

# Die Küste im Blick

## COSYNA - Coastal Observing System for Northern and Arctic Seas

INSTITUT FÜR KÜSTENFORSCHUNG | OPERATIONELLE SYSTEME



## COSYNA-Mission

Mit dem Küstenbeobachtungssystem COSYNA werden, durch Kombination von Messungen und Modellen, der Umweltzustand und die Variabilität von Küstengewässern untersucht und beschrieben. Die Nordsee und arktische Küsten sind die Hauptuntersuchungsgebiete, in denen wissenschaftliche Fragen, zum Beispiel zu Kohlenstoff- und Nährstoffkreisläufen erforscht werden. COSYNA entwickelt wissenschaftliche Produkte und Geräte und stellt seine Forschungsinfrastruktur der Wissenschaftsgemeinschaft zur Verfügung. Ziel ist, Behörden, Wirtschaft und Öffentlichkeit Daten, Datenprodukte und methodische Ansätze an die Hand zu geben, die unter anderem die Planung und das Management von Routineaufgaben unterstützen, es ermöglichen auf Notfälle zu reagieren und Trends zu bewerten.



Der COSYNA-Showroom: Präsentation und Diskussion von Echtzeit-Beobachtungsdaten und Modellergebnissen.

## COSYNA-Partner

COSYNA wird vom Helmholtz-Zentrum Geesthacht Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH koordiniert. Die Forschungsvorhaben werden in Zusammenarbeit mit folgenden Partnern der Helmholtz-Gemeinschaft, von Universitäten und Aufsichtsbehörden durchgeführt.



## Warum COSYNA?

Das automatisierte Beobachtungs- und Modellierungsnetzwerk COSYNA wurde aufgebaut, um die komplexen Prozesse der Nordsee und der arktischen Küsten besser zu verstehen, um den Einfluss anthropogener Veränderungen abzuschätzen und zu bewerten und um COSYNA-Partnern sowie der Forschungsgemeinschaft Daten und Infrastruktur zur Verfügung zu stellen. Das übergeordnete Ziel für Beobachtungen und Geräteentwicklung ist, die Wechselwirkungen zwischen Physik, Biogeochemie und Ökologie der Küstengewässer besser zu verstehen und zu untersuchen, wie sie bestmöglich beschrieben werden können und wie sie sich in Zukunft entwickeln werden. COSYNA-Daten und Modellergebnisse spielen eine zentrale Rolle bei der Untersuchung der natürlichen Variabilität, von Extremereignissen, von Trends und zur Abschätzung des menschlichen Einflusses auf Küstensysteme.

Die natürlichen Prozesse der Nordsee und anderer Küstengebiete sind vielfältig mit dem menschlichen Wohlergehen verknüpft. Wichtige Themen sind Transportsicherheit (zum Beispiel Extremwellen, Gefahrgutunfälle), Küstenschutz gegen Sturmfluten und den langsam steigenden Meeresspiegel, Veränderungen durch Sedimentumlagerungen, sowie die Rolle der Küstengebiete für den globalen Kohlenstoff- und Energiehaushalt.

In COSYNA werden Daten gemessen, aufbereitet und für die Nutzung durch verschiedene Interessengruppen in Wirtschaft, Verwaltung, Politik, Umweltschutz und der breiten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Beobachtungsdaten werden verwendet, um Modell-Simulationen und die stündlich aktualisierten Vorhersagen des Umweltzustandes der Nordsee zu verbessern. Alle Daten sind unter [www.cosyna.de](http://www.cosyna.de) in Echtzeit und ohne Kosten öffentlich frei verfügbar.

Diese Daten und Produkte können nationale Überwachungsbehörden bei der Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie und der EU-Meeressstrategie-Rahmenrichtlinie unterstützen. Das Küstenbeobachtungssystem COSYNA trägt zu nationalen und internationalen Programmen, wie zum Beispiel COASTAL GOOS, GEOSS, GEOHAB und COPERNICUS, bei.

Da COSYNA eines der dichtesten Beobachtungssysteme in einem der am stärksten genutzten Küstengewässer weltweit ist, kann es als Vorbild für andere Bereiche der „Globalen Küste“ dienen. Viele globale Probleme wie Klimaerwärmung, Anstieg der Meeresspiegel oder die Meeresversauerung beeinflussen besonders die Ökosysteme und die Menschen an den Küsten. Die lokalen Auswirkungen und die Werkzeuge des Küstenmanagements unterscheiden sich stark von Region zu Region.

## Umsetzung von COSYNA

Das Helmholtz-Zentrum Geesthacht hat vom Deutschen Bundesministerium für Bildung und Forschung etwa 9 Millionen Euro Investitionsmittel zum Bau und zur Entwicklung von COSYNA erhalten. Das Projekt ist zwischen 2010 und 2014 umgesetzt worden und wird auch nach dieser Anfangsphase den Umfang seiner Produkte erweitern. COSYNA

wird zusammen mit zehn Partnerinstitutionen mit dem Ziel entwickelt und betrieben, die wissenschaftlichen und operationellen Ziele von COSYNA und seinen Partnern zu erweitern und zu unterstützen. Finanzielle Mittel für Personal, Betrieb und Unterhalt werden ausschließlich vom Helmholtz-Zentrum Geesthacht und seinen Partnern aufgebracht.



# COSYNA-Forschungsthemen

## Allgemeine Ziele

Ziel von COSYNA ist, das wissenschaftliche Verständnis hydrodynamischer und biogeochemischer Prozesse wesentlich voranzubringen, operationelle Modelle zu verbessern, Produkte für verschiedene Interessengruppen zur Verfügung zu stellen, Extremereignisse zu untersuchen und Messkampagnen und technologische Entwicklungen, zum Beispiel für automatisierte, qualitätskontrollierte Routinemessungen oder für Fehler- und Datenanalyse, zu unterstützen. Die besondere Herausforderung ist, eine integrierte Plattform aus verschiedenen Messsystemen und Modellansätzen aufzubauen sowie den Austausch von und Zugriff auf Daten, Produkte und Infrastruktur zu ermöglichen.

## **COSYNA befasst sich mit folgenden grundsätzlichen Forschungsfragen der Küsten- und operationellen Ozeanographie:**

### Wissenschaftliche Fragestellungen

- Welche kurzfristigen physikalischen Prozesse in der Nordsee, im Wattenmeer und angrenzenden Flussmündungsgebieten sind besonders wichtig und wie beeinflussen sie die biogeochemische und biologische Dynamik?
- Wie beeinflussen diese Prozesse den Kohlenstoffhaushalt in der Nordsee, welche Konsequenzen haben sie für regionale Kohlenstoffzyklen, wie interagieren sie mit dem Nordatlantik und welche Auswirkungen haben sie für das Klima?
- Wie bedeutend sind Extremereignisse, zum Beispiel Stürme und Hochwasser, für die physikalische und biogeochemische Umwelt und wie beeinflussen sie generelle Trends? Wie stabil ist das System im Hinblick auf Extremereignisse? Existieren multiple, verschiedene Systemzustände und falls ja, wie sehen die Übergänge aus (Kipp- oder Umschlagpunkte)?
- Welche Auswirkungen haben langfristige anthropogene Veränderungen auf natürliche Prozesse und Zustandsgrößen wie Strömungen, Wellen, Temperatur, Salzgehalt, Trübung, pH, biologische Produktivität oder Sedimenttransporte?
- Wie groß ist der Austausch von Wärme, Frischwasser, Schwebstoffen, Nährstoffen und organischem Material zwischen Flusssystemen, dem Wattenmeer, der Nordsee und dem Atlantischen Ozean?
- Durch welche Prozesse wird das Auftreten von Algenblüten gesteuert (Meteorologie, Schichtung, Nährstoffe, Lichtklima)?
- In welchem Umfang ist regional erworbenes Wissen im globalen Kontext anwendbar und wie können wir regionale Ergebnisse adaptieren, um sie in anderen Regionen oder weltweit nutzbar zu machen?

### Fragestellungen der operationellen Ozeanographie

- Welches sind die Schlüsselregionen mit dem stärksten Einfluss auf die Küstenmeere und was ist die beste Geräteausstattung und optimale Strategie für ihre Beobachtung?
- Wie kann die große Spannbreite relevanter räumlicher und zeitlicher Skalen von Minuten bis zu Jahrzehnten und von Metern bis zu Hunderten von Kilometern gleichzeitig erfasst werden?
- Wie kann ein Beobachtungssystem in modularer Weise entwickelt werden, um für eine große Vielfalt an Prozessen, Skalen und wissenschaftlichen Fragestellungen nutzbar zu sein?
- Wie kann ein Beobachtungssystem „intelligent“ werden, damit z. B. Sensoren miteinander kommunizieren und mittels der gewonnenen Information autonome Messstrategien entwickeln können?
- Wie können Lücken in den Beobachtungen gefüllt und Modellunsicherheiten durch neue Methoden reduziert werden, die Beobachtungsdaten mit dynamischen Modellen und statistischen Methoden verbinden (Datenassimilation)?
- Wie können Daten einfach und verständlich öffentlich zugänglich gemacht werden?



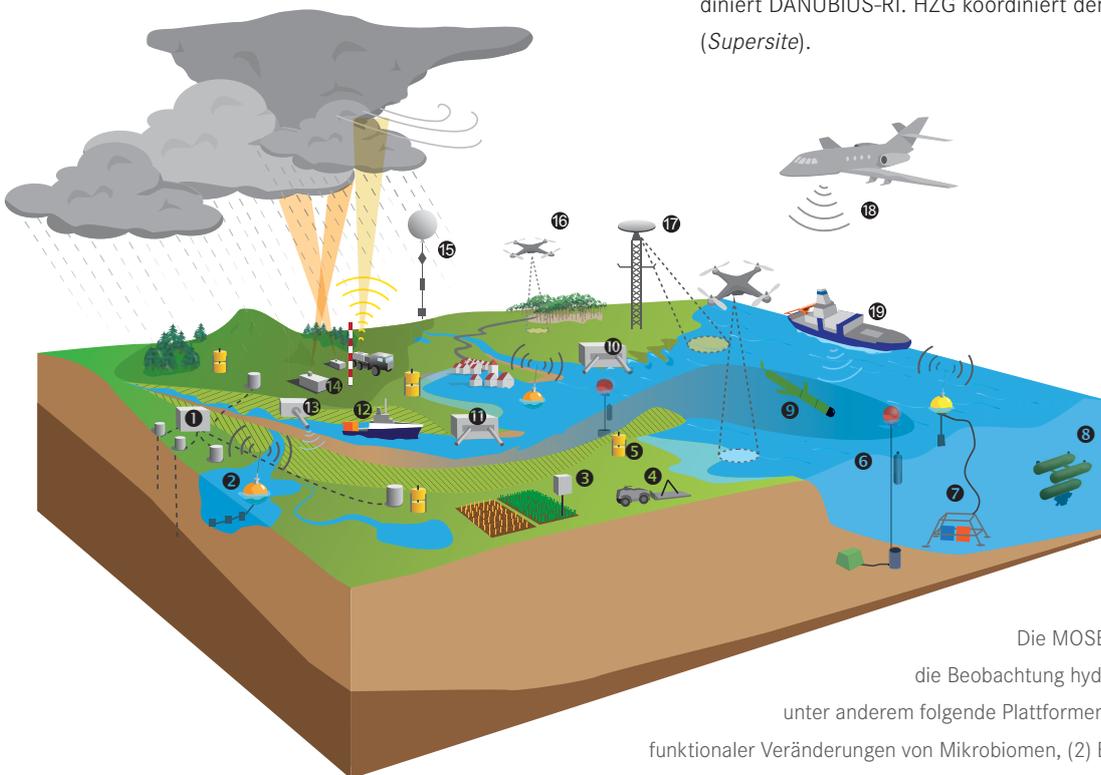
# COSYNA-Forschung und Wissenschaft

COSYNA trägt zu MOSES (*Modular Observation Solutions for Earth Systems*) bei, einer Forschungsinitiative von neun Helmholtz-Forschungszentren aus dem Forschungsbereich „Erde und Umwelt“, die die Auswirkung von extremen Ereignissen vor dem Hintergrund langfristiger Trends untersucht. Die Messsysteme werden dabei flexibel und mobil zu Modulen kombiniert. Mit einem Kompartiment-übergreifenden Ansatz (Boden, Wasser, Luft) messen die MOSES-Module Zustandsgrößen und Stoffflüsse und erfassen Prozesse in den Bereichen Energie, Wasser, Nährstoffe und klimarelevante Gase. Der Aufbau der Module integriert Beobachtungen in der Atmosphäre, an der Landoberfläche, in Küstengebieten, im Ozean und in der Permafrostzone.

COSYNA arbeitet bei der Wirkungskette „Hydrologische Extreme“ an zentraler Stelle mit und trägt mit Messgeräten zur „Ozeanwirbel“ – Wirkungskette bei. Koordiniert wird MOSES am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) in Leipzig.

„Hydrologische Extreme“ entlang von Wirkungsketten zu untersuchen, trägt dazu bei, Wechselwirkungen zwischen kurzzeitigen hydrologischen Ereignissen, die großräumige Überflutungen zur Folge haben, und den langfristigen Auswirkungen auf Ökosysteme besser zu verstehen. In diesem Rahmen dehnt COSYNA seine Beobachtungsmöglichkeiten aus, um Überflutungsereignisse im Flusssystem der Elbe zu untersuchen. Damit besteht eine nahtlose Anbindung an die Europäische Forschungsinfrastruktur DANUBIUS im Rahmen der Roadmap des Europäischen Strategieforums für Forschungsinfrastrukturen (engl. ESFRI – *European Strategy Forum on Research Infrastructures*).

DANUBIUS-Research Infrastructure (*The International Centre for advanced studies on river-sea systems*) ist ein langfristiges, europäisches und interdisziplinäres Forschungsinfrastrukturvorhaben zur Untersuchung von Fluss-Meer-Systemen. DANUBIUS-RI wird derzeit als verteilte Infrastruktur mit Partnern aus 16 europäischen Ländern aufgebaut. Das Forschungsinstitut GeoEcoMar in Rumänien koordiniert DANUBIUS-RI. HZG koordiniert den Elbe-Nordsee-Standort (*Supersite*).



Die MOSES-Messinfrastruktur für die Beobachtung hydrologischer Extreme nutzt unter anderem folgende Plattformen: (1) Online-Messungen funktionaler Veränderungen von Mikrobiomen, (2) Bojen mit Multi-Parameter-Sensoren, (3) Bodenfeuchtigkeitsbestimmung, (4) mobile Hydrogeophysik (Bodeneigenschaften unterhalb der Oberfläche), (5) Schwerkraftmesser, (6) vertikale Profiler für Küsten- und limnische Sensoren, (7) Unterwasserknoten mit Kopfbojen, (8) einen Schwarm von Unterwasserrobotern, (9) Ozean-Glider, (10) Container mit Laborausstattung, (11) mobile Mesokosmen, (12) ein Flussforschungsschiff, (13) Fluss-Abfluss- und Sediment-Monitoring-Systeme, (14) LIDAR, X-Band-Radar, KITcube, (15) Ballon-Sonden für Wasserdampf, Eisteilchen und Spurenstoffe, (16) UAVs für Wasserqualitäts- und Vegetationsmonitoring, (17) VHF-Radar-Systeme, (18) luftgestützte IR- und hyperspektrale Kameras und (19) Küstenforschungsschiffe.

# Der integrierte Ansatz – von Daten zur Information

COSYNA wurde entwickelt, um den Umweltzustand und die Variabilität der Küstengewässer in der Nordsee und der Arktis besser zu verstehen und zu beschreiben. COSYNA ermittelt den aktuellen Zustand der Küstensysteme und erstellt (Kurzfrist-) Vorhersagen zukünftiger Zustände. Das Verständnis und die Fähigkeit, Küstensysteme gut zu beschreiben, ist einerseits von wissenschaftlichem Wert und andererseits wichtig, um gesellschaftliche Fragen beantworten zu können. COSYNA liefert kontinuierlich Echtzeitdaten und aufbereitete Datenprodukte und trägt so dazu bei, die Lücke zwischen der operationellen Ozeanographie und den verschiedenen Nutzern von Beschreibungen und Vorhersagen des Meereszustandes zu schließen.

