

HYDROGRAPHISCHE NACHRICHTEN

Journal of Applied Hydrography

02/2021

HN 118



*Fokusthema:
Numerische
Modelle in der
Hydrographie*

Foto: © Team Malizia



Consulting



Ocean engineering from space into depth

Realise your projects in cooperation with our hydrographic services

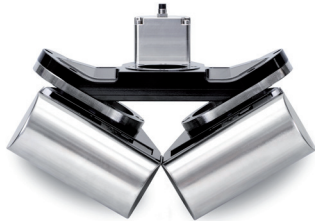
CTDs & SVPs



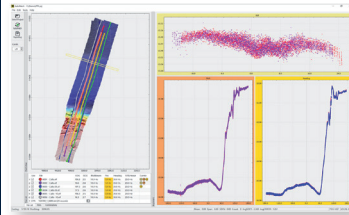
Our hydrography engineers are happy to develop systems tailored exactly to your needs and to provide professional advice and support for setting up your systems and training your staff.

MacArtney Germany benefits from being part of the MacArtney Group and enjoys unlimited access to cutting-edge engineering competences and advanced facilities.

Acoustic sensors



Software



Position and motion sensors



Integration



Liebe Leserinnen und Leser,

Fokusthema dieses Hefts sind numerische Modelle in der Hydrographie. Der Redaktion ist es jedoch nur gelungen, zwei Fachbeiträge zu gewinnen, die sich ausführlich mit Modellierung beschäftigen. Thorger Brüning stellt mit zwei Kollegen und einer Kollegin vom BSH das operationelle Modellsystem für die Nord- und Ostsee vor (Seite 6). Caroline Rasquin von der BAW zeigt auf, wie sich die Deutsche Bucht durch den Klimawandel in Zukunft verändern könnte (Seite 16). Im Wissenschaftsgespräch mit Günther Lang – ebenfalls von der BAW – dreht sich auch alles um hydrodynamisch-numerische Modelle (Seite 20).

Andere potenzielle Autorinnen und Autoren sind unserer Bitte nach einem Fachbeitrag zu numerischen Modellen nicht nachgekommen. Wir wissen nicht so recht, woran das liegt. An den Modelliererinnen und Modellierern? Am Thema, das dann vielleicht doch eher in den Randbereich der Hydrographie fällt? Oder schon wieder an Corona?

Erwähnung findet Modellierung auch im Beitrag von Stefan Marx, der davon berichtet, wie Boris Herrmann Ozeandaten während der Vendée Globe gesammelt hat (Seite 44). Dieser Datenfundus findet Eingang in neue Klimamodelle. Das Motto des Teams um Boris Herrmann: »A race we must win«. Gemeint ist der Wettlauf gegen den von uns Menschen verursachten Klimawandel.

Was der Klimawandel in den letzten zwei Jahrzehnten im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer verursacht hat, zeigt die vergleichende Analyse von Satellitenbilddaten, die Kerstin Stelzer mit ihren zwei Co-Autoren für uns aufbereitet hat (Seite 38).

In einem weiteren Fachbeitrag bringt uns Paul Wintersteller mit seinem Autorenteam die Idee von NEANIAS nahe. Dabei handelt es sich um einen cloudbasierten Dienst zur Aufbereitung von Bathymetriedaten (Seite 30).

Im letzten Beitrag fasst Horst Hecht die Ergebnisse der 2. Generalversammlung der IHO zusammen (Seite 48). Hecht wird von nun an in loser Folge über die Aktivitäten der IHO berichten.

In dieser Ausgabe gibt es ein Novum: Zum ersten Mal hat ein Autor in einem Text für die *Hydrographischen Nachrichten* ein Genderzeichen verwendet. Er berichtet von einem »Team von Wissenschaftler:innen, Ingenieur:innen und Techniker:innen«. Das Genderzeichen steht für diejenigen, die nicht weiblich oder männlich sind, sondern die eine nichtbinäre Geschlechtsidentität haben.

Die Doppelpunkte hat die Redaktion eingefügt; im Manuskript standen Gendersternchen. Wir haben uns für die typografisch zurückhaltende Auszeichnung entschieden.

Zwar ist das Genderzeichen in diesem Heft erstmals abgedruckt, doch schon immer haben unsere Autorinnen und Autoren Ausdrücke verwendet, die alle mit einschließen sollen. In letzter Zeit wurde oft das substantivierte Partizip oder Adjektiv gebraucht – wie zum Beispiel in die »Studierenden«. Doch das klappt nicht immer. Schon bei den »Forschenden« passt es nicht so recht, denn nicht nur Forscher und Forscherinnen forschen; und Forscher sind auch dann noch Forscher, wenn sie gerade nicht forschen. Auf die Idee, von den »Vermessenden« zu reden, käme so schnell wohl niemand. Ich bin mir daher sicher, Sie werden den Doppelpunkt in Zukunft häufiger mal sehen.

Nun wünsche ich Ihnen eine anregende Lektüre auf der Suche nach dem für Sie interessantesten Beitrag – und vielleicht auch auf der Suche nach den Doppelpunkten.



Lars Schiller



R2SONIC

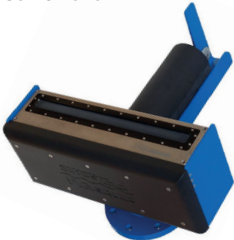
Fächerlotsysteme



Sonic 2020



Sonic 2022



Sonic 2024



Sonic 2026

Beispiellose Leistungsfähigkeit mit 256 Beams und 1024

- Soundings bei 160° Öffnungswinkel (einstellbar) und einer Pingrate von 60 Hz
- **Breitbandtechnologie** mit Frequenzwahl in Echtzeit zwischen 200 bis 400 kHz sowie 700 kHz optional
- **Dynamisch fokussierende Beams** mit einem max. Öffnungswinkel von 0,5° x 1° bei 400 kHz bzw. 0,3° x 0,6° bei 700 kHz
- **Höchste Auflösung** bei einer Bandbreite von 60 kHz, bzw. 1,25 cm Entfernungsauflösung
- **Kombinierbar** mit externen Sensoren aller gängigen Hersteller
- **Flexibler Einsatz** als vorausschauendes Sonar und der Fächer ist vertikal um bis zu 30° schwenkbar
- **Zusätzliche Funktionen** wie True Backscatter und Daten der Wassersäule
- **MultiSpectral Modus™**, der es den R2Sonic-Systemen ermöglicht, Backscatter Daten mehrerer Frequenzen in einem einzigen Durchlauf zu sammeln

Nautilus Marine Service GmbH ist der kompetente Partner in Deutschland für den Vertrieb von R2Sonic Fächerecholotsystemen. Darüber hinaus werden alle relevanten Dienstleistungen wie Installation und Wartung kompletter hydrographischer Vermessungssysteme sowie Schulung und Support für R2Sonic Kunden angeboten.

R2Sonic ist ein amerikanischer Hersteller von modernen Fächerecholoten in Breitbandtechnologie. Seit Gründung des Unternehmens im Jahr 2009 wurden weltweit bereits mehr als 1.500 Fächerlote ausgeliefert und demonstrieren so eindrucksvoll die außergewöhnliche Qualität und enorme Zuverlässigkeit dieser Vermessungssysteme.

Numerische Modelle in der Hydrographie

Numerical modelling

- 6 **An operational, assimilative model system for hydrodynamic and biogeochemical applications for German coastal waters**
An article by THORGER BRÜNING, XIN LI, FABIAN SCHWICHTENBERG and INA LORKOWSKI

Numerische Modellierung

- 16 **Die Deutsche Bucht: mögliche Zukünfte im Klimawandel**
Ein Beitrag von CAROLINE RASQUIN

Wissenschaftsgespräch

- 20 **»Das Wissen mit eigenen Worten wiedergeben«**
Ein Wissenschaftsgespräch mit GÜNTHER LANG

Cloud service

- 30 **The NEANIAS project**
Bathymetric mapping and processing goes cloud
An article by PAUL WINTERSTELLER, NIKOLAOS FOSKOLOS, CHRISTIAN FERREIRA, KONSTANTINOS KARANTZALOS, DANAI LAMPRIDOU, KALLIOPI BAIKA, JAFAR ANBAR, JOSEP QUINTANA, STERGIOS KOKOROTSIKOS, CLAUDIO PISA and PARASKEVI NOMIKOU

Fernerkundung

- 38 **Den Wandel im Watt mit Satelliten im Blick**
Untersuchung der Morphodynamik im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer durch Satellitendatenanalyse von Prielverläufen und Sedimentklassifizierungen
Ein Beitrag von KERSTIN STELZER, MARTIN GADE und HANS-CHRISTIAN REIMERS

Open-Access-Ozeandaten

- 44 **Der blaue Planet im Wandel**
Das Klima mittels modernster Messstrategien deuten
Ein Beitrag von STEFAN MARX

Neues aus der IHO

- 48 **Beschlüsse der 2. Generalversammlung der IHO**
Ein Beitrag von HORST HECHT

Titelbild: © Team Malizia, Lorient, Juni 2020

Die nächsten Fokusthemen

- | | |
|-----------------------|---------------------------------------|
| HN 119 (Juni 2021) | KI in der Hydrographie |
| HN 120 (Oktober 2021) | Habitatkartierung |
| HN 121 (Februar 2022) | Häfen und Verkehre der Zukunft |

An operational, assimilative model system for hydrodynamic and biogeochemical applications for German coastal waters

An article by THORGER BRÜNING, XIN LI, FABIAN SCHWICHTENBERG and INA LORKOWSKI

The Federal Maritime and Hydrographic Agency (BSH) is introducing a new operational model system for the North and Baltic Sea, focusing on German coastal waters. This model system newly includes a biogeochemical model and a data assimilation component. The data streams are managed carefully to be able to conduct several model runs per day and provide reliable forecast data for internal and external customers. During a pre-qualification phase, model results have been validated with focus on mostly used products. Here we show validation results for tides, temperature and oxygen. The model system is able to simulate the physical and biogeochemical features of the North and Baltic Sea. Nevertheless, BSH is constantly developing the model system to further improve the results and add new components to the system.

operational forecasting | biogeochemical modelling | hydrodynamic modelling | data assimilation | North and Baltic Sea
operationelle Vorhersage | biogeochemische Modellierung | hydrodynamische Modellierung | Datenassimilation | Nord- und Ostsee

Das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) führt ein neues operationelles Modellsystem für die Nord- und Ostsee ein, dessen Schwerpunkt auf den deutschen Küstengewässern liegt. Dieses Modellsystem schließt neuerdings ein biogeochemisches Modell und eine Datenassimilationskomponente ein. Die Datenströme werden sorgfältig verwaltet, um mehrere Modellläufe pro Tag durchführen zu können und zuverlässige Vorhersagedaten für interne und externe Kundinnen und Kunden zu liefern. In einer Vorqualifizierungsphase wurden die Modellergebnisse validiert, wobei der Schwerpunkt auf den am häufigsten verwendeten Produkten lag. Wir zeigen Validierungsergebnisse für Gezeiten, Temperatur und Sauerstoff. Das Modellsystem ist in der Lage, die physikalischen und biogeochemischen Eigenschaften der Nord- und Ostsee zu simulieren. Nichtsdestotrotz entwickelt das BSH das Modellsystem ständig weiter, um die Ergebnisse weiter zu verbessern und das System um neue Komponenten zu ergänzen.

Authors

Thorger Brüning, Dr. Xin Li, Dr. Fabian Schwichtenberg and Dr. Ina Lorkowski work at the Federal Maritime and Hydrographic Agency (BSH) in Hamburg.

thorger.brueining@bsh.de

1 Introduction

Germany is connected to the North Sea and the Baltic Sea. Specific physical and biogeochemical processes characterise both regional seas. While the North Sea has a higher salinity and is strongly influenced by tides, which are affecting the German coastline, the Baltic Sea has a lower salinity and can be partly covered by ice in winter, affecting e.g. shipping. German coastal waters and the corresponding coastal zones are subject to many different interests and users. This area is highly impacted by ship traffic, fisheries, offshore wind farming, tourism and other public and economic uses. Therefore, it is of high importance to provide reliable information about the physical and biogeochemical status of the coastal waters. The Federal Maritime and Hydrographic Agency (BSH)

is providing short-term forecasts for the most relevant physical parameters since the early 1990s. The forecasts include information about water temperature and salinity, currents, water level and sea ice. For this purpose, BSH is operating a three-dimensional baroclinic circulation model (Dick, Kleine and Müller-Navarra 2001; Dick, Kleine and Janssen 2008; Brüning et al. 2014), downstream drift and dispersion models (Maßmann et al. 2014; Schmolke et al. 2020) and a two-dimensional, barotropic and therefore very efficient variant of the circulation model (the storm surge model) for wind surge forecasting.

With the increasing importance of the Marine Strategy Framework Directive, the impact of eutrophication and the development of oxygen deficiency zones in German coastal areas and in the

North and Baltic Sea in general (e.g. Topcu and Brockmann 2015; Meier et al. 2018), the need for information about the biogeochemical status has become more pronounced during the last years. To be able to provide short-term forecasts about important parameters of the biogeochemical environment as oxygen, chlorophyll and pCO₂ concentration, a biogeochemical model was added to the operational model system at BSH by coupling it to the hydrodynamic circulation model.

The physical and biogeochemical status of the oceans and in particular also the German coastal waters is regularly monitored by collecting in-situ data and via earth observation. These data are gathered and quality controlled by organisations and services such as the Copernicus marine service (CMEMS, marine.copernicus.eu) or EmodNet (emodnet.eu) and are hence a valuable resource to validate and calibrate the model system. Additionally, assimilation of observation data can be used to further improve the quality of model results (Kelley et al. 2002; Losa et al. 2014; Martin et al. 2015; Nerger et al. 2016; Goodliff et al. 2019). We will present the first results of the new operational model framework at BSH including a biogeochemical model and data assimilation.

2 The model system

2.1 Data streams, forcing and setup

Four times a day, BSH is delivering an ocean forecast of physical and biogeochemical parameters to both internal and external customers. The forecast runs start automatically at 0, 6, 12 and 18 UTC, corresponding to the analysis times of the atmospheric forecasts, which are provided by the German Weather Service (DWD) immediately after completion. The ocean forecasting system requires the latest values of the parameters 10 m-wind, air pressure, air humidity, cloud cover and 2 m-air temperature from the atmospheric model ICON (Zängl et al. 2015; Reinert, Frank and Prill 2020) as meteorological input.

Another required input are the newest surge values at the open model boundary in the northern North Sea and in the English Channel. These are generated internally by the BSH North East Atlantic model (Brüning et al. 2014). In addition, tides based on 19 partial constituents derived from different measurements (e.g. Alcock and Vassie 1977; Cartwright, Zetler and Hamon 1979; Cartwright and Zetler 1985), monthly temperature and salinity-data from Janssen, Schrum and Backhaus (1999) and climatological biogeochemical data from the biogeochemical model ECOHAM (Lorkowski et al. 2012) are used at the open model boundary.

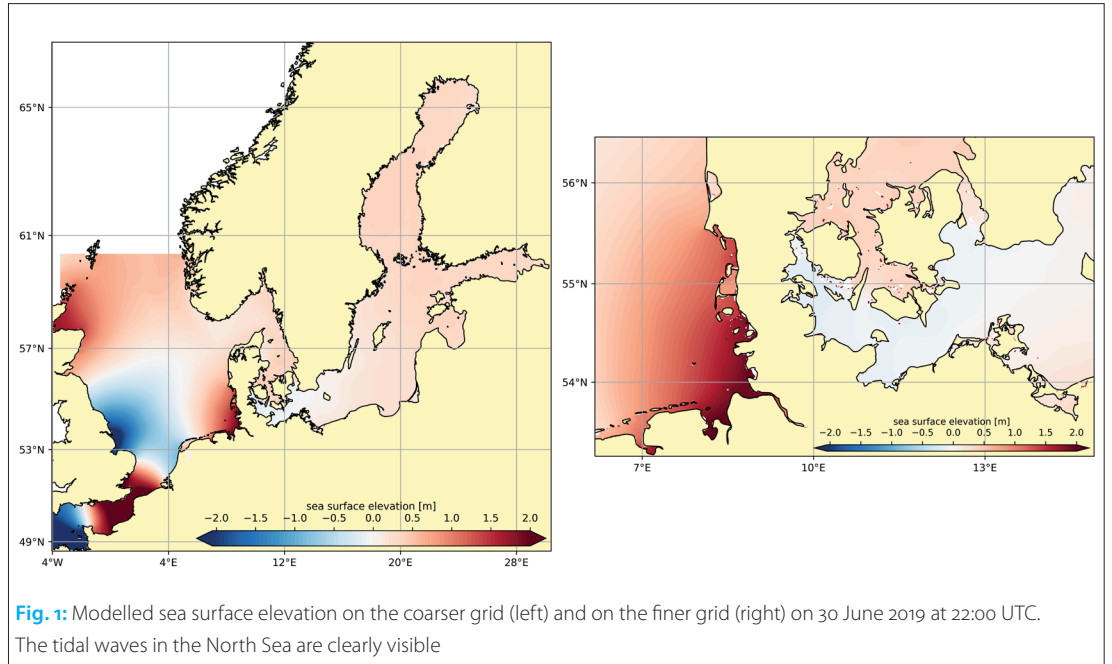
Furthermore, discharge data for the German rivers Rhine, Elbe, Weser, Ems and Oder are obtained hourly via Pegelonline (pegelonline.wsv.de). The discharge of the other rivers in the model area and

the concentrations of nitrogen and phosphate are taken from the Swedish Meteorological and Hydrological Institute's E-Hype model (Donnelly, Andersson and Arheimer 2016; Hundecha et al. 2016), delivered to BSH once per day. For the concentrations of all other biogeochemical parameters, climatological values from various sources (Pätsch and Lenhart 2008; Baltic Environment Database – BED, nest.su.se/bed), but also reasonable constant values due to missing sources are used. If no daily updated data is available, the model runs with data from the day before. Only if the supply of current data is unavailable for a longer period of time, long-term mean values of discharge and climatological values of all biogeochemical concentrations are used.

To account for atmospheric deposition of organic and inorganic nitrogen and organic phosphorus the latest available EMEP data on atmospheric deposition (emep.int) is downloaded once a year, interpolated on the model grid and recalculated to daily values. The atmospheric pCO₂ concentration is calculated based on atmospheric pCO₂ measured at Mauna Loa from the year 2017 (esrl.noaa.gov), whereby the pCO₂ content according to esrl.noaa.gov is increased by 2 µatm every year.

Finally, two different sea surface temperature (SST) data sets are used in the current assimilation system: The first choice is the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) SST (Kilpatrick, Podestá and Evans 2001), for which a manual quality control is carried out by the BSH satellite data service. If these data are not available or available too late for the operational procedure, the Copernicus Sentinel-3 SST (Donlon et al. 2012) is used. Usually, both of the satellite images are collected, processed and gridded by the BSH satellite data service twice a day, so that the SST image is assimilated every 12 hours. If none of the data sets is available in time, the forecast continues without the assimilation step.

When all input data is available, the BSH model system starts to calculate on two two-way nested grids. While the coarser grid covers the entire North Sea and Baltic Sea from ca. 4° W to ca. 30° E and ca. 49.5° N to ca. 61° N (North Sea), respectively ca. 53° N to ca. 65.5° N (Baltic Sea) with a horizontal resolution of 3 nautical miles, the finer grid covers the German coastal waters from ca. 6° E to ca. 15° E and ca. 53° N to ca. 56.5° N with a horizontal resolution of half a nautical mile (see Fig. 1). In the vertical there are up to 36 layers in the coarser grid and up to 25 layers in the finer grid, whereas the vertical resolution of both grids is identical and the higher number of layers in the coarser grid is only due to the fact that greater water depths exists in the covered area. The upper 20 m are divided in ten layers of 2 m thickness, followed by five layers of 3 m thickness until a water depth of 35 m and fourteen layers of 5 m thickness until a water depth of



100 m. In water depths below 100 m, the resolution is relatively coarse with layer thicknesses up to 200 m. Further details of the setup can be found in Brüning et al. (2014) or on the BSH website (bsh.de/DE/THEMEN/Modelle/modelle_node.html).

One hydrodynamic model run coupled to the biogeochemical component without data assimilation produces a 120-hour forecast from 0 and 12 UTC and a 78-hour forecast from 6 and 18 UTC. A second hydrodynamic model run with data assimilation (without the biogeochemical component) calculates a 24-hour hindcast and a 6-hour forecast at 0 and 12 UTC.

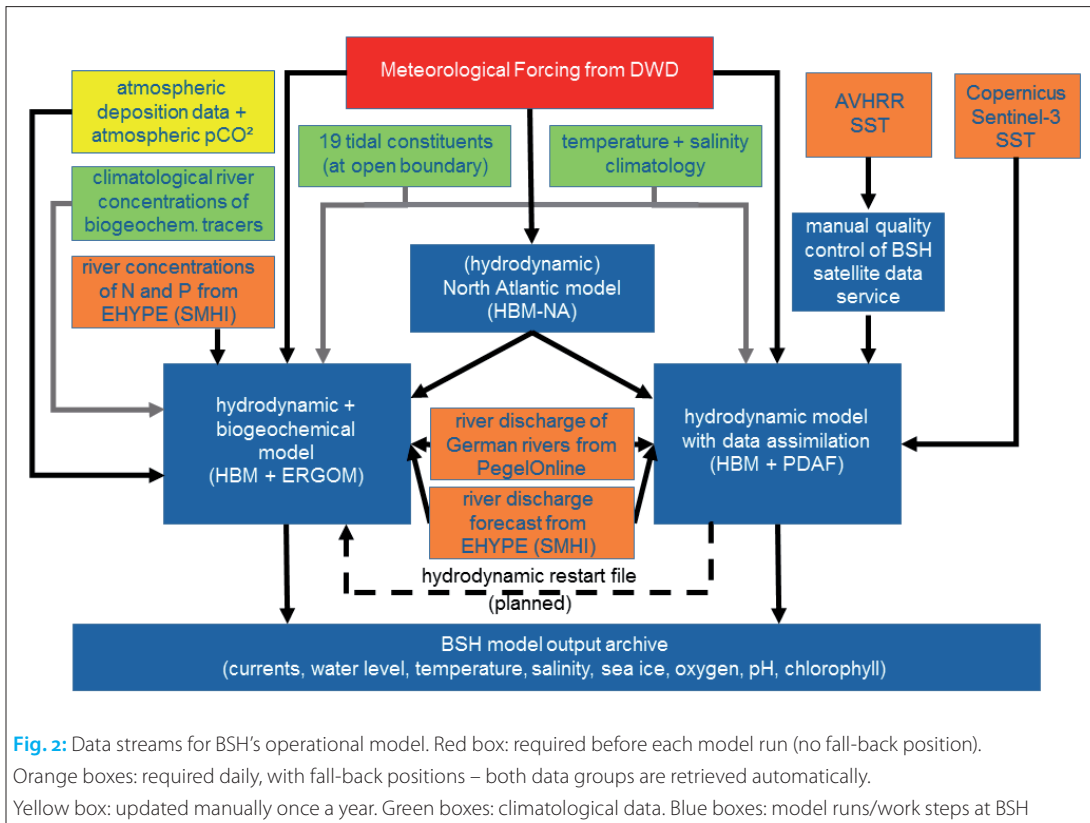
When the model runs are finished, numerous products for internal and external uses are generated in the form of data and graphics, and the »best estimate« forecast is stored in the archive. Archived data is freely available on request by mail (opmod@bsh.de). BSH provides data from the free run without data assimilation since 2016 and results from the simulation with data assimilation as ensemble mean and standard deviation since 2021. The temporal resolution of the archived data is listed in Table 1. An overview of the complex data streams is displayed in Fig. 2. Hydrodynamic data from older model versions are available since 2000.

2.2 Hydrodynamic model component

The hydrodynamic core of the BSH model system is the HIROMB-BOOS-Model (HBM) (Berg and Poulsen 2012) developed by the BSH together with European partners from the Baltic Sea region with the configuration as described in Brüning et al. (2014). HBM is a computationally very efficient ocean circulation model (Poulsen and Berg 2012a), which was developed with a high emphasis on portability between different computer systems. This is demonstrated by a clean code following ANSI standards (Adams et al. 1997), which also allows massive parallelisation (Poulsen and Berg 2012b; Poulsen, Berg and Raman 2014). Through a series of technical tests, such as the ϵ -tests (Brüning 2020), the technical status is checked and ensured anew before each code release. With regard to the physical equations, it should be noted in particular that the $k-\omega$ turbulence model (Berg 2012) has been extended in recent years by stability and realisability checks. These checks are necessary to ensure that the calculated current data are suitable for the use of operational downstream drift models for oil spill or search-and-rescue applications, especially in extreme situations (Brüning 2020).

	Water level	Currents	Temperature	Salinity	Sea ice concentration and thickness	Oxygen	pH	Chlorophyll
Unit	m	m/s	°C	PSU (‰)	1 (conc.) and m (thickn.)	mmol/m ³	1	mg/m ³
Temporal resolution	15 minutes	15 minutes	hourly	hourly	six-hourly	daily (noon)	daily (noon)	daily (noon)
Prognostic/diagnostic	diagnostic	prognostic	prognostic	prognostic	prognostic	prognostic	diagnostic	diagnostic
Ensemble mean and standard deviation	yes	yes	yes	yes	yes	no	no	no

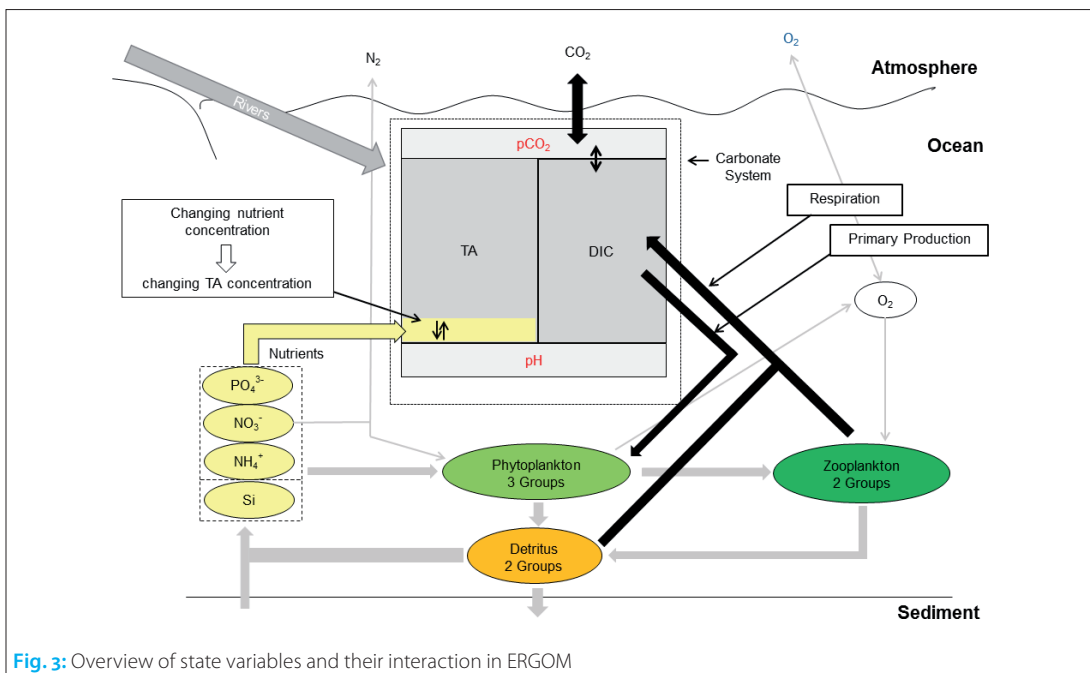
Table 1: Temporal resolution of the data in the BSH model archive. In addition to the deterministic data, the mean and the standard deviation from data assimilation ensemble are also stored in the model archive for some parameters



2.3 Biogeochemical model component

For the biogeochemical model component, ERGOM (Ecological ReGional Ocean Model) is applied. ERGOM was originally developed for the Baltic Sea (Neumann 2000). It has been adapted to meet the needs for North Sea and Baltic Sea as presented in Maar et al. (2011). The model consists of 15 prognostic state variables for nutrients, plankton, detritus, oxygen, labile dissolved organic nitrogen in the water column (IDON, Neumann, Siegel and Gerth 2015), dissolved inorganic

carbon (DIC) and total alkalinity (TA) (DIC and TA according to Schwichtenberg et al. (2020)). Chlorophyll and Secchi depth are calculated diagnostically (Doron et al. 2013; Neumann, Siegel and Gerth 2015), as well as pH and pCO₂ (Zeebe and Wolf-Gladrow 2001). The sediment is not vertically resolved and consists of two nutrient state variables. Fig. 3 provides an overview of the state variables and their interaction. The HBM-ERGOM model system has been applied in different versions in a few previous studies in the North and



Baltic Sea (Maar et al. 2011; Wan et al. 2012) and has been used in several projects at BSH (e.g. Goodliff et al. 2019; Lorkowski and Janssen 2014) as well as in the Copernicus Marine Service (Tuomi et al. 2018) before.

2.4 PDAF

With the aim of improving the forecast skill for the North and Baltic Sea, a data assimilation system has been developed at BSH within the framework of a series of national projects (Losa et al. 2012; Losa et al. 2014; Nerger et al. 2016; Goodliff et al. 2019). For the data assimilation component, we apply the parallel data assimilation framework PDAF (Nerger, Hiller and Schröter 2005; Nerger and Hiller 2013; pdaf.awi.de), which is an open-source framework and simplifies the implementation of ensemble-based Kalman filtering data assimilation method into a numerical model. The Local Error Subspace Kalman Transform Filter (LESKTF) algorithm in PDAF is used in our coupled system. The ESTKF is an efficient formulation of the Ensemble Kalman Filter (Nerger et al. 2012) that has been applied in different studies to assimilate satellite data into different model systems (Tuomi et al. 2018; Androsov et al. 2019; Yang, Liu and Xu 2020; Li et al. 2021).

