

Mittelfristige Tide- und Seegangmodellierung für das Einzugsgebiet des Norderneyer Seegats

Ralf Kaiser, Agnieszka Herman & Hanz D. Niemeyer

**Niedersächsischer Landesbetrieb
für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
Forschungsstelle Küste**

MOSES: Modellierung des mittelfristigen Seegangsklimas im deutschen Nordseeküstengebiet

Ziel des Projekts:

Erstellung eines 40-jährigen Datensatzes von Wasserstände, Strömungen und Seegang für drei charakteristische Gebiete der deutschen Nordseeküste

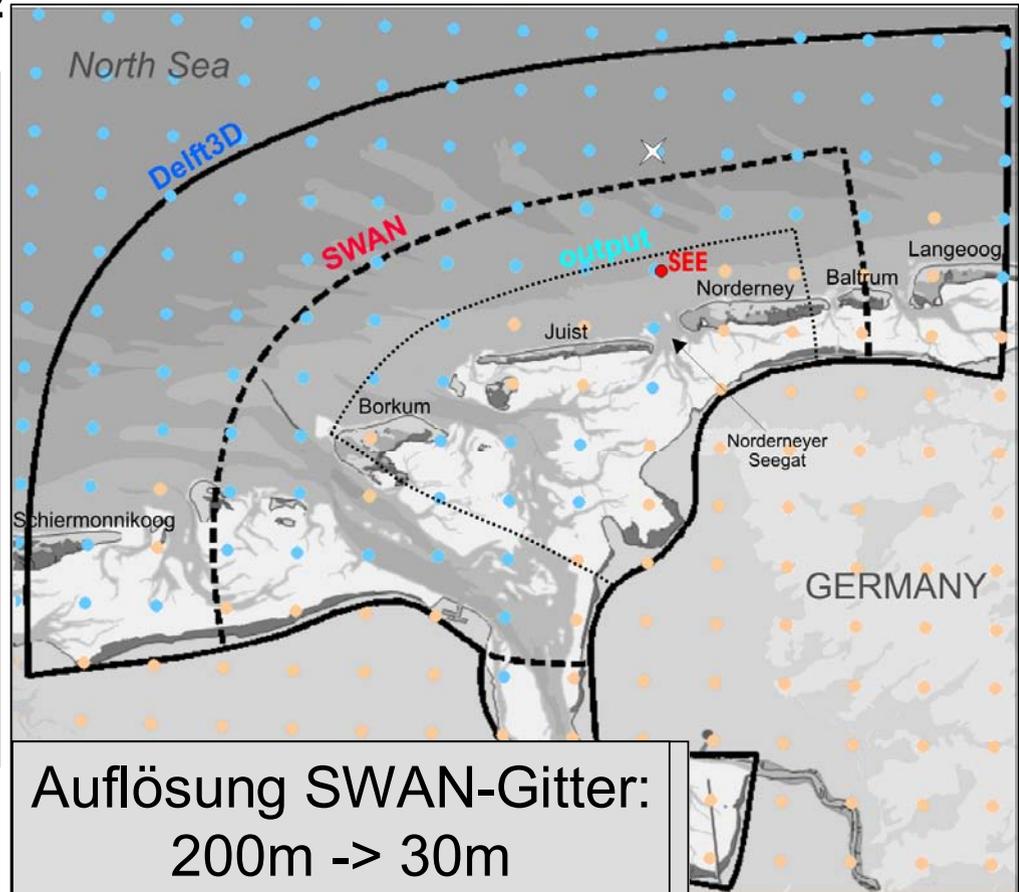
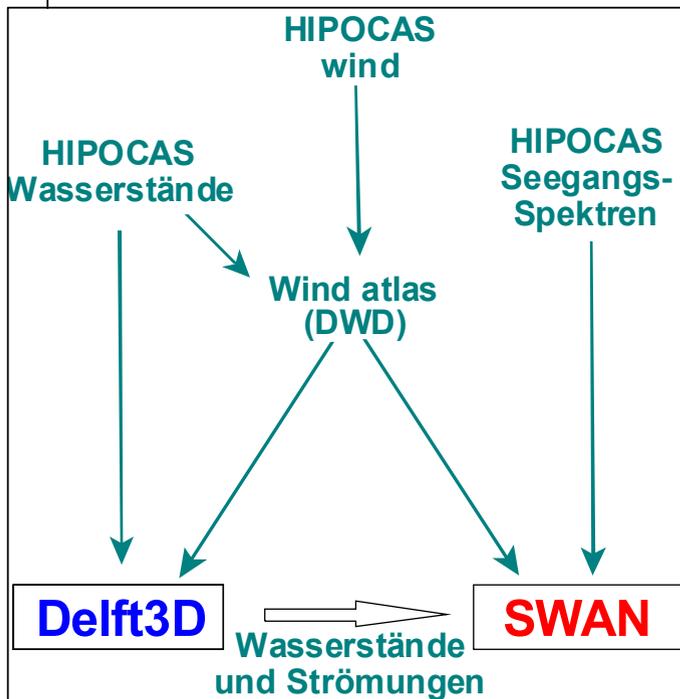


- Analyse der erzeugten Datensätze
- Prüfung der Eignung der Datensätze für morphodynamische Modellierung
- Vorläufige Studie über das Konzept eines morphologisch-repräsentativen Seegangs



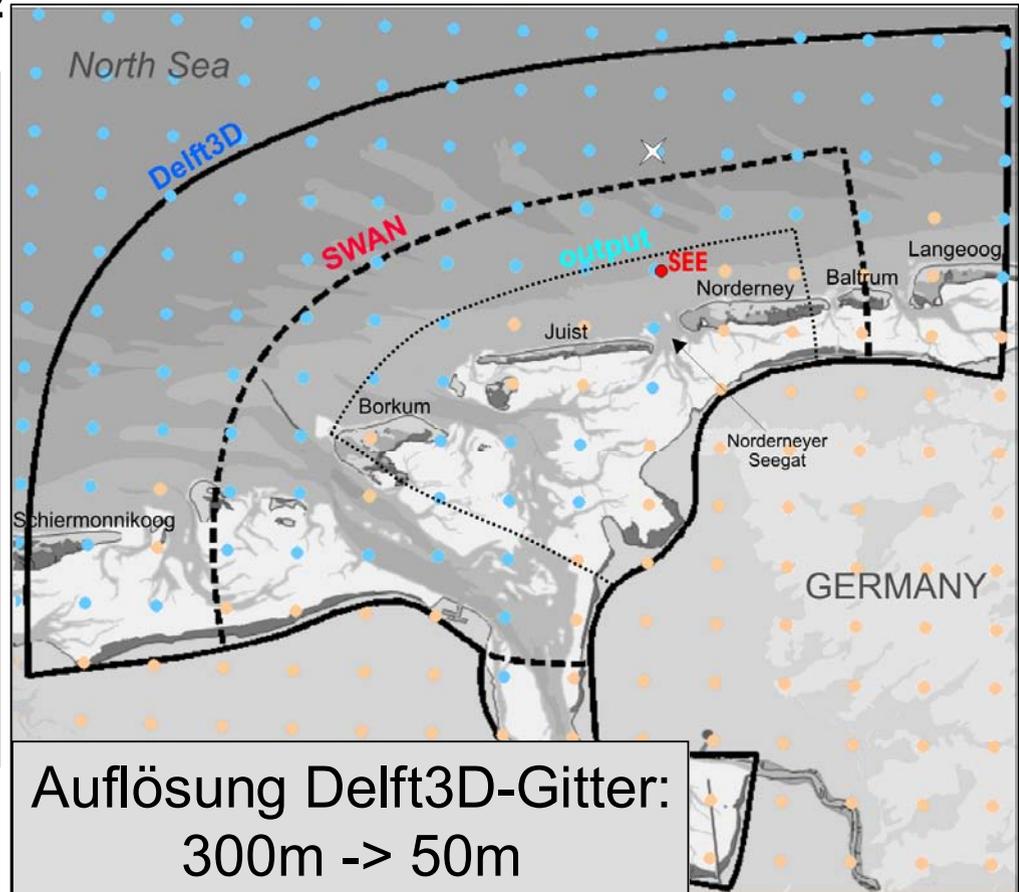
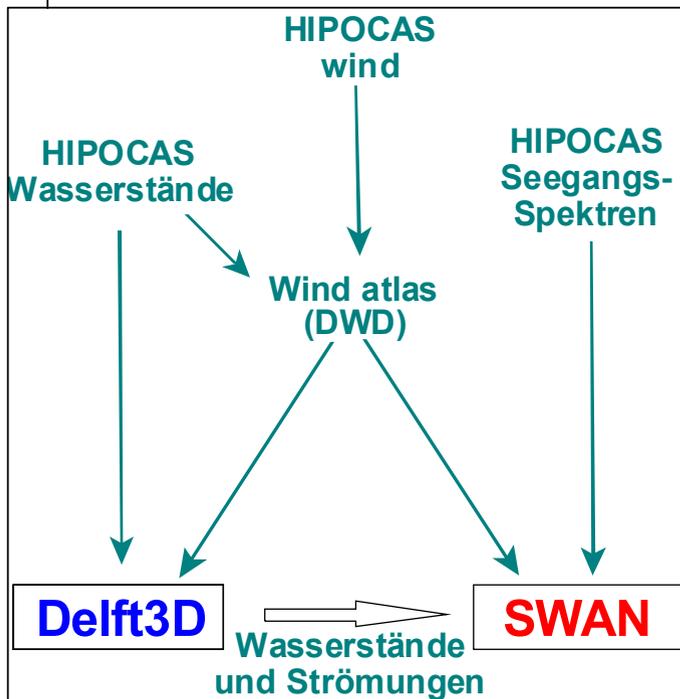
Eingangsdaten und Konfiguration der Modellkette