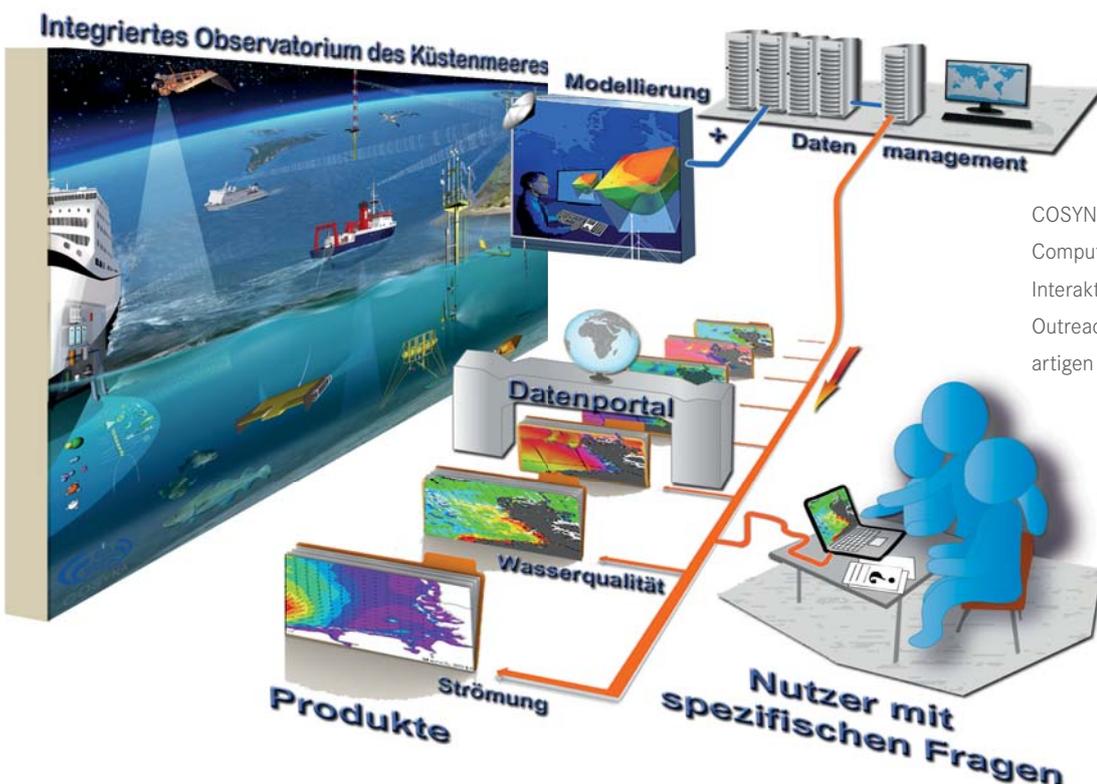
Um diese Anforderungen zu erfüllen, verwendet COSYNA einen integrierten Ansatz, der Beobachtungen mit numerischer Modellierung kombiniert. Dies zeichnet COSYNA gegenüber anderen Beobachtungssystemen aus.

Die Beobachtungen umfassen eine Vielzahl von Messmethoden im und auf dem Meer, aber auch Fernerkundung von Land mittels Radar und aus dem Weltraum via Satellit. Den Kern der COSYNA-Beobachtungen bildet ein standardisiertes Sensorpaket auf stationären und mobilen Messplattformen vor Ort. Physikalische, biogeochemische, biologische und Sediment-Kenngrößen werden in der Wassersäule und an den oberen und unteren Grenzschichten mit hoher zeitlicher Auflösung gemessen.

Die COSYNA-Modellierer arbeiten mit ineinander geschachtelten („genesteten“) Modellen unterschiedlicher Gittergrößen für Hydrodynamik (Salzgehalt, Wellen, Strömungen), für Schwebstoffe und für biogeochemische und Ökosystemprozesse. Durch den Einsatz aufwändiger Datenassimilationsverfahren, das heißt durch die ständige Korrektur der Modelle durch Beobachtungen, wird die Verlässlichkeit der aktuellen Zustandsbeschreibungen und der kurzfristigen Vorhersagen deutlich verbessert.

COSYNA stellt Daten und Informationsprodukte zur Verfügung und ist im Wissenstransfer aktiv, um wissenschaftliche Fragen auf verschiedenen Zeit- und Raumskalen zu beantworten sowie Behörden, Wirtschaft und Öffentlichkeit Werkzeuge anzubieten, um Routineaufgaben zu planen und zu managen, auf Notfälle zu reagieren und um Trends zu bewerten. Die Produkte werden prä-operationell bereitgestellt, das heißt, sie werden für den späteren operationellen Einsatz entwickelt.

Mit seiner integrierten Herangehensweise ist COSYNA als automatisches Beobachtungs- und Modellsystem auf hohe Flexibilität ausgerichtet und kann auf verschiedenen Skalen zur Beantwortung von wissenschaftlichen Fragen oder zur Lösung von gesellschaftlichem Problemen in der Küstenzone eingesetzt werden. Der Ansatz kann als Muster für andere Küstenregionen dienen.



COSYNA kombiniert Messungen, Computermodelle, Datenmanagement, Interaktion mit Stakeholdern und Outreach-Aktivitäten zu einem einzigartigen Küstenbeobachtungssystem.

# Der integrierte Ansatz – Interaktion mit Stakeholdern

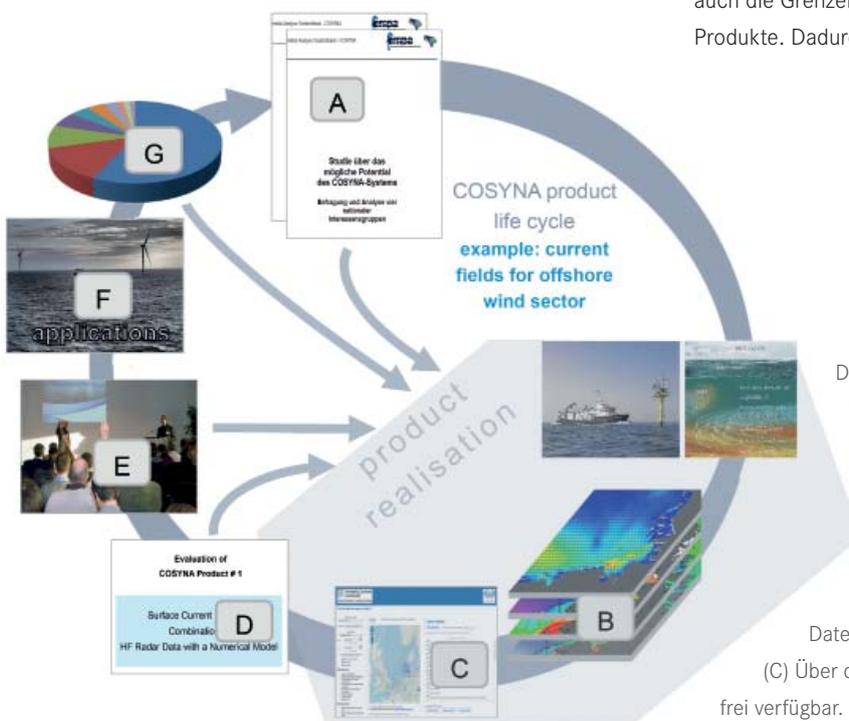
COSYNA zielt darauf, wissenschaftliche Daten, Ergebnisse und Datenprodukte für eine breite Nutzung zur Verfügung zu stellen. Die verschiedenen Zielgruppen umfassen zum Beispiel die wissenschaftliche *community* sowie potentielle Nutzer aus Wirtschaftsunternehmen, Behörden und interessierte Laien.

Die Daten, Graphiken und Karten sind über das Datenportal [www.cosyna.de](http://www.cosyna.de) in „Echtzeit“ frei erhältlich. Sie können in verschiedener Weise dargestellt und heruntergeladen werden.

Neben den traditionellen Verbreitungsmedien, wie Broschüren und Webseiten in deutscher und englischer Sprache, bietet eine interaktive COSYNA-App „Die Küste im Blick“ (Android und iOS, in den Stores verfügbar) direkten Zugang zu Informationen, Daten und Produkten. Die App bietet kurze Texte und Bilder über die COSYNA Messsysteme, Modelle und Produkte, sowie über die beteiligten Partnerinstitutionen. Die Nutzer erhalten mit einem Klick via Internet in "Fast-Echtzeit" Zugriff auf aktuelle Daten und Kurzzeitvorhersagen verschiedener Messgrößen und -stationen.

Um sicherzustellen, dass die COSYNA-Produkte nützlich und gut anwendbar sind, hat COSYNA ein großes Portfolio von Aktivitäten für Wissenstransfer und Interaktion mit Stakeholdern entwickelt und eingesetzt. Potentielle Nutzer der COSYNA-Daten und Datenprodukte sind Wissenschaft, Verwaltung, Unternehmen (zum Beispiel aus dem Bereich erneuerbare Energien), Ingenieurwesen, Tourismus, Naturschutz, und die breite Öffentlichkeit.

Ein mehrstufiger Informationsaustausch mit den Stakeholdern, der direktes Feedback zurück zu COSYNA ermöglicht, wurde in den COSYNA-Produktlebenszyklus integriert. Er ist hier als Beispiel für das Produkt „Oberflächenströmungsfelder in der Deutschen Bucht“ aufgezeigt (Abbildung unten). Eine ganze Palette von Stakeholder-Interaktionen kam zum Einsatz: von der Analyse der Ausgangssituation über externe Begutachtungen, Interviews und Workshops mit möglichen Nutzern bis zu spezifischen Meetings zu Datenaustausch und möglichen gemeinsamen Messungen. Durch diese umfangreichen Aktivitäten mit verschiedenen Interessensgruppen konnten die COSYNA-Produkte deutlich verbessert werden. Besonders die Interaktionen mit den verschiedenen Vertretern aus dem Bereich der offshore-Windenergie ergaben zudem wesentliche Einsichten in die Anforderungen, aber auch die Grenzen der Zusammenarbeit und der Nutzung der COSYNA-Produkte. Dadurch wurden neue Forschungsfragen identifiziert.



Der COSYNA-Produkt-Lebenszyklus dargestellt für das COSYNA-Produkt „Oberflächenströmungsfelder in der Deutschen Bucht“: (A) Analyse der Ausgangssituation und Bestandsaufnahme verdeutlicht die Relevanz der geplanten COSYNA-Aktivitäten. (B) Durch mathematisch-technische Realisierung (Messung, Modellierung und Datenassimilation) werden optimierte Datenfelder für Strömung, Wellen, Temperatur u.a. erzeugt. (C) Über das COSYNA-Datenportal sind die Daten im Internet frei verfügbar. (D) Externe Begutachtung der COSYNA-Produkte.

- (E) Interviews und Nutzer-Workshops mit Offshore-Windenergiebranche.
- (F) Verbesserte COSYNA-Produkte stehen für Nutzung zur Verfügung.
- (G) Bewertung der Auswirkungen.

## COSYNA Schwerpunktregionen – Deutsche Bucht



## Die Nordsee



Die Nordsee ist ein flaches Randmeer (Schelfmeer), in dem Stoffe und Energie über komplexe Prozesse und über eine große Spanne von Raum- und Zeitskalen transportiert, ausgetauscht und umgewandelt werden. Die Nordsee ist eines der am besten untersuchten Schelfmeergebiete, aber wir beginnen erst langsam zu verstehen, welche ineinandergreifenden Kräfte Energiehaushalt und Stoffflüsse steuern und welche Faktoren die Ökosystemdynamik bestimmen. Die Gezeitenströme treiben den Austausch zwischen dem offenen Meer und den ausgedehnten, einzigartigen Wattgebieten des UNESCO-„Weltnaturerbes Wattenmeer“ an. Strömungen, Trübung und Produktivität der Deutschen Bucht haben wesentlichen Anteil an den globalen Kohlenstoff- und Stickstoffkreisläufen. Langfristige Temperaturänderungen und Ozeanversauerung durch globalen Klimawandel werden immer offenkundiger. Die Nordsee ist von dicht besiedelten und hochindustrialisierten Ländern umgeben und daher von vielfältigen, oft im Konflikt stehenden, Nutzungen wie zum Beispiel Fischerei, Abfallentsorgung, Erdölbohrungen, Verkehr, Küstenschutz oder Freizeit und Erholung, geprägt.

## Arktische Küsten

In der Arktis ist der Einfluss des sich ändernden Klimas bereits deutlich sichtbar. Die eisbedeckte Fläche ist zum Beispiel während der letzten Jahrzehnte zurückgegangen. Es wird erwartet, dass der arktische Ozean zukünftig im Sommer weitgehend eisfrei ist und die Erosion von Permafrostklippen durch stärkere Wellen zunimmt. Höhere Nährstoff- und Schwebstoff-Konzentrationen werden die Produktivität des Phytoplanktons der Küstengewässer verändern. Zudem können Emissionen des Treibhausgases Methan aus den auftauenden Permafrostböden das globale Klima wiederum beeinflussen.



## Globale Küste

Im COSYNA-Forschungsschwerpunkt "Globale Küste" wird die Bedeutung der küstennahen Ozeane für großräumige Prozesse untersucht. Von Interesse sind hierbei der Austausch von Kohlenstoff zwischen den Küstenmeeren und dem offenen Ozean als Teil des weltweiten Kohlenstoffkreislaufs und der Energiehaushalt der Ozeane als eine der wichtigen Einflussgrößen für das weltweite Klima.

Zur Untersuchung solcher und ähnlicher Fragen entwickelt und baut COSYNA mobile Messstationen, die für Forschungsvorhaben in der ganzen Welt einsetzbar sind. Die damit gewonnenen Daten werden analysiert und in Computermodelle eingespeist. Dadurch werden einerseits die Modelle überprüft und verbessert, andererseits können sie verwendet werden, um die zentralen Prozesse und Mechanismen in Küstenmeeren zu beschreiben und zu verstehen.



## COSYNA-Produkte

In COSYNA werden kontinuierlich und in (Fast-) Echtzeit qualitätskontrollierte Umweltinformationen aus wissenschaftlichen Messdaten und Modellergebnissen abgeleitet und im Internet bereitgestellt. Diese Produkte unterstützen Bundes- und Landesbehörden sowie Nutzer anderer Interessengruppen, informierte Entscheidungen zu treffen. Sie helfen Routineaufgaben zu erfüllen, passend auf Notfälle zu reagieren und Trends besser einzuschätzen. Ein operationelles System in der stark genutzten Nordsee kann als Muster für viele Küstenregionen weltweit dienen.

Die Produkte umfassen stündlich aktualisierte Karten, Modellergebnisse und Sechs-Stunden-Vorhersagen von Meeresströmungen, Salzgehalt, Temperatur und Wellen, sowie Karten von monatlichen Chlorophyll-Mittelwerten und Karten zur Schiffserkennung. Zukünftig sollen auch Windfelder und biogeochemische Zustandsgrößen bereitgestellt werden.

Die Entwicklung von „prä-operationellen“ (das heißt regelmäßig zur Verfügung gestellten) Produkten ist ein zentrales Merkmal von COSYNA. Die Produkte sollen derzeitig routinemäßig verwendete Beobachtungs- und Modellierungsmethoden verbessern und ablösen. COSYNA arbeitet mit Behörden zusammen, die nach der Produktentwicklung die prä-operationellen in operationelle Produkte überführen können. Erfolgreicher Vorreiter ist hier das –auf Echtzeit HF-Radardaten basierende– prä-operationelle Analysesystem für Strömungsfelder in der deutschen Bucht.

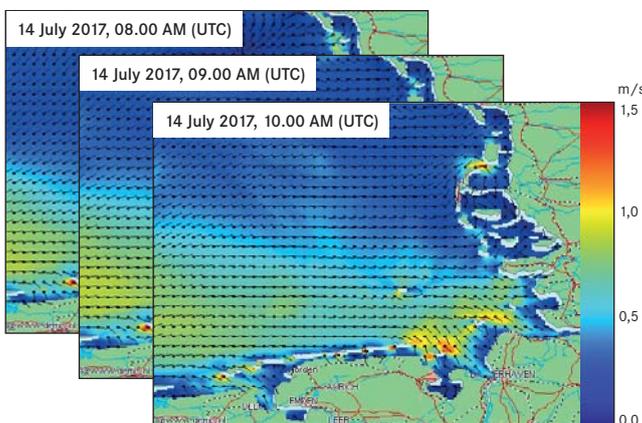
Ein COSYNA-Schwerpunkt liegt auf Information, die aus der optimierten Synthese von Beobachtungen und Modelldaten gewonnen wird (siehe COSYNA-Produkt „Strömung“).

Die COSYNA-Produkte, Daten und Metadaten stehen den verschiedenen Endnutzern über das Internet zur weiteren Verwendung zur Verfügung.

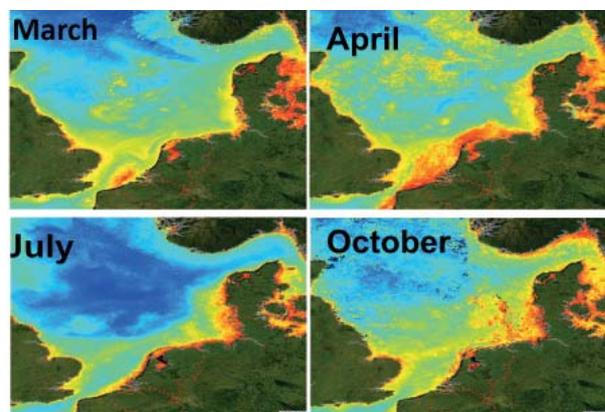
	Observations		Model	Assimilation
	Real Time	Mon. Means	Model Only	Obs. & Model
<b>Products</b>				
Currents	●	●	●	●
Sea State	●	●	●	
Temperature	●	●	●	●
Salinity	⊗		●	●
Wind	●			●
Suspended Matter	●	●	●	●
Chlorophyll	●	●		
CDOM	●	●		
<b>Experimental Products</b>				
POC, POM, DOC		●		
Productivity		●		
Ship Recognition	●			

● Existing      ● Intermediate Term  
 ● Long Term      ⊗ Transects along FerryBox-routes

Überblick über die COSYNA-Produkte in verschiedener Entwicklungsreife: Produkte im prä-operationellen Zustand (grün), Produkte die kurzfristig bereitgestellt werden (orange) und langfristig geplante Produkte (gelb).



