

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Weisse, Ralf; Gaslikova, Lidia; Geyer, Beate; Groll, Beate; Meyer, Elke coastDat: Modelldaten für Wissenschaft und Industrie

Die Küste

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

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/106353>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Weisse, Ralf; Gaslikova, Lidia; Geyer, Beate; Groll, Beate; Meyer, Elke (2018): coastDat: Modelldaten für Wissenschaft und Industrie. In: Die Küste 86. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 5-19.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

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

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



coastDat: Modelldaten für Wissenschaft und Industrie

Ralf Weisse, Lidia Gaslikova, Beate Geyer, Nikolans Groll und Elke Meyer

Zusammenfassung

Der coastDat Datensatz ist eine Zusammenstellung meteo-mariner Rekonstruktionen und von Szenarienrechnungen für die Zukunft, die mit Hilfe numerischer Modelle erstellt wurden. Die Kernstücke des Datensatzes umfassen hoch aufgelöste Wind-, Seegang- und Wasserstandsrekonstruktionen (Hindcasts), die bisher hauptsächlich für die Nordsee entwickelt wurden. Rekonstruktionen und Szenarien für andere Gebiete werden jedoch zunehmend verfügbar und in den Datensatz integriert. Je nach Parameter umfassen die rekonstruierten Zeiträume die letzten etwa 50-60 Jahre. Daten aus coastDat wurden erfolgreich sowohl zur Untersuchung wissenschaftlicher Fragestellungen als auch zur Betrachtung von mehr praxis-orientierten Anwendungen z. B. im Schiffbau oder der Offshore Windindustrie eingesetzt. In diesem Beitrag werden der Datensatz und die notwendigen Entwicklungen kurz vorgestellt sowie ein Überblick über Validierungsergebnisse gegeben. Anschließend werden eine kurze Übersicht über derzeit existierende Anwendungen gegeben und die Zugangsmöglichkeiten zu den Daten beschrieben.

Schlagwörter

coastDat, Hindcast, meteo-marine Daten, Nordsee

Summary

The coastDat data set is a compilation of regional meteo-marine hindcasts and scenarios of possible future developments derived from numerical models. The core of the data set comprises high-resolution wind, wind wave and tide-surge hindcasts mostly for the North Sea. Other areas progressively become available. Depending on parameter, the hindcast period covers the last five to six decades of years including the most recent ones. The data set was successfully applied for a variety of scientific as well as more practically oriented applications comprising, for example, naval architecture or offshore wind farms. Here the data set and the history leading to its development are briefly described, validation is reviewed, and an overview about recent uses of the data is provided. Eventually access to the data is briefly sketched.

Keywords

coastDat, hindcast, met-ocean data, meteo-marine data, North Sea

Inhalt

1	Einleitung	6
2	Historische Entwicklung.....	7
3	coastDat-1 und coastDat-2.....	9
4	Validierung	11
5	Anwendungen.....	13
6	Zugriff auf coastDat	15
7	Zusammenfassung	15
8	Schriftenverzeichnis.....	16

1 Einleitung

Statistische Aussagen zu mittleren oder extremen Zuständen mariner Umweltbedingungen sowie zu deren Variabilität oder zu möglichen langfristigen Veränderungen sind sowohl für die Forschung als auch für zahlreiche kommerzielle Offshore-Aktivitäten von zentraler Bedeutung. In der Forschung tragen diese Informationen unter anderem zu einem verbesserten Verständnis von Prozessen oder von Veränderungen bei. Behörden und Industrie benötigen vergleichbare Daten für die Planung, Konstruktion oder Instandhaltung von Küstenschutz- oder Offshore-Anlagen. Oftmals steht jedoch nur eine unzureichende Datengrundlage zur Verfügung, anhand derer solche Statistiken erstellt werden können. So decken vorhandene Beobachtungen oftmals nicht das gesamte Spektrum der Variabilität oder möglicher Veränderungen ab. Weiterhin können die räumliche und zeitliche Messdichte unzureichend sein, oder die Parameter von Interesse sind messtechnisch nicht erfasst worden. Längere Zeitreihen sind oftmals nicht homogen, da zum Beispiel Veränderungen in der Methodik der Datenerhebung künstliche Signale in den Zeitreihen erzeugen können, die als Trends fehlinterpretiert werden können (z. B. WEISSE und VON STORCH 2009).

Der coastDat Ansatz wurde entwickelt, um die Datengrundlage in Bezug auf diese Problematik zu verbessern. Der Ansatz basiert auf der Verwendung quasi-realistischer numerischer Modelle der Atmosphäre, des Seegangs (vom Wind erzeugte Wellen an der Meeresoberfläche) sowie des Wasserstands, bei der unter optimaler Nutzung vorhandener Beobachtungsdaten das marine Klima seit 1948 bzw. 1958 stündlich rekonstruiert und somit eine in sich konsistente Beschreibung der sich verändernden marinen Umweltbedingungen geliefert wird. Ergänzend stellt coastDat Szenarien möglicher zukünftiger Entwicklungen in Folge des anthropogenen Klimawandels zur Verfügung. Der Ansatz wurde über einen Zeitraum von mehr als 10 Jahren entwickelt und angewandt, um zum Beispiel für die Nordsee die Wirksamkeit politischer Maßnahmen zur Reduktion chronischer Ölverschmutzungen (z. B. CHRASTANSKY et al. 2009; CHRASTANSKY und CALLIES 2009) oder die Veränderungen im Wind- (z. B. WEISSE et al. 2005) und Sturmflutklima (z. B. WEISSE und PLUESS 2006) zu analysieren. Im industriellen Bereich wurde coastDat unter anderem im Schiffbau, bei der Modellierung von Ölverschmutzungsrisiken oder beim Bau und Betrieb von Offshore-Windparks eingesetzt (WEISSE et al. 2009). Mit Stand von Mitte 2014 wurde coastDat von über 80 verschiedenen Nutzern verwendet, wobei etwa 46 % aus dem industriellen Bereich, etwa 15 % aus Behörden und etwa 39 %

aus der Forschung kommen. Im Folgenden werden eine kurze Einführung und ein Überblick über den coastDat Datensatz gegeben. Kapitel 2 liefert zunächst einige Hintergrundinformationen insbesondere zur historischen Entwicklung des Ansatzes sowie zu den wichtigsten Erfolgen und Meilensteinen, die letztendlich die Entwicklung von coastDat ermöglichten. In Kapitel 3 werden die beiden derzeit existierenden Versionen von coastDat in einem kurzen Vergleich gegenübergestellt, wobei die neuere Version die Ende der 1990er Jahre entwickelte erste Version schrittweise ersetzt. In Kapitel 4 wird kurz auf einige Validierungsaspekte eingegangen und in Kapitel 5 wird ein Überblick über bisherige wissenschaftliche und praktische Anwendungen von coastDat gegeben. Zugriffsmöglichkeiten auf den Datensatz werden in Kapitel 6 erläutert und in Kapitel 7 wird eine kurze Zusammenfassung gegeben.

