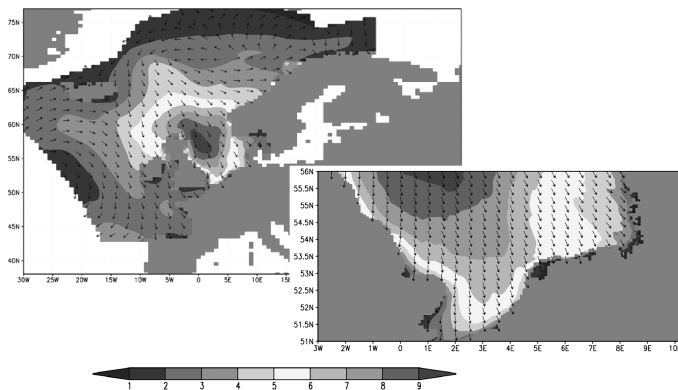


**Wind- und Seegangsklimatologie 1958–2001  
für die südliche Nordsee basierend  
auf Modellrechnungen**



**Autoren:**

***R. Weiße***

***F. Feser***

***H. Günther***



**Wind- und Seegangsklimatologie 1958–2001  
für die südliche Nordsee basierend  
auf Modellrechnungen**

**Autoren:**

***R. Weiße***

***F. Feser***

***H. Günther***

*(Institut für Küstenforschung)*

Die Berichte der GKSS werden kostenlos abgegeben.  
The delivery of the GKSS reports is free of charge.

*Anforderungen/Requests:*

GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH  
Bibliothek/Library  
Postfach 11 60  
D-21494 Geesthacht  
Germany  
Fax.: (49) 04152/871717

Als Manuskript vervielfältigt.  
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor.

ISSN 0344-9629

GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH · Telefon (04152)87-0  
Max-Planck-Straße · D-21502 Geesthacht/Postfach 11 60 · D-21494 Geesthacht

GKSS 2003/10

## Wind- und Seegangsklimatologie 1958–2001 für die südliche Nordsee basierend auf Modellrechnungen

Ralf Weiße, Frauke Feser, Heinz Günther

*38 Seiten mit 16 Abbildungen und 3 Tabellen*

### Zusammenfassung

Im Rahmen des von der Europäischen Union geförderten Projekts HIPOCAS (Hindcast of Dynamic Processes of the Ocean and Coastal Areas of Europe) wurden am Institut für Küstenforschung in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Küste, hochaufgelöste regionale Hindcasts („Nachhersagen“) für den atmosphärischen Zustand, den Seegang sowie den Wasserstand für den Zeitraum 1958–2001 für den Bereich der (südlichen) Nordsee erstellt. Das auf diese Weise erhaltene umfangreiche Datenmaterial wird derzeit analysiert und ausgewertet. Dieser Artikel dient der Vorstellung der Datensätze und soll mögliche Analysen und Anwendungen aufzeigen. Es wird dabei kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben. Vielmehr soll eine Grundlage für Interaktionen mit potentiellen Anwendern geschaffen und die Existenz der Datensätze bekannt gemacht werden. In der vorliegenden Arbeit liegt der Schwerpunkt auf der Analyse der Wind- und Seegangsfelder. Es werden erste Ergebnisse vorgestellt. Dabei werden sowohl Beispiele zur Erstellung einer Klimatologie, als auch Ergebnisse von Extremwertanalysen sowie Trends von Extremwerten betrachtet. Zum Abschluss wird ein Ausblick über weitere geplante Auswertungen und Analysen sowie derzeit geplante weitere Hindcaststudien gegeben.

### A wind and wave climatology for the Southern North Sea based on numerical simulations for the period 1958–2001

#### Abstract

Results from high-resolution wind and wave hindcasts for the Southern North Sea are presented. These hindcasts have been carried out within the European project HIPOCAS (Hindcast of Dynamic Processes of the Ocean and Coastal Areas of Europe) and cover the period from 1958 until 2001. Comparison of hindcast data with observations is presented. Special emphasis is put on assessing how good the statistics of extreme wind and wave events are reproduced by the hindcasts. A wind and wave climatology as well as results of extreme value analyses based on the numerical products are presented.

*Manuskripteingang in TDB: 31. März 2003*



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Kurze Beschreibung der Hindcasts</b>	<b>9</b>
2.1	Atmosphäre . . . . .	9
2.2	Wasserstand . . . . .	9
2.3	Seegang . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Vergleich mit Beobachtungen</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Wind-und Seegangsklimatologie</b>	<b>12</b>
4.1	Korrelationsdiagramme . . . . .	12
4.2	Extremwertverteilungen . . . . .	16
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>Ausblick</b>	<b>18</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>20</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>21</b>
	<b>Abbildungen</b>	<b>23</b>





## 1 Einleitung

Im Rahmen des von der Europäischen Union geförderten Projekts HIPOCAS (Hindcast of Dynamic Processes of the Ocean and Coastal Areas of Europe) wurden am Institut für Küstenforschung (IfK) am GKSS Forschungszentrum Geesthacht in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Küste (BAW-AK) räumlich und zeitlich hochaufgelöste Hindcasts ("Nachhersagen") des atmosphärischen Zustands in der Nordatlantikregion sowie des Seegangs und des Wasserstandes für die Nordsee erstellt. Ziel der Arbeiten war es, über entsprechend lange Zeiträume möglichst flächendeckende und lückenlose Daten bereitzustellen, wie sie zur Erstellung flächendeckender Klimatologien sowie für Extremwertanalysen benötigt werden, aber im marinen Bereich nur selten vorhanden sind.

Bei der Bereitstellung flächendeckender atmosphärischer Daten, die als Antrieb für Strömungs- oder Seegangmodelle verwendet werden können, besteht ein wesentliches Problem in deren oftmals unzureichender oder zumindest schwer einzuschätzender räumlicher und zeitlicher Homogenität (z.B. WASA 1998). So haben sich z.B. im Verlauf der Jahre die Analyse- und Assimilationsmethoden sowie die zur Erstellung von Analysen im meteorologischen Bereich verwendeten Atmosphärenmodelle stark verändert. Weiterhin sind (insbesondere seit Einführung der Satelliten) im Laufe der Zeit immer mehr Daten, insbesondere über ehemals datenarmen Regionen wie den offenen Ozeanen, verfügbar geworden. Solche Änderungen sind Quellen möglicher Inhomogenitäten in den Wetteranalysen und erschweren deren Verwendbarkeit bei der statistischen Auswertung sowie bei der Erstellung langer numerischer Hindcasts im marinen Bereich.

Um zumindest die aufgrund des Wechsels von Analysemethoden, Assimilationsschemata sowie numerischen Modellen in den atmosphärischen Daten möglicherweise vorhandenen Inhomogenitäten zu reduzieren, wurden in jüngster Zeit verschiedene sogenannte Reanalyseprojekte gestartet. Die grundlegende Idee solcher Reanalysen ist die Reprozessierung historischer Analysen mit heutigen (für die Dauer der Reanalyse unveränderten) Modellen, Analyse- und Datenassimilationsmethoden. Von den auf dieser Weise entstehenden globalen atmosphärischen Reanalysen wird angenommen, dass ihre Homogenität gegenüber anderen derzeit verfügbaren Produkten deutlich verbessert ist. Die längste derzeit verfügbare Reanalyse des atmosphärischen Zustands ist die des National Centers for Environmental Prediction (NCEP) (Kalnay et al. 1996). Sie umfasst derzeit den Zeitraum 1958-2001.

Aufgrund begrenzter Rechenkapazitäten haben die derzeit verfügbaren globalen Reanalysen jedoch

nur eine beschränkte räumliche und zeitliche Auflösung. Diese ist für viele Anwendungen im marinen Bereich deutlich zu gering und deshalb ungeeignet. Dieses wird insbesondere im Bereich der Küsten deutlich. So haben die NCEP Reanalysen derzeit lediglich eine horizontale Auflösung von etwa  $210 \times 210$  km. Außerdem wurden die Daten nur im meteorologisch konventionellen Intervall von 6 Stunden gespeichert, was für viele Anwendungen im marinen Bereich ebenfalls zu gering ist (vgl. z.B. Bauer und Weisse 2000).

Um diese Situation zumindest regional zu verbessern, wurden deshalb am IfK atmosphärische Hindcasts mit einem Regionalmodell der Atmosphäre durchgeführt. Dabei wurde das Regionalmodell an den Rändern von den NCEP Reanalysen angetrieben (Feser et al. 2001). Zusätzlich wurde mit Hilfe einer spektralen Nudgingmethode (von Storch et al. 2000) eine Art einfache Datenassimilation durchgeführt. Auf diese Weise erhält man für bestimmte Regionen eine deutlich verbesserte räumliche Auflösung, ohne dass die Vorteile der verbesserten Homogenität der Antriebsdaten dabei verloren gehen. Bei den zurzeit am IfK verfügbaren Hindcasts wurde entsprechend der vorhandenen Rechnerkapazitäten die räumliche Auflösung gegenüber den NCEP Reanalysen dabei um etwa einen Faktor 16 erhöht. Zusätzlich wurden die Daten im Stundenintervall gespeichert, was einer Verbesserung der zeitlichen Auflösung um einen Faktor 6 entspricht. Die Hindcasts decken gegenwärtig eine Region ab, die unter anderem die Nordsee, die Ostsee sowie weite Teile des Nordatlantiks umfasst. Aufgrund der in jüngster Zeit weiter gestiegenen verfügbaren Rechnerkapazitäten sind gegenwärtig weitere atmosphärische Hindcasts mit weiter erhöhter räumlicher Auflösung in Vorbereitung.

Sämtliche derzeit am IfK erstellten und verfügbaren atmosphärischen Hindcasts umfassen den Zeitraum 1958-2001. Die Windfelder wurden stündlich gespeichert und anschließend verwendet, um für den selben Zeitraum Seegangs- und Wasserstandsmodelle für den Bereich der Nordsee anzutreiben. Die Auflösung der Seegangs- und Wasserstandsmodelle lag dabei im Bereich von wenigen Kilometern bis hin zu etwa 100 Metern. Im folgenden Abschnitt werden die atmosphärischen und die marinen Hindcasts kurz beschrieben. Anschließend wird exemplarisch ein Vergleich von simulierten und beobachteten Werten gezeigt. Der wesentliche Teil dieser Arbeit besteht in der Darstellung von Analysen zur Erstellung von Klimatologien sowie aus Beispielen von Extremwertanalysen. Die dargestellten Fälle und ausgewählten Parameter haben dabei lediglich exemplarischen Charakter und sollen eine Vorstellung von den Verwendungsmöglichkeiten der Datensätze geben. Für Anregungen und Kommentare von Anwenderseite sind wir jederzeit offen und dankbar.

## **2 Kurze Beschreibung der Hindcasts**

### **2.1 Atmosphäre**

Die atmosphärischen Hindcasts wurden am IfK mit Hilfe des Regionalmodells REMO (Jacob und Podzun 1997) erstellt. Es handelt sich hierbei um eine Klimaversion des ehemaligen Europamodells des Deutschen Wetterdienstes. Das Modell wurde an den seitlichen Rändern von den in der Einleitung erwähnten NCEP Reanalysen (Kalnay et al. 1996) angetrieben. Zusätzlich verhinderte eine spektrale Nudgingmethode (von Storch et al. 2000), dass sich das Modell unrealistisch vom großskaligen atmosphärischen Zustand entfernen konnte. Kleinskalige Variabilität, wie sie insbesondere in der Nähe von Küsten von Bedeutung ist, wurde dadurch nicht unterdrückt. Diese Methode kann auch als ein sehr einfaches und simples Datenassimilationsverfahren aufgefasst werden (von Storch et al. 2000).

Das Modellgebiet des atmosphärischen Hindcasts kann aus Abbildung 1 entnommen werden. Die räumliche Auflösung des Modells beträgt etwa  $50 \times 50$  km. Der gesamte Modelloutput wurde jede Stunde gespeichert. Die Simulation umfasst zurzeit den Zeitraum 1958-2001. Es ist geplant, diese Simulation regelmäßig fortzuführen, sobald neuere Randwerte von NCEP verfügbar sind. Neben diesem Hindcast existiert derzeit eine weitere, weite Teile des Nordatlantiks umfassende Simulation, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll. Für die nächste Zukunft sind desweiteren Hindcasts mit etwa 18 km Auflösung geplant, die in etwa den Bereich der Nord- und Ostsee abdecken werden.

### **2.2 Wasserstand**

Angetrieben durch die Windfelder des regionalen atmosphärischen Hindcasts wurde ein Hindcast mit einem Strömungsmodell (TELEMAC-2D) erstellt. Dieser Hindcast wurde an der Bundesanstalt für Wasserbau, vertreten durch die Außenstelle Küste, (BAW-AK) durchgeführt und soll deshalb hier nur sehr kurz erwähnt werden. Das Modellgebiet des Strömungsmodells umfasst die gesamte Nordsee (Abbildung 1), wobei die Auflösung am nördlichen Rand des Modellgebiets etwa 5 km, im Bereich der Deutschen Bucht jedoch teilweise weniger als 100 m beträgt. Das Modell löst die vertikal integrierten Bewegungsgleichungen, so dass als Output stündliche Werte des Wasserstands sowie der barotropen Strömungskomponenten gespeichert wurden. Es ist geplant, dass dieser Hindcast ebenfalls den Zeitraum 1958-2001 umfassen soll. Zurzeit sind die Jahre 1958-1999 fertiggestellt.