At BSH, PDAF is implemented with HBM in an online mode, which calls the PDAF library directly in the source code of HBM. With using the online-coupled assimilation system, the time for reading input and writing output is reduced and more efficient for operational forecasting. Currently, the HBM-PDAF system is the only data assimilation system using online mode in the region of the Baltic Sea. We use an ensemble of twelve model states. The state vector includes the sea surface elevation, three-dimensional temperature, salinity and velocities. The initial physical ocean state (i.e. initial ensemble mean) is provided by the operational HBM-run without data assimilation. The ensemble perturbations are generated by mean of the so-called second-order exact sampling method

(Pham 2001) with using the model snapshots on both nested model grids of HBM (see chapter 2.1).

3 Validation

3.1 Tides

BSH will provide area-wide tidal predictions for the German EEZ in the North Sea. Due to a lack of observational data in the open North Sea, BSH uses model data as input for these predictions. Modelled water level data of the years 2016 to 2018 were analysed with the harmonic method (e.g. Godín 1972). The analysis followed a two-step procedure with a removal of extreme water level data and non-significant partial tides after the first iteration. A tidal prediction for the year 2019 was calculated and the vertices were identified. The heights and times of high water (HW) and low water (LW) were compared with observational data at six gauges and, for better classification, with the corresponding predictions that were published in the BSH tide tables (BSH 2018). [Table 2](#) shows a summary of the results.

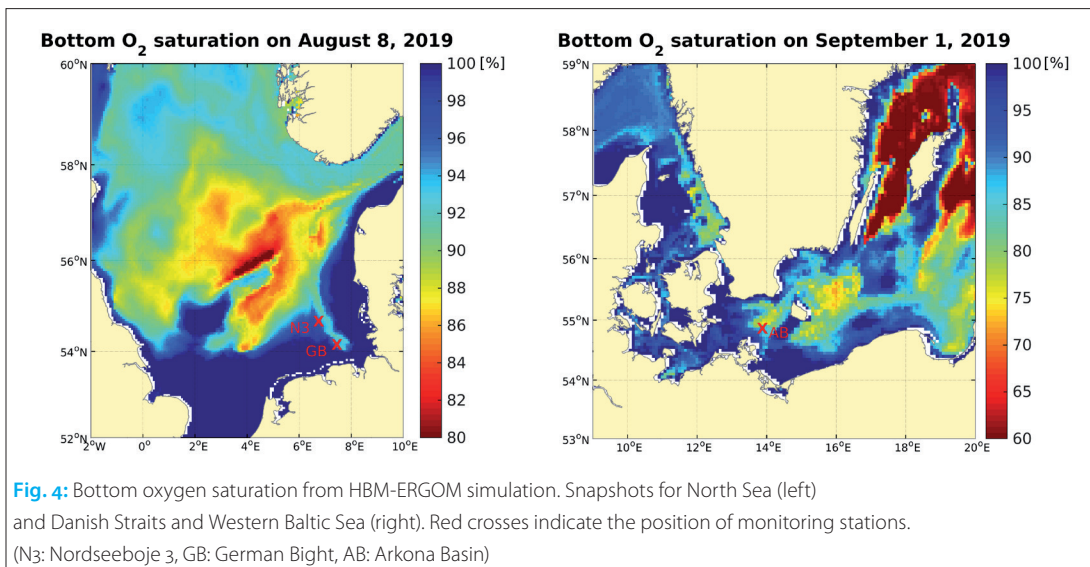
The predictions generated from model data show very good quality. With regard to the peak heights, the results are similar to those of the tide tables. However, the entry times of the peaks still leave room for improvement. While the mean errors are in the same order of magnitude as those of the tide tables, the standard deviation of the model-based forecast is significantly greater. In particular, the standard deviation of the entry time at gauge Fino3 is outstanding, which could be related to the relatively close position of the gauge to an amphidromic point.

3.2 Bottom oxygen saturation

Modelled bottom oxygen saturation is compared against measurement data at three MARNET stations in the North and Baltic Sea (www.bsh.de/DE/THEMEN/Beobachtungssysteme/Messnetz-MARNET/messnetz-marnet_node.html). The position of the stations and a snapshot of the bottom

Tide gauge	Tide tables				HBM model			
	HW/LW heights		HW/LW times		HW/LW heights		HW/LW times	
	ME [m]	Std [m]	ME [min]	Std [min]	ME [m]	Std [m]	ME [min]	Std [min]
Borkum	0.04	0.25	-1.7	11.2	0.06	0.27	2.3	21.3
Cuxhaven	0.05	0.28	-0.7	8.7	0.13	0.33	15.3	14.7
Wittduen	0.03	0.30	-5.5	8.7	0.04	0.31	-3.9	16.3
Helgoland	0.03	0.25	-1.9	6.9	0.05	0.27	3.5	15.2
Fino1					0.03	0.22	-7.7	19.7
Fino3					0.11	0.25	1.2	48.6

Table 2: Mean error (ME) and standard deviation (Std) calculated from the predictions published in the BSH tide tables and predictions based on the HBM model data for the year 2019. For the stations Fino1 and Fino3, no predictions were published in the tide tables



oxygen situation in German coastal waters are displayed in Fig. 4. A seasonal oxygen minimum zone developed in the North Sea, while in the Baltic Sea snapshot, the permanent oxygen deficiency in the Gotland and Arkona Basin and some regional seasonal minima near the coast and around Arkona station occur.

At station Arkona (Fig. 5), modelled bottom oxygen is principally higher than observations but the development of the curves during the year are comparable. Fig. 4 shows that modelled oxygen saturation close to the station is lower, indicating a slight spatial displacement resulting from e.g. model bathymetry.

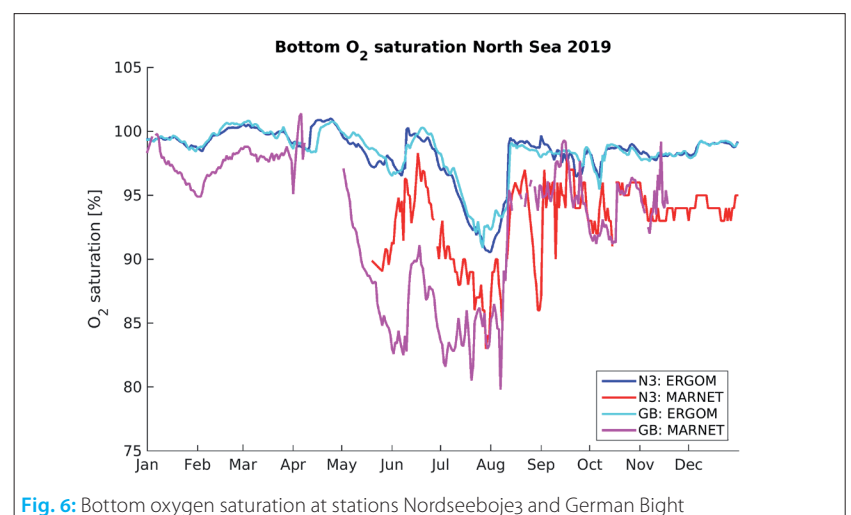
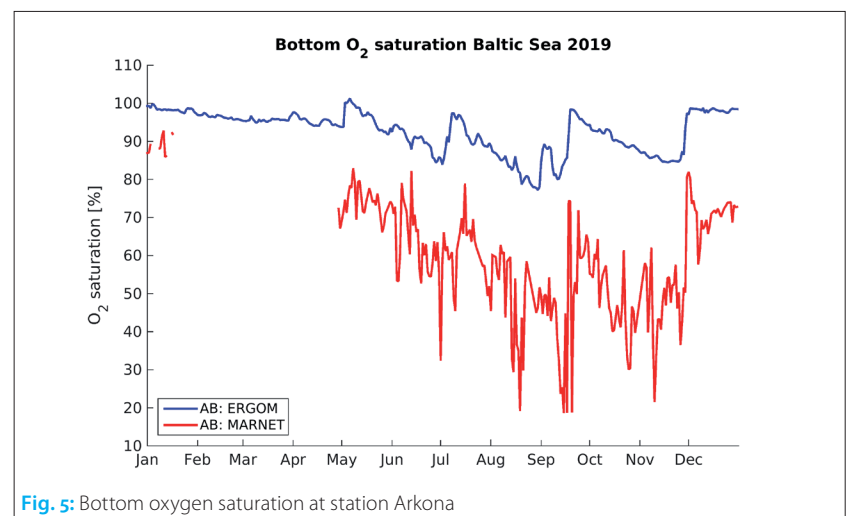
At the two North Sea stations (Fig. 6), bottom oxygen saturation is also higher than observations but the variability at both stations during the year are well represented by the model.

In Fig. 7 modelled bottom oxygen saturation is compared to measured values from the BSH summer cruise conducted from 27.08. to 14.09.2019. The cruise data show an area of low oxygen, which can be seen in the modelled data as well. But, as also visible in the time series plots, modelled oxygen saturation is always higher than observed, still the location of the lowest values match quite well.

3.3 Temperature: effect of data assimilation

SST forecasting skills of both HBM free run and HBM-PDAF runs are validated with the satellite observations, which are used in the assimilation processes. Fig. 8 shows the averaged validation results over the period from July 2019 to June 2020 in the North Sea and the Baltic Sea. The top row displays the centred root-mean-square deviation (cRMSD) of SST forecast when no data assimilation is applied (left) and when the data assimilation with SST satellite is operated (right). The comparison of SST forecasts to satellite observations shows that the HBM free run has dif-

ficulties in reproducing SST in the Baltic Sea. In many regions of the Baltic Sea, the cRMSD is larger than 2.5 °C (Fig. 8). Through data assimilation, the SST forecast has significantly improved everywhere in the whole model domain. In the centre of the Baltic Sea and in the Gulf of Bothnia, the cRMSD is more obviously reduced. The bottom



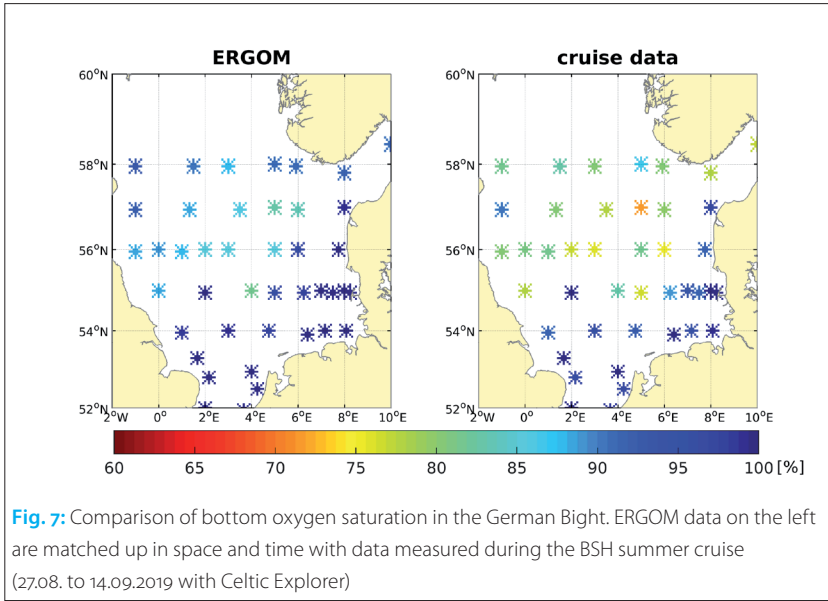


Fig. 7: Comparison of bottom oxygen saturation in the German Bight. ERGOM data on the left are matched up in space and time with data measured during the BSH summer cruise (27.08. to 14.09.2019 with Celtic Explorer)

forecast through ensemble data assimilation is noticed again in both the North Sea and the Baltic Sea. Especially, along the Norwegian trench, along the east coast of England and in the English Channel, the SST bias is strongly reduced by more than 1 °C. Through the assimilation of SST satellite data, the yearly averaged bias is close to zero in the whole model domain. Apparently, with SST observational data assimilation, both model error and bias of SST forecast have been improved.

To detect the temporal difference between the HBM free run and HBM-PDAF run, SST is further validated with independent in-situ observations at the MARNET stations (positions are shown in Fig. 4). The differences of SST between HBM free run and HBM-PDAF run are approximately up to 1.6 °C at the station Nordseeboje3 and up to 2.1 °C at the station Arkona during the compared period (Fig. 9). These differences change differently with time. Large differences are displayed when temperature rises or drops. For example, after the SST reaches its annual maximum in 2019, the

row of Fig. 8 shows the bias of forecast compared to the satellite observations. The improvement of

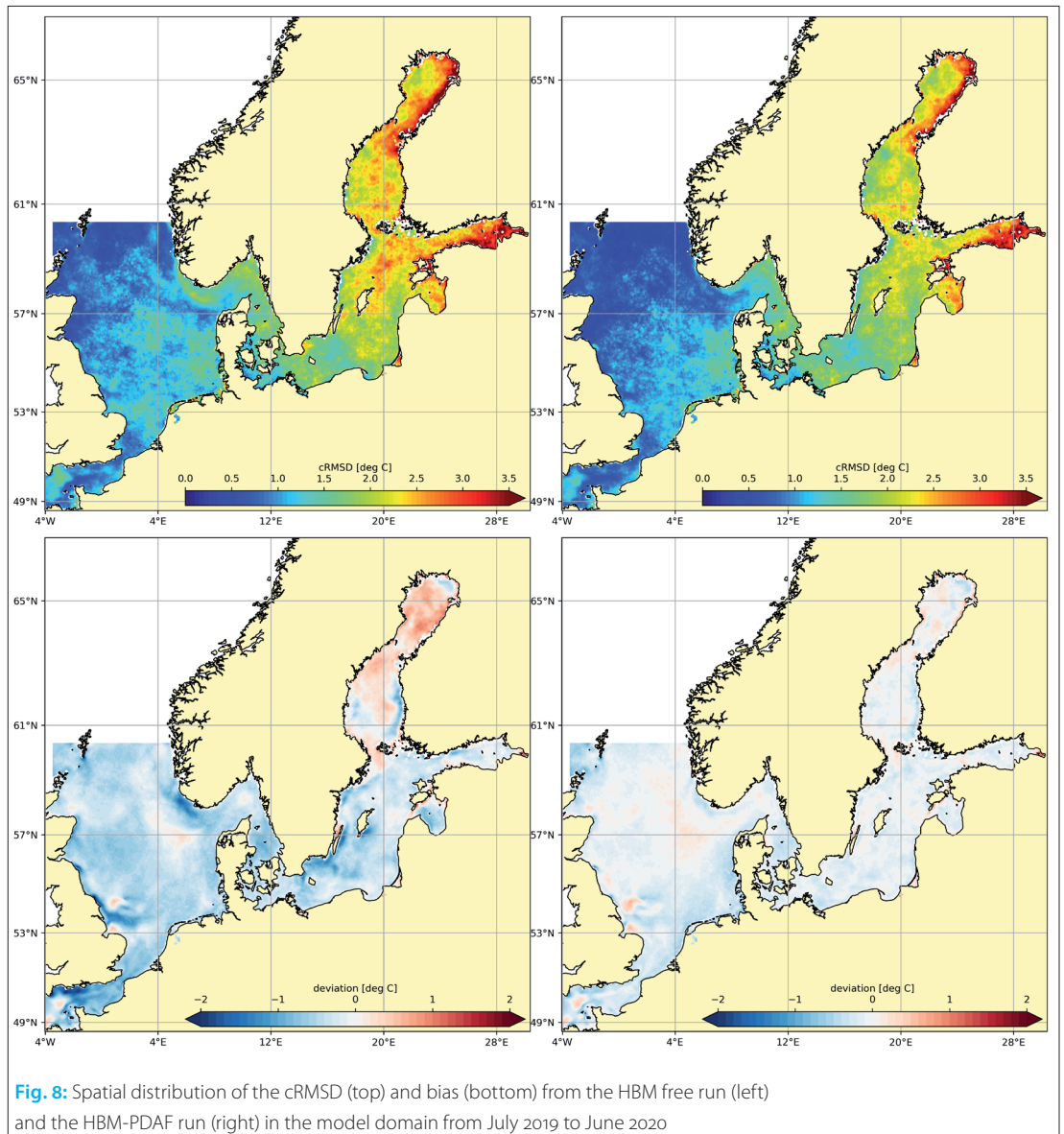


Fig. 8: Spatial distribution of the cRMSD (top) and bias (bottom) from the HBM free run (left) and the HBM-PDAF run (right) in the model domain from July 2019 to June 2020

temperature from HBM free run drops strongly at both stations. The SST from HBM-PDAF run is more close to the observations and decreases slowly. It shows again that the assimilation does a good job of eliminating biases in temperature. During the winter and spring, on the other hand, the temperatures from HBM free run and HBM-PDAF run at these two stations are generally quite close to each other (Fig. 9). One of the reasons might be due to the lack of satellite observations.

4 Discussion and next steps

With the presented operational system, BSH is able to provide reliable daily forecast data to external and internal users. The model system uses state-of-the-art techniques to simulate the main physical and biogeochemical features of German coastal waters. The addition of a biogeochemical model to the modelling framework widens the range of data products for different purposes. The inclusion of data assimilation improves the quality of simulated SST. Currently the free run and the run with data assimilation are running in parallel but in the very near future, the hydrodynamic restart file of the forecast with data assimilation should be used for the next forecast run of the model with biogeochemical component with the aim of further improving the forecast skill of the model system.

Nevertheless, there are also weaknesses of the current system, which we aim to improve in the future. As shown, the tides are represented well in terms of water level, but the timing of the peaks should become more accurate. For modelled oxygen saturation, on the other hand, the vari-

ability and localisation of low values match quite well, making the model a useful tool to support e.g. measurement campaigns or to filling gaps for monitoring for MSFD and other management plans. However, in all cases shown, the saturation is higher than observed values. Furthermore, the stratification in the model is sometimes too weak (not shown). This affects biogeochemical and physical fields alike.

In order to improve the forecast capability of the model in general, we will massively expand the assimilation of observational data. For example, as requested by customers, the data assimilation of sea ice parameters will be implemented in 2021. Furthermore, the addition of temperature and salinity profiles into the assimilation system should improve stratification, especially in the Baltic Sea, which should also lead to an improvement of biogeochemical model results in deeper model layers (e.g. bottom oxygen). A future step would then be the direct assimilation of biogeochemical data to further improve this model component. Additionally, a new setup with a higher horizontal and vertical grid resolution based on an actual, high-resolution bathymetry data set is being planned. In this setup, the model area will also include large parts of the North-East Atlantic. By moving the open model boundary from the shelf to deep-water areas of the North Atlantic, high-quality data from global tide models can be used as forcing at the open boundaries. This will hopefully lead to significant improvements in the representation of tides in the North Sea and especially in the German Bight. //

Acknowledgements

We would like to thank Andreas Boesch from the BSH Tidal Service for the preparation of the harmonic analyses, the calculation of the tidal prediction quality, as well as his kind suggestions and comments regarding this publication.

We would also like to thank Annika Grage, Larissa Müller and Kevin Hett for providing in-situ data.

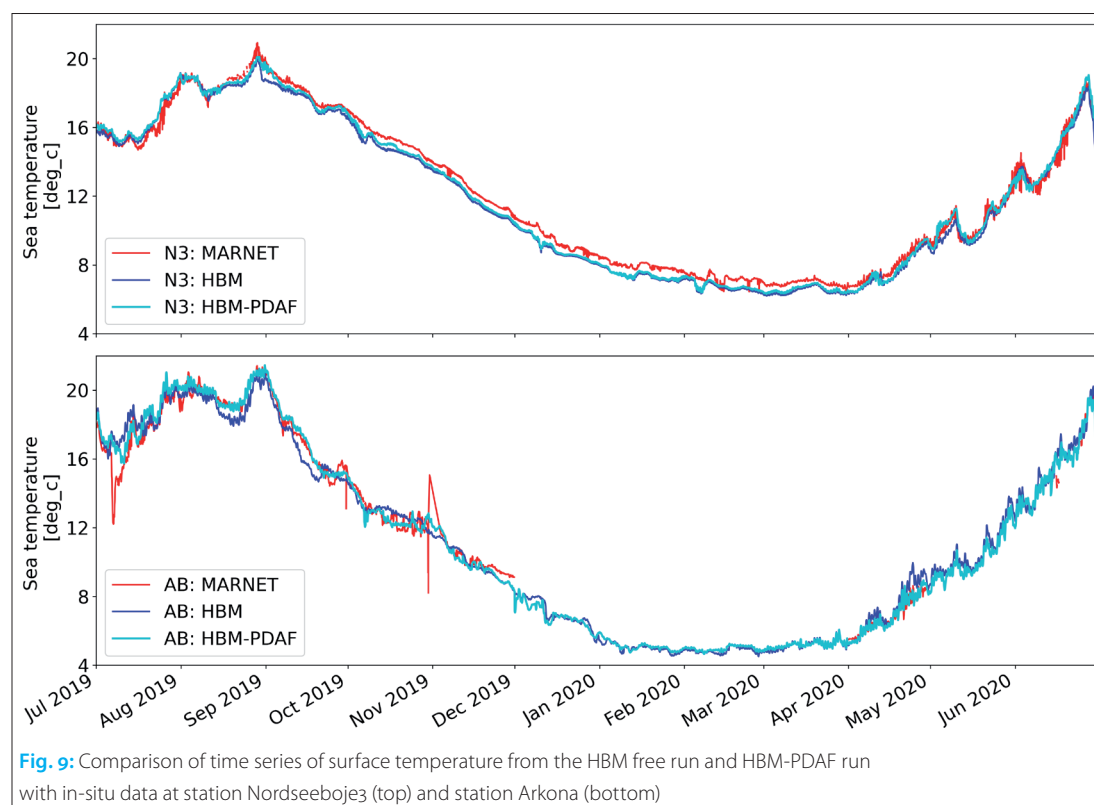


Fig. 9: Comparison of time series of surface temperature from the HBM free run and HBM-PDAF run with in-situ data at station Nordseeboje3 (top) and station Arkona (bottom)

References

- Adams, Jeanne C.; Walter S. Brainerd et al. (1997): Fortran 95 handbook: complete ISO/ANSI reference. MIT press
- Alcock, GA; JM Vassie (1977): Offshore Tide Gauge Data-Northern North Sea (JONSDAP 76). Data Report No. 10, Bidston Observatory, Birkenhead
- Androsov, Alexey; Lars Nerger et al. (2019): On the assimilation of absolute geodetic dynamic topography in a global ocean model: impact on the deep ocean state. *Journal of Geodesy*, DOI: 10.1007/s00190-018-1151-1
- Berg, Per (2012): Mixing in HBM. Scientific Report, Danish Meteorological Institute, Copenhagen
- Berg, Per; Jacob Weismann Poulsen (2012): Implementation details for HBM. Technical Report 12-11, Danish Meteorological Institute, Copenhagen
- Brüning, Thorger (2020): Improvements in turbulence model realizability for enhanced stability of ocean forecast and its importance for downstream components. *Ocean Dynamics*, DOI: 10.1007/s10236-020-01353-9
- Brüning, Thorger; Frank Janssen et al. (2014): Operational Ocean Forecasting for German Coastal Waters. *Die Küste*, Nr. 81, S. 273–290
- BSH (2018): Gezeitentafeln 2019: Europäische Gewässer. Bundesamt für Seeschifffahrt, ISSN: 0084-9774
- Cartwright, D. E.; B. D. Zetler (1985): Pelagic tidal constants 2. IAPSO Publication Scientifique, No. 33
- Cartwright, D.E.; B. D. Zetler; B. V. Hamon (1979): Pelagic tidal constants; IAPSO Publication Scientifique, No. 30
- Dick, Stephan; Eckhard Kleine; Frank Janssen (2008): A New Operational Circulation Model for the North Sea and the Baltic Using a Novel Vertical Co-ordinate – Setup and First Results. In: H. Dalhin; M. J. Bell et al. (Editors): Coastal to Global Operational Oceanography: Achievements and Challenges. Proceedings of the Fifth International Conference on EuroGOOS, 20–22 May 2008, Exeter, pp. 225–231
- Dick, Stephan; Eckhard Kleine; Sylvain H. Müller-Navarra (2001): The operational circulation model of BSH (BSH cmod). Model description and validation. *Berichte des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie*. 29/2001, 48. Hamburg
- Donlon, Craig; Bruno Berruti et al. (2012): The Global Monitoring for Environment and Security (GMES) Sentinel-3 mission. *Remote Sensing of Environment*, DOI: 10.1016/j.rse.2011.07.024
- Donnelly, Chantal; Jafet C. M. Andersson; Berit Arheimer. (2016): Using flow signatures and catchment similarities to evaluate the E-HYPE multi-basin model across Europe. *Hydrological Sciences Journal*, DOI: 10.1080/02626667.2015.1027710
- Doron, Maéva; Pierre Brasseur et al. (2013): Stochastic estimation of biogeochemical parameters from Globcolour ocean colour satellite data in a North Atlantic 3D ocean coupled physical–biogeochemical model. *Journal of Marine Systems*, DOI: 10.1016/j.jmarsys.2013.02.007
- Godín, Gabriel (1972): *The Analysis of Tides*. University of Toronto Press, Ontario
- Goodliff, Michael; Thorger Bruening et al. (2019): Temperature assimilation into a coastal ocean-biogeochemical model: assessment of weakly and strongly coupled data assimilation. *Ocean Dynamics*, DOI: 10.1007/s10236-019-01299-7
- Hundecka, Yeshewatesfa; Berit Arheimer et al. (2016): A regional parameter estimation scheme for a pan-European multi-basin model. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, DOI: 10.1016/j.ejrh.2016.04.002
- Janssen, Frank; Corinna Schrum; J. O. Backhaus (1999): A climatological data set of temperature and salinity for the Baltic Sea and the North Sea. *Deutsche Hydrographische Zeitschrift*, DOI: 10.1007/BF02933676
- Kelley, John G. W.; David W. Behringer et al. (2002): Assimilation of SST Data into a Real-Time Coastal Ocean Forecast System for the U.S. East Coast. *Weather and Forecasting*, DOI: 10.1175/1520-0434(2002)017<0670:AOSDIA>2.0.CO;2
- Kilpatrick, K. A.; G. P. Podesta; R. Evans (2001): Overview of the NOAA/NASA advanced very high resolution radiometer Pathfinder algorithm for sea surface temperature and associated matchup database. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, DOI: 10.1029/1999JC000065
- Li, Zhijie; Zhaoyi Wang et al. (2021): Evaluation of global high-resolution reanalysis products based on the Chinese Global Oceanography Forecasting System. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*. DOI: 10.1016/j.aosl.2021.100032
- Lorkowski, Ina; Johannes Pätsch et al. (2012): Interannual variability of carbon fluxes in the North Sea (1970–2006) – Abiotic and biotic drivers of the gas-exchange of CO₂. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, DOI: 10.1016/j.ecss.2011.11.037
- Lorkowski, Ina; Frank Janssen (2014): Modelling the biogeochemical and physical state of the North and Baltic Seas. *Proceedings of the Seventh EuroGOOS International Conference*, pp. 299–306
- Losa, Svetlana N.; Sergey Danilov et al. (2014): Assimilating NOAA SST data into the BSH operational circulation model for the North and Baltic Seas: Part 2. Sensitivity of the forecast's skill to the prior model error statistics. *Journal of Marine Systems*, DOI: 10.1016/j.jmarsys.2013.06.011
- Losa, Svetlana N.; Jens Schröter et al. (2012): Assimilating NOAA SST data into the BSH operational circulation model for the North and Baltic Seas: Inference about the data. *Journal of Marine Systems*, DOI: 10.1016/j.jmarsys.2012.07.008
- Maar, Marie; Eva Friis Møller et al. (2011): Ecosystem modelling across a salinity gradient from the North Sea to the Baltic Sea. *Ecological Modelling*, DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2011.03.006
- Martin, Matthew J.; M. Balmaseda et al. (2015): Status and future of data assimilation in operational oceanography. *Journal of Operational Oceanography*, DOI: 10.1080/1755876X.2015.1022055
- Maßmann, Silvia; Frank Janssen et al. (2014): An operational oil drift forecasting system for German coastal waters. *Die Küste*, Nr. 81, pp. 255–271
- Meier, H. E. Markus; Germa Väli et al. (2018): Recently accelerated oxygen consumption rates amplify deoxygenation in the Baltic Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, DOI: 10.1029/2017JC013686
- Nerger, Lars; Wolfgang Hiller (2013): *Software for Ensemble-based Data Assimilation Systems – Implementation*

