

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Schulz, Dirk; Bruss, Gerd; Mayerle, Roberto

Validierung und Anwendung der HIPOCAS-Daten zur Modellierung der Hydrodynamik entlang der deutschen Nordseeküste

Die Küste

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:
Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI)

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105224>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Schulz, Dirk; Bruss, Gerd; Mayerle, Roberto (2013): Validierung und Anwendung der HIPOCAS-Daten zur Modellierung der Hydrodynamik entlang der deutschen Nordseeküste. In: Die Küste 80. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 133-142.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Validierung und Anwendung der HIPOCAS-Daten zur Modellierung der Hydrodynamik entlang der deutschen Nordseeküste

Dirk Schulz, Gerd Bruss und Roberto Mayerle

Zusammenfassung

Der Beitrag fasst Ergebnisse von Untersuchungen zusammen, die im Rahmen des Forschungsvorhabens MOSES-B (03KIS041) durchgeführt wurden. Ziel von MOSES war die Erstellung eines 40-jährigen Datensatzes für Wasserstände, Strömungen und Seegangparameter für ausgewählte Gebiete der Deutschen Nordseeküste. Untersuchungsgebiet in MOSES-B war die Dithmarscher Bucht in der südöstlichen Nordsee. In diesem Beitrag wird die entwickelte Methode exemplarisch für die hydrodynamischen Größen Wasserstand und Strömung vorgestellt. Bestehende küstennahe Modelle wurden erweitert und dazu eingesetzt, hochauflösende hydrodynamische Felder für einen Zeitraum von 40 Jahren zu generieren. Der Modellantrieb erfolgte mit Daten aus dem HIPOCAS-Projekt und dem Windatlas des Deutschen Wetterdienstes. Die Validierung des Strömungsmodells erfolgte anhand von Pegeldata, wobei der mittlere absolute Fehler bei 0,2 m lag. Strömungssimulationen wurden für den Zeitraum zwischen 1962 und 2002 durchgeführt. Als Ergebnis stehen zeitlich und räumlich hoch auflösende hydrodynamische Felder für das Untersuchungsgebiet und den untersuchten Zeitraum zur Verfügung. Als recheneffektive Alternative zur Erzeugung langer Datensätze wurde ein alternatives Verfahren, basierend auf Hauptkomponentenanalyse und Neuronalen Netzen, entwickelt und auf Effizienz hin untersucht. Die Eignung des alternativen Verfahrens wurde anhand von Vergleichen zu den prozessbasierten Modellen bestätigt.

Schlagwörter

Langzeitprognose, Hydrodynamik, Strömungsmodell, Seegangmodell, Validierung, Hauptkomponentenanalyse, Neuronale Netzwerke

Summary

This paper summarizes results of investigations conducted within the framework of the research project MOSES-B. The objective of MOSES was to generate a data set containing of 40 years of water levels, currents and waves for selected areas of the German North Sea coast. The area of interest of MOSES-B was the Dithmarschen Bight of the south eastern North Sea. In this paper, the developed method is presented exemplary for the hydrodynamic parameters of water levels and currents. Existing near shore models were extended and used to generate high resolving hydrodynamic fields for a period of 40 years. The models were forced with data of the HIPOCAS project and the Windatlas of the German Meteorological Service. The flow model was validated against tide gauge data, showing a mean absolute error of 0.2 m. Continuous flow simulations were conducted for the period between 1962 and 2002. As a result, temporally and spatially high resolving hydrodynamic fields are available for the area and time of investigation.

To reduce computing time the effectiveness of principal components analysis in conjunction with neuronal networks in generating long time series was assessed. On the base of comparison with process based modeling the effectiveness and reliability of the methods in predicting water levels, current and waves was confirmed.