## 2.3 Seegang

Mit Hilfe des Seegangmodells WAM (WAMDI 1988) wurden am IfK zwei Seegangshindcasts für die Nordsee erstellt. Beide Hindcasts wurden von stündlichen Windfeldern aus den oben beschriebenen atmosphärischen Hindcasts angetrieben. Beim zweiten Seegangshindcast wurde zusätzlich der Einfluss von zeitlich schwankenden Wasserständen auf das Seegangsfeld berücksichtigt. Dazu musste das Seegangmodell WAM so modifiziert werden, dass es zeitlich variable Wasserstände verarbeiten konnte. Die Wasserstände wurden dann von der BAW-AK aus dem dort durchgeführten Wasserstandshindcast in stündlicher Auflösung zur Verfügung gestellt. Aufgrund der derzeit geringfügig unterschiedlichen Perioden, für die die Wind- bzw. Wasserstandsfelder vorliegen, umfasst der erste Seegangshindcast derzeit den Zeitraum von 1958-2001, wogegen der zweite Hindcast 1999 endet. Es ist jedoch geplant, dass beide Seegangshindcasts letztlich ebenfalls den Zeitraum 1958-2001 umfassen sollen.

Für beide Hindcasts wurde das Seegangmodell in einer "genesteten" Version betrieben (Abbildung 1). Das grobe Gitter deckt dabei in etwa die Teile des Nordatlantiks ab, in dem für die Nordsee relevante Seegangenergie erzeugt werden kann. Zusätzlich wurden monatliche Eisbedeckungen berücksichtigt, die uns vom Norwegisch Meteorologischen Institut (DNMI) zur Verfügung gestellt wurden. Die räumliche Auflösung des groben Gitters beträgt etwa  $50 \times 50$  km. Von dieser Simulation werden bei  $56^\circ\text{N}$  Randwerte an das feine Gitter übergeben. Das feine Gitter überdeckt das Gebiet der Nordsee südlich von  $56^\circ\text{N}$  und besitzt eine Auflösung von etwa  $5 \times 5$  km. Auch bei diesen Hindcasts wurde der vollständige Modelloutput stündlich gespeichert, so dass er in Zukunft auch dazu verwendet werden kann, Randwerte für noch höher aufgelöste Simulationen, z.B. im Bereich der nord- und ostfriesischen Inseln oder bei Helgoland, zu liefern.

## 3 Vergleich mit Beobachtungen

In diesem Abschnitt sollen exemplarisch einige Vergleiche der simulierten Wind- und Seegangsfelder mit Beobachtungen gezeigt werden. Diese erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern sollen lediglich einen Eindruck von der in etwa zu erwartenden Güte der Hindcasts geben sowie die Basis für weitere Analysen und Auswertungen liefern.

Abbildung 2 zeigt einen Vergleich von modellierten und beobachteten Zeitreihen der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung sowie von signifikanter Wellenhöhe, Wellenrichtung und TM2-

Periode für den 3-Monatszeitraum von Januar bis März 1993 an der Station K13-Alpha (53.22°N, 3.22°E). Prinzipiell ist eine gute Übereinstimmung zwischen Hindcast und Beobachtungen zu erkennen. So ist z.B. das Sturmereignis am 21. Februar, das zu Wellenhöhen von mehr als 6 m führte, recht gut modelliert. Sowohl im Hindcast als auch in der Realität kamen der Wind und der Seegang in etwa aus nördlichen Richtungen, wobei die Periode des Seegangsfeldes bei etwa 8 bis 9 s lag. Wertet man zusätzlich das Datenmaterial des gesamten Wind- und Seegangshindcasts bei K13-Alpha aus, so stellt man fest, dass es sich bei diesem Sturm um ein eher moderates Ereignis handelte (vgl. Abbildung 6-13). Neben Perioden mit relativ guter Übereinstimmung zwischen Beobachtungen und Hindcasts, sind in Abbildung 2 allerdings auch Zeiträume mit größeren Abweichungen zu erkennen. So sind z.B. die simulierten Wellenhöhen um den 1. März zu niedrig, was in diesem speziellen Fall auf die zu geringen Windgeschwindigkeiten im atmosphärischen Hindcast zurückzuführen ist.

Abbildung 3 zeigt, ebenfalls für K13, ein Streudiagramm zwischen beobachteter und modellierter Windgeschwindigkeit sowie zwischen beobachteter und modellierter Wellenhöhe jeweils für den Zeitraum 1985-1997. Weiterhin angegeben sind einige die Güte der Hindcasts beschreibende statistische Maßzahlen, wie die Wurzel aus dem mittleren quadratischen Fehler (root-mean-square error), der Bias (der eine grundsätzliche Verzerrung zwischen Beobachtungen und Hindcasts beschreibt) oder die Korrelation. Tabelle 1 zeigt einen Vergleich dieser Maßzahlen für eine Reihe weiterer Stationen, an denen Beobachtungen vorlagen. Bei K13 und EUR ist prinzipiell eine gute Übereinstimmung zwischen den Hindcasts und den Beobachtungen zu erkennen. Bei SON und HBG treten etwas größere Abweichungen zwischen modellierten und beobachteten Werten auf und die Korrelationen fallen etwas geringer aus.

Die statistischen Verteilungen der Windgeschwindigkeit und der signifikanten Wellenhöhe sind in den Simulationen sehr gut wiedergegeben. Das wird insbesondere an der guten Übereinstimmung von den anhand von Beobachtungen und Modellergebnissen ermittelten Extremwerten bzw. Extremwertverteilungen deutlich. Abbildung 4 zeigt als Beispiel die Anpassung einer generalisierten Extremwertverteilung (GEV) an die beobachteten Werte der Windgeschwindigkeit bei K13. Solche Anpassungen wurden sowohl für die modellierten, als auch für die beobachteten Windgeschwindigkeiten und Wellenhöhen an den verschiedenen Stationen durchgeführt. Tabelle 2 zeigt einen Vergleich der aus diesen Anpassungen geschätzten 2, 5 und 25-jährigen Wiederkehrwerte. Für die Windgeschwindigkeiten liegen die aus den Hindcasts ermittelten Wiederkehrwerte an den Stationen K13 und EUR leicht un-

Station	Position	Windgeschwindigkeit [ $\text{ms}^{-1}$ ]					Signifikante Wellenhöhe [m]				
		$\bar{x}_o$	$\bar{x}_h$	$b$	$r$	$c$	$\bar{x}_o$	$\bar{x}_h$	$b$	$r$	$c$
K13	53.22°N 03.22°E	8.14	8.16	0.04	2.41	0.82	1.45	1.55	0.07	0.48	0.87
EUR	52.00°N 03.28°E	7.90	7.52	-0.37	2.33	0.82	1.26	1.21	-0.05	0.41	0.87
HBG	53.57°N 06.40°E	7.90	7.64	-0.25	3.14	0.66	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
SON	53.60°N 06.17°E	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1.26	1.19	-0.07	0.63	0.70

Tabelle 1: Vergleich zwischen Beobachtungen und Hindcasts an den Stationen K13, Europlattform (EUR), HuiBERTgat (HBG) und Schiermonnikoog (SON) für den Zeitraum 1985-1997. Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte der Beobachtungen ( $\bar{x}_o$ ) und der Hindcasts ( $\bar{x}_h$ ) über den Gesamtzeitraum sowie der Bias ( $b$ ), die Wurzel aus dem mittleren quadratischen Fehler (root-mean-square error,  $r$ ) und die Korrelation ( $c$ ) zwischen Beobachtungen und Hindcast.

terhalb, für die Station HBG leicht oberhalb der aus den Beobachtungen ermittelten Werte. Bei den Wellenhöhen sind die aus den Hindcasts ermittelten Werte generell höher, wobei sich die Tendenz in flacherem Wasser zu verstärken scheint. Dieses ist zurzeit jedoch lediglich eine Hypothese und bedarf noch weiterer Analysen anhand zusätzlicher Stationen, um entscheiden zu können, ob ein solcher Rückschluss zulässig ist. Generell ist jedoch zu bemerken, dass (mit Ausnahme der Wellenhöhen bei SON) an den hier untersuchten Stationen die Unterschiede zwischen aus Beobachtungen und aus den Hindcasts geschätzten Wiederkehrwerten klein im Vergleich zu den statistischen Unsicherheiten sind. Im Rahmen dieser Unsicherheiten sind die aus den Hindcasts ermittelten Werte nicht signifikant von den anhand von Beobachtungen gewonnenen verschieden.

## 4 Wind- und Seegangsklimatologie

### 4.1 Korrelationsdiagramme

Im Zuge der Erstellung einer Wind- und Seegangsklimatologie wurde für eine Vielzahl von Punkten in der südlichen Nordsee Korrelationsdiagramme erstellt. Abbildung 5 zeigt eine Übersicht über diese Punkte. Es wurden sowohl küstennahe als auch küstenferne Punkte betrachtet. Weiterhin wurden Diagramme für alle Punkte erstellt, an denen Beobachtungen vorlagen. Außerdem wurden Statistiken für jene Orte erstellt, an denen Offshore-Windanlagen geplant sind. Im folgenden werden die erstellten Korrelationsdiagramme lediglich für zwei ausgewählte Punkte dargestellt. Der erste ist die bereits mehrfach besprochene Station K13 (53.22°N, 03.22°E). Der zweite Punkt mit den Koordinaten 55.00°N und

	$T$	Windgeschwindigkeit [ $\text{ms}^{-1}$ ]						Signifikante Wellenhöhe [m]					
		Hindcast			Beobachtungen			Hindcast			Beobachtungen		
		$x_r^{90} \leq$	$x_r$	$\leq x_r^{90}$	$x_r^{90} \leq$	$x_r$	$\leq x_r^{90}$	$x_r^{90} \leq$	$x_r$	$\leq x_r^{90}$	$x_r^{90} \leq$	$x_r$	$\leq x_r^{90}$
K13	2	24.4	25.2	26.0	24.1	25.2	26.4	7.1	7.5	7.9	6.4	6.8	7.1
	5	25.9	27.3	28.7	25.8	27.6	29.5	7.8	8.4	9.0	6.9	7.5	8.2
	25	28.4	31.3	34.2	28.1	32.8	37.5	9.0	10.4	11.7	7.5	9.2	10.9
EUR	2	22.5	23.2	23.8	23.2	24.0	24.9	5.9	6.2	6.4	5.5	5.8	6.2
	5	23.8	24.8	25.9	24.3	25.9	27.6	6.3	6.8	7.3	5.9	6.5	7.0
	25	25.7	28.0	30.3	26.4	29.8	33.1	6.9	8.2	9.5	6.0	7.9	9.8
HBG	2	23.3	24.2	25.0	23.1	24.0	25.0	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
	5	24.9	26.3	27.8	24.2	26.0	27.7	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
	25	26.7	30.7	34.7	26.4	29.8	33.1	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
SON	2	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	6.8	7.1	7.3	5.6	5.8	6.1
	5	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	7.4	7.8	8.2	6.0	6.5	7.0
	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	8.0	9.0	10.0	6.3	7.9	9.4

Tabelle 2: Vergleich zwischen aus Beobachtungen und aus den Hindcasts ermittelten 2, 5 und 25-jährigen Wiederkehrwerten ( $x_r$ ) für die Windgeschwindigkeit und die signifikante Wellenhöhe an den Stationen K13, Europlattform (EUR), Huibertgat (HBG) und Schiermonnikoog (SON) für den Zeitraum 1980-1997. Angegeben ist weiterhin das 90% Konfidenzintervall  $x_r^{90}$ , das mit Hilfe von jeweils 1000 Monte Carlo Simulationen ermittelt wurde.

7.00°E befindet sich in der Nähe des geplanten Offshore Windparks Butendiek (7° 44' E - 7° 48' E und 54° 57' N - 55° 03' N) westlich von Sylt. Dieser Punkt wird im folgenden mit WP1 bezeichnet.

### Beschreibung der erstellten Diagramme

Für jeden Auswertepunkt (Abbildung 5) wurden je 7 Korrelationsdiagramme erstellt (Tabelle 3). Die Diagramme wurden sowohl für den Gesamtzeitraum, als auch nach Jahreszeiten aufgeschlüsselt erstellt. Aus Gründen des Umfangs sind in dieser Arbeit allerdings nur die Diagramme für den Gesamtzeitraum dargestellt.

Alle Diagramme wurden nach einem einheitlichen Muster erstellt: Die x-Achse und die y-Achse sind jeweils mit der entsprechenden Variablen beschriftet. An den Achsen sind weiterhin die  $x_{i=1\dots n}$  und  $y_{j=1\dots m}$  angegeben, die zur Unterteilung der Klassen verwendet wurden. Im Inneren des Diagramms gibt der Wert  $(x_i, y_j)$  die Anzahl der Ereignisse an, bei der der x-Parameter die Bedingung

Nr.	x-Achse	y-Achse
1	Peakperiode	signifikante Wellenhöhe
2	TM2 Periode	signifikante Wellenhöhe
3	Windgeschwindigkeit	signifikante Wellenhöhe
4	Seegangsrichtung	signifikante Wellenhöhe
5	Windrichtung	Windgeschwindigkeit
6	Dauer	signifikante Wellenhöhe
7	Dauer	Windgeschwindigkeit

Tabelle 3: Übersicht über die erstellten Korrelationsdiagramme. Die Diagramme wurden sowohl über den Gesamtzeitraum, als auch aufgeschlüsselt nach Jahreszeiten erstellt. Hierbei entspricht der Winter dem Zeitraum von Dezember bis Februar, der Frühling dem von März bis Mai, der Sommer dem von Juni bis August und der Herbst dem Zeitraum von September bis November.