2 Historische Entwicklung

Die Rekonstruktion oder Nachhersage (engl. Hindcast) einzelner Ereignisse wie extremer Stürme oder Sturmfluten mithilfe numerischer Modelle besitzt eine lange Tradition. Zum einen wurden solche Rechnungen durchgeführt, um extreme Ereignisse mit zum Teil gravierenden Schäden zu rekonstruieren. Beispiele hierfür sind die Rekonstruktionen des sogenannten Halloween-Sturms von 1991 (CARDONE et al. 1996) oder der Seegangsverhältnisse während der Sydney-Hobart-Regatta im Jahr 1998, in deren Verlauf es aufgrund des schweren Seegangs zu fünf Schiffsverlusten kam (GREENSLADE 2001). Zum anderen wurden solche Rechnungen eingesetzt, um Modelle unter Extrembedingungen zu validieren (z. B. HOPE et al. 2013; DIETRICH et al. 2009).

Mit der Weiterentwicklung der Modelle und der steigenden Leistungsfähigkeit der Computer wurden zunehmend Rekonstruktionen durchgeführt, die längere Zeiträume oder eine größere Zahl an ausgewählten Extremereignissen abdecken konnten. Diese Art von Studien diente in der Regel der Entwicklung von Datenbanken, aus denen später entsprechende Klimatologien abgeleitet werden konnten. Insbesondere für den Bereich des Seegangs wurden solche Studien häufig durch entsprechende Anfragen aus der Industrie ausgelöst, und die Ergebnisse waren deshalb in vielen Fällen nicht öffentlich und standen für weitere Forschungsarbeiten nicht zur Verfügung (WEISSE und GÜNTHER 2011). Ein Beispiel hierfür ist eine in 1987 entwickelte saisonale Wellenklimatologie für die Nordsee, die auf einer 16 Jahre umfassenden Rekonstruktion des Seegangs angetrieben von Windfeldern eines quasi-geostrophischen Modells unter Verwendung digitalisierter und analysierter Oberflächendruckkarten basiert (N.N. 1987).

In den frühen 1990er Jahren war eine Intensivierung der Aktivität außertropischer Stürme in Nordeuropa zu beobachten. Als Folge häuften sich Berichte über widerzeugte Wellen, die höher waren als bisher beobachtet (WASA 1998). In diesem Umfeld wurde das europäische Projekt WASA (Waves and Storms in the North Atlantic) mit dem Ziel ins Leben gerufen, Hypothesen über eine Intensivierung des Sturm- und Wellenklimas im Nordatlantik entweder zu belegen oder zu widerlegen (WASA 1998). Ein Ansatz, der dabei innerhalb des Projekts verfolgt wurde, war die *kontinuierliche* Rekonstruktion und Analyse von Seegang und Windstau über einen Zeitraum von insgesamt mehr als vier Jahrzehnten. Nach unserer Kenntnis war dies der erste mehrere Jahrzehnte umfassende *multidekadische* Hindcast, der speziell auf die Auswertung von *Langzeitveränderungen* ausgerichtet war. Ein wesentliches Ergebnis des Projekts war der Verweis auf die Notwendigkeit

homogener Daten für multidekadische Hindcasts: Inhomogenitäten, wie sie beispielsweise durch Veränderungen in der Dichte des Beobachtungsnetzwerkes oder der Methodik der Datenerfassung entstehen können, können virtuelle Trends erzeugen, die die Nützlichkeit der Rekonstruktionen für die Auswertung langfristiger Veränderungen zumindest stark einschränken (WASA 1998). Eine ausführliche Darstellung der Problematik findet sich z. B. in WEISSE und VON STORCH (2009).

Während der Laufzeit des WASA -Projekts standen möglichst homogene Winddaten, wie sie als Antrieb für die Sturmflut- und Seegangsrekonstruktionen benötigt wurden, nur bedingt zur Verfügung. Die Situation verbesserte sich deutlich, als Mitte der 1990er Jahre globale atmosphärische Reanalysen entstanden. Diese lieferten zum einen auf regelmäßige Gitter interpolierte Daten und zum anderen wurde versucht, den Einfluss von Inhomogenitäten durch die Beibehaltung unveränderlicher Modelle und Datenassimilationsschemata während der Reanalysezeiträume zu minimieren. Ein in diesem Zusammenhang sehr nützliches Produkt ist die bis heute fortlaufend aktualisierte Reanalyse des National Center for Environmental Prediction (NCEP), die seit 1948 in einer räumlichen Auflösung von etwa 210 km x 210 km alle sechs Stunden vorliegt (KALNAY et al. 1996; KISTLER et al. 2001).

Obwohl sich die Auflösung solcher Reanalysen für Studien auf globalen oder kontinentalen Skalen als ausreichend erwies, war sie jedoch für viele Untersuchungen auf regionalen oder kleineren Skalen zu grob. Es wurden daher zahlreiche Versuche unternommen, die globalen Reanalysen mit Hilfe regionaler Modelle räumlich und zeitlich zu verfeinern (dynamisches Downscaling). Um dabei die Daten der globalen Reanalysen in vollem Umfang nutzen zu können, schlugen VON STORCH et al. (2000) ein spezielles Verfahren, das sogenannte spektrale Nudging (engl. spectral nudging), vor. Dieses basiert auf der Annahme, dass die Güte globaler Reanalysen von der Größe der betrachteten Skala abhängt. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Modelle generell auf größeren Skalen eine höhere Güte besitzen. Daher sollte sich die regionale Downscaling-Lösung bei größeren Skalen enger an die durch Datenassimilation gestützte globale Lösung annähern, während sie sich auf kleineren Skalen mit zu erwartendem Mehrwert freier entwickeln sollte. Spektrales Nudging wird daher teilweise auch als regionale Datenassimilation ohne Beobachtungsdaten bezeichnet (VON STORCH et al. 2000). Diese und ähnliche Techniken sind mittlerweile stark verbreitet (einen Überblick findet man z. B. in WEISSE und VON STORCH 2009) und liefern einen erheblichen Mehrwert verglichen mit Rechnungen ohne diesen Ansatz (z. B. WEISSE und FESER 2003; FESER et al. 2011).