Keywords

long term hydrodynamics, flow model, wave model, validation, principal component analysis neuronal networks

Inhalt

1	Einleitung.....	134
2	Verwendete Daten.....	135
2.1	HIPOCAS.....	135
2.2	CSM und GBM.....	135
2.3	Messdaten	136
3	Validierung HIPOCAS-Daten.....	136
4	Regionalmodell.....	137
5	Datenerzeugung über 40 Jahre.....	138
5.1	Modellsimulationen.....	138
5.2	Alternatives Verfahren.....	138
6	Zusammenfassung.....	141
7	Danksagung	141
8	Schriftenverzeichnis	141

1 Einleitung

Im Rahmen des Verbundprojektes MOSES-B wurden hochauflösende Felder hydrodynamischer Größen für Küstennahbereiche der Deutschen Nordseeküste über einen Zeitraum von 40 Jahren generiert. Zum einen wurden Langzeitsimulationen mit prozessbasierten Küstenmodellen durchgeführt, zum anderen wurde ein alternatives Verfahren, basierend auf Hauptkomponentenanalyse und Neuronalen Netzen, verwendet, um impraktikable Rechenzeiten der prozessbasierten Modell zu vermeiden. Aufgrund der Limitierung des Umfangs dieses Beitrages werden hier Methode und Ergebnisse exemplarisch für die Parameter Wasserstand und Strömung vorgestellt.

Als Grundlage für das regionale Modell wurden bestehende, validierte Modelle erweitert und an die Erfordernisse von Langzeitsimulationen angepasst. Die hydrodynamischen Modelle simulieren Strömungen, Wasserstände und Seegang basierend auf der Simulationssoftware von Delft3D (ROELVINK und VAN BANNING 1994). Grundlage des meteorologischen Antriebs ist der Windatlas (GANSKE et al. 2005) des Deutschen Wetterdienstes. Als Randbedingungen für den Modellantrieb wurden Daten aus Ergebnissen

des EU-Projekts HIPOCAS (WEISSE 2002) für Wind, Wasserstand, Strömung und Seegang verwendet.

Da Randbedingungen bei regionalen Küstenmodellen einen bedeutenden Einfluss auf die Ergebnisse haben, schließt die vorliegende Untersuchung eine umfangreiche Verifizierung der HIPOCAS Datensätze ein. Die hydrodynamischen Parameter aus HIPOCAS werden mit Messdaten und mit Modellergebnissen aus überregionalen Modellen verglichen. Aufbau und Verifizierung der Regionalmodelle werden vorgestellt und die Erzeugung des 40-jährigen Datensatzes wird erläutert. Der Simulationsaufbau für die kontinuierliche 40-Jahre Simulation sowie das alternative Verfahren zur Erzeugung langer Zeitreihen und dessen Effizienz werden beschrieben.

2 Verwendete Daten

2.1 HIPOCAS

Hindcast Daten aus dem Projekt HIPOCAS (Hindcast of Dynamic Processes of the Ocean and Coastal Areas of Europe) (SOARES et al. 2002) wurden als Randwerte für die Regionalmodelle verwendet. Der HIPOCAS Datensatz umfasst Parameter aus dem meteorologischen Regionalmodell REMO (JACOB 1997), Wasserstände und Strömungen aus dem Nordseeumfassenden Strömungsmodell TELEMAC-2D und Seegangsdaten aus dem Seegangmodell WAM (WEISSE et al. 2003). Die Daten haben eine horizontale räumliche Auflösung von $0,65 \times 1,1$ km und liegen als stündliche Felder für den Zeitraum 1958–1999 vor.

2.2 CSM und GBM

Das Gitternetz des Continental Shelf Model (CSM) (VERBOOM 1992) reicht von 48° bis $62,3^\circ$ N und 12° W bis 13° E und hat eine Auflösung von $0,083^\circ$ in N-S und $0,125^\circ$ in E-W Richtung. Die Topographie wurde in der Nordsee mit dem GENO-Modell (VOOGT 1984) und außerhalb aus Seekarten generiert (VERBOOM 1992). Der Modellantrieb an den 23 offenen Randsegmenten erfolgt durch 10 astronomische Partialtiden. Aus dem PRISMA-Modell (LUTHARDT 1987) können Wind- und Druckfelder als Randbedingung herangezogen werden. PRISMA erzeugt aus einer großen Anzahl von Messstationen zeitlich und räumlich veränderliche Wind- und Druckfelder mit 3 h bzw. 40 km Auflösung. Die Auflösung des CSM im Bereich der Deutschen Bucht ist eher grob und wurde daher nur zur Erzeugung von Randbedingungen für das Modell der Deutschen Bucht eingesetzt.

