Die Küste, 86 (2018), 275-292

Operationelles Öldriftvorhersagesystem für deutsche Küstengewässer

Silvia Maßmann, Frank Janssen, Thorger Brüning, Eckhard Kleine, Hartmut Komo, Inge Menzenhauer-Schumacher und Stephan Dick

Zusammenfassung

Heute ist das hier dargestellte (Öl-) Drift- und Ausbreitungsmodell fester Bestandteil des deutschen Meeresverschmutzungsbekämpfungssystems. Das Öldriftmodell ist dabei Teil eines umfassenden operationellen Vorhersagesystems des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH). Die Entwicklung des Öldriftmodells begann bereits in den frühen 1980er Jahren, wurde aber über die Jahre in mehrere Richtungen wesentlich weiterentwickelt. Die jüngste Entwicklung ist die Operationalisierung von SeatrackWeb am BSH.

Ein 3-dimensionales regionales Ozeanmodell liefert – in Kombination mit der numerischen Wettervorhersage des Deutschen Wetterdienstes (DWD) – den Antrieb für die Öldriftkomponente. Die vom Modell abgedeckte Region ist die gesamte Nord- und Ostsee mit speziellem Fokus auf der Deutschen Bucht und der westlichen Ostsee. Basierend auf den vorberechneten und archivierten Antriebsdaten kann das Öldriftmodell nach Bedarf jederzeit gestartet werden. Der Modellansatz ist eine Lagrangesche Partikelmethode, d.h. das simulierte Öl wird beschrieben als große Anzahl von Partikeln, die die Eigenschaften des spezifischen Öltyps tragen. Mit dieser Methode wird nicht nur die Verlagerung, sondern auch die sogenannte „Verwitterung" des Öls berechnet. Es werden dazu alle fundamentalen Prozesse, die das Öl während des Abbaus einer Ölverschmutzung verändern, d.h. Spreading, Dispersion, Verdunstung und Emulsifikation, simuliert.

Die Partikelverdriftung und Ölverwitterungskomponenten, die den Kern des Modells bilden, sind mit einer modernen, interaktiven, graphischen Anwenderoberfläche (GUI) verbunden, die dem Anwender z. B. die Möglichkeit gibt, Simulationen direkt mit Satelliten detektierten Ölflecken zu starten. Die GUI ermöglicht die Darstellung verschiedener Layer mit nützlichen Informationen wie z. B. Ozeanströmungen, Windrichtungen, die Lage von Ölplattformen und Schifffahrtsrouten. Daneben visualisiert sie die Schiffssignale des Automatischen Identifikationssystems (AIS), welche ein wichtiges Mittel zur Identifikation möglicher Quellen von Ölverschmutzungen sind.

In diesem Artikel präsentieren wir zuerst das derzeitige operationelle BSH-Meeresvorhersagesystem mit Schwerpunkt auf den jüngsten Entwicklungen. Der Kern der Driftmodellkomponente wird in einigem Detail beschrieben. Der Hauptteil des Artikels wird Ergebnisse von einigen realen Fällen zeigen. Basierend auf diesen Resultaten werden einige wissenschaftliche Fragen wie z. B. der Einfluss der welleninduzierten Stokes Drifts diskutiert.

Schlagwörter

Seatrack Web, Ölverschmutzung, Meeresvorhersagen, operationelle Ozeanmodelle, Nordsee, Ostsee

Summary

Today, the presented (oil-) drift and dispersion model is a well-established component of the German marine pollution response system. The oil drift model is part of a comprehensive operational ocean forecasting system applied at the Federal Maritime and Hydrographic Agency (BSH). Development of the oil drift model started already in the 1980's, but it was considerably advanced in several directions over the years. The latest development is the operationalization of the SeatrackWeb system at BSH.

A 3-dimensional regional ocean circulation model provides – in combination with numerical weather forecasts of the German Weather Service (DWD) – the forcing for the oil drift component. The region covered by the model system is the whole North and Baltic Sea with special focus on the German Bight and the western Baltic Sea. Based on the pre-calculated and archived forcing data the oil drift model can be run on demand at any time. The basic approach is a Lagrangian particle tracking method, i.e. the simulated oil spill is described by a large number of particles which carry characteristics of specific types of oil. By this approach not only the drift but also the so-called "weathering" of the oil can be calculated. All fundamental processes which alter the oil during the fate of an oil spill, e.g. spreading, dispersion, evaporation and emulsification, are included.

The particle tracking and oil weathering components, which are at the core of the model are connected to a modern, interactive, graphical user interface (GUI), which provides the user e.g. with the possibility to directly start simulations from satellite detections of oil spills. The GUI gives access to several layers of useful information, e.g. ocean currents, wind direction, the location of oil platforms or shipping routes. Besides that, it visualizes ship signals from the Automatic Identification System (AIS), which are important means when it comes to the identification the potential source of an oil spill.

In this paper we first present the current BSH operational ocean forecasting system highlighting some recent developments. The core of the oil drift component will be described in some detail. The main part of the paper will show results of some real cases. Based on these results some scientific questions like, e.g., the influence of wave induced Stokes drift will be discussed.

Keywords

SeatrackWeb, oil spill, ocean forecast, operational ocean model, North Sea, Baltic

Inhalt

1 Einleitung 277
2 Modellsystem 277
2.1 Überblick 278
2.2 PADM 279
2.3 Grafische Benutzeroberfläche 281
3 Ergebnisse 283
3.1 Schiffshavarie im Skagerrak 283
3.2 Container-Drift in der Deutschen Bucht 285
4 Schlussfolgerungen und Ausblick 290
5 Danksagung 291
6 Schriftenverzeichnis 291

1 Einleitung

Während und nach der am 20. April 2010 durch die Explosion der Ölbohrplattform Deepwater Horizon im Golf von Mexiko ausgelösten Ölkatastrophe wurde versucht, durch intensiven Einsatz von Öldriftmodellen Einblick in die Ausbreitungswege und das Abbauverhalten der riesigen Ölmengen zu erhalten, die in den Ozean gelangt waren. In den letzten Jahrzehnten haben viele Länder weltweit ihre Möglichkeiten im Bereich von Systemen zur Ölausbreitungsmodellierung ausgebaut, die angesichts dieser schweren Ölkatastrophe vielerorts einer gründlichen Prüfung unterzogen wurden.

Inzwischen sind Öldriftmodelle weltweit als Werkzeuge in der Ölunfallbekämpfung etabliert. In den verschiedenen Meeresbehörden, Küstenwachen und Institutionen des Nord- und Ostseeraums sind unterschiedliche Driftmodelle im Einsatz. Am Norwegischen Meteorologischen Institut (met.no) beispielsweise wird das Modell OD3D entwickelt und in Verbindung mit OSCAR für die Erstellung von Vorhersagen genutzt. Das belgische Institut für Naturwissenschaften RBINS.MUMM entwickelt und betreibt die Driftmodelle FLOAT und OSERIT für den Einsatz durch die dortige Küstenwache. In Großbritannien ist das CEFAS für operationelle Driftvorhersagen zuständig. Es arbeitet mit der intern entwickelten Lösung CEFAS SPILL und mit kommerziellen Lösungen wie OILMAP oder OSCAR. OILMAP wird, zusammen mit CHEMMAP, auch in den Niederlanden von RWS und Deltares eingesetzt. Der Wetterdienst METEO-FRANCE kann mit seinem Driftmodell MOTHY ebenfalls Driftsimulationen für die Nordsee erstellen, auch wenn der eigentliche Interessenschwerpunkt in einem anderen Bereich liegt. Die meisten Modelle sind speziell auf die Simulation von Öl im Meer ausgelegt, bei anderen handelt es sich um allgemeinere Drift- und Ausbreitungsmodelle, die für ein breites Spektrum von Anwendungen geeignet sind, zum Beispiel in der Seenotrettung, der Driftprognose für verschiedenste Gegenstände (etwa über Bord gegangene Container oder losgelöste Bojen) und nicht zuletzt in der Modellierung des Abbauverhaltens von treibendem und abgesunkenem Öls.