- Strategies and Scalability. *Computers and Geosciences*, DOI: 10.1016/j.cageo.2012.03.026
- Nerger, Lars; Wolfgang Hiller; Jens Schröter (2005): PDAF – The Parallel Data Assimilation Framework: Experiences with Kalman Filtering. 11th ECMWF Workshop on Use of High Performance Computing in Meteorology, DOI: 10.1142/9789812701831_0006
- Nerger, Lars; Tijana Janjic et al. (2012): A unification of ensemble square root Kalman filters. *Monthly Weather Review*, DOI: 10.1175/MWR-D-11-00102.1
- Nerger, Lars; Svetlana N. Losa et al. (2016): The HBM-PDAF assimilation system for operational forecasts in the North and Baltic Seas. *Operational Oceanography for Sustainable Blue Growth. Proceedings of the Seventh EuroGOOS International Conference*, 28–30 October 2014, Lisbon
- Neumann, Thomas (2000): Towards a 3D-ecosystem model of the Baltic Sea. *Journal of Marine Systems*, DOI: 10.1016/S0924-7963(00)00030-0
- Neumann, Thomas; Herbert Siegel; Monika Gerth (2015): A new radiation model for Baltic Sea ecosystem modelling. *Journal of Marine Systems*, DOI: 10.1016/j.jmarsys.2015.08.001
- Pätsch, Johannes; Herman-J. Lenhart (2008): Daily Loads of Nutrients, Total Alkalinity, Dissolved Inorganic carbon and Dissolved organic carbon of the European Continental Rivers of the Years 1977–2006. *Berichte aus dem Zentrum für Meeres- und Klimaforschung, Uni Hamburg*
- Pham, Dinh Tuan (2001): Stochastic methods for sequential data assimilation in strongly nonlinear systems. *Monthly Weather Review*, DOI: 10.1175/1520-0493(2001)129<1194:SMFSDA>2.0.CO;2
- Poulsen, Jacob Weismann; Per Berg (2012a): More details on HBM – general modelling theory and survey of recent studies. *Technical Report 12-16*, Danish Meteorological Institute, Copenhagen
- Poulsen, Jacob Weismann; Per Berg (2012b): Thread scaling with HBM. *Technical Report 12-20*. Danish Meteorological Institute, Copenhagen
- Poulsen, Jacob Weismann; Per Berg; Karthik Raman (2014): Better Concurrency and SIMD On The HIROMB-BOOS-MODEL (HBM) 3D Ocean Code. In: James Jeffers; Jim Reinders (Eds.): *High Performance Parallelism Pearls: Multicore and Many-core Programming Approaches*. Morgan Kaufmann Publishing
- Reinert, Daniel; Helmut Frank; Florian Prill (2020): *ICON database reference manual, Version 2.2.1*. DWD
- Schmolke, Stefan; Katrin Ewert et al. (2020): *Environmental Protection in Maritime Traffic – Scrubber Wash Water Survey*. Umweltbundesamt
- Schwichtenberg, Fabian; Johannes Pätsch et al. (2020): The impact of intertidal areas on the carbonate system of the southern North Sea. *Biogeosciences*, DOI: 10.5194/bg-17-4223-2020
- Topcu, H. Dilek; Uwe H. Brockmann (2015): Seasonal oxygen depletion in the North Sea, a review. *Marine Pollution Bulletin*, DOI: 10.1016/j.marpollbul.2015.06.021
- Tuomi, Laura; Jun She et al. (2018): Overview of CMEMS BAL MFC Service and Developments. *Proceedings of the Eighth EuroGOOS International Conference*, 3–5 October 2017, Bergen, pp. 261–268
- Wan, Zhenwen; Jun She et al. (2012): Assessment of a physical-biogeochemical coupled model system for operational service in the Baltic Sea. *Ocean Science*, DOI: 10.5194/os-8-683-2012
- Yang, Chao-Yuan; Jiping Liu; Shiming Xu (2020): Seasonal Arctic Sea Ice Prediction Using a Newly Developed Fully Coupled Regional Model With the Assimilation of Satellite Sea Ice Observations. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, DOI: 10.1029/2019MS001938
- Zängl, Günther; Daniel Reinert et al. (2015): The ICON (ICOsahedral Non-hydrostatic) modelling framework of DWD and MPI-M: Description of the non-hydrostatic dynamical core. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, DOI: 10.1002/qj.2378
- Zeebe, Richard E.; Dieter Wolf-Gladrow (2001): *CO₂ in seawater: equilibrium, kinetics, isotopes*. Gulf Professional Publishing

Hydrographische Nachrichten HN 118 – Februar 2021

Journal of Applied Hydrography

Offizielles Organ der Deutschen Hydrographischen
Gesellschaft – DHyG

Herausgeber:

Deutsche Hydrographische Gesellschaft e. V.
c/o Innomar Technologie GmbH
Schutower Ringstraße 4
18069 Rostock

ISSN: 1866-9204

© 2021

Chefredakteur:

Lars Schiller
E-Mail: lars.schiller@dhyg.de

Redaktion:

Peter Dugge, Dipl.-Ing.
Horst Hecht, Dipl.-Met.
Holger Klindt, Dipl.-Phys.
Dr. Jens Schneider von Deimling
Stefan Steinmetz, Dipl.-Ing.
Dr. Patrick Westfeld

Hinweise für Autoren und Inserenten:

www.dhyg.de > Hydrographische Nachrichten >
Mediadaten und Hinweise

Die Deutsche Bucht: mögliche Zukünfte im Klimawandel

Ein Beitrag von CAROLINE RASQUIN

Meeresspiegel, Meteorologie, Topographie des Wattenmeers, binnenseitiger Abfluss in die Ästuarie: All dies wird durch den Klimawandel beeinflusst. Und das nicht einzeln nacheinander, sondern alles parallel auf unterschiedlichen Zeitskalen, weil alles mit allem zusammenhängt. Wir wagen einen Blick in die Zukunft und zeigen mit Hilfe von numerischen Modellen, was uns in der Deutschen Bucht erwarten könnte.

numerische Modellierung | Klimawandel | Meeresspiegelanstieg | Wattenmeerentwicklung | Deutsche Bucht
numerical modelling | climate change | sea level rise | tidal flat development | German Bight

Sea level, meteorology, topography of the Wadden Sea, inland runoff into the estuaries: all these are influenced by climate change. And not one after the other, but all in parallel on different time scales, because everything is connected to everything else. We dare to look into the future and, with the help of numerical models, show what could await us in the German Bight.

Autorin

Caroline Rasquin ist wissenschaftliche Mitarbeiterin bei der BAW in Hamburg.

caroline.rasquin@baww.de

Im BMVI-Expertennetzwerk arbeiten seit 2016 sieben Ressortforschungseinrichtungen und Fachbehörden des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) verkehrsträgerübergreifend zusammen, um durch Klimaveränderungen und extreme Wetterereignisse bedingte Betroffenheiten für Verkehr und Infrastruktur zu bestimmen und beispielhaft Anpassungsoptionen zu entwickeln. Schwerpunkte der BAW (Bundesanstalt für Wasserbau) liegen unter anderem auf der Fragestellung, welche Änderungen von Hydrodynamik und Sedimenttransport in den Küstenbereichen der Deutschen Bucht bei einem Meeresspiegelanstieg zu erwarten sind und welche Folgen sich daraus für den Verkehrsträger Wasserstraße ergeben. Die im BMVI-Expertennetzwerk entwickelten Methoden und Verfahren sollen im DAS-Basisdienst »Klima und Wasser« der Deutschen Anpassungsstrategie in den Routinebetrieb überführt werden.

In vorangegangenen Studien, z. B. KLIWAS (BAW 2015), ProWaS (BAW 2018), wurden bereits zahlreiche an der Küste vom Klimawandel beeinflusste Komponenten (Meeresspiegelanstieg, Abfluss aus den Flüssen, Meteorologie) einzeln untersucht. Im BMVI-Expertennetzwerk kombinieren wir die einzelnen Sensitivitätsstudien und untersuchen, wie eine mögliche Zukunft aussehen kann, in der die zu erwartenden Veränderungen zusammenspielen.

Dafür werden unterschiedliche Szenarien-Pakete geschnürt, die jeweils mögliche und plausible zu erwartende Verhältnisse hinsichtlich des Windklimas, des binnenseitigen Abflusses in die Ästuarie, des Meeresspiegelanstiegs, des Salzgehalts in der Nordsee sowie der Topographie der Wattge-

biete der Deutschen Bucht beinhalten. Im Gegensatz zu klassischen Wenn-Dann-Studien, bei denen zwischen Szenarien immer nur ein Parameter, wie z. B. der Meeresspiegel, variiert wird, werden bei dieser Vorgehensweise mehrere Parameter auf einmal geändert. Das führt dazu, dass keine eindeutigen Rückschlüsse gezogen werden können, welches Änderungssignal von welchem Parameter stammt. Die Änderungen liefern aber Hinweise über die Größenordnung möglicher zukünftiger Entwicklungen. Auf diese Weise können kritische Punkte erkannt und bei Bedarf mögliche Anpassungsmaßnahmen entwickelt werden. Die Informationen und Daten für die jeweiligen Szenarien-Pakete wurden durch die Bundesbehörden BSH (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie), DWD (Deutscher Wetterdienst), BfG (Bundesanstalt für Gewässerkunde) und BAW zusammen erarbeitet (Schade et al. 2020; BAW 2020a).

Untersucht werden charakteristische Jahre der Zeitscheiben »Referenz« (1971 bis 2000), »nahe Zukunft« (2031 bis 2060) und »ferne Zukunft« (2071 bis 2100). Als Klimaszenario wird das »Weiter-wie-bisher«-Szenario RCP8.5 verwendet. Die charakteristischen Jahre sollen möglichst typische Verhältnisse der jeweiligen Zeitscheibe abbilden.

Für die Untersuchungen wird ein hydrodynamisch-numerisches Modell verwendet. Das Modell basiert auf dem hydrodynamisch-numerischen Verfahren UnTRIM² (Casulli 2008; Casulli und Stelling 2011), das die dreidimensionalen Flachwassergleichungen und die dreidimensionale Transportgleichung für Salz, Schwebstoffe und Wärme auf einem orthogonalen, unstrukturierten Gitter löst (Casulli und Walters 2000).

Das Modellgebiet umfasst die gesamte Deut-

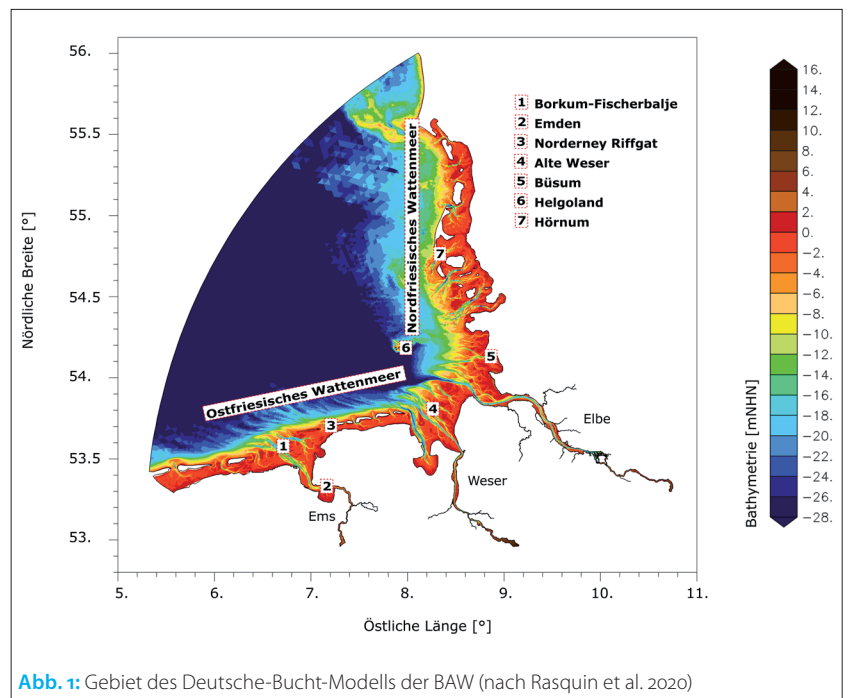
sche Bucht von den Niederlanden bis Dänemark sowie die angrenzenden Ästuar von Elbe, Weser und Ems mit den jeweiligen Nebenflüssen (Abb. 1). Die Auflösung des Rechengitters ist räumlich variabel mit einer Kantenlänge von 5 km am offenen Seerand, 300 m im Küstenvorfeld und etwa 50 m in den Ästuaren. Die verwendete Subgrid-Technologie ermöglicht in den küstennahen Bereichen und in den Ästuaren eine detailliertere Darstellung der Topographie (Sehili et al. 2014). In den hoch aufgelösten Bereichen (z. B. dem Dollart, auf den Watten oder der Elbmündung) liegt auf Subgrid-Ebene eine Auflösung von etwa 10 bis 20 m vor. Aufgrund der hohen Auflösung kann das Überfluten und Trockenfallen in der intertidalen Zone gut reproduziert werden. Die hohe Auflösung des Modells im küstennahen Bereich ist besonders bei der Untersuchung von Meeresspiegelanstiegen entscheidend (Rasquin et al. 2020).

Szenarien der Untersuchung

Zur Steuerung des Deutsche-Bucht-Modells werden Randdaten für den Wind, die binnenseitigen Abflüsse, den Meeresspiegelanstieg, den Salzgehalt in der Nordsee sowie die Topographie der Wattgebiete benötigt. Diese Parameter werden zu einzelnen Szenarien-Paketen kombiniert. Die Randdaten für Wind, Abfluss und Salzgehalt stammen aus gekoppelten Klimasimulationen und sind somit in sich konsistent.

Für den Meeresspiegel ist zukünftig mit einem beschleunigten Anstieg zu rechnen (IPCC 2014, 2019). Die Bandbreite der möglichen Anstiegsraten ist groß. Basierend auf dem RCP8.5-Szenario wird exemplarisch im Szenario-Paket »Nahe Zukunft« ein Meeresspiegelanstieg von 0,30 m und im Szenario-Paket »Ferne Zukunft« ein Anstieg von 0,80 m angenommen. Zusätzlich wird auch ein High-End-Szenario mit einem Anstieg um 1,74 m untersucht.

Bei einem Anstieg des Meeresspiegels wird nicht nur die Tidedynamik beeinflusst, sondern auch die Topographie im Küstenbereich, da diese ein morphodynamisches Gleichgewicht mit den hydrodynamischen Kräften anstrebt (Friedrichs 2011). Die Wattflächen können bis zu einem gewissen Grad des Meeresspiegelanstiegs mitwachsen (z. B. Becherer et al. 2018). Dies kann jedoch nur geschehen, wenn eine ausreichende Sedimentverfügbarkeit gegeben ist. Sedimentquellen sind zum Beispiel die Wattrinnen, Sandbänke, Barriereinseln



oder auch der Küstenlängstransport sowie der Eintrag aus den Ästuaren. Ein Aufwachsen der Wattflächen kann den Auswirkungen eines Meeresspiegelanstiegs auf die Tidedynamik teilweise entgegenwirken (Wachler et al. 2020). Aufbauend auf diesen Erkenntnissen werden für jeden angenommenen Meeresspiegelanstieg Topographieszzenarien entwickelt. Diese weisen einem Szenario eine bestimmte Erhöhung der Watten zu. Es wird hier vorausgesetzt, dass diese Erhöhung geringer ausfällt als der dem Szenario zugehörige Meeresspiegelanstieg. Die Rinnen im Wattgebiet werden vertieft, da angenommen wird, dass etwa 30 bis 40 % des zur Watterhöhung benötigten Materials aus den Rinnen stammt. Die Vertiefung der Rinnen wird prozentual vorgenommen. So wird erreicht, dass tiefe Abschnitte stärker vertieft werden als flachere Übergänge zu den Wattflächen.

Die hier getroffenen Annahmen werden vereinfachend für das gesamte Wattenmeer getroffen. Es ist jedoch zu beachten, dass sich die morphologischen Reaktionen lokal sehr unterschiedlich ausprägen können. Zudem zeigen die Wasserstände in der Elbe eine unterschiedliche Reaktion je nachdem, ob auch die Watten im Ästuar angehoben werden (BAW 2020b).

Die untersuchten Szenarien sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Szenarienkürzel	REF	NZ30	FZ80	FZ174
Zeitscheibe bzw. Szenario	Referenz	Nahe Zukunft	Ferne Zukunft	Ferne Zukunft
Verwendeter Meeresspiegelanstieg	0 m	0,30 m	0,80 m	1,74 m
Verwendetes Topographieszzenario	Keine Änderung	Watten um 0,20 m erhöht, Rinnen um 4 % vertieft	Watten um 0,50 m erhöht, Rinnen um 11 % vertieft	Watten um 0,65 m erhöht, Rinnen um 14 % vertieft

Tabelle 1: Untersuchte Szenarien mit verwendeten Meeresspiegelanstiegen und Topographieszzenarien

Analyse und Ergebnisse

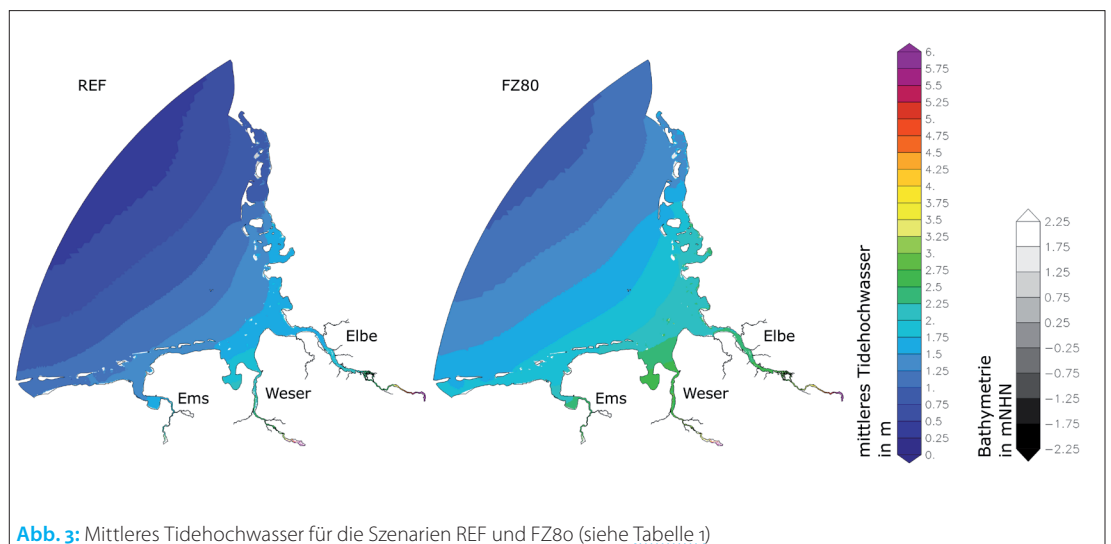
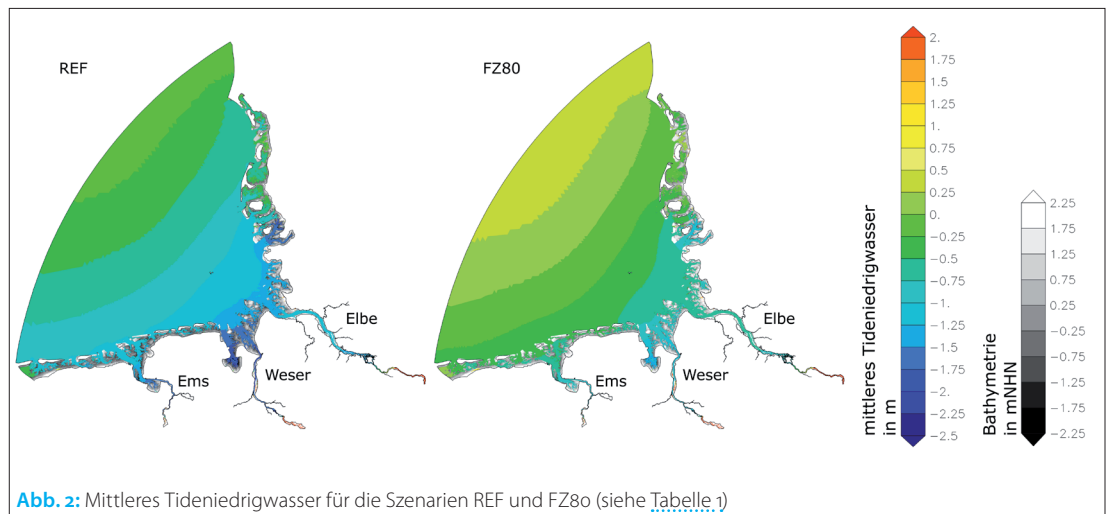
Für jedes der Szenarien-Pakete wird ein hydrologisches Jahr (1. November bis 31. Oktober) mit dem Deutsche-Bucht-Modell simuliert. Die Ergebnisse können je nach Forschungsfrage auf verschiedene Arten analysiert werden. Es können sowohl tideabhängige als auch tideunabhängige Kennwerte erstellt werden (BAWiki 2021). Dabei kann der Analysezeitraum das gesamte hydrologische Jahr, einzelne Spring-Nipp-Zyklen oder auch einzelne Ereignisse umfassen.

Bei der Interpretation der Ergebnisse muss stets bedacht werden, dass es sich um Szenarien handelt und die Ergebnisse keine Prognosen für ein bestimmtes zukünftiges Jahr darstellen. Die Modellsimulationen liefern unter den angenommenen Randbedingungen belastbare Aussagen und können somit Anhaltspunkte zu möglichen Entwicklungen geben. Die Ergebnisse sind in einem Bildatlas veröffentlicht (BAW 2020a). An dieser Stelle sollen einige ausgewählte Ergebnisse vorgestellt werden.

Durch einen Anstieg des Meeresspiegels werden sich Tidehoch- und Tideniedrigwasser erhöhen. Diese Entwicklung ist in [Abb. 2](#) und [Abb. 3](#)

dargestellt. Es ist jeweils der Referenzzustand (kein Meeresspiegelanstieg und keine topographischen Veränderungen) gezeigt sowie das Szenario FZ80 (siehe [Tabelle 1](#)). Eine Erhöhung der Wasserstände kann vielerlei Auswirkungen haben. An der Küste Norddeutschlands und in den Ästuaren wird das Hinterland über Siele entwässert, was größtenteils im Freispiegelgefälle erfolgt. Steigen die Außenwasserstände durch den Klimawandel deutlich an, wird das Entwässerungsfenster (der Zeitraum, in dem der Wasserstand vor dem Deich niedriger ist als im Siel hinter dem Deich) deutlich kleiner. Im Extremfall muss mit Pumpen entwässert werden. Auch können erhöhte Wasserstände eine Herausforderung für den Küstenschutz darstellen.

Durch einen Anstieg des Meeresspiegels ändern sich nicht nur die Wasserstände, sondern die Tidedynamik insgesamt. Zum Beispiel wird auch das Verhältnis zwischen Flut- und Ebbestromgeschwindigkeit beeinflusst. Eine damit verbundene Auswirkung kann ein erhöhter Eintrag von Feinsedimenten in die Ästuarie sein. Falls sich die Wassertiefe aufgrund eines erhöhten Sedimentimports stärker verringert als sie sich durch den



Meeresspiegelanstieg vergrößert, muss mit erhöhten Baggermengen gerechnet werden. Auch verlagert sich die Brackwasserzone (Bereich, in dem sich Süß- und Salzwasser mischen) im Ästuar stromauf. Dies hat unter anderem Folgen für die Bewässerung.

Wie zuvor beschrieben, wird jedem Szenario eine Topographieannahme entsprechend des bis zur nahen bzw. fernen Zukunft angenommenen Meeresspiegelanstiegs zugeordnet. Diese unterliegen der Annahme, dass die Wattflächen ab einer bestimmten Meeresspiegelanstiegsrate nicht mehr Schritt halten können. Anhand der Entwicklung der mittleren Überflutungsdauer lässt sich die Aussage treffen, dass unter den getroffenen Annahmen die Zeit, in der die Wattflächen pro Tide trockenfallen, zukünftig abnehmen wird.

Die Wattflächen im Wattenmeer sowie in den Mündungsbereichen der Ästuar haben eine dämpfende Wirkung auf die Tideenergie. »Ertrinken« die Wattflächen, hat dies Auswirkungen auf den Küstenschutz und die Tidedynamik in den Ästuaren. Aber auch der einzigartige Lebensraum Wattenmeer ist bedroht. Die Reduzierung von

Treibhausgasemissionen ist daher auch für den Erhalt der Wattflächen sehr wichtig. Maßnahmen, die ein Aufwachsen der Watten bei einem beschleunigten Anstieg des Meeresspiegels fördern, können unterstützend wirken.

Fazit

Die hier vorgestellten Untersuchungen zeigen, wie ein hochaufgelöstes hydrodynamisch-numerisches Modell genutzt werden kann, um verschiedene Szenarien unter den angenommenen Randbedingungen zu simulieren. Die Ergebnisse sind keine Prognosen, sondern stellen ausgewählte (aber dennoch plausible) mögliche Zukünfte dar. Trotz aller Unsicherheiten liefern die Ergebnisse Hinweise, in welcher Größenordnung die Veränderungen durch den Klimawandel liegen können. Ergebnisse dieser Art können uns helfen, Anpassungsmaßnahmen an die zu erwartenden Verhältnisse zu entwickeln.

Die Wirksamkeit solcher Maßnahmen kann wiederum mit numerischen Modellen überprüft werden, um passende Maßnahmen ausfindig zu machen und diese bei Bedarf rechtzeitig umzusetzen. //

Literatur

- BAW (Hrsg.) (2015): BAWBildatlas. Ergebnisse aus KLIWAS und KLIMZUG-NORD – Band 2. BAW; <https://izw.baw.de/e-medien/bawbildatlas-band2-2015/index.html>
- BAW (Hg.) (2018): BAWBildatlas. Eine Sensitivitätsstudie vor dem Hintergrund des Klimawandels. BAW; <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105573>
- BAW (Hrsg.) (2020a): BAWBildatlas. Darstellung möglicher Zukünfte im Klimawandel. Behördenübergreifende Simulationen im BMVI-Expertennetzwerk. BAW; <https://hdl.handle.net/20.500.11970/107308>
- BAW (Hrsg.) (2020b): BAWBildatlas. Sturmflutereignisse in der Tideelbe. Eine Sensitivitätsstudie zu Meeresspiegelanstieg und Topographieänderung der Wattflächen
- BAWiki (2021): Analyse der Berechnungsergebnisse; https://wiki.baw.de/de/index.php/Analyse_der_Berechnungsergebnisse
- Becherer, Johannes; Jacobus Hofstede et al. (2018): The Wadden Sea in transition – consequences of sea level rise. *Ocean Dynamics*; DOI: 10.1007/s10236-017-1117-5
- Casulli, Vincenzo (2008): A high-resolution wetting and drying algorithm for free-surface hydrodynamics. *International Journal of Numerical Methods in Fluids*; DOI: 10.1002/fld.1896
- Casulli, Vincenzo; Guus Stelling (2011): Semi-implicit subgrid modelling of three-dimensional free-surface flows. *International Journal of Numerical Methods in Fluids*; DOI: 10.1002/fld.2361
- Casulli, Vincenzo; Roy A. Walters (2000): An unstructured grid, three-dimensional model based on the shallow water equations. *International Journal of Numerical Methods in Fluids*; DOI: 10.1002/(SICI)1097-0363(20000215)32:3<331::AID-FLD941>3.0.CO;2-C
- Friedrichs, Carl T. (2011): 3.06-Tidal Flat Morphodynamics. A Synthesis. Virginia Institute of Marine Science, Gloucester Point, VA, USA, S. 137–170
- IPCC (2014): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC; Genf
- IPCC (2019): IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. IPCC, Genf
- Rasquin, Caroline; Rita Seiffert et al. (2020): The significance of coastal bathymetry representation for modelling the tidal response to mean sea level rise in the German Bight. *Ocean Science*; DOI: 10.5194/os-16-31-2020
- Schade, Nils H.; Sabine Hüttl-Kabus et al. (2020): Klimaänderungen und Klimafolgebetrachtungen für das Bundesverkehrssystem im Küstenbereich. Schlussbericht des Schwerpunktthemas »Fokusgebiete Küsten« (SP-108) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertennetzwerks
- Sehili, Aissa; Günther Lang; Christoph Lippert (2014): High-resolution subgrid models. Background, grid generation, and implementation. *Ocean Dynamics*; DOI: 10.1007/s10236-014-0693-x
- Wachler, Benno; Rita Seiffert et al. (2020): Tidal response to sea level rise and bathymetric changes in the German Wadden Sea. *Ocean Dynamics*; DOI: 10.1007/s10236-020-01383-3

»Das Wissen mit eigenen Worten wiedergeben«

Ein Wissenschaftsgespräch mit GÜNTHER LANG

Dr. Günther Lang ist Wissenschaftler bei der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) in Hamburg. Er ist Spezialist für hydrodynamisch-numerische Modelle (HN-Modelle) von Ästuaren. Im Interview schlägt er den Bogen von Albert Einstein bis Richard Feynman. Seine Antworten sind gespickt mit zahlreichen wunderbar anschaulichen Beispielen.

HN-Modelle | Wasserstandsvorhersage | Ästuar | Berechnungsgitter | Datenassimilation | Randwerte
HN models | water level prediction | estuary | computational grid | data assimilation | boundary values

Dr. Günther Lang is a scientist at the Federal Waterways Engineering and Research Institute (BAW) in Hamburg. He is a specialist in hydrodynamic-numerical models (HN models) of estuaries. In the interview, he covers a wide range of topics from Albert Einstein to Richard Feynman. His answers are peppered with numerous wonderfully illustrative examples.

Interviewer

Das Interview mit Günther Lang fand im Januar per E-Mail statt. Die Fragen stellten Lars Schiller und Christian Maushake.

Textbearbeitung: Lars Schiller

Viele Mitbürger dürften nicht ahnen, welche Bedeutung numerische Modelle in ihrem Alltag haben. Dabei nutzt man dieses mathematische Werkzeug zum Studium von realen Vorgängen in der Natur. Zum Beispiel für Wettervorhersagen. Und auch jetzt in der Corona-Pandemie schlägt die Stunde der Modellierer, um herauszufinden, durch welche Maßnahmen die Fallzahlen sinken könnten. Welche Beispiele aus dem alltäglichen Leben gibt es noch?

Für die Menschen an den deutschen Küsten sind das zum Beispiel die täglichen Wasserstandsvorhersagen des BSH: »Am Sonnabend werden das Abend-Hochwasser an der deutschen Nordseeküste und in Emden sowie das Nacht-Hochwasser in Bremen und Hamburg 1 bis 3 Dezimeter niedriger als das mittlere Hochwasser eintreten.« In dieser Form werden die Ergebnisse komplexer Modelle in einfacher, allgemein verständlicher Weise täglich vom BSH veröffentlicht.