Das German Bight Model (GBM) (HARTSUIKER 1997) wurde 1997 für die Forschungsstelle Küste, Norderney, entwickelt und dem FTZ Büsum zur Verfügung gestellt. Es erstreckt sich in der südöstlichen Nordsee über eine Fläche von etwa 230×270 km². Die nördliche Modellgrenze liegt bei $55^\circ 45'$ N, die westliche bei $5^\circ 15'$ E. Die Küsten von Dänemark, Deutschland und den Niederlanden bilden die Ost- und Westgrenze des Modellgebiets. Im Modell enthalten sind das Ems-Dollart-Ästuar, der Jadebusen und die (schematisierten) Ästuarer Ems, Weser, Elbe und Eider bis zu ihrer jeweiligen Tidegrenze. Die Weiten der einzelnen Gitterzellen reichen von ca. 1700×2200 m am nordwestlichen Modellrand bis zu 500×500 m an den Tiderinnen der Wattgebiete. Das GBM wird in

das übergeordnete CSM eingebettet („sequenziell genested“). An den offenen Rändern des GBM werden Wasserstände aus Simulationen mit dem CSM übernommen. Zeitlich und räumlich variierende Windfelder werden ebenfalls aus dem PRISMA-Modell (s. o.) gewonnen. Grundlage für das in dieser Studie verwendete GBM ist die Modelltopografie von 1998. CSM und GBM sind 2DH Strömungsmodelle und werden mit dem Delft3D-Modellsystem betrieben.

2.3 Messdaten

Pegeldaten von Großer Vogelsand (1997–2000) und Helgoland (1998–2003) wurden vom WSA Cuxhaven bereitgestellt. Pegeldaten vom Huibertgat (ab 1988) stammen aus der DONAR Datenbank des Niederländischen Ministeriums für Verkehr und Wasserwirtschaft. Tab. 1 zeigt die zeitlich-räumliche Auflösung von Pegeldaten, Modellen und HIPOCAS.

Tabelle 1: Zeitliche und Räumliche Auflösung von Wasserstandsdaten.

Pegel	Großer Vogelsand	Helgoland	Huibertgat
	1 min	1 min	10 min
Modelle CSM/GBM	12 min		
	1 km × 1 km	1,3 km × 0,9 km	1,7 km × 700 km
HIPOCAS	1 h		
	0,65 × 1,1 km		

Quelle der Strömungsdaten sind HF-Radarmessungen des Instituts für Meereskunde der Universität Hamburg. Gemessen wurde die Meeresoberflächenströmung, d. h. die ersten 50 cm der Wassersäule mittels zweier HF-Radargeräte. Positioniert waren die Messgeräte zum einen auf Helgoland, zum anderen in der Nähe von Eiderstedt.

Die für den Antrieb der Regionalmodelle verwendeten Winddaten entstammen dem Windatlas aus dem DWD-Teilprojekt (GANSKE et al. 2005). Mit dem Windatlas können Windfelder in einer räumlichen Auflösung von 250 m und einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde erstellt werden. Durch Vorgabe eines punktuellen Referenzwertes wird mit Hilfe des Windatlasses ein Windfeld für das gesamte Modellgebiet generiert. Dieser Referenzwert muss eine Windgeschwindigkeit und eine -richtung beinhalten, sowie einen Wasserstand.

3 Validierung HIPOCAS-Daten

Die Validierung der Wasserstandsdaten aus HIPOCAS erfolgte über die Pegel *Großer Vogelsand*, *Helgoland* und *Huibertgat* mit Zeitreihen der Jahre 1997–2000. Für die Vergleiche werden die Tidenparameter Flut- und Ebbdauer, Phasenversatz, sowie MThw und MTnw verwendet. Da Wasserstände bei HIPOCAS in Zeitintervallen von 1 h vorliegen, liegen hier das MThw niedriger und das MTnw höher als bei den Pegeldaten, da MThw und MTnw nur zufällig zu vollen Stunden auftreten und Interpolationseffekte eintreten. In Tab. 2 sind die Ergebnisse der Vergleichspegel zu HIPOCAS sowie zu CSM/GBM-Modellergebnissen als über vier Jahre gemittelte absolute Fehler für MThw und MTnw dargestellt.

