

# **KLIWAS Schriftenreihe KLIWAS-30/2014**

**Schlussbericht  
KLIWAS-Projekt 1.03**

**Ozeanische und atmosphärische  
Referenzdaten und Hindcast-Analysen  
für den Nordseeraum**

Koblenz, im Dezember 2014



BUNDESAMT FÜR  
SEESCHIFFFAHRT  
UND  
HYDROGRAPHIE





# KLIWAS Schriftenreihe KLIWAS-30/2014

Schlussbericht  
KLIWAS-Projekt 1.03

Ozeanische und atmosphärische  
Referenzdaten und Hindcast-Analysen  
für den Nordseeraum

## Autoren:

Katharina Bülow<sup>1</sup>,  
Anette Ganske<sup>1</sup>,  
Sabine Hüttl-Kabus<sup>1</sup>,  
Birgit Klein<sup>1</sup>, Holger Klein<sup>1</sup>,  
Peter Löwe<sup>1</sup>, Jens Möller<sup>1</sup>,  
Nils Schade<sup>1</sup>, Birger Tinz<sup>2</sup>,  
Hartmut Heinrich<sup>1</sup>,  
Gudrun Rosenhagen<sup>2</sup>

<sup>1</sup>) Bundesamt für Seeschifffahrt  
und Hydrographie

<sup>2</sup>) Deutscher Wetterdienst

### Zitiervorschlag:

K. BÜLOW, A. GANSKE, S. HÜTTL-KABUS, B. KLEIN, H. KLEIN, P. LÖWE, J. MÖLLER, N. SCHADE, B. TINZ, H. HEINRICH,  
G. ROSENHAGEN (2014): Ozeanische und atmosphärische Referenzdaten und Hindcast-Analysen für den Nordseeraum.

Schlussbericht KLIWAS-Projekt 1.03. KLIWAS-30/2014. BSH / BfG, Koblenz. DOI: 10.5675/Kliwas\_30/2014\_1.03

URL: [http://doi.bafg.de/KLIWAS/2014/Kliwas\\_30\\_2014\\_1.03.pdf](http://doi.bafg.de/KLIWAS/2014/Kliwas_30_2014_1.03.pdf)



Seite

Kapitel

## Inhaltsverzeichnis

<b>04</b>		<b>TABELLENVERZEICHNIS</b>
<b>04</b>		<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>
<b>05</b>	<b>1</b>	<b>KURZFASSUNG</b>
<b>08</b>	<b>2</b>	<b>ZIELE</b>
<b>09</b>	<b>3</b>	<b>DIE KLIWAS NORDSEE-KLIMATOLOGIE FÜR ATMOSPHERE UND OZEAN</b>
<b>11</b>	<b>4</b>	<b>DIE NORDSEE-FRONTENKLIMATOLOGIE (NACH SATELLITEN- DATEN)</b>
<b>13</b>	<b>5</b>	<b>WASSERSTÄNDE AN DER DEUTSCHEN NORDSEEKÜSTE</b>
<b>15</b>	<b>6</b>	<b>VERGLEICH BESTEHENDER REANALYSEN</b>
<b>18</b>	<b>7</b>	<b>VALIDATION DER MODELLSIMULATIONEN</b>
<b>20</b>	<b>8</b>	<b>VERNETZUNG DES PROJEKTES, KOOPERATIONSPARTNER</b>
<b>21</b>	<b>9</b>	<b>ERGEBNISSE</b>
<b>21</b>	<b>9.1</b>	<b>ERREICHTER METHODISCH-WISSENSCHAFTLICHER FORTSCHRITT</b>
<b>25</b>	<b>9.2</b>	<b>KERNAUSSAGEN ZU DEN ERGEBNISSEN</b>
<b>27</b>	<b>9.3</b>	<b>EINSCHÄTZUNG ZUM GRAD DER BETROFFENHEIT DES SYSTEMS WASSERSTRAßE UND DES OPERATIVEN GESCHÄFTS DES BMVBS UND DER WSV</b>
<b>28</b>	<b>10</b>	<b>DISKUSSION UND AUSBLICK</b>
<b>29</b>	<b>11</b>	<b>DANKSAGUNG</b>
<b>30</b>	<b>12</b>	<b>LITERATUR</b>
<b>34</b>	<b>13</b>	<b>ABKÜRZUNGEN</b>
<b>36</b>		<b>ANHANG: ÜBERSICHTSTABELLEN MIT DATEN / MESS- ERGEBNISSEN ODER LINKS DORTHIN</b>
		<b>ZUGANG ZU KLIWAS NORDSEEKLIMATOLOGIE (KNSC)</b>
		<b>ZUGANG ZU NORDSEE FRONTENKLIMATOLOGIE</b>

Seite

Tabelle

## Tabellenverzeichnis

12	1	DATENSÄTZE ZUR ERZEUGUNG DER FRONTENKLIMATOLOGIE
19	2	MODELLSIMULATIONEN, DIE FÜR DIE VALIDIERUNG VERWENDET WERDEN
20	3	KOOPERATIONEN UND AUFTRÄGE

Seite

Abbildung

## Abbildungsverzeichnis

17	1	NORDSEEGBIET MIT DEN BEIDEN UNTERSUCHTEN GITTERBOXEN UND MITTLERE LUFTTEMPERATUREN AUS DATENPAAREN DER BEOBACHTUNGEN UND ERA-40 FÜR DIE MONATE DEZEMBER UND AUGUST IM ZEITRAUM 1961-2000 FÜR BOX 2
22	2	JAHRESGANG DES WOLKENBEDECKUNGSRADS UND DER GLOBALSTRAHLUNG FÜR CLARA-A1 UND ERA-40 IM ZEITRAUM 1982-2002 FÜR DAS GEBIET DER DEUTSCHEN BUCHT. DARGESTELLT SIND DIE MONATSMITTELWERTE UND DIE STANDARDABWEICHUNGEN
23	3	MITTLERE OBERFLÄCHEN TEMPERATUR [°C] DER NORDSEE VON 1970-1999 AUS DER KLIMATOLOGIE VON BERX UND HUGHES
23	4	MITTLERE OBERFLÄCHEN TEMPERATUR AUS DEN MODELLSIMULATIONEN VON MPIOM-REMO (1986-1999), HAMSOM-REMO (1986-1999), NEMO-RCA4 (1970-1999)
24	5	DIFFERENZ DER MITTLERE OBERFLÄCHEN TEMPERATUR AUS DEN MODELL-LÄUFEN UND DER KLIMATOLOGIE VON BERX UND HUGHES (2009) AUS DEN MODELLSIMULATIONEN VON MPIOM-REMO (1986-1999), HAMSOM-REMO (1986-1999), NEMO-RCA4 (1970 - 1999)
25	6	JAHRESGANG DER NORDSEE-SST [°C] AUS DEN VERSCHIEDENEN MODELL-SIMULATIONEN

# 1 Kurzfassung

Das KLIWAS Projekt 1.03 ist eine Kooperation zwischen dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) und dem Seewetteramt Hamburg des Deutschen Wetterdienstes (DWD). Es hatte die Aufgaben, eine Referenzdatenbasis sowohl für die Bewertung von klimabedingten Veränderungen im Ozean und in der Atmosphäre als auch zur Bewertung von Klimamodellen für den Bereich der offenen See und der Küste zu erstellen und entsprechende Bewertungen der Modelle durchzuführen. Dabei wurde nach ausführlichen Voruntersuchungen klar, dass es bisher keine homogene meteorologische Beobachtungsdatenbasis über der Nordsee gibt, und dass die vorhandenen Reanalysen, welche alternativ als Eingangsdaten zur Beschreibung des gegenwärtigen Zustands dienen, aufgrund ihrer geringen räumlichen Auflösung insbesondere im Küstenbereich zum Teil problematisch sind. Vorhandene ozeanische Klimatologien für den Nordseeraum sind nicht aktuell, sie haben nur eingeschränkte Funktionalität, es fehlen zum Teil die Angaben über die Variabilität der Mittelwerte und alle vorhandenen ozeanischen Klimatologien sind statisch, d.h. sie bieten nur feste Referenzzeiträume an.

Für die Erstellung eines belastbaren Referenzdatensatzes wurden deshalb neue Klimatologien für Ozean und Atmosphäre erstellt.

(1) In einer Kooperation mit dem Integrated Climate Data Center (ICDC) der Universität Hamburg wurde die KLIWAS-Nordseeklimatologie erstellt, welche erstmals ozeanographische und meteorologische Beobachtungsdaten auf korrespondierenden Gittern zur Verfügung stellt (STAMMER ET AL., 2014). Zzt. enthält die Klimatologie alle aktuellen Messdaten der Luft- und Taupunkttemperatur in 2m Höhe und des Luftdrucks auf Meeressniveau für die Atmosphäre von 1950 bis 2010, sowie Temperatur und Salzgehalt für die Nordsee in verschiedenen Tiefenstufen bis einschließlich Ende 2012. Für die Erstellung wurden nur qualitätskontrollierte Beobachtungsdaten verwendet. Eine Ergänzung mit weiteren Daten und zusätzlichen Parametern ist möglich und geplant. Es können weitere statistische Auswertungen durchgeführt werden und hierfür Klimatologien für unterschiedliche Zeitspannen und Zeiträume erzeugt werden. Somit steht eine flexible Referenzdatenbasis zur Verfügung, die eine deutliche Verbesserungen gegenüber einer starren Klimatologie bietet, da sie neben den Mittelwerten auch die dazugehörigen Standardabweichungen als Genauigkeitsmaß liefert und als Basis für den Antrieb und die Bewertung von Modellen dienen kann.

(2) Des Weiteren wurde in einer Kooperation mit Brockmann-Consult eine Fronten-Klimatologie basierend auf Satellitendaten für den Nordseeraum erstellt. Ozeanische Fronten sind relativ scharfe Grenzen zwischen Wasserkörpern mit verschiedenen Eigenschaften, die mit ihren vertikalen und horizontalen Transporten große Auswirkungen

gen auf die lokalen Bewegungsvorgänge, die Ökologie, die wirtschaftliche Nutzung des Meeres und auch auf die Aufnahme von CO<sub>2</sub> haben. Hierfür wurde ein voll automatisiertes Verfahren zur Erkennung ozeanischer Fronten aus Satellitendaten entwickelt, das im operationellen Betrieb z.B. als Copernicus Downstream Service einsetzbar ist (KIRCHES ET AL., 2013A-C). Klimabedingte Veränderungen in der Nordsee werden sich zwangsläufig auf die Lage und Intensität der Fronten auswirken und diese Veränderungen und deren Folgen galt es im Rahmen von KLIWAS zu bewerten.