HIPOCAS: Hindcast of Dynamic Processes of the Ocean and Coastal Areas of Europe
Datenquelle: GKSS, Institute for Coastal Research
Zeitraum: 01/01/1962-30/11/2002

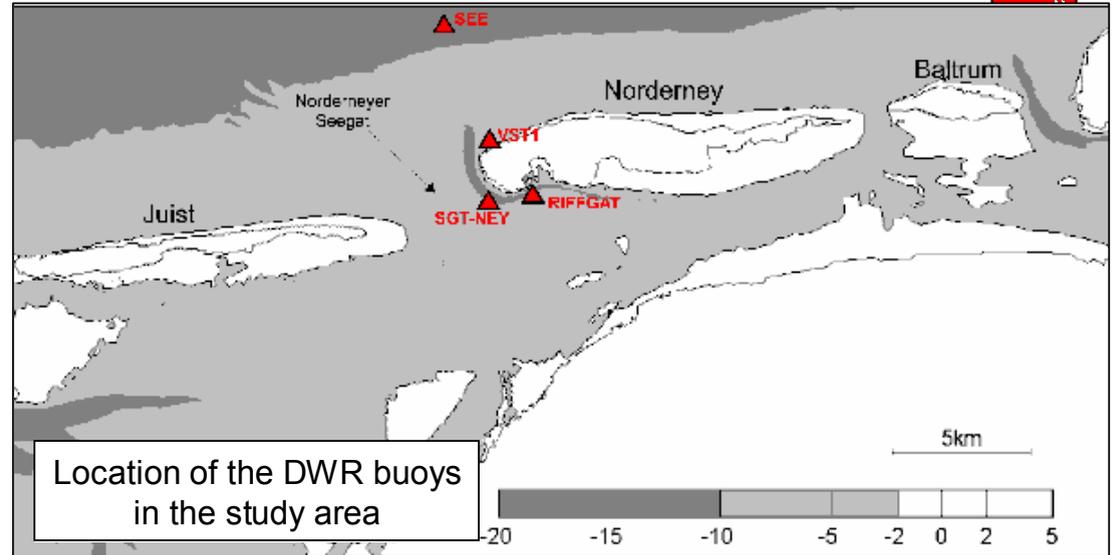


Eingangsdaten und Konfiguration der Modellkette

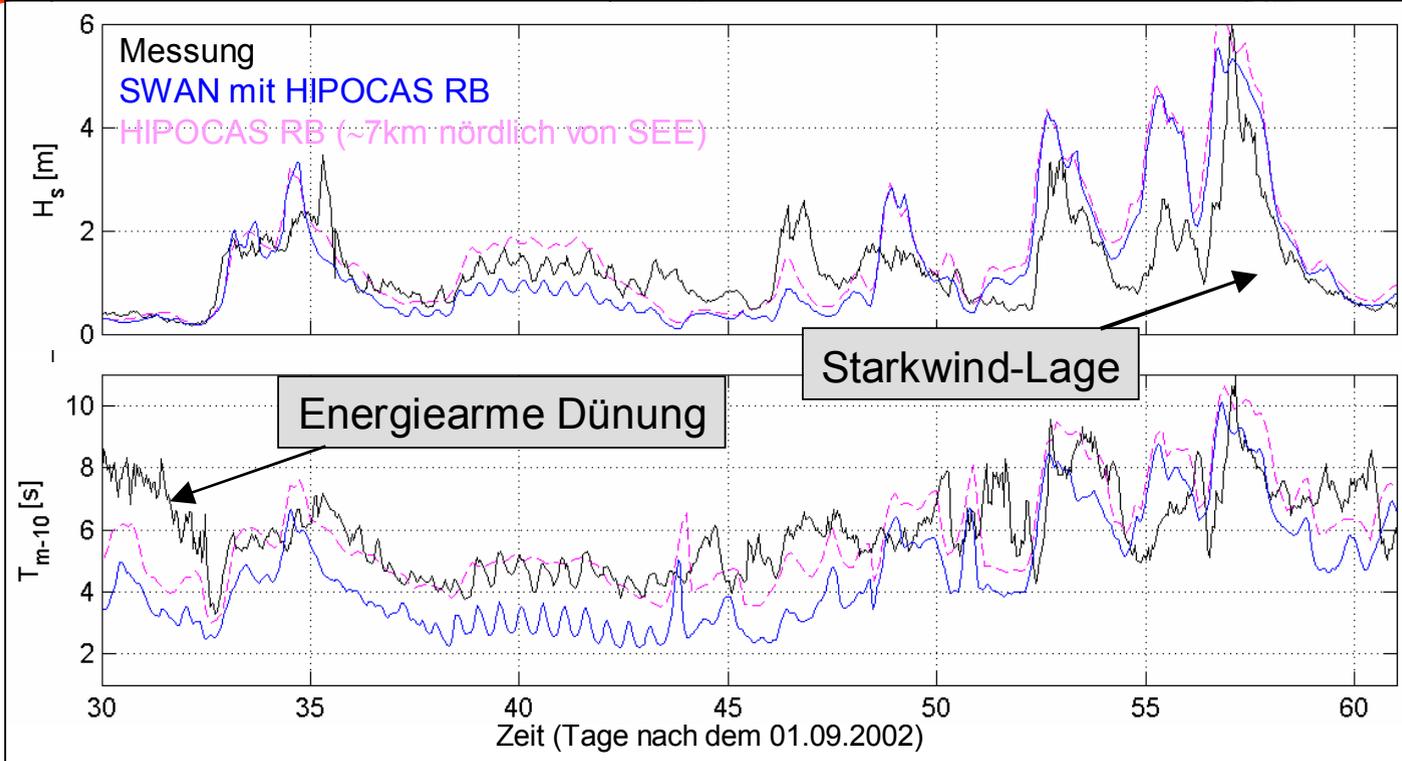
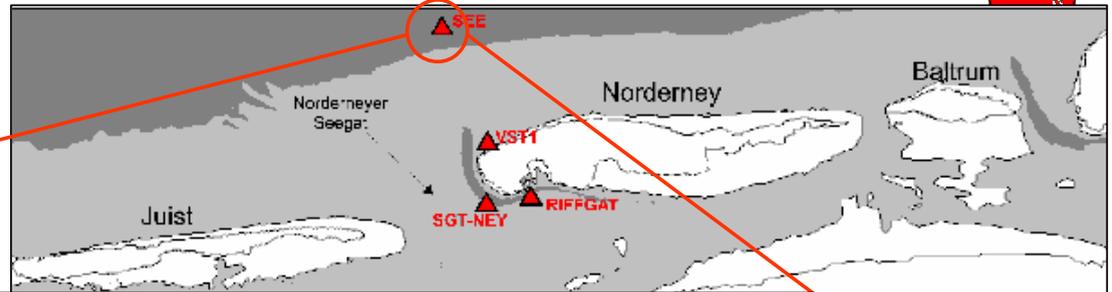
HIPOCAS: Hindcast of Dynamic Processes of the Ocean and Coastal Areas of Europe
Datenquelle: GKSS, Institute for Coastal Research
Zeitraum: 01/01/1962-30/11/2002