Eine der zahlreichen Aufgaben des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) ist die Bekämpfung der Ölverschmutzung in deutschen Küstengewässern. Das Bundesamt unterstützt dabei sowohl die Stäbe und Dienste, die unmittelbar nach der Katastrophe in der Unterstützung der Ölbekämpfung tätig sind (z. B. das Havariekommando), als auch die Strafverfolgungsbehörden, die in einer späteren Phase die Ermittlung der Verursacher von Verschmutzungen durch illegale Öleinleitungen übernehmen. Zur Erfüllung dieser Aufgabe betreibt und entwickelt das BSH ein aus mehreren Komponenten bestehendes, umfassendes numerisches Modellsystem. Zwei der Komponenten, nämlich das dreidimensionale Ozeanzirkulationsmodell BSHcmod und das Drift- und Ausbreitungsmodell SeatrackWeb, sind für das hier behandelte Thema von besonderer Bedeutung und werden weiter unten ausführlicher beschrieben.

2 Modellsystem

Das folgende Kapitel gibt einen Überblick über das angewendete Modellsystem, die wichtigsten Funktionen der zentralen SeatrackWeb Driftkomponente – PADM - und seiner grafischen Benutzeroberfläche. Darüber hinaus werden die Einsatzmöglichkeiten von Driftsimulationen mit SeatrackWeb in der BSH-Version beschrieben.

2.1 Überblick

Die ersten Glieder der Modellkette sind die numerischen Wettervorhersagemodelle des Deutschen Wetterdienstes, COSMO-EU (LME) und GME. Sie liefern viermal täglich den benötigten atmosphärischen Antrieb in bis zu 7 Tage Vorhersagen für beide Komponenten des Ozeanmodells. BSHcmod wird mit zwei ineinander verschachtelten Modellgittern mit unterschiedlicher Auflösung betrieben. Hierbei wird das gesamte Gebiet der Nord- und Ostsee von einem Gitter mit einer horizontalen Auflösung von ca. 5 km überdeckt, während im Gebiet der Deutschen Bucht und westlichen Ostsee mit einer höheren Auflösung von ca. 900 m gerechnet wird. (DICK et al. 2001). Vor Kurzem konnte für das Teilgebiet des Elbeästuars eine weitere Verfeinerung der Gitterauflösung auf bis zu 90 m erreicht werden (MÜLLER-NAVARRA und BORK 2012). Eingangsdaten für das Zirkulationsmodell sind neben dem atmosphärischen Antrieb auch die tideabhängigen Wasserstände an den offenen Modellrändern in der Nordsee sowie der Oberwasserzufluss aus den größten Flüssen. Gegenwärtig liefert BSHcmod einmal täglich im vollautomatischen Modus Vorhersagen zu Wasserstand, Strömungen, Temperatur, Salzgehalt und Eisbedeckung für die nächsten drei Tage. Zusammen mit dem atmosphärischen Antrieb werden die Wasserstands- und Strömungsmodelldaten in Zeitschritten von 15 Minuten, sowie die anderen Modelldaten in stündlicher Auflösung archiviert. Das Modelldatenarchiv ist die Grundlage aller Driftsimulationen und zahlreicher weiterer Anwendungen.

Zur Vorhersage des Driftverhaltens von Öl, Gegenständen und konservativen Stoffen kommt ein Lagrangesches Ausbreitungsmodell zur Anwendung. Im BSH ist dies das eigenentwickelte Modell BSHdmod.L (DICK und SOETJE 1990). BSHdmod.L übernimmt die oben genannten archivierten Modellfelder aus BSHcmod und die Windprognosen des LME. Es war eines der ersten Langrangeschen Ausbreitungsmodelle zur operationellen Öldriftvorhersage in der Nord- und Ostsee und wurde in der Vergangenheit bereits sehr erfolgreich angewendet, so beispielsweise beim Unfall der Pallas im Jahr 1998 oder bei der Kollision des Frachters Baltic Carrier im Jahr 2001. In den folgenden Jahren wurde der Modellcode an Anrainerstaaten der Nord- und Ostsee weitergeben, z. B. an Dänemark und Schweden, und dort parallel weiterentwickelt. Das Schwedische Meteorologische und Hydrologische Institut (SMHI) sowie die Vorgängerinstitution des Forsvarets Center for Operativ Oceanografi (FCOO) aktualisierten mit BSHdmod.L das im Rahmen von HELCOM entwickelte Modellierungs- und Driftvorhersagesystem für Öl und Chemikalien SeatrackWeb. Der Kern des Driftmodells, das Partikeladvektions- und Dispersionsmodell PADM (englisch: Particle Advection and Dispersion Model), wurde kontinuierlich weiterentwickelt, durch eine graphische Benutzeroberfläche (GUI) erweitert und über das Internet zugänglich gemacht (AMBJÖRN et al. 2011).

Mehrere Institute betreiben unabhängige eigene Versionen von SeatrackWeb. SMHI beispielsweise unterhält die offizielle HELCOM-Version (https://stw-helcom.smhi.se/) und zusätzliche Versionen für spezielle Nutzer in den schwedischen Seen und Fjorden (Vänern und Brodfjorden). FCOO stellt eine eigene Version für dänische Nutzer bereit. Im Jahr 2006 trat das BSH der SeatrackWeb-Entwicklungsgruppe bei und erweiterte das Modell in Anpassung an die eigenen spezifischen Anforderungen um verschachtelte Gitter und ein größeres Modellgebiet. Seit einigen Jahren wird SeatrackWeb im operationel-

len Modus mit BSHcmod-Antrieb betrieben. Die BSH-Version von SeatrackWeb steht unter http://stw.bsh.de/seatrack zur Verfügung.

Die primären Nutzer der BSH-Version von SeatrackWeb sind deutsche Behörden, darunter auch das BSH selbst. Daher sind die Deutsche Bucht und die westliche Ostsee Zielgebiete des Modells mit einer Auflösung des Strömungsfelds von 900 m (siehe blaue Flächen in Abb. 1). Außerhalb dieser Gebiete haben die Strömungen in der Nord- und Ostsee und in Teilen des Ärmelkanals eine Auflösung von ca. 5 km.

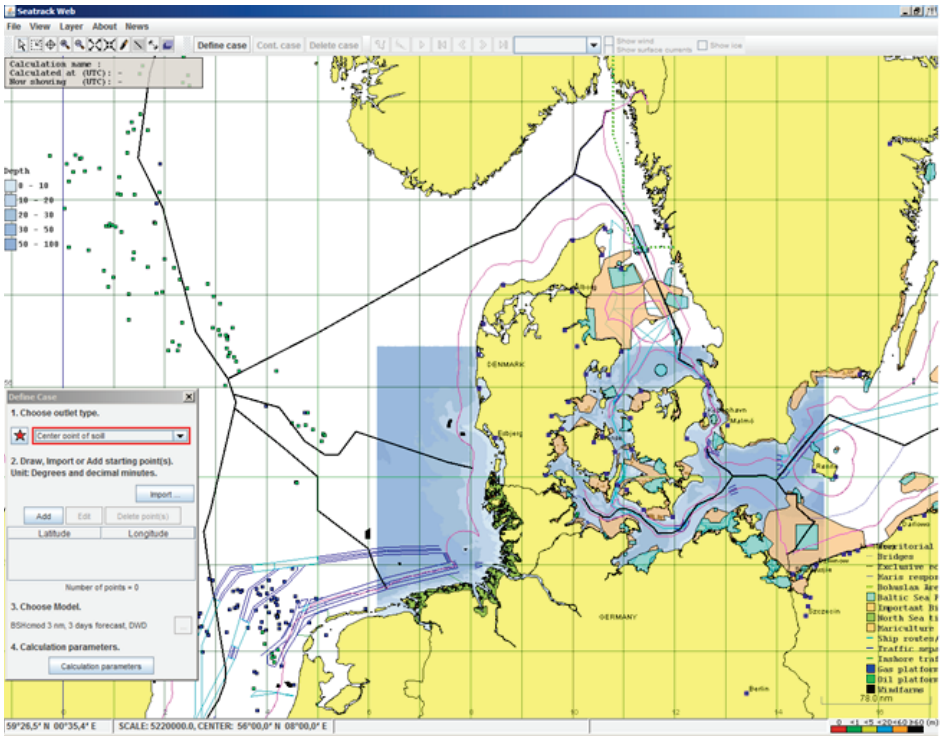

Abbildung 1: Karten und geographische Informationen in der Java-Benutzeroberfläche von SeatrackWeb. Die blaue Fläche zeigt die Tiefenwerte des feinen Nord- und Ostseegitters von BSHcmod. Das durch die Küstenlinie definierte Land ist gelb markiert.