Die Verfügbarkeit globaler Reanalysen, die Optimierung des Downscalings mit Hilfe des spektralen Nudging-Verfahrens sowie der Bedarf an konsistenten, hochauflösenden meteorologisch-ozeanographischen Rekonstruktionen schufen die Grundlage für das Ende der 1990er Jahre ins Leben gerufene Projekt HIPOCAS (Hindcast of Dynamic Processes of the Oceans and the Coastal Areas of Europe). Aufbauend auf den genannten Entwicklungen wurde mit diesem Projekt erstmals das Ziel verfolgt, einen detaillierten, hochauflösenden und konsistenten multidekadischen meteorologisch-ozeanographischen Hindcast für die europäischen Schelf- und Küstenmeere zu erstellen. Hierbei wurden in der Regel die Verhältnisse im Zeitraum zwischen 1958 und 1998 mit typischen Gitterweiten von ca. 50 km x 50 km (Atmosphäre), etwa 5 km x 5 km (Wellen) bis hin zu wenigen hundert Metern (Wasserstände an der Küste) rekonstruiert (SOARES et al. 2002). Die stündlich gespeicherten Daten ermöglichten dabei sowohl eine detaillierte Validierung, als

auch die Auswertungen langfristiger Veränderungen (z. B. WEISSE und GÜNTHER 2007; CIEŚLIKIEWICZ und PAPIŃSKA-SWERPEL 2008; MUSIĆ und NICKOVIĆ 2008). Mit Ende des Projekts wurden die Datensätze jedoch rasch obsolet, da Ereignisse jüngeren Datums nicht mehr enthalten waren. Aufgrund des weiterhin bestehenden Bedarfs und der anhaltenden Nachfrage auch nach Daten für jüngere Ereignisse wurde die Simulation für die Nordsee am Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG) mit dem für das HIPOCAS-Projekt implementierten Modellsystem und den Verfahren auch nach Projektende fortgeführt und erweitert. Zu den immer komplexer werdenden Simulationen gehörten nun auch Szenarien möglicher Auswirkungen des zu erwartenden anthropogenen Klimawandels sowie Rekonstruktionen für das Ostseegebiet. Aufgrund dieser Änderungen und Erweiterungen wurde das Projekt anschließend unter dem Namen coastDat weitergeführt.

Im Jahr 2007 wurde das für HIPOCAS implementierte und für coastDat weiter betriebene Modellsystem schließlich eingestellt, als Modellentwicklungen und leistungsfähigere Rechner die Implementierung eines neuen coastDat-2-Systems ermöglichten. Mit diesem wurde der gesamte Zeitraum seit 1948 erneut rekonstruiert. Zum Zeitpunkt des Verfassens dieses Beitrags (2013) werden die Rechnungen fortlaufend aktualisiert, so dass auch Daten neuerer Ereignisse zeitnah zur Verfügung stehen. Der ursprüngliche coastDat Datensatz ist unter dem Namen coastDat-1 weiterhin verfügbar, wird jedoch nicht weiter aktualisiert. Im folgenden Kapitel werden die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der beiden Datensätze zusammenfassend dargestellt.

3 coastDat-1 und coastDat-2

Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf die wesentlichen Rechnungen und Daten aus den beiden coastDat Datensätzen, insbesondere auf die für die Nordsee erstellten Wind-, Seegang- und Wasserstandsrekonstruktionen. Neben diesen sind Daten weiterer Rechnungen verfügbar wie etwa von Sturmflutszenarien unter möglichen zukünftigen Klimabedingungen (z. B. WOTH et al. 2006), Rekonstruktionen der Temperaturen und des Salzgehalts der Nordsee (MEYER et al. 2011) oder von Sturmflutrekonstruktionen für die Ostsee (WEIDEMANN 2014). Die Liste verfügbarer Daten wird ständig erweitert. Eine aktuelle Version der Liste wird auf der coastDat Website geführt (siehe Kapitel 6).

Beide Datensätze, coastDat-1 und coastDat-2, basieren auf der globalen atmosphärischen Reanalyse des NCEP-NCAR (National Center for Environmental Prediction-National Center for Atmospheric Research) (KALNAY et al. 1996). Diese wird verwendet, um zunächst ein Regionalmodell der Atmosphäre unter Verwendung der spektralen Nudging-Technik (VON STORCH et al. 2000) anzutreiben (Tab. 1). Das Gebiet des Regionalmodells umfasst dabei den größten Teil Europas und der angrenzenden Meeresgebiete. In coastDat-1 wurde damit der Zeitraum 1948 - 2007 unter Verwendung des regionalen Klimamodells REMO (JACOB und PODZUN 1997; FESER et al. 2001) in einer räumlichen Auflösung von ca. 50 km x 50 km rekonstruiert. Für coastDat-2 wurde dieses Modell durch das Klimamodell COSMO-CLM (COSMO in CLimate Mode), Version 4.8_clm_11 (ROCKEL et al. 2008; BALDAUF et al. 2011; STEPPELER et al. 2003) in einer Auflösung von etwa 24 km x 24 km ersetzt und der Zeitraum 1948 - 2013 rekonstruiert. Im Vergleich zu REMO ist COSMO-CLM ein nicht-hydrostatisches operationelles Modell zur Wettervorhersage, das von zahlreichen im Consortium for Small-scale Modeling

(COSMO) zusammengeschlossenen nationalen Wetterdiensten entwickelt und genutzt wird. Das diesem Modell zugrunde liegende Klimamodell wird von der CLM-Community (Climate Limited-area Modelling) entwickelt und verwendet (<http://www.clim-community.eu>). Die Ausgabewerte des Atmosphärenmodells wurden für coastDat-1 und coastDat-2 jede Stunde vollständig gespeichert. Während die Produktion von coastDat-1 im Jahr 2007 eingestellt wurde, wird coastDat-2 laufend erweitert und aktualisiert.

Die aus den Atmosphärensimulationen von coastDat-1 und coastDat-2 gewonnenen Daten für oberflächennahe marine Windfelder und atmosphärischen Druck auf Meereshöhe wurden anschließend verwendet, um Wasserstands- und Seegangsmodele entsprechend anzutreiben (siehe Tab. 1). Die Änderungen des Seegangsmodelessystems in coastDat-2 sind gegenüber dem in coastDat-1 nur gering. In beiden Datensätzen wurde die zu Beginn der Produktion aktuelle Version des Wellenmodells WAM verwendet und für beide Rekonstruktionen wurde das Modell in einer genesteten Version betrieben. Dabei deckt das grobe Gitter (ca. 50 km x 50 km) in beiden Versionen weite Teile des nordöstlichen Atlantiks ab. Das feine Gitter (ca. 5,5 km x 5,5 km) deckt in coastDat-1 das Gebiet der Nordsee südlich von 56 N und in coastDat-2 die gesamte Nordsee ab. Neben einigen technischen Änderungen wie etwa der Neustrukturierung des Gitters oder der Einführung von parallelisiertem Code wurde in coastDat-2 eine Parametrisierung für tiefeninduziertes Brechen der Wellen eingeführt. Dadurch konnten Wellenhöhen in extremen Flachwasserbereichen reduziert werden, die in coastDat-1 gelegentlich zu hoch berechnet wurden. Sowohl in coastDat-1 als auch in coastDat-2 wurden die Ausgabewerte des Wellenmodells jeweils stündlich und vollständig gespeichert. Während die Produktion von coastDat-1 im Jahr 2007 eingestellt wurde, wird coastDat-2 laufend erweitert und aktualisiert.