(3) Weitere wichtige Referenzparameter sind die Wasserstände an der Deutschen Nordseeküste, einschließlich der Extremwasserstände. Diese wurden in einer Kooperation mit der Universität Siegen für ausgewählte Pegel untersucht. Extremwasserstände und mittlerer Meeresspiegel werden sowohl vom globalen Meeresspiegelanstieg, als auch von der Astronomie und den lokalen Winden beeinflusst. Durch Reduktion der gemessenen Wasserstände um die astronomische Tide wurden langjährige stündliche Windstauwerte am Pegel Cuxhaven bestimmt, welche mit Windzeitreihen verglichen wurden. Dabei wurde untersucht, ob sich Windstauzeitreihen als Proxy für die Sturmaktivität eignen, da sie im Vergleich zu Windmessungen mit sehr stabilen Messmethoden aufgezeichnet werden und über vergleichbar lange Zeiträume vorliegen. Es wurden drei Sturmindices bestimmt, von denen keiner auf signifikante Langzeittrends hinweist. Alle Indizes deuten aber auf eine ausgeprägte multidekadische Variabilität hin. Darauf aufbauend wurden empirische Beziehungen zwischen gemessenen Windgeschwindigkeiten und beobachteten Windstau an den einzelnen Pegeln in der Deutschen Bucht entwickelt, um nicht auf einzelne Pegelmessungen beschränkt zu bleiben. Dieses Windstaumodell erklärt 83 % der Variabilität der Stundenwerte des Referenzzeitraums und ist in seiner Performance mit hydrodynamischen Modellen (z.B. WEISSE UND PLUESS, 2006) vergleichbar. Überträgt man diese Methode von Messwerten auf die Ergebnisse von Klimamodellen, können auch zukünftige Extremwasserstände für die gesamte Deutsche Bucht abgeschätzt werden.

(4) Bei der Bewertung verfügbarer Klimaprojektionen für den Nordseeraum stellte sich heraus, dass es hier keine regionalen Simulationen mit entsprechend hoher räumlicher Auflösung gibt, und insbesondere keine gekoppelten Atmosphäre-Ozean Modellläufe. Diese mussten im Rahmen von KLIWAS-Vergaben an entsprechende Institutionen erst erstellt werden. Deshalb wurden zuerst die Simulationsergebnisse der ungekoppelten atmosphärischen Regionalmodelle des ENSEMBLES Projekts im marinen Bereich ausgewertet, da dies bisher nur über Land geschehen war.

Dabei wurde gezeigt, dass die Referenzläufe der unterschiedlichen regionalen Modelle für einzelne Parameter von den globalen Reanalysen und den verfügbaren Beobachtungsdaten abweichen. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass auch die Verfügbarkeit von Beobachtungsdaten nicht immer optimal ist, insbesondere für kleinräumige Parameter wie Wolken, Strahlung und Niederschlag. Basierend auf unseren Analysen wurde daher der Bedarf einer regionalen Reanalyse deutlich, da die globalen Ver-

sionen eine zu geringe Auflösung für den Nordseebereich aufweisen und die Bewertung der Modellergebnisse erschweren.

(5) Die Modellvalidation der gekoppelten Modelle und die Auswertung der Szenarienkäufe wird im Bericht zum Projekt 2.01 und in einem eigenständigem KLIWAS Bericht ausführlich dargestellt (BÜLOW ET AL., 2014, 2014A).

## 2 Ziele

Ziel dieses Projektes war es, eine umfassende Referenzdatenbasis für die Bewertung potentieller Klimaänderungen und deren Auswirkungen auf Seeschifffahrt, Küsten und Häfen zu entwickeln und diese auch für andere KLIWAS-Projekte bereit zu stellen. Dafür sollten meteorologische und ozeanographische Referenzdatensätze zur Abschätzung der Veränderungen zwischen dem beobachteten Klima in Gegenwart und Vergangenheit zusammengestellt und verfügbar gemacht werden. Falls sich existierende Datensätze als wenig geeignet herausstellen würden, müsste eine neue Klimatologie für Meer und Atmosphäre aufgebaut werden.

Zur Beschreibung potentieller zukünftiger Klimazustände in der Nordsee sollten im Teilprojekt zunächst geeignete Regionalmodelle ausgewählt und ausgewertet werden. Für die Atmosphäre war beabsichtigt, bestehende Ergebnisse aus dem EU-Regionalisierungsprojekt ENSEMBLES zu untersuchen. ENSEMBLES war bislang nicht für die Nordsee ausgewertet worden.

### 3 Die KLIWAS Nordsee-Klimatologie für Atmosphäre und Ozean

#### **Stand der Forschung**

Für die in KLIWAS anfallenden Analysen von Klimaprojektionen fehlte - sowohl für die Atmosphäre als auch für den Ozean - eine geeignete Referenzdatenbasis aus In-situ Beobachtungsdaten für die Nordsee. Vorhandene ozeanische Klimatologien sind entweder nicht digitalisiert, es fehlen teilweise Angaben über Genauigkeiten der Mittelwerte (Standardabweichungen o.ä., (z.B. JANSSEN ET AL., 1999), oder sie stellen nur ausgewählte Tiefenhorizonte (z.B. Boden und Oberfläche; BERX AND HUGHES, 2009) dar. Ferner ist eine nachträgliche Einarbeitung von neuen Daten in die Klimatologie nicht möglich, so dass nur feste Referenzzeiträume zur Verfügung stehen. Für die Atmosphäre könnte man basierend auf den Reanalyse-Daten Klimatologien erstellen, die aber räumlich sehr grob aufgelöst wären und deren Qualität über See überprüft werden müsste.

Die in einer Kooperation von BSH, DWD und Integrated Climate Data Center (ICDC) der Universität Hamburg entwickelte „KLIWAS North Sea Climatology“ (KNSC) ist ein Werkzeug, das Klimatologien für atmosphärische und ozeanische Parameter auf ausgewählten Schnitten und Flächen und für wählbare Zeitintervalle erstellen kann. Um die Datengrundlage in Zukunft auf einem aktuellen Stand halten zu können, ist auch der spätere Import neuer In-situ Daten vorgesehen.

#### **Methoden**

Für die Erstellung der atmosphärischen Klimatologie wurden ausschließlich qualitätskontrollierte Beobachtungsdaten des globalen Zentrums für Schiffswettermeldungen (GZS) verwendet, die mit routinemäßigen Prüfverfahren die höchstmögliche Güte sicherstellen (SADIKNI ET AL., 2013). Zur Berechnung der klimatologischen Mittelwerte wurden die Beobachtungsdaten der atmosphärischen Parameter wie Lufttemperatur, Luftdruck, Windgeschwindigkeit, relative Feuchte und Taupunkt in  $1^\circ \times 1^\circ$ -Boxen aufgeteilt. Dabei zeigte sich aber eine relativ schlechte räumliche und teilweise auch zeitliche Datenverteilung. Um auch bei geringen Datenmengen stabile Monats- und Jahresmittel berechnen zu können, wurden die Einzelmessungen um den Tages- oder Jahresgang korrigiert. Dadurch ließ sich der Einfluss der ungleichen Belegung über den Tag bzw. das Jahr eliminieren, und alle Werte konnten in die Mittelwertbildung einfließen. Sofern die Anzahl von Messwerten pro Box und Monat festgelegte Grenzen unterschritt, wurden bei der Mittelwertberechnung für einen Monat die Werte der umliegenden Boxen in mehreren Schritten mit einbezogen.

Für die ozeanische Klimatologie wurden die Stationsdaten zuerst auf feste Tiefenstufen interpoliert und dann für jede Tiefenstufe in geographische Boxen mit  $0.25^\circ$  Breite und  $0.5^\circ$  Länge sortiert. Die Ausgangsdaten enthalten eine erhebliche Anzahl von Fehlmessungen, die bei der Mittelung zu fehlerhaften monatlichen und jährlichen Werten in vielen Boxen geführt hätten. Eine Qualitätskontrolle und Markierung der fehlerhaften Ausgangsdaten war daher unerlässlich. Die Temperatur- und Salzgehaltsdaten eines Tiefenniveaus jeder Box wurden dazu anhand diverser Qualitätskriterien beurteilt. Um Jahresmittelwerte berechnen zu können, wurde pro Box und Tiefenstufe (unter eventueller Einbeziehung von Umgebungsboxen zur Verbesserung der saisonalen Abdeckung) der mittlere Jahresgang der Temperatur und des Salzgehalts in den oberen 200 m durch Abzug eines empirisch ermittelten Polynom-Fits eliminiert. Mit Hilfe dieser Anpassung wurde auch der mittlere Monatsgang der Daten eliminiert. Durch diese Methode wurde eine maximale Abdeckung der Region für die monatlichen und jährlichen Mittelwerte erreicht.

Für die IT-Struktur der KNSC wird die Hardware des ICDC genutzt. Sie besteht aus einem Storage, einem Daten- und einem Webserver. Auf dem Storage werden Daten und Dokumente für die ICDC Usergruppe bereitgestellt (KNSC Project Data). Der Datenserver und der Webserver dienen zur Bereitstellung der Klimatologie für die Öffentlichkeit. Dazu wird auf dem Datenserver ein THREDDS-Server zum Datendownload und ein Live Access Server (LAS) für die interaktive Visualisierung der Daten installiert.

### **Durchgeführte Arbeiten**

Nach ausführlichen Planungsgesprächen mit den Projektpartnern vom ICDC im Januar 2011 begann im Herbst 2011 die offizielle Kooperation. Nach einer umfangreichen Datenrecherche wurde mit dem Import der ozeanographischen und meteorologischen Datensätze begonnen, um die räumliche und zeitliche Datenbelegung zu bewerten. Diese sollte die raum-zeitliche Auflösung möglicher Standardprodukte festlegen. Damit verbunden waren auch eine umfangreiche Qualitätsprüfung der Eingangsdaten und das Bereinigen von doppelten Datensätzen.

Die ersten Standard-Klimatologien wurden Mitte 2013 zur Verfügung gestellt und können seither zur Plausibilisierung neu zu integrierender In-situ Daten genutzt werden. Die hydrographischen und atmosphärischen Daten sind auf der Webseite des ICDC frei zugänglich und können sowohl direkt, als auch als graphische Darstellung heruntergeladen werden<sup>1</sup>. Eine detaillierte Beschreibung der Datensätze, der Qualitätsprüfung und des Datenzugang findet sich im separaten Abschlussbericht (STAMMER ET AL., 2014).

---

<sup>1</sup> <http://www.icdc.zmaw.de/knsc.html>

## 4 Die Nordsee-Frontenklimatologie (nach Satelliten-Daten)

### **Stand der Forschung**

Ozeanische Fronten sind relativ scharfe Grenzen zwischen Wasserkörpern mit verschiedenen Eigenschaften, die mit ihren vertikalen und horizontalen Transporten große Auswirkungen auf die lokalen Bewegungsvorgänge, die Ökologie, die wirtschaftliche Nutzung des Meeres und auch auf die Aufnahme von CO<sub>2</sub> haben. Klimabedingte Veränderungen in der Nordsee werden sich zwangsläufig auf die Lage und Intensität der Fronten auswirken und diese Veränderungen und deren Folgen galt es im Rahmen von KLIWAS zu bewerten. Bisher gibt es zu Fronten nur regionale Untersuchungen (z.B. KLEIN, 1986; BOWMAN AND ESAIAS, 1978). Über die Lage und Intensität (Stärke des Gradienten) von Fronten in der gesamten Nordsee und über ihre raum-zeitliche Variabilität gab es bisher keine konsistenten Daten.