$x_{i-1} < x \leq x_i$  und der y-Parameter gleichzeitig die Bedingung  $y_{j-1} < y \leq y_j$  erfüllt. In den mit *SUM* gekennzeichneten Spalten sind die jeweiligen Summenhäufigkeiten angegeben. In der rechten oberen Ecke weist ein Namenskürzel (hier K13 bzw. WP1) auf den analysierten Punkt hin. Weiterhin ist angegeben, ob die Analyse das gesamte Jahr oder nur für einzelne Jahreszeiten durchgeführt wurde. Der Gesamtzeitraum, für den die Analyse durchgeführt wurde, ist in der linken unteren und der rechten unteren Ecke angegeben. Die genaue Position des Punktes findet man in der rechten oberen Ecke.

### Signifikante Wellenhöhe gegen Peakperiode

Abbildung 6 zeigt die gemeinsame Verteilung von signifikanter Wellenhöhe und Peakperiode an den beiden betrachteten Stationen K13 und WP1. Bei K13 gab es 42 Fälle, in denen die Wellenhöhe 8.00 m überschritt und gleichzeitig die Peakperiode grösser als 12 s war. Bei WP1 war das immerhin in 366 Fällen der Fall. An beiden Punkten liegt die Mehrzahl der Peakperioden im Bereich von etwa 4.8 - 7.8 s.

### Signifikante Wellenhöhe gegen TM2 Periode

Abbildung 7 zeigt die gemeinsame Verteilung von signifikanter Wellenhöhe und TM2 Periode an den beiden Stationen. Sowohl bei WP1 als auch bei K13 lassen sich zwei Äste in der Verteilung ausmachen. Der erste Ast ist durch einen Anstieg der Periode mit zunehmender Wellenhöhe gekennzeichnet, was typisch für noch unter Windeinfluss stehendem Seegang ist. Der zweite, untere Ast zeigt, dass auch



niedrige Wellenhöhen bei längeren Perioden auftreten können, was typisch für Dünungseignisse ist. Letztere sind bei K13 etwas deutlicher ausgeprägt. Basierend auf dieser Darstellung kann z.B. das in Abschnitt 3 beschriebene Ereignis am 21. Februar 1993, bei dem an der Station K13 Wellenhöhen von etwa 6-7 m und Perioden von etwa 8-9 s beobachtet wurden, noch als moderat eingestuft werden.

### **Signifikante Wellenhöhe gegen Windgeschwindigkeit**

Diese Darstellung (Abbildung 8) zeigt den Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und Wellenhöhe. Zu erkennen ist erwartungsgemäß eine Zunahme der Wellenhöhe mit steigenden Windgeschwindigkeiten. An beiden Punkten treten die höchsten Wellen gleichzeitig mit hohen Windgeschwindigkeiten auf. Seegang von mehr als 8.00 m trat an beiden Stationen erst bei Windgeschwindigkeiten von mehr als  $17.0 \text{ ms}^{-1}$  auf, was in etwa etwa Beaufort 8 ( $17.2 \text{ ms}^{-1}$ ) entspricht.

### **Signifikante Wellenhöhe gegen Seegangsrichtung**

Abbildung 9 zeigt die gemeinsame Verteilung von Seegangsrichtung und signifikanter Wellenhöhe bei K13 und WP1. Alle Richtungen sind als "coming from" angegeben, d.h. ein Seegangsfeld mit Richtung  $360^\circ$  bewegt sich von Norden nach Süden. Bei WP1 liegt die Hauptanlaufrichtung für schweren Seegang etwa zwischen  $240$  und  $330$  Grad (WSW-NNW). Bemerkenswert ist ferner, dass Seegang mit einer kennzeichnenden Wellenhöhe von mehr als 6 m praktisch nur aus einem eng begrenzten Sektor von etwa  $210$ - $330^\circ$  zu erwarten ist. Bei K13 ist die Hauptanlaufrichtung für schweren Seegang etwas breiter gestreut. Hier findet sich ein Maximum in etwa bei Richtungen um Nord. Es ist ferner zu erkennen, dass aus Richtungen um etwa  $150$  Grad kaum besonders hoher Seegang zu erwarten ist, was in der Kürze des Fetches in diese Richtung begründet liegt.

### **Windgeschwindigkeit gegen Windrichtung**

Abbildung 10 zeigt die gemeinsame Verteilung von Windgeschwindigkeit und Windrichtung. Unabhängig von der Windrichtung liegt das Maximum der Anzahl der Ereignisse an beiden Stationen in etwa bei  $8.5 \text{ ms}^{-1}$ . Besonders hohe Windgeschwindigkeiten sind jedoch in der Mehrzahl der Fälle aus westlichen bis nördlichen Richtungen zu erwarten.

### **Signifikante Wellenhöhe gegen Dauer**

Abbildung 11 gibt Auskunft über die Dauer oder die Persistenz von signifikanten Wellenhöhen. Eingezeichnet ist jeweils die Zahl der Zeitabschnitte, in denen die Wellenhöhe konstant innerhalb einer Wellenhöhenklasse lag. An beiden Stationen ist deutlich zu erkennen, dass die Persistenz mit zunehmender Wellenhöhe abnimmt. So gibt es z.B. bei K13 kein Ereignis, bei dem Seegang von mehr als 8 m kennzeichnender Wellenhöhe länger als 9 Stunden angehalten hat. Bei WP1 ist die Situation anders. Hier gab es z.B. einen Fall, in dem eine signifikante Wellenhöhe von mehr als 8 m etwa 30 Stunden angehalten hat. Dieses Ereignis war der Sturm, der mit der Sturmflut am 16./17. Februar 1962 verbunden war. Abbildung 12 zeigt dieses Ereignis, wie es vom Wind- und Seegangshindcast bei WP1 simuliert wurde. Deutlich zu erkennen sind die für ein Ereignis dieser Stärke relativ moderaten Windgeschwindigkeiten (etwa Beaufort 9), die sehr gut mit den seinerzeit über der Deutschen Bucht gemessenen übereinstimmen (vgl. Koopmann 1962). Obwohl am 12./13. Februar 1962 über der Deutschen Bucht ähnliche Windverhältnisse herrschten, war der Seegang am 16./17. Februar deutlich höher, langanhaltender und langperiodischer. Dieses lässt sich auf die während dieses Ereignisses deutlich stärkeren Windgeschwindigkeiten über der nördlichen Nordsee zurückführen (Koopmann 1962). Von solchen Einzelereignissen abgesehen, scheinen jedoch auch bei WP1 Ereignisse mit einer kennzeichnenden Wellenhöhe von mehr als 8 m selten länger als etwa 12-15 Stunden anzuhalten.

### **Windgeschwindigkeit gegen Dauer**

Abbildung 13 gibt Auskunft über die Dauer oder die Persistenz der Windgeschwindigkeit an den beiden Stationen. Eingezeichnet ist jeweils die Zahl der Zeitabschnitte, in denen die Windgeschwindigkeit konstant innerhalb einer Windgeschwindigkeitsklasse lag. An beiden Stationen haben Windgeschwindigkeiten um etwa  $8.5 \text{ ms}^{-1}$  die größte Persistenz. Sowohl für Schwach- als auch für Starkwindlagen nimmt die Persistenz deutlich ab. Bei K13 gab es vier, bei WP1 zwei Ereignisse mit Windgeschwindigkeiten von mehr als  $27.5 \text{ ms}^{-1}$ . Diese Ereignisse dauerten generell weniger als 3 Stunden an.

## **4.2 Extremwertverteilungen**

Im Folgenden wird anhand einiger Beispiele kurz auf die Ergebnisse der Extremwertanalysen eingegangen. Abbildung 14 zeigt die 2, 5, 10, 25, 50 und 100-jährigen Wiederkehrwerte für die Windgeschwindigkeit, wie sie aus dem atmosphärischen Hindcast 1958-2001 ermittelt werden. Deutlich sind

z.B. Gebiete hoher Wiederkehrwerte über dem offenen Ozean zu erkennen. Für die südlichen Nordsee liegen die 100-jährigen Wiederkehrwerte im Bereich von etwa  $30 \text{ ms}^{-1}$ .

Eine analoge Darstellung für den Seegang findet man in Abbildung 15. Hier ist ein deutliches Nord-Süd Gefälle der Extremwerte zu erkennen. Im Bereich der Deutschen Bucht muss demnach im Mittel einmal alle 100 Jahre mit kennzeichnenden Wellenhöhen im Bereich von 10-14 m gerechnet werden. Allen Extremwertanalysen liegt eine generalisierte Extremwertverteilung (GEV) zugrunde. Diese wurde an die Extremereignisse angepasst, die mindestens 24 Stunden auseinander lagen und zusätzlich einen vorgegebenen Schwellenwert überschritten.

Basierend auf stündlichen Werten wurden ferner jährliche Percentile der Verteilungen bestimmt und auf das Vorhandensein von Trends geprüft. Ein Beispiel einer solchen Analyse ist in Abbildung 16 dargestellt. Danach hat im Bereich der Deutschen Bucht das 99% Perzentil der signifikanten Wellenhöhe um etwa 70 cm innerhalb der letzten 40 Jahre zugenommen. Das Maximum dieses Anstiegs liegt unter anderem im Bereich von WP1. Hier ist dieser Trend nach dem Mann-Kendall Test mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% als signifikant von Null verschieden anzusehen. Inwieweit sich dieser Trend in Zukunft fortsetzen wird oder ob er Bestandteil langperiodischer natürlicher Klimavariabilität ist, kann mit dem vorhandenen Datenmaterial nicht untersucht werden. Solche Aussagen können letztlich nur mit Hilfe von statistischem Downscaling (z.B. Zorita et al. 1999) untersucht werden, da Antriebsdaten für Seegangmodelle für Zeiträume vor ca. 1950 nicht oder nicht in ausreichender Qualität zur Verfügung stehen. Interessanterweise ist der Anstieg der Wellenhöhen im Bereich der Deutschen Bucht mit einem Rückgang vor der englischen Küste verbunden. Letzteres scheint eher auf eine Änderung der vorherrschenden Windrichtung, als auf eine generelle Intensivierung des Sturmklimas zu deuten.

## **5 Zusammenfassung**

Es wurden die Ergebnisse von am IfK durchgeführten zeitlich und räumlich hochaufgelösten Seegangs- und Windhindcasts für den Bereich der Nordsee vorgestellt. Die Hindcasts umfassen gegenwärtig den Zeitraum 1958-2001 (Wind) bzw. 1958-1999/2001 (Seegang) und sollen regelmäßig (in Jahresabständen) fortgesetzt werden. Von allen Hindcasts sind die vollständigen Modelloutputs auf stündlicher Basis verfügbar. Für die Atmosphäre beträgt die horizontale Auflösung etwa  $50 \times 50 \text{ km}$ , für den Seegang etwa  $5 \times 5 \text{ km}$ .

Es wurde exemplarisch gezeigt, dass die Hindcasts die Beobachtungen im Rahmen der Erwartungen wiedergeben können. Anhand von zwei Punkten (K13 sowie ein weiterer in der Nähe des geplanten Offshore Windparks Butendiek) wurde beispielhaft die Analyse vorgestellt, wie sie derzeit am IfK durchgeführt wird. Ebenfalls exemplarisch wurden die Auswertungen hinsichtlich von Extremwerten und deren Trends vorgestellt. Sie sollen die Basis sowie die Diskussionsgrundlage für eine möglichst praxis-orientierte Auswertung liefern. Über Anregungen von Anwenderseite sind wir daher jederzeit offen und dankbar.

## **6 Ausblick**

Gegenwärtig wird im Rahmen des europäischen Projekts HIPOCAS an der Erstellung von Atlanten des Seegangs, des Wasserstands sowie der Windfelder für verschiedene europäische Küstenregionen gearbeitet. Statistiken, wie sie hier vorgestellt wurden, sind Bestandteil dieser Arbeiten. Weitere Statistiken, wie etwa Karten der relativen Häufigkeit des Überschreitens bestimmter Wellenhöhen (z.B. 1.0, 1.5, 2.5 m) wie sie in einigen praktischen Bereichen wie z.B. Schifffahrt relevant sein können, sind in Vorbereitung.

Gegenwärtig werden weitere Hindcasts geplant oder sind bereits in Vorbereitung. So sollen für das Gebiet der Nordsee und der Ostsee Windfelder mit einer räumlichen Auflösung von etwa  $18 \times 18$  km modelliert werden. Anschließend sind weitere entsprechende Seegangsläufe für die Nord- und insbesondere die Ostsee geplant. Obwohl die gegenwärtig zur Verfügung stehenden Windfelder für Anwendungen im Ostseeraum noch recht grob sind, soll ein vorläufiger Seegangshindcast bereits jetzt erstellt werden.

Im Rahmen europäischer Forschung, wie sie gegenwärtig z.B. innerhalb des Projekts PRUDENCE (Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects) durchgeführt wird, werden demnächst Windfelder in ähnlicher Auflösung auch für geänderte Klimabedingungen (Zunahme atmosphärischer Treibhausgase) zur Verfügung stehen. Eine Übertragung der hier vorgeschlagenen Methoden auf diese Szenarienläufe ist möglich.