2.2 PADM

Das Partikeladvektions- und Dispersionsmodell (PADM) ist die zentrale Komponente von SeatrackWeb. Es berechnet die Advektion von Stoffen oder Objekten mit dem Lagrangeschen Verfahren, wobei die Stoffe durch eine Partikelwolke dargestellt werden.

Jedes Partikel steht dabei für eine bestimmte Menge des simulierten Stoffes. Die Partikel bewegen sich einzeln in drei Dimensionen und haben keine Wechselwirkung auf das sie umgebende Strömungsfeld. Mit Ausnahme des Algorithmus für die gravitationsbedingte Ausbreitung beeinflussen sich die Partikel nicht gegenseitig (keine Kollisionen usw.). Stoßen sie an eine Grenze, etwa eine Küstenlinie, den Boden oder die Ränder des Modellbereichs, bleiben sie daran haften, gleiten daran entlang oder bewegen sich durch

sie hindurch. Öl beispielsweise haftet an der Küstenlinie und am Boden, Objekte gleiten an den Rändern entlang.

Jedes Partikel trägt einen Teil der Gesamtmasse und weist zusätzliche Eigenschaften wie Viskosität, Dichte, Höhe usw. auf. Die Partikeleigenschaften sind veränderlich und hängen von stoffspezifischen Prozessen ab. Beispielsweise verdunstet Öl, das sich an der Oberfläche befindet, in Abhängigkeit von Temperatur und anderen Faktoren.

Die Partikel werden in ein Gitter mit rechteckigen, sechsseitigen Zellen eingefügt, in dem die X-Richtung von Westen nach Osten (geographische Länge), die Y-Richtung von Süden nach Norden (geographische Breite) und die Z-Richtung nach oben verläuft. An den Rändern der Zellen werden die Geschwindigkeiten von X, Y und Z vom jeweils gültigen operationellen Ozeanmodell (z. B. BSHcmod) vorgegeben, das heißt, die Bewegung der Partikel innerhalb der Zelle folgt den vorgegebenen Geschwindigkeiten bzw. Geschwindigkeitsgradienten.

An der Ozeanoberfläche werden die Partikel gegebenenfalls zusätzlich durch die zweidimensionalen Oberflächenwindfelder (z. B. LME) bewegt. Der Boden ist in allen Zellen waagerecht. Die vertikale Lage des Bodens hängt von der Bathymetrie des Zirkulationsmodells ab. Ein geneigter Boden wird beispielsweise durch eine Treppenform dargestellt, das heißt, dass sich der Boden aus horizontalen und vertikalen Flächen der Gitterzellen zusammensetzt. In der Horizontalen wird die treppenförmige Küstenlinie des Modells durch eine realistische Küstenlinie ersetzt, um eine möglichst wirklichkeitsgetreue Darstellung zu erhalten.

Neben der durch ein vorgegebenes Wind- und Strömungsfeld bedingten rein advektiven Verlagerung der Partikel (wie oben beschrieben) kommt es auch zu einer horizontalen und vertikalen Ausbreitung, als Ergebnis von Scherströmungen in unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Maßstäben (sogenannte Subgrid-Prozesse). In SeatrackWeb wird die kleinskalige isotrope turbulente Durchmischung dadurch berücksichtigt, dass die Partikeldrift um zufällige turbulente Geschwindigkeiten als Funktion der turbulenten kinetischen Energie und ihrer Dissipationsrate ergänzt wird.

Im Falle eines Ölteppichs führen die Dichtedifferenzen zwischen Wasser und Öl sowie die Viskositäts- und Gravitationskräfte zu einer horizontalen Oberflächenausbreitung von Öl an der Grenzfläche zwischen Wasser und Luft. Mit Hilfe der durch die Fay Formeln (FAY 1971) berechneten Öldicke erhält man unter Annahme von zylindrischen Partikeln mit ihren individuellen Volumina einen Radius pro Partikel. Die Ausbreitung ist dann das Ergebnis eines iterativen Verfahrens, bei dem sich nicht überlappende kreisförmige Flächen berechnet werden.

Die vertikale Verteilung der Partikel von der Oberfläche abwärts in die Wassersäule hängt von der Art des simulierten Stoffes ab. Bei gelösten Stoffen spielt die turbulente Durchmischung die größte Rolle. Bei Ölteppichen werden brechende Wellen berücksichtigt, um die Zerteilung zusammenhängender Ölflecken und die Dispersion von Öltropfen in die Wassersäule zu simulieren. Zu diesem Zweck wird aus der signifikanten Wellenhöhe eine dissipative Energie infolge von Wellenbrechung berechnet, die schließlich für jede Tropfengröße die zu dispergierende Ölmenge ergibt. Anschließend werden die neuen Tiefenwerte zufällig zugewiesen, indem der Bewegung der Partikel zusätzliche negative vertikale Geschwindigkeiten hinzugefügt werden.

Dichtedifferenzen zwischen den Partikeln und dem sie umgebenden Wasser führen zum Absinken oder Aufsteigen der Partikel. Mit einer primär für Öl entwickelten Formel

(SOARES DOS SANTOS und DANIEL 2000) wird die Auftriebsgeschwindigkeit als Funktion der reduzierten Schwerkraft, der Viskosität, des Partikeldurchmessers und eines kritischen Durchmessers berechnet. Der kritische Durchmesser ist die Größe, die die Partikel in zwei Regime teilt: die große, linsenförmige Blasen und das kleine kugelförmige Tröpfchen (Stokes-) Regime. Neben Öl haben auch andere Stoffe eine Auftriebsgeschwindigkeit, die sich einfach aus der reduzierten Schwerkraft multipliziert mit einem anpassbaren Koeffizienten errechnet.

Wenn die Partikel eine Öldrift simulieren, sind ihre Eigenschaften dem Einfluss von Ölverwitterungsprozessen wie Verdunstung und Emulsifikation ausgesetzt. Die Dichte z. B. hängt von Emulsifikation und Verdunstung ab. Die Viskosität ändert sich abhängig von der Temperatur (Verdunstungsrate) und dem Grad der Emulsifikation. Weitere Informationen zur Implementierung von Verwitterungsprozessen finden sich in AMBJÖRN et al. (2011) und den wissenschaftlichen Dokumentationen zu SeatrackWeb (LIUNGMAN und MATTSSON 2011), die über http://stw.bsh.de/seatrack oder https://stw-helcom.smhi.se/ verfügbar sind.

Die Stokes-Drift ist eine Nettodrift, die durch die Orbitalbewegung von Tiefwasserwellen verursacht wird. Die Kreisbahnen sind nicht exakt geschlossen, da die Orbitalgeschwindigkeit mit zunehmender Tiefe abnimmt. Da diese Bewegung in den betrachteten hydrodynamischen Modellen weder aufgelöst noch implizit in den Oberflächen-Randbedingungen berücksichtigt wird, werden die Stokesdriftgeschwindig-keiten aus einem zweidimensionalen Wellenenergiespektrum innerhalb von SeatrackWeb berechnet. Das Wellenspektrum wird noch nicht aus einem operationellen Wellen-vorhersagemodell importiert, sondern basiert auf einem parametrisierten Spektrum nach DONELAN et al. (1985) für Fetch-limitiertes Wellenwachstum.

Das Auftreten von Meereis wird ebenfalls berücksichtigt und beeinflusst nahezu alle oben genannten Prozesse. So werden beispielsweise die hydrodynamischen Modellgeschwindigkeiten durch die Eisdriftgeschwindigkeit ersetzt, wenn die Eiskonzentrationen höher als 70 % sind und sich das Partikel an der Oberfläche befindet. Darüber hinaus reduziert sich die Stokes-Drift linear von 100 % (bei einer Eiskonzentration von null) auf 0 % (bei einer Eiskonzentration von mindestens 70 %) und die gravitationsbedingte Ausbreitung eines Ölteppichs nimmt bei zunehmender Eiskonzentration linear bis auf null ab (DICKINS 1992; VENKATESH et al. 1990). Auch die durch Wellenbrechen bedingte Dispersion von Öl von der Oberfläche nach unten in die Wassersäule verringert sich bei Eiskonzentrationen über 30 %. Eis führt zu einer starken Dämpfung der Wellen und beschränkt die Dispersion.