Des Weiteren fallen mir Verkehrsleitsysteme ein, die auf Basis von Beobachtungen (Anzahl und Geschwindigkeit der Fahrzeuge) in Kombination mit Modellen des Verkehrsnetzes abschnittsweise die maximal erlaubte Geschwindigkeit regulieren oder Verkehrsteilnehmer auf Ausweichstrecken umleiten, um lokale Staus zu vermeiden.

Schließlich denke man an den vielleicht nicht ganz alltäglichen Nachweis von Gravitationswellen. Vor mehr als 100 Jahren prognostiziert, erst vor wenigen Jahren nachgewiesen. Die Signale konnten nur gefunden und verstanden werden, weil Vorhersagen den Wissenschaftlern verrietten, wonach gesucht werden musste. Die Vorhersagen stammen von Lösungen der Einsteinschen Feldgleichungen, die allerdings so kompliziert sind, dass die Kollision der Schwarzen Löcher und somit

die Erzeugung der Gravitationswellen nur mit Hilfe aufwendiger Simulationen auf Großrechnern erzeugt werden konnten. Eine spektakuläre Anwendung numerischer Verfahren.

Die BAW in Hamburg betreibt große und hydrodynamisch-numerische Modelle der deutschen Küstengewässer und Ästuare. Für welche Fragestellungen werden die Modelle eingesetzt?

HN-Modelle werden eingesetzt, um die verschiedenen Systeme (Ems, Jade, Weser, Elbe usw.) besser verstehen zu lernen, indem wir zum Beispiel aus den Simulationsergebnissen charakteristische Kennwerte (Tidehochwasser, Tideniedrigwasser, Tidehub etc.) ableiten. Auf Basis dieser Kennzahlen können die Systeme verglichen und somit Unterschiede und Gemeinsamkeiten beschrieben und quantifiziert werden.

Eine weitere wichtige Aufgabe ist die Prognose natürlicher und anthropogener Einflüsse auf die Dynamik der untersuchten Systeme. Da geht es um den Einfluss der Nodaltide (eine astronomische Gezeit mit einer Periode von circa 18,6 Jahren), um ausbaubedingte Änderungen oder um den Meeresspiegelanstieg und seine Auswirkungen auf die Tidedynamik. Hierfür werden Simulationsergebnisse für den aktuellen Zustand und zukünftige Zustände miteinander verglichen. Unterschiede werden üblicherweise in Form von Änderungen der genannten Kennwerte dargestellt.

Welcher Unterschied besteht zwischen einem Ästuarmodell und beispielsweise einem numerischen Modell zur Umströmung von Fahrzeugen, wie es in der Automobilindustrie eingesetzt wird?

Zum einen sind es die untersuchten räumlichen Skalen. Ein Pkw ist typischerweise 5 Meter lang, 2 Meter breit und 1,5 Meter hoch. Das untersuchte Objekt, also der Pkw, weist in allen Raumrichtungen

gen dieselben Abmessungen auf. Ästuare sind demgegenüber ziemlich flach, zum Beispiel circa 100 Kilometer lang, 3 Kilometer breit und 10 bis 20 Meter tief. Die Abmessungen in den verschiedenen Raumrichtungen sind also äußerst verschieden. Ein Ästuar ist circa 10 000-mal länger als tief, während beim Pkw Länge und Höhe von gleicher Größenordnung sind. Das hat Auswirkungen auf die relevanten physikalischen Prozesse. So kann in Ästuaren die vertikale Beschleunigung des Wassers häufig vernachlässigt werden, da sie sehr klein gegenüber der Schwerebeschleunigung ist. Beim Pkw geht das in keinem Fall.

Zum anderen sind die Zeitskalen der relevanten physikalischen Prozesse sehr verschieden. Im Ästuar ist es die halbtägige Tideperiode mit einer mittleren Dauer von 12 Stunden und 25 Minuten, während es beim Pkw hochfrequente turbulente Bewegungen mit Perioden deutlich kleiner als 1 Sekunde sind.

Allerdings können Ästuare teilweise trockenfallen: Wattgebiete sind über mehrere Stunden einer Tide in der Regel wasserfrei. Demgegenüber wird ein Pkw permanent von Luft umströmt. Nirgendwo an seiner Oberfläche kann ein Vakuum auftreten. Ein Ästuarmodell muss also mit einem zeitlich veränderlichen Lösungsgebiet umgehen können, für das die grundlegenden Gleichungen in jedem Zeitschritt gelöst werden müssen.

Das Wasser in einem Ästuar kann sich in seiner Dichte von Ort zu Ort um mehrere Prozent unterscheiden. Verursacht wird dies primär durch Unterschiede im Salzgehalt (Süß- und Salzwasser mischen sich im Ästuar – wir haben es mit einer Brackwasserzone zu tun). Sekundär durch Temperaturunterschiede oder den Gehalt an Schwebstoffen. Diese Differenzen führen zu Druckdifferenzen, die ihrerseits wieder auf die Dynamik zurückwirken (zum Beispiel barokline Zirkulation). Diese Einflüsse spielen bei der Umströmung eines Pkw sehr wahrscheinlich keine entscheidende Rolle.

Obwohl für beide Anwendungsgebiete die Navier-Stokes-Gleichungen eine gemeinsame Grundlage sind, stellen die oben skizzierten Differenzen unterschiedliche Anforderungen an die benutzten numerischen Methoden im Hinblick auf zweckmäßige Näherungen (Vereinfachung der grundlegenden Gleichungen), Parametrisierungen sowie die Diskretisierung der Terme.

[Worauf kommt es bei der Ästuarmodellierung an?](#)

An erster Stelle ist die genaue Kenntnis der Bathymetrie des Ästuars zu nennen. Diese bestimmt in Abhängigkeit vom Wasserstand die durchströmten Querschnitte und das Wasservolumen. Beides ist von entscheidender Bedeutung für die Hydrodynamik des Ästuars. Aus diesem Grunde benutzen wir eine sogenannte sub-gridskalige Bathymetrie in unseren numerischen Modellen, mit deren Hilfe die gemessene Bathymetrie mit hoher Präzision berücksichtigt werden kann,



Dr. Günther Lang

und zwar unabhängig von der Auflösung des Berechnungsgitters (für jede Zelle oder Kante des Berechnungsgitters ist die Tiefenverteilung bekannt).

An zweiter Stelle stehen die Randwerte, zum Beispiel Wasserstand, Salzgehalt, Seegang entlang des seeseitigen Randes und der Abfluss aus dem Binnenland. Für Sturmflut Szenarien werden außerdem insbesondere Windgeschwindigkeit und Luftdruck über dem gesamten Modellgebiet benötigt. Die zuletzt angeführten Daten erhalten wir zum Beispiel vom Deutschen Wetterdienst (DWD).

»Die genaue Kenntnis der Bathymetrie ist essenziell für gute Simulationsergebnisse, da Volumen und Querschnitt maßgeblichen Einfluss auf den berechneten Wasserstand und die Strömungsgeschwindigkeit haben«

Dr. Günther Lang

Eine besondere Herausforderung der Ästuarmodellierung stellt das Trockenfallen und Überfluten von Wattgebieten dar, die mit einer kontinuierlichen Veränderung der Größe des Lösungsgebiets einhergehen. Außerdem treten hierbei kurzfristig jeweils sehr geringe Wassertiefen auf, mit

denen das HN-Verfahren zuverlässig klarkommen muss, um zum Beispiel negative Wasserbedeckungen zu vermeiden.

Für Wettervorhersagen benötigen Meteorologen wichtige Eingangsdaten, die aus direkten Naturbeobachtungen kommen. Diese Daten werden normalerweise auch von Flugzeugen eingesammelt. Weil gerade viel weniger Flugzeuge in der Luft sind, sind die Vorhersagen weniger verlässlich. Welche Bedeutung haben Qualität und Quantität der Eingangsdaten?

Mit Bezug auf die Anfangsbedingungen sind unsere Anforderungen in der Regel weniger fordernd als die der Meteorologen, die jeden Tag das Wetter für die nächsten Tage prognostizieren müssen. Bei ihnen ist die Güte des Anfangszustands eine ganz entscheidende Voraussetzung für eine qualitativ hochwertige Prognose des Wettergeschehens. Für die Einarbeitung der Anfangswerte in das meteorologische Modell betreiben die zuständigen Institutionen wie DWD und ECMWF einen sehr hohen Aufwand bei der Datenassimilation, die ja auch zu einem physikalisch konsistenten Anfangszustand führen muss.

In unseren HN-Modellen benutzen wird häufig als Anfangszustand das Ergebnis einer vorangehenden Modellrechnung oder die Berechnungsergebnisse eines großräumigen Modells, zum Beispiel einem HN-Modell der Nordsee, dessen Ergebnisse für ein HN-Modell der Elbe benutzt werden. Dessen Bedeutung ist allerdings geringer als bei Wettervorhersagemodellen, da wir sehr viel längere Simulationszeiträume als bei einer Wettervorhersage rechnen. So simulieren wir häufig mehrere Monate oder ein ganzes Jahr. Dabei unterteilt sich die Simulation in eine Anfangsphase,

in der Störungen aus dem Anfangszustand allmählich gegen null abklingen, und eine daran anschließende Analysephase, die dann weitestgehend unbeeinflusst vom Anfangszustand ist und aus deren Ergebnissen die uns interessierenden Aussagen abgeleitet werden. Die Dauer der Abklingphase hängt dabei von der räumlichen Ausdehnung des Modells sowie von den Untersuchungsgrößen ab. Für Wasserstand und Strömung ist die Abklingzeit am kürzesten, für den Salzgehalt länger und für Sedimente am längsten.

Bei den Randwerten ist es dann in gewisser Weise genau andersherum. Die globalen meteorologischen Modelle benötigen, insofern sie mit Ozean- und Bodenmodellen gekoppelt sind, »nur« noch die Sonneneinstrahlung am oberen Rand der Atmosphäre, die aber sehr genau bekannt sind. Da wir keine globalen HN-Modelle betreiben – ein Ästuar ist ja nur ein sehr, sehr kleiner Ausschnitt aus der großen weiten Welt –, benötigen wir sehr gute Randwerte, insbesondere an den seeseitigen Rändern unserer Modellgebiete.

Allgemein gilt: Eine gute Qualität der Eingangsdaten ist neben der Qualität des HN-Verfahrens die entscheidende Voraussetzung für qualitativ hochwertige, verlässliche Simulationsergebnisse. Kein Modell der Welt kann auf Basis schlechter Anfangs- oder Randwerte exzellente Ergebnisse produzieren.

Welche Eingangsdaten kann die Hydrographie für hydrodynamisch-numerische Modelle beisteuern? Welche Rolle spielen dabei Bathymetriedaten?

Wie schon zuvor erläutert, ist die genaue Kenntnis der Bathymetrie essenziell für gute Simulationsergebnisse, da Volumen und Querschnitt maßgeblichen Einfluss auf den berechneten Wasserstand und die Strömungsgeschwindigkeit haben. Bathymetrische Daten sollten eine hinreichende räumliche Auflösung besitzen, zum Beispiel 1 Meter. Auf etwas größeren Skalen, zum Beispiel 10 Meter, sollten sie außerdem frei von systematischen Fehlern sein (Volumenfehler). Darüber hinaus sollten für dasselbe Gebiet bathymetrische Messungen für das gesamte Modellgebiet, also nicht nur für den Bereich der Schifffahrtsrinne, in regelmäßigen Abständen wiederholt werden. Da manche Bereiche der Ästuar morphologisch sehr dynamisch sind, wäre eine zeitliche Auflösung von einem Jahr aus wissenschaftlicher Sicht wünschenswert.

Darüber hinaus besteht ein Mangel an Langzeitmessungen an festen Positionen, insbesondere in Bezug auf die Größen Strömungsgeschwindigkeit, Salzgehalt, Temperatur und Schwebstoffgehalt. Dies ist von Relevanz mit Blick auf klimabedingte langsame Langzeitänderungen. Man stelle sich vor, es stünden heute keine der über viele Jahrzehnte (teilweise bis über 200 Jahre) zurückreichenden Messungen der Lufttemperatur zur Verfügung. Oder es gäbe keine seit 1958 durchgeführten CO₂-

Messungen. Manche Veränderungen wären dann nicht oder nur mit sehr viel kleinerer statistischer Signifikanz nachweisbar.

Eine gute Idee wäre es auch, alle größeren Schiffe – ähnlich wie Flugzeuge – regelmäßig hydrologische Daten erfassen und automatisch übermitteln zu lassen.

[Wie lässt sich die Wechselwirkung zwischen Schiff und Wasserstraße simulieren?](#)

Das Problem ist vergleichbar damit, einen Pkw in ein meteorologisches Modell einzubetten und die Wechselwirkung zwischen Pkw und der ihn umgebenden Luftströmung korrekt zu berücksichtigen.

Für die Kombination Schiff und Wasserstraße fallen ebenfalls sofort die unterschiedlichen Skalen auf: Am Schiff, mit einer Länge von 100 bis 400 Meter und einer Breite von 30 bis 60 Meter, benötigen wir eine hoch aufgelöste Beschreibung der Strömungs- und Druckverhältnisse. Dies ist erforderlich, um einerseits die auf das Schiff einwirkenden Kräfte korrekt beschreiben zu können und andererseits die Rückwirkung auf die Hydrodynamik im Nahbereich des Schiffs (Verdrängung, Erzeugung von Primär- und Sekundärwellen usw.). Ferner muss die Bewegung des Schiffskörpers mit seinen sechs Freiheitsgraden (das ist jetzt etwas vereinfacht, ohne die Betrachtung elastischer Deformationen) und den dazugehörigen Trägheitsmomenten unter Einwirkung der angreifenden Druckkräfte korrekt wiedergegeben werden – das Schwimmen des Schiffs in einer stets sich ändernden Lage ist selbst eine Lösung des Problems. Das Schiff und die kleinräumigen hydrodynamischen Effekte müssen dann in ein großräumiges Ästuarmodell eingebettet werden, welches eine typische Länge von 100 Kilometer aufweist. Das Gesamtmodell muss also sowohl im Nahbereich des Schiffs nicht-hydrostatisch funktionieren als auch in der Lage sein, die vom Schiff ausgehenden kurzen Wellen (die viel kürzer sind als die Tidewelle) über einen gewissen Bereich wiederzugeben. Und schließlich bewegt sich das Schiff mit einer Geschwindigkeit von 10 bis 20 km/h vorwärts. Das Problem ist damit deutlich anspruchsvoller als die Situation eines Pkw in einem Windkanal oder eines Schiffs in einem Kanal mit konstantem Querschnitt, da sich im Ästuar das geometrische Umfeld (Bathymetrie) in jeder Sekunde ein wenig verändert. Das Gesamtpaket (volle Wechselwirkung) ist derzeit meines Wissens noch Gegenstand der Forschung und Entwicklung. Ich verfüge auf diesem Gebiet allerdings über keine eigene Expertise.

[Wie spielen Sie durch, welche Auswirkungen die nächste Fahrrinnenvertiefung auf die Elbe hat?](#)

In einem ersten Schritt erfolgt die Festlegung des Modellgebiets sowie der Simulationszeiträume für Kalibrierung und Validierung. Dabei ist darauf zu achten, dass das Modellgebiet groß genug gewählt wird, sodass die Auswirkungen der geplanten Maßnahme an dessen seeseitigen Rändern

gegen null tendieren. Bei den Simulationszeiträumen ist zu beachten, dass sie alle für das System relevanten »Anregungen« enthalten, zum Beispiel Sturmfluten oder sehr hohe und sehr niedrige Abflüsse aus dem Binnenland.

Danach wird das Modellgitter erstellt und die Bathymetrie für den planerischen Ist-Zustand darauf abgebildet. Eventuell vorhandene Strombauwerke werden bestmöglich berücksichtigt. Mit diesem Modellgitter wird das HN-Modell für einen bestimmten Simulationszeitraum kalibriert und für einen oder mehrere davon abweichende Simulationszeiträume validiert. Bei Kalibrierung und Validierung werden die Simulationsergebnisse typischerweise mit Beobachtungsdaten verglichen und zum Beispiel als Taylor-Diagramm dargestellt. Idealerweise sollte die Übereinstimmung für Kalibrierung und Validierung von vergleichbarer Güte sein. Außerdem sollten keine systematischen Abweichungen auftreten.

Schließlich wird eine Kopie des Modellgitters erzeugt und es werden die geplanten Änderungen zum Beispiel der Bathymetrie berücksichtigt (Ausbauzustand). Für ausgewählte Analysezeiträume werden dann Simulationsdaten für den Ist- und den Ausbauzustand erzeugt. Dabei handelt es sich um synoptische Datensätze (Wasserstand, Strömung, Salzgehalt usw.) für das gesamte Modellgebiet und/oder für ausgewählte Profile oder Einzelpositionen. Die synoptischen Daten liegen typischerweise alle 5 bis 10 Minuten vor (der numerische Zeitschritt liegt oft zwischen 10 und 30 Sekunden). Für längere Simulationszeiträume können mehr als 50 000 synoptische Datensätze pro Simulation anfallen.

Um die durch den Ausbau bedingten Änderungen darstellen zu können, werden sowohl für den Ist- als auch den Ausbauzustand charakteristische Kenngrößen (Tidehochwasser, Tideniedrigwasser, Tidehub usw.) flächenhaft berechnet und anschließend die jeweiligen Differenzen ermittelt. Auf diesem Wege erhält man für alle im Analysezeitraum vorhandenen Tiden die Veränderung des Tidehochwassers, woraus Maximal-, Minimal-, Mittelwerte oder Perzentile abgeleitet werden können. Mit Hilfe dieser Kennwert-Differenzen können die prognostizierten Auswirkungen verständlich visualisiert und für ausgewählte Positionen in Tabellen zusammengefasst werden. Vergleichbare Auswertungen können für alle relevanten Parameter je nach Bedarf vorgenommen werden.

[Welche Parameter werden denn mit den Modellen bei der BAW simuliert? Welche Rolle spielt zum Beispiel der Salzgehalt?](#)

Neben Wasserstand und Strömung werden insbesondere Salzgehalt, Temperatur, Schwebstoffgehalt, der Sedimenttransport an der Gewässersohle und die Evolution der Gewässersohle (Morphodynamik) mitberücksichtigt. Bei Bedarf auch der Seegang (spektrales Seegangmodell).

Insbesondere in den seewärts gelegenen Bereichen der Ästuarie spielt dieser eine wichtige Rolle.

Da für Ästuarie das Vorhandensein einer Brackwasserzone typisch ist, darf der Salzgehalt in keinem Fall vernachlässigt werden (horizontale barokline Dichtegradienten, Beeinflussung der vertikalen Turbulenz durch Dichteschichtung).

Was genau ist eine ausbaubedingte Veränderung?

Damit ist zumeist die auf eine Fahrrinnenanpassung der Seeschiffahrtsstraße (Vertiefung, Verlegung, Verbreiterung) zurückzuführende Veränderung der Hydrodynamik sowie der transportierten Stoffe (Salz, Wärme, Schwebstoff usw.) gemeint. Wird zum Beispiel die Gewässersohle um einen bestimmten Betrag tiefergelegt, so erhöht sich die Wassertiefe. Daraus resultiert eine raschere Fortschrittsgeschwindigkeit der Tidewelle und in der Regel eine Abnahme der Dissipation durch Bodenreibung (pro Volumeneinheit). Dies bedingt stromauf ein früheres Eintreten des Thw/Tnw und zumeist auch eine Zunahme des Thb, der sich aus einem Absink des Tnw und Anstieg des Thw ergibt. Auch das Verhältnis von Flutdauer zu Ebbedauer oder Flutstromdauer zu Ebbestromdauer kann sich verändern. Letzteres hat dann wieder Konsequenzen für den residuellen Transport von Sedimenten.

Sind Simulationen leistungsfähiger als Naturversuche?

Ein wesentlicher Vorteil von HN-Modellen besteht darin, dass deren Ergebnisse in sehr hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung vorliegen und diese Ergebnisse in sich physikalisch konsistent sind. Vergleichbar wäre dies mit dem Einsatz hunderttausender gleichartiger, kalibrierter Messgeräte oder äquivalenter Methoden der Fernerkundung.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass sehr einfach Systemversuche durchgeführt werden können, um die Reaktion des Systems auf eine Veränderung der Randwerte – zum Beispiel seeseitiger Wasserstand, Abfluss, meteorologische Einflüsse – untersuchen zu können.

Grundsätzlich allerdings sollten die verschiedenen Methoden nicht gegeneinander ausgespielt werden: Mit einer geeigneten Kombination theoretischer Überlegungen, gezielter Messkampagnen sowie der Anwendung von HN-Modellen kommen wir weiter als mit jeder Methode für sich alleine genommen. Sie ergänzen sich gegenseitig. Das anfänglich erwähnte Beispiel des Nachweises von Gravitationswellen ist ein sehr schönes Beispiel dafür. In diesem Fall kamen aus der numerischen Simulation entscheidende Hinweise zur Form der Signale, die für derartige Phänomene zu erwarten sind und nach denen deshalb gezielt gesucht werden konnte.

Ich erinnere mich an folgendes Beispiel: Beim Schließen des Ems-Sperrwerks entsteht in der Regel vor dem Sperrwerk eine Schwallwelle, die sich in Richtung Emden ausbreitet und die in der Lage ist, den Dollart zu Eigenschwingungen anzuregen,

die dann am Pegel Emden beobachtet werden können. Dieses Phänomen konnte in unserem Hause mit Hilfe eines HN-Modells reproduziert werden. Dass es sich um Eigenschwingungen des Dollart handeln muss, folgt aber weder direkt aus den Beobachtungen noch aus den Simulationsergebnissen, sondern erst auf Basis theoretischer Überlegungen hinsichtlich der für den Dollart zu erwartenden Eigenfrequenzen.

Wie genau und zuverlässig ist Modellierung?

Die bei uns im Einsatz befindlichen HN-Verfahren besitzen einen hohen Grad an Zuverlässigkeit und Robustheit. Offensichtlich fehlerhafte Anwender-Angaben in den Eingangsdaten werden zuverlässig abgefangen (der Anwender erhält entsprechende Fehlermeldungen). Ebenso sind die eingesetzten Algorithmen stabil und robust, sodass Abstürze der Programme glücklicherweise zu einer großen Seltenheit geworden sind. Auf diesem Gebiet konnten in den vergangenen Jahrzehnten große Fortschritte erzielt werden.

Schwieriger zu beantworten ist die Frage nach der Genauigkeit, da nicht für alle Variablen zuverlässige Beobachtungsdaten zur Verfügung stehen. Außerdem ist der Einfluss der Güte der Randwerte (Wasserstand und Salzgehalt auf dem seeseitigen Rand, Abfluss, Wind) nicht vernachlässigbar. Für die Wasserstände, insbesondere Tnw, Thw und Thb, liegen die Differenzen zu Beobachtungsdaten typischerweise bei 0 bis 10 Zentimeter Genauigkeit.

Was wir dagegen sehr gut kontrollieren können, ist die »innere Genauigkeit« der eingesetzten HN-Verfahren: so liegt der Volumenfehler des HN-Modells für das Elbe-Ästuar bei circa 1 Kubikzentimeter in jedem numerischen Zeitschritt. Das heißt, wir wissen, dass unser Verfahren praktisch exakt volumenerhaltend ist.

Darüber hinaus sind wir sehr häufig »nur« an Differenzen zwischen verschiedenen Systemzuständen interessiert, sodass gleichartige Abweichungen in den Einzelergebnissen bei der Differenzbildung herausfallen. Da unsere Modelle den Einfluss bathymetrischer Änderungen auf durchströmte Querschnitte (Strömung), Wasservolumen (Wasserstand), Fortschrittsgeschwindigkeit der Tidewelle (Eintrittszeiten Thw, Tnw, Asymmetrie der Tidewelle) durch Verwendung einer sub-grid-skaligen Bathymetrie sehr genau darstellen, können deren Folgen für Hydrodynamik und Transport ebenfalls zuverlässig simuliert werden.

Was lässt sich nicht simulieren? Wo sind die Grenzen der Simulation?

Solange es einerseits eine mathematisch-physikalische Beschreibung des Problems gibt, zum Beispiel in Form von Differenzialgleichungen und geeigneten Parametrisierungen, und andererseits etablierte numerische Verfahren zur Lösung des Problems bekannt sind, sollten die meisten Probleme »im Prinzip« auch simulierbar sein.

Grenzen ergeben sich einerseits aus dem Bedarf

an CPU-Zeit – hier helfen schnelle Algorithmen, Optimierung, Parallelisierung, leistungsfähige Computer – und andererseits aus den chaotischen Eigenschaften nicht-linearer Systeme, deren Verhalten nur für eine gewisse Zeitspanne im deterministischen Sinne vorhergesagt werden kann. Man denke hier an die Wettervorhersage, deren Zuverlässigkeit nach spätestens 14 Tagen endet. Dennoch kann das Klima, dessen vergangene und zukünftige Entwicklung, einigermaßen zuverlässig prognostiziert werden, da man sich hierbei mit einem statistischen Blick – zum Beispiel mittlere Jahrestemperatur – auf das System begnügt.

Ein hiermit vergleichbares Beispiel ist die Prognose der morphologischen Entwicklung an einer bestimmten Position im Ästuar. Die ist in der Regel über längere Zeiträume nicht sicher möglich. Dagegen ist es »einfacher«, die integrale, mittlere Entwicklung der Bathymetrie in einem regional begrenzten Gebiet zu simulieren, falls keine räumlich korrelierten, systematischen Fehler vorhanden sind. Den augenblicklichen Zustand eines Ästuars (mit allen seinen Eigenschaften) können wir also gut mit einem aktuellen atmosphärischen Zustand vergleichen. Beide können in allen Details nur für eine sehr begrenzte Zeitspanne in die Zukunft vorausberechnet werden.

Was hat man eigentlich gemacht, bevor es computergestützte Modellierung gab?

Wasserbau hat in der Menschheitsgeschichte eine lange Tradition. Von daher haben Versuch und Irrtum, empirisch ermittelte Regeln eine lange Geschichte. So können aus genauer Beobachtung Handlungsanweisungen abgeleitet werden. Hierzu fallen mir beispielsweise die Messungen von Hagen (1859) in der Jade ein, die für die Wahl von Wilhelmshaven als neuer kaiserlicher Marinehafen wichtig waren. Oder die Beobachtungen von Hensen (1930er-Jahre) in der Elbe, aus denen unter anderem Empfehlungen zum Bau des Leitdamms Kugelbake abgeleitet wurden und Einblicke in barokline Phänomene gewonnen werden konnten. Schließlich denke ich an den Gebrauch physischer Modelle, die maßstäblich verkleinerte, teilweise verzerrte Abbildungen der realen Systeme waren und für Ems, Weser und Elbe bei der BAW bis in die 1980er genutzt wurden. Ferner entsinne ich mich an analytische Lösungen der grundlegenden Gleichungen für stark vereinfachte Geometrien und Randwerte, wie man es zum Beispiel bei Ippen und Harleman (1966) nachlesen kann. Aus diesen Formulierungen können Aussagen zu prinzipiellen Phänomenen wie dem Einfluss geometrischer Parameter (Länge, Tiefe, Breite) sehr gut abgeleitet werden.



OBTAIN COMPREHENSIVE HYDROGRAPHIC DATA IN DEEP WATER AND COASTAL REGIONS

We draw on our vast experience and extensive resources, including a fleet of dedicated survey vessels and airborne systems, to deliver a high-quality service that meets your data objectives.

To find out more visit
[fugro.com](https://www.fugro.com)

Bisher erschienen:

Horst Hecht (HN 82),
 Holger Klindt (HN 83),
 Joachim Behrens (HN 84),
 Bernd Jeuken (HN 85),
 Hans Werner Schenke (HN 86),
 Wilhelm Weinrebe (HN 87),
 William Heaps (HN 88),
 Christian Maushake (HN 89),
 Monika Breuch-Moritz (HN 90),
 Dietmar Grünreich (HN 91),
 Peter Gimpel (HN 92),
 Jörg Schimmler (HN 93),
 Delf Egge (HN 94),
 Gunther Braun (HN 95),
 Siegfried Fahrentholz (HN 96),
 Gunther Braun, Delf Egge, Ingo Harre, Horst Hecht, Wolfram Kirchner und Hans-Friedrich Neumann (HN 97),
 Werner und Andres Nicola (HN 98),
 Sören Themann (HN 99),
 Peter Ehlers (HN 100),
 Rob van Ree (HN 101),
 DHyG-Beirat (HN 102),
 Walter Offenborn (HN 103),
 Jens Schneider von Deimling (HN 104),
 Mathias Jonas (HN 105),
 Jürgen Peregovits (HN 106),
 Thomas Dehling (HN 107),
 Egbert Schwarz (HN 108),
 Ingo Hennings (HN 109),
 Harald Sternberg (HN 110),
 Uwe Jenisch (HN 111),
 Petra Mahnke (HN 112),
 Holger Rahlf (HN 113),
 Boris Schulze (HN 114),
 Jacobus Hofstede (HN 115),
 Gottfried Mandlbürger (HN 116),
 Gerhard Bohrmann (HN 117)

Wann nutzt man Simulationen, wann entscheidet man sich für einen Versuchsaufbau, also einen Nachbau der örtlichen Gegebenheiten in miniature?

Bis in die 1980er-Jahre hinein wurden in der BAW physische Modelle der deutschen Ästuare betrieben. Danach wurden sie Schritt für Schritt durch numerische Modelle ersetzt. Für diese Anwendungen wird es kein Zurück mehr geben, schon aufgrund der Größe des natürlichen Systems (und damit auch des physischen Modells) oder der Unmöglichkeit, physikalische Prozesse wie zum Beispiel die barokline Zirkulation korrekt im physischen Modell zu reproduzieren.

