

OPTEL – Entwicklung eines operationellen Tideelbemodells auf der Basis des hydrodynamisch-numerischen Modellverfahrens (BSHcmod) für die Nord- und Ostsee (03KIS069)

Dr. Sylvin H. Müller-Navarra, Dipl.-Ozeanogr. Ingrid Bork
 Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
 (BSH) Hamburg

Einleitung

Vornehmlich zur Verbesserung der Wasserstandsvorhersagen in der Unterelbe wurde unter Federführung des BSH zusammen mit HPA (Hamburg Port Authority), DWD (Deutscher Wetterdienst) und BAW (Bundesanstalt für Wasserbau) im Rahmen des vom BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) geförderten Verbundprojektes OPTEL (Förderkennzeichen 03KIS069–72) ein neues dreidimensionales Modell der Elbe von Bleckede bis zur Mündung entwickelt. Projektlaufzeit war April 2008 bis März 2011. Mit OPTEL schafft das BSH eine wichtige Voraussetzung für einen effizienten Einsatz von tiefgehenden Schiffen wie Container- und Massengutfrachter, die Fahrtzeiten und -wege genauestens planen müssen, wenn sie gezeitenabhängige Häfen unter Ausnutzung des maximal möglichen Tiefgangs ansteuern. Aber auch bei Bauvorhaben, für den Kraftwerksbetrieb, die Wasserbewirtschaftung und den Katastrophenschutz bei Sturmfluten sind gute Vorhersagen der wichtigsten hydrologischen Größen von Bedeutung. Das gilt auch für Manöver sehr großer Schiffe im Hafen, bei denen detaillierte Kenntnisse der tideabhängigen Strömungsverhältnisse wichtig sind.

Das Modell

Das BSH entwickelt und benutzt seit vielen Jahren operationelle numerische Modelle (BSHcmod) der Nord- und Ostsee und der Deutschen Bucht zur Vorhersage von Wasserstand und Strömung und anderer physikalischer Größen. Nun ist dieses System um ein interaktiv an das bestehende Nordseemodell gekoppeltes Unterelbemodell ergänzt worden (Tab. 1).

Tab. 1: Einige gebietsspezifische Charakteristika der Modellgebiete und des numerischen Verfahrens

Modellgebiet	Unterelbe	Deutsche Bucht	Nordsee, Ostsee	Nordostatlantik
Horizontale Koordinaten	φ, λ			
Gitterabstand	~90 m	~900 m	~5 000 m	~10 000 m
Vertikale Koordinaten	allgemein			
Anzahl Schichten	7	25	36	1
Anzahl Volumelemente	397 157	1 117 390	643 922	26 424
Kopplung an äußeres Gebiet	beidseitig	beidseitig	einseitig	offener Rand
Prognostische Variablen	$v, \Delta z, T, S, v_{ice}, \Delta z_{ice}$			$v, \Delta z$
Anfangswerte	Kaltstart 2010	Kaltstart 1992		Kaltstart 2008
Gezeitendarstellung	direkt und Mitschwingungszeiten			keine
Gitternetz	Arakawa-C			
Zeitintegration	explizit			
Ausnahme (implicit)	vertikaler Austausch			-
Oberwasser	stündlich für deutsche Flüsse, täglich für andere			
Meteorologische Eingabegrößen	$V_{air(10m)}, P_{air}, T_{air}, Q_{air}, C_{air}$			$V_{air(10m)}, P_{air}$
Schubspannungskoeffizient	$0,63 \cdot 10^{-3} + 0,066 V_{air(10m)} $			
Schubspannungskoeffizient unterm Eis	eisabhängig			-
Programmiersprache	FORTRAN 90			
Betriebssystem	UNIX			

Bei der interaktiven Anbindung der Tideelbe an die Deutsche Bucht waren einige inhaltliche Hürden numerischer Art zu meistern. Zunächst musste eine interne Umorganisation des Quellcodes BSHcmod erfolgen, damit barotrope und barokline Zeitschritte gesondert festgesetzt werden können. Sodann wurde die numerische Einbindung der Staustufe Geesthacht erforderlich, denn diese ist in ihrer Höhe einstellbar und wird bei schweren Sturmfluten und großen Oberwassermengen zur Entlastung heruntergefahren. Die Staustufenfunktion musste vollständig neu entwickelt werden, und zwar so, dass die Transportalgorithmen weiter funktionieren. Auf den ersten Blick trivial erscheint es, dass mit Einbindung eines Flusses dessen Sohlhöhe das ungestörte Modellniveau des Meeresspiegels schneidet. Aber auch hier waren Quelltextanpassungen zur Schaffung der Allgemeingültigkeit erforderlich.