Trotz der Berücksichtigung zahlreicher Prozesse ist das zur Anwendung kommende Ozean- und Windmodell noch immer eine Quelle großer Unsicherheiten. Um diese teilweise abzubilden, kann die Bewegung der Partikel an der Oberfläche um zusätzliche Unsicherheitswerte ergänzt werden, die sich eine zusätzliche, zufällige Ausbreitung bewirken. Ihre Größenordnung ist eine Funktion der Unsicherheit in der Windvorhersage.

2.3 Grafische Benutzeroberfläche

In der Regel konfigurieren SeatrackWeb-Benutzer Driftsimulationen und lassen sich die Ergebnisse auf der grafischen Benutzeroberfläche (GUI) anzeigen. Die GUI von SeatrackWeb wird vom SMHI entwickelt und fortlaufend aktualisiert bzw. erneuert.

Gegenwärtig gibt es zwei Versionen der GUI: eine Java-basierte Client/Server-Anwendung und eine für gängige Internetbrowser getestete JavaScript-Webanwendung. Die Webanwendung ist aktueller, aber auch die Java-Client-Version ist bis heute gebräuchlich. Das gegenwärtig am BSH operationell betriebene Modellsystem verwendet eine Java-Client-Benutzeroberfläche. Daher wird hier nur diese GUI-Version vorgestellt.

Die Java Client-Anwendung wird mit Java Web Start auf dem Computer des Nutzers gestartet. Da die Driftsimulationen selbst auf der Serverseite ausgeführt werden, bestehen für den PC des Nutzers keine spezifischen Leistungsanforderungen. Ausführlichere Informationen zu SeatrackWeb als Java-basierte Client/Server-Anwendung bietet AMBJÖRN et al. (2011).

Nach erfolgreicher Anmeldung wird eine Karte der Küstenlinie geöffnet und der Nutzer kann optional weitere Informationsebenen hinzufügen. Abb. 1 zeigt die GUI von SeatrackWeb in der BSH-Installation, die u.a. die Darstellung der Lage von Öl- und Gasplattformen, der Grenzen der ausschließlichen Wirtschaftszone, der marinen Verkehrswege und der biologisch sensiblen Bereiche ermöglicht. Daneben visualisiert sie die bathymetrischen Tiefen, die die Auflösung des BSHcmod-Zirkulationsmodells zeigen. Diese Informationen geben Aufschluss über die Qualität der Auflösung der Ozeanströmungsfelder in der Driftsimulation.

Zur Einrichtung einer Driftsimulation gibt der Benutzer verschiedene Informationen über die Menüführung ein, darunter Stoff-/Objektart, Art des Ölaustritts (kontinuierlich, Menge, Rate etc.), Position sowie Anfangs- und Endzeit der Simulation.

SeatrackWeb bietet erfahrenen Nutzern umfassende Unterstützung. Sie können die antreibenden Wind-/Strömungsfelder auswählen, zusätzlichen Windschub für schwimmende Objekte festlegen, die Art des Öls angeben und windbedingte Unsicherheiten berücksichtigen.

Für Öldriftsimulationen bietet SeatrackWeb je nach Art des Öls die Möglichkeit, nur die Ölklasse (leicht, mittel, schwer) oder ein ganz spezifisches Öl (z. B. Schiffsdiesel, IFO 450, Bunker B usw.) auszuwählen. Diese Wahl hat Einfluss auf die Verdunstungs- und Emulsifikationsrate.

Im Gegensatz zur zweidimensionalen Karte ist die Driftsimulation dreidimensional. Es ist also möglich, einen Auslauf in einer bestimmten Tiefe zu definieren und den Stoff in der Wassersäule zu verteilen, falls dies nicht durch die Auftriebskraft verhindert wird. Die Tiefe eines Partikels ist entsprechend der Legende in der rechten unteren Ecke des Hauptfensters farblich gekennzeichnet.

Auch für die Analyse der Ergebnisse stehen dem Nutzer zahlreiche Optionen zur Verfügung. So ist es beispielsweise möglich, die Ansicht zu vergrößern und zu verkleinern, Layer wie Verkehrstrennungsgebiete hinzuzufügen, sich zeitlich vor- und zurückzubewegen, Animationen zu erstellen, die Trajektorie aller Partikel oder nur des Schwerpunktes der Partikel zu plotten, Wind- und Strömungsdaten anzuzeigen und Kartenbilder zu speichern. Indem man den Fall abspeichert können die Simulationsergebnisse an andere SeatrackWeb-Nutzer weitergegeben oder mit Hilfe der geeigneten Schnittstellen in anderen Systemen geladen werden. Speicherbare Tabellen und Diagramme verschaffen einen Überblick darüber, welche Menge/welcher Anteil des Öls z. B. auf der Meeresoberfläche treibt, strandet, dispergiert oder emulgiert wird.

Wenn die Quelle der Ölverschmutzung unbekannt ist, besteht zur Identifikation potenzieller Verursacher von Verschmutzungen die Möglichkeit, die AIS-Schiffspositionen

mit den Ergebnissen aus der Driftsimulation abzugleichen und so eine Vorauswahl der zu prüfenden Schiffe zu treffen. Auch die von der EMSA bereitgestellten Satellitenbilder der erkannten Ölflecken können angezeigt und in Rückwärtssimulationen für die Suche nach möglichen Verursachern verwendet werden.

3 Ergebnisse

In diesem Kapitel sollen die Möglichkeiten von SeatrackWeb am Beispiel einiger realer Fälle demonstriert werden. Der erste Fall zeigt Simulationsergebnisse von einer Ölverschmutzung im Gebiet Skagerrak, die 2009 durch die Havarie des Frachters „Full City" verursacht wurde. Im zweiten Fall werden Ergebnisse aus der Modellierung treibender Objekte (Container) in der Deutschen Bucht aus dem Jahr 2012 präsentiert.

3.1 Schiffshavarie im Skagerrak

Am 30. Juli 2009 ging der Frachter „Full City" im Skagerrak nahe der norwegischen Küste vor Anker. Aufgrund starker Orkanböen lösten sich die Anker und das Schiff begann in Richtung der Insel Sastein zu driften. Dort lief es in der Nacht auf Grund und verlor etwa 300 Tonnen IF180-Bunkeröl (BROSTRÖM et al. 2011). Die am nächsten Morgen eingeleiteten Maßnahmen zur Eindämmung des Öls konnten jedoch die weiträumige Verschmutzung der norwegischen Küste und die damit einhergehenden ökologischen und ökonomischen Schäden nicht aufhalten. Zur Vorhersage der Öltrajektorie wurden Driftmodelle eingesetzt. Die Ergebnisse aus drei Modellen – OD3D, SeatrackWeb und BSHdmod.L – wurden von BROSTRÖM et al. (2011) in einem Vergleich gegenübergestellt und veröffentlicht. Alle Modelle zeigten eine gute Übereinstimmung mit den Beobachtungen. DAMSA nutzte für SeatrackWeb Antriebsdaten aus dem Ozeanmodell HIROMB und Winddaten aus dem Wettermodell HIRLAM. In diesem Kapitel wird der Fall „Full City" erneut betrachtet. Dabei stammen die Antriebsdaten für SeatrackWeb aus dem Ozeanmodell BSHcmod und den Wettermodellen GME + LME. Dieselben Antriebsdaten wurden auch für den Vergleich von BROSTRÖM et al. (2011) im Driftmodell BSHdmod.L verwendet. Eventuelle Differenzen in der Trajektorie des Ölteppichs sind daher allein dem Driftmodell geschuldet.

SeatrackWeb wird in diesem Beitrag mit derselben Ausgangskonfiguration betrieben, die auch in BROSTRÖM et al. (2011) zugrunde gelegt wird. Es wurden jedoch die zusätzliche Ausbreitungsunsicherheiten aufgrund von Wind verwendet. Abb. 2 zeigt die Ölausbreitung 6, 12, 24, 36, 48 und 60 Stunden nach dem ersten Ölaustritt. Aufgrund derselben Antriebsdaten ist die Partikelverteilung nahezu identisch mit den BSHdmod.L-Ergebnissen von BROSTRÖM et al. (2011). In SeatrackWeb ist das Spreading etwas stärker, was eine etwas weitere Öldrift in südwestliche Richtung zur Folge hat. Da in SeatrackWeb anstatt der Modellränder eine Küstenlinie verwendet wird, können Partikel an der Küstenlinie stranden. Die Treppenform der Modellränder, wie sie noch in den BSHdmod.L-Ergebnissen zu sehen ist (s. Abb. 9 in BROSTRÖM et al. (2011)), ist nicht mehr vorhanden.