Dennoch haben physische Modelle in der BAW dort ihre Berechtigung, wo die numerischen Methoden nicht leistungsfähig genug sind. Ein Beispiel dafür ist das circa 3500 Quadratmeter große Schiffswellenbecken für Untersuchungen im Zusammenhang mit der Wechselwirkung von Wasserstraße und Seeschiff, das für fahrdynamische Untersuchungen genutzt wird. Die Untersuchungen werden dabei mit unterschiedlichen Schiffsmo- delln hauptsächlich im Maßstab 1 : 40 durchgeführt. Aus diesen Versuchen können dann wiederum Daten zur Validierung numerischer Modelle abgegriffen werden.

Des Weiteren werden mit Hilfe einer Umlaufrinne großmaßstäbliche Versuche durchgeführt, zum Beispiel für die Untersuchung der Strömungsbelastung von Strombauwerken oder für Grundsatzuntersuchungen der Schwebstoff- und Sedimentdynamik, auch unter langperiodisch oszillierender oder bidirektionaler Strömung. So kann zum Beispiel die Bildung von Unter-Wasser-Dünen oder das Verhalten von Fluid Mud anhand von in der Rinne eingebauten Natursedimenten untersucht werden. Auf diesen Gebieten kann das Experiment ebenfalls wichtige Erkenntnisse oder Parameter zur Weiterentwicklung und Validierung numerischer Verfahren liefern.

Wie gelingt es, ein Modell einfach zu halten, ohne etwas Entscheidendes zu vergessen?

Das ist bestimmt ganz große Kunst: »Mache es so einfach wie möglich, aber nicht einfacher!« Vielleicht ist die Gleichung $E = mc^2$ das berühmteste Beispiel für einen sehr einfachen, aber doch nicht trivialen Zusammenhang.

Letztendlich ist es wahrscheinlich eine Kombination aus Kenntnis der grundlegenden Gleichungen, aus den numerischen Aspekten ihrer Diskretisierung, den physikalischen Grundprinzipien sowie den prinzipiell damit einhergehenden Phänomenen einerseits, und einem guten Verständnis des aus Beobachtungen bekannten Verhaltens der natürlichen Systeme andererseits. Aus den Abweichungen zwischen Beobachtung und Simulation können Rückschlüsse auf im HN-Modell fehlende oder nur unzureichend abgebildete Prozesse gezogen werden. Dies gelingt umso

leichter, je unterschiedlicher einzelne Phänomene in verschiedenen Systemen ausgeprägt sind. Ein Beispiel: In der Jade und dem Jadebusen sind die Unterschiede im Salzgehalt tendenziell vernachlässigbar, da es keine größeren Süßwasserzuflüsse gibt. Damit spielen dort barokline Druckgradienten und die daraus resultierenden Strömungen praktisch keine Rolle. Der Salzgehalt und die damit einhergehenden Dichteunterschiede könnten in einem HN-Modell der Jade also getrost vernachlässigt werden. Ganz anders sieht das in der benachbarten Weser aus, in der eine ausgeprägte Brackwasserzone vorhanden ist. Würde das in der Jade benutzte vereinfachte HN-Verfahren für die Weser eingesetzt werden, so sollte auffallen, dass dort etwas nicht ganz stimmt. Durch Kenntnis der realen Situation vor Ort (Beobachtung) in Kombination mit dem Wissen um die Prozesse (Theorie) müsste man zu der Schlussfolgerung gelangen, dass barokline Prozesse in einem HN-Modell der Weser unbedingt enthalten sein müssen.

Wie wichtig ist Datenreduktion?

Der Datenreduktion kommt eine sehr große Bedeutung zu. HN-Modelle sind in der Lage, je Simulationslauf mehrere 10 000 synoptische Datensätze für Wasserstand, Strömung, Salzgehalt usw. zu erzeugen. Diese können durchaus zu eindrucksvollen Animationen aufbereitet werden, um zum Beispiel einen Eindruck von den ablaufenden Phänomenen zu erhalten.

Da wir aber schon etwas über unsere Systeme wissen – der zeitliche Verlauf der vorgenannten Größen ist das Resultat einer periodischen Abfolge mehr oder weniger ähnlicher Tiden –, können wir aus den synoptischen Datensätzen eine überschaubare Anzahl das System beschreibender Kenngrößen ableiten. Hierzu zählen zum Beispiel Tidehochwasser (Thw), Tideniedrigwasser (Tnw), Tidehub (Thb), Eintrittszeiten von Thw und Tnw, Flut- und Ebbedauer sowie weitere Kenngrößen für Strömung, Salzgehalt, Temperatur usw. Auf Basis dieser Kennwerte entsteht ein gut verständliches Bild für zum Beispiel die Ausbreitung der Tidewelle im System (Eintrittszeiten), die Änderung des Tidehubs (geometrische Einengung, Tiefenabnahme, Reflexion und Resonanz) sowie den Einfluss nicht-linearer Prozesse, die sich auf das Tidespektrum (Partialtiden) auswirken.

Neben Kenngrößen können synoptische Daten auch für geeignet definierte Teilbereiche (Kontrollvolumen) aggregiert werden. Hierbei wird zum Beispiel der mittlere Wasserstand, das Wasservolumen, das Salzvolumen, die Sedimentmasse ermittelt. Ferner werden die zwischen Kontrollvolumen vorhandenen Transporte (Wasser, Salz, Wärme, Sediment usw.) berechnet. Damit können im Nachgang zu einer Simulationsrechnung gezielt Fragen an die Modellergebnisse gestellt werden, zum Beispiel: Wie groß ist die mit jeder Tide über den Geise-Leitdamm zwischen

Dollart und Emders Fahrwasser ausgetauschte Wassermenge?

Die Verwendung von Kenngrößen wie auch der aggregierten Daten erleichtert das Systemverständnis in seinen wesentlichen Merkmalen und ist darüber hinaus Grundlage für die Beschreibung von Differenzen zwischen verschiedenen Systemzuständen, wie sie zum Beispiel durch Ausbauvorhaben an den Seeschiffahrtsstraßen oder den Anstieg des Meeresspiegels infolge Klimawandel verursacht werden. Ferner bildet diese Vorgehensweise eine wesentliche Säule der Qualitätssicherung auf Basis weniger Kenngrößen, die das bekannte Systemverhalten in (physikalisch) konsistenter Weise beschreiben.

Wie leistungsfähig müssen die Rechner sein, mit denen die Modelle durchgerechnet werden?

Im Gegensatz zum DWD führen wir keine täglichen Vorhersagerechnungen durch, für welche die Ergebnisse zu exakt vorgegebenen Stunden vorliegen müssen. Während auf dem Produktionssystem des DWD wenige Anwendungen (Globalmodell, Europamodell, Regionalmodell) im Ensemble-Modus mit jeweils 40 Vorhersagen viermal täglich Ergebnisse für den einen Nutzer »Wettervorhersage« termingerecht liefern müssen, ist in der BAW die Anzahl der Anwender sowie der Anwendungen sehr wahrscheinlich größer, in jedem Fall aber heterogener. So werden von circa 30 Anwendern regelmäßig Simulationsrechnungen für die Bereiche Nordsee, Deutsche Bucht, Ems-Ästuar, Jade-Weser-Ästuar, Elbe-Ästuar, Ostsee usw. in Kombination mit insbesondere Aggregations- und (Kennwert-) Analyseläufen zur Ausführung gebracht.

Insgesamt stehen auf unserem Rechnersystem 148 Knoten mit jeweils 2x16 Cores zur Verfügung. Alle CPU-zeitintensiven Anwendungen sind parallelisiert (OpenMP und/oder MPI). Die Laufzeiten der Simulationsrechnungen variieren je nach Komplexitätsgrad (Anzahl der berücksichtigten Prozesse) und Simulationszeitraum zwischen wenigen Stunden, einigen Tagen bis zu mehr als einer Woche. Dabei fallen größere Datenmengen an, die bei einer einzigen Simulation mehrere Terabyte betragen können. Die Auslegung des Rechnersystems erfolgt in der Regel so, dass das oben skizzierte Spektrum unterschiedlicher Anwendungen in »vernünftiger« Zeit abgearbeitet werden kann.

Bei den Verhandlungen am Bundesverwaltungsgericht in Leipzig zur Fahrrinnenvertiefung der Elbe sind auch Untersuchungen der BAW behandelt worden. Wie macht man Prognosen auf Basis von Simulationsrechnungen »gerichtsfest«?

Letztendlich könnten das natürlich nur die Richter beantworten. Aus meiner Sicht erscheinen folgende Punkte unverzichtbar: Simulationsmethoden, die sich am Stand der Wissenschaft orientieren. Konsequenter und konsistenter Gebrauch einheitlicher Begriffe. Nachvollziehbarkeit der aus den Ergebnissen des HN-Modells abgeleiteten

(Kenn-)Daten und den daraus abgeleiteten Aussagen. Widerspruchsfreiheit zwischen verschiedenen (Kenn-)Größen, das heißt deren Änderungen müssen in sich stimmig sein. Dokumentation der benutzten Methoden im Internet oder durch Veröffentlichung in internationalen Zeitschriften.

Des Weiteren ist anzumerken, dass die Berechnungsergebnisse zwar eine ganz entscheidende Grundlage unserer Gutachten sind, in die gutachterliche Aussage aber auch immer die langjährigen fachlichen Erfahrungen des Gutachters selbst mit einfließen, der die Daten analysiert, gegeneinander abwägt und zusammenfasst.

Werden durch die autonome Schifffahrt die Anforderungen an die Modellierung steigen, gerade auch mit Blick auf die Aktualität?

Die Anforderungen an die Verfügbarkeit von Real-Time-Daten – insbesondere Wasserstand und Strömung – und deren Präzision werden sicherlich steigen. Hierfür werden, ähnlich wie heute schon bei der Wettervorhersage des DWD, schnell rechnende HN-Modelle mit Assimilation von Real-Time-Beobachtungsdaten (primär Wasserstand) benötigt, die in regelmäßigen Abständen zeitaktuelle Datensätze liefern, welche schließlich den Schiffen »zeitnah« zur Verfügung gestellt werden.

Um ein Modell validieren zu können, müssen die Ergebnisse der Simulation mit echten beobachteten Daten verglichen werden. Wenn dann noch nachjustiert werden muss, woher weiß man, was am Modell geändert werden muss?

Primär wird hierfür der Parameter »Sohlleibung« genutzt, der unter anderem mit den Sedimenten an der Gewässersohle sowie den vorhandenen Sohlformen in einem engen Zusammenhang steht. Die allermeisten Prozesse sind allerdings durch Differenzialgleichungen sowie Parametrisierungen im Wesentlichen festgelegt und entziehen sich daher einer direkten Beeinflussung durch den Anwender eines HN-Modells. Bei persistenten systematischen Abweichungen muss zusätzlich die Qualität der Randwerte überprüft werden, insbesondere von Bathymetrie, Wasserstand auf dem seeseitigen Rand, Abfluss und Windgeschwindigkeit sowie Luftdruck. Im Idealfall sollten die Abweichungen zwischen Simulation und Beobachtung am Ende der Kalibrierphase zufällig verteilt sein.

Bleiben trotz aller Bemühungen systematische Abweichungen weiter bestehen, so könnte dies ein Hinweis auf fehlende oder unzulänglich berücksichtigte Prozesse sein.

Wie wichtig ist der Analysezeitraum bei der Modellierung?

Der Analysezeitraum muss mit Hinblick auf die jeweilige Fragestellung gewählt werden und alle

»Alle größeren Schiffe sollten regelmäßig hydrologische Daten erfassen und automatisch übermitteln«

Dr. Günther Lang

relevanten natürlichen Phänomene (anregende Kräfte mit ihren jeweiligen Frequenzen) enthalten, die zu deren Beantwortung wichtig sind. Zum Beispiel sehr hohe oder niedrige Abflüsse, Sturmflut- und/oder Starkwindereignisse, besonders starke oder schwache Gezeiten. Ziel ist, das System mit einem möglichst breiten Spektrum anzuregen, so dass die Antwort des Systems dessen intrinsische Eigenschaften (Eigenfrequenzen, Resonanz usw.) zur Geltung bringen kann.

Wann lagen Sie mit einer aus einer Modellierung abgeleiteten Aussage daneben?

Zum Beispiel in dem Fall, dass ein vorhandenes ortsspezifisches Modell (Gitter und Bathymetrie), welches für eine bestimmte Fragestellung – nämlich Prognosen für Änderungen bei mittleren Tiden – konzipiert wurde, »blind« für eine andere Fragestellung verwendet wurde – nämlich Prognosen für Änderungen bei Sturmfluten. Im konkreten Fall war das Volumen der Wasserwechselzone für mittlere Tiden korrekt, nicht aber für Sturmfluten, bei denen der mittlere Wasserstand ja deutlich höher liegt, weswegen zusätzliche Flächen überflutet werden. Von daher lagen die zuerst kommunizierten Ergebnisse für die zu prognostizierenden Änderungen deutlich daneben, weil das Volumen der Wasserwechselzone bei Sturmfluten systematisch unterschätzt wurde, was in diesem Fall zu einer deutlichen Unterschätzung der prognostizierten Änderungen des Wasserstands führte. Erst im weiteren Verlauf der Untersuchungen ist uns das aufgefallen. Die Gefahr zu Fehlern ist immer dann groß, wenn man glaubt, schon alles für eine Untersuchung zu haben und darüber vergisst, noch einmal über die eventuell geänderten Anforderungen einer neuen Fragestellung nachzudenken. Insbesondere Zeitdruck kann solche Fehler begünstigen.

Das Ergebnis der Modellierung ist eine Simulation der Wirklichkeit. Das können Zahlenwerte sein, es kann aber auch eine grafische Animation sein. Wie sehr ähneln die Algorithmen denen bei Computerspielen und zur Erzeugung virtueller Realität?

Ehrlich gesagt kenne ich mich mit Computerspielen und den dahinterstehenden Algorithmen nicht aus. Ich vermute aber, dass es dort einerseits um eine gute Optik geht – Simulation von Strahlengängen sowie optischer Eigenschaften von Materialien – sowie andererseits einer Simulation der einfachen Bewegung von festen Körpern – ein Ball fliegt oder hüpfert durch die Szenerie.

Zahlenwerte sind das primäre, objektive Ergebnis unserer HN-Modelle. Diese werden bevorzugt zu »klassischen« zweidimensionalen Darstellungen (Zeitreihe, Draufsicht, Seitenansicht usw.) aufbereitet, da diese allgemein bekannt, sehr gut verständlich und außerdem präzise ablesbar sind – was bei perspektivischen Darstellungen oft ein Problem ist. Des Weiteren werden die primären Ergebnisdatsätze physikalisch motiviert weiterverarbeitet. Aufwendige Visualisierungen mit Kamerafahrten

werden nur sehr selten produziert. Dies hat sicher auch damit zu tun, dass die von uns untersuchten Systeme sehr flach sind und damit als dreidimensionale Visualisierung nicht so viel hermachen. Vielleicht bieten in diesem Zusammenhang immersive Techniken in Zukunft neue Möglichkeiten, in die Ergebnisse einzutauchen und sich virtuell an interessante Orte zu begeben. Spannend wäre es zu sehen, was ein Spiele-Programmierer aus unseren Ergebnissen machen würde.

Was würden Sie gern besser können?

Singen, Klavierspielen sowie die Beherrschung mehrerer Fremdsprachen.

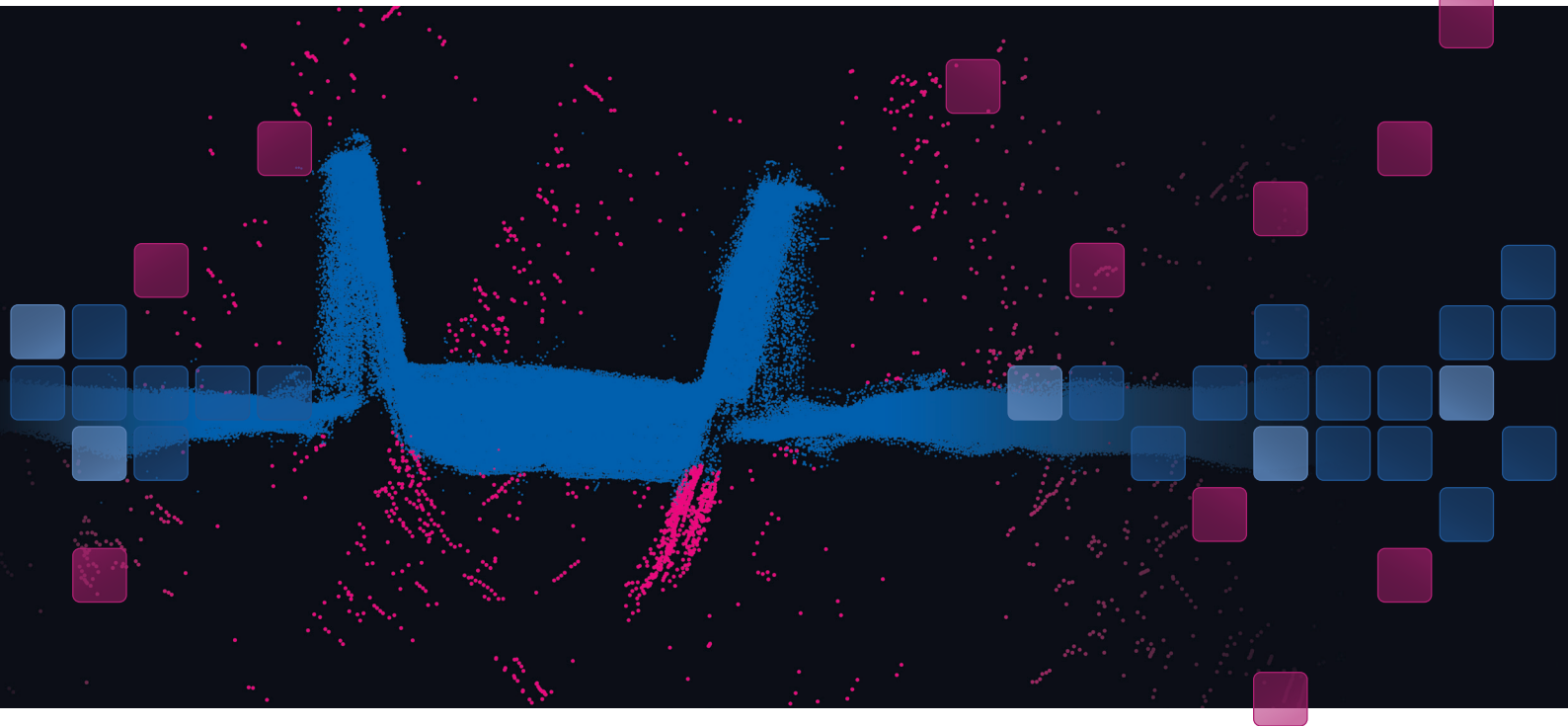
Was wissen Sie, ohne es beweisen zu können?

Ehrlich gesagt: Ich weiß, dass ich fast nichts weiß, was mathematisch sicher nachweisbar wäre. Natürlich lässt sich beweisen, dass gewisse Grundzutaten unserer HN-Modelle gewisse Eigenschaften haben, zum Beispiel dass eine Matrix positiv definit ist, ein CG-Verfahren unter gewissen Bedingungen sicher gegen die (eine) Lösung konvergiert. Aber das Ergebnis einer HN-Modellierung ist Resultat eines komplexen Zusammenspiels von Computer-Hardware, System- und Compiler-Software, dem Simulationsprogramm, einer Vielzahl von Eingangsdaten und schließlich dem Anwender, der für die Simulation verantwortlich ist. Ein Beweis, dass die Simulationsergebnisse im mathematischen Sinne korrekt sind, ist daher schlicht nicht möglich.

Unser Wissen ist schließlich eine kulturelle Errungenschaft, die sich auf dem Gebiet der HN-Modelle und den dahinter stehenden physikalischen, mathematischen und numerischen Grundlagen auf eine Jahrhunderte lange Tradierung von Fakten, Theorien und Regeln stützen kann. Ein guter Bearbeiter und Wissenschaftler darf Ergebnisse von HN-Modellen niemals unreflektiert akzeptieren, sondern muss sie stets kritisch mit seiner eigenen Erfahrung abgleichen. In diesem Zusammenhang möchte ich an zwei Statements des amerikanischen Physikers Richard Feynman erinnern. Erstens: »What I cannot create, I do not understand.« Wir sind also aufgefordert, uns das Wissen so anzueignen, dass wir es mit eigenen Worten wiedergeben können und nicht einfach auswendig Gelerntes herunterspulen. Zweitens: »The scientist has a lot of experience with ignorance and doubt and uncertainty, and this experience is of very great importance.« Dieser Satz unterstreicht noch einmal die Rolle des erfahrenen Anwenders beim Gebrauch von HN-Modellen, der über einen fundierten Gesamtüberblick verfügen und einer gewissen Skepsis nicht abgeneigt sein sollte.

Die Erkenntnis, dass alles Wissen immer nur vorläufig ist, ist unabdingbar für weitere Fortschritte. Wer weiß schon, ob in 100 Jahren HN-Modelle, so wie wir sie heute kennen, überhaupt noch eine Rolle spielen werden. Aber zumindest heute sind sie ein nützliches Werkzeug. Ein Ausdruck unseres Wissens und Könnens. //

Introducing CARIS Mira **AI**



Bring the Noise

The Sonar Noise Classifier is a Gamechanger

Powered by the CARIS Mira AI engine and available now in CARIS HIPS and SIPS 11.3.

The Sonar Noise Classifier automatically identifies noise providing significant reductions in manual cleaning and quickly propels data from acquisition to review.

Reduce manual cleaning by up to 10x at an accuracy of 95%.

Try it now with a **FREE 30-Day Trial!**



LEARN MORE about the Sonar Noise Classifier
www.teledynecaris.com/caris-mira/



TELEDYNE CARIS
Everywhereyoulook™

Part of the Teledyne Imaging Group

The NEANIAS project

Bathymetric mapping and processing goes cloud

An article by PAUL WINTERSTELLER, NIKOLAOS FOSKOLOS, CHRISTIAN FERREIRA, KONSTANTINOS KARANTZALOS, DANAI LAMPRIDOU, KALLIOPI BAIKA, JAFAR ANBAR, JOSEP QUINTANA, STERGIOS KOKOROTSIKOS, CLAUDIO PISA and PARASKEVI NOMIKOU

The project Novel EOSC Services for Emerging Atmosphere, Underwater & Space Challenges (NEANIAS) targets Open Science practices, finally deployed through the European Open Science (EOSC) hub. From a technological perspective, NEANIAS aims to deliver innovative thematic services that are flexible and open to accommodate the needs of communities beyond their original definition, and able to adapt to neighbouring cases, fostering reproducibility and reusability. The underwater service UW-Bat, one out of nine thematic services, utilises the open source suite MB-System to realise cloud-based bathymetry mapping and processing. The fast, uncomplicated, web-based and thus platform-independent service allows professionals and amateurs alike to easy access the world of bathymetry.

European Open Science Cloud | EOSC hub | cloud-based service | MB-System | Docker container
European Open Science Cloud | EOSC-Hub | cloudbasierter Dienst | MB-System | Docker-Container

Das Projekt Novel EOSC Services for Emerging Atmosphere, Underwater & Space Challenges (NEANIAS), das Akronym steht für altgriechisch »Junger Mann«, bewirbt die offene und freie Wissenschaft und spielt eine aktive und beispielhafte Rolle in der Umsetzung des European Open Science (EOSC)-Ökosystems. Vom technischen Standpunkt aus betrachtet zielt NEANIAS auf die Veröffentlichung von thematischen Diensten ab, die sich flexibel an die Bedürfnisse der verschiedenen Interessensgemeinschaften anpassen können. Dazu gehört die Möglichkeit zur Adaption und eine Förderung der Reproduktion und Wiederverwendbarkeit, ganz im Sinne einer nachhaltigen Verwendung. Der Unterwasser-Service UW-Bat, einer von insgesamt neun Diensten, benutzt die Open-Source-Suite MB-System, um eine cloudbasierte Prozessierung und Generierung von bathymetrischen Karten zu ermöglichen. Der schnelle, unkomplizierte, webbasierte und damit plattformunabhängige Dienst erlaubt Profis und Amateuren gleichermaßen den Zugang zur Welt der Bathymetrie.

Authors

The authors are part of the NEANIAS team.
Paul Wintersteller (Teledyne and Marum in Bremen), Nikolaos Foskolos (Teledyne Reson in Denmark), Christian Ferreira (Marum in Bremen), Konstantinos Karantzas (NTUA in Athens), Danai Lampridou (NKUA in Athens), Kalliopi Baika (AMU in Marseille), Jafar Anbar (AMU in Marseille), Josep Quintana (Coronis Computing in Girona), Stergios Kokorotsikos (EUNICE in Berlin), Claudio Pisa (GARR in Rome), Paraskevi Nomikou (NKUA in Athens).

paul.wintersteller@teledyne.com

Introduction

The NEANIAS Project

As an EU Research and Innovation Action, NEANIAS (neanias.eu) is a project that comprehensively addresses the »Prototyping New Innovative Services« challenge set out in the »Roadmap for European Open Science Cloud« (EOSC) foreseen actions. It drives the co-design, delivery and integration into EOSC of innovative thematic and core services. While the thematic services are derived from state-of-the-art research assets and practices in three major sectors: underwater, atmospheric and space research, the core services will deliver reusable cross-sector services that are generic yet able to be further exploited and specialised both from internal NEANIAS as well as external, other parties' services. In each sector it engages a diverse set of research and business groups, practices and technologies which will design, develop and validate the services towards a qualified cloud-based solution.

The project started in November 2019 and is funded by the European Union under the Hori-

zon 2020 research and innovation programme, via grant agreement No. 863448. Within NEANIAS, a total of ten work packages (WPs) were defined in order to fulfil the challenge. Every of the 21 partners works in several of the WPs shown in Fig. 1.

A brief overview describes the nine thematic, as well as the core services, respectively the content of WP2, 3, 4 and 6.

The thematic services

Underwater thematic services (Fig. 2)

The Bathymetry Mapping (UW-BAT) from Hydroacoustic Data service will deliver an advanced user-friendly, cloud-based version of the popular open-source software MB-System, utilised for post-processing bathymetry and seafloor backscatter.

The Seafloor Mosaicing (UW-MOS) from Optical Data service aims to provide an operational solution for large area representation (in the order of tens of thousands of images) of the, predominantly flat, seafloor also addressing visibility limitations from the underwater medium.

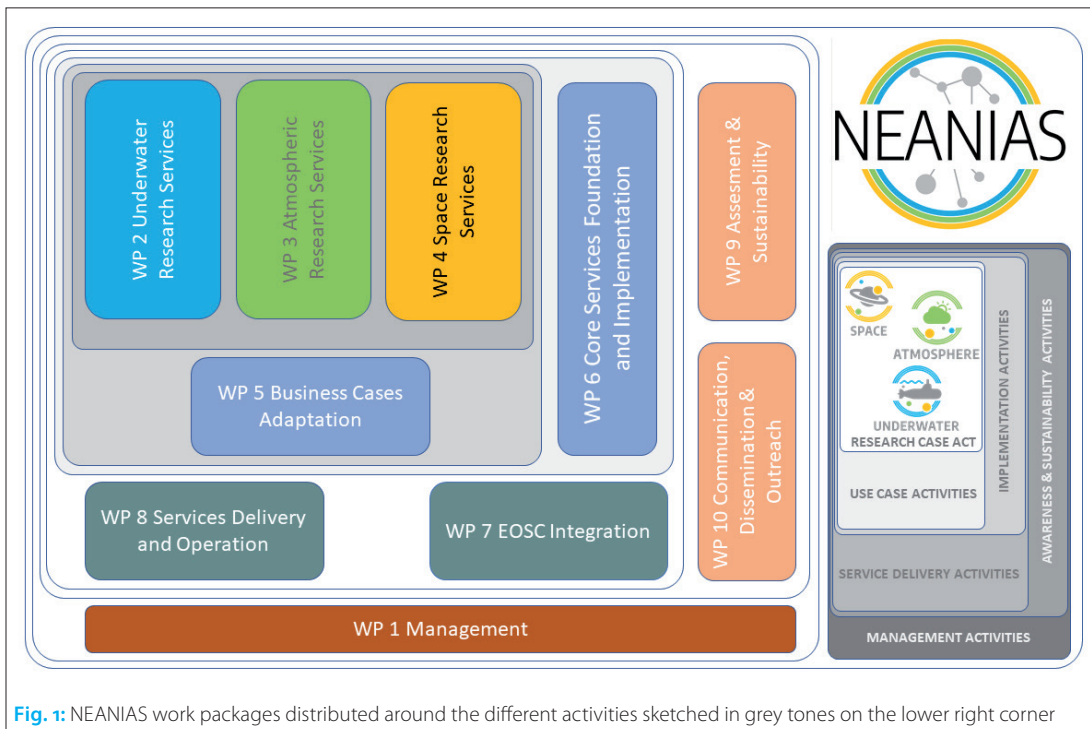


Fig. 1: NEANIAS work packages distributed around the different activities sketched in grey tones on the lower right corner

The Seabed Classification (UW-MM) from Multi-spectral, Multibeam Data service will deliver a user-friendly cloud-based solution integrating cutting-edge machine learning frameworks for mapping several seabed classes, validated for archaeological, geohazards, energy and other applications.

Atmospheric thematic services

The Greenhouse Gases Flux Density Monitoring service will deliver an operational workflow for estimating flux density and fluxes of gases, aerosol, energy from data obtained from specifically set meteorological stations, validated towards standardised, regularised processes.