### **Methoden**

Der Fokus bei der Identifizierung von Fronten liegt auf der Meeresoberflächentemperatur (SST) und den sogenannten Ocean Colour Daten (OC). Dies sind optische Daten aus verschiedenen Frequenzbändern, aus denen sich Parameter wie Chlorophyll, Trübung, Gelbstoff und Sichttiefe berechnen lassen. Diese Parameter sind wesentliche Charakteristika und sind deshalb gut geeignet, um verschiedene Wassermassen im Meer zu unterscheiden. Für die automatische Frontenerkennung wurde das neue Verfahren GRADHIST entwickelt, in dem verschiedene Algorithmen modifiziert, parallel verarbeitet und die Ergebnisse anschließend zusammengeführt werden. Damit konnte sichergestellt werden, dass auch schwache Fronten erkannt und statistisch berücksichtigt werden. GRADHIST ermöglicht eine automatische Verarbeitung und Analyse großer Datenarchive, eine Grundvoraussetzung zur Erstellung eines klimatologischen Referenzdatensatzes. GRADHIST wurde in die für die ESA entwickelte Standardsoftware BEAM zur operationellen Bearbeitung von Satellitendaten integriert, getestet und für die verschiedenen Parameter optimiert. (KIRCHES ET AL, 2013A). Die Validation des Verfahrens wurde mit synthetischen Daten, bei denen man die Lage und Stärke der Fronten genau kennt, und realen Datensätzen durchgeführt.

### **Durchgeführte Arbeiten**

Die hierzu geleisteten Arbeiten wurden in einer Kooperation mit der Fa. Brockmann Consult durchgeführt. Nach der Entwicklung und Implementation der GRADHIST Methode wurde mit dem Prozessieren der Satellitendaten begonnen. Dabei wurden

pro Satellitenaufnahme für jedes Pixel insgesamt 24 frontenrelevante Parameter wie z.B. Richtung und Stärke des Gradienten und Frontenwahrscheinlichkeit berechnet. Folgende Datensätze wurden für die Klimatologie analysiert<sup>2</sup>:

**Tabelle 1: Datensätze zur Erzeugung der Frontenklimatologie**

Parameter	Sensor <sup>3</sup>	Satellite	Time Period
Sea Surface Temperature	AATSR	ENVISAT	2002 - 2011
Sea Surface Temperature	MODIS	AQUA	2003 - 2011
Sea Surface Temperature	AVHRR	NOAA & MetOp	1990 -2011
Chlorophyll	MERIS	ENVISAT	2002 - 2010
Total Suspended Matter	MERIS	ENVISAT	2002 - 2010
Yellow Substance Absorption	MERIS	ENVISAT	2002 - 2010
Turbidity	MERIS	ENVISAT	2002 - 2010

Die Klimatologie wurde im Herbst 2013 fertiggestellt. Der Datenzugang ist im Abschlussbericht der Kooperation beschrieben (KIRCHES ET AL, 2013A).

Bei den Analysen ließ sich auch eine Windabhängigkeit der Frontenpositionen und der Frontintensitäten unter Berücksichtigung eines mittleren geostrophischen Nord-seewinds nachweisen. Hier empfiehlt sich, im Nachgang diese Windabhängigkeit - insbesondere für die Deutschen Bucht - durch Berücksichtigung der beobachteten lokalen Winde zu ergänzen.

<sup>2</sup> <http://envisat.esa.int/instruments/aatsr/>

<sup>3</sup> AVHRR = Advanced Very High Resolution Radiometer, MODIS = Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, AATSR = Advanced Along-Track Scanning Radiometer, MERIS = MEdium Resolution Imaging Spectrometer

## 5 Wasserstände an der Deutschen Nordseeküste

### Stand der Forschung

Der Meeresspiegelanstieg ist einer der Schlüsselindikatoren für den anthropogenen Klimawandel mit weitreichenden Konsequenzen für die Küstenbewohner. Die Werte für regionalen Meeresspiegelanstieg können deutlich vom globalen abweichen (FUKUMORI UND WANG, 2013; SLANGEN ET AL., 2014).

In der Nordsee wird allerdings der Meeresspiegelanstieg durch die Gezeiten und den Windstau maskiert. Für die Deutsche Bucht wurden die lokalen Trends von WAHL ET AL. (2011) untersucht. Die Annahme, dass Veränderungen extremer Wasserstände in erster Linie durch die mittleren Wasserstände angetrieben werden, muss zudem nicht immer zutreffend sein (MUDERSBACH ET AL., 2013). Auch lokale oder regionale Veränderungen extremer Windereignisse können einen Einfluss haben.

### Methoden

In der Kooperation mit der Universität Siegen wurden verschiedene Jahresperzentilreihen von einigen Nordseepegeln auf Trends hin untersucht, um den Zusammenhang zwischen mittlerem Meeresspiegel und den Extremwasserständen zu ermitteln. In umfangreichen Sensitivitätsanalysen wurde zuerst getestet, inwiefern die Perzentile auch aus Scheitelwerten<sup>4</sup> berechnet werden können, für die deutlich längere Zeitreihen verfügbar sind. Die Trendanalysen wurden mit linearen und nicht-linearen Verfahren durchgeführt, um mögliche Phasen beschleunigter Trends zu identifizieren. Zur Erklärung möglicher Änderungen wurden sowohl Entwicklungen in den astronomischen Gezeiten als auch in der Luftdruckverteilung und im Wind einbezogen.

Eine weitere Kooperation mit der Universität Siegen hatte das Ziel, den Einfluss des Windes auf den Wasserstand statistisch zu untersuchen. Diese Untersuchungen soll abschätzen, wie stark die Variabilität des mittleren Meeresspiegels von den Änderungen des Windes über der Nordsee beeinflusst. Um diesen statistischen Zusammenhang zwischen Wind und Wasserstand herstellen zu können, müssen aus den gemessenen Zeitreihen des Wasserstands die Einflüsse der Astronomie herausgerechnet werden. Die resultierende Kurve aus gemessenem Wasserstand minus astronomischer Tide wird als Windstau bezeichnet. Dabei ist aber auch bekannt, dass der Unterschied zwischen dem gemessenen Wasserstand und dem astronomischen Wasserstand nicht nur durch den Wind, sondern auch durch Fernwellen verursacht wird. In der Regel

---

<sup>4</sup> Bei Scheitelwerten liegen keine kontinuierlichen äquidistanten Zeitreihen vor, sondern nur die Wasserstände zu den Hoch- und Niedrigwasserzeiten.

hat jedoch der Windstau im Vergleich zu den Fernwellen den größeren Anteil am Wasserstand, so dass die Fernwellen bei diesen Untersuchungen meist nur approximativ berücksichtigt wurden (GÖNNERT ET AL., 2010).

Bei der Analyse stellte sich das Problem, dass für viele Pegel lange Zeitreihen sowohl des gemessenen Wasserstands als auch der berechneten astronomischen Tiden nur für die jeweiligen Hoch- und Niedrigwasser und deren zeitliches Eintreten aufgezeichnet bzw. berechnet wurden. Daher musste zunächst untersucht werden, mit welcher Genauigkeit zeitlich hoch aufgelöste Zeitreihen der astronomischen Tide überhaupt bestimmt werden können.

### **Durchgeführte Arbeiten**

Für die Analysen der Extremwasserstände wurden für ausgewählte Nordseepegel Perzentil-Zeitserien gebildet und auf Trends untersucht. Für die Trendanalyse wurden Vergleiche mit linearen und nicht-linearen Verfahren durchgeführt und die Abhängigkeit der Trends von Luftdruckverteilung und im Wind in die Analyse betrachtet.

Für die Ermittlung von Windstauzeitserien wurden stündliche Werte der astronomischen Tide mit Hilfe des Verfahrens des BSH (MÜLLER-NAVARRA, 2013) auf der Basis von Scheitelwasserständen bestimmt. Diese Zeitserien wurden auf lineare und nicht-lineare Trends und eventuelle Bruchpunkte hin untersucht. Dabei auch wurden Unterschiede zu herkömmlichen Verfahren (z.B. T-Tide, U-Tide) erarbeitet. Die Residuen zwischen den beobachteten Wasserstandszeitserien und den aus der astronomischen Tide berechneten Wasserständen ergaben schließlich langjährige Windstaukurven, mit denen die Korrelation zwischen Windstau und Wind berechnet werden kann. Einzelheiten sind dem Abschlussbericht zu entnehmen (JENSEN ET AL., 2013).

## 6 Vergleich bestehender Reanalysen

### Stand der Forschung

Reanalysen sind Modelle für die Beschreibung des derzeitigen Klimas. Sie sollen mithilfe assimilierter Beobachtungsdaten eine zeitlich wie räumlich homogene Referenzdatenbasis, u.a. zur Validierung der Klimamodelle oder als Randbedingung von Hindcastläufen liefern. Dabei müssen folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Der Vergleich mit Satellitendaten zeigt, dass es keine „beste Reanalyse“ gibt. Vielmehr weisen die untersuchten Reanalysen für individuelle Parameter unterschiedlich gute Ergebnisse auf (CHAUDHURI AND PONTE, 2013).
- Die teils sehr grobe räumliche Auflösung der Reanalysen (z.B. NCEP/NCAR mit 2.5°, siehe KALNAY ET AL., 1996) ist für regionale Untersuchungen nicht ideal, da die Nordsee zum Teil oft nur mit wenigen Gitterpunkten abgedeckt wird.
- Die Assimilation von Messdaten ist nicht homogen (SUGAHARA ET AL., 2013). So stehen u.a. Satellitendaten erst ab den 1970ern zur Verfügung und die Stationsdichte von In-situ Messungen ist räumlich wie zeitlich inhomogen.
- NCEP CFSR (SAHA ET AL., 2010) ist die erste Reanalyse, die mit einem gekoppelten Ozean gerechnet wurde. Sie hat zwar eine Auflösung von 0.5° und ist räumlich wie zeitlich homogen, beginnt aber leider erst mit dem Satellitenzeitalter (1979-2009) und umfasst somit nicht den KLIWAS Referenzzeitraum (1971-2000).
- Eine hochaufgelöste regionale Reanalyse basierend auf COSMO EU/DE (3-10km) ist derzeit in Planung / Testphase (HErZ DWD<sup>5</sup>).

### Methoden

Für den Vergleich von In-situ Daten und Reanalyse-Produkten wurden in der Nordsee Gebiete bestimmt, die eine hinreichende Beobachtungsdatenlage aufwiesen. Für die Lufttemperatur- und Luftdruckdaten wurden über der Nordsee ausgewählte Gitterboxen für den Vergleich mit der ERA-40 Reanalyse (UPPALA ET AL., 2005) gefunden, die über einen Zeitraum von 40 Jahren eine gute räumliche und zeitliche Belegung aufweisen. Für die Globalstrahlung hingegen liegen nur von vereinzelt Forschungsfahrten Messungen vor. Hochqualitative Messungen der Wolkenbedeckung sind nur in so geringer Anzahl vorhanden, dass aussagekräftige Vergleiche nicht möglich wa-

---

<sup>5</sup> <http://www.herz-tb4.uni-bonn.de>

ren. Dies ist umso bedauerlicher, da beide Parameter von besonderer Bedeutung für die physikalischen, chemischen und biologischen Änderungen im Meer sind.

Aus diesem Grund wurden Fernerkundungsdaten des CM-SAF Wolken- und Strahlungsklimadatensatzes CLARA-A1 (KARLSSON ET AL., 2013) herangezogen, um Vergleiche mit ERA-40 zu ermöglichen. CLARA-A1 Daten sind u.a. anhand von qualitätskontrollierten In-situ Messungen des *Baseline Surface Radiation Network* (BSRN) über Land validiert und sollen in Zukunft auch die KLIWAS Nordseeklimatologie (s. Kapitel 3) erweitern.