Wasserstände und Sturmfluten wurden in coastDat-1 mit einer 2D-Version des TELEMAC Modells (HERVOUET und HAREN 1996) berechnet. Das Modell wurde dazu auf einem unstrukturierten Gitter mit einer räumlichen Auflösung von etwa 5 km in der offenen Nordsee bis hin zu etwa 100 m in Küstennähe betrieben. In coastDat-2 wurde TELEMAC durch eine 2D-Version des Modells TRIM-NP ersetzt (KAPITZA 2008), einem genesteten nicht-hydrostatischen Schelfmeermodell mit räumlichen Auflösungen von 12,8 km x 12,8 km im Nordatlantik bis zu 1,6 km x 1,6 km in der Deutschen Bucht. In beiden Rekonstruktionen wurden die Modelle mit Amplituden und Phasen eines globalen Gezeitendatensatz (LYARD et al. 2006) angetrieben. Während in coastDat-1 Fernwellen (engl. external surges) mittels Assimilation von Pegeldaten aus Aberdeen berücksichtigt wurden, wurden diese in coastDat-2 explizit auf einem groben Nordatlantikgitter simuliert und an den Rändern an die höher aufgelösten Gitter übergeben. Auch hier wurden die Ausgabewerte sowohl in coastDat-1 als auch in coastDat-2 jeweils stündlich und vollständig gespeichert. Während die Produktion von coastDat-1 im Jahr 2002 eingestellt wurde, wird coastDat-2 laufend erweitert und aktualisiert.

Tabelle 1: Modell Set-up und Rekonstruktionszeiträume in coastDat-1 und coastDat-2 im Vergleich.

Rekonstruktions- zeitraum	Modell (Modellreferenz; Set-up Referenz)	Modellgebiet	Gitterabstand	Antriebsdaten
coastDat-1				
1948-2007	REMO (JACOB und PODZUN 1997; FESER et al. 2001)	Westeuropa; angrenzende Meere	50 x 50 km	NCEP/NCAR- Reanalyse
1948-2007	WAM (WAMDI 1988; WEISSE und GÜNTHER 2007)	Nordöstlicher Atlantik; Nord- see südlich von 56 N	50 x 50 km 5,5 x 5,5 km	Oberflächennahe Winde aus RE- MO
1958-2002	TELEMAC2D (HERVOUET und HAREN 1996; WEISSE und PLUESS 2006)	Nordsee	Unstrukturiertes Gitter von ca. 5 km bis 100 m	Oberflächennahe Winde und Druck aus REMO
coastDat-2				
1948-2013	COSMO-CLM (ROCKEL et al. 2008; GEYER 2014)	Europa; an- grenzende Meere	24 x 24 km	NCEP/NCAR- Reanalyse
1948-2013	WAM (WAMDI 1988)	Nordöstlicher Atlantik; Nord- see	50 x 50 km 5,5 x 5,5 km	Oberflächennahe Winde aus COSMO-CLM
1948-2013	TRIM-NP (KAPITZA 2008)	Nordöstlicher Atlantik; Nord- see	12,8 x 12,8 km 6,4 x 6,4 km 3,2 x 3,2 km 1,6 x 1,6 km	Oberflächennaher Wind und Druck aus COSMO- CLM

4 Validierung

Die Validierung von Wind-, Seegang- und Wasserstandsdaten aus coastDat-1 ist in der begutachteten Literatur eingehend beschrieben. Ein Vergleich von aus Stationsdaten in der Nordsee abgeleiteten hohen Perzentilen der Windgeschwindigkeit sowie von Sturmstatistiken mit entsprechenden Daten aus coastDat-1 zeigt eine gute Übereinstimmung der beiden Datensätze im Hinblick auf Mittelwerte und Variabilität (WEISSE et al. 2005). Ähnliche Ergebnisse werden in WEISSE und PLUESS (2006) für hohe Wasserstände und in WEISSE und GÜNTHER (2007) für Seegang beschrieben. WEISSE und PLUESS (2006) fanden hierbei eine relativ gute Reproduktion von hohen Wasserständen und Sturmfluten, beobachteten gleichzeitig jedoch eine Tendenz zur Überschätzung der niedrigsten Wasserstände. WEISSE und GÜNTHER (2007) fanden generell eine gute Übereinstimmung zwischen beobachteten und modellierten Wellenparametern, stellten jedoch auch fest, dass die höchsten Wellen in extremen Flachwasserbereichen, in denen das Modell die Bathymetrie-Effekte nicht adäquat wiedergeben kann, tendenziell überschätzt werden. Dieses Ergebnis wurde von GASLIKOVA und WEISSE (2006) bestätigt. Sowohl WEISSE

und PLUESS (2006) als auch WEISSE und GÜNTHER (2007) fanden eine relativ gute Wiedergabe der beobachteten inter-annualen und dekadischen Variabilität in coastDat-1. WINTERFELDT et al. (2011, 2010) und WINTERFELDT und WEISSE (2009) untersuchten und bewerteten anhand von in-situ-Messungen der Windgeschwindigkeit an einer Reihe von Bojen sowie anhand von aus verschiedenen Satellitenprodukten abgeleiteten Windgeschwindigkeiten den Mehrwert von coastDat-1 im Vergleich zur antreibenden globalen NCEP/NCAR-Reanalyse. Sie fanden, dass sich die bodennahen marinen Windgeschwindigkeiten insbesondere in Küstengebieten und entlang von Küstenlinien mit komplexen Geländeformen in coastDat-1 verbessert hatten.

Aufgrund des jüngeren Erstellungsdatums der coastDat-2 Daten sind publizierte Ergebnisse zu deren Validierung und Mehrwert bisher weniger umfangreich. Eine Validierung der atmosphärischen Rekonstruktion wird in GEYER (2014) beschrieben. Der Schwerpunkt liegt dabei auf oberflächennahen Temperaturen und Niederschlägen. Ein Vergleich in Bezug auf die Geschwindigkeit oberflächennaher Winde in coastDat-2 mit den Beobachtungsdaten zweier Bojen (GEYER 2014) bestätigte die gute Offshore-Qualität der coastDat-2-Windfelder und die Erkenntnisse von WINTERFELDT et al. (2011) zum Mehrwert von coastDat.

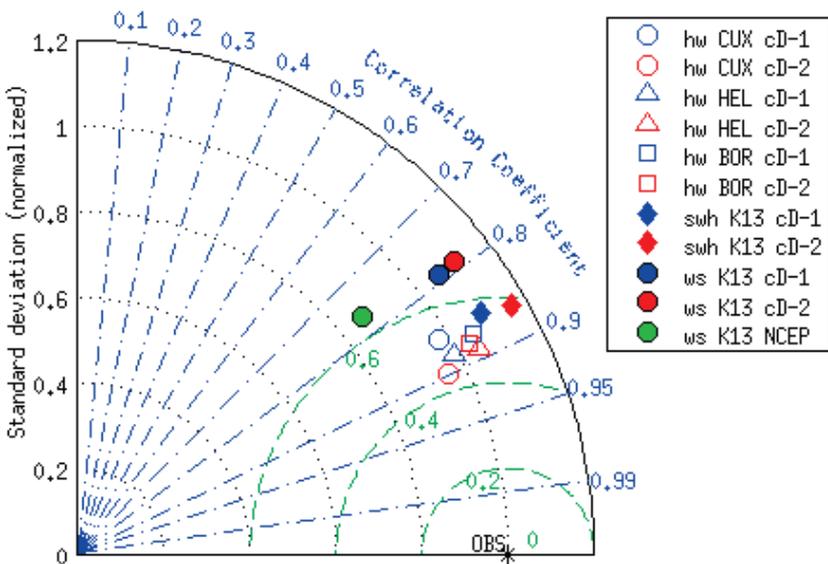


Abbildung 1: Taylor-Diagramm zum Vergleich der Ergebnisse aus coastDat-1 (blau) und coastDat-2 (rot) mit Beobachtungen. Ausgewertet wurden im Zeitraum von 2000 bis 2002 die Messgrößen Windgeschwindigkeit (gefüllte Kreise) und signifikante Wellenhöhe (gefüllte Rauten) an der Plattform K13 sowie Tidehochwasserstände in Cuxhaven (leere Kreise), Helgoland (leere Dreiecke) und Borkum (leere Quadrate). Für die Messgröße Windgeschwindigkeit ist zusätzlich ein Vergleich mit der antreibenden globalen NCEP-Reanalyse dargestellt (grün). Der schwarze Stern kennzeichnet die Position eines Datensatzes, der mit den Beobachtungen perfekt übereinstimmen würde.