COSYNA-Produkt: Strömungen in der Deutschen Bucht, Momentaufnahme vom 14. Juli 2017.



COSYNA-Produkt: Monatliche mittlere Chlorophyllkonzentrationen (2017). Nach der ersten Algenblüte im April nimmt die Chlorophyllkonzentration im Juli aufgrund von Nährstoffmangel ab. Im Oktober steigen die Werte wieder an (Herbstblüte).

## Produkt Oberflächenströmungsfelder in der Deutschen Bucht

Strömungsdaten an der Wasseroberfläche werden von drei Hochfrequenz-(HF)-Radarstationen auf Wangerooge, in Büsum und auf Sylt kontinuierlich gemessen und in „Echtzeit“ an das Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG) übermittelt. Nach automatischer Qualitätskontrolle werden daraus Strömungsvektoren berechnet, die stündlich in ein dreidimensionales hydrodynamisches Modell (General Estuarine Transport Model, GETM) eingebunden werden. Diese Datenassimilation nähert die Modellergebnisse stärker an die Realität an und reduziert Vorhersagefehler. Die Abweichungen von den gemessenen HF-Radar-Strömungsfeldern betragen typischerweise etwa 0,1 m/s, allerdings mit starken räumlichen Unterschieden. Zeitserien der Strömungskarten stehen öffentlich auf dem COSYNA-Datenportal zum Download zu Verfügung und sind auch in der COSYNA-App frei verfügbar. Sie können zum Beispiel für Fragen der Sicherheit des Schiffsverkehrs, der Ausbreitung von Schadstoffen oder für Rettungsmaßnahmen verwendet werden.

## Produkt Temperatur

Oberflächentemperaturen des Meeres werden kontinuierlich mit Satelliten (Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis – OSTIA) und FerryBoxen (siehe Seite 14) gemessen und mit numerischen Modellen verknüpft. Die Daten werden in eine Nord- und Ostsee-Version des Zirkulationsmodells GETM (General Estuarine Transport Model) assimiliert. Die Ergebnisse werden anschließend mit einem unabhängigen Datensatz, zum Beispiel von der MARNET-Station Deutsche Bucht, abgeglichen („validiert“).



COSYNA-Produkt: Karte der modellierten Temperatur für Juli 2017, nach Assimilation von Satellitendaten (OSTIA).

## Produkt Chlorophyll

Satellitendaten der ESA, die mit einem von HZG entwickelten Algorithmus berechnet werden, werden täglich heruntergeladen und für ein weiteres regelmäßiges COSYNA-Produkt genutzt: Die Wolkenbedeckung wird rechnerisch maskiert und der monatliche Mittelwert der Chlorophyllkonzentration an der Oberfläche der deutschen Nordsee berechnet und als Karte dargestellt.

## Produkt Wellen

Das prä-operationelle COSYNA-Wellenvorsagemodell läuft zweimal täglich um 0 und um 12 UTC und liefert eine 72-Stunden-Vorhersage regional für die Nordsee und lokal für die Deutsche Bucht (Auflösung 1 km). Mit Randbedingungen des regionalen Wellenmodells EWAM des Deutschen Wetterdienstes werden Zustandsgrößen wie signifikante Wellenhöhe, Periode und Ausbreitungsrichtung der Wellen berechnet. Die Modellergebnisse werden mit Hilfe von Wellenmessbojen validiert.

## Produkt Schiffserkennung

In Zusammenarbeit mit dem „Centre for Maritime Research and Experimentation“ (CMRE, La Spezia, Italien) werden Methoden für die Erkennung und Kursverfolgung (Tracking) von Schiffen entwickelt. Die Schiffserkennung erfolgt alle 33 Sekunden direkt an den drei HF-Radarstationen (siehe Seite 22), während Tracking und Fusion in einem nachgeschalteten Prozess am HZG berechnet werden. Zukünftig soll das System in COSYNA integriert werden und die Karten sollen in Echtzeit aktualisiert dargestellt werden.



Beispiel von Schiffstracking mittels HF-Radardaten (Daten vom 1. August 2013, 30-Minuten-Intervalle). Diese Ergebnisse können andere Datenquellen, wie das AIS, ergänzen.

## COSYNA-Unterwasserknoten

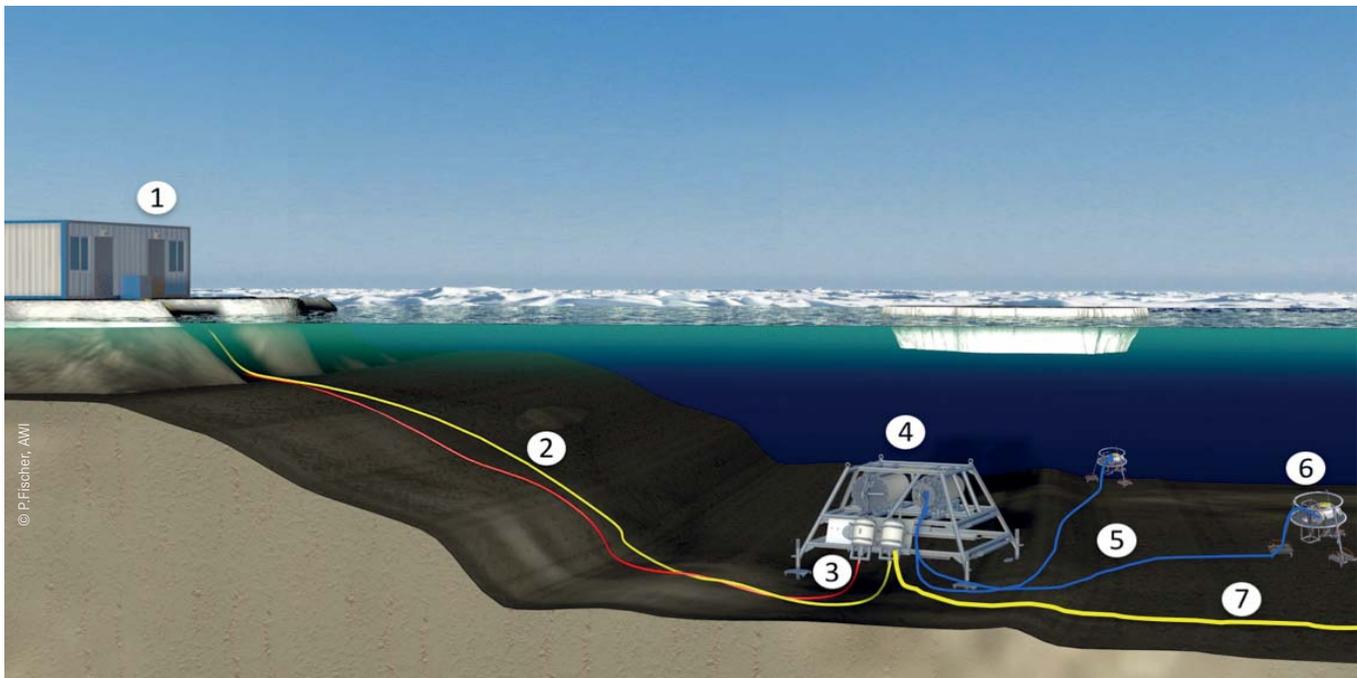
Im Rahmen von COSYNA wurde eine stabile Unterwasserknoten-Technologie für den dauerhaften Einsatz im Flachwasser entwickelt. Unterwasserknoten bieten die notwendige Infrastruktur um umfangreiche Sensorsysteme mit hohem Stromverbrauch kontinuierlich auf dem Meeresboden zu betreiben. Durch ein Kabel mit der Küste verbunden, ist der COSYNA-Unterwasserknoten für ganzjährigen Betrieb in den Schelfmeeren mit rauen Umweltbedingungen besonders geeignet.

Der COSYNA-Unterwasserknoten wurde speziell konzipiert, um für eine Vielzahl von bodennahen Messinstrumenten eine flexible Strom- und Datenanbindung bereitzustellen. Die Technologie wurde für Wassertiefen von 10 m (in hochenergetischen Umgebungen wie der Nordsee) bis maximal 300 m ausgelegt. Dazu gehört an Land ein Energieversorgungssystem, das 800 bis 1000 VDC liefert, ein Server, eine GB-Netzanbindung und virtuelle Computertechnologie für bis zu 20 verschiedene Nutzer. Diese landbasierte Kontrolleinheit ist mit dem Unterwasserknoten mittels einem optischem Glasfaser- und Strom-Hybrid-Kabel verbunden, das bis zu 30 km lang sein kann. Das Computersystem besteht aus bis zu zehn Dockingstationen für

voneinander unabhängige Sensoreinheiten sowie einem landgestützten Serversystem, das für die Wissenschaftler via Internet virtuelle Desktops zur Verfügung stellt. Alle Daten werden den Nutzern mit 100 MBit/s (maximal 1 GBit/s) zur Verfügung gestellt (gilt für Landstationen mit Internetzugang; alternativ kann eine Funkverbindung verwendet werden, deren Datengeschwindigkeit allerdings kleiner ist).

Seit 2017 sind drei COSYNA-Unterwasserknoten in Betrieb: einer in der südlichen Nordsee nördlich von Helgoland, ein zweiter in der Eckernförder Bucht in der Ostsee und der dritte im Arktischen Ozean auf 79°N vor Spitzbergen (betrieben vom AWI, siehe Abbildung).

Dauermessstationen mit moderner Sensortechnik haben eine große wissenschaftliche Bedeutung, da sie hochaufgelöste Zeitserien von hydrographischen und biologischen Zustandsgrößen liefern. Besonders in den von COSYNA untersuchten Gebieten „Nordsee“ und „Arktische Küsten“ sind von Schiffskampagnen unabhängige, per Fernabfrage zugängliche Messstationen wichtig, da dort Wartung und Reparaturen durch die Wetterbedingungen oft kaum möglich sind.

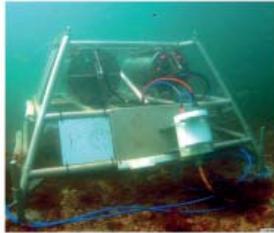


Aufbau des COSYNA-Unterwasserknoten-Systems mit (1) Server und Energieversorgung an Land, (2) Kabelverbindung (max. 30 km) zum ersten Unterwasserknoten, (3) Breakout box verbindet das Kabel mit dem ersten Unterwasserknoten, (4) erster Unterwasserknoten, (5) und (6) Kabelverbindung (max. 70 m) zu den Sensoreinheiten und (7) Kabelverbindung zu einem zweiten Knoten. Mit dem zweiten Knoten kann ein dritter Knoten verbunden werden.

Die COSYNA Unterwasserknotentechnologie wurde gemeinsam vom Helmholtz-Zentrum Geesthacht und dem Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung in enger Zusammenarbeit mit den zwei Firmen 4H-Jena (Jena, Deutschland) und loth-engineering (Wiesbaden, Deutschland) entwickelt und betrieben. Die Boknis Eck-Station in der Ostsee wird gemeinsam von HZG und GEOMAR - Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel betrieben.

Zukünftig soll das Konzept des Unterwasserknotens in einer Weise weiterentwickelt werden, dass kurzfristige Einsätze als Komponente eines modularen Beobachtungssystems möglich sind. Daher werden zurzeit Energie- und Datenverbindungen geändert, um Kopfbojen mit Fotovoltaik, Windenergie und Brennstoffzelle zu nutzen. Weitere technologische Fortschritte befassen sich mit Anti-Fouling-Technologien und der Nutzung der Unterwasserknoten als Andockpunkte für Unterwasserfahrzeuge.

**COSYNA underwater node system off Helgoland-North Sea**



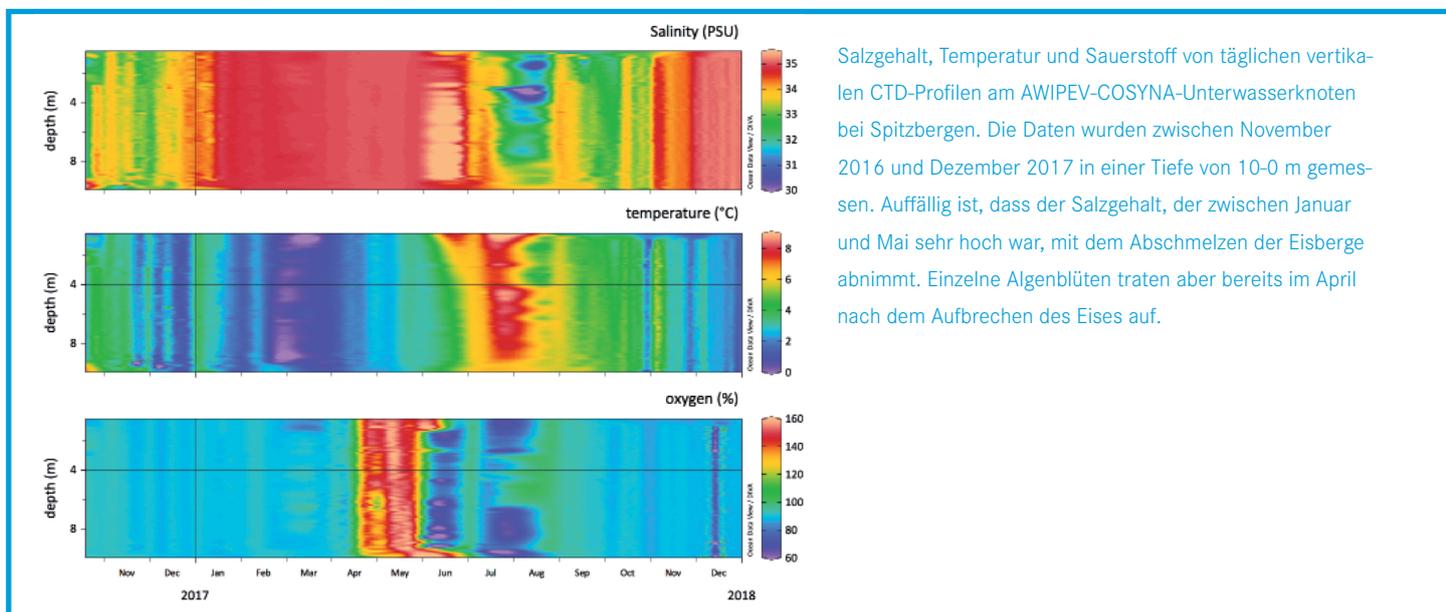
**COSYNA underwater node system Eckernförde Bight Baltic Sea**



**AWIPEV-COSYNA underwater observatory at 79°N (Svalbard)**



COSYNA-Unterwasserknoten vor Helgoland (Nordsee), vor Eckernförde (Ostsee, links) und im Arktischen Ozean vor Spitzbergen (rechts).



Salzgehalt, Temperatur und Sauerstoff von täglichen vertikalen CTD-Profilen am AWIPEV-COSYNA-Unterwasserknoten bei Spitzbergen. Die Daten wurden zwischen November 2016 und Dezember 2017 in einer Tiefe von 10-0 m gemessen. Auffällig ist, dass der Salzgehalt, der zwischen Januar und Mai sehr hoch war, mit dem Abschmelzen der Eisberge abnimmt. Einzelne Algenblüten traten aber bereits im April nach dem Aufbrechen des Eises auf.

## Transekte an der Wasseroberfläche - FerryBoxen

FerryBoxen sind automatische Messsysteme zur Bestimmung von physikalischen und biogeochemischen Zustandsgrößen im oberflächennahen Wasser. Sie sind entweder auf „Ships-of-Opportunity“ installiert, das heißt auf Fähren und Containerschiffen, die regelmäßige Routen durch die Nordsee befahren, oder sie werden an festen Stationen betrieben, in COSYNA zum Beispiel in Cuxhaven und auf Spitzbergen.

Der unschlagbare Vorteil der FerryBox-Systeme liegt in ihrer Kosteneffektivität und ihrem geringen Wartungsbedarf. Während des Betriebs der FerryBoxen entstehen keine Schiffskosten, die Energieversorgung ist vernachlässigbar, regelmäßige Wartung ist möglich, die Transekte werden regelmäßig beprobt und Biofouling-Probleme können relativ direkt durch automatische Reinigungszyklen vermieden werden.

Für die Messungen wird das Meerwasser durch einen Einlass knapp unter der Wasseroberfläche in einen Messkreislauf mit einer Vielzahl von Sensoren gepumpt. Das System ist mit einem automatischen Selbstreinigungs- und Antifouling-Mechanismus ausgerüstet und kann mittels Mobilfunk- oder Satellitenverbindung ferngesteuert werden. Die installierten Systeme können die gemessenen Wasserqualitäts- und

meteorologischen Daten mit GPS-Informationen zu einem Datenstrom verknüpfen, der automatisch über Satelliten- oder Mobilfunkverbindung von Schiff an Land übertragen wird. Die Daten werden im Internet frei zur Verfügung gestellt. Die regelmäßigen, automatischen Datenerhebungen der FerryBoxen ermöglichen detaillierte Untersuchungen physikalischer und biogeochemischer Prozesse und auch die Datenassimilation in Modellen.