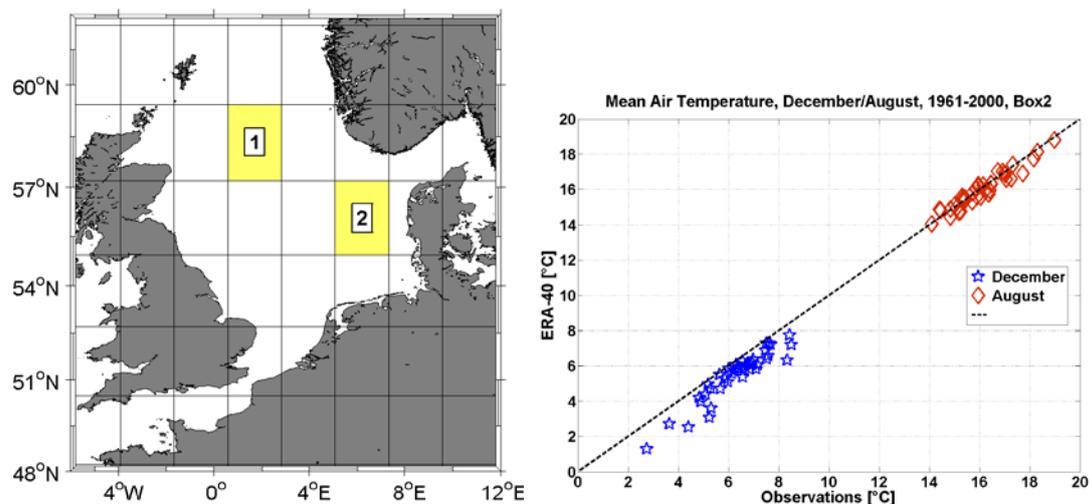
Darüber hinaus wurden weitere Reanalyse-Datensätze (NCEP/NCAR, ERA-Interim, 20CR, MERRA, JRA) verglichen, um eine Bandbreite des „Ist-Zustands“ abzuschätzen. Dies ist wichtig, da diese unterschiedlichen Reanalysen auch als Eingangsgröße für Hindcast-Simulationen von Klimamodellen verwendet werden. Somit lässt sich eine Einordnung der Hindcast-Simulationen anhand der Bandbreite der Antriebsfelder durchführen.

### **Durchgeführte Arbeiten**

Die atmosphärischen Beobachtungsdaten unterscheiden sich von der ERA-40 Reanalyse hauptsächlich in den küstennahen Gitterboxen. Die Unterschiede scheinen sich aus der Tatsache zu erklären, dass ERA-40 Gitterpunkte in Küstennähe größtenteils gemischte Land-See-Daten einbeziehen. Zwei Boxen mit Gitterpunkten ohne vermuteten offensichtlichen Landeinfluss wurden ausgewählt und hinsichtlich der Verteilungen von Temperatur und Luftdruck (Jahresgänge, saisonale Vergleiche, etc.) näher untersucht (Abb. 1, links).

Zugrunde gelegt wurden hierbei die jeweils auf die ERA-40 Termine 0, 6, 12 und 18 UTC gemittelten In-situ Messungen im Bereich der jeweiligen Box. Nur Termine, die sowohl im Messdatensatz, wie auch in der Reanalyse besetzt waren, wurden für Vergleiche herangezogen. Die Beobachtungsdaten in den betreffenden Boxen wurden noch einmal einer genaueren manuellen Prüfung hinsichtlich der Häufung von Meldungen auf festen Positionen und/oder zu festen Zeiten unterzogen.

Die Vergleiche der beiden Datensätze ergaben, dass ERA-40 im Winter in Küstennähe teils deutlich geringere Lufttemperaturen als die Beobachtungen zeigt (Abb. 1, rechts). Weitere Details sind in der zugehörigen Veröffentlichung (SCHADE ET AL., 2013) nachzulesen.



**Abbildung 1: Links: Nordseegebiet mit den beiden untersuchten Gitterboxen, die jeweils nochmals in vier gleich große Unterboxen unterteilt sind. Rechts: Mittlere Lufttemperaturen aus Datenpaaren der Beobachtungen und ERA-40 für die Monate Dezember und August im Zeitraum 1961-2000 für Box 2.**

Für die Validation der Wolkenbedeckung in den ERA-40 Daten mussten aufgrund der mangelhaften In-situ Datenlage Satellitendaten herangezogen werden. Im Gegensatz zu schiffsgestützten In-situ Beobachtungen war bei den Satellitendaten die Anzahl der Messungen im Nordseebereich bis 60° N immer ausreichend. Für die Untersuchungen des Wolkenbedeckungsgrades wurden Tagesmittel der CLARA-A1 AVHRR Satellitendaten des EUMETSAT CM-SAF zugrunde gelegt. Gebietsbezogene Mittelwerte, mittlere Jahrgänge, sowie Häufigkeitsverteilungen des Wolkenbedeckungsgrads und der kurzwelligen solaren Einstrahlung, auch „Globalstrahlung“ genannt, wurden für den Zeitraum von 1982 - 2001 bestimmt (SCHADE ET AL., 2012, 2014) und mit den ERA-40 Daten verglichen.

Der Vergleich der unterschiedlichen Reanalysen wird derzeit noch bearbeitet. Dabei wird methodisch auf die Untersuchungen der ENSEMBLES Regionalmodelle (BÜLOW ET AL., 2013) zurückgegriffen.

## 7 Validation der Modellsimulationen

### Stand der Forschung

Zu Beginn von KLIWAS lagen für die Nordsee nur globale, gekoppelte Ozean- und Atmosphärenmodelle Klimaprojektionen vor. Die regionalen Klimamodelle (RCMs) des ENSEMBLES Projekts (VAN DEN LINDEN AND MITCHELL, 2009) liefern zwar ein Ensemble von atmosphärischen Klimamodellergebnissen, aber keine Ergebnisse für den Ozean. Mit regionaler Auflösung lagen für den Bereich der Nordsee nur ungekoppelte Klimaprojektionen vor (ADLANDSVIK UND BENTSEN, 2007; ADLANDSVIK ET AL., 2008; LOWE ET AL., 2009; MATHIS, 2013) vor. Daher wurde zu Beginn der Arbeiten in Projekt 1.03 beschlossen, dieses Defizit zu beheben und für die Nord- und Ostsee regional gekoppelte Modellsimulationen durchzuführen. Um das Prinzip des Multimodellansatzes in KLIWAS fortzusetzen, wurde wegen des begrenzten Zeitrahmens zumindest ein kleines Ensemble mit drei unterschiedlichen regional gekoppelten Ozean-Atmosphärenmodellen zusammengestellt:

- Die Kopplungen für die existierenden Modellkomponenten wurden in den KLIWAS Kooperationen verwirklicht
- Alle Kooperationspartner forschen seit mehreren Jahren an Methoden zur Modellierung der Nord- und Ostsee (siehe z.B. POHLMANN 2006; MEIER ET AL. 2003; MEIER 2006; JUNGCLAUS ET AL., 2006)
- Innerhalb der Laufzeit von KLIWAS haben drei weitere Gruppen (HZG (Hohagemann et al., 2013), DWD (Pham et al., 2014) und Uni Bremen) mit der Entwicklung von gekoppelten Ozean-Atmosphärenmodellen für die Nordsee begonnen.

### Methoden

Es wurden verfügbare regionale atmosphärische Klimamodelle, insbesondere die des EU-Projekts ENSEMBLES, auf ihre Eignung zur Ermittlung der Auswirkungen von Klimaveränderungen auf maritime Fragestellungen geprüft und beurteilt. Die Bewertung der Regionalmodelle erfolgt durch Vergleich der Modellkontrollläufe mit den im Teilprojekt 1.03a auf der Grundlage von Beobachtungswerten erstellten Referenzdatensätzen.

Zur Validation der gekoppelten Ozeanmodelle wurden die Hindcast-Simulationen der drei Modelle ausgewertet. Dazu wurden langjährige Mittelwerte der simulierten Modellparameter (z.B. Temperatur, Salzgehalt und Meeresspiegel) gebildet und mit allen verfügbaren Referenzdatensätzen verglichen. Die Vergleiche wurden für ausgewählte Tiefenhorizonte durchgeführt und die räumlichen Strukturen der Differenzenfelder

analysiert. Für viele Anwendungen, wie z.B. Ökosystemmodelle und biologische Fragenstellungen, ist die korrekte Wiedergabe des Jahresganges in Amplitude und Phase von großer Bedeutung. Daher wurden für alle Größen klimatologische Jahresgänge aus den Modelldaten berechnet und mit den aus den Referenzdatensätzen ermittelten verglichen. Der Einfluss der Randbedingungen wurde anhand von Hovmöller Diagrammen dargestellt.

### Durchgeführte Arbeiten

Die Qualität der Ergebnisse der atmosphärischen RCMs über der Nordsee wurde analysiert. Innerhalb des ENSEMBLES Projekts wurden die Ergebnisse nur über dem Land ausführlich ausgewertet (siehe ENSEMBLES Abschlussbericht, VAN DEN LINDEN AND MITCHELL, 2009). Die Analysen der RCMs über See sind ausführlich im KLIWAS Bericht 21/2013 von BÜLOW ET AL. (2013) dargestellt.

Zentrale Parameter der Analyse der gekoppelten Hindcasts (Tabelle 2) waren die Temperatur und der Salzgehalt, für die an der Oberfläche sowohl die räumlichen Verteilungen als auch die Jahresgänge überprüft wurden. An ausgewählten Schnitten wurde die vertikale Schichtung in den Modellen mit Beobachtungen verglichen. Die Meeresspiegel Simulationen konnte nur örtlich begrenzt mit Pegelmessungen validiert werden. Die Modellvalidation wird in einem eigenständigem KLIWAS Bericht ausführlich dargestellt (BÜLOW ET AL., 2014A).

**Tabelle 2: Modellsimulationen, die für die Validierung verwendet werden**

Ozeanmodell- Atmosphärenmodell	Kooperationspartner	Modelantrieb
MPIOM-REMO Lauf 253	Uwe Mikolajewicz, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg	REMO verwendet NCEP  MPIOM ist ein globales Ozean Modell mit feiner horizontaler Auflösung in der Nordsee
HAMSOM-REMO Lauf 201	T. Pohlmann, IfM, Hamburg	REMO verwendet NCEP  HAMSOM verwendet den Validationslauf von MPIOM-REMO
NEMO-RCA4 Lauf 477	Markus Meier, SMHI, Norrköping, Schweden	RCA4 verwendet ERA40  NEMO verwendet an den offenen Rändern die Monatsmittel für Temperatur und Salzgehalt aus dem World Ocean Atlas. Für die Höhe des Meeresspiegels wurden die Daten des Oregon State University global tidal model verwendet.

## 8 Vernetzung des Projektes, Kooperationspartner

Das Projekt 1.03 arbeitete eng mit den anderen KLIWAS-Projekten im Forschungsverbund zusammen. So wurden innerhalb des Projektzeitraums Arbeitstreffen mit den Mitarbeitern der BAW im Projekt 2.04 und 3.02, der BFG im Projekt 2.03 sowie dem DWD in Offenbach im Projekt 1.01 und 1.02 durchgeführt, um einen kontinuierlichen Daten- und Informationsaustausch zu ermöglichen.