Abb. 1 zeigt einige zusätzliche Validierungen für Windgeschwindigkeit, signifikante Wellenhöhe und Tidehochwasserstände aus coastDat-2. In einem sogenannten Taylor-

Diagramm werden Statistiken wie Korrelation (blaue Linien) und mittlerer quadratischer Fehler (engl. root-mean-squared error, grüne Linien) zwischen beobachteten und modellierten Daten sowie die Standardabweichung innerhalb des jeweiligen Datensatzes (schwarze Linien) verglichen. Hierbei wurden in der Darstellung die beiden letzten statistischen Kennzahlen mit der Standardabweichung der entsprechenden Beobachtungsdatensätze normalisiert. Für beide Datensätze coastDat-1 und coastDat-2 liegen die Korrelation mit den beobachteten Daten zwischen etwa 0.8 für die Windgeschwindigkeiten und etwa 0.9 für die hohen Wasserstände. Der normierte mittlere quadratische Fehler variiert zwischen 0.4 für die Wasserstände und 0.6 für die Wellenhöhen. Für die Windgeschwindigkeiten werden Werte über 0.6 gefunden. Für die hohen Wasserstände liegt die Variabilität der rekonstruierten Werte gemessen mit Hilfe der Standardabweichung nahe bei den Beobachtungswerten. Für Windgeschwindigkeiten und Wellenhöhen ist tendenziell eine Überschätzung zu erkennen, wobei diese in coastDat-2 meist etwas höher ausfällt. Generell liegen beide coastDat Versionen im Diagramm dicht beieinander, was auf eine vergleichbare Güte der Rekonstruktionen hindeutet. Der Mehrwert der coastDat Rekonstruktionen wird durch einen Vergleich mit Windgeschwindigkeiten illustriert, die direkt aus der die Rekonstruktionen antreibenden NCEP Reanalyse ermittelt wurden (grüner Punkt in Abb. 1). Letztere zeigen im Vergleich mit Beobachtungen eine deutlich zu geringe Variabilität.

5 Anwendungen

Daten aus coastDat Rekonstruktionen und Szenarien sind seit mittlerweile mehr als 15 Jahren verfügbar und wurden in verschiedenen wissenschaftlichen und praxis-orientierten Anwendungen eingesetzt. Trotz bestehender Unterschiede benötigen alle Anwendungen lange, konsistente und möglichst homogene Zeitreihen.

Ein großer Teil der bisherigen Anwendungen beschäftigt sich mit langfristigen Veränderungen der marinen Umweltbedingungen. So untersuchten beispielsweise WEISSE et al. (2005) die Variabilität und langfristige Entwicklung der Sturmaktivität über dem nordöstlichen Atlantik und Nordeuropa. Andere Studien befassten sich mit Veränderungen in der Häufigkeit polarer Tiefdruckgebiete (ZAHN et al. 2008) oder tropischer Zyklonen (BARCIKOWSKA et al. 2012). Veränderungen und Variabilität im Sturmflut- und Seegangsklima waren Gegenstand der Arbeiten von z. B. WEISSE und PLUESS (2006), GASLIKOVA und WEISSE (2006) oder WEISSE und GÜNTHER (2007). MEYER et al. (2011) verwendeten coastDat zur Untersuchung und Beschreibung langfristiger thermodynamischer Variabilität und Veränderung. Szenarien möglicher zukünftiger Entwicklungen im Sturmflut- und Seegangsklima wurden beispielsweise von WOTH et al. (2006) sowie GRABEMANN und WEISSE (2008) analysiert.

Der coastDat Datensatz wurde darüber hinaus auch umfassend zur Untersuchung methodischer Aspekte des Ansatzes eingesetzt. Die Arbeit von FESER et al. (2011) fasst beispielsweise die Ergebnisse einer Reihe von Studien zusammen, die den Mehrwert des dynamischen Downscalings analysieren. Des Weiteren untersuchten KRUEGER und VON STORCH (2011, 2012) mithilfe von coastDat systematisch den Informationsgehalt von auf Proxydaten basierenden Indikatoren für Sturmaktivität und FESER und VON STORCH (2008) führten am Beispiel von Taifunen in Südostasien eine systematische Bewertung des Mehrwertes des spektralen Nudging-Verfahrens durch.

Andere Studien beschäftigten sich mit verschiedenen Aspekten der Risikobewertung. So koppelten zum Beispiel CHRASTANSKY und CALLIES (2009) ein Lagrangesches Transportmodul und ein Ölchemiemodul an coastDat. Anschließend wurde an verschiedenen Orten eine sehr große Anzahl hypothetischer Öleinleitungen mit jeweils konstanten Zeitabständen (28 Stunden) und konstanten Einleitungsraten initialisiert und im Modell verfolgt. Dadurch konnten für verschiedene Küstenregionen in der Nordsee sowohl mittlere Risikopotenziale als auch deren langfristige Variabilität bestimmt werden. CHRASTANSKY et al. (2009) gelang es, diesen Ansatz für eine bessere Interpretation von relativ kurzen Zeitreihen aus Monitoring-Daten zu nutzen. CHRASTANSKY und CALLIES (2009) fassten die Ergebnisse in Form von probabilistischen Beziehungen zusammen, die räumliche Abhängigkeiten und Sensitivitäten zwischen den in der Studie untersuchten Parametern beschreiben. GASLIKOVA et al. (2011) koppelten Sturmflutdaten aus coastDat mit einem Schadensmodell, um zukünftige Auswirkungen von Sturmfluten auf versicherbare Schäden in der Nordseeeregion zu untersuchen. Unter gleichzeitiger Betrachtung verschiedener Szenarien zum Anstieg des mittleren Meeresspiegels fanden GASLIKOVA et al. (2011) deutliche regionale Unterschiede, wobei sich die in Zukunft zu erwartenden Änderungen in Deutschland und Dänemark als am stärksten erwiesen. Dieses betont die Notwendigkeit, bei der Einschätzung möglicher sozioökonomischer Folgen potentieller Überflutungen sowohl die Effekte des zu erwartenden Meeresspiegelanstiegs als auch Projektionen zu windgetriebenen Änderungen zu berücksichtigen.