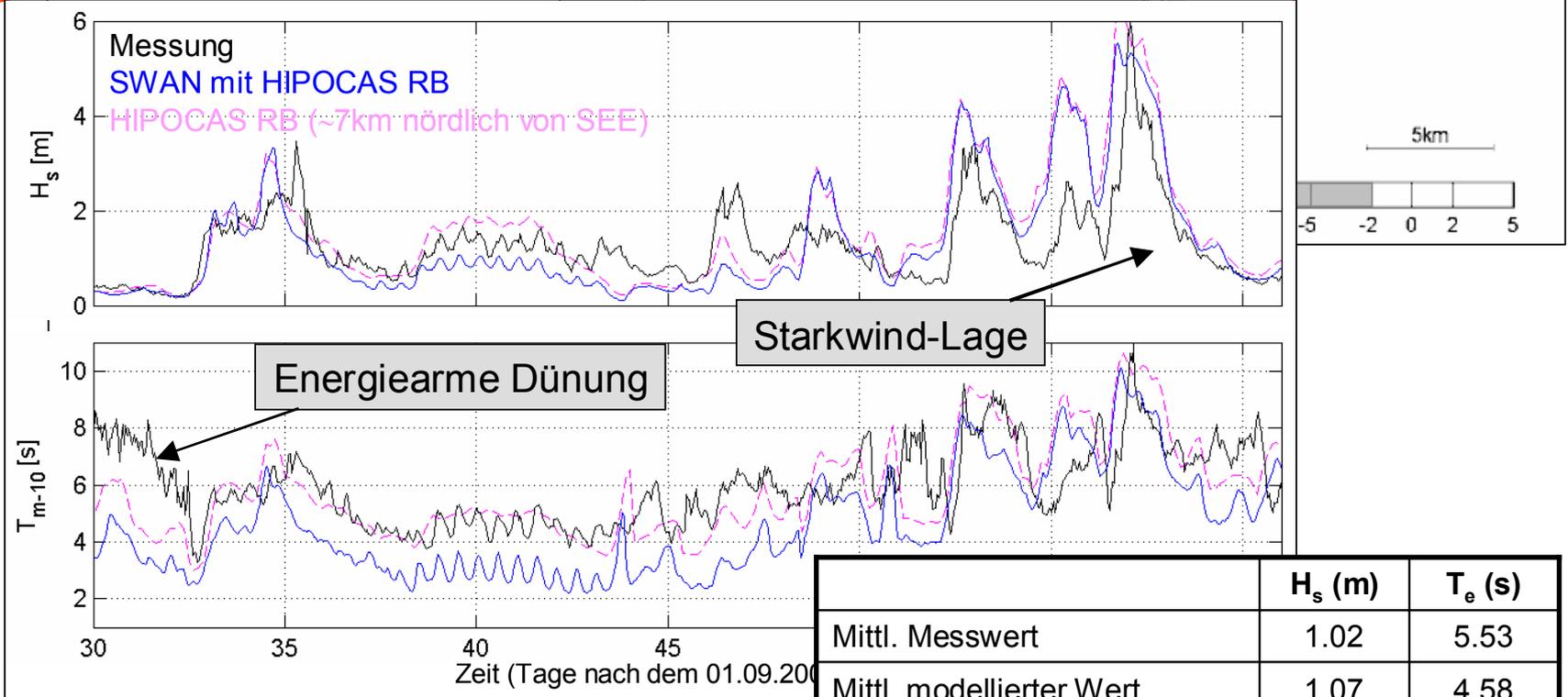
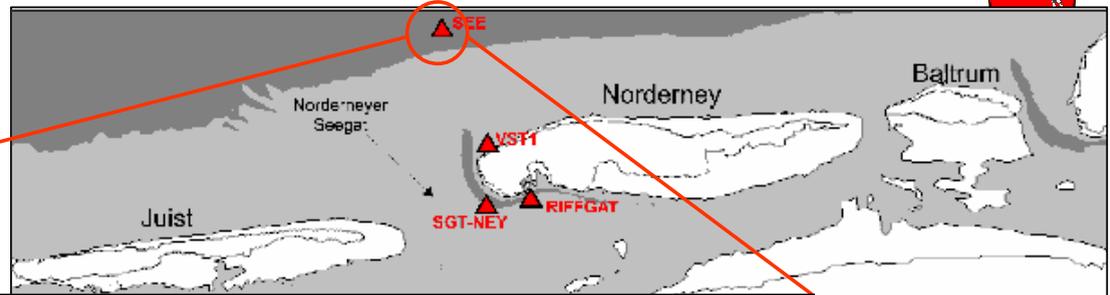
Verifikation der Ergebnisse (Testperiode Sep.-Nov. 2002)



Verifikation der Ergebnisse (Testperiode Sep.-Nov. 2002)

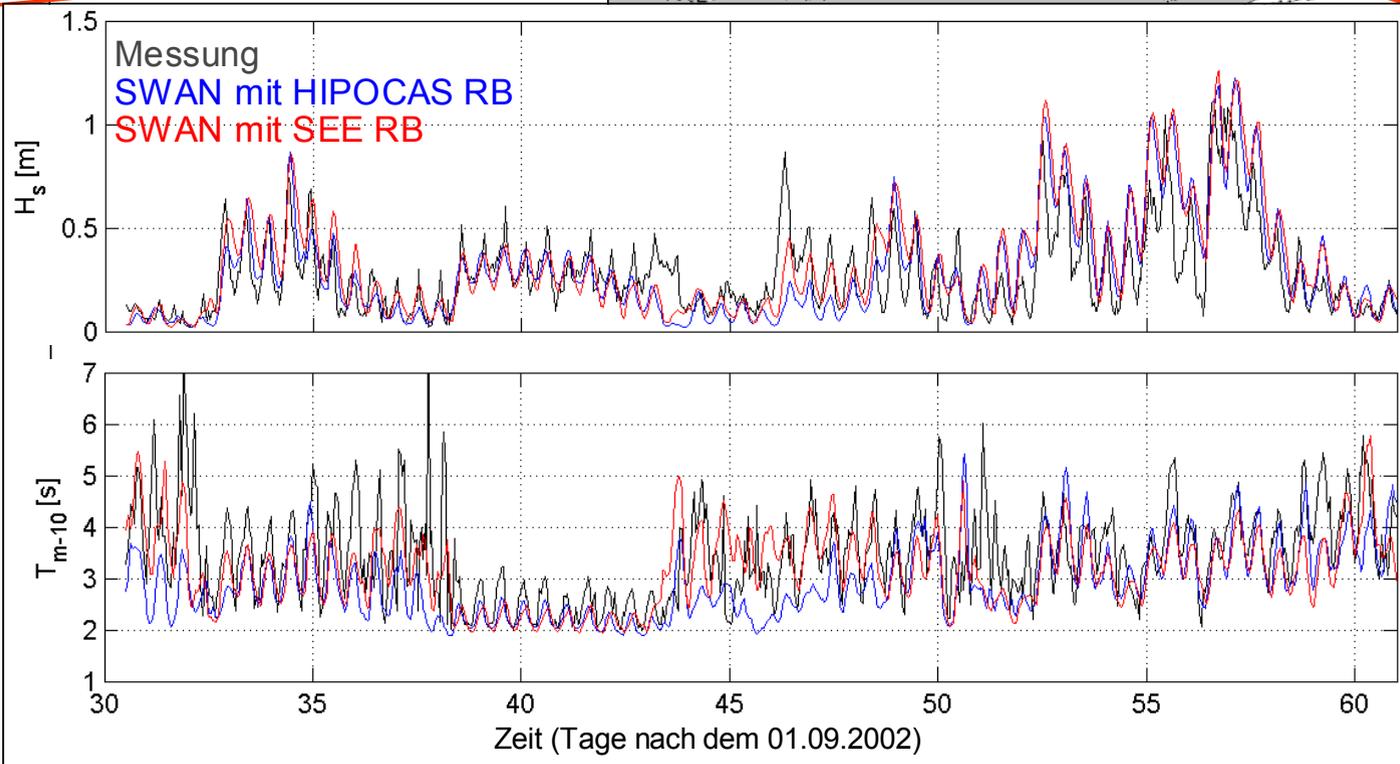
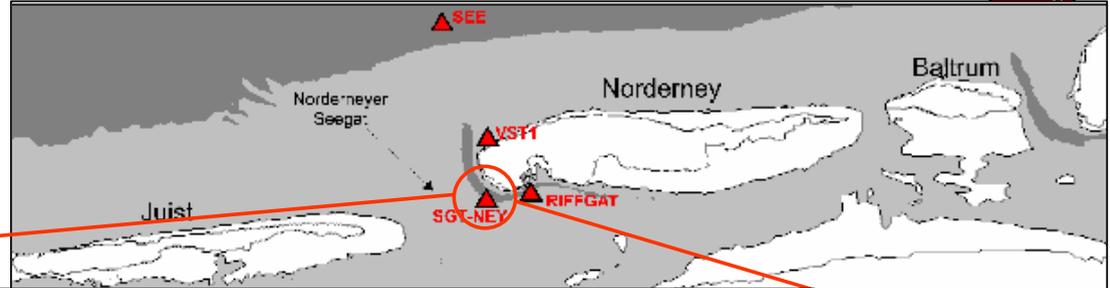