The Atmospheric Perturbations and Components Monitoring service will perform all required analytics of atmospheric and meteorological data to estimate possible correlations of gaseous and particulate components of the atmosphere with earthquake and volcanic processes.

The Air Quality Estimation, Monitoring and Forecasting service will deliver a novel cloud-based solution providing crucial information and products to a variety of stakeholder in agriculture, urban/city authorities, health, insurance agencies and relative governmental authorities.

Space thematic services

The FAIR Data Management and Visualisation service will provide an advanced operational solution for data management and visualisation service for space FAIR data based on widespread and popular tools like VisIVO, ADN and PlanetServer.

The Map Making and Mosaicing of Multidimensional Space Images service will deliver a user-friendly cloud-based version of the already

existing workflow for map making and mosaicing of multidimensional map images based on open source software such as Unimap and Montage.

The Structure Detection on Large Scape Maps with Machine Learning service will deliver a user-friendly cloud-based solution for innovative structure detection (e.g. compact/extended sources, filaments), extended the popular CAESAR/CuTex tools with machine learning frameworks.

Core reusable services

The Open Science life cycle support service enables on one hand NEANIAS integration with EOSC hub and on the other hand also providers, services and users to publish and locate resources in need (be it data and services) as well to validate data in a machine assisted user-driven manner.

EOSC hub cloud integration service allow other NEANIAS services to integrate with other services and resource providers and consume and share storage, computation, service and data resources.

AI (artificial intelligence) service provides a reusable substrate for machine learning and other

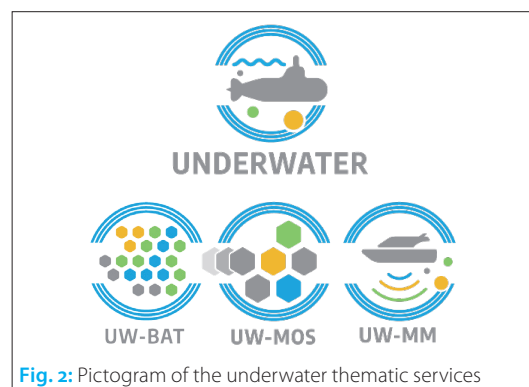


Fig. 2: Pictogram of the underwater thematic services

computational intelligence approaches that allow NEANIAS users and services to provide beyond state-of-the-art solutions to problems raised by research sector cases.

Visualisation service provides a multi-faceted solution to visualisation spanning from 2D/3D spatio-temporal data visualisation to composite 2D/3D visualisation of data of higher dimensionality and to support demanding virtual/augmented reality requirements.

This publication aims to a better understanding of how thematic cloud services in the field of marine geodesy and habitat mapping could be realised and therefore seeks the audience of the hydrographic/hydroacoustic community by focusing on the WP2 underwater service »Bathymetry Mapping« (U1). This service is mainly driven and lead by Teledyne and the University of Bremen/Marum, but with strong support from all underwater services participants regarding validation, evaluation and development towards a common user interface and connectivity between the services. The development of this U1 service would not be possible without the contribution of all the NEANIAS members who cover the fields of e.g. project management, public relation, business models, core and micro service development, and the integration of our thematic services to EOSC hub, as mentioned in [Fig. 1](#).

The bathymetry mapping service

Knowing the depth, shape and type of the seafloor bathymetry and its hydroacoustic backscatter is fundamental for understanding geomorphology and habitats, ocean circulation, tides, tsunami forecasting, fishing resources, sediment transport, bottom currents, environmental change, underwater geohazards, submerged remains of underwater cultural heritage, such as shipwrecks, artefacts and sunken cities, topography of archaeological sites, cable and pipeline routing, mineral extraction, oil and gas exploration and development, infrastructure construction and maintenance and much more.

Therefore, the aim is to provide a user-friendly service to exhibit and post-process bathymetry and seafloor backscatter data sets. Currently available software products like Teledyne Caris Hips & Sips (teledynecaris.com/en/products/hips-and-sips/), QPS Qimera/Fledermaus (qps.nl), EIVA (eiva.com), HYPACK (hypack.com), SonarWiz (chesapeakeketch.com/products/sonarwiz-post-processing), Globe (Poncelet et al. 2020) or MB-System (Caress and Chayes 2017; www.mbari.org/products/research-software/mb-system) require a certain knowledge which is predominantly reserved to hydrographers or researchers in the field of hydroacoustic. The goal is to reach a broader audience of users which are interested in ocean mapping and its tools for several reasons. In the

focus are researchers and students, e.g. archaeologists, geoscientists, biologists, physicists, oceanographers as well as environmental engineers, technicians, renewable energy planners or users working in the field of underwater robotics and/or computer vision/machine learning who like to view and process recorded raw multibeam echo sounder (MBES) data. With respect to the global Seabed 2030 efforts (Mayer et al. 2018) such a service could be of particular interest.

The idea of utilising MB-System for a cloud service that enhances a wider community to create their own bathymetric maps out of raw data sets came up based on a request of the National and Kapodistrian University of Athens (NKUA) and National Technical University of Athens (NTUA). By that time, several engineers and technicians of Marum already contributed code to the open-source software. A member of Marum is currently part of the MB-System core-developer team. Due to changes at institute the lead of the project was transferred to Teledyne Reson A/S in April 2020. Since then, members of the company build the core team around this project with kind support from Marum and the MB-System team.

MB-System is running in-house at the University of Bremen and worldwide in many other institutes and universities, as a bathymetry and backscatter post-processing tool for MBES data sets. It is on a technology readiness level (TRL) 6, has been validated using different data sets from various vendors and is under constant maintenance through the open-source community.

Furthermore, MB-System is capable to realise navigation correction for AUV/ROV recorded bathymetry. This is crucial not just for bathymetry but for other acquired data sets like CTD, photos, videos. Underwater-recorded bathymetry lacks accuracy since GNSS/RTK (Global Navigation Satellite Service/Real-Time Kinematics) information cannot be used directly. Several devices are necessary to accurately steer and position underwater devices like AUV/ROV. Next to GNSS and RTK, which can only be used directly on the sea surface, USBL/LBL (Ultra Short/Long Base Line underwater positioning) and DVL (Doppler Velocity Log) and even the revolutions per minute of the vehicles propellers are taken into account when solving the algorithms for positioning by utilising Kalman filters during acquisition. Still, the uncertainties are large unless the devices are operating very close to the seafloor and are capable to use photo/video information also for navigation decision making processes. This is rather seldom the case.

Nevertheless, due to its numerous software dependencies, MB-System currently requires a certain knowledge of the operating systems (Unix/Linux) and in the command line-based installation and execution of the different packages. On the other hand, utilising MB-System for bathymetric

and backscatter post-processing is a sustainable solution but as a matter of consequence when using command line, it lacks certain (UI driven) workflows and logging of what have been applied to the data. Therefore the user is obliged to document manually which commands he/she has executed. A disadvantage with respect to e.g. lineage metadata for quality standards or confidence levels with respect to the post-processing and common data quality.

User requirements and aim

The user requirements have been initially formed like »user stories« for each service. A user story is an instrument used in agile software development to capture a description of a software feature from an

end-user perspective. The user story describes the type of user, what they want and why. A user story is on a high level and helps to create a simplified description of a requirement. Usually a user story provides in one sentence enough information related to the described product feature, for which the development team can conduct a reasonable workload estimation. Furthermore, the user story is used in planning meetings to enable the development team to design and implement the product features.

A user story typically has a predefined structure: As a <user-type (stakeholder)>, I want to <user-requirement> so that <reason>.

For all underwater services we came across the following, common needs in [Table 1](#).

ID	End-user	User requirement	Reason
R1	All targeted	Upload, store and possibly publish data sets of various formats	To process end-user data with different services and be able to store them and make them available to other users
R2	All targeted	Visualise raw data as well as resulting products and reports	For a first glance, viewing the raw/vendor data (map or mosaic, etc.); inspect and evaluate the results
R3	All targeted	To (pre- or post-)process the raw data and make any required calibration/ corrections (parametrisations)	To correct the data (e.g. image correction, photogrammetrically rectify, sound velocity correct, tide correction, etc.)
R4	All targeted	Utilise high-computing power and ensure high-bandwidth access to the data	To solve demanding (post-)processing tasks operating on large inputs
R5	All targeted	Produce bathymetric maps (digital terrain models), backscatter mosaics, photomosaics, multifrequency-based seabed classification maps and other related products	To perform archaeological, oil and gas, renewable energy, geological, geohazard and insurance related tasks
R6	All targeted	Document the workflow	For quality assurance, traceability, reproducibility and backlogging
R7	All targeted	Export the results in various file formats	Facilitate the exchange of data sets between users
R8	Archaeologist	To produce geospatial products/ maps with adequate precision from interdisciplinary data sets	In order to comprehend archaeological targets in data sets and fulfil archaeological survey requirements
R9	Archaeologist	To have the possibility to review the georeference of a given data set	To be able to understand the exact location of an archaeological target (such as a shipwreck) as data sets are georeferenced differently
R10	Archaeologist	To achieve very high spatial accuracy in the delivered products (e.g. to the millimetre)	In order for the result (mapping, 3D model) to be used as accurate archaeological documentation
R11	Archaeologist	To achieve high quality texture on the delivered products	For reconnaissance purposes: in order to be able to distinguish archaeological targets (shipwrecks from rocks, etc.)
R12	Oil, gas and renewable energy engineer	Classify the seabed type	For the development of the design and installation of submerged tubes and transmission cables, the route design of the transmission cable and the appropriate selection of the submarine cable type
R13	Marine geologist	Classify the seabed type and structure	To assess geohazards and study geological phenomena
R14	Robotics and computer vision engineer	Plan AUV/ROV trajectories	For better AUV/ROV navigation as it is based on GPS, DVL and USBL/LBL information and often not accurate enough to be used right away for bathymetric or photogrammetric post-processing

Table 1: User stories for all underwater services

ID	Priority	Value	Acceptance
R1	High	High	User interface (UI) provides functionalities for uploading/downloading data, relying on a data transfer service
R2	Medium	High	UI provides functionalities to visualise the data and the results
R3	High	High	The UI will support manual processing and apply suitable corrections to the data via graphical tools
R4	High	High	Data will be accessible from physically proximal locations and the developed algorithms will allow when required parallel processing and exploitation of any available GPGPU resources
R5	High	High	Implement thematic services that either as stand-alone or in combination produce the required final products
R6	Medium	High	Provide proper support to the logging, backloging, auditing and accounting functionalities offered by the core services
R7	Low	Medium	Implement data serialisation processes supporting several widely used data formats. Rely on a data transfer service for storing and publishing.
R8	Medium	Medium	Provide detailed reporting and evaluation information to assess the quality of the produced results
R9	Low	Medium	Implement rereference related data inspection and quality assurance mechanisms
R10	Medium	Medium	Provide detailed reporting and evaluation information to assess the quality of the produced results
R11	Medium	Medium	Rely on interactive visualisation methods/services for quality assurance
R12	High	High	The service will be able to produce the classified seabed map
R13	Medium	High	The service will be able to produce the classified sea as well as geomorphological features when appropriate
R14	Medium	Medium	The service will be able to deliver photomosaics which will aid underwater navigation tasks

Table 2: User stories ranked and linked to a level of priority

Then the aforementioned user stories and requirements were linked with a level of priority and value based on end-user recommendations (Table 2). Also, the manner to confirm their acceptance was marked down.

Service specification

The service requirements have initially been arranged according to their type. Five distinct categories have been recognised, more specifically: storage, computing, cloud, functional and quality

Requirement			Ranking	Specifications		
Req #	Requirement	Type of Req (Computing /Storage/ Cloud/ etc.)	Mandatory / Convenient /Optional /	Spec #	Description of the required functionalities, software specification	Addressed by the Underwater Service
R01	Upload, store and possibly publish datasets of various formats	Storage	Mandatory	S01	Interface with suitable Data Transfer NEANIAS/EOSC services for uploading / downloading data to medium / long storage locations through well-known protocols (FTP, WebDAV, etc.) and make data FAIR when applicable	U1, U2, U3
R02	Visualize raw data, resulting products and reports	Functional	Mandatory	S02	Each Underwater service implements task-specific reporting mechanisms	U1, U2, U3
		Functional	Convenient	S03	Interface with NEANIAS visualization services for visualizing raw data and results	U1, U2, U3
R03	To (pre- or post) process the raw data and make any required calibration / corrections	Computing	Convenient	S04	Implement customizable, parametrized pipelines for pre- and post-processing the raw data	U1, U2, U3
		Computing	Optional	S05	Interface with external services for task-specific processing	U1, U2, U3
R04	Utilize high-computing power and ensure high-bandwidth access to the data	Computing	Convenient	S06	Design and develop core services based on parallel computing and/or using GPGPU infrastructure	U1, U2, U3
		Storage	Convenient	S01	Interface with a NEANIAS data storage service for transferring data to a physically proximal location for ensuring high-bandwidth access during processing	U1, U2, U3

Fig. 3: Table with service specifications, partly shown

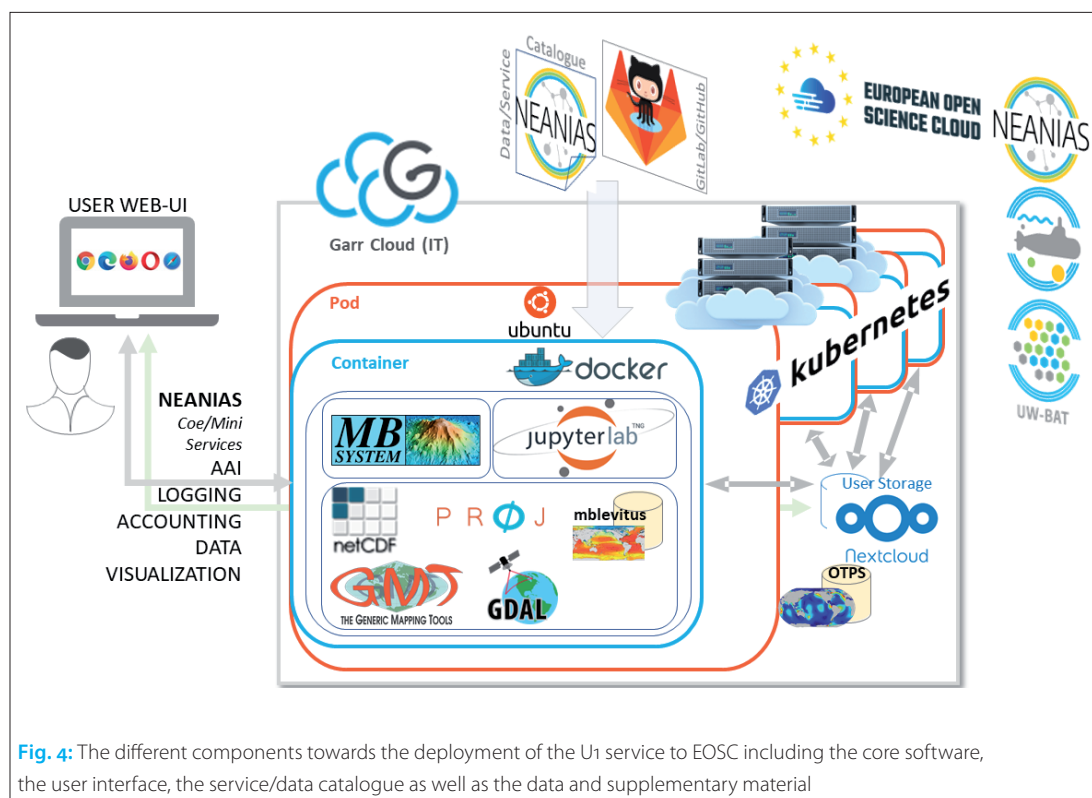


Fig. 4: The different components towards the deployment of the U1 service to EOSC including the core software, the user interface, the service/data catalogue as well as the data and supplementary material

requirements. The first two are related to the access and usage of storage and computing resources by the services. Cloud requirements rely on the features of the cloud infrastructure which will host the service while functional requirements regard specific features to be made available from the services. The quality requirements are necessary for assessing the quality of the services' results.

The table in Fig. 3 exemplarily presents the specifications of the underwater services which have been defined to address the user requirements (Table 1 and Table 2). The table presents the description of each requirement, its type and ranking according to the aspects described above, a detailed description of the specifications which have been defined for satisfying the corresponding requirement and, finally, the underwater services which should respect the specification. The specifications have been ranked as »mandatory«, »convenient« and »optional«.

Software development plan

High flexibility, sustainability by moving fast from development towards testing and production, and accommodating for an enormous level of complexity, when utilising multiple programming languages, frameworks and architectures, are challenges when deploying a cloud service. Therefore, it seems obvious to containerise our services via Docker (docker.com) and manage the deployment on one or different nodes or virtual machines/pods with an orchestrator like Kubernetes (K8s). But a container and its orchestration are not the only thing one needs around the initial

code of the service that does the work the user requests. As according to the user requirements and service specifications several questions were raised: Who will authorise a user to use the service, allow upload and download data, provide (common) graphical user interfaces (GUI), visualise results, manage a user's workflow, enable sharing of results? And how to find the service and its documentation in the world wide web? Fig. 4 presents the different software components and modules currently utilised or developed and validated for the U1 service. This approach reflects a similar deployment architecture of all underwater services. In general, the software and service development cycle of the underwater services will closely observe the recommendations and guidelines developed in the context of WP 7 and 8 (Service delivery and EOSC integration). Moreover, the core and micro services development and implementation (WP 6) will foster the service usability and TRL towards 8.

The scheme shown in Fig. 4 visualises a Docker container deployed on a virtual machine in the GARR cloud. The latter is an OpenStack and Kubernetes based cloud infrastructure in Italy, built and maintained by Consortium GARR. Kubernetes is responsible for spawning one to many Docker containers (on one or several virtual machines/pods) based on one or multiple user requests. Several core and mini services will aid with respect to authorisation, logging, accounting, visualising or simply up- and download data to a Nextcloud storage connected to the Docker container. Once the container is set up, the user is able to access MB-

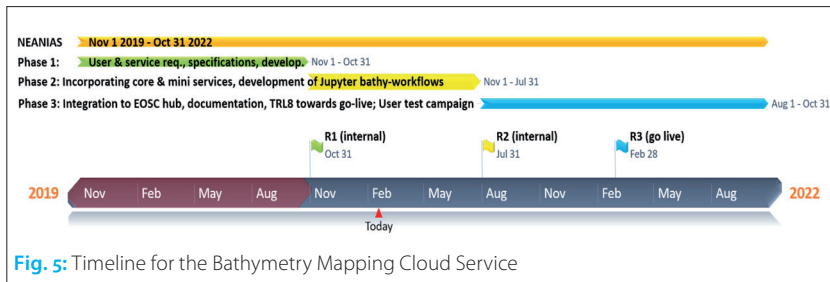


Fig. 5: Timeline for the Bathymetry Mapping Cloud Service

System through a browser-based and launched JupyterLab. All dependencies of MB-System and the Jupyter-workflow were installed previously in a Docker image. The sources are stored in GitLab/GitHub.

The expected timeline for the release of the U1 service is shown in Fig. 5.

First results and conclusions at the time

This article summarises and contextualises the NEANIAS and in particular the underwater team efforts within the first year of the project by defining the services requirements of the end-users. These requirements have been identified and assessed to set the co-design and service specifications for the software development plan on the three innovative thematic EOSC service branches that NEANIAS will implement, co-aligned to its developed core and mini services.

These requirements in the scientific analysis are fundamental regardless of the individual objectives of each research and underwater survey: From ocean circulation to environmental issues and underwater geohazards to the promotion of underwater cultural heritage to cable and pipe routing and oil and gas exploration, all user-end communities share the same or equivalent requirements from the NEANIAS underwater software services.

In many aspects, this means that the NEANIAS EOSC services, currently under implementation, have the potential of being useful, if not indispensable, to a great majority of the scientific underwater community internationally, regardless of different scientific goals and approaches for specific final results and products. Underwater archaeologists, marine geologists, environmental scientists and energy developers share common requirements regarding the services to be developed, as the analysis of the user requirements revealed. Therefore, through this task we were able to reach one of the goals of our work and demonstrate the applicability of the new cross-cutting services for diverse user-communities.

However, where some case studies showed discrepancies in requirements, we aimed at a unified approach in order to co-design services reflecting the broader needs. At the same time, we also tried to address specific needs and products, through personalised use of the services, when this is possible.

The future steps are already defined by the description of the required functionality and the corresponding software development plan needed for each service, as well as the detailed allocation of tasks. The next steps continue with the work towards the first release of the services, followed by the first evaluation and assessment by the end-user community and the external advisors.

It is a great advantage that the end-user's partners of NEANIAS are providing unpublished new databases, namely data from underwater archaeological research, environmental and marine surveys, as well as big development projects of the renewable energy companies. All new data sets will provide a first valuable feedback in the first release of the NEANIAS innovative services, that is the next step of our project. //

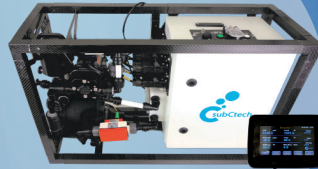
References

- Poncelet, Cyrille; Gael Billant; Marie-Paule Corre (2020): Globe (Global Oceanographic Bathymetry Explorer) Software. SEANOE, DOI: 10.17882/70460
- Caress, David W.; Dale N. Chayes (2017): MB-System Seafloor Mapping Software. www.mbari.org/products/research-software/mb-system
- Klischies, Meike; Marcel Rothenbeck et al. (2018): AUV Abyss workflow: autonomous deep sea exploration for ocean research. IEEE/OES Autonomous Underwater Vehicle Workshop (AUV), DOI: 10.1109/AUV.2018.8729722
- Mayer Larry; Martin Jakobsson et al. (2018): The Nippon Foundation—GEBCO Seabed 2030 Project: The Quest to See the World's Oceans Completely Mapped by 2030. Geosciences, DOI: 10.3390/geosciences8020063
- Schmidt, Val; Dale N. Chayes; David W. Caress (initial release 2004): The MB-System Cookbook; www3.mbari.org/data/mbsystem/mbookbook.pdf

Ocean Monitoring



OceanPack™
Underway

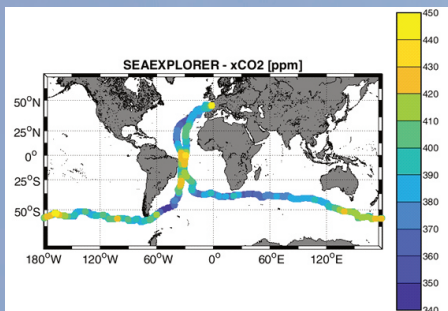


RACE

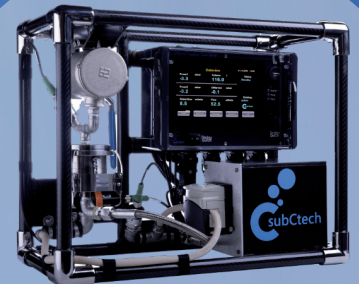


pCO₂ / Greenhouse Gas
Analyzer

pCO₂ data



Round the World



Sampler for
Microplastic &
Plankton

Monitoring for GHG, pCO₂, Analyzer & Sampler

Modular, easy to use and reliable monitoring systems.

Water quality monitoring for: profiling, underway
and mooring

Den Wandel im Watt mit Satelliten im Blick

Untersuchung der Morphodynamik im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer durch Satellitendatenanalyse von Prielverläufen und Sedimentklassifizierungen

Ein Beitrag von KERSTIN STELZER, MARTIN GADE und HANS-CHRISTIAN REIMERS

Die Anwendbarkeit der Fernerkundung im Küstenbereich ist vielfältig. Optische Sensoren und Radarsensoren können verwendet werden, um für das Wattenmeer und zum Thema Küstenmorphologie Informationen zu generieren. Die Analyseverfahren und Informationsprodukte wurden gemeinsam von Behördenvertretern und Fernerkundungsexperten in langjähriger Zusammenarbeit entwickelt.

Fernerkundung | Wattenmeer | Prielverlagerung | Sedimentverteilung | Sentinel-Satelliten
remote sensing | Wadden Sea | tideway shift | sediment distribution | Sentinel satellites

The applicability of remote sensing in coastal areas is manifold. Optical and radar sensors can be used to generate information for the Wadden Sea and on the topic of coastal morphology. The analysis methods and information products have been developed jointly by representatives of the authorities and remote sensing experts in many years of cooperation.

Autoren

Kerstin Stelzer leitet die Abteilung Geoinformation Services bei der Brockmann Consult GmbH in Hamburg. Dr. Martin Gade ist als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Hamburg Spezialist für Küstenfernerkundung mit Radarsensoren. Dr. Hans-Christian Reimers ist stellvertretender Dezer-natsleiter Küstengewässer beim Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein in Kiel.

kerstin.stelzer@brockmann-consult.de

Hintergrund und Zielsetzung

Die Watten der Deutschen Bucht reichen mit ihren ca. 8000 km² von Esbjerg in Dänemark bis nach Den Helder in den Niederlanden. Ungefähr 4500 km² dieses hochdynamischen Lebensraumes mit gleichermaßen großer Bedeutung für den Menschen und für diverse marine Lebensgemeinschaften entfallen auf den deutschen Teil. Die Naturvorgänge, welche die Erosion und Sedimentation im Küstenvorfeld steuern, unterliegen dynamischen Veränderungen und werden in starkem Maße vom Klimawandel beeinflusst. Hier reichen diskrete Messungen und lokale Probenahmen nicht mehr aus, um ein umfassendes Systemverständnis zu entwickeln, und immer stärker wird der Bedarf an räumlich und zeitlich hochauflösenden und zugleich flächendeckenden Erfassungsmethoden deutlich. Dies zeichnet sich nicht nur für die vorrangigen Aufgaben im Küstenschutz ab, auch die europäischen Richtlinien zum Schutz der Küsten- und Meeresgewässer (N2000, WRR und MSRL) sowie die Wattenmeerstrategie 2100 setzen zunehmend auf neue Methoden zur quasi-synoptischen Erfassung.

Im Wattenmeer spiegeln sich dynamische Prozesse besonders deutlich in morphologischen und sedimentologischen Veränderungen der Prielver-

läufe und deren Ausprägung wider. Um grundlegende Veränderungen und Trends identifizieren zu können, wird es immer wichtiger, ganze Einzugsgebiete bzw. Tidebecken zeitgleich erfassen zu können. Hierbei bietet die satellitengestützte Fernerkundung ein ideales Hilfsmittel, um hydro-morphologische und ökologische Veränderungen in ausreichender Auflösung zu detektieren.

Erst ein umfassendes Systemverständnis der dynamischen Veränderungen ermöglicht es, den Einfluss und die Auswirkungen menschlicher Aktivitäten sowohl vor Ort als auch großräumig besser beurteilen zu können. Um dies zu erreichen, greifen nationale und internationale Regelungen wie die oben genannten immer stärker ineinander.

Methodik

Die Entwicklung der satellitengestützten Fernerkundung hat einen Stand erreicht, mit dem es möglich ist, sowohl die räumlichen Strukturen von Wattflächen und Wasser als auch der Sedimentverteilung oder Vorkommen von Seegraswiesen zu erfassen (Müller et al. 2016). Hierfür liefern sowohl optische Sensoren als auch die Radartechnik Informationen. Optische Sensoren messen das reflektierte Sonnenlicht in verschiedenen Spek-

tralbereichen und bilden somit die optischen Eigenschaften der verschiedenen Oberflächen ab, was wiederum für die Identifikation der verschiedenen Habitats nutzbar ist. Radarsensoren senden Mikrowellensignale aus und messen deren Rückstreuung, die wiederum von den Oberflächeneigenschaften wie Rauigkeit und elektrischer Leitfähigkeit abhängt.

Die Ableitung von Informationen über Wasserflächen oder Wattflächen aus den am Satelliten gemessenen Signalen beider Systeme erfordert eine Abfolge von bestimmten Prozessierungsschritten. Bei den optischen Daten werden nach Ausmaskierung nicht verwendbarer Pixel (z. B. Wolken) eine Atmosphärenkorrektur angewendet, verschiedene spektrale Indizes berechnet und eine spektrale Entmischung für die verschiedenen Sedimenttypen vorgenommen. Diese Informationen werden in einem Klassifikator zu verschiedenen Sedimentklassen, Wasser, Vegetationsbewuchs und Muschel- und Schillbänke klassifiziert (Müller et al. 2016). Zur Bestimmung der Sedimentverteilung werden mehrere Aufnahmen kombiniert, um den Einfluss von Wetterbedingungen während einzelner Aufnahmen zu reduzieren. Für die Bestimmung von Prielrändern werden zusätzlich räumliche Maße (Gradienten zu Nachbarpixeln) berücksichtigt.

Durch die Unabhängigkeit der Radartechnik von der Wolkenbedeckung können deutlich mehr Aufnahmen für eine Analyse verwendet werden als dies bei optischen Daten der Fall ist. Aus den Radardaten werden nach Kalibrierung und Reduktion des Rauschens multi-temporale Statistiken von einer Vielzahl von Niedrigwasseraufnahmen generiert. Prielränder sind dabei durch eine vorwiegend höhere Radarrückstreuung charakterisiert, da sie aufgrund des lokalen Geländeprofiles und der Sedimenteigenschaften in der Regel mehr Signal zum Sensor zurückstreuen (Gade und Melchionna 2016; Gade et al. 2018).

In verschiedenen Vorhaben wurden zumeist frei verfügbare Daten der Satelliten Landsat (5, 7, 8) und Sentinel-2 (Optik) sowie ERS, ENVISAT und Sentinel-1 (Radar) verwendet. Die älteste Sedimentklassifikation aus optischen Daten stammt von 1987 (Landsat-5), die von Radardaten aus 1992 (ERS-1). Die Datenlage hat sich mit dem Start der Sentinel-Satelliten (2014 bis 2017) deutlich verbessert und somit auch die operationelle Verwendung von Informationen aus Satellitendaten für Monitoringaufgaben attraktiver gemacht.