Um die Sensitivität der CSM/GBM Modelle auf Unterschiede im Windantrieb zu untersuchen, wurden die Ergebnisse von Modellsimulationen unter Zugrundelegung von Winddaten aus *PRISMA* und *HIPOCAS* verglichen. Die räumlich-zeitliche Datenauflösung liegt bei *PRISMA* bei 42 km bzw. 3 h und bei *HIPOCAS* bei 50 km bzw. 1 h. Die Ermittlung der mittleren absoluten Differenzen über einen Zeitraum von 4 Jahren ergab bei den Wasserständen sowie bei Flut- und Ebbdauer geringe Unterschiede. Differenzen treten bei besonders hohen und besonders niedrigen Hoch- und Niedrigwasserständen stärker in Erscheinung. Da der Einfluss der Winddaten auf die Modellergebnisse sehr gering ist, werden *HIPOCAS*-Winddaten für die weitere Berechnungen verwendet. Vergleiche der Strömungsgeschwindigkeiten erfolgen auf Grundlage von Zeitreihen aus HF-Radarmessungen mit Werten im Radar-Rasterpunkt 286 und Simulationsergebnissen aus den 2HD-Modellen (CSM/GBM). Bei geringen Windgeschwindigkeiten treten bei den Strömungsgeschwindigkeiten Abweichungen von 0,1–0,2 m/s auf, die mit Anstieg der Windgeschwindigkeit anwachsen. Gemessene und modellierte Strömungsrichtungen zeigen bei schwachen Winden eher geringe Divergenzen, die ab Windgeschwindigkeiten > 8 m/s zunehmen. Kritisch ist, dass Ergebnisse eines tiefengemittelten Modells mit Messwerten von Oberflächenströmungen des HF-Radars verglichen werden, deren Richtung und Stärke sehr windanfällig sind. Zusammenfassend wird festgestellt, dass die Daten im *HIPOCAS* Datensatz eine zufriedenstellende Genauigkeit aufweisen und somit als Randwerte für die vorliegende Studie geeignet sind.

Tabelle 2: Mittlerer absoluter Fehler: Gemessene und simulierte Wasserstände über 4 Jahre.

Wasserstände	Pegel	HIPO-CAS	CSM/ GBM	HIPO- CAS	CSM/ GBM	HIPO- CAS	CSM/ GBM
		1997–2000	1997– 2000	Max	Max	Min	Min
MThw	Gr. Vogels.	0,18	0,11	0,33	0,21	0,08	0,05
	Huibertgat	0,15	0,12	0,28	0,28	0,05	0,06
	Helgoland	0,11	0,15	0,18	0,25	0,06	0,07
NTnw	Gr. Vogels.	0,20	0,25	0,29	0,41	0,13	0,10
	Huibertgat	0,22	0,25	0,32	0,40	0,16	0,12
	Helgoland	0,21	0,24	0,29	0,40	0,15	0,06

4 Regionalmodell

Die in dieser Studie eingesetzten Regionalmodelle der Dithmarscher Bucht wurden im Rahmen von *PROMORPH* (MAYERLE und ZIELKE 2005) entwickelt und ausgiebig verifiziert. Abb. 1 zeigt links das Modellgebiet des regionalen Strömungsmodells. Im Bereich der Außenelbe wurde das Dithmarscher Bucht Modell (DBM) erweitert und verfeinert. Wegen fehlender Abdeckung des erweiterten Modells durch den Windatlas werden für den erweiterten Bereich die Winddaten entlang der ehemaligen Modellgrenze verwendet.

Das Regionale Strömungsmodell wurde für die vorliegende Untersuchung am westlichen Modellrand mit *HIPOCAS*-Wasserständen angetrieben. Die Zeitauflösung wurde durch Spline-Interpolation auf 1 min erhöht. Am östlichen Modellrand wurden Wasserstandsdaten vorgegeben. An der Eider wird ein konstanter Durchfluss von 5 m³/s angesetzt und am südlichen Modellrand der Elbe werden als Randbedingung Abflusszeitreihen