*Danksagung:* Wir danken Koos Doeks (Rijkswaterstaat, RIKZ/ITB) für die Bereitstellung der Seegangdaten bei K13, Europlatform und Schiermonnikoog. Wir möchten uns weiterhin bei Magnar Reistad vom Norwegisch Meteorologischen Institut (DNMI) für die Bereitstellung von Eisbedeckungsdaten bedanken, die als Randwerte für die Seegangssimulationen benötigt wurden. Beim British Oceanographic Data Centre (BODC) bedanken wir uns für die Bereitstellung der Pegeldata von Aberdeen, die zu Zwecken der Datenassimilation für die Wasserstandsnachhersagen verwendet wurden. Die zur Extremwertanalyse verwendete Software basiert auf einem Kern, der uns von Ente Publico Puertos del Estado (EPPE, Spanien) zur Verfügung gestellt wurde. Auch dafür möchten wir uns recht herzlich bedanken. Die in dieser Studie verwendeten Winddaten bei K13, Europlatform und Huibergat wurden vom Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI, Hydra Projekt) zur Verfügung gestellt. Die Arbeiten wurden von der Europäischen Union im Rahmen des Projekts HIPOCAS (EVK2-CT-1999-00038) gefördert.

## LITERATURVERZEICHNIS

- Bauer, E., and R. Weisse, 2000: Determination of high-frequency wind variability from observations and application to North Atlantic Wave Modeling. *J. Geophys. Res.*, **105**, 26179-26190.
- Feser, F., R. Weisse, and H. von Storch, 2001: Multi-decadal atmospheric modeling for Europe yields multi-purpose data. *Eos Transactions*, **82**, 305,310.
- Gibson, R., P. Kålberg, and S. Uppala, 1996: The ECMWF re-analysis (ERA) project. *ECMWF Newsl.*, **73**, 7-17.
- Jacob, D. and R. Podzun, 1997: Sensitivity studies with the regional climate model REMO. *Meteorol. Atmos. Phys.*, **63**, 119-129.
- Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K.C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, A. Leetmaa, R. Reynolds, R. Jenne, and D. Joseph, 1996: The NCEP/NCAR reanalysis project. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **77**, 437-471.
- Koopmann, G., 1962: Die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 in ozeanographischer Sicht. *Die Küste*, **10**, 55-68.
- von Storch, H., H. Langenberg, and F. Feser, 2000: A spectral nudging technique for dynamical downscaling purposes. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 3664-3673.
- WAMDI-Group, 1988: The WAM model - a third Generation ocean wave prediction model. *J. Phy. Oceanogr.*, **18**, 1776-1810.
- WASA-Group, 1998: Changing waves and storms in the Northeast Atlantic? *Bull. Am. Met. Soc.*, **79**, 741-760.
- Zorita, E. and H. von Storch, 1999: The analog method as a simple statistical downscaling technique: comparison with more complicated methods. *J. Climate*, **12**, 2474-2489.

## Abbildungsverzeichnis

1	Die für die Hindcasts 1958-2001 verwendeten Modellgebiete und der Informationsfluss zwischen den Modellen. Dargestellt ist jeweils der Zustand um 12 UTC am 21. Februar 1993. Oben: Windrichtung und Windgeschwindigkeit; Rechts: Wasserstand und barotrope Strömung; Links: Signifikante Wellenhöhe und Wellenrichtung. Die atmosphärische sowie die Seegangsrekonstruktionen wurden am IfK, die des Wasserstandes und der Strömungen an der BAW-AK erstellt. . . . .	23
2	Zeitreihen von signifikanter Wellenhöhe $SWH$ in m, TM2-Periode $TM2$ in s, mittlerer Wellenrichtung $TH0$ in Grad, Windgeschwindigkeit $FF$ in $ms^{-1}$ und Windrichtung $DD$ in Grad (von oben nach unten) für den Zeitraum vom 01. Januar bis 31. März 1993 an der Station K13. Dargestellt sind jeweils die direkten Messungen (schwarz) sowie die aus den Hindcasts erhaltenen Werte (grün). . . . .	24
3	Streudiagramme zwischen beobachteter und modellierter Windgeschwindigkeit (oben) und signifikanter Wellenhöhe (unten) an der Station K13. Die Farben geben die Häufigkeiten in den einzelnen Klassen an. Angegeben sind ferner folgende statistische Kenngrößen (von oben nach unten): Mittelwert der Beobachtungen (ObsMen), Mittelwert des Hindcasts (HindMen), Bias zwischen Modell und Beobachtungen (Bias), Wurzel aus dem mittleren quadratischen Fehler (Rmse), Standardabweichung des Fehlers (Stdev), Scatterindex (ScatterIndex) definiert als Standardabweichung des Fehlers normiert auf den Mittelwert der Beobachtungen, Korrelation (Cor) sowie Anzahl der verwendeten Fälle (NObs). . . . .	25
4	Extremwertanalyse der beobachteten Windgeschwindigkeiten bei K13 für den Zeitraum 1985-2000. Dargestellt sind alle Ereignisse mit einer Windgeschwindigkeit von $\geq 17.2 ms^{-1}$ , die mindestens 24 Stunden auseinander liegen (graue Punkte) sowie die an die Daten angepasste Generalisierte Extremwertverteilung (Gerade). Dargestellt ist ferner das 90% Kondfidenzintervall, das anhand von jeweils 1000 Monte Carlo Simulationen bei den Wiederkehrperioden 2, 5, 10 und 25 Jahre geschätzt wurde. . . . .	26
5	Topographie des Seegangsmodells im feinen Gitter in m. Dargestellt sind ferner all jene Punkte, für die Korrelationsdiagramme wie im Text beschrieben erstellt wurden (schwarze und magenta farbene Punkte). An den mit Kreuzen markierten Punkten liegen zusätzlich Beobachtungen vor. . . . .	27
6	Gemeinsame Verteilung von Peakperiode und signifikanter Wellenhöhe an den Punkten K13 (oben) und WP1 (unten). Die genauen Positionen sind jeweils in den rechten oberen Ecken der Tabellen dargestellt. .	28
7	Gemeinsame Verteilung von TM2 Periode und signifikanter Wellenhöhe an den Punkten K13 (oben) und WP1 (unten). Die genauen Positionen sind jeweils in den rechten oberen Ecken der Tabellen dargestellt. .	29

8	Gemeinsame Verteilung von Windgeschwindigkeit und signifikanter Wellenhöhe an den Punkten K13 (oben) und WP1 (unten). Die genauen Positionen sind jeweils in den rechten oberen Ecken der Tabellen dargestellt. . . . .	30
9	Gemeinsame Verteilung von mittlerer Wellenrichtung und signifikanter Wellenhöhe an den Punkten K13 (oben) und WP1 (unten). Die genauen Positionen sind jeweils in den rechten oberen Ecken der Tabellen dargestellt. . . . .	31
10	Gemeinsame Verteilung von Windrichtung und Windgeschwindigkeit an den Punkten K13 (oben) und WP1 (unten). Die genauen Positionen sind jeweils in den rechten oberen Ecken der Tabellen dargestellt. .	32
11	Gemeinsame Verteilung von signifikanter Wellenhöhe und Andauerverhalten an den Punkten K13 (oben) WP1 (unten). Die genauen Positionen sind jeweils in den rechten oberen Ecken der Tabellen dargestellt. .	33
12	Zeitreihen von signifikanter Wellenhöhe $SWH$ in m, TM2-Periode $TM2$ in s, mittlerer Wellenrichtung $TH0$ in Grad, Windgeschwindigkeit $FF$ in $ms^{-1}$ und Windrichtung $DD$ in Grad (von oben nach unten) für den Zeitraum vom 10.-19. Februar 1962, wie sie in den Hindcasts am Punkt WP1 (55.00°N; 07.00°E) simuliert werden. . . . .	34
13	Gemeinsame Verteilung von Windgeschwindigkeit und Andauerverhalten an den Punkten K13 (oben) und WP1 (unten). Die genauen Positionen sind jeweils in den rechten oberen Ecken der Tabellen dargestellt. .	35
14	Aus dem atmosphärischen Hindcast ermittelte 2, 5, 10, 25, 50 und 100-jährige Wiederkehrwerte der Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe in $ms^{-1}$ . . . . .	36
15	Aus dem Seegangshindcast ermittelte 2, 5, 10, 25, 50 und 100-jährige Wiederkehrwerte der signifikanten Wellenhöhe in m. . . . .	37
16	Trend des jährlichen 99% Percentils der signifikanten Wellenhöhe in cm/Jahr basierend auf den Daten des Seegangshindcasts. Der Mittelwert des 99% Percentils bei WP1 (Kreuz) liegt bei etwa 5.5 m. . . . .	38



# NCEP Globale Reanalysen ( 210 km x 210 km ) 1958 - 2001

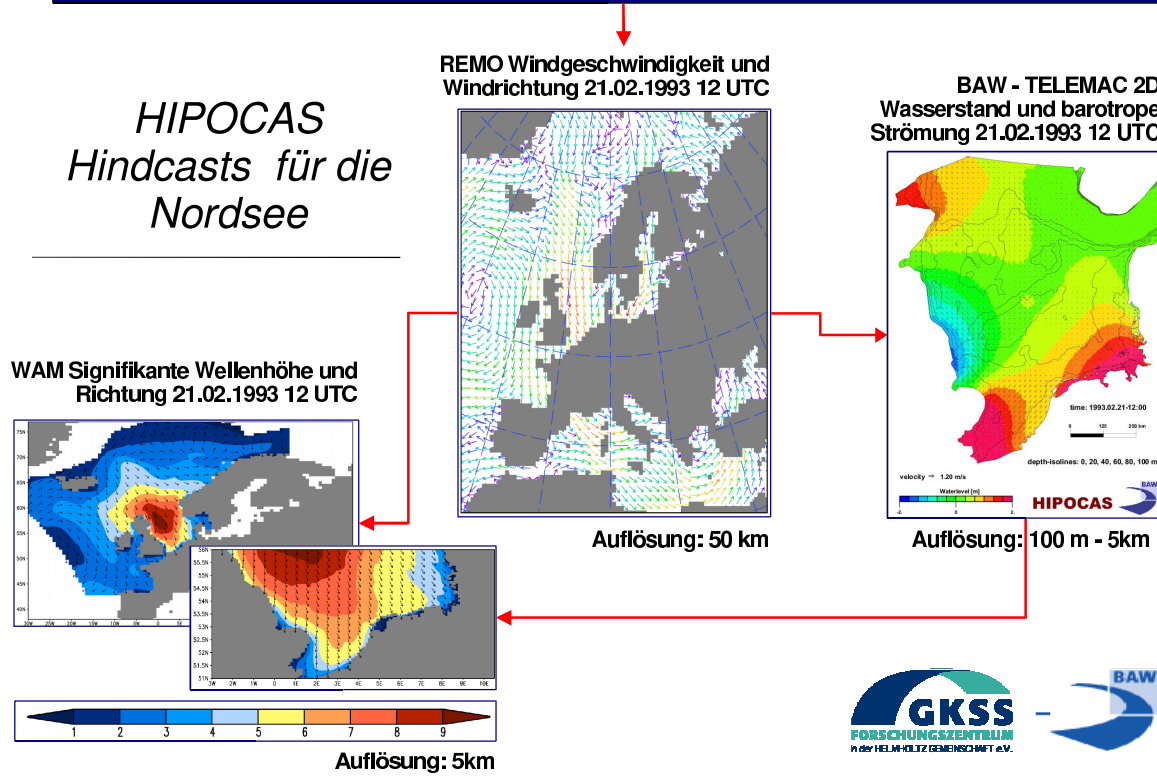


Abbildung 1: Die für die Hindcasts 1958-2001 verwendeten Modellgebiete und der Informationsfluss zwischen den Modellen. Dargestellt ist jeweils der Zustand um 12 UTC am 21. Februar 1993. Oben: Windrichtung und Windgeschwindigkeit; Rechts: Wasserstand und barotrope Strömung; Links: Signifikante Wellenhöhe und Wellenrichtung. Die atmosphärische sowie die Seegangsrekonstruktionen wurden am IfK, die des Wasserstandes und der Strömungen an der BAW-AK erstellt.