Die Analyseverfahren für Fernerkundungsdaten beider Systeme wurden seit den frühen 2000er-Jahren in mehreren nationalen Projekten – OFEW (Operationalisierung der Fernerkundung für das Wattenmeermonitoring), DeMarine, SedWatt – entwickelt, und die generierten Informationen, insbesondere über die Sedimentverteilung der eulitoralischen Wattflächen, werden bereits für die

Berichterstattung der Wasserrahmenrichtlinie verwendet. Im gerade abgeschlossenen, von der Europäischen Weltraumagentur (ESA) geförderten Projekt »Space for Shore« lag der Schwerpunkt auf der Erfassung von Prielverläufen und Küstenlinien sowie auf Unterwasserstrukturen, wodurch auch Informationen über das Küstenvorfeld und dessen Dynamik generiert werden konnten.

Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen eine über die Jahre anhaltende hohe Veränderlichkeit bzw. Dynamik der Prielverläufe, deren Verlagerung sich unmittelbar auf die Sedimentverteilung und damit auf das Sedimentations- und Erosionsgeschehen in ihren Randbereichen auswirkt. Dies belegen die mit sehr umfangreichen Vor-Ort-Beprobungen verifizierten Sedimentklassifizierungskarten.

Die Veränderungen der Wesselburener Wattflächen zwischen 2002 und 2019 (Abb. 1, zur geographischen Lage vgl. Abb. 4) zeigen eine deutliche Dynamik in den Außenbereichen und Verschiebungen von Prielsystemen. Die Änderungen sind sehr gut in optischen Daten (Abb. 1, oben) sowie in Aufnahmen mit Radarsystemen (Abb. 1, unten) zu erkennen.

Die Überlagerung der aus den Satellitendaten extrahierten Wattflächen von 2002 und 2019 zeigt im direkten Vergleich, wo sich deutliche Verände-

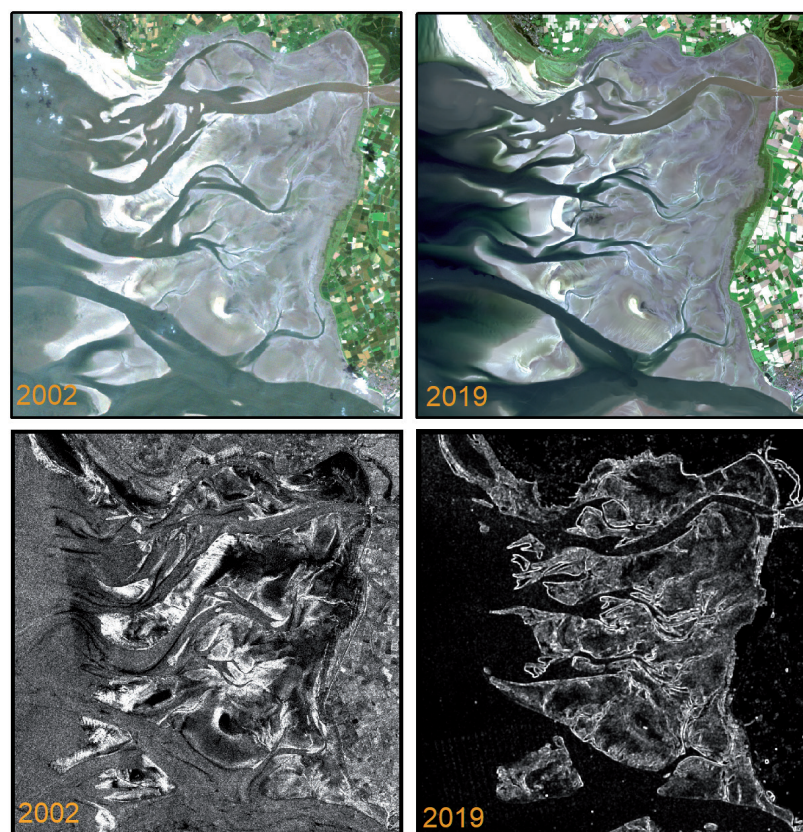


Abb. 1: Aufnahmen von 2002 (links) und 2019 (rechts) des Wesselburener Watts
Oben: optische Daten Landsat-7 und Sentinel-2;
unten: Radardaten von ERS-1 und Sentinel-1

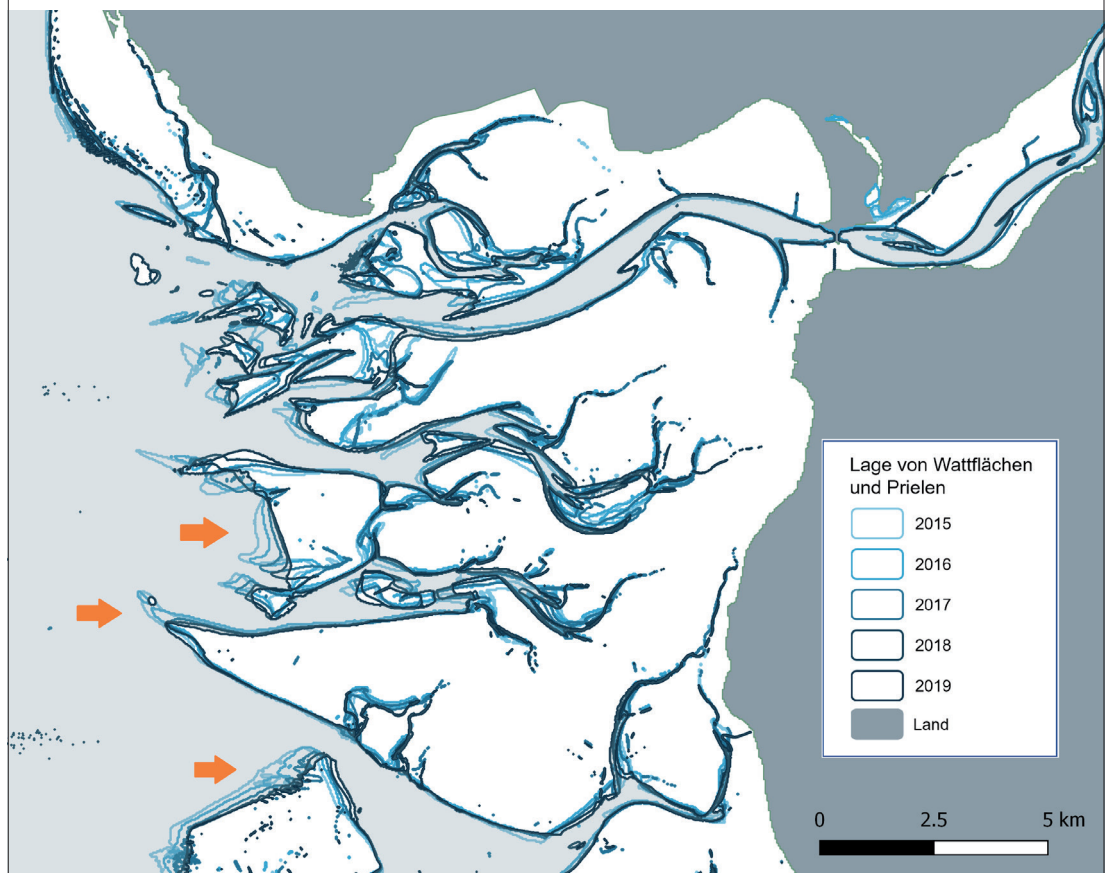
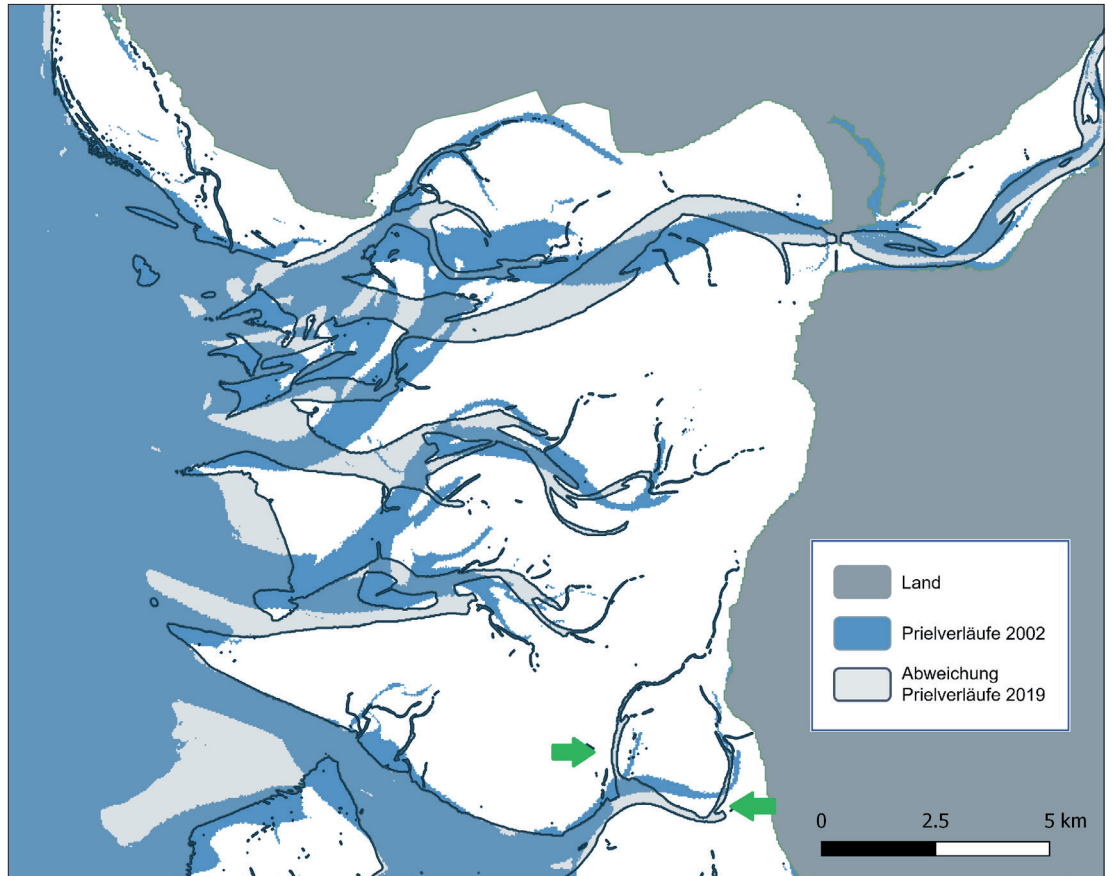


Abb. 2: Verlagerung von Wattflächen im Wesselburener Watt.
 Oben: im Zeitraum von 2002 bis 2019;
 unten: im Zeitraum von 2015 bis 2019

rungen ergeben haben (Abb. 2, oben). Neben den Außenbereichen haben sich die großen Prielsysteme verschoben, und auch der Verlauf des küstennahen Priels Ossengoot (grüne Pfeile) hat sich verschoben. Die Veränderungen der letzten Jahre sind im unteren Teil der Abb. 2 dargestellt. Es wird deutlich, wie sich insbesondere die Außenbereiche weiter Richtung Küste verlagern mit leichter NW-SO-Tendenz (orangene Pfeile).

Radardaten sind in der Lage, die räumliche Position der Wattflächen über einen langen Zeitraum und aufgrund der Wolkenunabhängigkeit mit höherer zeitlicher Auflösung zu liefern. Dabei zeigt die statistische Auswertung mehrerer Aufnahmen eines Jahres in roter Färbung die mittleren Kanten zwischen Wattflächen und Priele (Abb. 3). In Kombination mit optischen Daten liegt somit eine breite Datenbasis vor.

Durch die großräumige und flächendeckende Abbildung trockengefallener Wattflächen durch Satellitendaten können Sedimentverteilungen im gesamten Wattenmeer dargestellt werden. Abb. 4 zeigt auf der linken Seite die Sedimentverteilung des Schleswig-Hosteinischen Wattenmeeres, wäh-

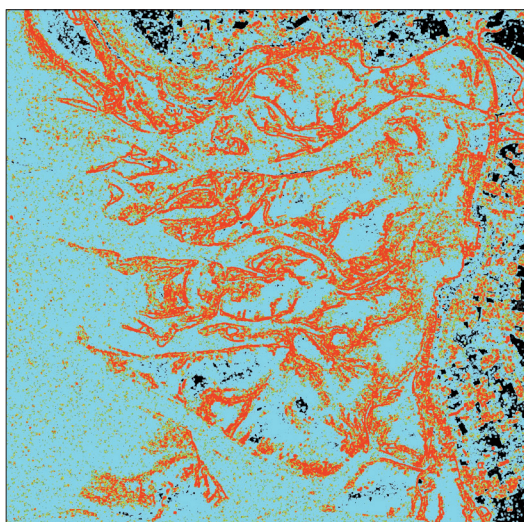


Abb. 3: Wattflächen und Priele generiert aus Radaraufnahmen der Sentinel-1-Satelliten von 2019

rend die kleinen Karten rechts die Sedimentverteilung des Wesselburener Watts in den Jahren 2002 und 2014/2016 gegenüberstellen. Man beachte, dass gröbere Sedimente vor allem in den Außen-

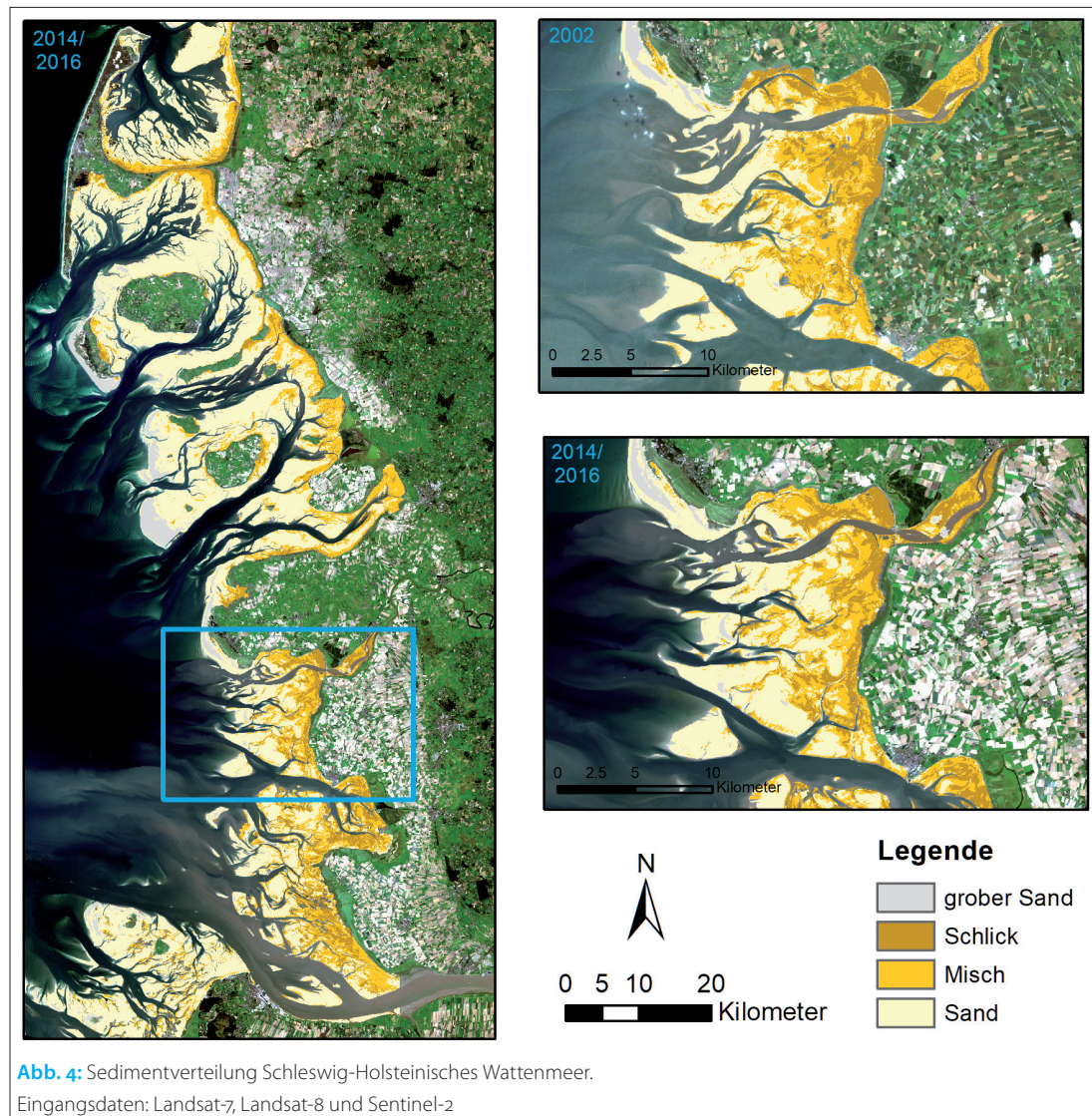


Abb. 4: Sedimentverteilung Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer. Eingangsdaten: Landsat-7, Landsat-8 und Sentinel-2

bereichen zu finden sind (helle Farben), während feinkörnige Sedimente in küstennahen Bereichen vorherrschen (dunkle Farben).

Nicht nur die eulitoralischen Bereiche des Wattenmeeres sind erfassbar, sondern auch sublitoral sind Strukturen erfassbar und durch Bearbeitung

verschiedener Aufnahmezeitpunkte für morphodynamische Analysen nutzbar (Abb. 5).

Diskussion und Ausblick

Die gemeinsam von Firmen, Universitäten und Anwendern entwickelten Methoden werden teilweise bereits von den Landesbehörden für verschiedene Aufgaben operationell eingesetzt. So wurden die sedimentologischen und hydromorphologischen Veränderungen im Wattenmeer im 2. und 3. Bewirtschaftungsplan der WRRL bereits mit den auf die OFEW-Methode zurückzuführenden Verfahren bewertet.

Die aktuellen Untersuchungen im Projekt »Space for Shore« bestätigen, dass sich Fernerkundungsdaten für die sedimentologische Beurteilung großräumiger und hochdynamischer Prozesse im deutschen Watt besonders gut eignen. Kleinräumige, lokale Veränderungen lassen sich aufgrund der zu geringen Auflösung frei verfügbarer Satellitendaten für diese Aufgabe derzeit noch nicht erfassen. Sie können aber bereits jetzt unterstützend für die Planung von Maßnahmen im Küstenschutz und zur Abschätzung von Folgen des Klimawandels herangezogen werden. Für gezielte Untersuchungen von kleinräumigen lokalen Veränderungen ist der Einsatz von höher aufgelösten optischen Daten und Radardaten notwendig. Diese kostenpflichtigen Daten haben eine Auflösung im Meterbereich und darunter. Die oben beschriebenen gewonnenen Informationen können unterstützend für die Planung von Maßnahmen im Küstenschutz herangezogen werden. Mit einer quantitativen Auswertung der morphodynamischen und sedimentologischen Veränderungen wird es zukünftig möglich sein, konkrete Angaben über kurzfristige und langfristige Erosionstendenzen zu liefern. //

Literatur

- Gade, Martin; Sabrina Melchionna (2016): Joint Use of Multiple Synthetic Aperture Radar imagery for the detection of bivalve beds and morphological changes on intertidal flats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, DOI: 10.1016/j.ecss.2016.01.025
- Gade, Martin; Wensheng Wang; Linnea Kemme (2018): On the imaging of exposed intertidal flats by single- and dual-co-polarization Synthetic Aperture Radar. *Remote Sensing of Environment*, DOI: 10.1016/j.rse.2017.12.004
- Müller, Gabriele; Kerstin Stelzer et al. (2016): Remotely sensing the German Wadden Sea – a new approach to address national and international environmental legislation. *Environmental Monitoring and Assessment*, DOI: 10.1007/s10661-016-5591-x

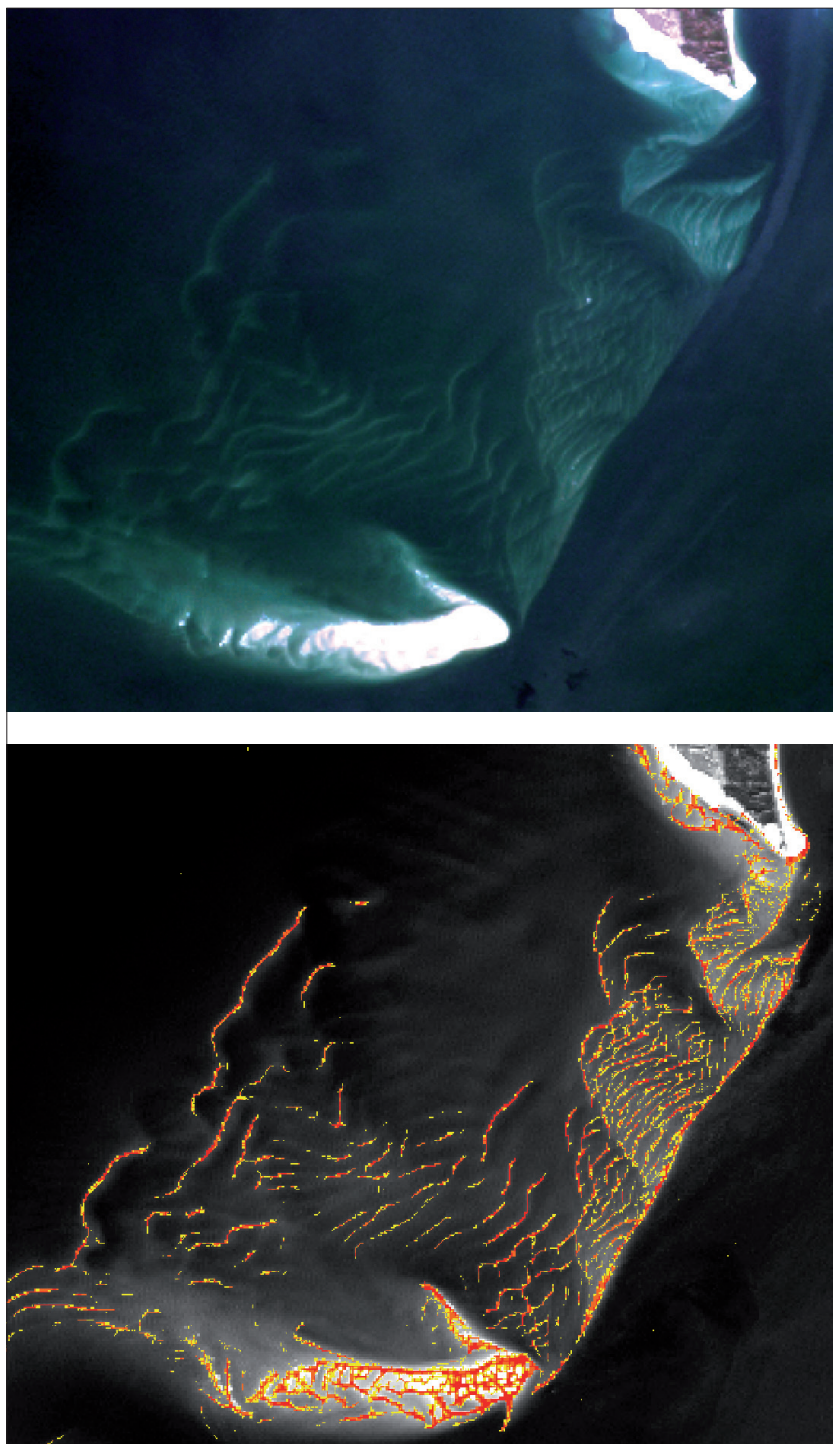
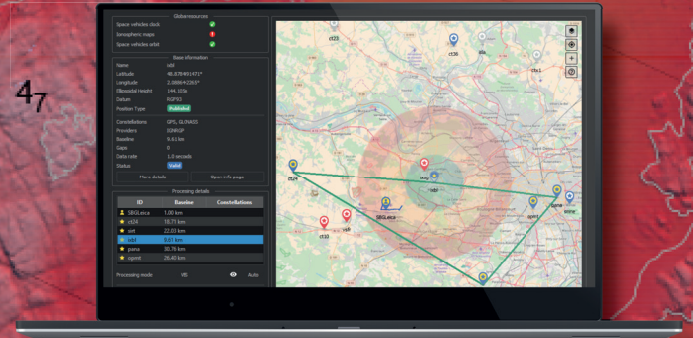
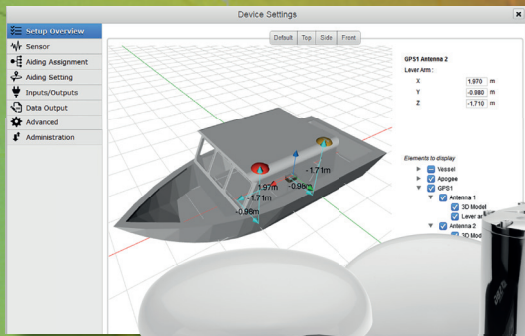


Abb. 5: Unterwassersandbänke südlich von Sylt auf einer Sentinel-2-Aufnahme (oben) und extrahierte Sandrücken aus verschiedenen Aufnahmen (unten). Rote Bereiche weisen auf eine hohe Lagestabilität hin, gelbe Bereiche zeigen eine höhere Dynamik an

Making Hydrographers' Tasks Easier

Courtesy of CADDEN



Navsight Marine Solution

State-of-the-art Motion
& Navigation Solution

Qinertia

The Next Generation INS/GNSS
Post-processing Software

OFFICIAL DISTRIBUTOR

MacArtney
UNDERWATER TECHNOLOGY

MacArtney Germany GmbH

Wischhofstrasse 1-3
Geb. 11
D-24148 Kiel
Germany

Phone: +49 431 535500 70
Email: hydro@macartney.com
Web: www.macartney.de



Der blaue Planet im Wandel

Das Klima mittels modernster Messstrategien deuten

Ein Beitrag von STEFAN MARX

Achtzig Tage lang hat Boris Herrmann mit seiner Rennjacht während der Vendée Globe Ozeandaten aufgezeichnet. Er ist nicht der Einzige, der im Rahmen der Initiative »Sailing meets Science« wichtige Daten für die Meeresforschung sammelt. Aufgezeichnet werden die Daten mit einem kompakten und robusten Ozeanlabor.

Ozeanüberwachung | Temperatur | Salzgehalt | CO₂ | OceanPack RACE | Open-Access-Daten
ocean monitoring | temperature | salinity | CO₂ | OceanPack RACE | open access data

For eighty days, Boris Herrmann recorded ocean data with his racing yacht during the Vendée Globe. He is not the only one collecting important data for marine research as part of the »Sailing meets Science« initiative. The data is recorded with a compact and robust ocean laboratory.

Autor

Stefan Marx ist
Geschäftsführer der
SubCtech GmbH in Kiel.

marx@subctech.com

Einleitung

Wissenschaftliche Daten der Weltozeane sind für die Deutung des Klimawandels unerlässlich, denn die Ozeane machen fast 70 % der Erdoberfläche aus. Es gibt jedoch weite Regionen in den Weltmeeren, für die bisher kaum, teilweise sogar keine Messungen vorliegen. Mit fehlenden Werten und Randbedingungen können Modellrechnungen jedoch oft unterschiedliche Auswirkungen zeigen. Das Fehlen der Daten ist auf zwei Gründe zurückzuführen: der Schiffsverkehr in diesen fernen Regionen, z. B. im Südpolarmeer, ist relativ gering; die wenigen Schiffe, die dort verkehren, sind häufig nicht mit wissenschaftlichem Mess-equipment ausgestattet. Dabei gibt es solches Equipment, das wissenschaftliche Daten in höchster Qualität aufzeichnen kann. Seit 2010 setzt die Firma SubCtech entsprechende Systeme auf, die einfach zu handhaben und zudem wartungsarm sind und auf Schiffen jeglicher Größe installiert werden können.

Besonders robuste und autonome Überwachungs- und Probenentnahmesysteme können dort eingesetzt werden, wo Menschen kaum eingreifen können oder überhaupt nicht anwesend sein können – dies betrifft insbesondere arktische und antarktische Regionen wie das gesamte Südpolarmeer. Das Programm »Sailing meets Science« hat bewiesen, dass eine Überwachung des Ozeans mit entsprechender Technologie unter extremen Bedingungen mit wissenschaftlich verwertbaren Daten möglich ist.

Jüngst hat Boris Herrmann seine Rennjacht *Sea-explorer* (Abb. 1) beim Vendée Globe Ocean Race alleine, ohne Zwischenstopp um die Welt gefahren und gleichzeitig einen sehr wichtigen und außergewöhnlichen Beitrag für die wissenschaftliche Gemeinschaft geliefert. Während des kompletten

Rennens über 80 Tage wurden erstmals Messdaten lückenlos und qualifiziert über das an Bord installierte OceanPack RACE-System (Abb. 1) erfasst und in Echtzeit zur Auswertung übermittelt.

IOC-UNESCO – Ozeanforschung für nachhaltige Entwicklung

Mit dem Jahr 2021 beginnt die Dekade der Ozeanforschung für nachhaltige Entwicklung, welche unter der Schirmherrschaft der IOC-UNESCO steht. Die wissenschaftliche Bedeutung für die Entwicklung des Klimas der Erde, aber auch die Einbeziehung der Weltbevölkerung stehen dabei im Fokus.

Die Ozeane sind alleine durch ihre Größe wichtigste Senke oder auch Quelle für anthropogenes Kohlendioxid (CO₂). Die Ozeane haben seit Beginn der industriellen Revolution fast 50 % des gesamten vom Menschen verursachten CO₂ als Senke aufgenommen.

