintervalle und für den Vergleich von COSMO-EU Windfeldern mit OPTEL-Windfeldern für dieses Gebiet vorhanden. Die Berechnung der Windfelder für weitere Teilgebiete der Elbe ist in Arbeit.

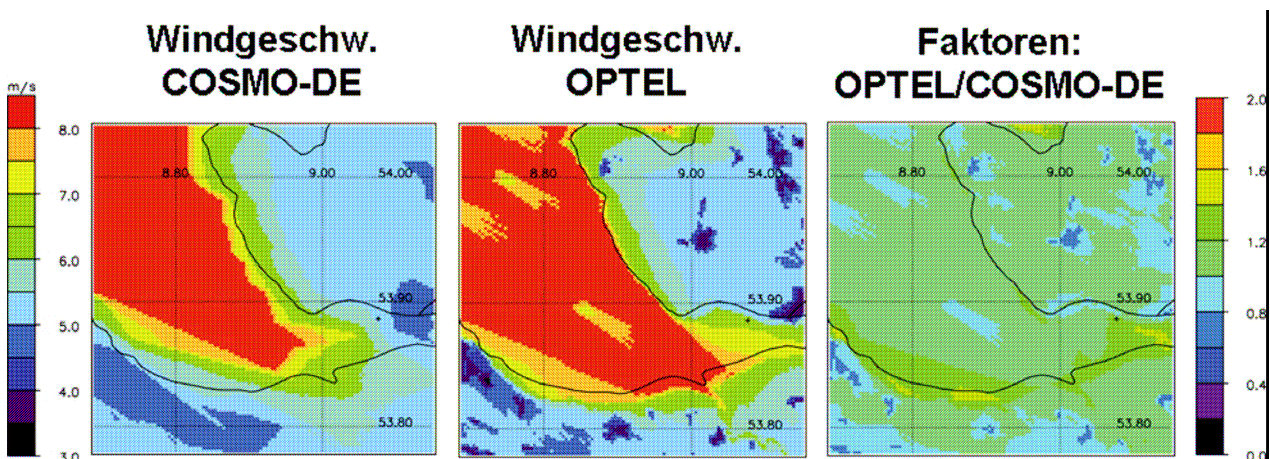


Abb. 3: Mittlere Windgeschwindigkeiten im Elbmündungsgebiet bei Windrichtungen zwischen 285 ° und 315°, berechnet mit dem Programm WASP und den Randfeldern COSMO-DE (linke Abb.) und OPTEL (mittlere Abb.). Das verwendete Windklima wurde aus den Windmessungen von Scharhörn der Jahre 1998 – 2007 ermittelt. Aus dem Verhältnis der Windgeschwindigkeiten der Felder COSMO-DE zu OPTEL werden die Korrekturfaktoren bestimmt (rechte Abb.). Schwarze Linien: Elbufer

OPTEL-C: Entwicklung eines operationellen Tidemodells der Elbe sowie einer Modellkopplung mit dem BSH-Vorhersagemodell der Nordsee (03KIS071, BAW)

Erster Arbeitsschritt im Vorhaben war die Entwicklung eines operationellen Tidemodells auf der Grundlage eines bewährten BAW-Hindcastmodells (Version 7 UnTrim). Geplant ist, für den operationellen Betrieb auf dem BSH-Rechner eine „schlankere“ Version zu installieren, als sie für Gutachten genutzt wird. Nötige weitere Schritte sind der Transfer des Modells auf den BSH-Rechner, Bereitstellung von Randwerten durch das BSH und von Wind aus COSMO-DE und WASP.

Die Topographie hat den Stand 2002 (Abb. 4), sie soll im operationellen Betrieb bei wesentlichen Änderungen neu erstellt werden (etwa alle 5 Jahre).