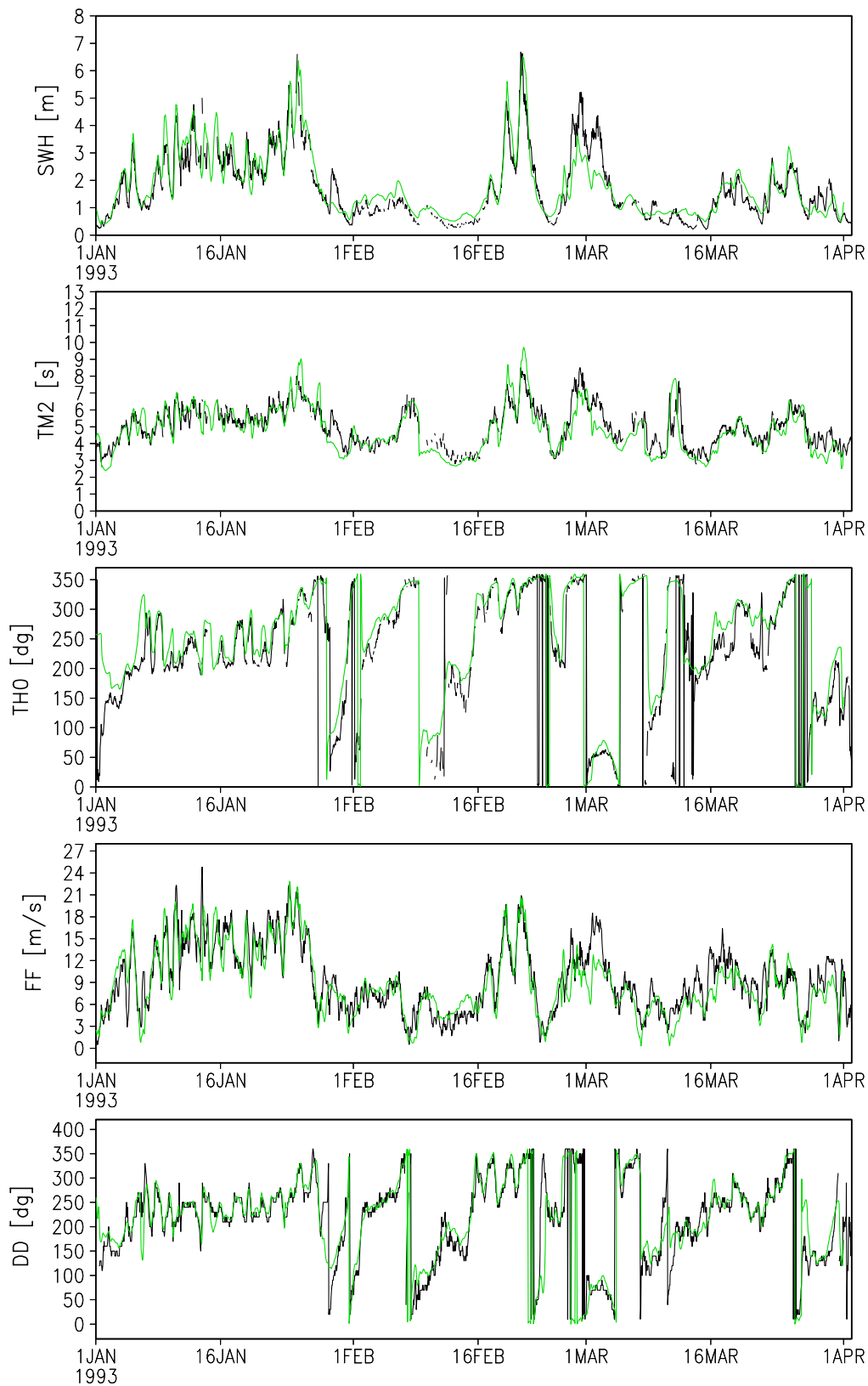


Abbildung 2: Zeitreihen von signifikanter Wellenhöhe  $SWH$  in m,  $TM2$ -Periode  $TM2$  in s, mittlerer Wellenrichtung  $TH0$  in Grad, Windgeschwindigkeit  $FF$  in  $\text{ms}^{-1}$  und Windrichtung  $DD$  in Grad (von oben nach unten) für den Zeitraum vom 01. Januar bis 31. März 1993 an der Station K13. Dargestellt sind jeweils die direkten Messungen (schwarz) sowie die aus den Hindcasts erhaltenen Werte (grün).

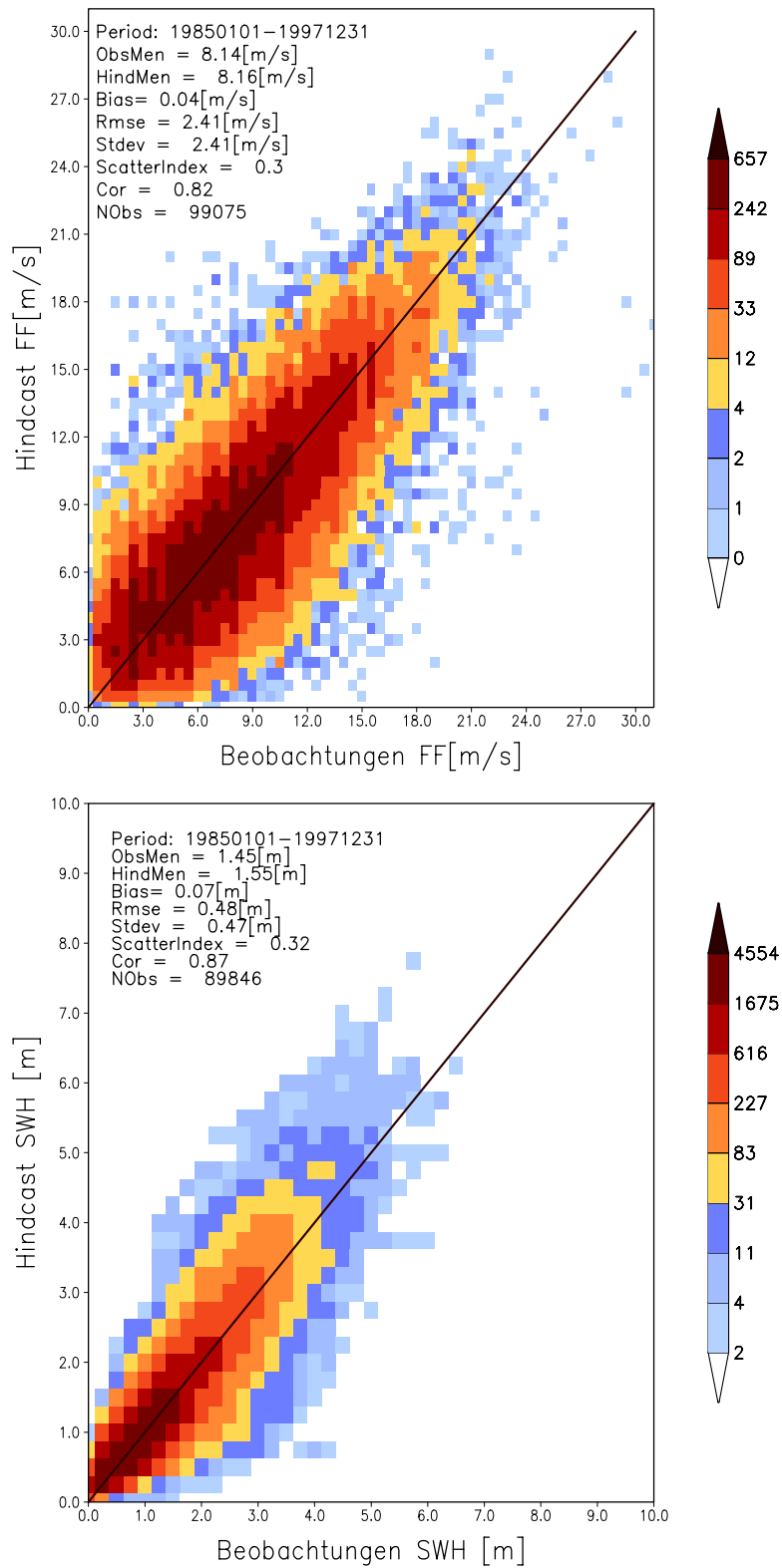


Abbildung 3: Streudiagramme zwischen beobachteter und modellierter Windgeschwindigkeit (oben) und signifikanter Wellenhöhe (unten) an der Station K13. Die Farben geben die Häufigkeiten in den einzelnen Klassen an. Angegeben sind ferner folgende statistische Kenngrößen (von oben nach unten): Mittelwert der Beobachtungen (ObsMen), Mittelwert des Hindcasts (HindMen), Bias zwischen Modell und Beobachtungen (Bias), Wurzel aus dem mittleren quadratischen Fehler (Rmse), Standardabweichung des Fehlers (Stdev), Scatterindex (ScatterIndex) definiert als Standardabweichung des Fehlers normiert auf den Mittelwert der Beobachtungen, Korrelation (Cor) sowie Anzahl der verwendeten Fälle (NObs).

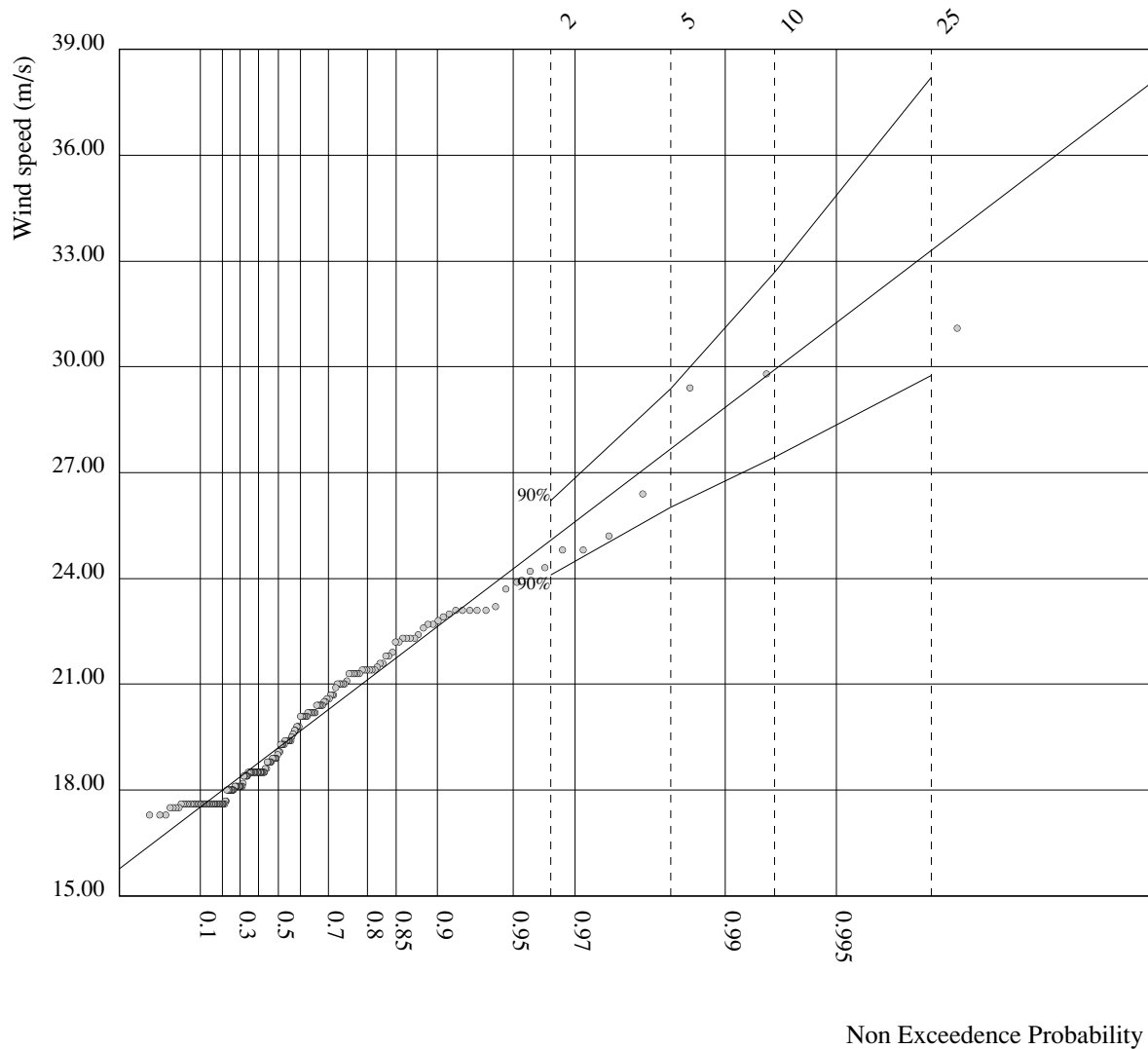


Abbildung 4: Extremwertanalyse der beobachteten Windgeschwindigkeiten bei K13 für den Zeitraum 1985-2000. Dargestellt sind alle Ereignisse mit einer Windgeschwindigkeit von  $\geq 17.2 \text{ ms}^{-1}$ , die mindestens 24 Stunden auseinander liegen (graue Punkte) sowie die an die Daten angepasste Generalisierte Extremwertverteilung (Gerade). Dargestellt ist ferner das 90% Kondfidenzintervall, das anhand von jeweils 1000 Monte Carlo Simulationen bei den Wiederkehrperioden 2, 5, 10 und 25 Jahre geschätzt wurde.

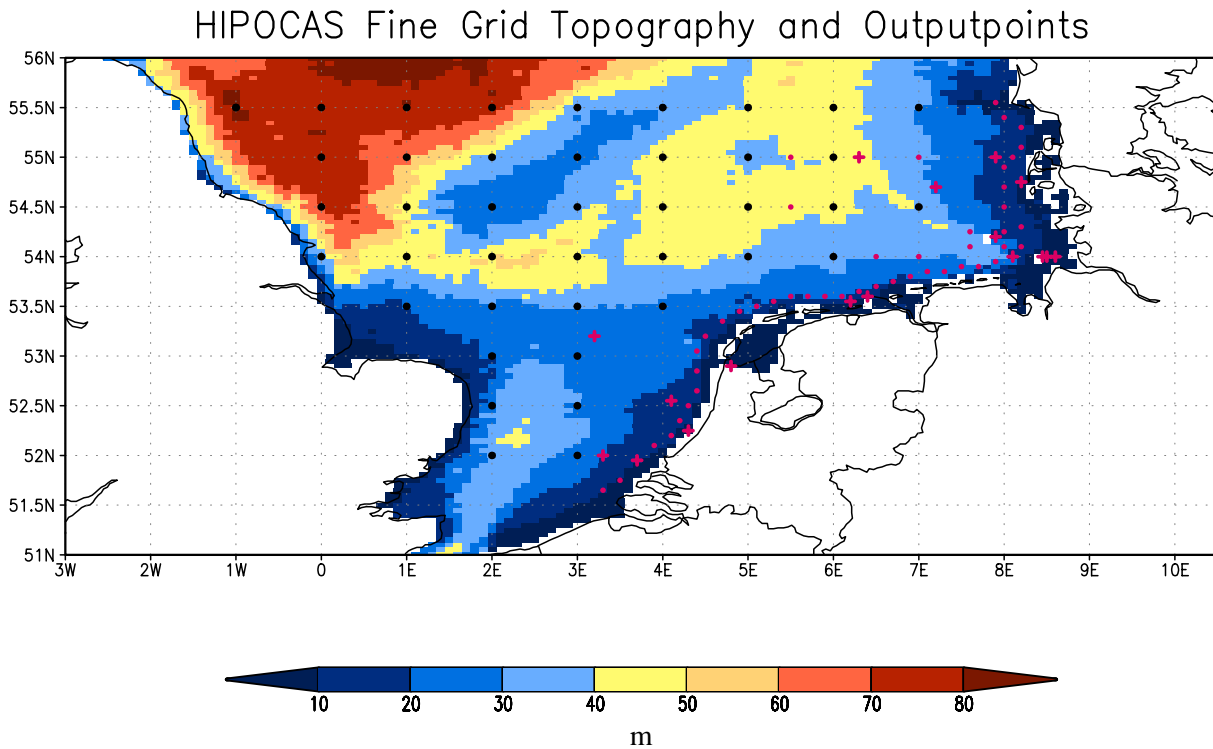


Abbildung 5: Topographie des Seegangsmodells im feinen Gitter in m. Dargestellt sind ferner all jene Punkte, für die Korrelationsdiagramme wie im Text beschrieben erstellt wurden (schwarze und magenta farbene Punkte). An den mit Kreuzen markierten Punkten liegen zusätzlich Beobachtungen vor.