Daten aus coastDat waren weiterhin Grundlage für Untersuchungen in Bezug auf Fragestellungen zur Nutzung erneuerbarer Energien. So verwendete beispielsweise WIESE (2008) Daten aus coastDat, um Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen auf das deutsche Stromnetz für ein Szenario zu simulieren, in dem sämtliche im Bereich der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone der Nordsee geplanten Offshore-Windparks voll ausgebaut und funktionsfähig sind. MARX (2010) analysierte die langfristige Variabilität des Wellenenergiepotenzials in der Nordsee, und BÖMER et al. (2012) beschreiben in ihrem Bericht das theoretische Potenzial verschiedener Meeresenergiequellen auf Basis von coastDat.

Daten aus coastDat wurden auch umfassend beim Design, der Planung und der Installation von Offshore-Windfarmen verwendet. So nutzen viele Anwender beispielsweise aus coastDat abgeleitete Statistiken wie Wiederkehrperioden von zum Beispiel extremen Windgeschwindigkeiten, Wasserständen oder Wellenhöhen. Eine optimale Planung der Installation und Wartung der Anlagen erfordert darüber hinaus eine möglichst gute Kenntnis von Häufigkeiten des Auftretens sogenannter Wetterfenster wie beispielsweise der Häufigkeit, dass die Wellenhöhe über einen definierten Zeitraum unterhalb eines festgelegten Schwellenwerts liegt, so dass die Durchführung wetterabhängiger Arbeiten während der Installation bzw. Wartung der Anlagen möglich wird. Zur Abschätzung solcher Häufigkeiten wurden oftmals auch Daten aus coastDat verwendet, da Zeitreihen vorliegender Beobachtungen oft nicht ausreichend waren, um zuverlässige Statistiken ableiten zu können. Weitere Anwendungsbeispiele von coastDat kommen aus Bereichen wie Schiffbau oder Küstenschutz und Anpassung an Veränderungen. Eine ausführliche Beschreibung solcher Beispiele findet man in WEISSE et al. (2009).

6 Zugriff auf coastDat

Die Webseite <http://www.coastdat.de> stellt den zentralen Einstiegspunkt dar. Hier sind alle Datensätze von coastDat-1 und coastDat-2 zentral gelistet und verlinkt. Für die Daten, die häufiger genutzt und abgefragt werden, wurde ein Online-Zugriff eingerichtet, der ebenfalls zentral über die coastDat Webseite erreichbar ist. Physisch sind die Daten im World Data Center for Climate (WDCC) in Hamburg gespeichert. Der Online-Zugriff erfolgt im Allgemeinen über das dortige Datenportal CERA. Den Datensätzen ist jeweils ein eindeutiger DOI (Digital Object Identifier) zur einfacheren Referenzierung und Identifizierung zugeordnet. Abb. 2 veranschaulicht die Nutzung des Online-Datenzugriffs durch externe Nutzer, wobei sich sowohl coastDat-1 als auch coastDat-2 unter den am häufigsten abgefragten Produkten befinden. Dieses betrifft sowohl die Zahl der Zugriffe als auch den Umfang der heruntergeladenen Daten.

Ein Teil der Modelldaten kann zusätzlich über das Webinterface <http://vis.coastdat.de> visualisiert werden. Hier werden zunächst Parameter wie Windgeschwindigkeit, signifikante Wellenhöhe, Strömungen und Wasserstände in stündlicher Auflösung bereitgestellt, so dass eine Visualisierung oder Animation von Extremereignissen wie Stürmen oder Sturmfluten möglich ist. Auch einfache Statistiken wie die monatliche Maximalwerte der Windgeschwindigkeit oder mittlere Jahresgänge sind abrufbar.

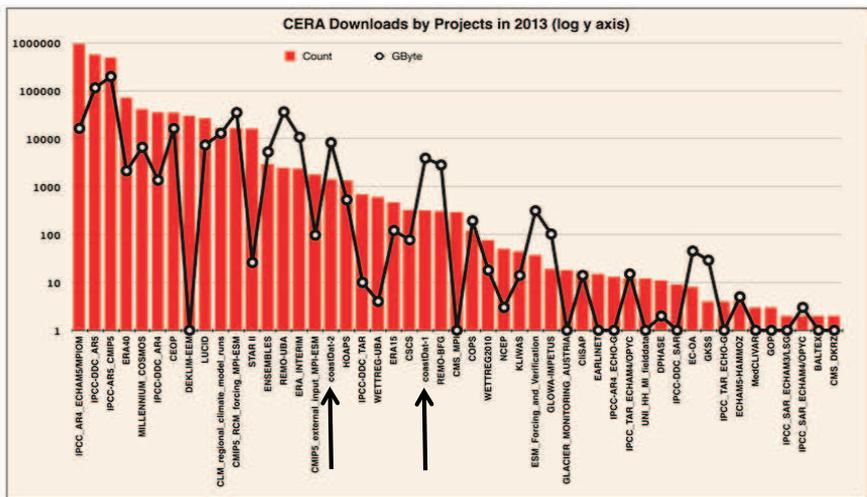


Abbildung 2: Download-Zugriffe im Jahr 2013 auf die wichtigsten Produkte und Datensätze in der CERA-Datenbank des World Data Center for Climate.

7 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurden die der coastDat Datenbank zugrunde liegenden Ideen sowie die Entwicklung und Validierung der Datenbank vorgestellt. Darüber hinaus wurden ausgewählte Anwendungen kurz beschrieben. Daten aus coastDat wurden erfolgreich sowohl zur Untersuchung wissenschaftlicher Fragestellungen als auch von praxisorientierten Aufgaben eingesetzt. In beiden Bereichen werden lange Zeitreihen konsistenter und homogener Datensätze mariner Umweltbedingungen benötigt, um statistische

Aussagen über beispielsweise mittlere Zustände, Extreme oder deren Variabilität ableiten zu können. Oftmals sind solche Daten nicht oder nur eingeschränkt verfügbar. Der hier beschriebene Ansatz bietet eine Möglichkeit, solche Fragestellungen anzugehen.

Die große Zahl und Vielfalt bisheriger Anwender und Anwendungen verdeutlichen den Bedarf und den Nutzen des Ansatzes und der daraus entwickelten Datenbank. Mit Stand von Mitte 2014 verfügt coastDat über etwa 80 externe Nutzer, wovon etwa 45 % aus der Industrie, 40 % aus der Wissenschaft und 15 % aus Behörden stammen. Die Anwendungen sind vielfältig und reichen von Analysen langfristiger Veränderungen, über optimierte Schiffskonstruktionen und Risikobewertungen bis hin zur Planung der Logistik von Offshore-Windfarmen.