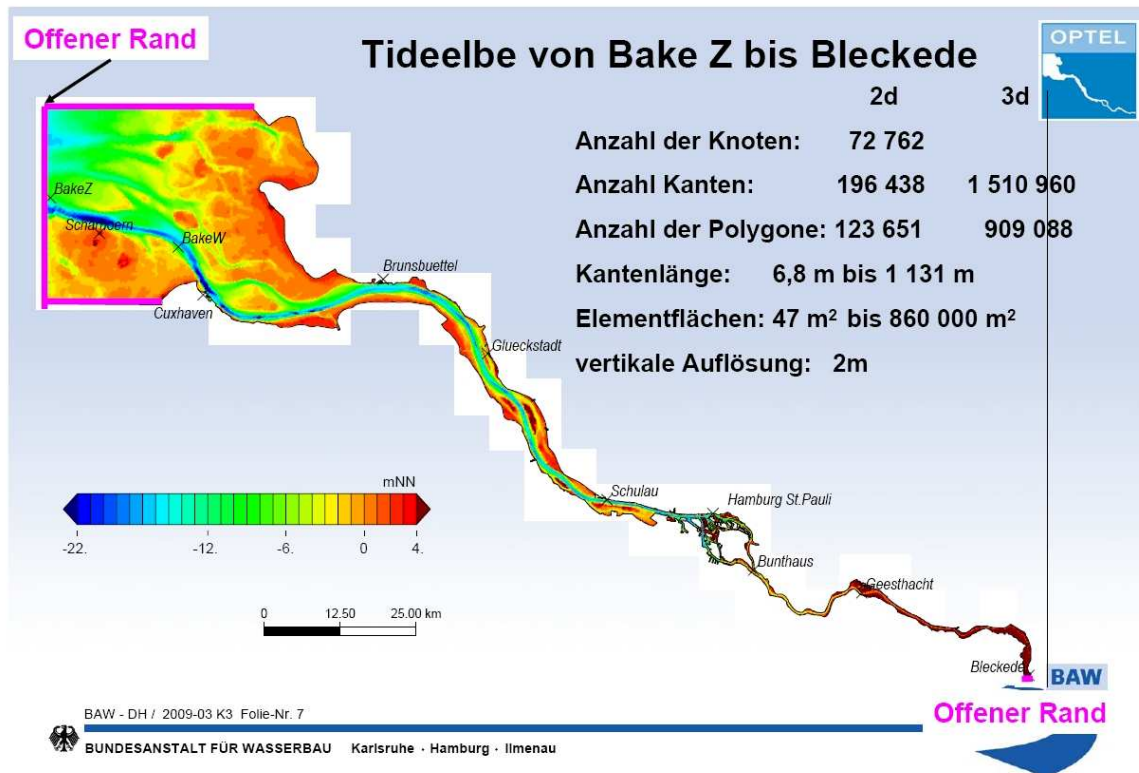


Abb. 4: Tideelbe und Kennzahlen der Digitalisierung sowie Lage des offenen Randes zum BSH-Küstenmodell

Erste Untersuchungen mit Randwerten aus dem Küstenmodell des BSH in das Elbemodell zeigten eine gute Reproduktion der Wasserstände für Cuxhaven. Grundsätzlich geklärt werden muss der Umgang mit Abweichungen der Randwerte aus dem Küstenmodell von den Beobachtungen bei den von der HPA in OPTEL-D definierten Szenarien.

In weiteren Rechnungen wurde ein deutlicher Einfluss der Bodenreibung gezeigt.

Weil es zum Ansatz einer Windschubspannung an der Wasseroberfläche keine speziellen Untersuchungen für Ästuare gibt, werden hierzu in OPTEL-A und -C Sensitivitätsstudien erforderlich sein.

OPTEL-D: Studien zur Stautwicklung in der Tideelbe (03KIS072, HPA)

Speziell für das Projekt wurden umfangreiche Datensätze von 150 Sturmfluten zusammengestellt. Die Auswahl der Daten erfolgte unter den Aspekten Stau in Cuxhaven, Oberwasserabfluss sowie dem Wind über der Elbe. Ein zusätzliches Kriterium sollte die Salzzonierung im Mündungstrichter darstellen. Dieser Punkt wurde aber vorerst zurückgestellt, da es noch keine abschließende Diskussion über die Umsetzung dieses Kriteriums gibt.

Aus diesen Datensätzen wurden in Abstimmung mit den anderen Teilprojekten OPTEL A bis -C 6 unterschiedliche Validationszeiträume ausgesucht.