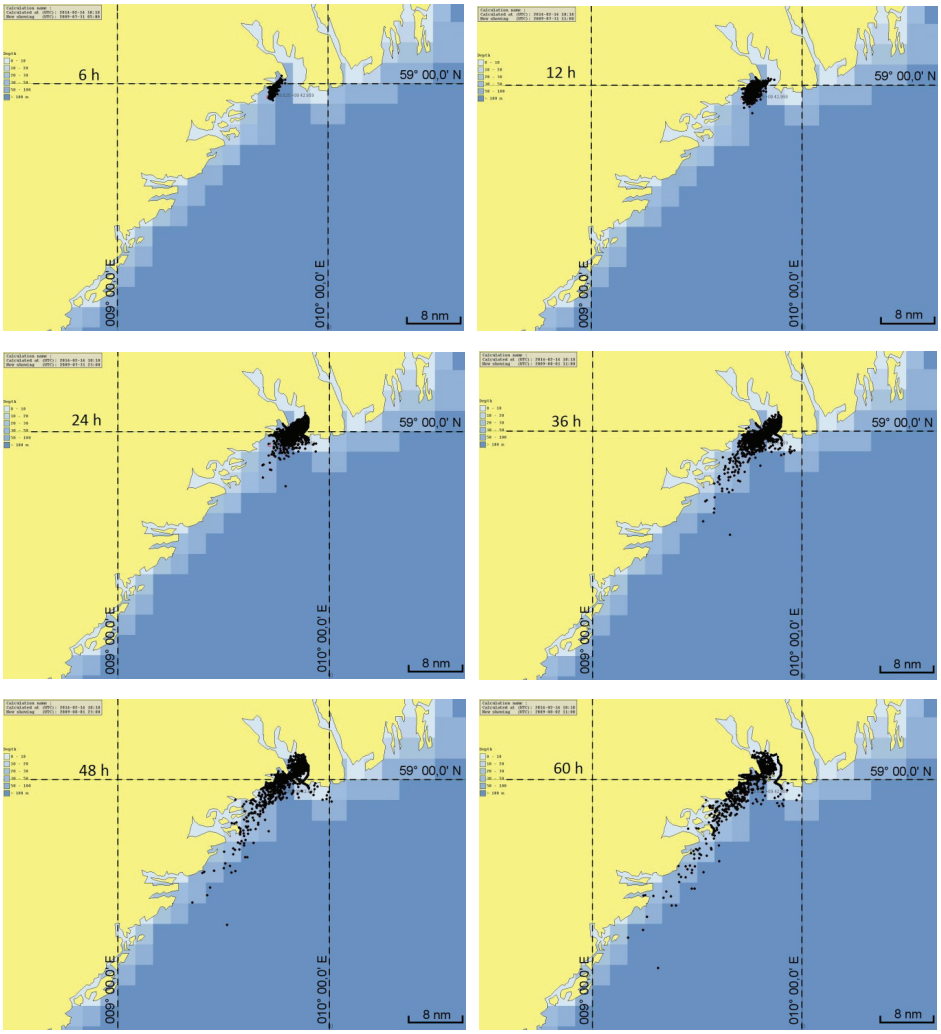

Abbildung 2: Ergebnisse der SeatrackWeb-Öldriftsimulation mit BSHcmod- und LME-/GME-Antrieb für den Anwendungsfall „Full City" (6 Std., 12 Std., 24 Std., 36 Std., 48 Std. und 60 Std. nach dem ersten Ölaustritt). Die schwarzen Punkte zeigen Stellen mit Ölvorkommen, der bläuliche Bereich zeigt die Tiefe des BSHcmod-Modells (5-km-Auflösung). Der gelbe Bereich ist das Land gemäß der Küstenlinie von SeatrackWeb.

Abb. 3 zeigt die Strandung von Öl 72 Stunden nach dem Unfall. Ein Vergleich mit den OD3D-Simulationsergebnissen von BROSTRÖM et al. (2011), die auf einer Auflösung von 1,5 km basieren, ergibt eine nahezu identische Ausdehnung der Ölablagerung nach Süden. Im Gegensatz zu OD3D ergeben die SeatrackWeb-Berechnungen mit BSHcmod-Antrieb auch Ölverschmutzungen im Gebiet Mølen. Der Vergleich unserer Ergebnisse mit den Ergebnissen von SeatrackWeb mit HIRLAM/HIROMB-Antrieb zeigt, dass sich mehr Öl in der Nähe des Unfallorts am Strand ablagert und das Öl weniger weit nach Süden driftet. Die hier und in BROSTRÖM et al. (2011) vorgestellten SeatrackWeb-

Simulationen unterscheiden sich nicht nur aufgrund der unterschiedlichen Antriebsfelder, sondern auch aufgrund der zusätzlichen Unsicherheitsausbreitung.

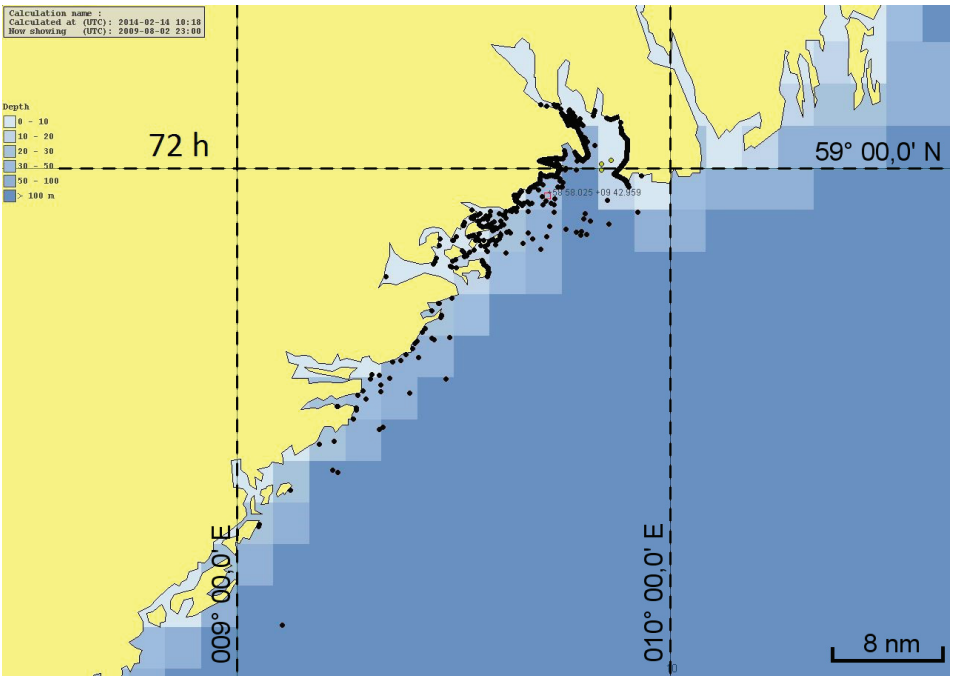

Abbildung 3: Ergebnisse der mit BSHcmod angetriebenen SeatrackWeb-Simulation des Vorfalls „Full City" 72 Stunden nach dem ersten Ölaustritt.

3.2 Container-Drift in der Deutschen Bucht

Am 6. Januar 2012 um 5:35 UTC meldete ein Frachter den Verlust von zehn 12 Meter großen Containern ca. 22 Seemeilen westnordwestlich von Helgoland in der Nähe des Verkehrstrennungsgebiets „German Bight Western Approach". Dem Unglück war ein hoher Seegang mit Sturmflut infolge eines Orkans aus nordwestlicher Richtung vorausgegangen. Sieben der Container enthielten Holz, einer Autoersatzteile, zwei waren leere Kühlcontainer. Die teilweise mit Twistlock-Verriegelungen aneinander befestigten Container trieben im Verbund von zwei, drei oder vier Containern, bis die meisten zerbrachen und ihren Inhalt ins Meer freigaben. Die Havarie barg hier eine größere Gefahr für die Schifffahrt als für die Tier- und Pflanzenwelt, auch wenn sich solche Unfälle natürlich auch immer auf Ökologie, Tourismus und die Wirtschaft im Allgemeinen auswirken.