K13 year	Total Peak Period [s]															53.20 N 3.20 E		
	3.00	3.60	4.20	4.80	5.40	6.00	6.60	7.20	7.80	8.40	9.60	10.80	12.00	>	Sum			
>													4	42	46	>		
8.00												5	3	66	74	8.00		
7.50												9	9	108	126	7.50		
7.00											4	20	34	165	223	7.00		
6.50										1	23	81	93	265	463	6.50		
6.00										10	80	150	212	368	820	6.00		
5.50									1	64	353	306	243	405	1372	5.50		
5.00									31	361	631	515	384	431	2353	5.00		
4.50									5	250	1317	1064	712	399	421	4168	4.50	
4.00									2	138	1678	2294	1318	733	365	488	7016	4.00
3.50						1	3	100	1760	4837	2421	1294	676	345	650	12087	3.50	
3.00						5	144	1733	7983	5556	2315	1306	594	402	1148	21186	3.00	
2.50					23	284	2605	11158	10088	4280	2173	1329	907	692	2061	35600	2.50	
2.00				9	1016	5620	15198	13837	6464	4056	2980	1956	1629	2017	3722	58504	2.00	
1.50		106	791	17767	18590	14248	8907	7624	7186	4758	3144	3434	3195	4354	94104	1.50		
1.00	490	9706	13668	30265	10602	9701	9208	7278	4671	2950	3070	2396	1644	3497	109146	1.00		
0.50	1687	4928	3006	4235	1074	898	611	649	553	534	456	410	309	778	20128	0.50		
Sum	2177	14740	17474	53306	36176	42797	45556	41989	33099	22178	16028	12577	10350	18969	367416	Sum		
From: 19580101	3.00	3.60	4.20	4.80	5.40	6.00	6.60	7.20	7.80	8.40	9.60	10.80	12.00	>	Sum	Until: 19991231		

WP1 year	Total Peak Period [s]															55.00 N 7.00 E																			
	3.00	3.60	4.20	4.80	5.40	6.00	6.60	7.20	7.80	8.40	9.60	10.80	12.00	>	Sum																				
>													8	366	374	>																			
8.00													2	20	169	191	8.00																		
7.50													5	52	296	353	7.50																		
7.00													20	187	428	635	7.00																		
6.50										2	10	93	379	556	1040	6.50																			
6.00										5	31	369	627	514	1546	6.00																			
5.50										33	246	1041	712	457	2489	5.50																			
5.00										50	210	1061	1763	651	431	4166	5.00																		
4.50										2	230	690	2769	1846	518	484	6539	4.50																	
4.00										4	157	895	2696	3878	1338	300	576	9844	4.00																
3.50										3	49	1519	2891	5882	3371	767	253	983	15718	3.50															
3.00										9	68	1870	4206	7357	6133	2120	675	457	1612	24507	3.00														
2.50																					15	175	2547	7939	8635	9126	4357	1479	794	874	2946	38887	2.50		
2.00																					7	812	5437	12304	11033	10903	7619	3179	1622	1403	1920	4938	61177	2.00	
1.50																					131	727	17045	14330	11864	11460	9380	5725	3407	3081	3215	2687	5492	88544	1.50
1.00	577	9304	10810	23871	8930	9320	7132	5122	4135	3795	3180	2225	1666	3869	93936	1.00																			
0.50	1610	3726	1764	4356	1000	551	453	659	647	529	501	496	359	819	17470	0.50																			
Sum	2187	13161	13308	46099	29881	36657	39940	40583	38675	30918	23349	16052	11670	24936	367416	Sum																			
From: 19580101	3.00	3.60	4.20	4.80	5.40	6.00	6.60	7.20	7.80	8.40	9.60	10.80	12.00	>	Sum	Until: 19991231																			

Abbildung 6: Gemeinsame Verteilung von Peakperiode und signifikanter Wellenhöhe an den Punkten K13 (oben) und WP1 (unten). Die genauen Positionen sind jeweils in den rechten oberen Ecken der Tabellen dargestellt.

K13 year	TM2 Period [s]																Sum	53.20 N 3.20 E	
	3.00	3.60	4.20	4.80	5.40	6.00	6.60	7.20	7.80	8.40	9.00	9.60	10.20	10.80	11.40	12.00	>	Sum	
>											4	5	2	5	10	13	7	46	>
8.00									3	5	3	17	25	13	8			74	8.00
7.50								1	6	22	27	43	23	3	1			126	7.50
7.00								7	33	43	68	63	6	3				223	7.00
6.50								3	69	87	144	106	48	5	1			463	6.50
6.00								38	190	284	213	78	14	3				820	6.00
5.50							16	316	432	410	175	20	3					1372	5.50
5.00						4	191	906	772	412	62	6						2353	5.00
4.50						57	1499	1678	747	159	28							4168	4.50
4.00					7	1117	3869	1576	396	40	11							7016	4.00
3.50				1	295	7237	3612	778	127	28	9							12087	3.50
3.00				59	8295	10626	1759	317	65	40	16	5	2	2				21186	3.00
2.50			9	7070	23344	3638	889	346	163	91	32	8	8	2				35600	2.50
2.00		3	7198	37611	8800	2448	1242	709	339	117	12	12	13					58504	2.00
1.50		8644	54398	19238	5841	3042	2066	712	144	12	7							94104	1.50
1.00	6861	52082	23315	9532	4902	2004	374	43	16	17								109146	1.00
0.50	9952	6535	2978	609	45	9												20128	0.50
Sum	26813	67264	87898	74120	51529	30182	15517	7422	3468	1739	783	338	213	71	30	22	7	367416	Sum
From: 19580101	TM2 Period [s]																Sum	Until: 19991231	

WP1 year	TM2 Period [s]																Sum	55.00 N 7.00 E	
	3.00	3.60	4.20	4.80	5.40	6.00	6.60	7.20	7.80	8.40	9.00	9.60	10.20	10.80	11.40	12.00	>	Sum	
>											3	20	77	114	87	49	24	374	>
8.00								1	2	19	38	80	39	11	1			191	8.00
7.50									9	48	145	110	40	1				353	7.50
7.00								2	35	217	252	112	17					635	7.00
6.50								5	31	196	508	247	48	2	2	1		1040	6.50
6.00							1	20	203	693	505	107	14	1		1	1	1546	6.00
5.50								16	182	910	1063	278	35	3	1		1	2489	5.50
5.00						1	240	920	2143	724	120	14	3	1				4166	5.00
4.50						58	912	3464	1708	336	45	11	4	1				6539	4.50
4.00					2	988	4407	3498	801	124	18	5	1					9844	4.00
3.50					419	5921	7192	1642	428	70	32	10	4					15718	3.50
3.00				33	6821	12874	3528	767	269	108	68	25	11	3				24507	3.00
2.50			9	7017	22375	6681	1547	676	325	152	86	17	2					38887	2.50
2.00		1	7270	35400	11985	3553	1455	962	404	116	31							61177	2.00
1.50		8736	48355	19980	5865	2959	1791	641	139	49	4	2	6	8	1	3		588544	1.50
1.00	4793	44375	20549	8072	4139	1591	354	46	8	9								93936	1.00
0.50	8155	5732	2899	510	125	33	16											17470	0.50
Sum	22948	58844	79082	71012	51731	34659	21459	12823	7372	3686	1982	928	475	227	102	56	30	67416	Sum
From: 19580101	TM2 Period [s]																Sum	Until: 19991231	

Abbildung 7: Gemeinsame Verteilung von TM2 Periode und signifikanter Wellenhöhe an den Punkten K13 (oben) und WP1 (unten). Die genauen Positionen sind jeweils in den rechten oberen Ecken der Tabellen dargestellt.

K13 year	Wind Speed [m/s]											Sum	53.20 N 3.20 E
	2.00	3.50	5.50	8.50	11.00	14.00	17.00	20.50	24.00	27.50	>		
>								11	19	12	4	46	>
8.00								28	34	9	3	74	8.00
7.50								2	43	55	24	126	7.50
7.00								9	96	96	22	223	7.00
6.50								47	215	186	15	463	6.50
6.00								2	121	442	248	820	6.00
5.50								9	331	725	307	1372	5.50
5.00								85	863	1242	162	2353	5.00
4.50								5	417	1796	1921	4168	4.50
4.00								4	86	1503	3727	7016	4.00
3.50								2	53	533	4157	12087	3.50
3.00								4	27	382	2740	21186	3.00
2.50								23	63	325	2539	35600	2.50
2.00								298	783	2363	13394	58504	2.00
1.50								1535	4270	13269	50118	94104	1.50
1.00								6417	15782	40512	45369	109146	1.00
0.50								4700	8288	6692	448	20128	0.50
Sum	12973	29190	63190	112307	71196	49673	20724	6918	1146	90	9	367416	Sum
From: 19580101	2.00	3.50	5.50	8.50	11.00	14.00	17.00	20.50	24.00	27.50	>	Sum	Until: 19991231

WP1 year	Wind Speed [m/s]											Sum	55.00 N 7.00 E	
	2.00	3.50	5.50	8.50	11.00	14.00	17.00	20.50	24.00	27.50	>			
>								42	247	81	4	374	>	
8.00								2	50	122	17	191	8.00	
7.50								3	181	156	13	353	7.50	
7.00								35	397	202	1	635	7.00	
6.50								1	2	137	712	1040	6.50	
6.00								1	9	353	1068	1546	6.00	
5.50								1	47	1020	1338	2489	5.50	
5.00								1	1	8	306	2445	4166	5.00
4.50								5	57	1278	4195	6539	4.50	
4.00								2	11	281	3763	9844	4.00	
3.50								5	8	13	181	15718	3.50	
3.00								16	36	117	1032	24507	3.00	
2.50								80	199	581	4524	38887	2.50	
2.00								251	928	3194	17621	61177	2.00	
1.50								1530	4004	12878	47078	88544	1.50	
1.00								5248	13708	35932	37923	93936	1.00	
0.50								3981	7353	5740	396	17470	0.50	
Sum	11111	26236	58458	108773	76672	53968	23359	7445	1270	120	4	367416	Sum	
From: 19580101	2.00	3.50	5.50	8.50	11.00	14.00	17.00	20.50	24.00	27.50	>	Sum	Until: 19991231	

Abbildung 8: Gemeinsame Verteilung von Windgeschwindigkeit und signifikanter Wellenhöhe an den Punkten K13 (oben) und WP1 (unten). Die genauen Positionen sind jeweils in den rechten oberen Ecken der Tabellen dargestellt.