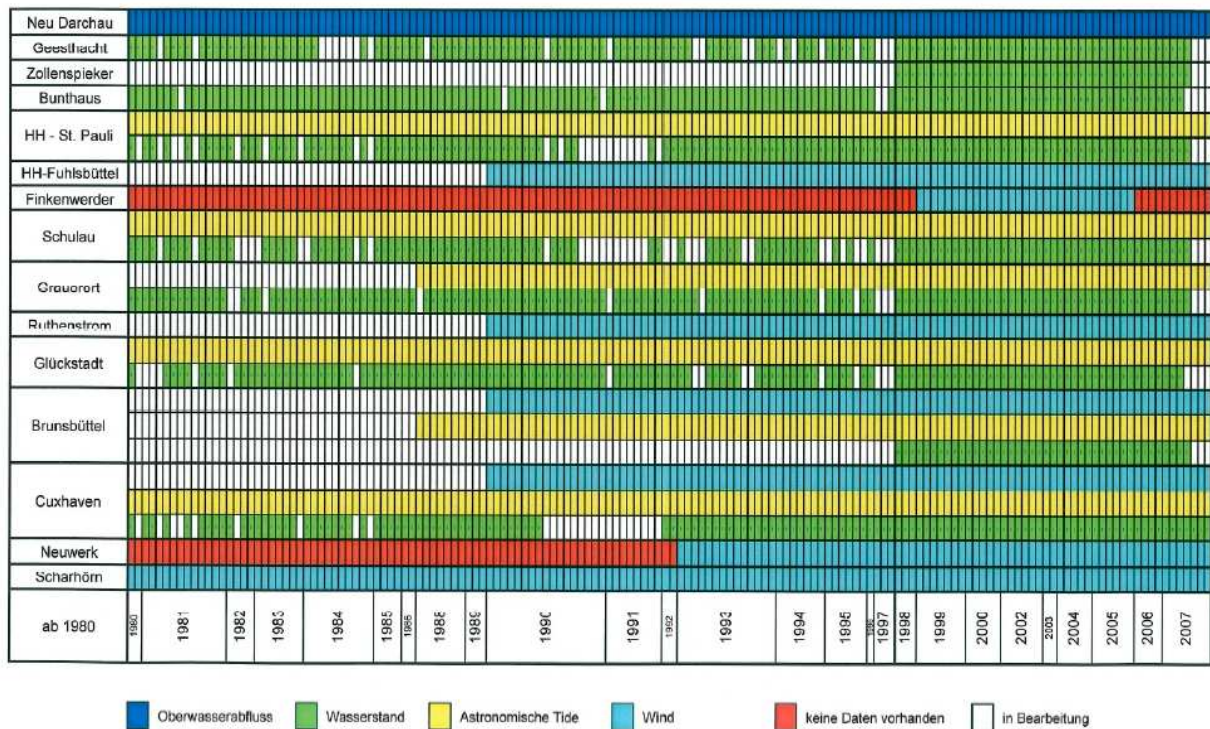


Abb. 5: Datensätze der 150 Sturmflutzszenarien an verschiedenen Positionen der Elbe.

Die Daten der Wasserstandszeitreihen stammen bisher aus drei verschiedenen Datenquellen. Für den Zeitraum von 1980 bis 1997/1998 liegen sie in Form von Pegelbögen vor. Des Weiteren stammen sie aus der Beweissicherungsdatenbank für den Zeitraum ab 1997/1998 bis heute (online abrufbar unter www.bs-elbe.de). Zusätzlich wird die HPA-eigene Datenbank für einen Datenabgleich bzw. zum Füllen von Datenlücken herangezogen. Die Aufbereitung der Zeitreihen erfolgt bei der HPA für die Pegel Cuxhaven, Brunsbüttel, Glückstadt, Grauerort, Schulau, St. Pauli, Bunthaus, Zollenspieker und Wehr Geesthacht ab dem Jahr 1980. Zwischen den Projektbeteiligten erfolgte deshalb eine Abstimmung von Informationen zu den Koordinaten der wichtigsten Pegel. Durch die Unterstützung der Wasser- und Schifffahrtsämter Hamburg und Lauenburg konnte eine aktualisierte Liste erstellt werden. Des Weiteren wurden von der HPA auf Anfrage des DWD, des BSH sowie der BAW Pläne zu den Deichhöhen entlang der Elbe vom Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG) für den Bereich Hamburg angefordert. Die Deichhöhen sollen in die Modelle eingearbeitet werden.