FerryBoxen wurden am Helmholtz-Zentrum Geesthacht entwickelt. Heutzutage sind sie weltweit im Einsatz, um Umweltbedingungen und ozeanographische Wasserqualitätsparameter an den Küsten, aber auch im offenen Ozean kontinuierlich und autonom zu messen. Um alle diese Daten zugänglich zu machen, wurde eine gemeinsame europäische FerryBoxen-Datenbank eingerichtet, die vom Helmholtz-Zentrum Geesthacht betreut und gehostet wird.

### Messgrößen

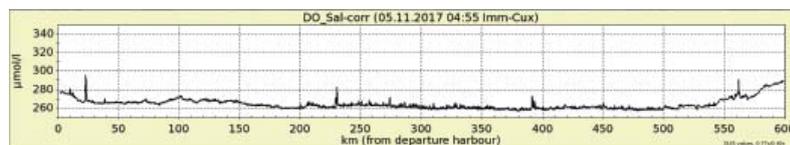
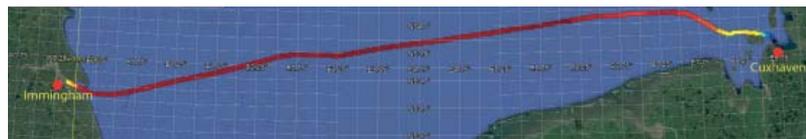
Temperatur, Salzgehalt, Schwebstoffe, Chlorophyll, pH-Werte, pCO<sub>2</sub>, Alkalinität, Sauerstoff, Algengruppen, Nährstoffe, automatisierte Wasserprobenahme für spätere Analysen im Labor

### Zukünftig

Durchfluss-Cytometer, Genprobe (Biosensor)



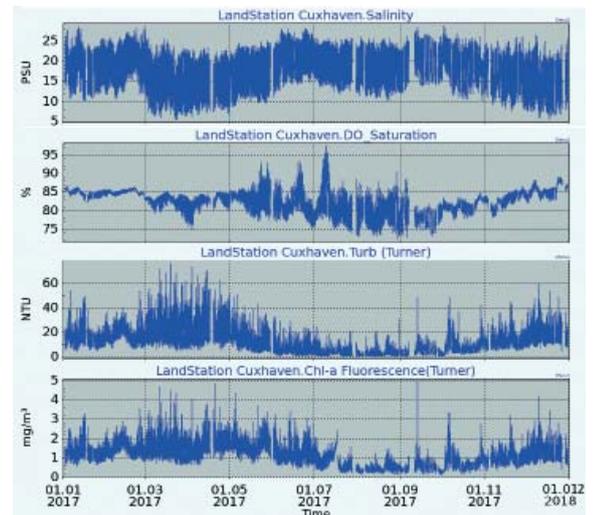
Blick ins Innere einer FerryBox: Kontrolleinheiten und Messinstrumente (Foto: HZG)



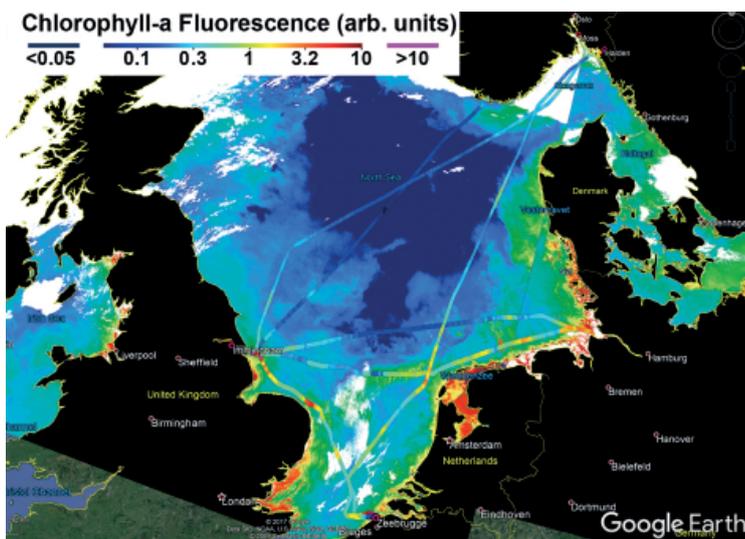
Messdaten von einer FerryBox-Fahrt zwischen Cuxhaven (Deutschland) und Immingham (Großbritannien) am 5. November 2017. Deutlich zu erkennen sind höhere Werte für Sauerstoffsättigung und CO<sub>2</sub>-Partialdrucks sowie geringere Salzgehalte jeweils im küstennahen Bereich (beeinflusst durch Flüsse).



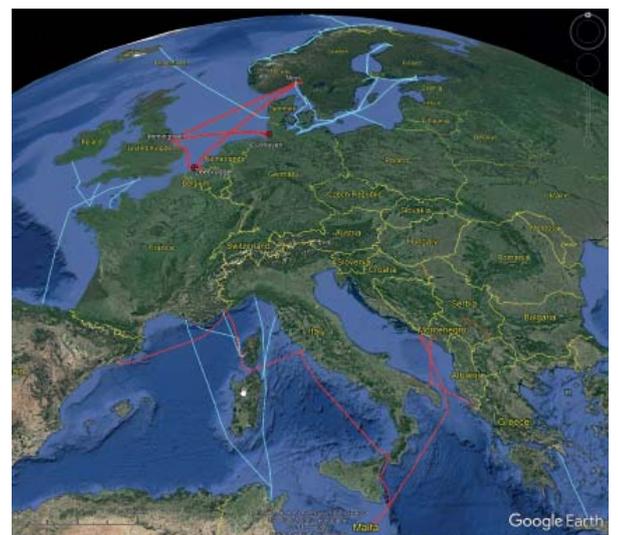
Messcontainer mit FerryBox an der Elbemündung in Cuxhaven, Deutschland (Foto: HZG)



Zeitserienmessungen der FerryBox in Cuxhaven im Jahresverlauf 2017: Salzgehalt, Sauerstoff, Schwebstoffe, Chlorophyll. Gut zu erkennen sind die kurzfristigen Schwankungen durch die Gezeiten und langfristige Veränderungen durch Flüsse und Wind. Die Schwankungen im Chlorophyllgehalt entstehen hier vor allem durch veränderte Mischungsverhältnisse von Meer- und Flusswasser, weniger durch Planktonwachstum und -zerfall.

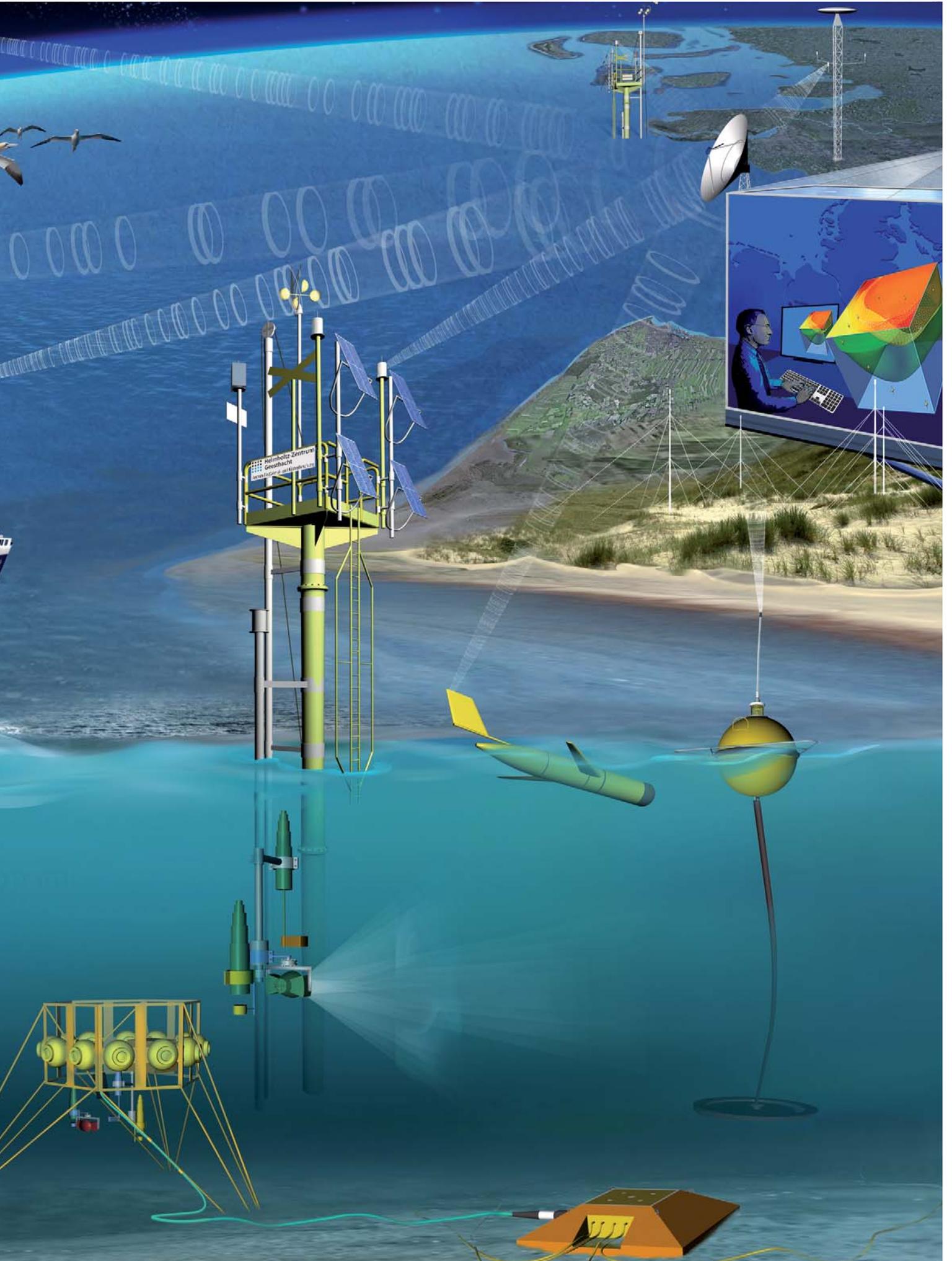


Chlorophyllmessungen: Vergleich zwischen FerryBox- und Sentinel III-Satelliten-daten im Juni 2017. Die Differenzen können (a) durch Unterschiede in der Methodik erklärt werden: Lichtabsorption bei Sentinel III und Chlorophyll-Fluoreszenz bei der FerryBox und (b) durch zeitlichen Versatz zwischen den Messungen, da der Satellit nur einmal täglich das Messgebiet überfliegt. [Chlorophyllwerte sind in relativen Einheiten angegeben]



Die Karte zeigt die europäischen FerryBox-Routen. Rot markiert sind die durch HZG betriebenen FerryBoxen.





## Stationäre Messsysteme

Stationäre Plattformen haben den Vorzug, dass sie kontinuierlich hoch aufgelöste Zeitserien von meteorologischen, ozeanographischen und Wasserqualitäts-Zustandsgrößen erfassen. So werden neue Einsichten in die Variabilität des Systems auf Zeitskalen von Sekunden bis hin zu mehreren Jahren gewonnen. In der Deutschen Bucht hat COSYNA verschiedene Stationen betrieben, zum Beispiel auf der Offshore-FINO3, sowie kleinere, autarke Pfähle im Wattenmeer und in der Elbmündung, um anhand der Daten den Austausch von Energie und Stoffen zwischen der flachen, küstennahen Gezeitenzone und der Deutschen Bucht zu untersuchen.

Zeitserien von ozeanographischen, meteorologischen und biogeochemischen Daten werden seit 2002 kontinuierlich von einem Messpfahl des Instituts für Chemie und Biologie des Meeres der Universität Oldenburg (ICBM) im Seegatt zwischen den Ostfriesischen Inseln Langeoog und Spiekeroog gemessen. Diese Station gehört seit 2012 zum COSYNA-Messnetz. Die gemessenen Daten tragen wesentlich zur Verbesserung und Validierung von Modellanalysen und zur Beantwortung von Forschungsfragen bei, wie zum Beispiel zur Wirkung von Algenblüten, von Sturmfluten auf die Sedimentdynamik und zu Austauschprozessen.

Lange Zeitserien sind unerlässlich, um die Langzeit-Variabilität von ozeanographischen und biologischen Zustandsgrößen abzuschätzen und um auf dieser Basis den menschlichen Einfluss zu bestimmen.

Die Spiekeroog-Dauermessstation besteht aus einem 35,5 m langen Pfahl, der 10 m tief im Sediment verankert ist. Die Temperatur-, Leitfähigkeits- und Druck-Sensoren arbeiten in fünf horizontalen Rohren in 1,5 bis 9 m Höhe über dem Meeresboden, die in der Hauptströmungsrichtung ausgerichtet sind. An der Spitze des Pfahls, etwa 7 m über der Wasseroberfläche, befindet sich eine Plattform mit zwei Laborcontainern,

die wiederum eine zweite Plattform mit Solarkollektoren, Windturbine und meteorologischen Sensoren tragen. Ein ADCP-Strömungsmesser ist auf einem 12 m langen Ausleger etwa 1 m über dem Meeresboden installiert. Die Spiekeroog-Dauermessstation kann Stürmen und Eisgang widerstehen.



ICBM-Pfahl bei Spiekeroog (Foto: ICBM)

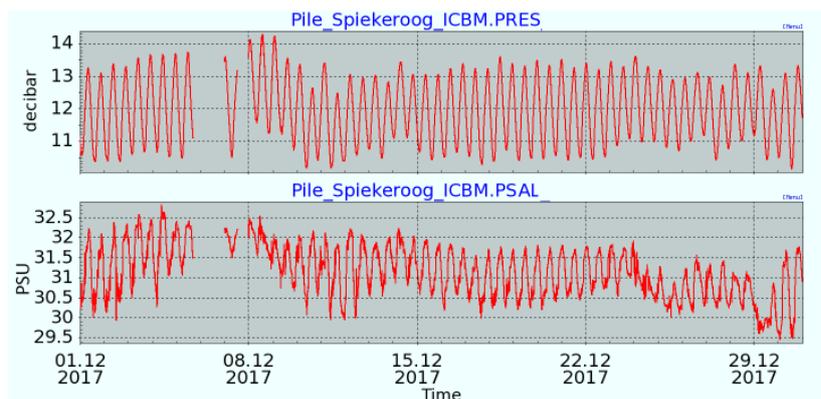
### Messgrößen

**Meteorologie:** Wind, Lufttemperatur, Druck, Niederschlag, Einstrahlung, Luftfeuchte

**Ozeanographie:** Strömungsgeschwindigkeit, Wellenhöhe, Temperatur, Salzgehalt, Schwebstoff,

**Biogeochemie:** Chlorophyll, pH-Wert, Sauerstoffsättigung

Die Abbildung zeigt eine typische hoch aufgelöste (10 Minuten-Intervalle) Zeitserie, die am Pfahl bei Spiekeroog gemessen wurde: Luftdruck (oben) und Salzgehalt (unten). Vom 4. bis zum 10. Dezember 2017 drückte ein starker Wind aus nördlicher Richtung die Wassermassen aus der Deutschen Bucht in die Gebiete hinter den Friesischen Inseln, wo der Pfahl steht. Das führte zu hohen Wasserständen und gleichzeitig hohen Salzgehalten auch bei Niedrigwasser.



## Messplattformen auf dem Meeresboden - Lander

Autonome Instrumententräger auf dem Meeresboden („Lander“) füllen die Lücke zwischen langfristigen stationären Messsystemen, Fernerkundungsmethoden und Messkampagnen mit Schiffen. Mit Landern werden verschiedene Prozesse nah am Meeresboden oder im Sediment gemessen. Die Systeme bestehen aus einem Gestell („Lander“) mit einer Reihe hydro-akustischer, laser-optischer und anderer Sensoren, benthischen Kammern, Datenspeichern und Stromversorgung. Nachdem die exakten Standorte vorher mit hydro-akustischen und photographischen Methoden bestimmt wurden, werden die Lander auf dem Meeresboden ausgebracht. Sie arbeiten Stunden bis mehrere Tage autonom oder können für längere Betriebszeiten an einen COSYNA-Unterwasserknoten angeschlossen werden, der sie mit Energie und Datenverbindung versorgt. Im Rahmen von COSYNA wurden folgende Lander entwickelt und kommen zum Einsatz:

Der SedOBS (Sediment Dynamics Observatory)-Lander macht Messungen zur Dynamik des Meeresbodens. Die Messungen erfassen die Wechselwirkung von Mikrobathymetrie (Sedimentdynamik, Sedimentmorphologie, Meeresbodenfauna), Strömungen und Turbulenzmustern, Sedimenttransporten auf dem Boden und in der unteren Wassersäule, sowie von biogeochemischen Parametern wie Sauerstoff, pH-Werten, Salzgehalt und Fluoreszenz. SedOBS wird vom Zentrum für Marine Umweltwissenschaften MARUM in Zusammenarbeit mit dem Helmholtz-Zentrum Geesthacht betrieben.