unter Berücksichtigung des Zeitversatzes zwischen Neu Darchau und der Position des Modellrandes vorgegeben. Als Randbedingung an der freien Wasseroberfläche werden Windgeschwindigkeits- und Druckfelder verwendet, wobei der Luftdruck als räumlich konstant angesetzt wird. Die Windfelder wurden mittels des Windatlasses generiert. Für den Windschub-Koeffizienten C_D im Strömungsmodell wurde bei der Kalibrierung anhand von Sensitivitätsstudien die Beziehung $C_D = (0.82 + 0.039|W|) \cdot 10^{-3}$ als bestgeeignet ermittelt. Zur Quantifizierung der Modellgüte wird eine Kombination aus Mittelwert (MThw oder MTnw) und Standardabweichung der Fehler ($\text{Wasserstand}_{\text{Modell}} - \text{Wasserstand}_{\text{Natur}}$) sowie der mittlere absolute Fehler *MAE* verwendet. Abb. 1 zeigt rechts als Übersicht die mittleren absoluten Fehler für Niedrigwasser und Hochwasser, die sich vielfach in den Fehlergrößen der Randwerte bewegen.

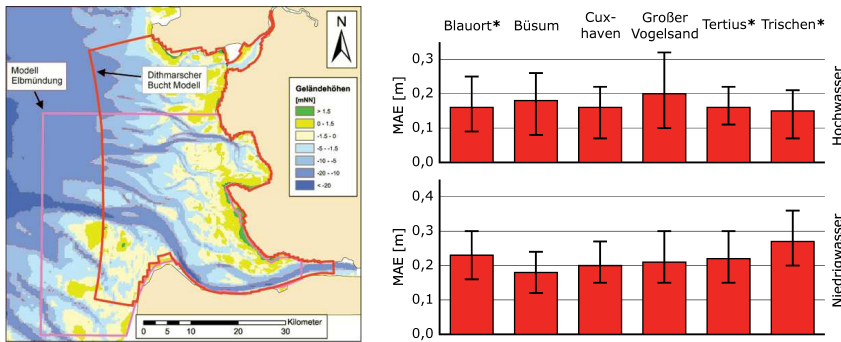


Abbildung 1: Links: Modellgebiet Strömungsmodell, Rechts: Mittlere absolute Fehler bei Niedrigwasser und Hochwasser an 6 Standorten. Vergleichszeitraum ist 12 Monate, bei mit * gekennzeichneten Pegeln 9 Monate.

5 Datenerzeugung über 40 Jahre

5.1 Modellsimulationen

Um hochauflösende hydrodynamische Felder für längere Zeiträume zu generieren, wurden Simulationen mit den Regionalmodellen durchgeführt. Der Modellantrieb erfolgte mit Daten aus dem *HIPOCAS*-Projekt und dem Windatlas des Deutschen Wetterdienstes. Als Ergebnis der Simulationen liegen an allen Punkten des Berechnungsgitters Wasserstände und Strömungen über 40 Jahre vor. Um die Limitierung durch lange impraktikable Rechenzeiten zu umgehen, wurde die Eignung eines alternativen Verfahrens zur Erzeugung langjähriger Datensätze untersucht.

5.2 Alternatives Verfahren

Das hier angewendete Alternative Verfahren wurde von HERMANN (2006) entwickelt und basiert auf der Kombination von Hauptkomponentenanalyse (Principal Component Analysis PCA) und Neuronalen Netzen (NN). Für einen bestimmten Zeitraum werden mittels PCA aus Modellergebnissen Hauptkomponenten sowie räumliche Muster bestimmt. Die Hauptkomponenten wurden anschließend dazu verwendet, ein neuronales Netz zu

trainieren. Das trainierte Neuronale Netz kann dann verwendet werden, um Hauptkomponenten anderer Zeiträume zu berechnen. Validiert wurden die Hauptkomponenten des Neuronales Netzes anhand von Vergleichen mit Hauptkomponenten, welche aus Modellergebnissen der Regionalmodelle bestimmt wurden.