Weiterhin wurde die Vorhersagegüte von drei unterschiedlichen empirischen Verfahren zur Stauberechnung untersucht (WADI-, Stau- und Stiegverfahren). Diese Untersuchungen zeigen sehr deutlich die Grenzen empirischer Verfahren und die Notwendigkeit numerische Ästuarmodelle auf.

Synthese, Stand des Verbundprojektes

Zentrales Ziel der Projektarbeiten ist die Entwicklung eines für den operationellen Betrieb geeignetes, hydrodynamisch-numerisches Verfahren in ausreichender horizontaler Auflösung für die Elbe. Es soll auch für die anderen Ästuar geeignet sein. Weiteres Ziel ist die Verbesserung bestehender empirischer Wasserstandsvorhersageverfahren für die Elbe.

Die Modelltopographien für die konzipierten Elbemodelle der BAW und des BSH sind erstellt worden. Sie werden auf den Internetseiten zum Projekt gezeigt:

(<http://www.bsh.de/de/Meeresdaten/Beobachtungen/Projekte/OPTTEL/index.jsp>).

Die BAW und das BSH haben die betriebsintern gebräuchlichen IT-Verfahren für die Elbe in der nötigen Auflösung angepasst. Dabei konnten noch nicht alle Module in Betrieb genommen werden, da die zeitliche Verschachtelung der Prozesse Probleme aufwarf.

Die Arbeiten des DWD zeigen klar die Bedeutung des Downscalings der Windfelder auf die Wasserflächen der Elbe und die Berücksichtigung der Rauigkeitsunterschiede im Umland. Die Umrechnungsfaktoren müssen nun noch auf die speziellen Gitter der hydrodynamischen BAW- bzw. BSH-Modelle interpoliert werden.

Nach Beginn des prä-operationellen Betriebs der Modelle sollen die Ergebnisse auf der oben angegebenen Web-Site dargestellt werden.

Die HPA hat die Datenaufbereitung für die 6 Validationsszenarien weitgehend abgeschlossen und bereits umfangreiche Untersuchungen zu empirischen Stauverfahren für die Elbe ausgeführt.

Auf der letzten Projektsitzung am 30.04.09 ist der Fortschritt beim Erreichen der Ziele deutlich geworden. Insbesondere ist hervorzuheben, dass sich die vorgesehenen IT-Verfahren für den vorgesehenen Zweck als brauchbar erwiesen. Die für die Validierung der Modelle vorgesehenen 6 Szenarien werden etwaige, im Projektverlauf abzustellende Schwächen aufzeigen. Insoweit ist Phase 1 "Entwicklung und Validierung" des Projekts (s. Projektbeschreibung vom 16. August 2007) noch nicht abgeschlossen.

Teilnahme bzw. geplante Teilnahme an Konferenzen:

Frau Radegast hat auf der 27. Jahrestagung des "Arbeitskreises Geographie der Meere und Küsten" der Deutschen Geographischen Gesellschaft über ihre Studien im Rahmen von OPTEL-D vorgetragen. Frau Dr. Ganske wird im September auf der ECAM (European Conference on Application in Meteorology) vortragen. Anvisiert ist eine umfangreiche Vorstellung der OPTEL-Ergebnisse auf der ICCE in Shanghai 2010 (30.06.-05.07.2010). Vorträge müssen bis 01.10.2009 eingereicht werden (www.icce2010.cn/Paper.asp). In Hamburg findet im September 2010 eine Sturmflutkonferenz statt (SSC). Auch dort werden die OPTEL-Ergebnisse von Interesse sein.

Projektsitzungen:

Projektbegleitende Gruppe des KFKI: 05.03.2009 WSA Bremen

Projektinterne Treffen: 08.04.2008 BSH
08.06.2008 BAW
30.09.2008 HPA
13.01.2009 DWD
30.04.2009 DWD

Projektinterne Treffen (geplant): 25.06.2009 BSH
22.09.2009 BAW
02.12.2009 HPA