Verifikation der Ergebnisse (Testperiode Sep.-Nov. 2002)

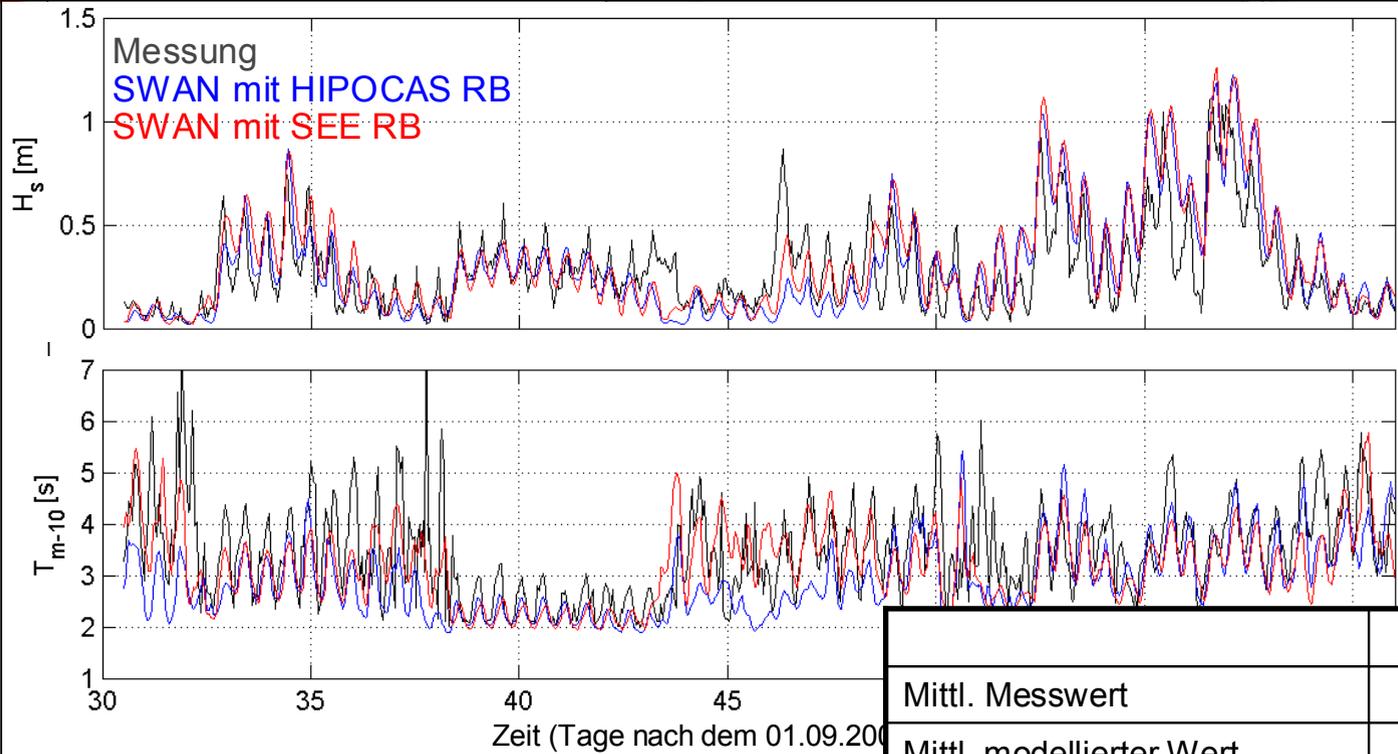
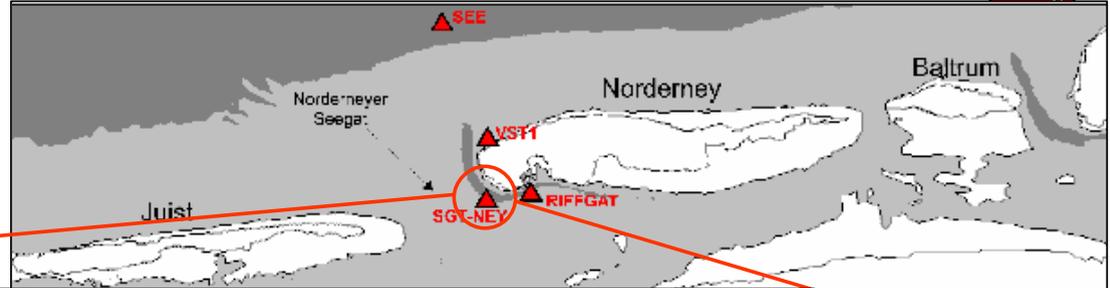


	H_s (m)	T_e (s)
Mittl. Messwert	1.02	5.53
Mittl. modellierter Wert	1.07	4.58
Standardabw. der Differenzen	0.58	1.17
Mittl. Differenz (meas.-mod.)	0.01	0.95

Verifikation der Ergebnisse (Testperiode Sep.-Nov. 2002)



Verifikation der Ergebnisse (Testperiode Sep.-Nov. 2002)



	H_s (m)	T_e (s)
Mittl. Messwert	0.25	3.46
Mittl. modellierter Wert	0.29	2.89
Standardabw. der Differenzen	0.15	0.82
Mittl. Differenz (meas.-mod.)	-0.04	0.56