Container, Containerteile und Holzteile wurden über einen Zeitraum von 10 Tagen von Schiffen und Flugzeugen aus beobachtet. Sie wurden per Radar überwacht, von Schiffen begleitet und, falls möglich, geborgen.

Am Morgen, ungefähr vier Stunden nach der Havarie, wurden Container und Treibgut an einer Position südwestlich des Unfallorts gemeldet. Von einigen verbundenen Containern wurden Fotos aufgenommen (siehe Abb. 4).

Abbildung 4: Am 6.1.2012 um 9:36 UTC an Position 54° 18,06' N, 007° 13,30' E beobachteter Containerverbund. (Foto mit freundlicher Genehmigung der Crew der ETV Nordic).

Die Entfernung zwischen einigen Containerverbünden betrug bereits mehr als eine halbe Seemeile. Ob diese Container zu einem späteren Zeitpunkt über Bord gegangen waren oder Prozesse wie Wasserturbulenzen oder unterschiedliche Schwimmfähigkeit zu dieser räumlichen Entfernung führten, lässt sich nicht mit Bestimmtheit feststellen. Am Nachmittag oder Abend des 6.1.2012 wurden weitere Container/Containerreste oder deren Inhalt in westnordwestlicher, südwestlicher und südöstlicher Richtung vom Unfallort gesichtet. Da eine Unterscheidung der Container bei solchen Sichtungen nicht möglich ist, bleibt unklar, ob es sich um mehrmalige Sichtungen derselben Container oder um unterschiedliche Container handelte. Am Abend des 6.1.2012 konnte das Schiff GS Neuwerk mit der Radaraufzeichnung der Drift eines Containerverbunds über einen Zeitraum von 6 Stunden äußerst wertvolle Beobachtungsdaten gewinnen (siehe Tab. 1). Die Driftsimulationen aus diesem Zeitraum werden mit den Beobachtungsdaten (siehe unten) verglichen.

Am Nachmittag des 7.1.2012, ungefähr 33 Stunden nach dem Unfall, wurden bei einem Überflug ein Einzelcontainer und ein Containerverbund in einem Abstand von ca. 8 Seemeilen gesichtet. Vermutlich dieselben Objekte wurden später, am Nachmittag des 8.1.2012 (ca. 58 Stunden nach dem Unfall) in südwestlicher Richtung mit einem Abstand von 13 Seemeilen südwestlich und östlich von Helgoland gesichtet. Da wir eine Doppelsichtung der Objekte nicht einwandfrei nachweisen können, werden diese Beobachtungen beim Vergleich mit den Driftsimulationen nicht berücksichtigt. Dennoch zeigen sie, dass die Container bereits auf sehr unterschiedlichen Trajektorien unterwegs waren, obwohl

sie wahrscheinlich sehr dicht beieinander (oder sogar an derselben Position) und nahezu zeitgleich über Bord gegangen waren. Die zunehmende Entfernung zwischen den 4, 33 und 58 Stunden nach dem Unfall gesichteten Containern (1/2 Seemeile, 8 Seemeilen und 13 Seemeilen) ist ein Indiz für das unterschiedliche Verhalten von Driftobjekten in Abhängigkeit von Eigenschaften wie Größe, Eintauchgrad oder Form. Sind keine dieser Eigenschaften bekannt, sind die Unsicherheiten einer Driftsimulation sehr groß. Zusätzlich werden die Objekte durch Turbulenzen und andere Wind-, Wellen- und Strömungsprozesse unterschiedlicher Ausprägung einem zufälligen Antrieb ausgesetzt, der sich nicht deterministisch vorhersagen lässt.

Tabelle 1: Sichtungen eines Containerverbunds durch die GS Neuwerk am 6.1.2012.

Zeit in UTC	Breite	Länge
17:18	54° 18,2‘ N	007° 11,6‘ E
17:30	54° 18,1‘ N	007° 11,9‘ E
17:45	54° 18,0‘ N	007° 12,4‘ E
18:00	54° 17,8‘ N	007° 12,9‘ E
18:15	54° 17,7‘ N	007° 13,4‘ E
18:30	54° 17,6‘ N	007° 13,9‘ E
18:45	54° 17,5‘ N	007° 14,4‘ E
19:00	54° 17,3‘ N	007° 14,9‘ E
19:30	54° 17,3‘ N	007° 15,5‘ E
19:45	54° 17,1‘ N	007° 16,4‘ E
20:00	54° 16,9‘ N	007° 16,9‘ E
20:15	54° 16,8‘ N	007° 17,4‘ E
20:30	54° 16,8‘ N	007° 17,9‘ E
20:45	54° 16,8‘ N	007° 18,3‘ E
21:00	54° 16,8‘ N	007° 18,6‘ E
23:30	54° 17,5‘ N	007° 21,4‘ E

Zudem können sich die Drifteigenschaften der Objekte im Zeitverlauf ändern. Am Abend wurden von der GS Neuwerk zwei verbundene Container südwestlich von Helgoland gesichtet, bei denen es sich wahrscheinlich um dieselben handelte, die am Nachmittag östlich von Helgoland geortet wurden. Ihre Positionen wurden erneut per Radar aufgezeichnet. Am Morgen des 9.1.2012 lösten sich die Container jedoch voneinander, einer zerfiel und entlud seinen Inhalt (Holzplanken und Holzstapel) ins Meer. Die verbleibenden blauen Container wurden zu einem späteren Zeitpunkt geborgen. In den folgenden 6 Tagen wurden Holz, Holzpakete und Containerfragmente im Elbeästuar und an der nordfriesischen Küste in der Nähe des Eiderästuars gefunden.

Unter Einsatz von SeatrackWeb mit BSHcmod/LME-Antrieb wird die Drift zweier verbundener Container am 6. Januar 2012 zwischen 17:18 UTC und 23:30 UTC simuliert. Die Ergebnisse werden mit den Beobachtungen aus Tab. 1 verglichen. Abb. 5 zeigt die Trajektorie der Driftsimulation in Blau und die Trajektorie der Beobachtung in Magenta. Zunächst folgt die simulierte Trajektorie gut den Beobachtungen, dann bewegen sich die Container in der Beobachtung weiter südlich als in der Simulation. Am Ende beträgt die Distanz zwischen der beobachteten und der simulierten Position ca. 1,2 Seemeilen. Der durchschnittliche

kleinste Abstand zwischen der simulierten Gesamttrajektorie und der beobachteten Trajektorie beträgt ca. 0,6 km, der durchschnittliche Fehler liegt bei ca. 0,7 km.

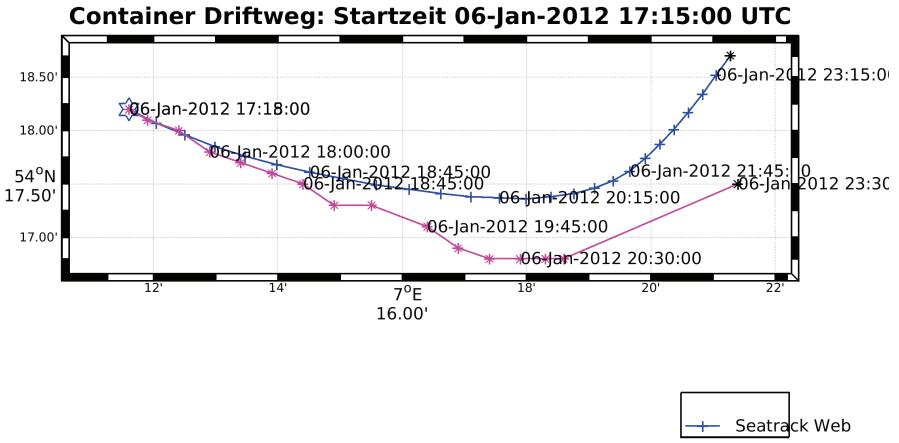

Abbildung 5: Driftweg zweier verbundener Container in SeatrackWeb (blau) und laut Beobachtungen (magenta). Beginn am 6.1.2012 um 17:15 UTC an einer vom Schiff beobachteten Position (54° 18,2'N, 007° 11,6'E). Ende am 6.1.2012 um 23:30 UTC (Plot mit Matlab). Der Stern kennzeichnet den Anfangspunkt der Simulation. In SeatrackWeb wird ein Windkoeffizient von 2,3 % angenommen.