K13 year	Wave Direction [deg]												Sum	53.20 N 3.20 E
	30.00	60.00	90.00	120.00	150.00	180.00	210.00	240.00	270.00	300.00	330.00	360.00		
>	1								2	4	5	34	46	>
8.00	1								5	3	10	55	74	8.00
7.50		7						1	4	9	32	73	126	7.50
7.00	11	5					2	4	5	17	65	114	223	7.00
6.50	20	9					25	5	9	54	130	211	463	6.50
6.00	41	15					39	16	19	81	282	327	820	6.00
5.50	56	20	15			2	91	71	47	179	418	473	1372	5.50
5.00	88	62	51	3		3	162	156	111	315	641	761	2353	5.00
4.50	202	206	196	15	4	7	319	328	213	593	981	1104	4168	4.50
4.00	343	334	330	58	35	48	615	770	465	1041	1286	1691	7016	4.00
3.50	668	629	570	184	58	93	1096	1643	1050	1799	1943	2354	12087	3.50
3.00	1129	1203	1030	416	190	314	2074	3011	2193	2909	2920	3797	21186	3.00
2.50	2182	1958	1936	689	538	642	3358	4924	3914	4317	4745	6397	35600	2.50
2.00	5163	3743	3007	1579	1065	1372	5136	6932	5437	6255	6993	11822	58504	2.00
1.50	11283	7340	5042	2745	2180	2689	7531	9839	7695	8017	11484	18259	94104	1.50
1.00	14639	10843	7434	4115	3090	3972	8627	11256	8126	8100	11216	17728	109146	1.00
0.50	2666	2467	1518	752	620	799	1370	2000	1536	1391	2209	2800	20128	0.50
Sum	38493	28841	21129	10556	7780	9941	30445	40956	30831	35084	45360	68000	367416	Sum
From: 19580101	30.00	60.00	90.00	120.00	150.00	180.00	210.00	240.00	270.00	300.00	330.00	360.00	Sum	Until: 19991231

WP1 year	Wave Direction [deg]												Sum	55.00 N 7.00 E
	30.00	60.00	90.00	120.00	150.00	180.00	210.00	240.00	270.00	300.00	330.00	360.00		
>									47	123	204		374	>
8.00								4	35	59	93		191	8.00
7.50								12	46	124	171		353	7.50
7.00								19	99	214	303		635	7.00
6.50								41	151	321	509	18	1040	6.50
6.00		4	1				4	97	226	525	625	64	1546	6.00
5.50	12	4	10	1	4	1	13	232	480	785	840	107	2489	5.50
5.00	43	43	30	46	17	5	60	409	810	1159	1342	202	4166	5.00
4.50	84	16	37	98	41	17	72	764	1252	1815	1929	414	6539	4.50
4.00	143	63	90	264	128	48	146	1137	1989	2583	2547	706	9844	4.00
3.50	265	189	224	435	390	170	357	1914	3017	3659	3863	1235	15718	3.50
3.00	594	400	588	911	849	323	749	2896	4354	4765	5801	2277	24507	3.00
2.50	1110	939	1148	1898	1629	724	1302	4212	6146	7080	9080	3619	38887	2.50
2.00	1783	1698	2221	3075	2918	1459	2244	6584	8479	10048	14539	6129	61177	2.00
1.50	3659	2796	3819	4771	4649	2601	3273	8737	10743	12176	19840	11480	88544	1.50
1.00	6195	3963	3708	5492	5301	3420	3606	8887	10574	10653	17318	14819	93936	1.00
0.50	1334	815	752	784	963	696	589	1367	2308	2057	2908	2897	17470	0.50
Sum	15222	10930	12628	17775	16889	9464	12415	37312	50756	58146	81912	43967	367416	Sum
From: 19580101	30.00	60.00	90.00	120.00	150.00	180.00	210.00	240.00	270.00	300.00	330.00	360.00	Sum	Until: 19991231

Abbildung 9: Gemeinsame Verteilung von mittlerer Wellenrichtung und signifikanter Wellenhöhe an den Punkten K13 (oben) und WP1 (unten). Die genauen Positionen sind jeweils in den rechten oberen Ecken der Tabellen dargestellt.

K13 year	Wind Direction [deg]												Sum	53.20 N 3.20 E
	30.00	60.00	90.00	120.00	150.00	180.00	210.00	240.00	270.00	300.00	330.00	360.00		
>								1	7	1			9	>
27.50	4		8			1	7	4	27	25	12	2	90	27.50
24.00	33	22	35	1	4	8	133	123	213	292	216	66	1146	24.00
20.50	196	165	389	179	69	129	622	944	1091	1583	991	560	6918	20.50
17.00	738	632	1191	926	404	703	1918	3378	3635	3226	2288	1685	20724	17.00
14.00	2368	2329	3114	2225	1507	1886	4861	8072	7994	6206	4960	4151	49673	14.00
11.00	4934	4324	4503	3664	3112	3338	7018	9969	9947	7385	6238	6764	71196	11.00
8.50	8425	7560	8065	7171	5725	6963	12645	14777	12952	10075	8669	9280	112307	8.50
5.50	4583	4527	4288	4266	4013	5316	6907	7505	6460	5445	5010	4870	63190	5.50
3.50	2180	2062	1827	1942	2153	2572	2907	3029	3028	2708	2557	2225	29190	3.50
2.00	993	986	964	987	1085	1137	1170	1135	1250	1120	1155	991	12973	2.00
Sum	24454	22607	24384	21361	18072	22053	38188	48937	46604	38066	32096	30594	367416	Sum
From: 19580101	30.00	60.00	90.00	120.00	150.00	180.00	210.00	240.00	270.00	300.00	330.00	360.00	Sum	Until: 19991231
	Wind Direction [deg]													

WP1 year	Wind Direction [deg]												Sum	55.00 N 7.00 E
	30.00	60.00	90.00	120.00	150.00	180.00	210.00	240.00	270.00	300.00	330.00	360.00		
>									4				4	>
27.50							3	14	36	53	11	3	120	27.50
24.00	7	20	53	69	5	7	63	114	278	368	228	58	1270	24.00
20.50	171	123	225	588	219	131	546	926	1441	1441	1215	419	7445	20.50
17.00	526	488	1174	1835	1154	674	1541	2937	4144	3867	3268	1751	23359	17.00
14.00	1598	1629	2944	4311	3155	1988	3792	6664	8954	7247	7268	4418	53968	14.00
11.00	2762	2669	4559	5837	4783	3660	6153	9561	11016	9270	9430	6972	76672	11.00
8.50	6370	5705	6307	7841	7221	6452	9420	13265	13510	11498	11313	9871	108773	8.50
5.50	4573	4516	4027	4043	3929	3752	4768	5933	6262	5272	5708	5675	58458	5.50
3.50	2320	2044	2041	1910	1814	1956	2112	2316	2497	2397	2490	2339	26236	3.50
2.00	956	921	858	886	917	994	883	858	906	923	949	1060	11111	2.00
Sum	19283	18115	22188	27320	23197	19614	29281	42588	49048	42336	41880	32566	367416	Sum
From: 19580101	30.00	60.00	90.00	120.00	150.00	180.00	210.00	240.00	270.00	300.00	330.00	360.00	Sum	Until: 19991231
	Wind Direction [deg]													

Abbildung 10: Gemeinsame Verteilung von Windrichtung und Windgeschwindigkeit an den Punkten K13 (oben) und WP1 (unten). Die genauen Positionen sind jeweils in den rechten oberen Ecken der Tabellen dargestellt.

K13 year	Duration [h]																	Sum	53.20 N 3.20 E
	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00	27.00	30.00	33.00	36.00	39.00	42.00	45.00	48.00	>		
>	9	1	3															13	>
8.00	25	5		1														31	8.00
7.50	41	8	4															53	7.50
7.00	74	13	5															92	7.00
6.50	143	29	7	2														181	6.50
6.00	226	45	20	4	3													298	6.00
5.50	393	67	26	4	5		1	1										497	5.50
5.00	591	139	33	9	6	6	3		2									789	5.00
4.50	823	255	85	30	17	8	3	1	1									1223	4.50
4.00	1171	419	150	63	37	11	7	3	1									1862	4.00
3.50	1500	665	286	124	62	28	11	8	9	3	6	2	1				1	2706	3.50
3.00	1810	1031	483	263	149	76	42	17	19	7	5	7	2				1	3912	3.00
2.50	1842	1656	727	413	247	170	95	60	48	19	19	14	8	7	3	1	2	5331	2.50
2.00	1423	1878	1165	669	462	279	215	156	95	51	46	35	23	24	10	10	19	6560	2.00
1.50	707	1416	1198	846	641	492	353	262	190	175	126	97	69	65	58	43	140	6878	1.50
1.00	281	472	469	426	394	343	266	207	186	168	147	127	127	116	82	75	549	4435	1.00
0.50	150	151	129	126	85	83	67	60	36	34	27	28	11	15	21	15	76	1114	0.50
Sum	11209	8250	4790	2980	2108	1496	1063	775	587	457	376	310	241	227	174	144	788	35975	Sum
From: 19580101	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00	27.00	30.00	33.00	36.00	39.00	42.00	45.00	48.00	>	Sum	Until: 19991231

WP1 year	Duration [h]																	Sum	55.00 N 7.00 E
	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00	27.00	30.00	33.00	36.00	39.00	42.00	45.00	48.00	>		
>	16	12	11	6	2		1	1	1	1								51	>
8.00	96	8	1															105	8.00
7.50	134	15	6	2	1													158	7.50
7.00	214	37	8	4														263	7.00
6.50	350	59	18	1	2													430	6.50
6.00	493	87	21	10	2		1											614	6.00
5.50	689	175	34	12	3	2												915	5.50
5.00	973	251	78	28	11	6	2		1	1								1351	5.00
4.50	1328	397	129	50	24	11	5	1	2									1947	4.50
4.00	1691	590	211	82	39	17	7	6	4		1	1	1					2650	4.00
3.50	2021	861	319	180	73	36	24	15	9	5	2	1	2		1			3549	3.50
3.00	2103	1305	506	270	155	107	30	30	19	10	10	5	3			1	1	4555	3.00
2.50	1850	1782	821	448	277	179	107	74	41	33	21	12	9	4	4		4	5666	2.50
2.00	1288	1925	1261	687	421	315	226	143	86	74	48	38	25	19	20	12	32	6620	2.00
1.50	740	1249	1117	864	581	445	352	257	171	156	112	63	78	59	53	39	155	6491	1.50
1.00	240	480	468	402	338	269	263	212	183	164	137	123	101	80	85	69	426	4040	1.00
0.50	128	166	126	125	87	75	67	39	31	28	25	13	19	18	12	10	60	1029	0.50
Sum	14354	9399	5135	3171	2016	1462	1085	778	548	472	356	256	238	180	175	131	678	40434	Sum
From: 19580101	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00	27.00	30.00	33.00	36.00	39.00	42.00	45.00	48.00	>	Sum	Until: 19991231

Abbildung 11: Gemeinsame Verteilung von signifikanter Wellenhöhe und Andauerverhalten an den Punkten K13 (oben) WP1 (unten). Die genauen Positionen sind jeweils in den rechten oberen Ecken der Tabellen dargestellt.

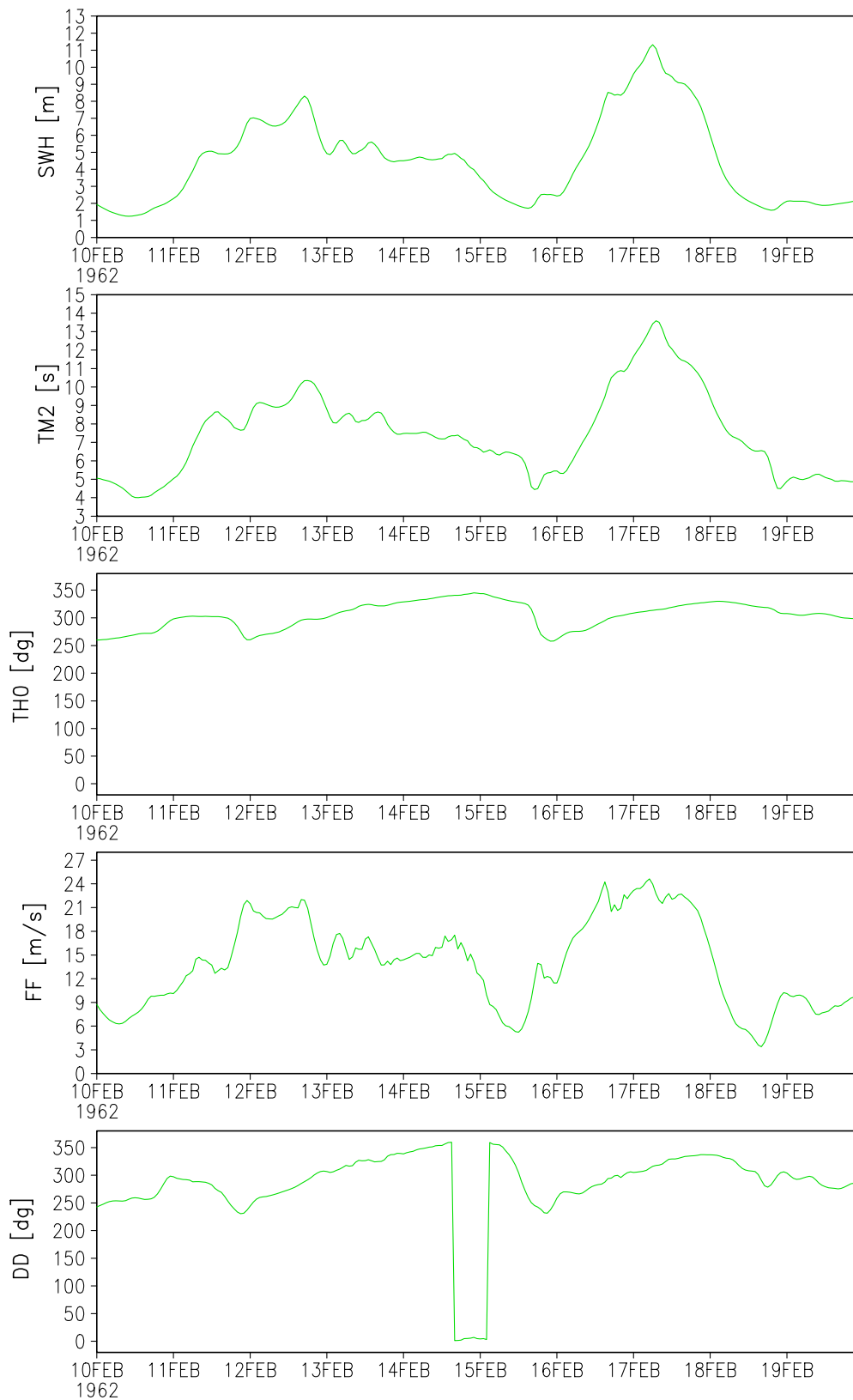


Abbildung 12: Zeitreihen von signifikanter Wellenhöhe  $SWH$  in m,  $TM2$ -Periode  $TM2$  in s, mittlerer Wellenrichtung  $TH0$  in Grad, Windgeschwindigkeit  $FF$  in  $\text{ms}^{-1}$  und Windrichtung  $DD$  in Grad (von oben nach unten) für den Zeitraum vom 10.-19. Februar 1962, wie sie in den Hindcasts am Punkt WP1 ( $55.00^\circ\text{N}$ ;  $07.00^\circ\text{E}$ ) simuliert werden.