Des Weiteren fanden am BSH ein Küstenworkshop (November 2011) sowie mehrere Modellierertreffen statt, zu dem nicht nur die Kooperationspartner (Uni Hamburg, IFM Hamburg und SMHI aus Schweden), sondern auch die BAW (Projekte 2.04 und 3.02) und die BfG (Projekte 2.02, 2.03, 3.03, 3.04, 3.06, 3.07, 3.08 und 3.09) eingeladen waren. Im Rahmen dieser Treffen wurden anstehende Probleme und neue Ergebnisse diskutiert und es wurden gemeinsame Arbeiten koordiniert, u.a. zur Vermeidung von Doppelarbeit in den verschiedenen Teilprojekten.

In regelmäßige Treffen mit den Kooperationspartnern (Tabelle 3) zur Nordseeklimatologie (ICDC, Uni Hamburg), den Extremwasserständen (Uni Siegen), der Frontenklimatologie (Brockmann Consult) und den Klimaprojektionen (MPI, IFM und SMHI) wurde über den aktuellen Stand der Arbeiten berichtet und diskutiert.

**Tabelle 3: Projekt 1.03 - Kooperationen und Aufträge**

<b>Kooperationspartner / Auftragnehmer</b>	<b>Kurztitel</b>	<b>Ansprechpartner</b>
ICDC, Uni Hamburg	KLIWAS Nordsee Klimatologie	Manfred Bersch Remon Sadikni
Uni Siegen	Extremwasserstände an der Deutschen Nordseeküste	Jürgen Jensen Sönke Dangendorf
Brockmann Consult	Frontenklimatologie	Holger Klein Carsten Brockmann
SMHI Schweden	Gekoppeltes OA Modell - Klimaprojektionen	Markus Meier Christian Dieterich
MPI Hamburg	Gekoppeltes OA Modell - Klimaprojektionen	Uwe Mikolajewicz Matthias Gröger
CSC	Kopplung OA Modell	Daniela Jacob Christopher Moseley
IfM Hamburg	Gekoppeltes OA Modell - Klimaprojektionen	Thomas Pohlmann Jian Su

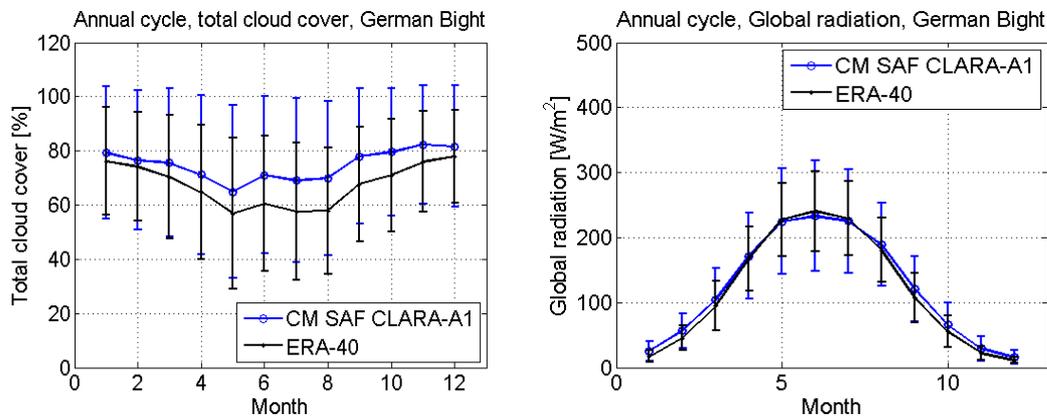
## 9 Ergebnisse

### 9.1 Erreichter methodisch-wissenschaftlicher Fortschritt

- **KLIWAS Klimatologie:** Erstmals wurden für die Nordseeregion für Atmosphäre und Ozean flexible Klimatologien erarbeitet. Es wurden mit dem Kooperationspartner ICDC für die atmosphärischen und ozeanischen Referenzdaten Methoden entwickelt, die es erlaubt haben, trotz schlechter zeitlicher Belegung mit In-situ Daten möglichst flächendeckende monatliche Mittelwerte und darauf aufbauend Klimatologien für die Nordsee zu erzeugen. Die entstandenen Klimatologien (KNSC) für die Atmosphäre und den Ozean sind über ein Web-tool frei verfügbar. Die Verfahren sind so aufgebaut, dass neue Daten kontinuierlich in die Klimatologien einfließen können. Sie bieten somit eine anpassungsfähige und moderne Grundlage für die Validierung von Reanalyse-Daten, neuen In-situ Daten und Klimamodellergebnissen. Weitere Parameter wie die Globalstrahlung sollen in Zukunft die Klimatologie erweitern.
- **Fronten-Klimatologie:** Es steht erstmalig eine Klimatologie der ozeanischen Fronten für die Nordsee, für Teile der westlichen Ostsee, dem Englischer Kanal, der Irische See und von Teilen des angrenzenden Nordatlantiks auf der Basis von Satellitendaten zur Verfügung (KIRCHES ET AL., 2013A-D). Es wurde eine voll automatisierte Methode zur Frontenerkennung entwickelt, die auch für operationelle Aufgaben im Rahmen von Copernicus genutzt werden wird. Die neu entwickelte Methode ist auch auf andere Meeresgebiete übertragbar. Die Klimatologie ist über einen Webzugang frei zugänglich (siehe Seite 35).
- **Reanalysen:** Der Vergleich der verfügbaren Reanalysen (ERA-40, ERA-Interim, NCEP/NCAR, MERRA, 20CR, JRA zeigt auf, dass die Bandbreiten teilweise sehr groß sind, je nachdem, welche Parameter untersucht wurden. Insbesondere kleinräumig variable Parameter wie die Wolkenbedeckung weisen deutliche Unterschiede auf, u.a. aufgrund der unterschiedlichen räumlichen Auflösung der jeweiligen Reanalysen.

Für die Wolkenbedeckung und Globalstrahlung wurden durch den Vergleich von ERA-40 Reanalyse-Daten mit CLARA-A1 Satellitendaten über der Nordsee Probleme aufgezeigt. Während die Globalstrahlungswerte noch recht gut übereinstimmen, weisen die Bedeckungsgrade, mit Ausnahme der Wintermonate, deutlich geringere Werte für ERA-40 auf (Abb. 2). Mögliche Ursachen könnten in unterschiedlichen Wolkeneigenschaften liegen, die wiederum die

Strahlung beeinflussen. Weiterführende Analysen sind von Nöten, insbesondere wenn man Wolken-Strahlungseffekte untersuchen möchte.

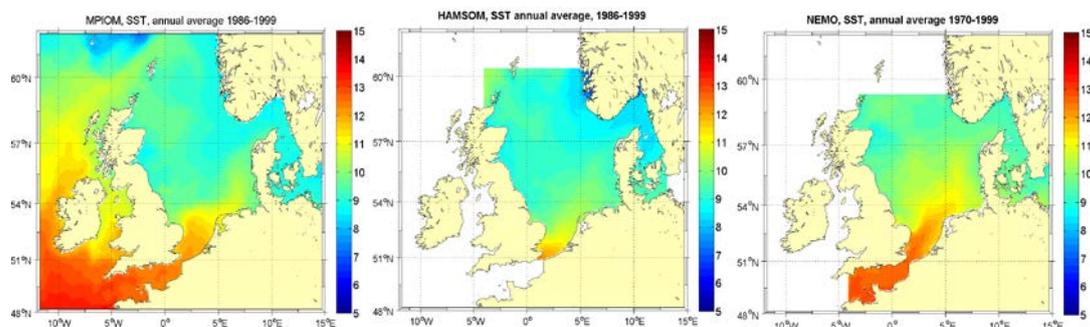


**Abbildung 2: Jahresgang des Wolkenbedeckungsgrads (links) und der Globalstrahlung (rechts) für CLARA-A1 (blau) und ERA-40 (schwarz) im Zeitraum 1982-2002 für das Gebiet der Deutschen Bucht. Dargestellt sind die Monatsmittelwerte und die Standardabweichungen.**

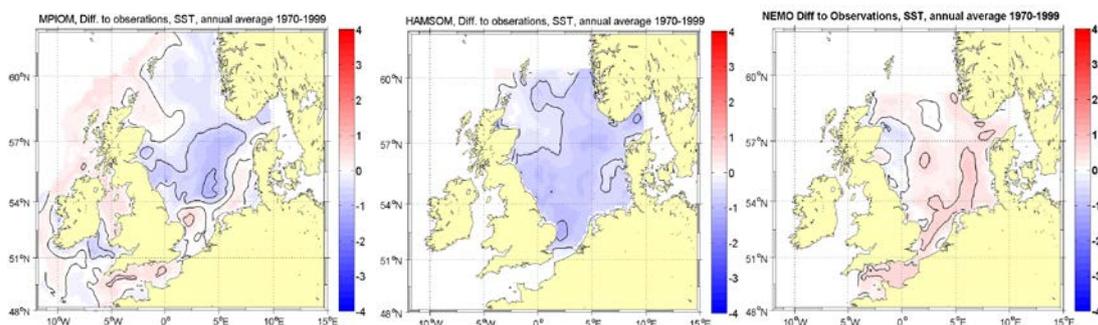
- Extremwasserstände:** Beziehungen zwischen dem Anstieg des mittleren Meeresspiegels und extremen Wasserständen wurden in der Kooperation mit der Universität Siegen abgeleitet. Es hat sich gezeigt, dass neben dem mittleren Meeresspiegel auch die extrem hohen bzw. niedrigen Wasserstände anwachsen, aber zum Teil mit anderen Raten. Die Untersuchungen ergaben auch, dass große Teile der Variabilität des MSL auf die Einflüsse der vorherrschenden Luftdruckfelder zurückzuführen sind (DANGENDORF, ET AL, 2013). Es wurde untersucht, ob und ggf. wie sich die Astronomie und die lokalen Winde auf die extremen Wasserstände auswirken. Durch die Verwendung einer speziellen Methode zur Bestimmung für Tidehoch- und -niedrigwasser, die am BSH speziell für die Bedingungen der Deutsche Bucht entwickelt wurde, ließen sich erstmalig hochaufgelöste (stündliche) Windstaureihen des Pegels Cuxhaven (1918 - 2008) erstellen. Damit wurde der Einfluss des Windes auf den Wasserstand untersucht. Zusätzlich wurden drei Sturmindizes bestimmt und analysiert, von denen keiner einen signifikanten Langzeittrend aufwies.
- Validierung der Modellsimulationen:** Es lagen erstmals Simulation mit gekoppelten Ozean-Atmosphäre Modellsimulationen für die Nordsee vor. Alle Simulationen waren langfristig stabil. Bias-Korrektur waren nicht notwendig (siehe Bericht Projekt 2.01, BÜLOW ET AL., 2014). Parallel zu den gekoppelten Läufen wurden mit den Modellkombinationen auch ungekoppelte Hindcasts simuliert, um den Effekt der Koppelung zu demonstrieren. Beispielhaft ist das Ergebnis in Abb. 5 dargestellt.