Bei PCA-Verfahren wird ein hochdimensionaler Datensatz in einen niederdimensionalen Raum projiziert. Die Varianzen der Objekte im hochdimensionalen Raum sollen möglichst gut mit denen im niederdimensionalen Raum abgedeckt werden. Ergebnisse der in Abschnitt 5.1. beschriebenen Modellsimulationen wurden verwendet, um die Hauptkomponenten für Strömung und Wasserstand anhand PCA zu bestimmen. Für die Analyse wurden Modellergebnisse des Zeitraumes 1962 bis Mitte 1963 verwendet. Tab. 3 zeigt den Anteil der Hauptkomponenten an der gesamten Varianz. Angewendet auf Wasserstände lassen sich mit den ersten 5 Hauptkomponenten 99,55 % der gesamten Varianz ausdrücken. Aus Tab. 3 geht zudem hervor, dass Hauptkomponente 1 der Strömungen lediglich 70,7 % der gesamten Varianz ausdrücken kann. Kumulativ ergibt sich für die ersten 5 Hauptkomponenten mit 98,97 % jedoch ein mit den Wasserständen vergleichbar hoher Wert. Betrachtet man die räumlichen Muster der Hauptkomponenten, so spiegelt sich vor allem in den ersten drei Komponenten die Topographie wider. Hier steigen die Werte bei größeren Wassertiefen an. Abb. 2 ist eine grafische Übertragung der Analyse der Wasserstände für die Hauptkomponenten 1 und 2.

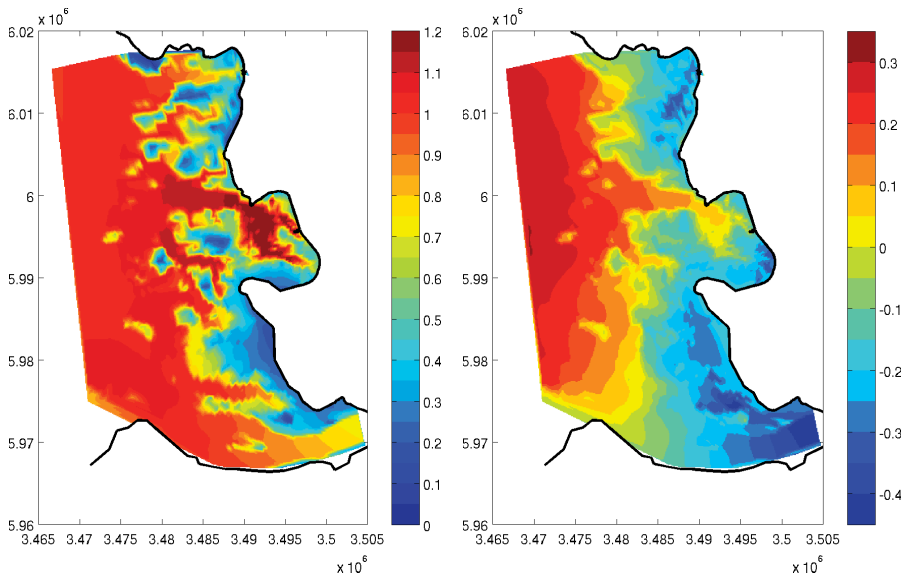


Abbildung 2: Ergebnisse der Hauptkomponentenanalyse der Wasserstände der Jahre 1962 und 1963: Regionale Muster der Hauptkomponenten 1 und 2.

Das hier angewandte Neuronale Netz-Verfahren zielt darauf, Hauptkomponenten der betrachteten Parameter im Zeitraum 1965–2002 zu berechnen. Grundlage ist das „Training“ des Neuronales Netzes, das mit den Hauptkomponenten der unterschiedlichen Parameter von 1962–63 durchgeführt wird. Beim eingesetzten Neuronales Netz handelt es sich um ein zweistufiges feed-forward-Netz ohne direkte Verbindung zwischen Eingabeschicht und Ausgabeschicht. Als Lernverfahren wurde die „Backpropagation“

ausgewählt, weil sie zu den besten Ergebnissen führte (HERMANN 2006). Für die Berechnung der unterschiedlichen Hauptkomponenten sind je nach Parameter unterschiedliche Eingangsgrößen erforderlich, die in Tab. 3 für die ersten 10 Hauptkomponenten aufgeführt sind. Für die verdeckte Schicht werden bei Wasserständen und Strömungen 60 und bei den Seegangparametern 90 Neuronen verwendet.

Tabelle 3: Anteil der einzelnen Hauptkomponenten (HK) an der Gesamtvarianz und Eingangsdaten für die Berechnung der Hauptkomponenten mit dem Neuronalen Netz.