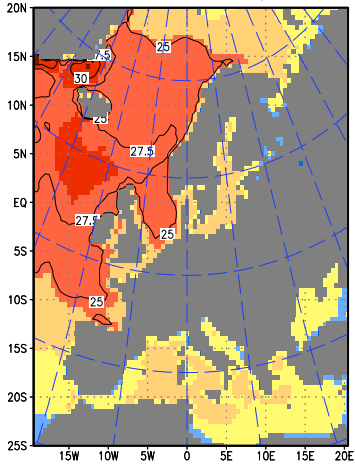
K13 year	Duration [h]																	Sum	53.20 N 3.20 E	
	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00	27.00	30.00	33.00	36.00	39.00	42.00	45.00	48.00	>			
>	4																	4	>	
27.50	24	7	2															33	27.50	
24.00	170	61	16	13	2	4	1	2			2							271	24.00	
20.50	521	330	166	82	54	25	15	9	5	4	4	1	1					1217	20.50	
17.00	1306	860	448	260	147	100	46	32	19	13	9	7	7	3	1		5	3263	17.00	
14.00	1951	1583	1015	607	407	245	134	114	66	47	32	25	16	13	17	6	17	6295	14.00	
11.00	3109	2523	1454	848	543	331	199	146	91	59	54	29	28	13	19	5	25	9476	11.00	
8.50	2373	2755	1817	1169	777	549	370	284	217	132	116	81	73	57	37	32	126	10965	8.50	
5.50	3453	2704	1319	726	467	273	176	95	66	49	29	22	18	10	7	8	14	9436	5.50	
3.50	3151	1615	639	329	166	74	44	23	14	10	5	4	3			2	2	6081	3.50	
2.00	818	655	316	156	71	54	19	17	18	13	5	2	1	1	1			2147	2.00	
Sum	16880	13093	7192	4190	2634	1655	1004	722	496	327	256	171	147	97	82	53	189	49188	Sum	
From: 19580101	Duration [h]																	Sum	Until: 19991231	

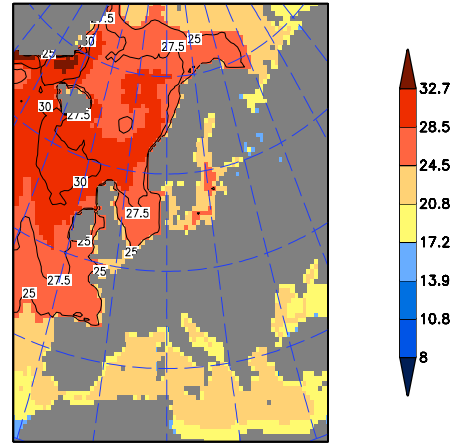
WP1 year	Duration [h]																	Sum	55.00 N 7.00 E	
	3.00	6.00	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	24.00	27.00	30.00	33.00	36.00	39.00	42.00	45.00	48.00	>			
>	2																	2	>	
27.50	31	8	1			1												41	27.50	
24.00	168	69	28	12	13	2			2									294	24.00	
20.50	559	365	181	84	59	30	9	8	10	4	3						2	1314	20.50	
17.00	1388	984	510	257	153	116	67	30	34	20	5	9	5	2	2		8	3590	17.00	
14.00	2189	1793	1078	625	446	223	174	107	81	52	39	22	18	14	8	9	27	6905	14.00	
11.00	3202	2695	1456	929	586	371	254	154	101	71	42	41	33	24	13	9	22	10003	11.00	
8.50	2308	2820	1762	1168	806	498	365	275	200	148	101	81	71	43	32	29	112	10819	8.50	
5.50	3116	2546	1224	685	410	252	162	101	70	45	23	24	11	14	4	3	10	8700	5.50	
3.50	2738	1407	642	275	164	69	47	21	11	6	5	2	1	1	1		1	5391	3.50	
2.00	705	622	265	132	60	31	26	12	11	5	4	3	4	1			1	1882	2.00	
Sum	16406	13309	7147	4167	2697	1593	1104	708	520	351	222	182	143	99	60	50	183	48941	Sum	
From: 19580101	Duration [h]																	Sum	Until: 19991231	

Abbildung 13: Gemeinsame Verteilung von Windgeschwindigkeit und Andauerverhalten an den Punkten K13 (oben) und WP1 (unten). Die genauen Positionen sind jeweils in den rechten oberen Ecken der Tabellen dargestellt.

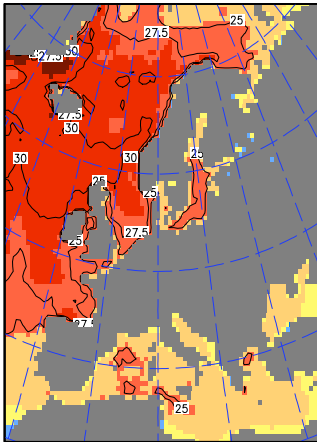
Remo 1958–2001 2yr RetVal



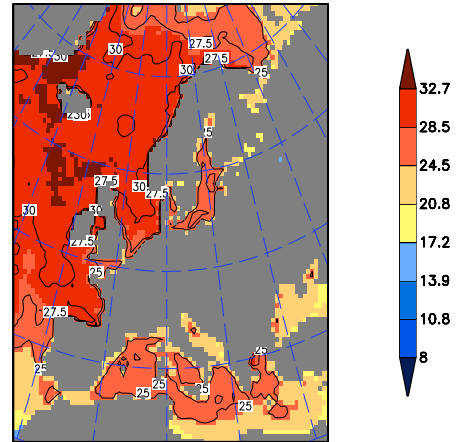
Remo 1958–2001 5yr RetVal



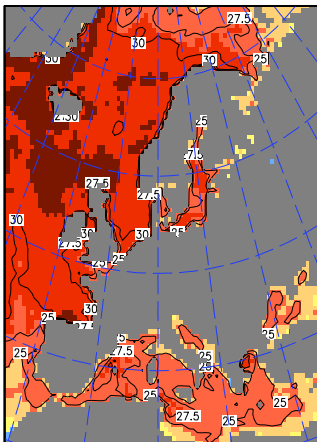
Remo 1958–2001 10yr RetVal



Remo 1958–2001 25yr RetVal



Remo 1958–2001 50yr RetVal



Remo 1958–2001 100yr RetVal

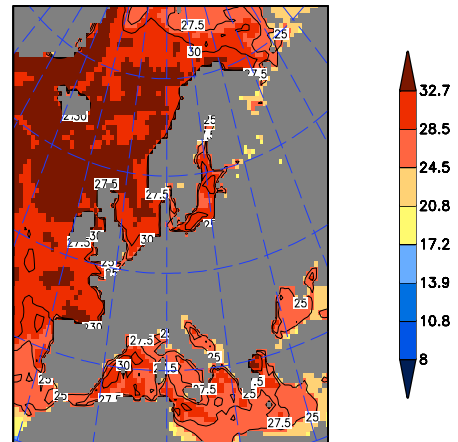


Abbildung 14: Aus dem atmosphärischen Hindcast ermittelte 2, 5, 10, 25, 50 und 100-jährige Wiederkehrwerte der Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe in  $\text{ms}^{-1}$ .

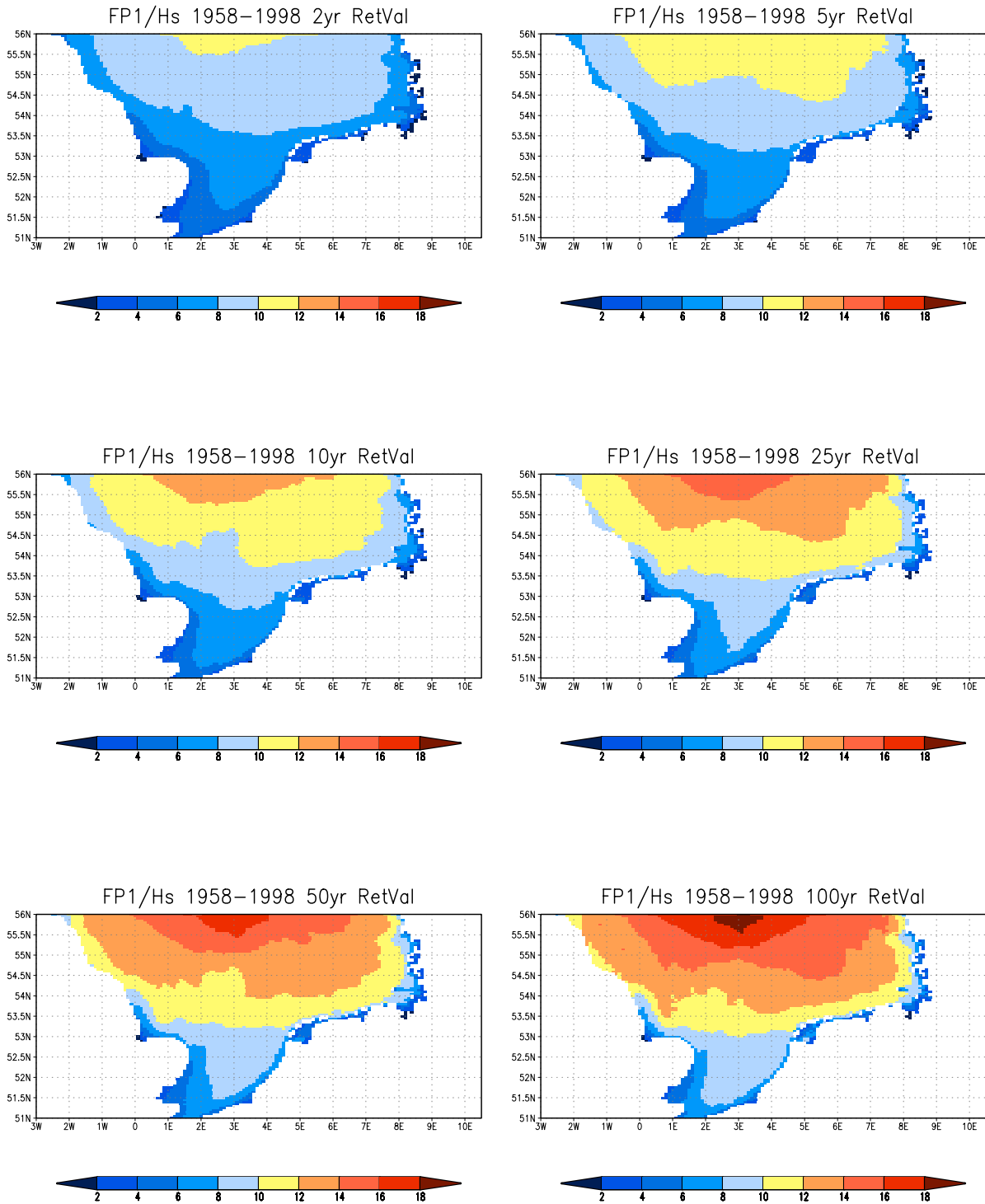
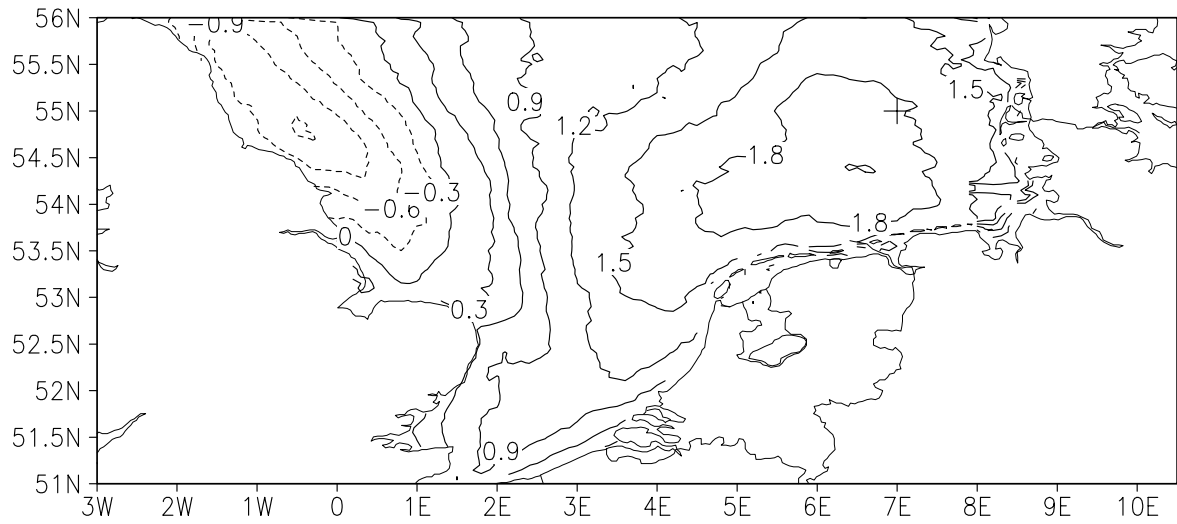


Abbildung 15: Aus dem Seegangshindcast ermittelte 2, 5, 10, 25, 50 und 100-jährige Wiederkehrwerte der signifikanten Wellenhöhe in m.



**Abbildung 16:** Trend des jährlichen 99% Percentils der signifikanten Wellenhöhe in cm/Jahr basierend auf den Daten des Seegangshindcasts. Der Mittelwert des 99% Percentils bei WPI (Kreuz) liegt bei etwa 5.5 m.