Die gekoppelten Hindcasts aller drei Modelle zeigen realistische Horizontalverteilungen für Temperatur (vergleiche Abb. 3 und Abb. 4), Salzgehalt und Meeresspiegel. Für Temperatur- und Salzgehalt zeigen die Vergleiche zu Beobachtungen großflächige Abweichungsmuster, die aber von der Amplitude

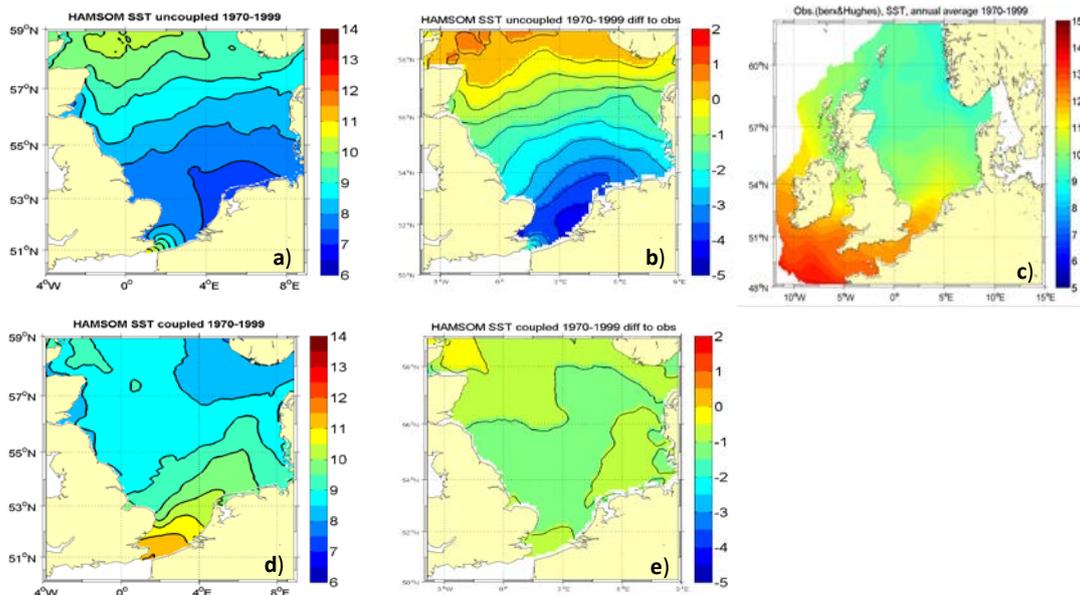
her eher sehr gering ausfallen. Für die Meeresoberflächentemperatur liegen z.B. die Abweichungen zur Klimatologie von BERX UND HUGHES (2009) (Abb. 5c) für die Jahresmittel bei allen drei Modellen abgesehen von kleinen Gebieten unter  $\pm 1^\circ\text{C}$  (Abb.3 und 4). Während die gekoppelten Simulationen für MPIOM und HAMSOM mit REMO jeweils negative Abweichungen zur Klimatologie zeigen, treten für NEMO mit RCA4 positive Abweichungen auf.



**Abbildung 3: Mittlere Oberflächentemperatur [ $^\circ\text{C}$ ] aus den Modellsimulationen von MPIOM-REMO 1986 - 1999, HAMSOM-REMO 1986-1999, NEMO-RCA4 1970-1999 (von links nach rechts).**



**Abbildung 4: Differenz der mittleren Oberflächentemperatur aus den Modellläufen und der Klimatologie von BERX AND HUGHES (2009) [ $^\circ\text{C}$ ] aus den Modellsimulationen von MPIOM-REMO 1986-1999, HAMSOM-REMO 1986-1999, NEMO-RCA4 1970-1999 (von links nach rechts).**



**Abbildung 5:** Ungekoppelter (a) und gekoppelte Hindcast (d) der mittleren Oberflächentemperatur [in °C] aus der Modellkombination HAMSOM/REMO. Die Grafiken b und e stellen die Abweichung von der Klimatologie BERX AND HUGHES (2009) dar. Grafiken d und e zeigen deutlich die durch die Koppelung erreichte Verbesserung.

Der mittlere Jahresgang der Oberflächentemperatur (Abb. 6) wird in den Modellen ebenfalls realistisch wiedergeben. Die Modelle MPIOM-REMO und HAMSOM-REMO unterschätzen die mittlere SST in den Sommermonaten von April bis September/Oktober um ca. 1 K, während NEMO-RCA sie überschätzt. Der Unterschied der Monatsmitteltemperaturen für die Zeitperioden 1970 - 1999 und 1986 - 1999 der beobachteten SST ist dabei gering.

Die Zeitreihenanalyse zeigt beträchtliche zwischenjährliche und längerfristige Variabilität in allen Zeitreihen, die mit natürlichen Klimamoden in Verbindung steht. NAO induzierte Variabilität findet man besonders ausgeprägt in den Temperatur- und Meeresspiegelverteilungen, während im Salzgehalt langfristige Schwankungen dominieren. Für ausführlichere Analysen zu den Validationsläufen wird auf den separaten Bericht zu den Modellkooperationen (BÜLOW ET AL., 2014A) verwiesen.

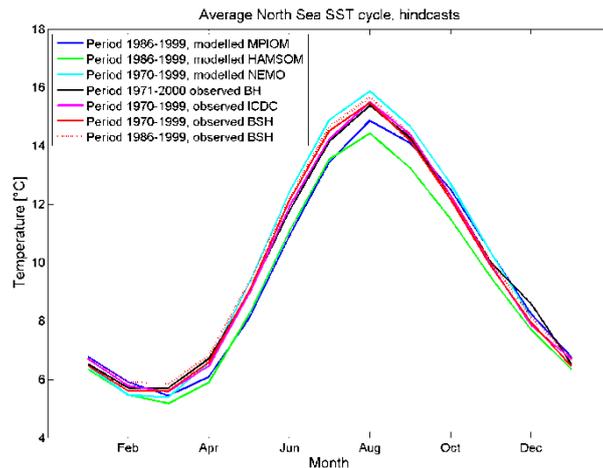


Abbildung 6: Jahresgang der Nordsee-SST [°C] aus den verschiedenen Modellsimulationen.

## 9.2 Kernaussagen zu den Ergebnissen

### Referenzdatenbasis

#### Die KLIWAS Nordsee-Klimatologie

Die in Zusammenarbeit mit der Universität Hamburg erarbeiteten neuen Klimatologien für die Nordsee (Atmosphäre und Ozean) schaffen eine deutlich verbesserte Basis für den Antrieb und die Bewertung von Modellen.

- Die Klimatologien beruhen ausschließlich auf qualitätsgesicherten Beobachtungsdaten.
- Es können spezifische statistische Auswertungen durchgeführt werden.
- Es können Klimatologien für frei wählbare Referenzperioden erzeugt werden.
- Eine zeitabhängige und flächenhafte Rasterung der Daten ist möglich.

#### Die Frontenklimatologie Nordsee aus Satellitendaten

Die Klimatologie der ozeanischen Fronten für die Nordsee schafft eine einzigartige Basis für die Erkennung von Fronten im Ozean. Fronten spielen in der ozeanischen Dynamik und in der Ökologie eine wichtige Rolle. Sie unterscheiden Wasserkörper mit unterschiedlichen physikalischen und dynamischen Eigenschaften. Sie sind Bereiche erhöhter biologischer Produktivität und damit u.a. für die Fischerei von Interesse.

- Die Frontenklimatologie liefert zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Informationen.
- Es sind Aussagen über Persistenz von Fronten, ihre raum-zeitliche Variabilität und über saisonale Muster möglich.

## **Extremwasserstände an der Deutschen Nordseeküste**

Die Untersuchungen zu den Extremwasserständen ermöglichen belastbare Aussagen zur Rolle des Windstaus in der südlichen Nordsee:

- Das Windstaumodell erklärt ~83% der Variabilität (Stundenwerte)
- Das Windstaumodell ermöglicht eine Abschätzung zukünftiger extremer Wasserstände.

## **Vergleich der Reanalysen**

Für die Validation von regionalen Modellen für die Nordsee wird durch das Fehlen einer belastbaren Datengrundlage zum Nordseeklima (Ozean und Atmosphäre) erschwert. Globale Reanalysen, Beobachtungsdaten und Referenzläufe regionaler atmosphärischer Klimamodelle klaffen zum Teil deutlich auseinander.

- Die Verwendung von (globalen) Reanalysen für regionale Studien ist problematisch, da deren Auflösung zu grob ist. Es werden regionale Reanalysen benötigt.
- Es ist sehr schwierig, die Qualität von regionalen Modellergebnissen mit Hilfe von globalen Reanalyse-Modellen zu bewerten. Da es keine regionalen Reanalysen gibt, kann die Qualität der einzelnen Modelle auf See nicht scharf beurteilt werden.

## **Validierung der Modellsimulationen**

Es liegen drei gekoppelte hochaufgelöste Modellsimulationen für den Nordseebereich vor. Für die Atmosphäre stehen aus dem ENSEMBLES Projekt zusätzlich 12 weitere Läufe zur Verfügung.

- Die ozeanischen Modelle zeigen in den Validationsläufen realistische räumliche Verteilungen von Temperatur, Salzgehalt und Meeresspiegel.
- Der saisonale Verlauf der drei Parameter wird von allen drei Modellen gut wieder gegeben.
- Der Vergleich der Ergebnisse der gekoppelten Modellläufe mit den ungekoppelten Läufen zeigt für die atmosphärischen Parameter kaum sichtbare Änderungen.
- Die atmosphärischen Ergebnisse aus ENSEMBLES zeigen trotz gleicher Randbedingungen (ERA-40) deutliche Abweichungen zwischen den einzelnen Validationsläufen, die zu einer großen Bandbreite führen.
- Durch die höhere Auflösung liegen die Temperaturen der RCMs in Küstennähe näher an den In-situ Beobachtungen als ERA-40.

### **9.3 Einschätzung zum Grad der Betroffenheit des Systems Wasserstraße und des operativen Geschäfts des BMVBS und der WSV**

Die Einschätzung der Betroffenheit von Schifffahrt und anderen Meeresnutzungen wird im Bericht des Projektes 3.01 dargestellt.

Die Betroffenheit des Systems Wasserstraße, und hier insbesondere der in 1.03 behandelte marine Bereich, wird hier nicht bewertet, da es in diesem Teilprojekt nur um die Bereitstellung von Daten zur Bewertung klimabedingter Veränderungen geht, d.h. es werden Werkzeuge zur Auswertung zur Verfügung gestellt. Insofern werden hier auch keine Aussagen zu Anpassungsoptionen getroffen.

## 10 Diskussion und Ausblick

Die Untersuchungen des Projekts 1.03 zeigen, dass qualitätskontrollierte Messungen unabdingbar sind. Die Messungen dienen als Referenz der (Klima)Modelle bzgl. des Ist-Zustands, als Grundlage für neue, hochaufgelöste Reanalyse-Systeme und als Basis für klimatologische Datensätze, wie z.B. die KLIWAS-Frontenklimatologie und die KLIWAS-Nordseeklimatologie.

Die Nordseeklimatologie erlaubt es erstmals, auch weitere Daten einzupflegen und kann so immer auf dem aktuellen Stand gehalten werden. Eine dauerhafte Betreuung sollte darum sichergestellt werden. Dies würde nicht nur das Einarbeiten neuer Daten, sondern auch die Erfassung historischer Daten (z.B. aus dem DWD Projekt HISTOR) sondern auch eine Kooperation mit den Kollegen des Binnenbereichs (Projekt 1.01), z.B. bzgl. des Abgleichs der klimatologischer Daten an den Übergangsbereichen Land/See ermöglichen.