Letztlich konnte das Verfahren rechtzeitig (Ende 2010) während der Projektlaufzeit in den Vorhersagemodus überführt werden, und einige täglich aktualisierte Ergebnisse sind seitdem auf der Projektseite im Internet zu sehen (Abb. 1a und b).

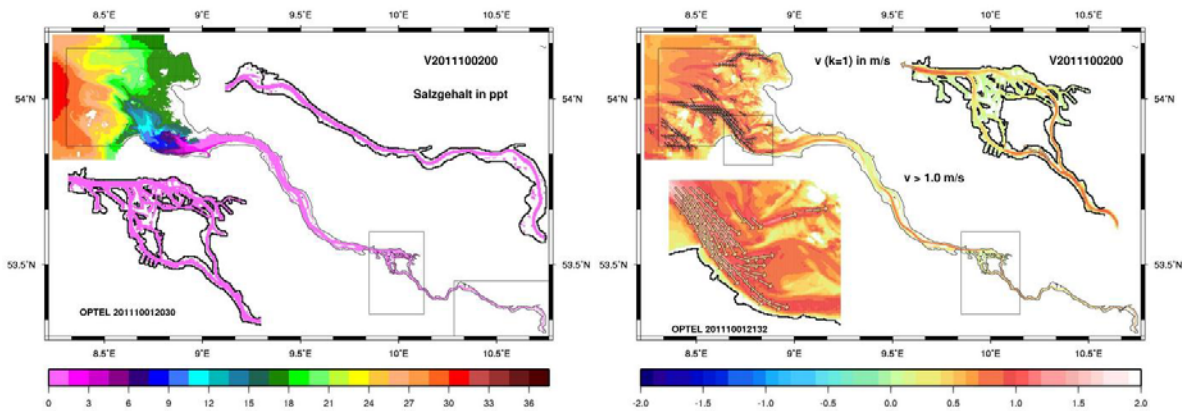


Abb. 1a (links): Salzgehalt [g/kg] in der Oberflächenschicht, vorhergesagt für den 02.10.2011, 0:00 UTC. Abb. 1b (rechts): Oberflächenströmung [m/s; zusätzlicher Pfeil bei $v > 1$ m/s] in der Oberflächenschicht, gleicher Zeitpunkt wie Abb. 1a.

Zur Nutzung des neuen Modells

Damit war im Projekt Zeit gewonnen für einige grundsätzliche Überlegungen hinsichtlich der sinnvollen Nutzung des Modellvorhersagesystems. Im Grunde handelt es sich bei numerischen Vorhersagemodellen um eine virtuelle Parallelwelt, die es uns gestattet, ein klein wenig in die Zukunft zu schauen. Im Falle von OPTEL beträgt die Vorhersagezeit weniger als 24 h; bei größeren Computerkapazitäten ist das grundsätzlich ausbaubar. Der Blick in die Zukunft ist aber nicht so einfach. Modellergebnisse (direct model output, DMO) können nicht ohne Nachbearbeitung übernommen werden, denn Modelle weisen immer auch systematische Fehler auf. Im Falle des Elbmodells liegen z. B. die berechneten Niedrigwasserhöhen im Mittel deutlich über den gemessenen. Offensichtlich wird die Flachwasserdynamik unzureichend wiedergegeben. Werden Punktvorhersagen angestrebt, also z. B. die Wasserstände an Stützstellen entlang einer Fahrrinne, helfen Verfahren der Modellausgabe-Statistik (Model Output Statistics, MOS), die schon lange in der Wettervorhersage genutzt werden, um Vorhersagen objektiv zu korrigieren. Mittlerweile ist der Nachweis erbracht, dass dieses auch für Wasserstände in der Elbe funktioniert, indem u. a. intensiv von aktuellen Pegelmessungen Gebrauch gemacht wird (Müller-Navarra & Knüpfner, 2010). Sogar der Fehlererwartungswert kann zeit- und tidephasenabhängig vorhergesagt werden, was wiederum eine Anwendung in der Tidefensterproblematik ermöglicht.