Darüber hinaus gelangen jährlich schätzungsweise 8 Millionen Tonnen Kunststoff in die Ozeane, und nur bei ca. 1 % dieser Menge kann der Transport überhaupt nachvollzogen werden. Nur ca. 1 % dieses Kunststoffs befindet sich wahrscheinlich auf der Oberfläche des Ozeans. Diese Zahlen sind nur Schätzungen, die aus verfügbaren (aber unvollständigen) Daten abgeleitet wurden. Modelle und Vorhersagen hängen stark von präzisen und häufigen Messungen repräsentativer Gebiete der Ozeane ab. Dies gilt insbesondere für das abgelegene Südpolarmeer, das in wissenschaftlichen Beobachtungsversuchen unterrepräsentiert ist.

Jacht-Rennen wie die Vendée Globe, das Barcelona Ocean Race oder The Ocean Race (ehemals Volvo Ocean Race) finden fast jedes Jahr mit Routenführungen durch das Südpolarmeer statt. Im Rahmen der Initiative »Sailing meets Science« sind

vermehrt Teilnehmer im Auftrag der Wissenschaft dabei und verfolgen neben dem eigentlichen Rennen auch das Ziel, wichtige wissenschaftliche Daten zu sammeln. SubCtech hat ein kompaktes, robustes und leichtes Ocean Data Acquisition System (ODAS) entwickelt, das speziell für die extrem rauen Bedingungen an Bord von Rennjachten unter Beibehaltung der Datenqualität designt wurde. Mit nur minimaler Wartung, wenig Platzbedarf, geringem Gewicht und Energiebedarf können diese Messgeräte 24/7 betrieben werden. Mit dem Start des Programms im Jahr 2009 steht inzwischen die hochoptimierte sechste Generation des OceanPack RACE zur Verfügung.

Je nach Aufgabenstellung kann eine große Anzahl von Sensoren gewählt werden, wie z.B. für Leitfähigkeit, Temperatur, Salzgehalt, Greenhouse-Gase wie CO₂ oder Methan, pH, Sauerstoffkonzentration, Algen und Nährstoffgehalt. Das System kann auch mit externen Geräten wie einer genormten Wetterstation oder einem Probenehmer für Mikroplastik oder Plankton erweitert werden. Mit diesem innovativen Messsystem ist die Überwachung und Erkennung von Ereignissen nicht nur auf kleinen Booten möglich, sondern auch in abgelegenen Gebieten und unter extremen Bedingungen mit einem hohen Maß an Autonomie und Präzision.

Die gesammelten ozeanografischen oder meteorologischen Daten fließen nach Qualifizierung der beteiligten Institutionen in wissenschaftliche Datenbanken wie SOCAT, GOSUD oder CORIOLIS ein.

Die RACE-Technologie basiert auf den OceanPack-Systemen für Forschungsschiffe (auch als

FerryBox bekannt). Das mobile Ozeanlabor wurde dazu hochoptimiert:

- Für die Mechanik wird Kohlefaser verwendet und an die spezielle Umgebung einer Rennjacht angepasst.
- Zur Datenerfassung werden extrem robuste Control-Boards aus der Unterwasserfahrzeug-Produktion verwendet, die auf Schock und Vibration getestet sind.
- Die Stromversorgung wird stabilisiert, damit auch größere Störungen z. B. der 24-V-Hydraulik nicht die Messungen beeinflussen.
- Alle Bauteile, Stecker und Kabel sind bei geringem Gewicht und kleiner Baugröße für den Einsatz geprüft.
- Zur automatischen Kalibrierung und Qualifizierung der CO₂-Messungen wird wie bei den Forschungsschiffen eine Gasflasche mit einem Referenzgas mitgeführt, aber reduziert auf die absolut notwendige Größe.
- Zusätzliche Schnittstellen sowohl der Wasserversorgung, der Datenschnittstellen als auch der Stromversorgung gestatten eine exakt passende Konfiguration und Ausstattung der Messgeräte für das jeweilige Projekt.

Infolgedessen sind die Daten auch unter ungünstigsten Bedingungen von höchster Qualität. So konnte z. B. der Zusammenstoß von Boris Herrmanns Jacht mit einem Fischtrawler nicht in den Daten nachgewiesen werden.

Die OceanPack RACE-Systeme zeichnen sich durch Benutzerfreundlichkeit und Robustheit, Modularität sowie Portabilität aus. In Kombination mit einer automatischen Reinigungseinheit für größe-



© Boris Herrmann / Seaexplorer - YC de Monaco #VG2020

Abb. 1: Die Seaexplorer und das OceanPack RACE

re Fahrzeuge können die Systeme für Langzeitaufzeichnungen autonom betrieben werden.

Zur Ausrüstung von wissenschaftlichen Missionen gehört auch eine professionelle Betreuung, angefangen von der Planung, über die Produktion und die Installation an Bord, bis hin zur Betreuung während der Mission und danach. Ein erfahrenes Team von Wissenschaftler:innen, Ingenieur:innen und Techniker:innen ermöglicht solche Missionen auch in den herausfordernden Zeiten einer Covid-19-Pandemie.

»A race we must win«

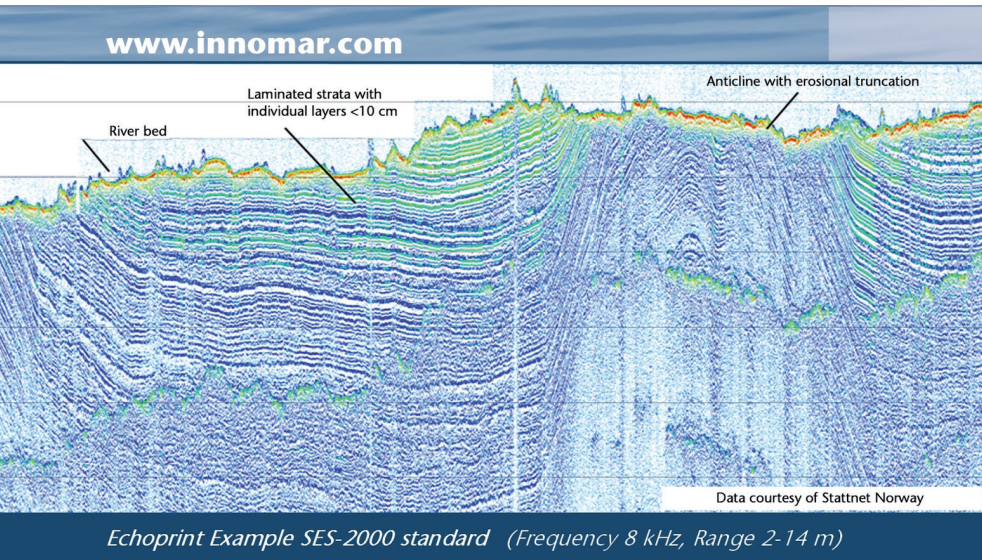
Der deutsche Skipper Boris Herrmann ist beim Vendée Globe Ocean Race in 80 Tagen auf seiner Jacht *Seaexplorer* solo um die Welt gefahren – mit an Bord: das OceanPack RACE-System.

Das installierte, autonome Ozeanlabor pumpt Meerwasser durch den Kiel und misst kontinuierlich die drei Hauptparameter der Meeresoberfläche: CO₂, Temperatur und Salzgehalt. Trotz teils meterhoher Wellen, Temperaturunterschieden von bis zu 25 °C und einer Kollision mit einem Fischerboot ist eine lückenlose Datenaufzeichnung rund um die Welt gelungen.

Dr. Stefan Raimund, wissenschaftlicher Koordinator bei SubCtech und wissenschaftlicher Berater des Teams um Boris Herrmann, kommentierte: »Es ist immer wieder spannend, zu sehen, wenn wissenschaftliche Daten von einem Rennboot eingehen. Boris' OceanPack lief wie ein Schweizer Uhrwerk; 24/7 – während des gesamten Rennens. Selbst die heikle Rettungsaktion im Südpolarmeer oder die Kollision mit dem spanischen Trawler: das Instrument lieferte ohne Unterbrechung.«

»Es ist ein unglaublicher Datensatz, insbesondere die Daten aus dem abgelegenen Südatlantik sind sehr wertvoll für uns. Dieser Bereich war bis jetzt eine weiße Fläche auf der Karte der CO₂-Beobachtungen und ist deshalb für die wissenschaftliche Gemeinschaft so wichtig.«

Die betreuenden Wissenschaftler des Teams, Dr. Peter Landschützer vom Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg und Dr. Toste Tanhua vom Geomar in Kiel, bereiten derzeit die bisher erhaltenen Daten für die vollständige Übermittlung an die SOCAT-Datenbank vor. Diese Datenbank bestätigt die Qualität der Daten und stellt sie allen Wissenschaftlern weltweit zur Verfügung. Forscher können diese Open-Access-Daten verwenden.



Echoprint Example SES-2000 standard (Frequency 8 kHz, Range 2-14 m)

SES-2000 Parametric Sub-Bottom Profilers

Discover sub-seafloor structures and embedded objects with excellent resolution and determine exact water depth

- ▶ Different systems for shallow and deep water operation available
- ▶ Menu selectable frequency and pulse width
- ▶ Two-channel receiver for primary and secondary frequencies
- ▶ Narrow sound beam for all frequencies
- ▶ Sediment penetration up to 200 m (SES-2000 deep)
- ▶ User-friendly data acquisition and post-processing software
- ▶ Portable system components allow fast and easy mob/demob
- ▶ Optional sidescan extension for shallow-water systems



den, um den globalen Kohlenstoffkreislauf besser zu verstehen oder komplexe Computermodelle für Vorhersagen des Klimawandels zu verwenden.

Toste Tanhua gab zu den verschiedenen gesammelten Daten folgende Statements ab:

Salzgehalt

»Der Atlantik hat den höchsten Salzgehalt – im Pazifik hingegen ist dieser niedrig. Nahe des Äquators ist der Salzgehalt auch im Atlantik wieder niedrig, was typisch für die innertropische Konvergenzzone ist, in der viel Regen das Oberflächenwasser verdünnt. In Südafrika sehen wir die schnelle Variabilität des Salzgehalts aufgrund des Agulhas-Stroms mit hohem Salzgehalt, der vom Indischen Ozean herabkommt.«

Temperatur

»Keine großen Überraschungen, dass die Tropen wärmer sind als der Südliche Ozean. Wieder sehen wir den Einfluss des warmen Agulhas-Stroms im Süden Afrikas, wo es auf demselben Breitengrad viel wärmer ist als im Rest des Südlichen Ozeans. Daten zu Salzgehalt und Temperatur sind erforderlich und von entscheidender Bedeutung, um die Löslichkeit von CO₂ (und allen anderen Gasen) in Wasser zu bestimmen.«

CO₂ (siehe Abb. 2)

»Eine beispiellose Weltumrundung mit hochwertigen CO₂-Daten in 80 Tagen. Ich denke, dass das bisher noch nie gemacht wurde. Zudem ist es ein großartiges Resultat für das Messinstrument, welches diese sehr holprige Fahrt ohne Probleme überstanden hat.

Die atmosphärische CO₂-Konzentration beträgt etwa 410 ppm, sodass immer dann, wenn die Meerwasser-CO₂-Konzentration niedriger ist, das CO₂ in den Ozean gelangt und umgekehrt.

Wir sehen den hohen CO₂-Wert um den Äquator im Atlantik, wo CO₂-reiches Wasser von unten an die Oberfläche kommt.

An den meisten Stellen im Südpolarmeer sehen wir einen niedrigen CO₂-Gehalt, hier segelt Boris während des meteorologischen Sommers, der Jahreszeit für Algenblüte (die CO₂ aus dem Wasser zieht, um zu wachsen).

Besonders niedrig ist der Wert auf dem Falkland-Plateau, einem der produktivsten Gebiete. Im Nordatlantik sehen wir niedrige CO₂-Werte auf der Strecke nach Norden, was wahrscheinlich mit der Abkühlung des Wassers im Winter zusammenhängt.

Der höhere CO₂-Gehalt im gleichen Gebiet in Richtung Süden hängt möglicherweise mit dem tropischen Sturm zusammen, der Wasser mit hohem CO₂-Gehalt von unten hervorgebracht hat.

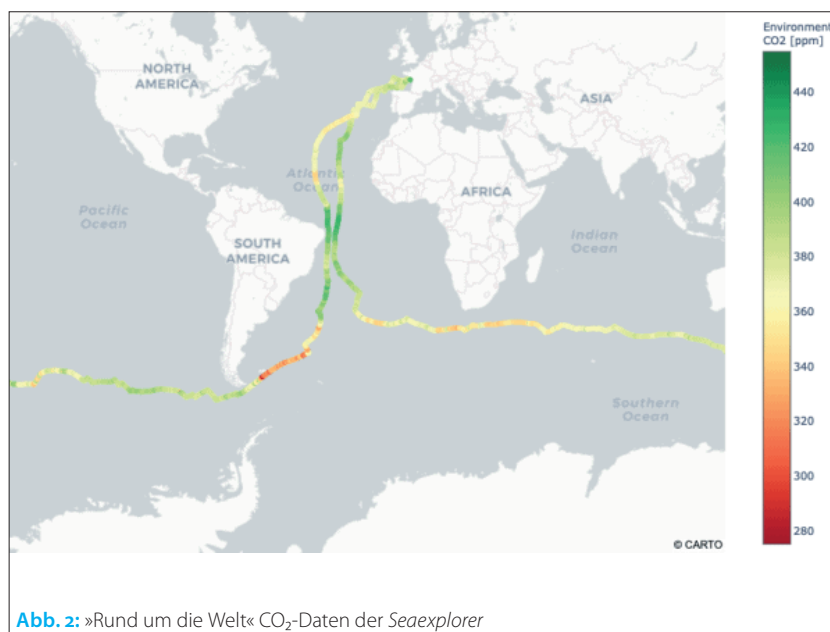


Abb. 2: »Rund um die Welt« CO₂-Daten der *Seexplorer*

In der Gegend westlich von Kap Hoorn ist der CO₂-Wert hoch, obwohl zum Messzeitpunkt Sommerwachstumszeit ist. Dies hängt wahrscheinlich mit einem Mangel an Mikronährstoffen (Eisen) zusammen, welcher intensives Algenblüten verhindert.«

Dr. Landschützer fügte hinzu: »Für große Teile des Rennens war der Ozean eine Kohlendioxid-Senke. Ausnahmen bilden der Äquatoriale Atlantik und der Südliche Ozean südlich von Neuseeland, die lokale CO₂-Quellen für die Atmosphäre darstellen. Wir stellen einige regionale Unterschiede im CO₂-Gehalt des Südlichen Ozeans fest, insbesondere im pazifischen Sektor des Südlichen Ozeans. Starke CO₂-Rückgänge in Verbindung mit starken Temperatur- und Salzgehaltsabfällen zeigen, dass Boris während des Rennens unterschiedliche Wassermassen durchquerte. Im Südpolarmeer und insbesondere im pazifischen Sektor des Südlichen Ozeans sind generell nur sehr wenige CO₂-Messungen des Meers verfügbar, daher handelt es sich um einen wirklich neuartigen Datensatz.«

Schluss

Boris Herrmann hat die wissenschaftliche Mission immer im Zusammenhang mit dem Rennsport gesehen und vorangetrieben. Daher war es eine klare Entscheidung für ihn, die wissenschaftliche Gemeinschaft bestmöglich zu unterstützen, wenn er in den entlegensten und unwirtschaftlichsten Gebieten der Welt Rennen fährt. Das zusätzliche Gewicht und der Aufwand war nie ein Problem, da das übergeordnete Ziel im Sinne der Wissenschaft zum Wohl unserer Ozeane und damit der Erde alternativlos ist: »A race we must win!« //

Beschlüsse der 2. Generalversammlung der IHO

Ein Beitrag von HORST HECHT

Die Generalversammlung (»Assembly«) ist das Hauptorgan der International Hydrographic Organization (IHO), das von den Vertretern der einzelnen Mitgliedsstaaten gebildet wird. Sie tritt alle drei Jahre zusammen, um allgemeine Richtlinien für die Arbeit zu geben sowie Entscheidungen technischer und administrativer Art zu treffen. Was im November 2020 bei der 2. Generalversammlung der IHO in Monaco beschlossen wurde, fasst dieser Artikel zusammen.

IHO | Generalversammlung | S-101 | S-100 | S-67 | S-57 | S-44 | S-23 | Papierseekarte | Elektronische Seekarte
IHO | Assembly | S-101 | S-100 | S-67 | S-57 | S-44 | S-23 | paper nautical chart | electronic nautical chart

The Assembly is the main organ of the IHO, formed by the representatives of the member states. It meets every three years to provide general guidelines for the work and to take decisions of technical and administrative nature. What was decided at the 2nd Assembly of the IHO in Monaco in November 2020 is summarised in this article.

Autor

Horst Hecht war bis 2008 Vizepräsident des BSH und Leiter der Abteilung »Nautische Hydrographie« in Hamburg. Er ist Ehrenmitglied der DHyG.

horst.hecht@t-online.de

Vom 16. bis 19. November 2020 fand am Sitz der IHO in Monaco die 2. Generalversammlung statt. Aufgrund der Corona-Bedingungen konnte sie nicht als Präsenzversammlung durchgeführt werden, sondern erstmals in der Geschichte der Organisation nur als Online-Videokonferenz. Bei 67 teilnehmenden Mitgliedsstaaten aus 20 Zeitzonen stellte dies eine besondere organisatorische Herausforderung dar.

Im Folgenden sollen die für die Hydrographie bedeutsamsten Beschlüsse kurz dargestellt werden.

Zukunft der Papierseekarte

Seit Gründung der IHO vor 100 Jahren war eines ihrer Gründungsziele die Vereinheitlichung der Papierseekarten und der Aufbau eines weltweiten Kartenwerkes Internationaler Seekarten gewesen. Spätestens mit dem sukzessiven Inkrafttreten der Ausrüstungspflicht mit Elektronischen Seekarten ab 2012 hat die Papierseekarte zunehmend an Bedeutung verloren. Eine Umfrage ergab, dass manche Hydrographischen Dienste (HOs) nach wie vor Bedarf an Papierseekarten oder ihren digitalen Rasterkarten-Pendants sehen, z. B. für die Klein- und Sportschifffahrt oder als ECDIS-Backup, während andere deren Produktion als unwirtschaftlich ansehen und beabsichtigen, diese einzustellen.

Es wurden folgende Empfehlungen zur weiteren Beratung an die Regionalkommissionen der IHO weitergeleitet:

- Umstellung der Produktion von Papierkarten und digitalen Rasterkarten direkt aus S-101-Daten (S-101 ist die neue S-100-konforme

Produktspezifikation für ENC's als Nachfolge von S-57).

- Die Spezifikationen S-4 und INT1 für die analogen Produkte werden (vorerst) weitergepflegt, da diese auch für die Kompilation von ENC's Relevanz haben.
- Die Vervollständigung, Verbesserung und Aktualisierung von ENC-Überdeckung soll Priorität vor der Vervollständigung des Internationalen (INT-)Kartenwerks haben.
- Die Überlegungen zur Herstellung eines separaten Systems von analogen Backup-Karten für ECDIS werden aufgegeben.

S-100-Strategie

Die IHO hatte bereits um die Jahrtausendwende mit der Entwicklung eines Nachfolgestandards für den ECDIS-spezifischen Datenstandard S-57 begonnen. Dieser sollte auf der Grundlage der ISO-191xx-Suite von GIS-Standards realisiert werden. Mit ihm sollte nicht nur der Nachteil überwunden werden, dass neue S-57-Versionen nur mit für die Schifffahrt unverträglichem großem Aufwand aktualisiert werden können, sondern zugleich auch die Grundlage für den Aufbau einer marinen Geodateninfrastruktur gelegt werden.

Die Internationale Seeschifffahrtsorganisation IMO hat S-100 als Universal Hydrographic Data Model anerkannt und dies als Basis für das IMO-Konzept »E-Navigation« übernommen, mit dem digitale Schifffahrtsdienste vereinheitlicht werden sollen. Inzwischen liegen neben dem Datenstandard S-101 für die ECDIS-Daten auch noch weitere Spezifikationen für andere Datengruppen zumindest als Entwürfe vor, aber die Einführung von

S-101 gestaltet sich wegen der weiten Verbreitung der S-57 in der Schifffahrt als schwierig und zeit-aufwendig.

Folgende Einführungsstrategie hat die IHO auf der Generalversammlung angenommen:

- Ein gegenwärtig in Entwicklung befindlicher Testdatensatz für S-101-konforme ENC's wird fertiggestellt und als S-164 als Pendant zu dem S-57-Testdatensatz (S-64) veröffentlicht.
- Um einen hinreichenden Datenbestand an S-101-ENCs aufzubauen, sollen HO's zunächst S-101-Daten aus vorhandenen S-57-Daten produzieren; hierfür gibt es Werkzeuge.
- Für eine Übergangszeit sollen HO's und/oder Regionalzentren (IC-ENC bzw. Primar) sowohl ENC's im S-57- als auch im S-101-Standard herstellen (»Dual Fuel«). S-57-Daten können direkt aus S-101-Daten produziert werden; für den umgekehrten Weg S-101- aus S-57-Daten gibt es Tools von Caris und ESRI.
- Da man davon ausgehen muss, dass anfangs nicht alle HO's in der Lage sein werden, S-101-Daten anzubieten, sollen ECDIS'e einen »Dual-Fuel«-Betrieb unterstützen.

Übersicht über S-100-Produktspezifikationen

Die folgenden Produktspezifikationen sind in Kraft oder zum Testen freigegeben (Letztere sind mit einem * gekennzeichnet):

- S-101: ENC Product Specification* (Edition 1.0.0, December 2018),
- S-102: Bathymetric Surface Product Specification (Edition 2.0.0, October 2019),
- S-111: Surface Currents Product Specification* (Edition 1.0.0, December 2018),
- S-121: Maritime Limits and Boundaries Product Specification* (Edition 1.0.0, October 2019),

- S-122: Marine Protected Areas (Edition 1.0.0, January 2019),
- S-123: Marine Radio Services (Edition 1.0.0, January 2019),
- S-127: Marine Traffic Management (Edition 1.0.0, December 2018),
- S-129: Under Keel Clearance Management* (Edition 1.0.0, June 2019).

Alle Produktspezifikationen sind frei auf der IHO-Website verfügbar (unter: iho.int/en/standards-and-specifications).

Geplante Produktspezifikationen der IHO und anderer maritimer Organisationen:

- S-124: Navigational Warnings,
- S-125: Marine Navigational Services,
- S-126: Marine Physical Environment,
- S-127: Marine Traffic Management,
- S-128: Catalogue of Nautical Products,
- S-129: Under Keel Clearance Management (UKCM),
- S-130: Polygonal Demarcations of Global Sea Areas,
- S-131: Marine Harbour Infrastructure,
- S-164: IHO Test Data Sets for S-100 ECDIS.

International Association of Lighthouse Authorities (IALA) (S-201 bis S-299):

- S-201: Aids to Navigation Information,
- S-210: Inter-VTS Exchange Format,
- S-211: Port Call Message Format,
- S-230: Application Specific Messages,
- S-240: DGNSS Station Almanac,
- S-245: eLoran ASF Data,
- S-246: eLoran Station Almanac,
- S-247: Differential eLoran Reference Station Almanac.

DHyG Student Excellence Award

Mit dem DHyG Student Excellence Award zeichnet die Deutsche Hydrographische Gesellschaft (DHyG) Studierende aus, die sich in einer herausragenden Studienarbeit mit einem beliebigen Thema der Hydrographie auseinandergesetzt haben.

Der DHyG Student Excellence Award ist mit 500 Euro dotiert. Außerdem erhält die Preisträgerin oder der Preisträger freien Eintritt zum Hydrographentag, um dort die Arbeit einem Fachpublikum vorzustellen.

Wer den DHyG Student Excellence Award erhält, wird von der DHyG ins Rennen um den IFHS Student Award geschickt, der auf der Hydro-Konferenz im Herbst verliehen wird und der mit £ 1500 dotiert ist.

Mögliche Preisträgerinnen und Preisträger können jedes Jahr bis zum 30. März von den Hochschulen vorgeschlagen werden.

Weitere Informationen unter: dhyg.de

Jetzt bewerben!



Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) (S-301 bis S-399):

- Noch keine Produktspezifikationen.

Inland ENC Harmonization Group (IEHG) (S-401 bis S-402):

- S-401: IEHG Inland ENC,
- S-402: IEHG Bathymetric Inland ENC.

Joint Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology (WMO/IOC JCOMM) (S-411 bis S-420):

- S-411: JCOMM Ice Information,
- S-412: JCOMM Weather Overlay,
- S-413: Weather and Wave Conditions,
- S-414: Weather and Wave Observations.

International Electrotechnical Commission – Technical Committee 80 (IEC-TC80) (S-421 bis S-430):

- S-421: Route Plan.

Neue Ausgabe S-44

Neu sind zwei Tabellen, in denen die Minimalanforderungen an die Genauigkeit von (a) Tiefenmessungen und (b) ergänzenden Parametern (z. B. Seezeichen, Küstenlinie) für die verschiedenen Vermessungskategorien (»Orders«) zusammengefasst sind. Zusätzlich bietet eine Matrix die Möglichkeit, unabhängig von Vermessungskategorien Genauigkeitsanforderungen für andere Vermessungen zu spezifizieren, z. B. zur Beschreibung von »crowd funded surveys«. Ein aus drei Zeichen zusammengesetzter Code erlaubt eine kompakte Charakterisierung eines Surveys, der auch für die Standard-Vermessungskategorien anwendbar ist.

Aktualisierung der Spezifikation »Limits of Oceans and Seas« (S-23)

Die IHO-Publikation S-23 gehört zu den ältesten IHO-Standards: ihre Erstveröffentlichung datiert aus dem Jahr 1928. Nach zweimaliger Aktualisierung stammt die letzte Ausgabe aus dem Jahr

1953 (!). Seitdem ist regelmäßig jede weitere Aktualisierung an der Politik gescheitert, da sich Japan und Korea (sowohl Nord- als auch Südkorea) nicht auf eine Benennung des Seegebietes zwischen ihren Ländern einigen konnten. Japan besteht auf »Sea of Japan«, Korea auf »East Sea«. Nach nunmehr 68 Jahren hat die Generalversammlung den Vorschlag ihres Generalsekretärs, Dr. Mathias Jonas, angenommen, der das Problem auf wahrhaft salomonische Weise, und dabei absolut zeitgemäß, löst.

Bisher waren die Grenzen der Ozean- und Seegebiete in S-23 lediglich durch einige Koordinatenangaben und kleinmaßstäbige Karten eher grob definiert, von denen manche durch neuere Festlegungen bereits überholt sind. Keine dieser Festlegungen ist in digitaler Form verfügbar. Da Dr. Jonas auch in zwei diplomatischen Konsultationen mit den beteiligten Ländern keine Lösung erzielen konnte, schlug er als Kompromiss vor, einen digitalen S-100-kompatiblen Datensatz zu schaffen, der den Gebietsnamen nur in Form eines numerischen Codes enthält, der als solcher natürlich völlig neutral ist. Dieser Datensatz soll als »Polygonal demarcations of global sea areas« gemäß einer neuen Produktspezifikation S-130 definiert werden, die in der Struktur im Wesentlichen dem S-121-Standard entsprechen soll. Dieser Vorschlag fand schließlich die Zustimmung sowohl Japans als auch der beiden Koreas. Damit ist zugleich eine Lösung für eine GIS-kompatible Datenbank gefunden, die als standardisierter Input in einer Vielzahl von geographischen Anwendungen dienen kann.

Neu: Mariners' Guide to Accuracy of Depth Information in ENC (S-67)

Erste Ausgabe einer Veröffentlichung für die Interpretation der Tiefenangaben in den S-57-ENCs, basierend auf den »Zones of Confidence« (ZOCs). Der Guide ist gedacht als Hilfe für ECDIS-Anwender. //



SIMPLIFY MARINE DATA ACQUISITION

NEW – integrated Hydrographic Survey System (iHSS) includes
MULTIBEAM · WORKSTATION · SOFTWARE · INS · MOUNTING SOLUTION

» **OPTIMISE YOUR HYDROGRAPHIC WORKFLOW – TURNKEY SOLUTION**

» **EASY TO INSTALL, CALIBRATE AND OPERATE – OFFSHORE OR INLAND**

» **FLEXIBLE AND COST-EFFECTIVE PLANS – RENT, SUBSCRIBE OR BUY**

iHSS-Standard

Based on R2Sonic 2024 Multibeam
Echo Sounder depth rated to 4000 m

iHSS-Compact

Based on R2Sonic 2020 Multibeam
Echo Sounder depth rated to 100 m

Both available as Dual head system allowing for more than 200 degrees of swath coverage



**CHECK OUT OUR EXTENSIVE RENTAL POOL FOR HIGH
AVAILABILITY ON COMPONENTS, SYSTEMS AND PACKAGES**

SCAN WITH YOUR SMARTPHONE

*Subsea Europe Services GmbH is a hydrographic survey
technology provider based in northern Germany. We offer:*

» **FAST-TRACK DELIVERY ANYWHERE IN EUROPE**

» **REMOTE TECH AND ON-BOARD SURVEY SUPPORT**

» **IN-HOUSE POST PROCESSING EXPERTISE**



Präzise 3D-Positionierung mit GNSS und Polarmessverfahren

Die Leica GNSS-Instrumente empfangen und verarbeiten die Signale aller aktuellen und zukünftigen Navigationssysteme.

Höchste Präzision bei voller Automatisierung der Messabläufe garantieren die Leica Polarmesssysteme.



Leica Geosystems GmbH Vertrieb
www.leica-geosystems.de



- when it has to be **right**

Leica
Geosystems