Die Vergleiche der vorhandenen Reanalysen deuten darauf hin, dass die Erstellung einer gekoppelten, regionalen Reanalyse für klimatologische Zwecke sinnvoll und in Küstennähe notwendig ist, um kleinräumige Eigenschaften des Systems Nordsee auflösen zu können. Dies soll im Rahmen einer KLIWAS-Nachfolge geschehen.

Von besonderer Bedeutung für die Deutsche Anpassungsstrategie DAS und den Küstenschutz ist die Möglichkeit zur Abschätzung zukünftiger Extremwasserstände. Hier bietet das Windstaumodell der Universität Siegen einen wichtigen Ansatz. Durch die Verwendung von Messwerten in der Modellierung können Windstaumaxima jetzt realistischer bestimmt werden. Das Modell kann aber auch mit Modellwinden aus Szenarienrechnungen angetrieben werden, um so Untersuchungen des potentiellen zukünftigen Windstaus durchzuführen.

## 11 Danksagung

Die in diesem Projekt verwendeten ENSEMBLES Daten wurden durch die Förderung aus EU FP6 Projekt ENSEMBLES (Contract number 505539) ermöglicht, für dessen Unterstützung wir uns bedanken.

Wir haben von folgenden Kolleginnen und Kollegen jeweils zeitlich hoch aufgelöste Winddaten bekommen: E. van Meijgaard (KNMI), D. Jacob (MPI), E. Coppola und Kollegen am ICTP, N. Mackellar und O. Bossing Christensen (DMI). Wir danken ihnen sehr für die Überlassung der Daten, da ohne ihre freundliche Unterstützung eine Untersuchung der Windrichtungen nicht durchführbar gewesen wäre.

Bei den gekoppelten Modellierungen erhielten wir eine tatkräftige Unterstützung vom Max-Planck Institut für Meteorologie Hamburg (U. Mikolajewicz und Kollegen), von der Universität Hamburg (T. Pohlmann und Kollegen), vom Climate Service Center Hamburg (D. Jacob und Kollegen) und vom Schwedischen Wetterdienst (M. Meier und Kollegen).

Die Untersuchungen zu den Sturmfluten führten U. Ulbrich und D. Befort vom Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin durch.

Die Untersuchungen zu den Wasserständen führten J. Jensen, S. Dangendorf und C. Mudersbach von der Universität Siegen durch.

Die neue Nordsee-Klimatologie wurde vom ICDC an der Universität Hamburg maßgeblich entwickelt (D. Stammer, R. Sadikni, M. Bersch).

Die Fa. Brockmann Consult, Geesthacht entwickelte erstmalig eine Klimatologie ozeanischer Fronten in der Nordsee aus Satellitenbeobachtungen.

Weiter danken wir allen Kollegen aus den Referaten WS14 und WS24 des BMVI, aus dem BSH und dem DWD, vor allem denen am Seewetteramt Hamburg, und der KLIWAS Koordination an der BfG in Koblenz, die uns während des ganzen Projekts immer wieder unterstützt haben. Erwähnt seien die Mitarbeiter des Globalen Zentrums für Schiffswettermeldungen.

Dem Wissenschaftlichen Beirat des KLIWAS-Vorhabens, insbesondere Frau Prof. C. Schrumm und Herrn Prof. A. Macke, danken wir für die guten Ratschläge und fachlichen Anregungen.

Zuletzt danken wir dem BMVI für die Finanzierung dieses Projekts, ohne welche die gesamten Arbeiten nicht möglich gewesen wären.

## 12 Literatur

- ADLANDSVIK, B. (2008) Marine downscaling of a future climate scenario for the North Sea, *Tellus*, Vol. **60A**, 451–458.
- ADLANDSVIK, B. AND M. BENTSEN (2007) Downscaling a twentieth century global climate simulation to the North Sea, *Ocean Dynamics*, **57**, 453-466, doi: 10.1007/s10236-007-01252-8.
- BERX, B., AND S.L. HUGHES (2009) Climatology of surface and near-bed temperature and salinity on the north-west European continental shelf for 1971-2000. *Continental Shelf Research*, **29**, 2286-2292. DOI: 10.1016/j.csr.2009.09.006
- BOWMAN, M. J. AND ESAIAS, W. E. (EDS) (1978) *Oceanic Fronts in Coastal Processes*. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York, 114pp.
- BÜLOW, K., GANSKE, A., HEINRICH, H., HÜTTL-KABUS, S., KLEIN, B., KLEIN, H., MÖLLER, J., ROSENHAGEN, G., SCHADE, N.H., AND B. TINZ (2013) Comparing meteorological fields of the ENSEMBLES regional climate models with ERA-40 data over the North Sea. KLIWAS Schriftenreihe, KLIWAS-21/2013, 138pp. DOI: 10.5675/Kliwas\_21.2013\_ERA40data
- BÜLOW, K., GANSKE, A., HÜTTL-KABUS, S., KLEIN, B., KLEIN, H., MÖLLER, J., SCHADE, N.H., TINZ, B., HEINRICH, H., AND ROSENHAGEN, G. (2014) Parametrisierung von Klimawandelszenarien Küste/See. – Schlussbericht KLIWAS-Projekt 2.01. KLIWAS Schriftenreihe, KLIWAS-31/2014, DOI: 10.5675/Kliwas\_31.2014\_2.01
- BÜLOW, K., DIETERICH, C., ELIZALDE, A., GRÖGER, M., HEINRICH, H., HÜTTL-KABUS, S., KLEIN, B., MAYER, B., MEIER, H.E. M., MIKOLAJEWICZ, U., NARAYAN, N., POHLMANN, T., ROSENHAGEN, G., SCHIMANKE, S., SEIN, D., SU, J. (2014A): Comparison of three regional coupled ocean atmosphere models for the North Sea under today's and future climate conditions. KLIWAS Schriftenreihe, KLIWAS-27/2014.
- CHAUDHURI, A. H. AND R. M. PONTE (2013) A Comparison of Atmospheric Reanalysis Surface Products over the Ocean and Implications for Uncertainties in Air-Sea Boundary Forcing. *Journal of Climate*, **26**, 153 – 170.
- DANGENDORF, S.; T. WAHL, E. NILSON; B. KLEIN AND J. JENSEN (2013) A new atmospheric proxy for sea level variability in the southeastern North Sea: observations and future ensemble projections. *Climate Dynamic*, 21pp, DOI: 10.1007/s00382-013-1932-4.
- EGBERT, G.D., AND S.Y. EROFEEVA (2002) Efficient inverse modelling of barotropic ocean Tides. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **19(2)**, 183-204.
- FUKUMORI, I. AND O. WANG (2013) Origins of heat and freshwater anomalies underlying regional decadal sea level trends. *Geophys. Res. Lett.*, **40**, 563-567.
- GÖNNERT, G., GERKENSMEIER, B., MÜLLER, J.M., SOSSIDI, K., AND S. THUMM (2010) Zur hydrodynamischen Interaktion zwischen den Sturmflutkomponenten Windstau, Tide und Fernwelle, Zwischenbericht TP1a XtremRisk, [https://www.tu-braunschweig.de/MEDIEN-DB/hykur/02\\_goennert\\_et\\_al\\_xtremrisk\\_sturmflutkomponenten.pdf](https://www.tu-braunschweig.de/MEDIEN-DB/hykur/02_goennert_et_al_xtremrisk_sturmflutkomponenten.pdf)

- HO-HAGEMANN H, ROCKEL B, KAPITZA H AND GEYER B (2013) COSTRICE-an atmosphere-ocean-sea ice model coupled system using OASIS3, HZG Report (2013-5), 24pp.
- JANSSEN F., C. SCHRUM., J.O. BACKHAUS (1999) A climatological dataset of temperature and salinity for the North Sea and the Baltic Sea. Dt. Hydrogr Z., Supplement 9, 245pp.
- JENSEN, J., MUDERSBACH, C., AND S. DANGENDORF (2013) Untersuchungen zum Einfluss der Astronomie und des lokalen Windes auf sich verändernde Extremwasserstände in der Deutschen Bucht. KLIWAS Schriftenreihe, KLIWAS-25A/2013, 58pp, DOI: 10.5675/Kliwas\_25.2013\_Extremwasserstände.
- J. H. JUNGCLAUS, N. KEENLYSIDE, M. BOTZET, H. HAAK, J.-J. LUO, M. LATIF, J. MAROTZKE, U. MIKOLAJEWICZ, AND E. ROECKNER (2006) Ocean Circulation and Tropical Variability in the Coupled Model ECHAM5/MPI-OM, Journal of Climate- Special Section, Vol. 19, 3952-3872.
- KALNAY, E., KANAMITSU, M., KISTLER, R., COLLINS, W., DEAVEN, D., GANDIN, L., IREDELL, M., SAHA, S., WHITE, G., WOOLLEN, J., ZHU, Y., CHELLIAH, M., EBISUZAKI, W., HIGGINS, W., JANOWIAK, J., MO, K.C., ROPELEWSKI, C., WANG, J., LEETMAA, A., REYNOLDS, R., JENNE, ROY, AND DENNIS JOSEPH (1996) The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Projekt, Bulletin of the American Meteorological Society, **77**, 437-471.
- KARLSSON, K.-G., RIIHELÄ, A., MÜLLER, R., MEIRINK, J.F., SEDLAR, J., STENGEL, M., LOCKHOFF, M., TRENTMANN, J., KASPAR, F., HOLLMANN, R., AND E. WOLTERS (2013) CLARA-A1: a cloud, albedo, and radiation dataset from 28 yr of global AVHRR data, Atmospheric Chemistry and Physics, **13**, 5351-5367. DOI: 10.5194/acp-13-5351-2013
- KIRCHES, G., PAPERIN, M., KLEIN, H., BROCKMANN, C., AND K. STELZER (2013A) The KLIWAS Climatology for Sea Surface Temperature and Ocean Colour Fronts in the North Sea. Part A: Methods, Data, and Algorithms. KLIWAS Schriftenreihe, KLIWAS-23A/2013, 37pp, DOI: 10.5675/Kliwas\_Climatology\_NorthSea\_A.
- KIRCHES, G., M. PAPERIN, H. KLEIN, C. BROCKMANN, K. STELZER (2013B) The KLIWAS Climatology for Sea Surface Temperature and Ocean Colour Fronts in the North Sea. Part B: SST Products. KLIWAS Schriftenreihe, KLIWAS-23B/2013, 40pp, DOI: 10.5675/Kliwas\_Climatology\_NorthSea\_B.
- KIRCHES, G., M. PAPERIN, H. KLEIN, C. BROCKMANN, K. STELZER (2013C) The KLIWAS Climatology for Sea Surface Temperature and Ocean Colour Fronts in the North Sea. Part C: Ocean Colour Products. KLIWAS Schriftenreihe, KLIWAS-23C/2013, 32pp, DOI: 10.5675/Kliwas\_Climatology\_NorthSea\_C.
- KIRCHES, G., M. PAPERIN, H. KLEIN, C. BROCKMANN, K. STELZER (2013D) Ozeanische Fronten aus Fernerkundungsdaten. In: Traub, K.P., Kohlhus, J. & Lüllwitz, T. (Hrsg): Geoinformationen für die Küstenzone, Beiträge des 4. Hamburger Symposiums zur Küstenzone, 9. Strategie-Workshop zur Nutzung der Fernerkundung im Bereich der BfG/ WSV, HCU Hamburg, 24.-26.10.2012, Sokrates & Freunde GmbH, Koblenz, 273-283. ISBN: 978-3-9814234-0-2
- KLEIN, H. (1986) On the diffusion of Rhodamine B on both sides of a river plume front. Dt. hydrogr. Z., **39**, 225-234.