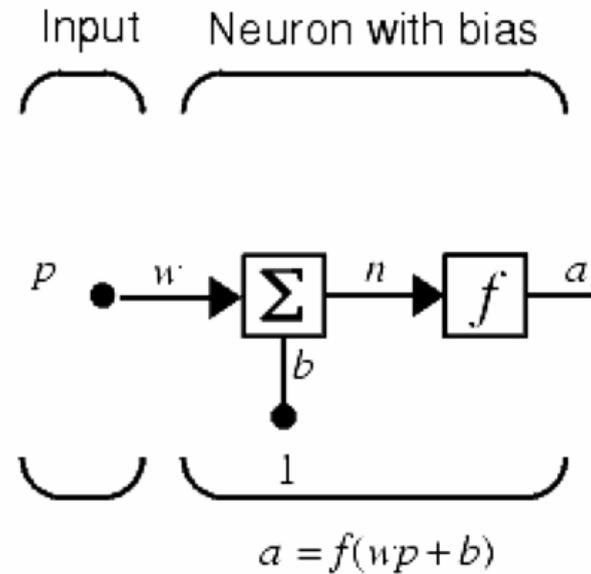
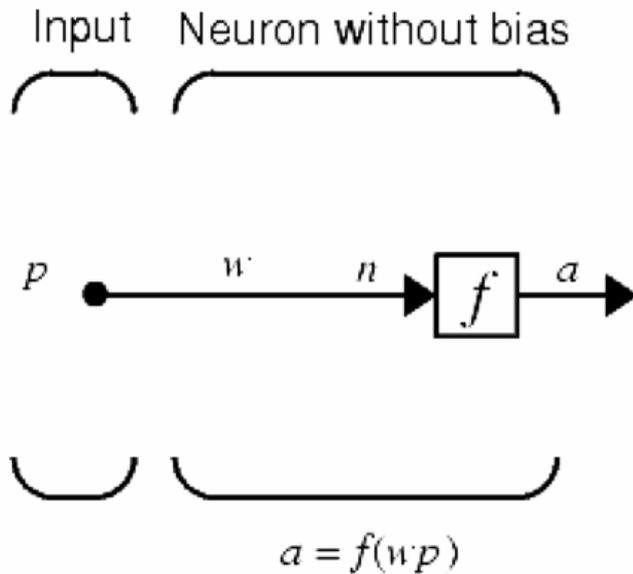
Verfahren zur Vermeidung von redundanten Rechenläufen

Nutzung von empirischen und statistischen Verfahren der Meteorologie / Ozeanographie

- **Regressions- und Korrelationsanalyse (Galton 1885)**
Linearer Zusammenhang zwischen einem Paar von Variablen
- **Hauptkomponentenanalyse (Pearson 1901)**
Korrelierende Muster in einer Gruppe von Variablen
- **Kanonische Korrelation (Hotelling 1936)**
Linearer Zusammenhang zwischen zwei Gruppen von Variablen
- **Künstliche Neuronale Netze (McCulloch & Pitts 1943, Rosenblatt 1962)**
Nichtlinearer Zusammenhang zwischen zwei Gruppen von Variablen

Lösung des Rechenzeitproblems mit neuronalen Netzen

Einzelnes Neuron



Mathworks: Neural Network Toolbox

Lösung des Rechenzeitproblems mit neuronalen Netzen

Künstliches Neuronales Netz

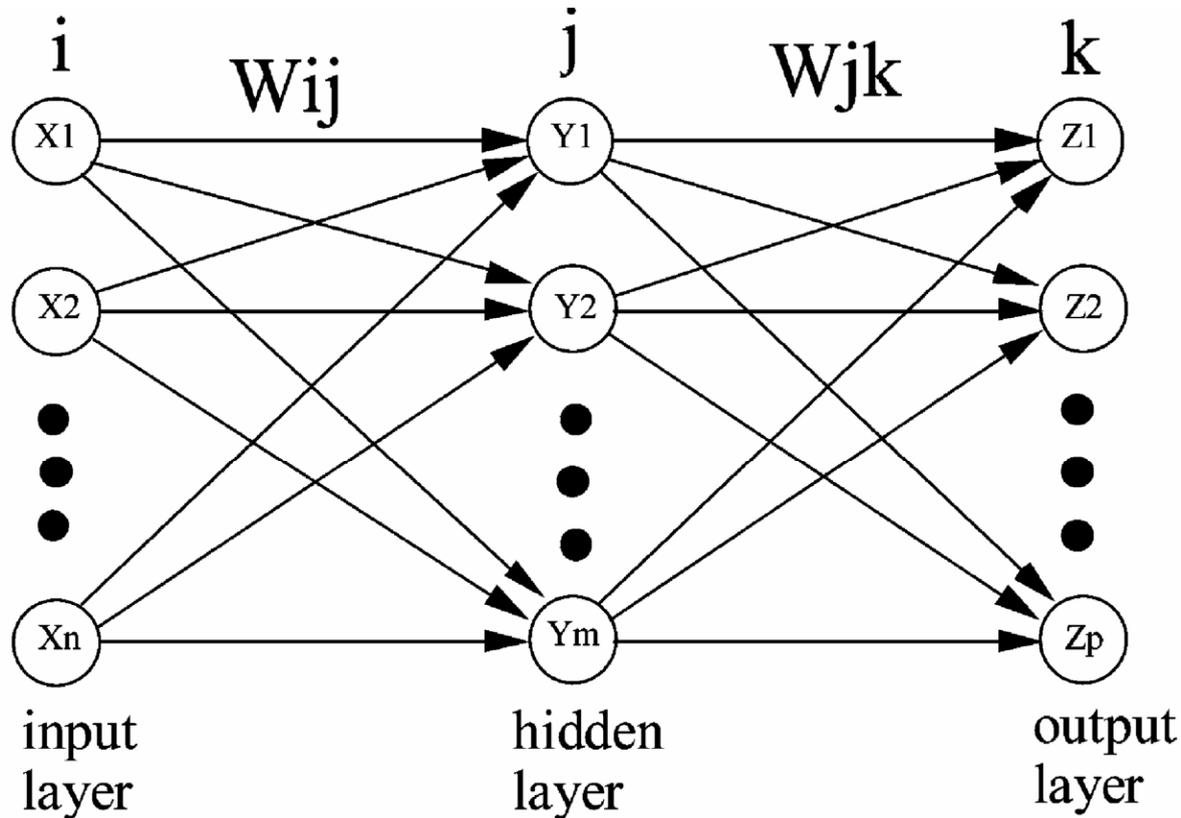
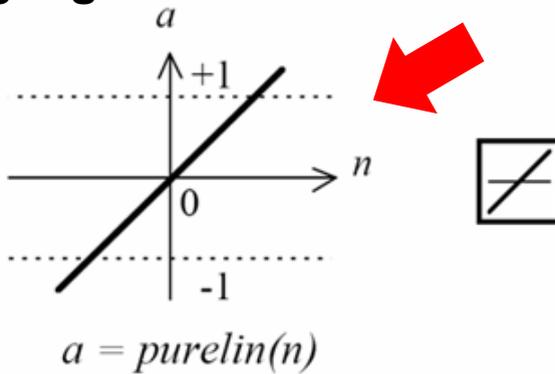


Fig. 4. A three-layer feed-forward neural network for multivariate signal processing.