### Messgrößen und Instrumente für SedOBS

Hochauflösende Strömungsprofile (ADCP), Turbulenz, CTD, Eddy-Korrelationen, Teilchengrößen (LISST), Floc-Cam, hochauflösendes Sonar, Schallaufzeichnungen

### Messgrößen und Instrumente für NusOBS

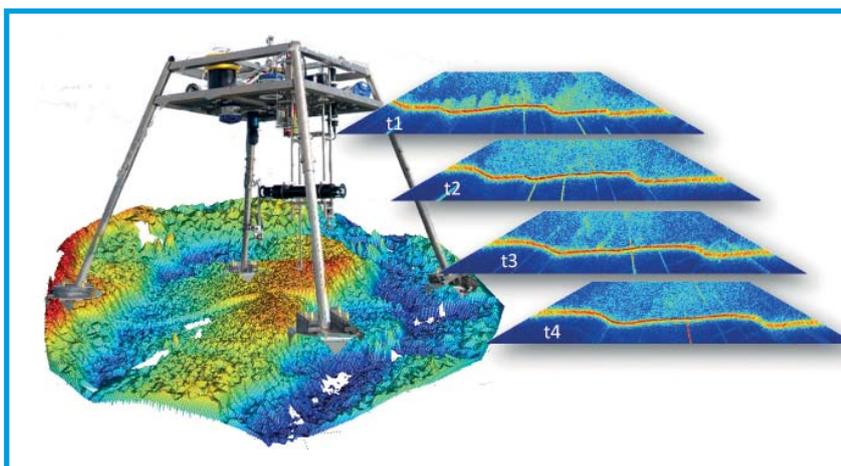
Teilchensammler, benthische Flusskammer, Strömung, CTD, in situ-Wasserprobennehmer, in situ- Porenwassersammler, Sauerstoff, pH-Wert, Nährstoffe, Messgrößen für FluxSO

Der benthische Lander NusOBS (Nutrient and Suspension Observatory) wurde entwickelt, um biologische, sedimentologische und geochemische Austauschprozesse zwischen dem Sediment und der Wassersäule zu untersuchen. Er ist mit mehreren Sensoren und Probenahme-Vorrichtungen für biogeochemische Parameter wie Nährstoffe, Sauerstoff und pH-Werte ausgerüstet. Mit Hilfe von zwei benthischen Kammern werden in situ-Inkubationen zur Messung von Sauerstoff- und Nährstoff direkt an der Sediment-Wasser-Grenze vorgenommen. Dieser Lander wird vom Alfred-Wegener-Institut betrieben.

Der Kammer-Lander FLUXSO (Fluxes on Sand Observatory) wurde entwickelt, um in durchlässigen, sandigen Sedimenten vor Ort die Flüsse von gelösten Nährstoffen, gelöstem anorganischen Kohlenstoff und Sauerstoff an der Sediment-Wasser-Grenze zu untersuchen. Das Ziel ist, advektionsbezogene Prozesse in durchlässigen Schelfsedimenten, die benthisch-pelagische Kopplung und die Bedeutung des Seebodens in Schelfmeeren für den Umsatz von organischen Kohlenstoff und als Senke oder Quelle für Nährstoffe und Sauerstoff zu untersuchen. FLUXSO wurde in Zusammenarbeit mit dem Max-Planck-Institut Bremen und der Firma K.U.M. GmbH entwickelt.



Der Lander FLUXSO während des Ausbringens  
(Foto: J. Friedrich, HZG)



Die komplizierte dreidimensionale Topographie des Meeresbodens entsteht aus der Wechselwirkung von Hydrodynamik und kleinräumigen Bodenformen, sichtbar an der lokalen Aufschwemmung von Sedimenten auf der Rückseite der Bodenrippeln (t1) und an der schnellen Anpassung der Geometrie der Bodenform an die Gezeitenströmungen (t2-t4). (Abbildung: MARUM, auf Basis von SeDOBS-Daten)

# Messkampagnen mit Forschungsschiffen

Regelmäßige Forschungsfahrten in der Deutschen Bucht ergänzen die kontinuierlichen Messungen an festen Stationen und entlang von Transekten. Sie tragen dazu bei, einen guten Überblick über die Deutsche Bucht zu gewinnen. Während der Messkampagnen kreuzen die Forschungsschiffe auf im Rahmen von COSYNA festgelegten Routen die Nordsee und passieren die stationären COSYNA- und die staatlichen BSH-MARNET-Messstationen. Das Fahrtmuster umfasst im Bereich der Deutschen Bucht sowohl Ost-West als auch Süd-Nord-Transekte von den Küsten in die offene Nordsee. Die Forschungsschiffe FS Heincke und FS Prandtl sind mit FerryBoxen, profilierenden Wasserprobennehmern, einer neu entwickelten Schleppkette und einem geschleppten Instrumententräger (Scanfish™, siehe Bild) ausgerüstet.

Die Messfahrten dienen mehreren Zielen gleichzeitig:

- Räumliche Interpolation der beobachteten Zustandsgrößen zwischen den stationären Messstationen
- Ergänzung der mit FerryBoxen und Fernerkundung erhobenen Oberflächendaten mit Daten aus größerer Wassertiefe
- Kalibrierung von Messgeräten mit qualitätskontrollierten in situ-Wasserproben
- Testen neuer Sensorpakete für späteren Einsatz in prä-operationellen Messfeldern
- Untersuchungen der natürlichen Dynamik der Nordsee

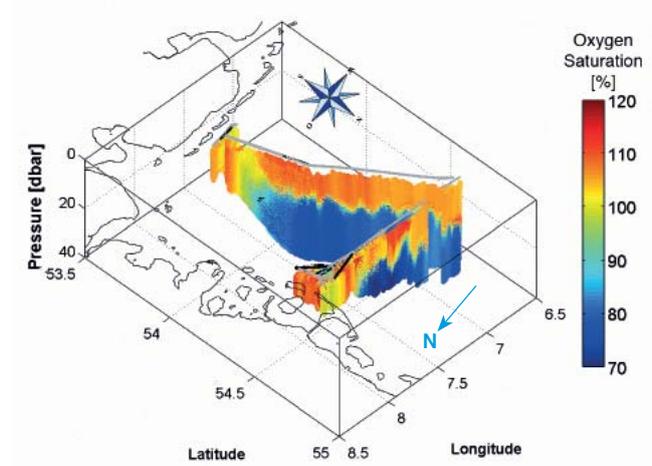
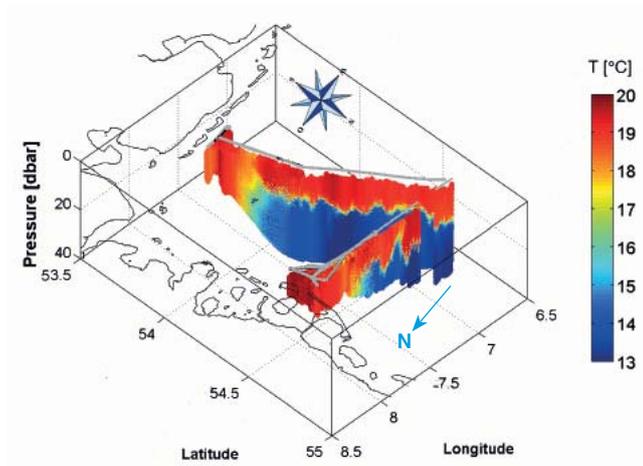
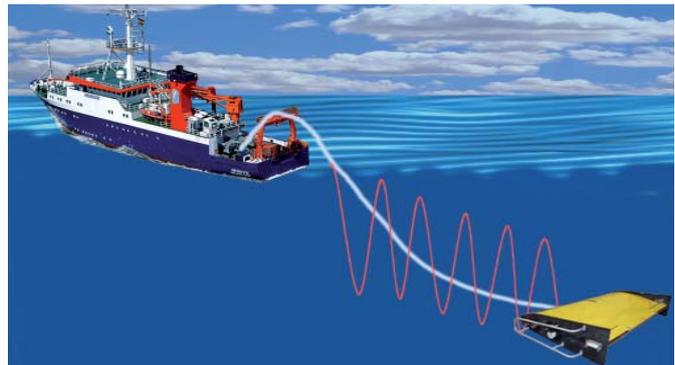
## Messgrößen

Temperatur, Salzgehalt, Schwebstoffe, Chlorophyll, Sauerstoff, lokale Wassertiefe

## „Abscannen“ der Wassersäule

Der Scanfish™ ist ein Sensorträger, der geschleppt wird und sich dabei wellenförmig auf und ab bewegt. Klappen kontrollieren dabei die Vertikalbewegung. Der Scanfish™ kann verschiedene ozeanographische Sensoren tragen. Während der fortwährenden Auf- und Ab-Bewegungen werden Millionen von Datenpunkten aufgezeichnet, die entlang der Fahrttroute einen detaillierten und quasi-synoptischen Blick auf den Ozean erlauben (siehe Abbildungen unten).

Als neues Instrument wurde eine Schleppkette entwickelt, eine Reihe von zehn bis zwanzig an einer Leine angeordneten CTDs (Leitfähigkeits-, Temperatur- und Druckmesssonden). Das Gerät ermöglicht rasch wiederholte Messungen mit großer horizontaler und vertikaler Auflösung und kann auch von kleineren Booten mit hoher Geschwindigkeit geschleppt werden. Die Schleppkette wurde entwickelt, um die für die Dynamik wichtigen kleinskaligen Prozesse besser zu beobachten und zu verstehen.



Scanfish™-Ergebnisse erlauben einen quasi-synoptischen Blick: Wassertemperaturen (links) und Sauerstoffsättigung (rechts) während einer Forschungsfahrt in der Deutschen Bucht vom 28. Juli bis 5. August. Deutlich ist die Schichtung mit höheren Temperaturen und Sauerstoffwerten in der Nähe der Oberfläche erkennbar (Hinweis: Die Karte ist nicht nach Norden ausgerichtet).

## Dreidimensionale Transekte - Glider

Glider sind für langfristige, wochen- bis monatelange, selbstständige Messkampagnen unter Wasser konzipiert. Ihr Weg durchs Wasser gleicht einem Sägezahnmuster. Sie verbrauchen sehr wenig Energie, da sie nur ihren Auftrieb aktiv ändern. Dadurch tauchen und steigen sie und schmale Flügel sorgen für den Vortrieb. Im Normalfall führt ein Glider 30 bis 40 Tauchgänge durch, bevor er nach etwa vier Stunden an die Oberfläche aufsteigt und via Satellit mit den Wissenschaftlern Kontakt aufnimmt. Diese Taktung ermöglicht es, Messungen mit hoher zeitlicher Auflösung durchzuführen und einen Teil der gesammelten Daten zeitnah abzurufen.

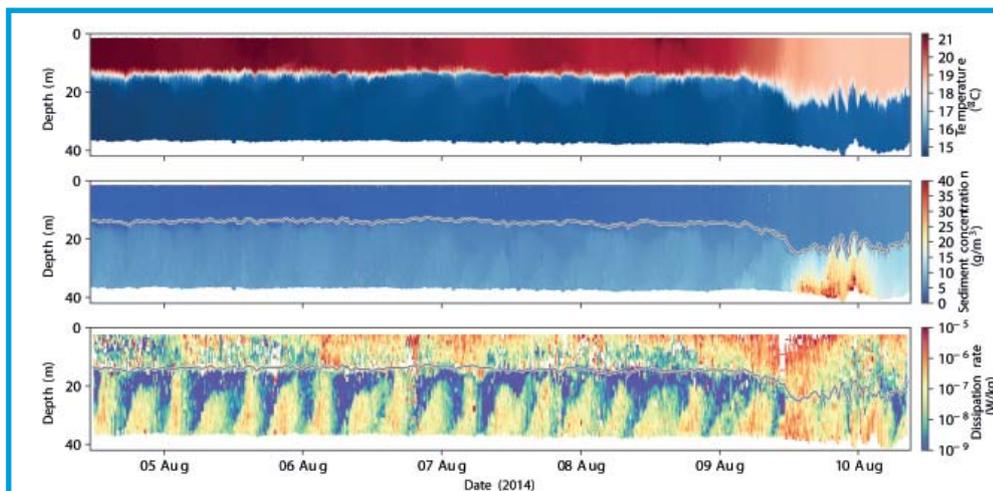
Glider sind relativ kostengünstige, wetterunabhängige Messplattformen. Bei den Messkampagnen bewegen sie sich meistens entlang von Transekten durch das Meer, können aber auch quasi-stationär verwendet werden. Glider können mit einer Vielzahl verschiedener Sensoren ausgerüstet werden. Besonders geeignet sind sie zur Untersuchung der Schwebstoffdynamik in der Wassersäule. Dabei messen optische Rückstreuungssensoren die Sedimentkonzentrationen.

Die Bestückung mit Mikrostruktur-Turbulenzsensoren erlaubt neue Einblicke in die Schichtung von Temperatur, Salzgehalt und Schwebstoffen. Diese hochempfindlichen Sensoren benötigen vibrationsfreie Trägersysteme - eine Anforderung, die Glider nahezu perfekt erfüllen.



### Messgrößen

Temperatur, Salzgehalt, Schwebstoffe (optische Rückstreuung), Chlorophyll, „Gelbstoff“ (CDOM, gelöstes organisches Material), Strömung (tiefengemittelt und aus ADCP-Profilen), Mikrostruktur (optional)



Vor und während des Sturms „Bertha“ (9.-11. August 2014) in der Deutschen Bucht mit Glider „Sebastian“ gemessene Daten: Die obere Abbildung (Temperatur) zeigt eine deutliche Schichtung in der Wassersäule, die während des Sturms dann aufgebrochen wird (Durchmischung). Die Schwebstoffkonzentration (mittlere Abbildung) schwankt zunächst gering mit den Gezeiten, während des Sturms steigt die Konzentration durch vom Meeresboden resuspendiertes Sediment stark an. Die in der unteren Abbildung dargestellte turbulente Dissipationsrate ist ein Maß für die Intensität der Turbulenz (Verwirbelung). Die Verwirbelung wird in der Nähe des Meeresgrundes durch tidebeeinflusste Scherkräfte und im oberen Bereich durch Scherwirkung des Windes angetrieben.

## Fernerkundung – Radar

Radar ist ideal, um die Meeresoberfläche unabhängig von Tageslicht und Wetter zu untersuchen. Das Institut für Küstenforschung des Helmholtz-Zentrums Geesthacht verwendet mehrere unterschiedliche Radarsysteme, die auf einer Vielzahl von Plattformen eingesetzt werden: vom Weltraum (SAR) und von der Küste aus, auf Schiffen sowie von Offshore-Plattformen. Mit den Radarsystemen können Windrichtung und -intensität über dem Meer sowie Wellen und Meeresströmungen auf räumlichen Skalen von Metern bis zu Hunderten von Kilometern beobachtet werden. Die Radarmessungen basieren darauf, dass die Meeresoberfläche aufgrund ihrer Oberflächenrauigkeit Strahlung im elektromagnetischen Wellenlängenbereich des Radars zurückstreut. Wind, Wellen und Strömungen stehen in enger Beziehung und können daher aus den Radarmessungen berechnet werden.

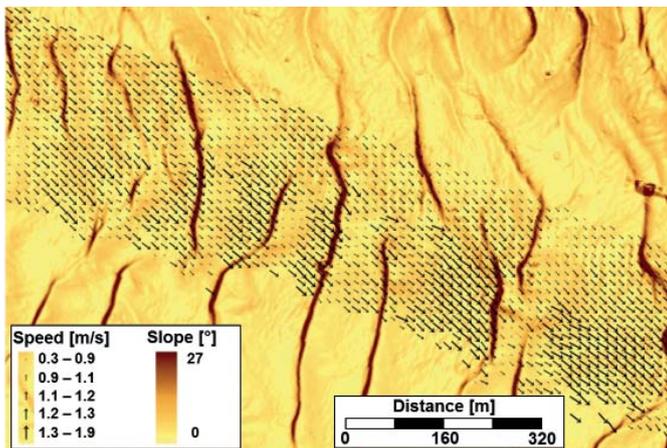
Um die Meeresoberfläche über kurze Entfernungen (unter 2 km) mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung zu beobachten, werden land- oder schiffsgestützte Mikrowellenradare (X-Band; 9,4 GHz) eingesetzt. Mit diesen Messsystemen werden Wind, Wellen und Strömungen an der Meeresoberfläche sowie die Gestalt und Morphologie des Meeresbodens (Bathymetrie) in Flachwassergebieten bestimmt.

Radarwellen im Hochfrequenzband (HF-Band, 3-30 MHz) breiten sich im Unterschied zum X-Band entlang der Grenzfläche von Luft und Wasser aus und ermöglichen dadurch eine Abdeckung von mehr als 150 km, allerdings bei grober räumlicher Auflösung. Drei HF-Radar Stationen werden als Teil von COSYNA entlang der deutschen Nordseeküste betrieben und sammeln im Routinebetrieb Daten. Alle 20 Minuten werden die Radardaten in Fast-Echtzeit in Wellen- und Strömungsfelder mit einer räumlichen Auflösung von 2 km umgerechnet.