LOEWE, P. (ED.) (2009) System Nordsee – Zustand 2005 im Kontext langzeitlicher Entwicklungen. Berichte des BSH, **44**, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg und Rostock, 2009, 261pp.

MATHIS, M. (2013) Projected Forecast of Hydrodynamic Conditions in the North Sea for the 21st Century. Dissertation Zur Erlangung des Doktorgrades der Naturwissenschaften im Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg, 182pp.

MEIER, H. E. M. AND F. KAUKER (2003) Modeling decadal variability of the Baltic Sea: 2. Role of freshwater inflow and large-scale atmospheric circulation for salinity, *J. Geophys. Res.*, Vol. 108 (C11), 3368, 19pp, DOI: 10.1029/2003JC001799.

MEIER, H. E. M. (2006) Baltic Sea climate in the late twenty-first century: a dynamical downscaling approach using two global models and two emission scenarios, *Climate Dynamics*, **27**, 39–68, DOI: 10.1007/s00382-006-0124-x.

MUDERSBACH, C.; T WAHL, I. HAIGH AND J. JENSEN (2013) Trends in high sea levels of German North Sea gauges compared to regional mean sea level changes, *Continental Shelf Research*, **65**, 111-120.

MÜLLER-NAVARRA, S. (2013) On tidal prediction by means of harmonic representation of inequalities, *Berichte des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie*, **50**, 62pp.

PHAM, TRANG VAN; BRAUCH, JENNIFER; DIETERICH, CHRISTIAN; FRUEH, BARBARA; AHRENS, BODO (2014) New coupled atmosphere-ocean-ice system COSMO-CLM/NEMO: On the air temperature sensitivity on the North and Baltic Seas. Special Issue of OCEANOLOGIA\_MS No 14 (Baltex), in review.

POHLMANN, T. (2006) A meso-scale model of the central and southern North Sea: Consequences of an improved resolution, *Continental Shelf Research*, **26(19)**, 2367-2385, DOI: 10.1016/j.csr.2006.06.011.

SADIKNI, R., BERSCH, M., AND A. JAHNKE-BORNEMANN (2013) Meteorological Climatology of the North Sea and Surrounding Regions, Centre for Earth System Research and Sustainability (CEN), University of Hamburg, 15pp.

[http://icdc.zmaw.de/fileadmin/user\\_upload/icdc\\_Bilder/knsc/KnscMeteorologicalDataProcessing.pdf](http://icdc.zmaw.de/fileadmin/user_upload/icdc_Bilder/knsc/KnscMeteorologicalDataProcessing.pdf)

SAHA, S., MOORTHY, S., PAN, H.-L., WU, X., WANG, J., NADIGA, S., TRIPP, P., KISTLER, R., WOOLLEN, J., BEHRINGER, D., LIU, H., STOKES, D., GRUMBINE, R., GAYNO, G., WANG, J., HOU, Y.-T., CHUANG, H.-Y., JUANG, H.-M. H., SELA, J., IREDELL, M., TREADON, R., KLEIST, D., VAN DELST, P., KEYSER, D., DERBER, J., EK, M., MENG, J., WEI, H., YANG, R., LORD, S., VAN DEN DOOL, H., KUMAR, A., WANG, W., LONG, C., CHELLIAH, M., XUE, Y., HUANG, B., SCHEMM, J.-K., EBISUZAKI, W., LIN, R., XIE, P., CHEN, M., ZHOU, S., HIGGINGS, W., ZOU, C.-Z., LIU, Q., CHEN, Y., HAN, Y., CUCURULL, L., REYNOLDS, R.W., RUTLEDGE, G., AND GOLDBERG, M. (2010) The NCEP Climate Forecast System Reanalysis, *Bulletin of the American Meteorological Society*, **91**, 1015-1057, DOI: 10.1175/2010BAMS3001.110.

SCHADE, N.H., STENGEL, M., HOLLMANN, R., ROSENHAGEN, G., AND H. HEIRNICH (2012) CM SAF CLARA-A1 Satellitendaten im Vergleich mit ERA-40 über der Nordsee – Wolkenbedeckung und Globalstrahlung, Poster, 9. Deutsche Klimatagung, 9.-12. Oktober 2012, Freiburg.

- SCHADE, N.H., ROSENHAGEN, G., AND H. HEIRNICH (2013) Regional Evaluation of ERA-40 Reanalysis Data with Marine Atmospheric Observations in the North Sea Area. *Meteorologische Zeitschrift*, **22(6)**, 10pp. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0471
- SCHADE, N.H., M. STENGEL, UND R. HOLLMANN (2014): Evaluierung der ERA-40 Wolken- und Strahlungsdaten mit CM-SAF AVHRR CLARA-A1 über der Nordsee, Manuskript in Vorbereitung.
- SLANGEN, A. B. A., AND M. CARSON, C.A. KATSMAN, R.S.W. VAN DE WAL, A. KOEHL, L.L.A. VERMEERSEN AND D. STAMMER (2014) Projecting twenty-first century regional sea-level changes. Accepted for publication in *Climatic Change*, doi: 10.1007/s10584-014-1080-9.
- SUGAHARA, S, R. P. DA ROCHA, R. YNOUE AND R. B. DA SILVEIRA (2013) Spurious shifts in the pattern of diurnal variation of sea level pressure of reanalysis datasets. *Climate Dynamics*, **40**, 175-186.
- STAMMER, D., M. BERSCH, R. SADIKNI, A. JAHNKE-BORNEMANN, V. GOURETSKI, I. HINRICH, H. HEINRICH, B. KLEIN, H. KLEIN, N. SCHADE, G. ROSENHAGEN, B. TINZ, C. LEFEBVRE (2014) Die KLIWAS Nordseeklimatologie für ozeanographische und meteorologische In-situ Daten. KLIWAS Schriftenreihe KLIWAS-59/2014, 45pp., DOI: 10.5675/Kliwas\_59/2014\_Nordseeklimatologie.
- UPPALA, ET AL. (2005) The ERA-40 RE-Analysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **131**, 2961-3012.
- VAN DER LINDEN P., AND J.F.B. MITCHELL (EDS.) (2009) ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160pp.
- WAHL, T., JENSEN, J., AND T. FRANK (2010) On analysing sea level rise in the German Bight since 1844. *Natural Hazards of the Earth System Sciences*, **10**, 171–179.
- WAHL, T., JENSEN, J., FRANK, T., AND I. HAIGH (2011) Improved estimates of mean sea level changes in the German Bight over the last 166 years. *Ocean Dynamics*, **61(5)**, 701-715. DOI: 10.1007/s10236-011-0383-x
- WEISSE, R., AND A. PLUESS (2006) Storm-related sea level variations along the North Sea coast as simulated by a high-resolution model 1958-2002. *Ocean Dynamics*, **56**, 16-25.
- YAMAZAKI, D., KANAE, S., KIM, H., AND T. OKI (2011): A physically based description of floodplain inundation dynamics in a global river routing model. *Water Resource Research*, **47**, W04501. DOI: 10.1029/2010WR009726

## 13 Abkürzungen

AATSR	Advanced Along-Track Scanning Radiometer
AG	Arbeitsgruppe
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
BSRN	Baseline Surface Radiation Network
CISL	Computational & Information Systems Laboratory
CM SAF	Satellite Application Facility on Climate Monitoring
COSMO	Consortium for Small Scale Modeling
DWD	Deutscher Wetterdienst
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
ERA	Extended Reanalysis Envisaged
FU	Freie Universität
GZS	Globales Zentrum für Schiffswettermeldungen
HAMSOM	Hamburg Shelf Ocean Model
HOAPS	Hamburg Ocean Atmosphere Parameters and Fluxes from Satellite Data
HQC	High Quality Control
HZG	Helmholtz Zentrum Geesthacht
ICDC	Integrated Climate Data Center
ICOADS	International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set
IFM	Institut für Meereskunde
IOW	Leibniz Institut für Ostseeforschung Warnemünde
KNSC	KLIWAS North Sea Climatology
LAS	Live Access Server
MPI	Max-Planck-Institut
MARNET	Marines Umweltmessnetz in Nord- und Ostsee
MARCOAST	Marine and Coastal Environmental Information Services
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

MPIOM	Max-Planck Institute Ocean Model
MSL	Mean Sea Level – Mittlerer Meeresspiegel
NCAR	National Center for Atmospheric Research
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
OC	Ocean Colour
RACE!	Regional Atlantic Circulation and Globale Change
RCAO	Rosby Centre Atmosphere-Ocean model
RCM	Regional Climate Model
REMO	Regional Model
RDA	Research Data Archive
SMHI	Swedish Meteorological and Hydrological Institute
SOOP	Ship Of Opportunity Program
SST	Sea Surface Temperature – Meeresoberflächentemperatur
WSV	Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes





**Bundesanstalt für Wasserbau**  
Kompetenz für die Wasserstraßen

**Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)**

Kußmaulstraße 17  
76187 Karlsruhe

[www.baw.de](http://www.baw.de)  
[info@baw.de](mailto:info@baw.de)

**Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)**

Bernhard-Nocht-Straße 78  
20359 Hamburg

[www.bsh.de](http://www.bsh.de)  
[posteingang@bsh.de](mailto:posteingang@bsh.de)



**BUNDESAMT FÜR  
SEESCHIFFFAHRT  
UND  
HYDROGRAPHIE**



**Deutscher Wetterdienst (DWD)**

Frankfurter Straße 135  
63067 Offenbach/Main

[www.dwd.de](http://www.dwd.de)  
[info@dwd.de](mailto:info@dwd.de)

**Bundesanstalt für  
Gewässerkunde (BfG)**

Am Mainzer Tor 1  
56068 Koblenz

[www.bafg.de](http://www.bafg.de)  
[posteingang@bafg.de](mailto:posteingang@bafg.de)



## IMPRESSUM

### Herausgeber:

Bundesanstalt für Gewässerkunde  
KLIWAS Koordination  
Am Mainzer Tor 1  
Postfach 20 02 53  
56002 Koblenz  
Tel.: 0261 / 1306-0  
Fax: 0261 / 1306-5302  
E-Mail: [kliwas@bafg.de](mailto:kliwas@bafg.de)  
Internet: <http://www.kliwas.de>

**Redaktion:** KLIWAS-Koordination,  
Bundesanstalt für Gewässerkunde

**Autoren:** Katharina Bülow<sup>1</sup>, Anette Ganske<sup>1</sup>,  
Sabine Hüttli-Kabus<sup>1</sup>, Birgit Klein<sup>1</sup>,  
Holger Klein<sup>1</sup>, Peter Löwe<sup>1</sup>, Jens Möller<sup>1</sup>,  
Nils Schade<sup>1</sup>, Birger Tinz<sup>2</sup>,  
Hartmut Heinrich<sup>1</sup>, Gudrun Rosenhagen<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>BSH; <sup>2</sup>DWD

**Layout:** Christin Hantsche und Tobias Knapp,  
Bundesamt für Seeschifffahrt  
und Hydrographie - Rostock

**Druck:** Bundesanstalt für Gewässerkunde

**DOI:** 10.5675/Kliwas\_30/2014\_1.03