Um mögliche Fehlerursachen zu finden, werden Wind- und Wellenmessungen mit dem im Driftmodell verwendeten Windantrieb verglichen. In Abb. 6 sind Windgeschwindigkeit und Windrichtung an den simulierten Containerpositionen im Zeitverlauf dargestellt (die Windmodelldaten beziehen sich auf eine Höhe von 10 m). Die Punkte in Magenta zeigen die an der Fino1-Station beobachteten Werte (Messungen in 33 m Höhe). Die beobachtete Windgeschwindigkeit steigt von ca. 12 m/s auf 15 m/s an. Die Modelldaten liegen ca. 2-4 m/s unter den gemessenen Daten, die von 10 m/s auf 13 m/s ansteigen. Die bei Helgoland gemessene Windgeschwindigkeit ist im Allgemeinen etwas niedriger als die modellierte Geschwindigkeit. Bei TW-Ems ist die Windgeschwindigkeit jedoch geringfügig höher. Insgesamt scheint die Übereinstimmung der Windgeschwindigkeit gut zu sein.

Die Übereinstimmung zwischen der gemessenen und der modellierten Windrichtung ist relativ gut, wobei die gemessene Windrichtung systematisch um etwa 5° von der des Driftmodells abweicht. Zudem ist zu sehen, dass der Wind von WNW auf WSW gedreht hat. Die Differenzen zwischen den beobachteten und modellierten Werten könnten auf die Höhendifferenzen zurückzuführen sein. Die bei TW Ems gemessenen Windrichtungen sind nahezu identisch mit den Windrichtungen bei Fino1. Bei Helgoland ist die Windrichtung gegenüber dem modellierten Wind etwas nördlicher und zeigt größere Variationen. Im Allgemeinen scheint der in der Driftsimulation verwendete Windantrieb mit den Messungen konsistent zu sein, sodass sich Fehler in der Driftsimulation wohl nicht auf Windantriebsfehler zurückführen lassen.

Bei Fino1 sinkt die signifikante Wellenhöhe von ca. 2,9 m auf 2,6 m. Die mittlere Wellenrichtung kommt bis 22:15 UTC von Nordnordwest. Um 23:15 UTC ändert sich die Wellenrichtung in Reaktion auf die sich ändernden meteorologischen Bedingungen in

Westnordwest. An der Wellenmessboje südlich von Helgoland beträgt die Wellenhöhe am Anfang 1,7 m und steigt nach 21:40 UTC auf 1,9 m an. Die Wellenrichtung WNW dreht sich um ca. 22:40 UTC rück nach W. Dieser Richtungswechsel stimmt zeitlich mit den Richtungswechseln der Wellen bei Fino1 überein. Diese Beobachtungen zeigen die räumliche und zeitliche Variabilität der Windwellen und der Dünung.

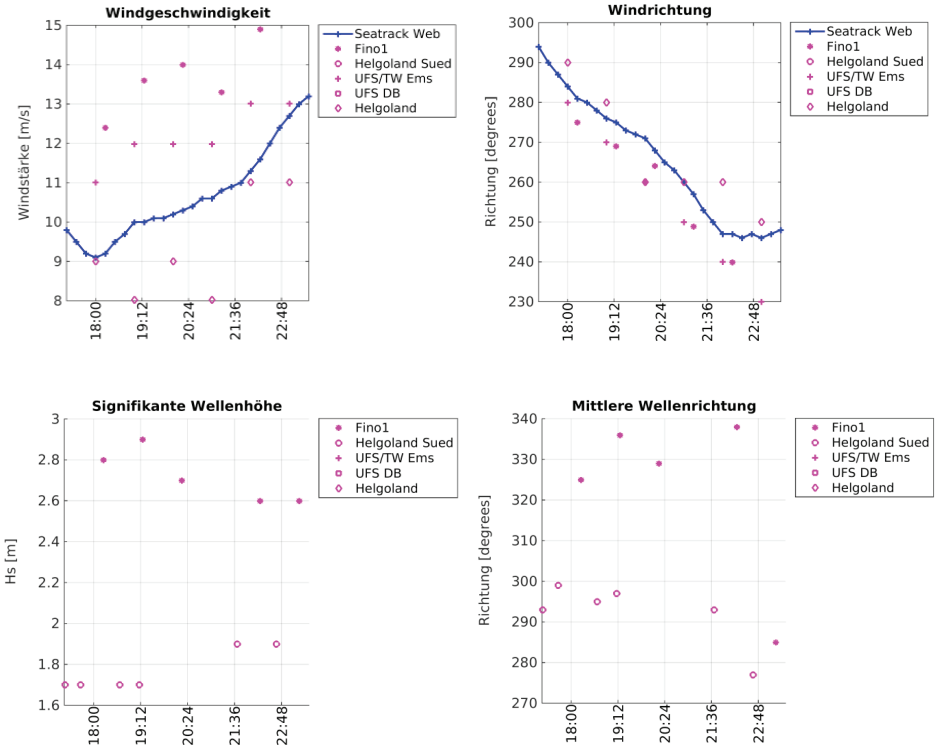

Abbildung 6: Blau: Vom Driftmodell (Modelldaten aus GME+LME) verwendete Windgeschwindigkeit und -richtung (in 10 m Höhe) im Zeitverlauf an den simulierten Containerpositionen. Die Punkte in Magenta zeigen Messungen von Windgeschwindigkeit, Windrichtung, signifikanter Wellenhöhe und mittlerer Wellenrichtung am Pegel Fino1 (54° 0,86' N, 006° 35,03' E). Die Windmessungen bei Fino1 erfolgen in 33 m Höhe. Die Kreise in Magenta zeigen Messungen der signifikanten Wellenhöhe und der mittleren Wellenrichtung an der Wellenboje bei Helgoland Süd (54° 10,783' N, 007° 53,467' E). Messungen der Windgeschwindigkeit und -richtung am Feuerschiff TW Ems (54° 10,0' N, 006° 20,8' O) (Kreuze in Magenta) und bei Helgoland (Rauten in Magenta).

In SeatrackWeb kommt die parametrisierte Stokes-Drift aus dem Modellwind zur Anwendung, das heißt, die Berechnung der wellenbedingten Verlagerung erfolgt auf Basis von Windgeschwindigkeit und -richtung. Bei einer guten Übereinstimmung der Wind- und Wellenrichtung, wie sie in der Regel bei einer jungen Windsee gegeben ist, hat die Stokes Drift die richtige Richtung und Größe. Liegen Bedingungen mit unterschiedlichen Wind- und Wellenrichtungen vor, kann die parametrisierte Stokes-Drift diesen Richtungswechsel nicht auffangen. Dies könnte der Grund sein für die im Vergleich zu den Messungen nördlicheren Containerpositionen der Simulation.

4 Schlussfolgerungen und Ausblick

In diesem Beitrag wird die praktische Anwendung des Lagrangeschen Driftmodells SeatrackWeb anhand von zwei realen Fällen exemplarisch dargestellt. Im ersten Beispiel wird die Drift des Schweröls simuliert, das im Jahr 2009 bei der Havarie des Tankers Full City auslief. Hinsichtlich der Strandung des Öls an der Küste ergibt sich eine relativ gute Übereinstimmung der gemeldeten und simulierten Verschmutzungen. Im zweiten Beispiel wird eine Objektdriftvorhersage von Containern vorgestellt. Die Ergebnisse zeigen in Anbetracht der Unsicherheiten des Wettermodells und der Auflösung des Ozeanmodells eine relativ gute Übereinstimmung mit den Beobachtungen. Als Ursache für die Fehler in der Driftvorhersage wurden Differenzen bei Dünung und Windrichtung ausgemacht. Da die welleninduzierte Verlagerung mit der sogenannten Stokes-Drift berechnet wird, die durch den Wind parametrisiert wird, könnte diese Komponente durch die direkte Übernahme der Stokes-Drift aus einem operationellen Wellenmodell verbessert werden. Das BSH hat bereits Zugriff auf die Ergebnisse des vom Deutschen Wetterdienst (DWD) betriebenen Wellenmodells WAM (WAMDI 1988). In der Zukunft könnte die Stokes-Drift in den vom Wellenmodell ausgegebenen Ergebnisdateien berücksichtigt werden. SeatrackWeb könnte die Stokesschen Driftgeschwindigkeiten einlesen, anstatt sie intern im parametrisierten Wellenmodell von PADM zu berechnen. Ein positiver Nebeneffekt wäre die schnellere Berechnung der Driftsimulation.