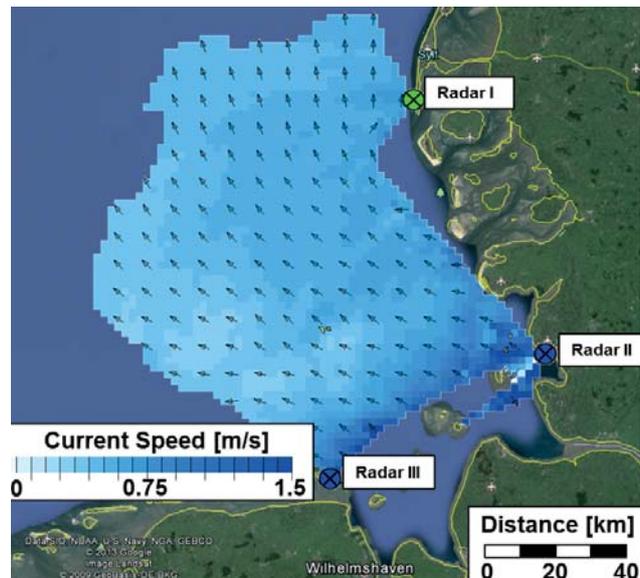
Für großräumigere Beobachtungen hat das Helmholtz-Zentrum Geesthacht Algorithmen entwickelt, um von satellitengestützten Radarsystemen großräumig hochaufgelöste Daten zu Oberflächenwinden zu erhalten. Die resultierenden Windkarten bieten entlang der Umlaufbahn des Satelliten einen momentanen Blick auf einen bis zu 500 km breiten Streifen mit einer Auflösung von bis zu 100 Metern.

### Messgrößen

Windgeschwindigkeit und -richtung, Wellenhöhe und -periode, Strömungsgeschwindigkeit und -richtung, Bathymetrie



Hochaufgelöstes Strömungsfeld, gemessen von einem Dopplerradar (Radar Doppler Current Profiler) vor der Küste von Sylt. Die untergelegte bathymetrische Karte wurde mit Daten eines Fächerecholots erzeugt.



Aus HF-Radarmessungen abgeleitetes Strömungsfeld am 5. Januar 2014 um 4:19 Uhr (UTC) in der Deutschen Bucht.

## Fernerkundung – Ozeanfarbe (“Ocean Colour”) von Satelliten

Satellitenfernerkundung ist ein einzigartiges Verfahren, um große Meeres- und Landoberflächen gleichzeitig zu beobachten. Die Farbe des Ozeans wird im sichtbaren Spektrum des Lichts gemessen und zur Berechnung von Chlorophyll-, Schwebstoff- und Gelbstoff (CDOM = coloured dissolved organic matter)-Konzentrationen benutzt. Für die Bedingungen des offenen Ozeans sind die Berechnungsalgorithmen gut etabliert, für Küstenregionen mit ihren stark schwankenden Wasserinhaltsstoffen werden sie intensiv erforscht. Die Europäische Weltraumbehörde ESA verwendet einen speziellen Algorithmus für Küstengewässer, der am Helmholtz-Zentrum Geesthacht entwickelt wurde, um alle Küstendaten des früheren MERIS- und des OLCI-Spektrometers zu bearbeiten. Dieser Algorithmus wird regelmäßig verbessert. Er wird auch für die tägliche Bearbeitung der Daten in COSYNA verwendet, wie in der Momentaufnahme der Chlorophyllkonzentrationen in der Nordsee am 27. Mai 2017 gezeigt (Abbildung unten rechts).

Derselbe Algorithmus wird nun auch für OLCI als Teil der Sentinel-3-Mission eingesetzt, deren erster Satellit 2016 in Betrieb genommen wurde. Für ein besseres Verständnis der Chlorophylldynamik und um den Einfluss der Wolkenbedeckung auf die Daten zu reduzieren, werden die wolkenbedeckten Regionen maskiert und aus den Tagesdaten Monatsmittel und -maxima abgeleitet. Optische Fernerkundung ist ideal, um großräumige Informationen für fast jeden (wolkenarmen) Tag zu gewinnen.

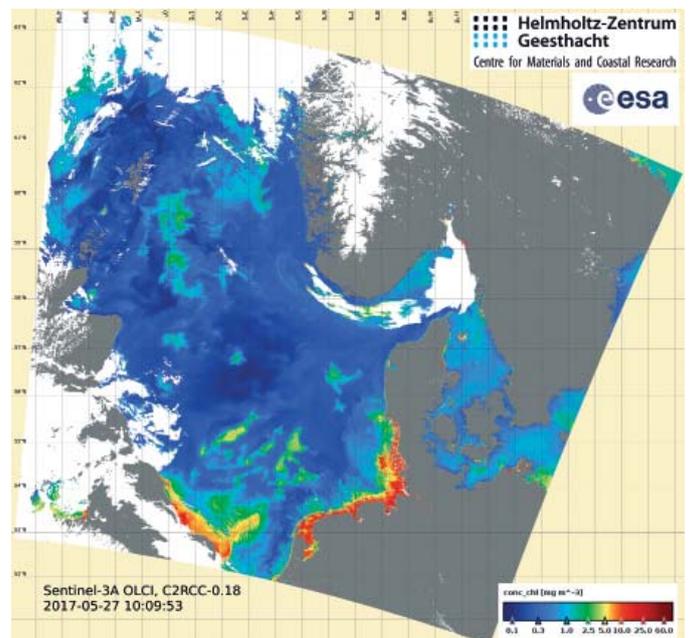
Da Satelliten in tieferen Wasserschichten und unter Wolken keine Daten messen können, sind Messungen vor Ort (in-situ) in Verbindung mit numerischen Modellen nötig, um die fehlenden Daten zu ergänzen. Zusätzliche in situ-Daten von Messkampagnen und stationären Beobachtungssystemen werden verwendet, um die Satellitendaten zu validieren und verbessern.

### Messgrößen

Schwebstoffkonzentration, Chlorophyll, Gelbstoff (CDOM), zukünftig: partikulärer und gelöster organischer Kohlenstoff



Sentinel-3-Satellit (Foto: ESA)



Chlorophyllkonzentrationen in der Nordsee am 27. Mai 2017 um 10:09 Uhr (UTC), von OLCI-Daten mit dem ‚Case-2-Regional‘ Prozessor ermittelt. Bemerkenswert ist, dass nur natürliche Wolken (keine Kondensstreifen) sichtbar sind, da der Luftraum über Europa geschlossen war.

## Instrumentenentwicklung - pH- und Alkalinitäts-Sensoren

Biogeochemische Prozesse in den Schelfmeeren spielen eine zentrale Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf und haben großen Anteil an der CO<sub>2</sub>-Speicherung in den Ozeanen. Kontinuierliche Messungen des Kohlenstoffkreislaufes im Meer tragen wesentlich dazu bei, Klimaveränderungen sowie die Ozeanversauerung besser zu verstehen. Um den kompletten Kohlenstoffhaushalt im Meerwasser quantifizieren zu können, müssen mindestens zwei Zustandsgrößen bestimmt werden, alle anderen Größen können dann berechnet werden.

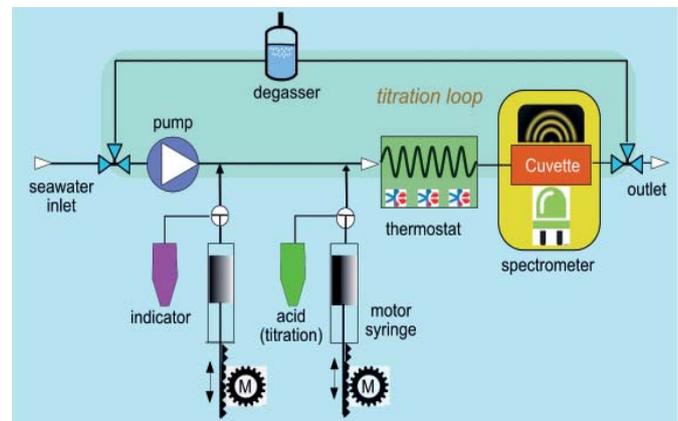
Als Beitrag zur automatisierten Messung des Kohlenstoffsystems hat das Helmholtz-Zentrum Geesthacht daher Systeme entwickelt, die selbstständig Alkalinität (ein Maß für die Pufferkapazität des Meerwassers) und pH-Werte mit hoher zeitlicher Auflösung (1/min) messen und sowohl auf Schiffen als auch stationär eingesetzt werden können.

Das pH-Messsystem fügt der Wasserprobe einen Säure-Base-Indikator zu, dessen Extinktionskoeffizient sich mit dem Säuregehalt der Wasserprobe ändert und spektralphotometrisch bestimmt wird. Damit ist eine hochpräzise Messung des pH-Wertes möglich. Ein großer Vorzug der Methode ist, dass sie eine Absolutmessung ist, die keiner Kalibrierung bedarf. Nur Temperatur und Salzgehalt müssen genau bekannt sein.

Auf ähnliche Weise funktioniert das Gerät zur Messung der Alkalinität. Es wird eine Indikator-kontrollierte Titration mit einer starken Säure durchgeführt. Die Farbänderung des Indikators wird spektralphotometrisch gemessen, worüber dann die Alkalinität berechnet wird. Für die Berechnung ist zudem der pH-Wert notwendig, der daher während der Titration ebenfalls bestimmt wird.

### Messgrößen

Präzisions-pH-Wert, Gesamtalkalinität



Schematische Übersicht des Messprinzips für die Alkalinitätsbestimmung

## Instrumentenentwicklung - Nukleinsäure-Biosensor

Bei der Beobachtung von marinem Phytoplankton ist neben der Gesamtkonzentration (zum Beispiel durch Chlorophyllmessung) auch die Artenzusammensetzung wichtig. Deren Bestimmung kann durch den Einsatz von Nukleinsäure-Biosensoren automatisiert werden. Herzstück des Biosensors ist ein Mehrfachsonden-Chip („Geneprobe“), der zur gleichzeitigen Erkennung einer Vielzahl von Algen verwendet werden kann. Die zuverlässige Funktion des Messprinzips wurde bereits nachgewiesen.

Die besondere Herausforderung im Rahmen von COSYNA war, ein automatisiertes Gerät zu konstruieren, das (1) zuverlässig Meerwasser filtert, um die Algen zu konzentrieren (auch bei sich ändernden Schwebstoffgehalten und -zusammensetzungen), (2) die Zellen „aufbricht“ (Lysis) und (3) die resultierende Flüssigkeit zur Messeinheit transportiert. Ein solches Gerät wurde vom Helmholtz-Zentrum Geesthacht, dem Alfred-Wegener-Institut und der Firma ISITEC gemeinsam konstruiert.

Das Gerät wurde während verschiedener Forschungsfahrten der FS Polarstern getestet und wird routinemäßig in der Nordsee eingesetzt werden.

### Messgrößen

Algentaxa und Algengruppen



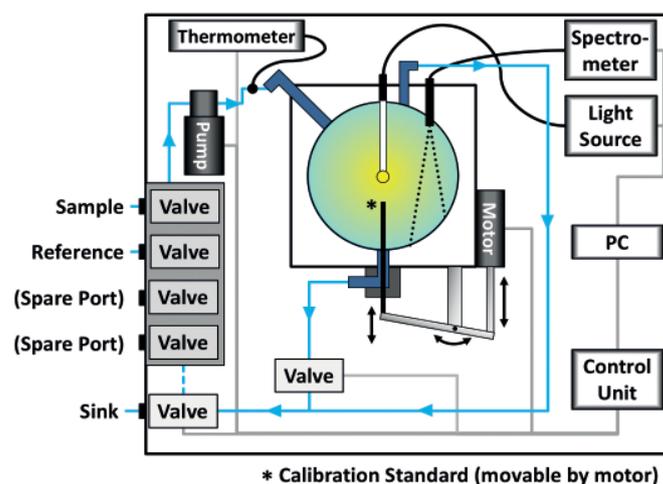
Automatische Filtrationseinheit, um Algen für die Bestimmung im Biosensor aufzubereiten (Foto: ISITEC)

## Instrumentenentwicklung – Hyperspektraler Absorptionssensor

Die Chlorophyllbestimmung durch Absorptionsmessung ist zuverlässiger als die übliche Bestimmung über Fluoreszenz, da sie weniger als diese von Faktoren wie Zusammensetzung, physiologischem Zustand und kurzzeitiger Lichtanpassung des Phytoplanktons abhängig und daher weniger fehleranfällig ist. Zudem können aus Absorptionsspektren Informationen über Algengruppen gewonnen werden, die zum Verständnis der Phytoplanktondynamik hinsichtlich veränderter Artenzusammensetzung beitragen können.

Der Hyperspektrale Absorptionssensor (HyAbS) wurde für die kontinuierliche, automatische Absorptionsmessung im Durchfluss entwickelt und basiert auf einer optischen Integrationskugel. Diese Hohlkugel vermeidet die zwei üblichen Probleme konventioneller Spektrophotometrie im Meerwasser: Messabweichungen durch Lichtstreuung an kleinen Partikeln und ein ungünstiges Verhältnis von Signal und Umgebungsruschen aufgrund von geringen Mengen von absorbierendem Material (Algen) bei gleichzeitig hohen Mengen an Streumaterial (Schwebstoff). Das HyAbS zielt darauf, die hohe Messqualität, die sich aus diesen Vorteilen ergibt, mit der hohen Auflösung und der Annehm-

lichkeit einer Durchflussmessung zu kombinieren. Aus den ermittelten Spektren der Absorptionskoeffizienten lassen sich quantitative und taxonomische Informationen über das Phytoplankton ableiten.

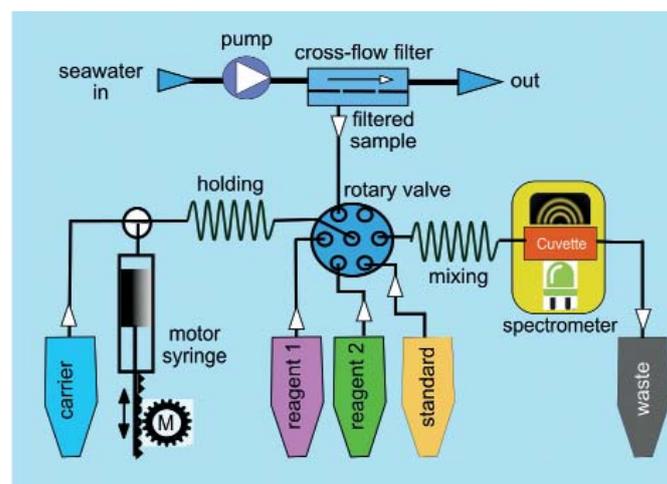


Prozessschema des kontinuierlich betriebenen Absorptionssensors (Prinzip der Integrationskugel)

## Instrumentenentwicklung – Nährstoffanalysator

Automatische Nährstoffmessungen sind wichtig, um den Eutrophierungszustand der Küstengewässer abschätzen zu können. Die üblichen Nährstoffmessungen beruhen auf einer nasschemischen Analyse und dauern 20-30 min. Das ist zur Erfassung von Mustern in Küstengewässern, insbesondere von FerryBoxen aus, zu langsam. Daher wurde hier ein Gerät für die rasche und automatische Analyse entwickelt. Es ist für die Ermittlung von kleinskaligen Prozessen, wie die Verteilung von mit Fronten verknüpften Algenblüten, gut geeignet.

Das neu entwickelte Analysensystem verwendet für die schnelle und zuverlässige Bestimmung von Nitrat, Ammonium und o-Phosphat die Methode „sequential injection analysis (SIA)“. Dabei reagieren bestimmte Reagenzien mit dem im Seewasser vorhandenen Nitrat, Ammonium und o-Phosphat im Durchfluss und bewirken eine Farbänderung, die mit einem Spektrometer gemessen wird. Hiermit werden wesentlich kürzere Analysezeiten von 6 Proben/Stunde für Nitrat, 10 Proben/Minute für Ammonium und 20 Proben/Minute für Phosphat erreicht.



Prozessschema des Nährstoffanalysators

# Hydrodynamische Modellierung

Numerische Modelle sind notwendig, um die Zustandsgrößen des Meeres zu Zeiten und an Orten, für die keine Messungen vorliegen, abzuschätzen. Von besonderer Bedeutung ist in COSYNA die (Kurzzeit-)Vorhersage verschiedener Zustandsgrößen wie Wellen, Zirkulation und Schwebstoffe. Die Kombination von Modellen, die verschiedene Prozesse und räumliche Skalen abdecken, liefert ein umfassendes Bild des physikalischen Zustandes der Deutschen Bucht.

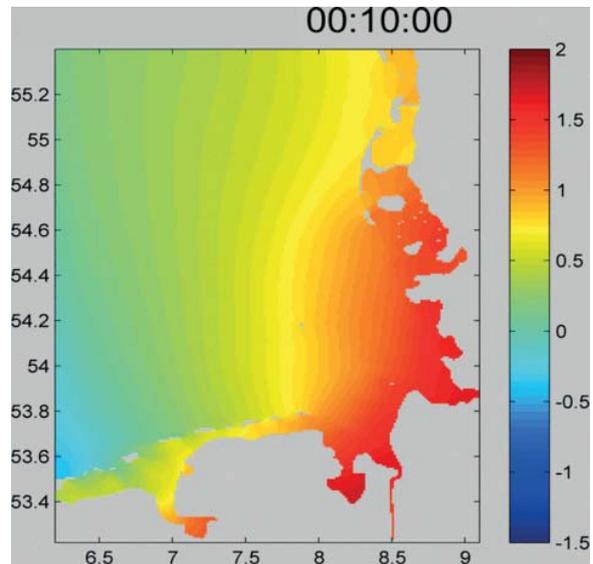
## Zirkulations- und Wellenmodelle

COSYNA lässt für Wellen (WAM-Modell) und Ozeanzirkulation (GETM-Modell) Computersimulationsmodelle mit geschachtelten Gittern im prä-operationellen Betrieb laufen. Die räumliche Auflösung der Gitter beträgt für die Deutsche Bucht etwa 1 km und ungefähr 5 km für die Nordsee. Mit dieser Konfiguration können dreidimensionale Felder für Strömung, Temperatur und Salzgehalt sowie zweidimensionale Felder für Wasserstand und Wellenzustandsgrößen, wie Wellenhöhe und mittlere Perioden, berechnet werden. Modellläufe werden mit einem Vorhersagehorizont von 72 Stunden berechnet und in stündlichen Zeitschritten zur Verfügung gestellt.