HK	Wasserstand			Strömung		
	Varianz Einzel [%]	Varianz Kumulativ [%]	Berechnung NN	Varianz Einzel [%]	Varianz Kumulativ [%]	Berechnung NN
1	91,013	91,013	$\zeta(t-2\Delta t)$	70,732	70,732	$\zeta(t-3\Delta t)$
2	6,038	97,051	$\zeta(t-\Delta t)$	24,351	95,083	$\zeta(t-2\Delta t)$
3	1,726	98,777	$\zeta(t)$	2,379	97,462	$\zeta(t-\Delta t)$
4	0,546	99,322	$u_w(t)$	0,947	98,409	$\zeta(t)$
5	0,228	99,550	$v_w(t)$	0,563	98,972	$u_w(t)$
6	0,130	99,680	$u_{w,mean}(t)$	0,365	99,337	$v_w(t)$
7	0,086	99,766	$v_{w,mean}(t)$	0,216	99,553	$u_{w,mean}(t)$
8	0,039	99,805		0,180	99,733	$v_{w,mean}(t)$
9	0,033	99,838		0,140	99,874	
10	0,030	99,868		0,126	100,00	

Tabelle 4: Vergleich der Hauptkomponenten (neuronaies Netz-numerisches Modell).

Hauptkomponente	1	2	3	4	5
Wasserstand					
mittlerer Fehler	0,0001	0,0038	0,0085	0,0082	-0,0078
Standardabweichung	0,0159	0,0464	0,0528	0,0787	0,1109
MAE	0,0120	0,0338	0,0387	0,0527	0,0812
Korrelationskoeffizient	0,9999	0,9990	0,9985	0,9967	0,9931
Strömung X-Komponente					
mittlerer Fehler	0,0009	0,0024	0,0108	-0,0019	-0,0012
Standardabweichung	0,0218	0,0276	0,0492	0,0516	0,0935
MAE	0,0152	0,0184	0,0323	0,0360	0,0567
Korrelationskoeffizient	0,9998	0,9996	0,9988	0,9987	0,9957
Strömung Y-Komponente					
mittlerer Fehler	0,0003	-0,0017	0,0032	0,0155	-0,0080
Standardabweichung	0,0732	0,0530	0,0481	0,0581	0,0751
MAE	0,0406	0,0302	0,0313	0,0414	0,0479
Korrelationskoeffizient	0,9974	0,9986	0,9989	0,9983	0,9972

Um die Aussagekraft des trainierten Neuronalen Netzes zu überprüfen, wurden Hauptkomponenten, die mit NN berechnet wurden, verglichen mit Hauptkomponenten, die auf Modellsimulationen der Regionalmodelle basieren. Die Validierung wurde für den Zeitraum Juli–Dezember 1963 durchgeführt. Wie aus Tab. 4 hervorgeht, zeigen die fünf ersten Hauptkomponenten der Wasserstände, die mit dem alternativen Verfahren berechnet wurden, zu den Modelldaten eine allgemein gute Übereinstimmung. Über den

gesamten Wertebereich der Hauptkomponenten treten sehr geringe Abweichungen auf. Die ersten beiden Hauptkomponenten, die einen Anteil von 97,05 % (siehe Tab. 3) an der gesamten Varianz haben, sind mit sehr geringem mittlerem Fehler reproduzierbar. Die MAE liegen zwischen 0,01 und 0,08. Die Reproduktion der Strömungen durch das Neuronale Netz zeigt ebenfalls gute Übereinstimmung mit den Modelldaten. Im Vergleich der statistischen Parameter der ersten X- und Y-Komponenten zeigen sich bei der Y-Komponente ein vergleichsweise höherer MAE und eine höhere Standardabweichung.

6 Zusammenfassung

Im Teil B des Verbundprojekts MOSES wurden Langzeitsimulationen mit prozessbasierten Küstenmodellen sowie ein alternatives Verfahren, basierend auf Hauptkomponentenanalyse und Neuronalen Netzen, eingesetzt, um hydrodynamische Felder im Küstenbereich über Zeiträume von Dekaden zu erzeugen. Als Antrieb für die Küstenmodelle wurden hydrodynamische Daten aus dem *HIPOCAS*-Projekt und Windfelder aus dem Windatlas des Deutschen Wetterdienstes verwendet. Die Eignung der *HIPOCAS* Daten wurde anhand von Vergleichen mit Messdaten und überregionalen Modellen überprüft und bestätigt. Die Verifizierung der regionalen Küstenmodelle ergab ebenfalls eine gute Übereinstimmung mit Felddaten.