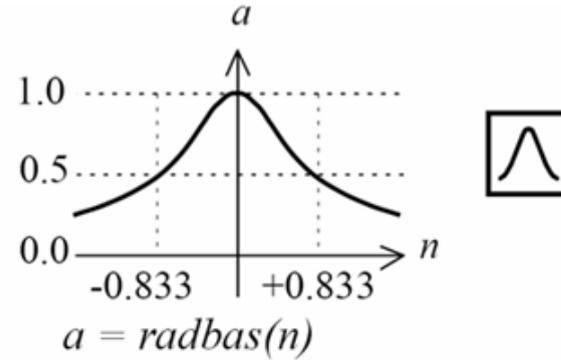
Huang et al. 2003

Lösung des Rechenzeitproblems mit neuronalen Netzen

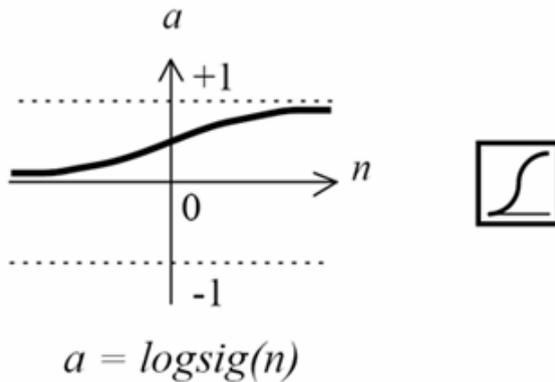
Übertragungsfunktionen



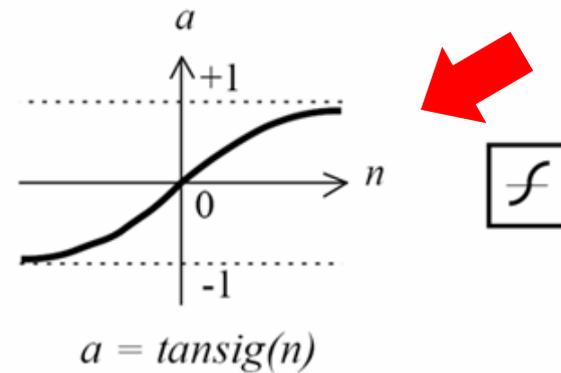
Linear Transfer Function



Radial Basis Function



Log-Sigmoid Transfer Function



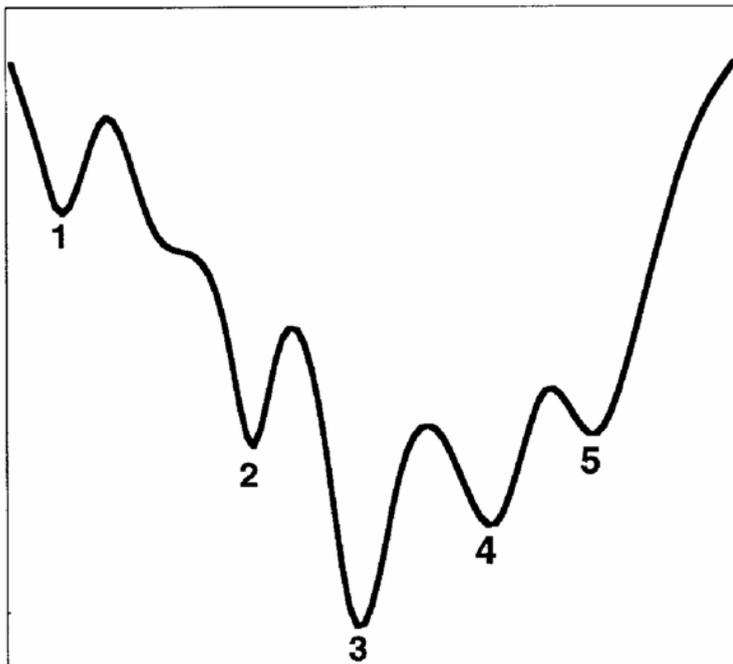
Tan-Sigmoid Transfer Function

Mathworks: Neural Network Toolbox

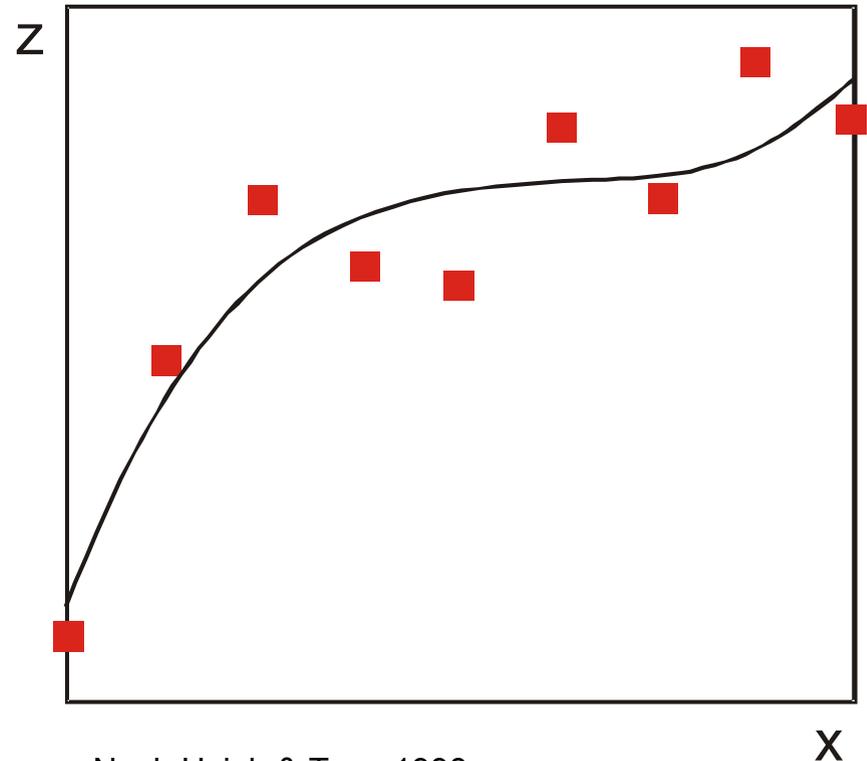
Lösung des Rechenzeitproblems mit neuronalen Netzen

Learning & Overfitting

Cost function



Hsieh & Tang 1998

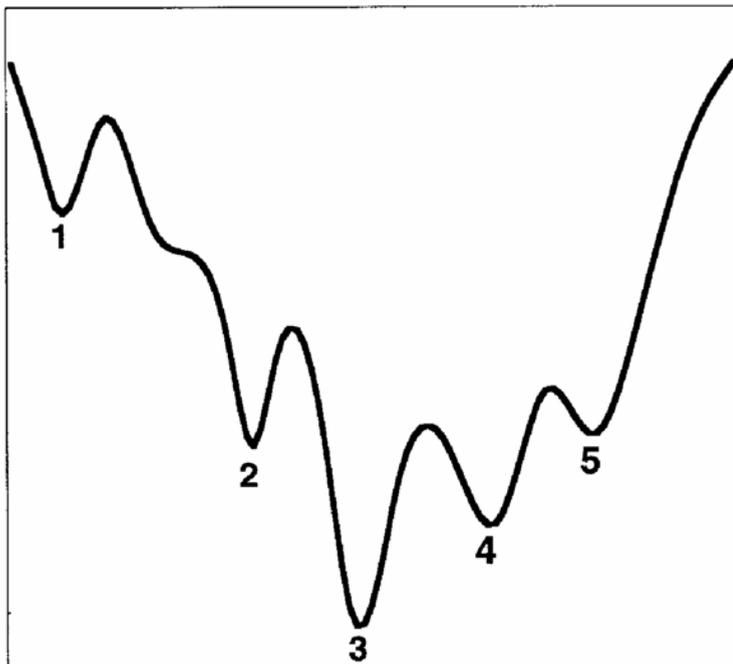


Nach Hsieh & Tang 1998

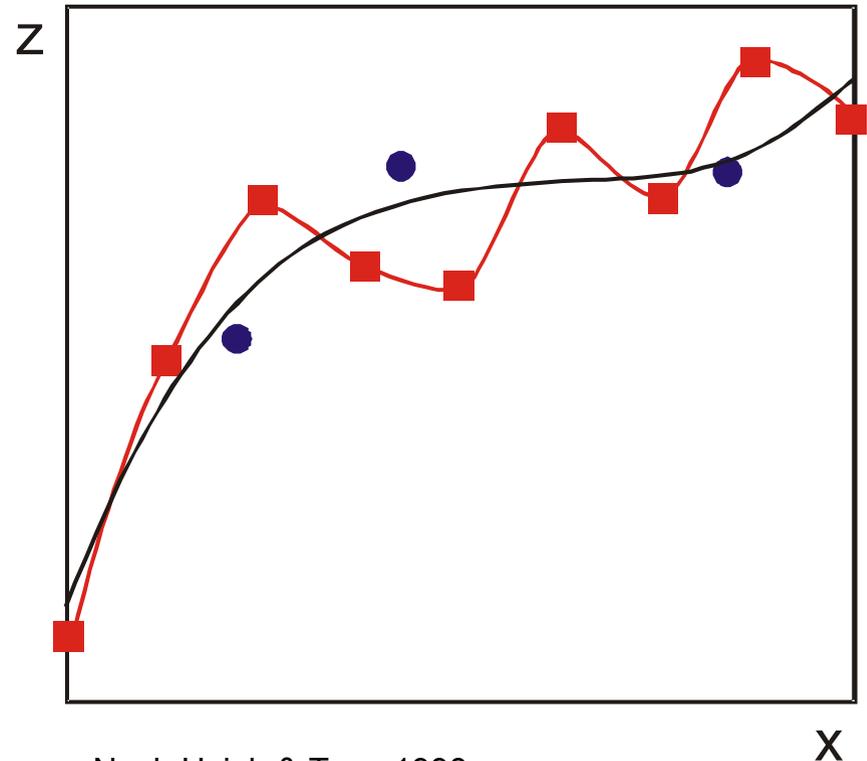
Lösung des Rechenzeitproblems mit neuronalen Netzen