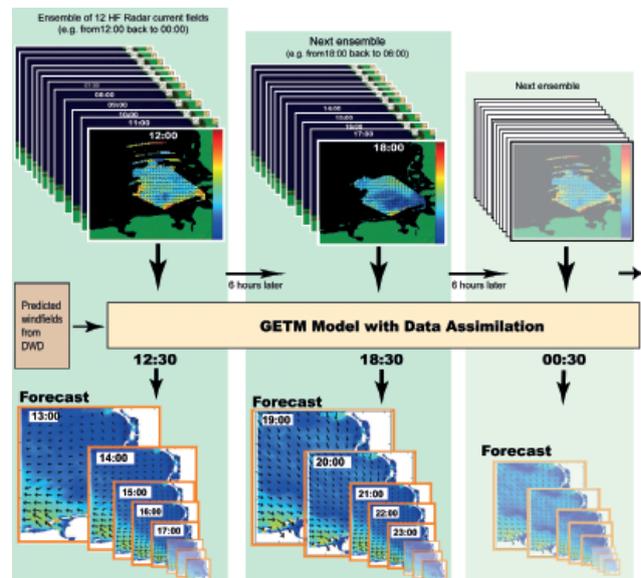
## Datenassimilation

Mit numerischen Modellen berechnete Zustandsbeschreibungen des Ozeans haben Fehler, die aus Unzulänglichkeiten der Modelldynamik sowie aus Unsicherheiten des Anfangszustands und der Antriebskräfte resultieren. Sie wachsen mit dem Vorhersagezeitraum an. Datenassimilation ist eine Methode, um diese Fehler durch eine dynamisch konsistente Verknüpfung von numerischem Modell und Beobachtungen zu verringern. Wegen des oft kurzen „Gedächtnisses“ des Systems, sind in Küstengebieten hochentwickelte Assimilationstechniken notwendig.

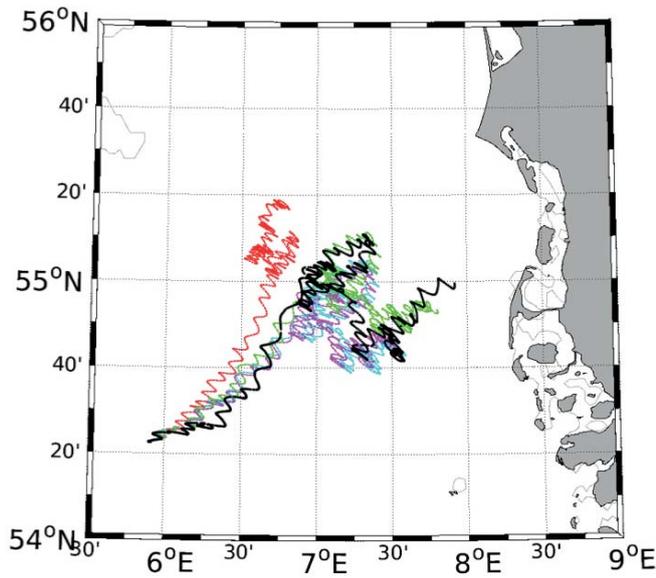
In COSYNA werden verschiedene statistische und Variations-Assimilationsmethoden angewandt, um die Beschreibungen des Ist-Zustands und der Vorhersagen zu korrigieren. Für die Assimilation von HF-Radar-Strömungsdaten wurde eine optimierte Interpolationsmethode (STOI) entwickelt, die Kurzzeitvorhersagen von Oberflächenströmungen mit stündlichem Update ermöglicht.



Mit dem GETM-Modell berechneter Wasserstand (m).



Verbesserung der Strömungsdaten durch Assimilation von Radar-Daten in ein Modell: Die Strömungen werden einmal stündlich gemessen und in ein kontinuierlich laufendes GETM-Modell eingespeist. Das (korrigierte) Modell produziert für die gesamte Deutsche Bucht homogene Daten (auch an Orten, die vom Radar nicht abgedeckt werden) zusammen mit einer 12-Stunden Vorhersage.



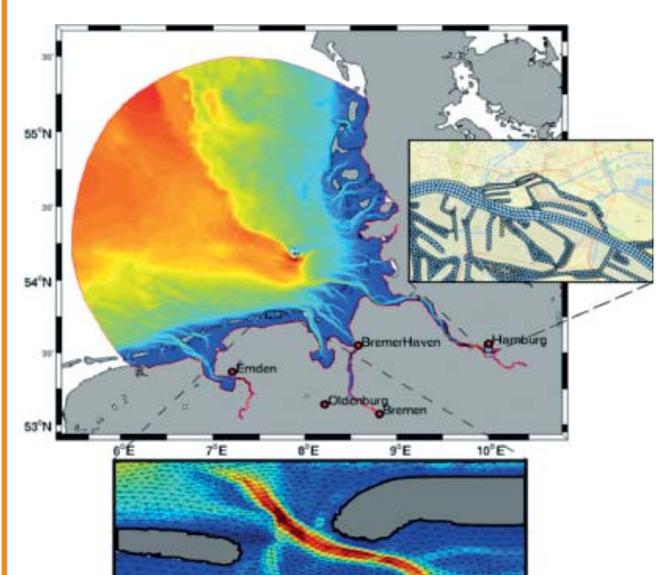
Driftertrajektorien vom 26. Mai bis 30. Juni 2016 in der Deutschen Bucht: beobachtet (schwarze Linie) und modelliert (rote Linie: nur Zirkulationsmodell, andere Farben: Modellexperimente mit Kopplung von Wellen und Zirkulation). Beschrieben von Staneva und Kollegen in den Jahren 2017 und 2018.

## Driftertrajektorien

Während einer Messkampagne im Mai/Juni 2016 wurden Drifter vom Schiff ausgebracht und ihre Driftwege bestimmt. Diese gemessenen Driftwege konnten anschließend mit Simulationsergebnissen von Modellen verschiedener Komplexität verglichen werden. Es stellte sich heraus, dass Simulationen mit Modellen, die verschiedene Kopplungsmechanismen zwischen Meeresströmungen und -wellen berücksichtigen, zu signifikant besseren Ergebnissen führen als solche mit ungekoppelten Modellen (siehe Abbildung).

## Modellierung auf unstrukturierten Gittern

Globale Ozeanmodelle können aufgrund der begrenzten Auflösung und Parametrisierung der physikalischen Prozesse die Dynamik in Schelfmeeren nicht angemessen darstellen. Auch regionale Modelle können die Dynamik von Ästuaren oft nicht ausreichend auflösen, sondern werden vorwiegend durch die Randbedingungen gesteuert. Ineinander geschachtelte ("genestete") Modellsysteme sind für Fragen des Tracer-Transports von der Flussmündung in den offenen Ozean ebenfalls nicht geeignet oder sind durch die Numerik begrenzt. Um Ökosystemprozesse in Ästuaren in der notwendigen hohen räumlichen Auflösung zu untersuchen und zugleich die Probleme mit "genesteten" Lösungen zu vermeiden, werden in COSYNA daher physikalische Ozeanmodelle auf Basis unstrukturierter Gitter (FESOM Küstenversion und SCHISM) verwendet, die mit einem biogeochemischen Modell gekoppelt sind.



Verteilung des Salzgehalts und Gitterauflösung in SCHISM (Semi-implicit Cross-scale Hydroscience Integrated System Model)

# Datenmanagement

Das COSYNA-Datenmanagement stellt die Verbindung zwischen Beobachtungen, Modellergebnissen, Datenabfrage und Nutzung her. In COSYNA erfordern die Beobachtung des aktuellen Meereszustands, die anschließenden prä-operationellen Rekonstruktionen sowie die Zustandsvorhersagen schnelle Übertragungsraten, automatische Qualitätskontrollen und Datenassimilationen.

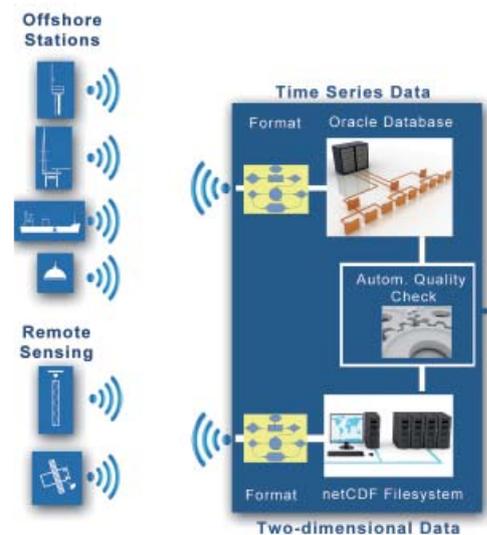
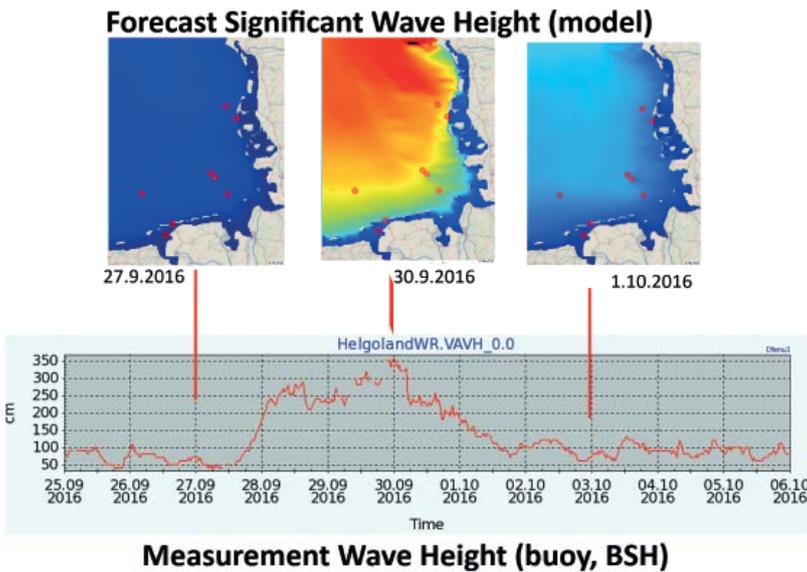
Das Datenmanagement organisiert die Datenströme zwischen den Beobachtungs- und Speichersystemen am Helmholtz-Zentrum Geesthacht und bei den Partnern. Es ist verantwortlich für die Dokumentation der Daten und erstellt die Benutzeroberflächen für Datenabfragen und Darstellung. Um einen umfassenden Blick auf den Umweltzustand zu ermöglichen, werden Datenquellen zusammengeführt, die sich hinsichtlich Zustandsgrößen, Dimensionen und Beobachtungsmethoden stark unterscheiden. Durch Metadaten werden alle Daten unabhängig von der Datenquelle „generisch“ beschrieben und sind so für verschiedene Analysen und Darstellungen verfügbar. Die Datenabfrage erfolgt ausschließlich über Metadaten.

Meta-, Beobachtungs- und Modelldaten werden zu einem durchsuchbaren Langzeit-Datenarchiv zusammengeführt und in umfassender Weise präsentiert. So können Muster und Trends von physikalischen und biogeochemischen Zustandsgrößen der Nordsee über eine weite Spanne zeitlicher und räumlicher Skalen erkannt werden.

Die Einhaltung nationaler und internationaler Standards und Regeln für Datenmanagement und Qualitätskontrolle stellt sicher, dass die Kompatibilität mit anderen marinen und Küstendatenzentren gewährleistet ist. Diese Standards umfassen Informationsquellen, Datenaustausch, Metadaten und Datenqualität. So kann COSYNA zum europaweiten Netzwerk von Küstenbeobachtungssystemen beitragen.

COSYNA verfolgt eine offene Datenpolitik: Alle COSYNA-Daten und Metadaten sind für Wissenschaftler, Küstenmanager und Öffentlichkeit gleichermaßen zugänglich. Die Nutzer können Parameter, Datenquellen, Zeiträume und Präsentationsarten (Überlagerung von Rasterbildern oder Zeitseriendiagramme) wählen und sich die Daten entweder graphisch darstellen lassen oder herunterladen.

COSYNA-Datenportal: [codm.hzg.de/codm](http://codm.hzg.de/codm)



Im COSYNA-Datenportal können alle von COSYNA regelmäßig vor Ort gemessenen Daten ausgewählt und in Kombination mit Fernerkundungs- und Radar-Daten dargestellt werden.

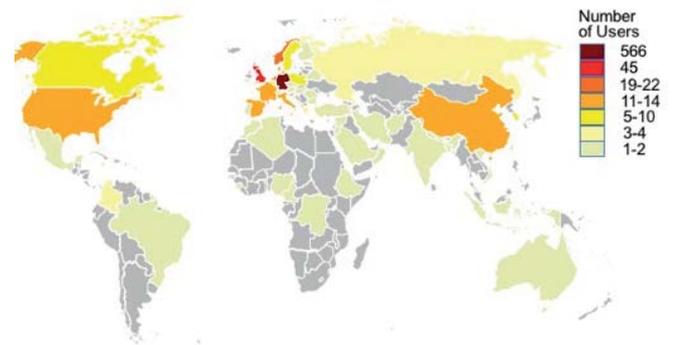
Die drei dargestellten Beispiele (oben) zeigen Vorhersagen der signifikanten Wellenhöhe für den 27. und 30. September und für den 1. Oktober 2016. Am 30. September verursachte ein Sturm große Wellen bis zu 5 m Wellenhöhe in der nördlichen Deutschen Bucht. Die kontinuierlichen Messungen bei Helgoland (unten) zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Vorhersagen.

# Datennutzung

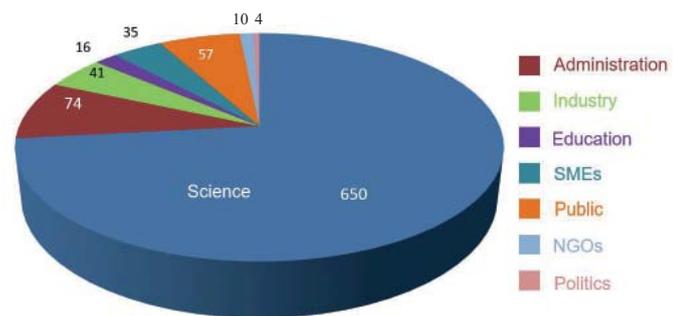
COSYNA bittet die Nutzer des Datenportals um freiwillige anonymisierte Angaben. Diese Angaben dienen der Verbesserung der Produkte und zur Rechtfertigung des Aufwands gegenüber den Geldgebern. Im Rahmen einer einfachen Registrierung werden Informationen über geografische Herkunft, Zugehörigkeit zu einer Nutzerkategorie (zum Beispiel Behörde, Industrie, NGO, Politik, Öffentlichkeit) und Zweck des Besuches erfragt. Die Daten der Nutzer sind durch die Einhaltung strenger Datenschutzregeln und eine rein statistische Auswertung geschützt.

Datenzugang und -nutzung sind kostenfrei. Die Nutzung der COSYNA-Daten unterliegt hinsichtlich Zitierung und Co-Autorenschaften den Standards der guten wissenschaftlichen Praxis.

Die Nutzer des COSYNA-Datenportals kommen von überall auf der Welt (51 Länder im Jahr 2017, siehe Abbildung) und umfassen verschiedenste Nutzergruppen. Wissenschaftliche Nutzer überwiegen, aber es besteht ein – wachsendes – Interesse auch bei Industrie und anderen Stakeholdergruppen. Die Datennutzung steigt seit das Portal freigeschaltet wurde kontinuierlich an.



Geographische Verteilung der Nutzer des COSYNA-Datenportals von 2015 bis 2017.



Nutzung des COSYNA-Datenportals von 2015 bis 2017 nach Nutzerkategorien.



Flussschema des Wegs der Daten von den Messstationen über die Qualitätskontrolle bis zur Präsentation im Datenportal.