Klimadaten und daraus abgeleitete Informationen werden für eine Vielzahl von Zwecken benötigt und die Verbreitung oder Weitergabe solcher Informationen an die Öffentlichkeit oder bestimmte Nutzer wird häufig als Klimadienstleistung (engl. climate service) bezeichnet (http://www.wmo.int/pages/themes/climate/climate_services.php – letzter Zugriff: 23.05.2014). Implizit werden solche Dienstleistungen oftmals mit atmosphärischen Parametern wie Temperatur oder Niederschlag assoziiert, die aus Szenarien möglicher zukünftiger Entwicklungen im Zuge des anthropogenen Klimawandels stammen. Ähnliche Parameter aus dem marinen Bereich wie hohe Wasserstände oder Seegang sowie aktuelle Klimadaten und derzeitige Klimavariabilität erhalten dagegen weniger Beachtung. Basierend auf unseren Erfahrungen mit coastDat und Rückmeldungen von Nutzern kann geschlussfolgert werden, dass Hindcasts vergangener Jahrzehnte sowie abgeleitete Produkte wie Seegangs- oder Wasserstandsklimatologien ebenso von Bedeutung sind. Während Szenarien hauptsächlich in Sektoren mit langen Planungshorizonten (beispielsweise im Küstenschutz oder bei der Umsetzung politischer Maßnahmen) von Interesse sind, werden Hindcasts häufig aus Bereichen angefragt, die mit kürzeren Planungshorizonten oder in Gebieten mit begrenzt verfügbaren Beobachtungsdaten arbeiten (z. B. Offshore-Windanlagen, Schiffbau). Eine stärkere Einbindung und Berücksichtigung kürzerer Zeitskalen sowie gegenwärtiger und natürlicher Klimaschwankungen in bzw. bei der Entwicklung von Klimadienstleistungen kann deshalb zu einer weiteren Verbesserung solcher Dienstleistungen führen.

8 Schriftenverzeichnis

- BALDAUF, M.; SEIFERT, A.; FÖRSTNER, J.; MAJEWSKI, D.; RASCHENDORFER, M. and REINHARDT, T.: Operational Convective-Scale Numerical Weather Prediction with the COSMO Model: Description and Sensitivities. *Mon. Weather Rev.*, 139, 3887-3905, doi:10.1175 / MWR-D-10-05013.1, 2011.
- BARCIKOWSKA, M.; FESER, F. and VON STORCH, H.: Usability of best track data in climate statistics in the western North Pacific *Mon. Weather Rev.*, 140, 2818-2830, doi:10.1175/MWR-D-11-00175.1, 2012.
- BÖMER, J.; BRODERSEN, N.; HUNKE, D.; SCHÜLER, V.; GÜNTHER, H.; WEISSE, R.; FISCHER, J.; SCHÄFFER, M. and GABNER, H.: Ocean Energy in Germany, Final Rep. Project number PPSMDE082434, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, 2012.
- CARDONE, V.; JENSEN, R.; RESIO, T.; SWAIL, V. and COX, A.: Evaluation of Contemporary Ocean Wave Models in Rare Extreme Events: The “Halloween Storm” of

- October 1991 and the “Storm of the Century” of March 1993. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 13, 198-230, 1996.
- CHRASTANSKY, A. and CALLIES, U.: Model-based long-term reconstruction of weather-driven variations in chronic oil pollution along the German North Sea coast. *Marine Pollution Bulletin*, 58, 967-975, doi:10.1016/j.marpolbul.2009.03.009, 2009.
- CHRASTANSKY, A.; CALLIES, U. and FLEET, D.M.: Estimation of the impact of prevailing weather conditions on the occurrence of oil-contaminated dead birds on the German North Sea coast. *Environmental Pollution*, 157, 194-198, doi:10.1016/j.envpol.2008.07.004, 2009.
- CIEŚLIKIEWICZ, W. and PAPIŃSKA-SWERPEL, B.: A 44-year hindcast of wind wave fields over the Baltic Sea. *Coastal Engineering*, 55, 894-905, doi:10.1016/j.coastaleng.2008.02.017, 2008.
- DIETRICH, J. C.; WESTERINK, J. J.; KENNEDY, A. B.; SMITH, J. M.; JENSEN, R. E.; ZIJLEMA, M.; HOLTHUIJSEN, L. H.; DAWSON, C.; LUETTICH Jr., R. A.; POWELL, M. D.; CARDONE, V. J.; COX, A. T.; STONE, G. W.; POURTAHERI, H.; HOPE, M. E.; TANAKA, S.; WESTERINK, L. G.; WESTERINK, H. J. and COBELL, Z.: Hurricane Gustav (2008) waves and storm surge: hindcast, synoptic analysis, and validation in southern Louisiana. *Mon. Weather Rev.*, 139, 2488-2522, doi:10.1175/2011MWR3611.1, 2011.
- FESER, F.; ROCKEL, B.; VON STORCH, H.; WINTERFELDT, J. and ZAHN, M.: Regional Climate Models add Value to Global Model Data: A Review and selected Examples. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 92, 1181-1192, doi:10.1175/2011BAMS3061.1, 2011.
- FESER, F. and VON STORCH, H.: Regional modelling of the western Pacific typhoon season 2004. *Meteorolog. Z.*, 17, 519-528, 2008.
- FESER, F.; WEISSE, R. and VON STORCH, H.: Multi-decadal Atmospheric Modeling for Europe Yields Multi-purpose Data. *EOS, Transactions American Geophysical Union*, 82, 305+310, 2001.
- GASLIKOVA, L.; SCHWERZMANN, A.; RAIBLE, C. and STOCKER, T.: Future storm surge impacts on insurable losses for the North Sea region. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, doi:10.5194/nhess-11-1205-2011, 2011.
- GASLIKOVA, L. and WEISSE, R.: Estimating near-shore wave statistics from regional hindcasts using downscaling techniques. *Ocean Dynamics*, 56, 26-35, 2006.
- GEYER, B.: High-resolution atmospheric reconstruction for Europe 1948–2012: coast-Dat2. *Earth Syst. Sci. Data*, 6, 147-164, 2014.
- GRABEMANN, I. and WEISSE, R.: Climate change impact on extreme wave conditions in the North Sea: an ensemble study. *Ocean Dynamics*, 58, 199-212, 2008.
- GREENSLADE, D.: A Wave Modelling Study of the 1998 Sydney to Hobart Yacht Race. *Aust. Met. Mag.*, 50, 53-63, 2001.
- HERVOUET J. and HAREN L. V.: TELEMAC2D Version 3.0 Principle Note. Rapport EDF HE-4394052B, Electricité de France, Département Laboratoire National d'Hydraulique, Chatou CEDEX, 1996.
- HOPE, M. E.; WESTERINK, J. J.; KENNEDY, A. B.; KERR, P. C.; DIETRICH, J. C.; DAWSON, C.; BENDER, C.; SMITH, J. M.; JENSEN, R. E.; ZIJLEMA, M.; HOLTHUIJSEN, L. H.; LUETTICH Jr., R. A.; POWELL, M. D.; CARDONE, V. J.; COX, A. T.; POURTAHERI, H.; ROBERTS, H. J.; ATKINSON, J. H.; TANAKA, S.; WESTERINK, H. J. and WESTERINK, L. G.: Hindcast and validation of Hurricane