Auch die Strömungen aus dem Unterelebmodell wurden bereits punktuell ausgewertet und in Form von Gezeitenstromtabellen in die Amtlichen Karten für die Sportschifffahrt „Die Elbe bis Hamburg“ eingearbeitet (Anonymus, 2011).

Wie sieht es mit einer örtlichen Korrektur systematischer Fehler anderer physikalischer Größen aus? Die Größen Temperatur, Salzgehalt konnten bisher nur sporadisch mit Punktmessungen verglichen werden. Daher kann über systematische Abweichungen keine Aussage gemacht werden. Die Eisdynamik wird seit dem letzten Winter für das operationelle Modell des BSH kontinuierlich mit Daten verglichen. Für die Elbe warten wir auf den nächsten Winter.

Ganz sicher ist es noch ein weites Feld, die Vorhersagen – oder besser die Informationen aus der virtuellen Parallelwelt – sinnvoll zu nutzen. Hier sind etwaige Nutzer der Modellergebnisse aufgerufen, mit neuen, guten Ideen die verborgenen Schätze aus den Modelldatensätzen zu heben. Nach weiteren technischen Maßnahmen für den operationellen Betrieb des Elbmodells werden die aktuellen Vorhersagedaten allen Fachbehörden der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes sowie Fachbehörden der Länder auf einem BSH-Server zur Verfügung gestellt.

Die Erfahrungen aus der Entwicklung und dem Betrieb des Tideelbmodells sowie die IT-Verfahren können nach Abschluss des Projektes auf andere Ästuare übertragen werden.

Empfehlung für den weiteren Betrieb des hier vorgestellten Elbmodells

Als zusätzliche Variante wird am BSH eine Entkopplung des Elbmodells aus dem vorgestellten Modellsystem diskutiert. Die Autoren betrachten dagegen die seit Ende 2010 im Vorhersagemodus betriebene, beidseitig und interaktiv gekoppelte Vollversion als sachgerechte Lösung für den weiteren operationellen Betrieb.

Danksagung

Der Projektkoordinator des Gesamtprojekts OPTEL möchte nicht versäumen, Herrn Dr. Blum vom Projektträger PTJ des BMBF für die finanzielle Förderung zu danken. Ein weiterer Dank geht an die Projektbegleitende Gruppe des KFKI, der wir – die Teilprojektleiter und die Projektmitarbeiter – sehr viele substantielle Diskussionen zu verdanken haben. Herrn Dr. Kleine (BSH) danken wir für fundierte Lösungsvorschläge zu numerischen Problemen, ohne die das Projekt deutlich weniger erfolgreich gewesen wäre. Für wertvolle hydrologische Hinweise zur Elbe oberhalb der Staustufe Geesthacht danken wir besonders Fr. S. Rademacher (BFG) und Fr. U. Behnken (LLUR). Messdaten für die Verifikation des Modells haben das WSA Cuxhaven und HPA beigesteuert. Dem Land Brandenburg sei gedankt für die laufende Übertragung der Wassertemperatur von der Messstation Cumlosen, die als obere Randbedingung benötigt wird.

Literatur

- Anonymus (2011) Die Elbe bis Hamburg. 13 Kartenblätter für die Sportschifffahrt. *BSH Nr. 3010*, Hamburg.
- Dick, S., E. Kleine, S. H. Müller-Navarra, H. Klein, H. Komo (2001) The Operational Circulation Model of BSH (BSHcmod) – Model description and validation. *Berichte des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie 29*, 49 S.
- Kleine, E. (1994) Das operationelle Modell des BSH für Nordsee und Ostsee – Konzeption und Übersicht. *BSH Hamburg*, 126 S.
- Müller-Navarra, S. H., I. Bork (2010) Development of an operational Elbe tidal estuary model. In: Jane McKee Smith, Patrick J. Lynett (Ed.) *Proceedings of the 32nd International Conference on Coastal Engineering ICCE 2010*, Shanghai, China.
- Müller-Navarra, S. H., K. Knüpfer (2010) Improvement of water level forecasts for tidal harbours by means of model output statistics (MOS) – Part I (Skew surge forecast). *Berichte des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie 47*. 22 S.