Innerhalb von PADM besteht weiterer Forschungsbedarf in Bezug auf die horizontale Ausbreitung von Objekten und Öl. So bleiben beispielsweise Probleme wie der Einfluss von nicht aufgelösten Wirbeln, Langmuir-Zirkulationen und Böen weiterhin ungelöst. Diese Prozesse können die Ausbreitung verstärken. Auch Faktoren wie die Verdickung von Öl in Richtung des Windes und die Bildung von Teerbällen können in SeatrackWeb noch nicht ausreichend simuliert werden.

Ein weiterer ergebnisrelevanter Faktor ist die Leistung der meteorologischen und ozeanografischen Modelle. Da aufgrund der begrenzten Computerressourcen nur eine einmalige Ausführung von BSHcmod pro Tag möglich ist, sind die meteorologischen Antriebsdaten nicht aktuell. Im Allgemeinen verbessert sich die Vorhersagequalität von Ozeanmodellen jedoch mit den aktuelleren Windantriebsdaten. Ziel der Entwicklung einer modernisierten BSHcmod-Version (HBM, siehe Beitrag in diesem Band) ist ein schnellerer Modellcode, der für moderne, parallelisierte Computerarchitekturen geeignet ist. Zeigt die Validierung eine identische oder bessere Qualität der Strömungsvorhersagen und die Möglichkeit einer mehrmaligen Ausführung des HBM pro Tag, wird sich die Qualität der Driftmodellvorhersagen verbessern. Der Umstieg auf HBM würde nur geringfügige Änderungen der SeatrackWeb-Routinen zum Lesen und Generieren der Setup- und Antriebsdateien erfordern. Zudem wird HBM im Elbeästuar bereits angewendet. Die Aufnahme des Elbe-Antriebs als weitere Nesting-Ebene in SeatrackWeb würde feiner aufgelöste Strömungen für die Elbe ermöglichen und somit die Qualität der Driftvorhersage in diesem Gebiet verbessern.

Zur Bekämpfung von Ölverschmutzungen im Meer wählt das Havariekommando die entsprechenden Bekämpfungsmittel, beispielsweise Dispergatoren oder Ölsperren. Die Anwendung von Dispergatoren wirkt sich auf den Driftweg der Ölverschmutzung aus, da das in der Wassersäule dispergierte Öl andere Strömungen aufweist und das Öl keinen direkten Windschub mehr erfährt. Alle Ölbekämpfungsmaßnahmen müssen die

Bedingung erfüllen, dass der Eingriff nicht mehr schadet als nutzt. Informationen zur Drift des Öls oder der Öl/Dispergator-Mischung sind extrem wichtig. In SeatrackWeb ist es allerdings bis jetzt noch nicht möglich, Driftvorhersagen zur Öl-/Dispergator-Mischung zu starten. In Zusammenarbeit mit dem Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG) wird jedoch fortlaufend an der Weiterentwicklung dieser Funktion gearbeitet.

Ein weiteres wichtiges Verfahren zur Bekämpfung der Ölverschmutzung im Meer sind Ölsperren. Ölsperren dämmen das Öl innerhalb eines Gebiets ein, verhindern die weitere Ausbreitung und erleichtern die Aufnahme. Im SMHI wird gegenwärtig eine neue Version der GUI in Betrieb genommen, die die Simulation der Anwendung von Ölsperren ermöglicht. Anhand der Schätzung der pro Sperre eingefangenen Ölmenge lässt sich die optimale Position der Sperre ermitteln. Auf Wunsch der Nutzer kann das BSH diese neue Version der GUI in einem Update installieren. Die neue GUI hat zusätzlich den Vorteil, dass sie ohne Java Web Start auskommt, da sie webbasiert ist und daher nur einen Webbrowser benötigt. Dies erleichtert den Einsatz von SeatrackWeb auf mobilen Geräten.

Die Schnittstellen zu AIS-Webdiensten, CSN-Öldetektionen und PADM werden fortlaufend aktualisiert, um den Austausch von Eingabedaten und Driftergebnissen in unterschiedlichen Anwendungsbereichen zu ermöglichen. Die AIS-Daten decken hauptsächlich die Ostsee ab, da sich geeignete Datenbanken und Schnittstellen zu den Daten der Nordsee noch in der Entwicklung befinden. AIS-Daten für die Nordsee wären insbesondere für Strafverfolgungsbehörden wichtig, um AIS-Schiffspositionen und Drifttrajektorien gemeinsam in einem Fenster anzeigen zu können.

5 Danksagung

Zunächst möchten wir den Entwicklergruppen von SeatrackWeb bei SMHI und FCOO danken, die in den vergangenen Jahren die meisten der oben genannten SeatrackWeb-Funktionen entwickelt haben. Die Beobachtungen und Bilder für die Container-Drift wurden mit freundlicher Genehmigung vom Wasser- und Schifffahrtsamt Cuxhaven bereitgestellt. Besonderen Dank geht an die Mannschaft der GS Neuwerk für das Plotten der Containerpositionen. Nicht zuletzt möchten wir den BSH-Sachgebieten M14, M23, M42 und Z32 für die Bereitstellung der Wind-/Wetterdaten und für die technische Unterstützung danken.

6 Schriftenverzeichnis

AMBJÖRN, C.; LIUNGMAN, O.; MATTSSON, J. and HAKANSSON, B.: Seatrack Web: The HELCOM Tool for Oil Spill Prediction and Identification of Illegal Polluters. In KOSTIANOY, A. G. and LAVROVA, O. Y. (Eds.): Oil Pollution in the Baltic Sea. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 155-184, 2011.

BROSTRÖM, G.; CARRASCO, A.; HOLE, L. R.; DICK, S.; JANSSEN, F.; MATTSSON, J. and BERGER, S.: Usefulness of high resolution coastal models for operational oil spill forecast: the "Full City" accident. Ocean Sci., 7(6), 805-820, 2011.

DICK, S.; KLEINE, E. and MÜLLER-NAVARRA, S.: The Operational Circulation Model of BSH (BSHcmod) – Model description and validation. Berichte des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie, 29, 2001.

DICK, S. and SOETJE, K. C.: An operational oil dispersion model for the German Bight. Deutsche Hydrographische Zeitschrift, Ergänzungsheft Reihe A(16), 1990.

DICKINS, D. F.: Behaviour of Spilled Oil at Sea (BOSS): Oil-in-ice Fate and Behaviour: DF Dickins Associates Ltd, Fleet Technology Limited, American Petroleum Institute, United States Minerals Management Service, Canada Conservation Protection, 1992.

DONELAN, M. A.; HAMILTON, J. and Hui, W. H.: Directional spectra of wind generated waves. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series A, 315, 509-562, 1985.

FAY, J. A.: Physical processes in the spread of oil on a water surface, Paper presented at the Proc. of the Joint Conf. on Prevention and Control of Oil Spill, American Petroleum Institute, Washington, DC, 1971.

LIUNGMAN, O. and MATTSSON, J.: Scientific Documentation of Seatrack Web: physical processes, algorithms and references, 2011.
Stand 19.04.2014: http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.15600!Seatrack%20Web%20Scientific%20Documentation.pdf

MÜLLER-NAVARRA, S. H. und BORK, I.: Entwicklung eines operationellen Tideelbemodells auf der Basis des hydrodynamisch-numerischen Modellverfahrens BSHcmod für die Nord- und Ostsee (OPTEL-A). Die Kueste, 79, 2012.

SOARES DOS SANTOS, A. and DANIEL, P.: Oil spill modelling near the Portuguese coast. In: RODRIGUEZ, G. R. and BREBBIA, C. A. (Eds.): Oil and hydrocarbon spills II. WIT Press, 11-18, 2000.

VENKATESH, S.; EL-TAHAN, H.; COMFORT, G. and ABDELNOUR, R.: Modelling the bevahiour of oil spills in ice-infested waters. Atmosphere Ocean, 26(3), 303-329, 1990.

WAMDI: The WAM Model – A Third Generation Ocean Wave Prediction Model. Journal of Physical Oceanography, 18(12), 1775-1810, 1988.