- Ike (2008) waves, forerunner, and storm surge. *J. Geophys. Res.*, 118, 4424-4460, doi:10.1002/jgrc.20314, 2013.
- JACOB, D. and PODZUN, R.: Sensitivity studies with the regional climate model REMO. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 63, 119-129, 1997.
- 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.; ROPELEWSKI, C.; WANG, J.; LEETMAA, A.; REYNOLDS, R.; JENNE, R. and JOSEPH, D.: The NCEP/NCAR Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471, 1996.
- KAPITZA, H.: Mops - a morphodynamical prediction system on cluster computers. In: High performance computing for computational science - VECPAR 2008, Laginha, J. M.; Palma, M.; Amestoy, P.R.; Dayde, M.; Mattoso, M. and Lopez J. (Eds.), 63-68. *Lecture Notes in Computer Science*, Springer Verlag, 2008
- KISTLER, R.; KALNAY, E.; COLLINS, W.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOLLEN, J.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; KANAMITSU, M.; KOUSKY, V.; VAN DEN DOOL, H.; JENNE, R. and FIORIONO, M.: The NCEP/NCAR 50-year Reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 82, 247-267, 2001.
- KRUEGER, O. and VON STORCH, H.: The Informational Value of Pressure-Based Single-Station Proxies for Storm Activity. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 29, 569-580, doi:10.1175/JTECH-D-11-00163.1, 2012.
- KRUEGER, O. and VON STORCH, H.: Evaluation of an Air Pressure-Based Proxy for Storm Activity. *J. Climate*, 24, 2612-2619. doi:10.1175/2011JCLI3913.1, 2011.
- LYARD F.; LEFEVRE F.; LETELLIER T. and FRANCIS, O.: Modelling the global ocean tides: modern insights from FES2004. *Ocean Dynamics*, 56, 394-415, 2006.
- MARX, J.: Langzeitige Variabilität des Wellenenergiepotenzials in der Nordsee, Master Thesis, Univ. Basel, Institut für Physiogeographie und Umweltwandel, Basel, 2010.
- MEYER, E.; POHLMANN, T. and WEISSE, R.: Thermodynamic variability and change in the North Sea (1948-2007) derived from a multidecadal hindcast. *Journal of Marine Systems*, 86, 35-44, 2011.
- MUSIĆ, S. and NICKOVIĆ, S.: 44-year wave hindcast for the Eastern Mediterranean, *Coastal Engineering*, 55, 872-880, doi:10.1016/j.coastaleng.2008.02.024, 2008.
- N. N.: Seasonal Climatology for the North Sea, Allied Naval Engineering Publication, ANEP 14, NATO International Staff, Defence Support Division, 1987.
- ROCKEL, B.; WILL, A. and HENSE, A. 2008: The Regional Climate Model COSMO-CLM (CCLM), *Meteorol. Z.*, 17, 347-348.
- SOARES, C.; WEISSE, R.; CARRETERO, J. and ALVAREZ, E.: A 40 years hindcast of wind, sea level and waves in European Waters. Proc. 21st International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 23-28 June 2002, Norway, Oslo, 2002
- STEPPELER, J.; DOMS, G.; SCHÄTTLER, U.; BITZER, H.; GASSMANN, A.; DAMRATH, U. and GREGORIC, G.: Meso-gamma scale forecasts using the nonhydrostatic model LM. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 82, 75-96, doi:10.1007/s00703-001-0592-9, 2003.
- VON STORCH, H.; LANGENBERG, H. and FESER, F.: A Spectral Nudging Technique for Dynamical Downscaling Purposes. *Mon. Weather Rev.*, 128, 3664-3673, 2000.
- WAMDI-Group: The WAM Model – a Third Generation Ocean Wave Prediction Model. *J. Phys. Oceanogr.*, 18, 1776-1810, 1988.

- WASA-Group: Changing waves and storms in the Northeast Atlantic? *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79, 741-760, 1998.
- WEIDEMANN, H.: *Klimatologie der Ostseewasserstände: Eine Rekonstruktion 1948-2011*. PhD Thesis, Universität Hamburg, 2014.
- WEISSE, R. and GÜNTHER, H.: Wave Hindcasting. In: Soares, C.; Garbatov, Y.; Fonseca, N. and Teixeira, A. (Eds.), *Marine Technology and Engineering*, Taylor & Francis Group, London, 2011, 1, 279-285, 2011.
- WEISSE, R.; VON STORCH, H.; CALLIES, U.; CHRASTANSKY, A.; FESER, F.; GRABEMANN, I.; GÜNTHER, H.; PLUESS, A.; STOYE, T.; TELLKAMP, J.; WINTERFELDT, J. and WOTH, K.: Regional Meteorological-Marine Reanalyses and Climate Change Projections: Results for Northern Europe and Potential for Coastal and Offshore Applications. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 90, 849-860, 2009.
- WEISSE, R. and VON STORCH, H.: *Marine Climate and Climate Change. Storms, Wind Waves and Storm Surges*. Springer Praxis, 219pp, doi: 10.1007/978-3-540-68491-6, 2009.
- WEISSE, R. and PLUESS, A.: Storm-related sea level variations along the North Sea coast as simulated by a high-resolution model 1958-2002. *Ocean Dynamics*, 56, 16-25, 2006.
- WEISSE, R. and GÜNTHER, H.: Wave climate and long-term changes for the Southern North Sea obtained from a high-resolution hindcast 1958-2002. *Ocean Dynamics*, 57, 161-172, 2007.
- WEISSE, R.; VON STORCH, H. and FESER, F.: Northeast Atlantic and North Sea storminess as simulated by a regional climate model during 1958-2001 and comparison with observations *Journal of Climate*, 18, 465-479, 2005.
- WEISSE, R. and FESER, F.: Evaluation of a method to reduce uncertainty in wind hindcasts performed with regional atmosphere models. *Coastal Engineering*, 48, 211-225, 2003.
- WIESE, F.: *Auswirkungen der Offshore-Windenergie auf den Betrieb von Kohlekraftwerken in Brunsbüttel*. Master Thesis, Universität und Fachhochschule Flensburg, Energie- und Umweltmanagement, Flensburg, 2008.
- WINTERFELDT, J.; GEYER, B. and WEISSE, R.: Using QuikSCAT in the added value assessment of dynamically downscaled wind speed. *International Journal of Climatology*, 31, 1028-1039, 2011.
- WINTERFELDT, J.; ANDERSSON, A.; KLEPP, C.; BAKAN, S. and WEISSE, R.: Comparison of HOAPS, QuikSCAT, and Buoy Wind Speed in the Eastern North Atlantic and the North Sea. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48, 338-348, 2010.
- WINTERFELDT, J. and WEISSE, R.: Assessment of Value Added for Surface Marine Wind Speed Obtained from Two Regional Climate Models. *Mon. Weather Rev.*, 137, 2955-2965, 2009.
- WOTH, K.; WEISSE, R. and VON STORCH, H.: Climate change and North Sea storm surge extremes: an ensemble study of storm surge extremes expected in a changed climate projected by four different regional climate models. *Ocean Dynamics*, 56, 3-15, 2006.
- ZAHN, M.; VON STORCH, H. and BAKAN, S.: Climate mode simulation of North Atlantic polar lows in a limited area model *Tellus A*, 60, 620-631, 2008.