Teile der mit den Modellen erzeugten Datensätze wurden verwendet, um ein alternatives Verfahren, bestehend aus Hauptkomponentenanalyse und Neuronalen Netzen, aufzusetzen und zu kalibrieren. Das alternative Verfahren wurde für eine vom Kalibrierungszeitraum unterschiedliche Periode erfolgreich validiert und kann für die effektive Erzeugung langjähriger Datensätze verwendet werden.

7 Danksagung

Das Forschungsvorhaben MOSES-B wurde vom 01.05.2003 bis 30.04.2007 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) durch den Projektträger Jülich (PTJ) unter dem Förderkennzeichen 03KIS041 gefördert.

8 Schriftenverzeichnis

- BOOIJ, N.; RIS, R. and HOLTHUIJSEN, L.: A third-generation wave model for coastal regions, part i, model description and validation. *Journal of Geophysical Research* 104(C4), 7649–7666, 1999.
- GANSKE, A.; ROSENHAGEN, G. und SCHMIDT, H.: Kfki-Projekt Moses-Statusbericht, Anlage i, Deutscher Wetterdienst, Geschäftsfeld Seeschifffahrt, 2005.
- HARTSUIKER, G.: Deutsche Bucht and Dithmarschen Bucht, set-up and calibration of tidal flow models, Delft Hydraulics, 1997.
- HERMANN, A.; KAISER, R. und N. H.: Statusbericht, Anlage IV, KFKI-Projekt MOSES, 2005.
- HERMANN, A.; KAISER, R. und N. H.: Statusbericht 2, Anlage III, KFKI-Projekt MOSES, 2006.

- JACOB, D. and PODZUN, R.: Sensitivity studies with the regional climate model remo, Meteorol. Atmos. Phys., 1997.
- JANSSEN, P.: Quasi-linear theory of wind-wave generation applied to wave forecasting, Journal of physical oceanography 21, 1631–1642, 1991.
- LUTHARDT, H.: Analyse der wassernahen Druck- und Windfelder über der Nordsee aus Routinebeobachtungen, Hamburger Geophysikalische Einzelschriften, 1987.
- MAYERLE, R. and ZIELKE, W.: PROMORPH – Predictions of Medium-Scale Morphodynamics: Project Overview and Executive Summary, Die Küste, 69, 1–23, 2005.
- ROELVINK, J. A. and VAN BANNING, G.K.F.M.: Design and Development of DELFT3D and Application to Coastal Morphodynamics. In: VERWEY; MINNS; BABOVIC and MAKSIMOVIC (eds.): Hydroinformatics '92. Balkema, Rotterdam, 451–455, 1994.
- SCHULZ, D. und MAYERLE, R.: MOSES B (03KIS041) – Abschlussbericht Modellierung des mittelfristigen Seegangsklimas im deutschen Nordseeküstengebiet, FTZ-Westküste CORELAB, 77 S., 2007.
<http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb08/560667639.pdf>
- SOARES, C. G.; WEISSE, R.; CARRETERO, J. C. and ALVAREZ, E.: A 40 years hindcast of wind, sea level and waves in European Waters. Proceedings of OMAE 2002: 21st International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering in June 2002. Oslo, Norway, 23–28, 2002.
- VERBOOM, G.; DE RONDE, J. and VAN DIJK, R.: A fine grid tidal flow and storm surge model of the North Sea. Continental Shelf Research 12(2/3Abbildung), 213–233, 1992.
- VOOGT, L.: A tidal model of the North Sea based on the jonsdap-1976 measuring campaign (in dutch), Rijkswaterstaat, Report WWKZ-842.006, 1984.
- WEISSE, R. and GAYER, G.: An approach towards a 40-year high-resolution wave hindcast for the southern North Sea. Proceedings of the 6th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Monterey, California, 2002.