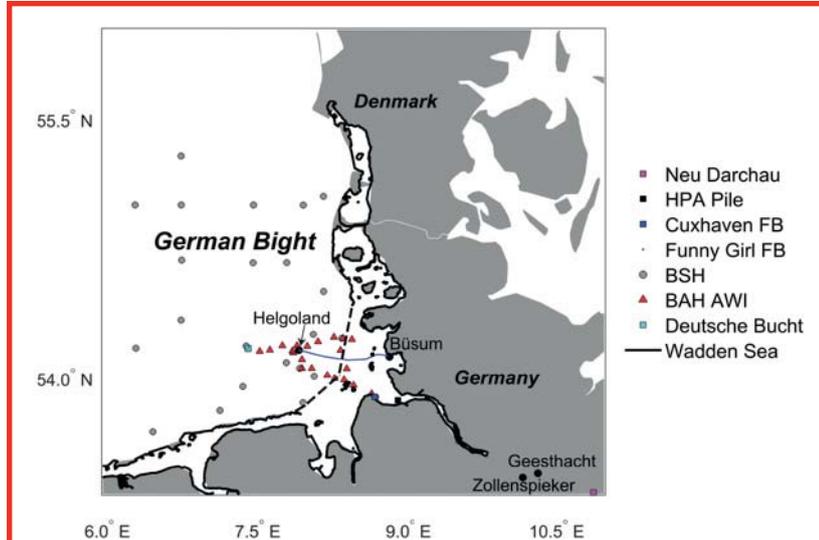
## Nutzung der COSYNA-Daten - Beispiel Elbeflut 2013

In Folge des Klimawandels werden vermehrt Trockenphasen und Flutereignisse beobachtet und vorhergesagt. In diesem Zusammenhang werden wahrscheinlich auch starke Hochwasser der Flüsse im Sommer häufiger. Solche Extremereignisse können die typischen biogeochemischen Muster in Küstengewässern verändern. Das extreme Elbehochwasser im Juni 2013 verursachte nicht nur weitreichende Schäden in den verschiedenen Regionen entlang des Flusses, sondern auch großräumige biogeochemische Veränderungen im Mündungsbereich der Elbe und in der angrenzenden Deutschen Bucht. Daten aus COSYNA und von anderen Datenquellen erfassten den Einfluss des Hochwassers auf die Deutsche Bucht.

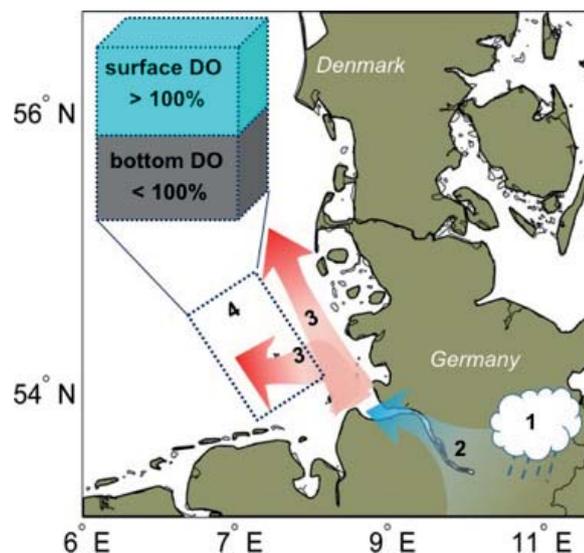
Die Untersuchung von Voynova und Kollegen aus dem Jahr 2017 ist ein hervorragendes Beispiel für den Nutzen der COSYNA-Daten. Die Studie kombiniert Daten der stationären FerryBox in Cuxhaven und einer FerryBox auf dem Seebäderschiff M/S Funny Girl (das regelmäßig zwischen Büsum und Helgoland verkehrt) mit Daten anderer Forschungsinstitute und von Bundesbehörden.

### Einige Ergebnisse.

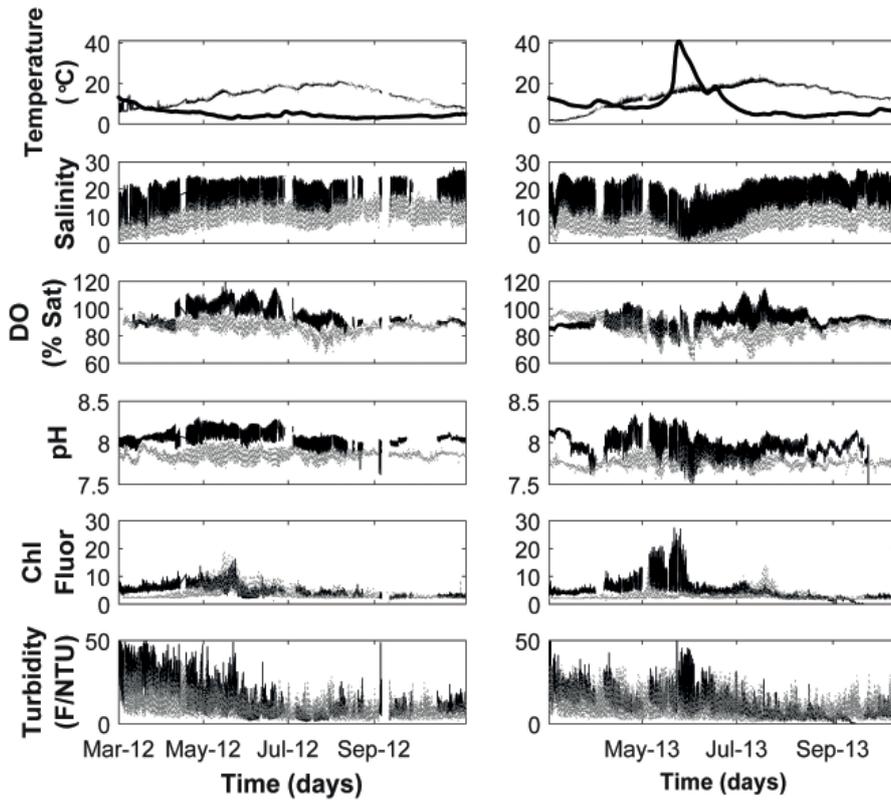
Das Hochwasserereignis 2013 in der Elbe ist ein Beispiel dafür, wie extreme Abflussmengen die Biogeochemie von Ästuaren und Küstengewässern verändern können: Durch erhöhten Süßwassereintrag aus dem Fluss war der Salzgehalt bis etwa zwei Monate nach dem Spitzenhochwasser verringert. Das Hochwasser lieferte große Frachten von Nährstoffen und organischem Kohlenstoff. Die vermehrte Kohlenstofffracht führte zu einer Verdopplung der CDOM (coloured dissolved organic matter)-Konzentrationen. Nach dem Flutereignis nahmen gelöster Sauerstoff und pH-Wert kurzfristig ab, vermutlich als Folge gesteigerter Sauerstoffzehrung der erhöhten organischen Materialfracht (bakterielle Respiration). In einem Zeitraum bis zu zwei Monate nach der Flut verursachten die anhaltende Schichtung der Wassersäule (durch erhöhten Süßwassereintrag) und eine gesteigerte Primärproduktion (erkennbar an den erhöhten pH-Werten und einer länger andauernden Sauerstoff-Übersättigung im Oberflächenwasser) einen langfristigen und räumlich ausgedehnten Effekt. Diese Schichtung hatte auch einen ausgedehnten Sauerstoffmangel im bodennahen Wasser zur Folge, da der Austausch mit der Atmosphäre behindert wurde - in dieser Region im Sommer sehr ungewöhnlich. Die Sauerstoffarmut kann einen weiteren potentiell schädlichen Einfluss auf die Küstenökosysteme haben, besonders im Sommer, wenn die Temperaturen und die Reaktionsraten hoch sind. Außerdem kann das Recycling der gesteigerten Frachten an organischem Kohlenstoff und Nährstoffen das Küstenökosystem langfristig beeinflussen.



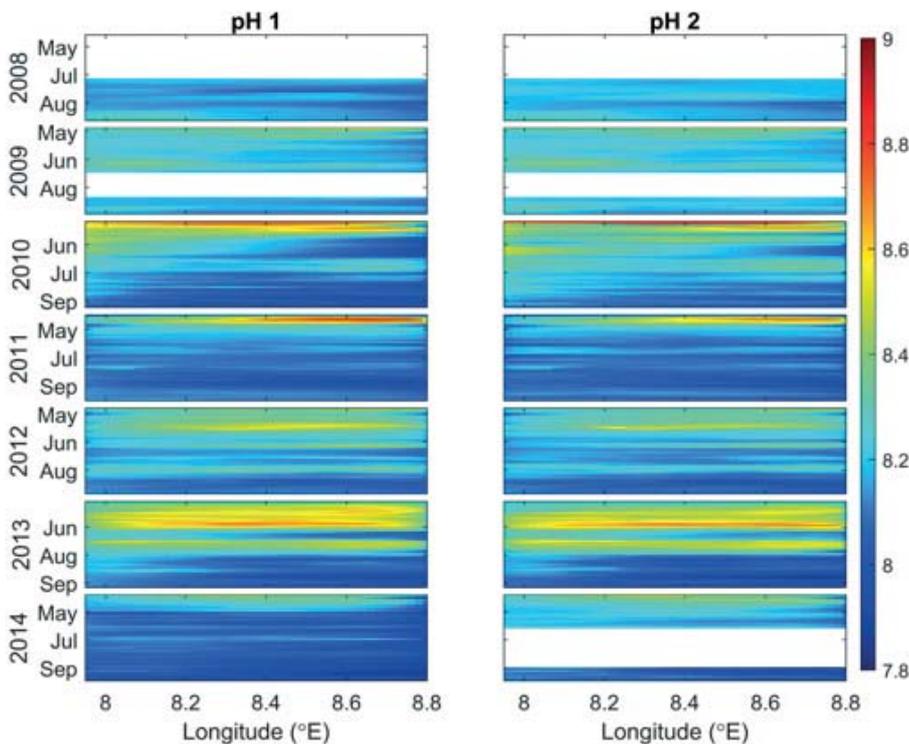
Karte des Untersuchungsgebietes mit von verschiedene Organisationen betriebenen Messtationen: Neu Darchau Abfluss-Messtation (Wassertraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes); HPA-Pfahl (Hamburg Port Authority und HZG); Cuxhaven FerryBox (FB) (HZG); FerryBox-Transpekt auf dem Seebäderschiff „Funny Girl“ zwischen Büsum und Helgoland (HZG); Probenahmestationen des Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH); Probenahmestationen der Biologischen Station Helgoland des Alfred-Wegener-Instituts (BAH AWI); MARNET-Station Deutsche Bucht (BSH).



Schematische Darstellung der während des Elbehochwasser 2013 wirkenden Prozesse: (1) regengesättigter Boden (Mai-Juni); (2) extremer Elbeabfluss (Juni); (3) großer Frischwassereintrag, hohe Frachten an Nährstoffen, gelöstem und partikulärem Kohlenstoff (DOC & POC) aus der Elbe und in die Deutsche Bucht (Juni- Juli); (4) zwei Monate Schichtung, hohe Primärproduktion an der Oberfläche, ausgedehnte Sauerstoff-Verarmung im bodennahen Wasser.



Stündliche Messungen von Temperatur, Salzgehalt, Sauerstoff (% Sättigung), pH, Chlorophyll und Trübung in Cuxhaven (Flusskilometer 725, schwarze Linie) und am HPA-Pfahl (Flusskilometer 710, graue Linie) in der Elbmündung in den Jahren 2012 (links) und 2013 (rechts). Als Referenz sind in den Temperaturabbildungen (oben) die Abflussraten der Elbe mit angegeben (in  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ , bei Neu Darchau, für Skalierung der Werte durch 100 dividiert, dicke schwarze Linie).



pH-Werte der Ferrybox-Messungen zwischen Büsum und Helgoland in den Jahren 2008 bis 2014. Auf dem Seebäderschiff M/S Funny Girl liefen zwei pH-Messinstrumente. Die weißen Abschnitte zeigen Zeiträume, für die keine Messwerte vorliegen.

## Nutzung der COSYNA-Daten - Beispiel Kohlenstoffhaushalt in der Nordsee

Viele globale Probleme beeinflussen besonders die Ökosysteme an den Küsten. Die Küstengebiete bestimmen wiederum die „Randbedingungen“ für den tiefen Ozean. Im Rahmen des Forschungsschwerpunkts „Globale Küste“ wird COSYNA die Bedeutung der Küstengewässer für globale Prozesse, zum Beispiel für den Kohlenstoffaustausch mit dem offenen Ozean und für den Kohlenstoffhaushalt, untersuchen.

Die sich in den Ozeanen rasch ändernde Kohlenstoffchemie zu beobachten ist besonders wichtig, da die Ozeane große Mengen von  $\text{CO}_2$  aus der Atmosphäre aufnehmen. Daraus folgt eine Versauerung des Meerwassers mit weitreichenden Auswirkungen auf die Meeresökosysteme (zum Beispiel auf kalkbildende Organismen). Die Rolle der biologisch sehr aktiven Küstenregionen und Schelfmeere als Quelle oder Senke für  $\text{CO}_2$  konnte aber bisher nicht gut quantifiziert werden. Die Nordsee gilt bislang als ein effizientes „Leitungssystem“, das  $\text{CO}_2$  von der Atmosphäre in den Nordatlantik bringt. Die hohe Variabilität in dieser Region macht hochauflösende Messungen der Zustandsgrößen und Computerberechnungen notwendig, um das Funktionieren und die besondere Empfindlichkeit des Kohlenstoffsystems zu verstehen.

Kohlendioxidpartialdruck ( $\text{pCO}_2$ ), pH und Alkalinität werden mit Ferry-Boxen auf verschiedenen Routen in der Nordsee gemessen. Die  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen zwischen Norwegen und Belgien in den Jahren 2013 bis 2017 (linke Abbildung) zeigen ein typisches Muster: Der Partialdruck ( $\text{pCO}_2$ ) in der zentralen Nordsee weist im Frühling und Sommer wegen der  $\text{CO}_2$ -Zehrung durch Algenblüten regelmäßig Untersättigung (gegenüber der Atmosphäre,  $< 400$  ppm) auf. Durch Remineralisierungsprozesse, die  $\text{CO}_2$  freisetzen, ist das Wasser im Spätsommer und Herbst dann regelmäßig leicht übersättigt.

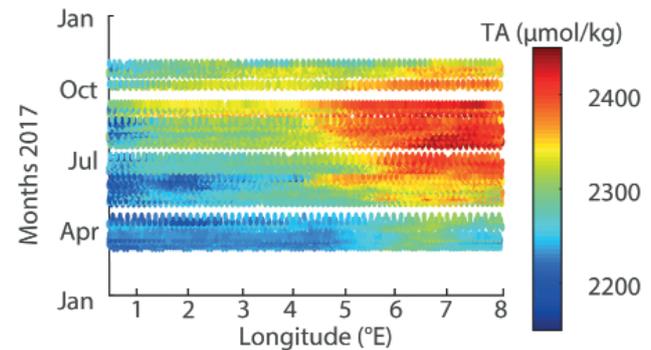
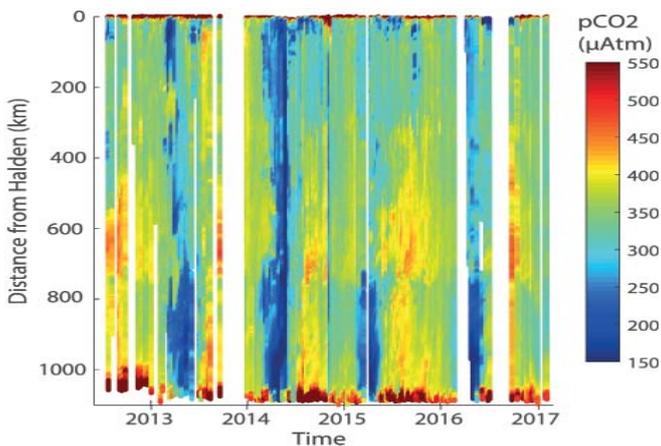
Die Abbildung rechts zeigt die saisonale Variabilität der Alkalinität in der Nordsee im Jahr 2017. In der Deutschen Bucht ist die Alkalinität von Juni bis Oktober am höchsten, wahrscheinlich durch Produktion von Alkalinität im angrenzenden Wattenmeer und Transport mit dem Gezeitenstrom in die Nordsee. Der steile Gradient in den küstennahen Meeresbereichen wird vermutlich durch den Alkalinitätsimport aus dem Wattenmeer verursacht. Die hohen Alkalinitätswerte in der südöstlichen Nordsee können einen signifikanten Einfluss auf den lokalen Karbonatpuffer und damit die regionale Kohlenstoffbindung haben.



Links: Routen des mit einer FerryBox ausgerüsteten Frachtschiffs „Lysbris“. Unten: Zeitserien des Kohlendioxidpartialdrucks ( $\text{pCO}_2$ ) von 2013 bis 2017. Daten von allen Transekten zwischen Halden (Norwegen) und Zeebrugge (Belgien) zusammengefasst.



Zusammenstellung der wöchentlichen FerryBox-Messungen der Alkalinität auf der Route Cuxhaven - Immingham im Jahr 2017.





COSYNA

FOR PEOPLE AND THEIR  
FUTURE ENVIRONMENT

 **Helmholtz-Zentrum  
Geesthacht**

Zentrum für Material- und Küstenforschung

Helmholtz-Zentrum Geesthacht  
Zentrum für Material- und Küstenforschung GmbH  
Max-Planck-Straße 1 | 21502 Geesthacht  
Telefon: (04152) 87-0  
Telefax: (04152) 87-1403  
[www.hzg.de](http://www.hzg.de)

Oktober 2018



Institut für Küstenforschung

Direktor: Prof. Dr. Burkard Baschek

Kontakt: Dr. Holger Brix, [holger.brix@hzg.de](mailto:holger.brix@hzg.de)

Dr. Christiane Eschenbach, [christiane.eschenbach@hzg.de](mailto:christiane.eschenbach@hzg.de)

[www.cosyna.de](http://www.cosyna.de)

wissen  
schafft  
nutzen