Learning & Overfitting

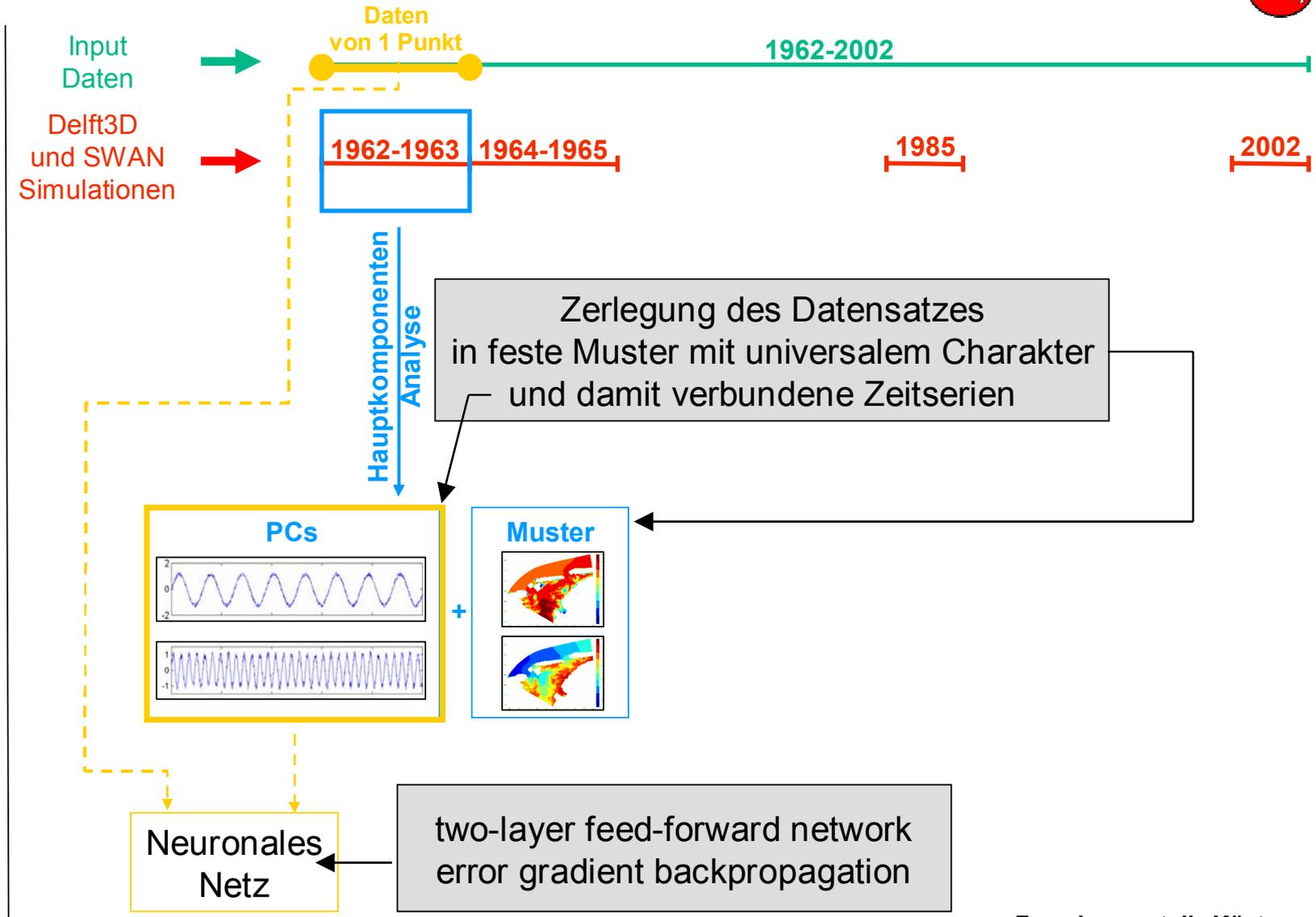
Cost function

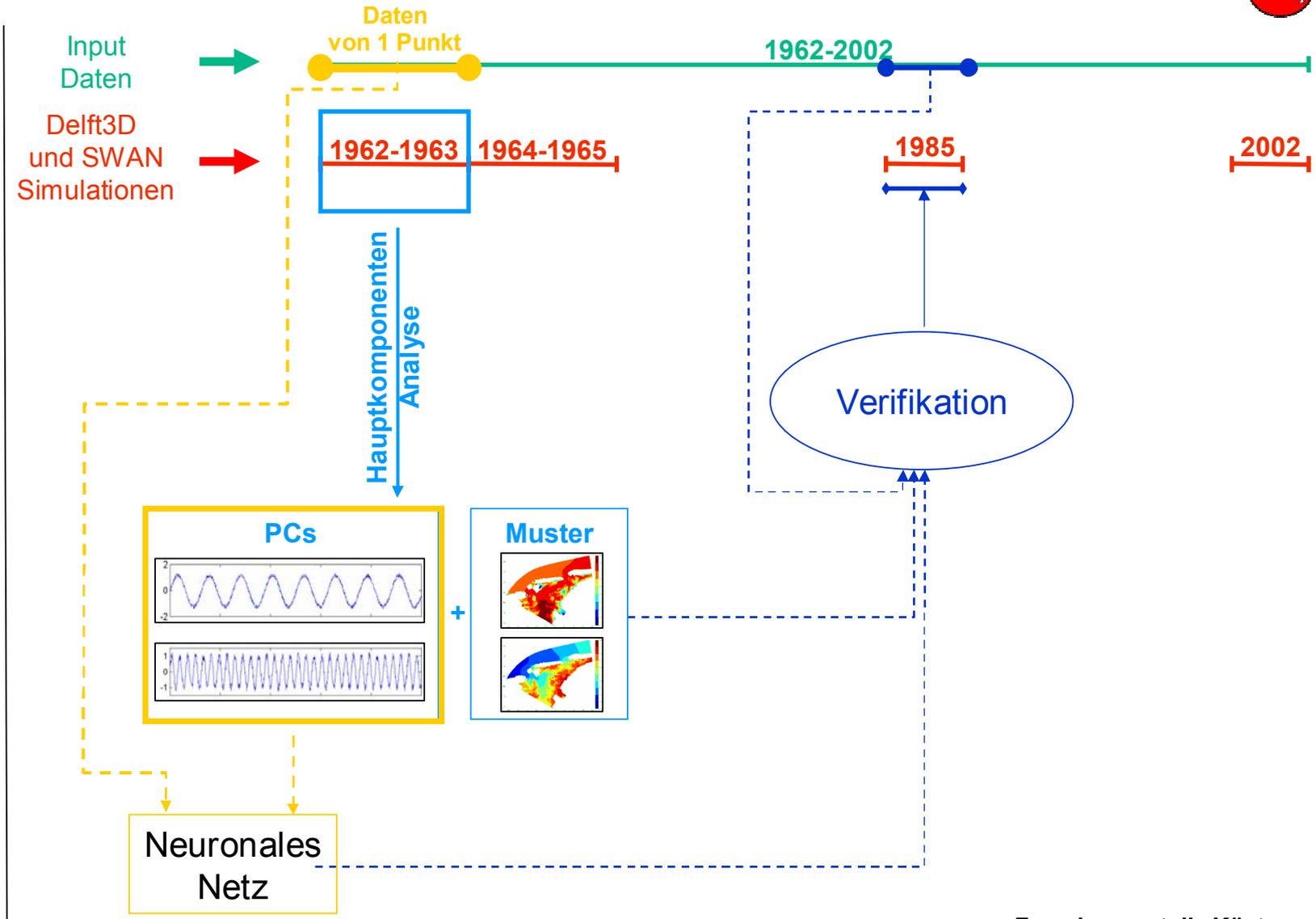


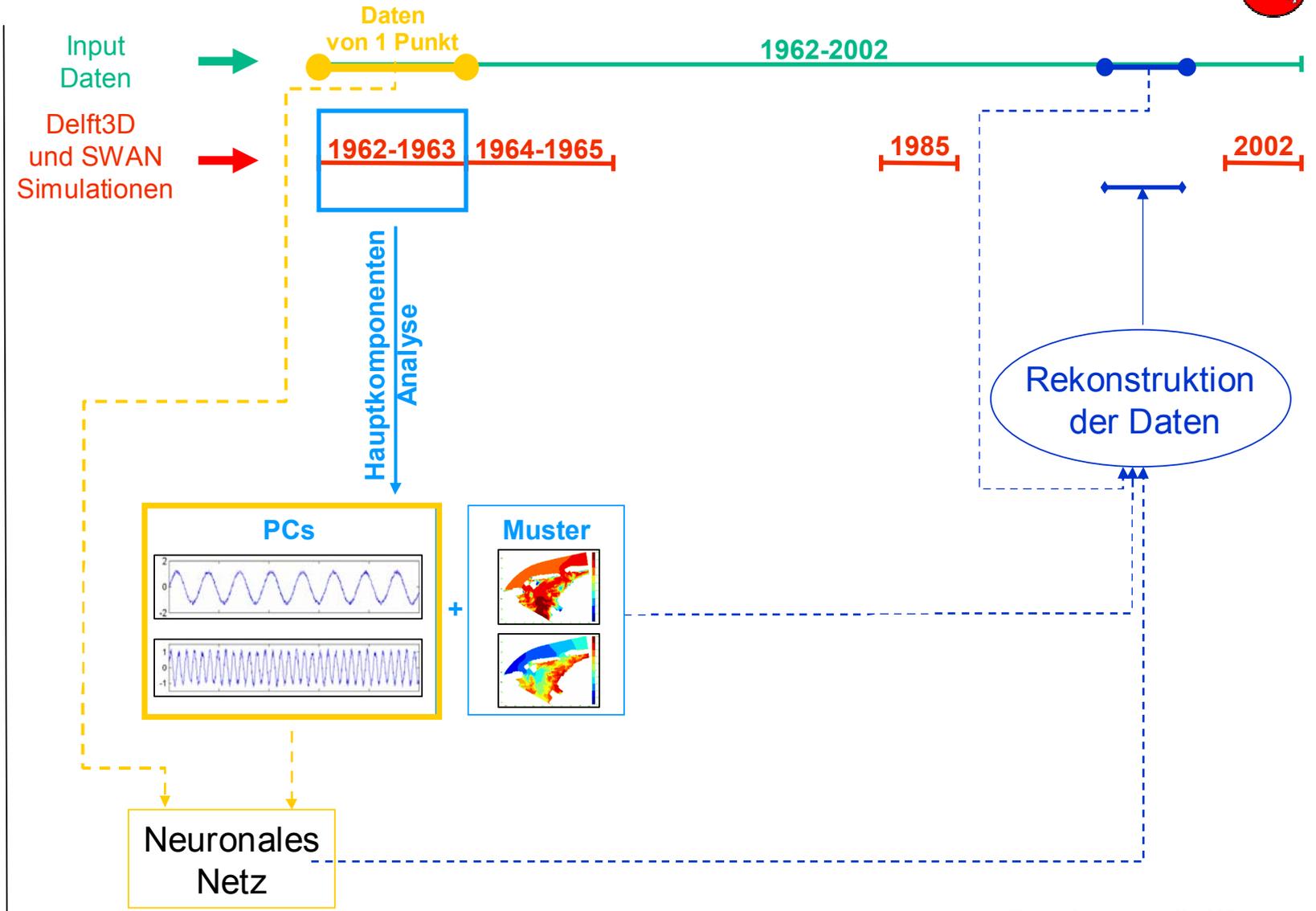
Hsieh & Tang 1998



Nach Hsieh & Tang 1998





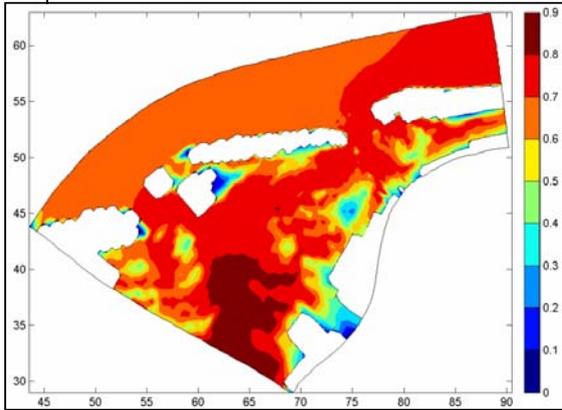


Hauptkomponentenanalyse der Modellergebnisse, 1962-1963

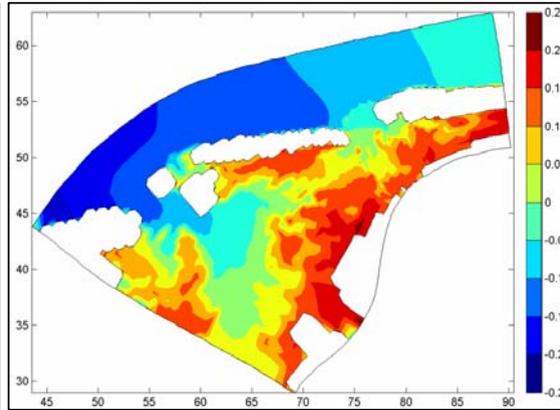
Parameter	Prozentualer Anteil an der Varianz, Erstes Muster	Prozentualer Anteil an der Varianz, Muster 1-5
Wasserstand	97.18	99.81
Strömungen	84.47	95.89
Signifikante Wellenhöhe	93.96	98.91
Energieperioden	77.81	92.57
Mittl. Wellenrichtung	70.59	85.87

Hauptkomponentenanalyse der Wasserstände, 1962-1963

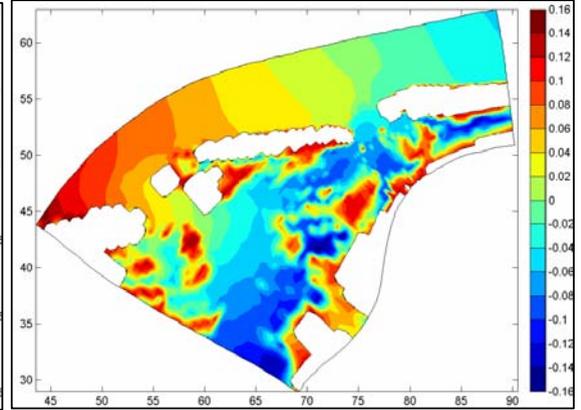
Muster 1



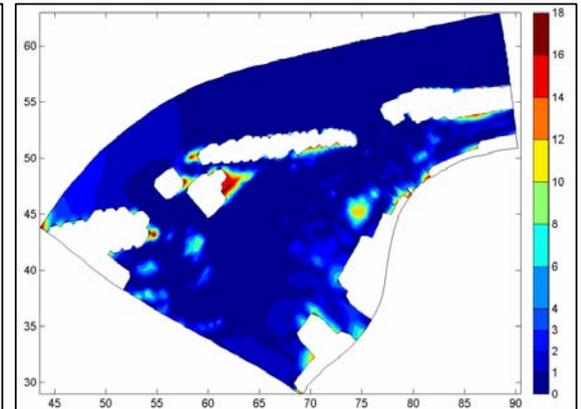
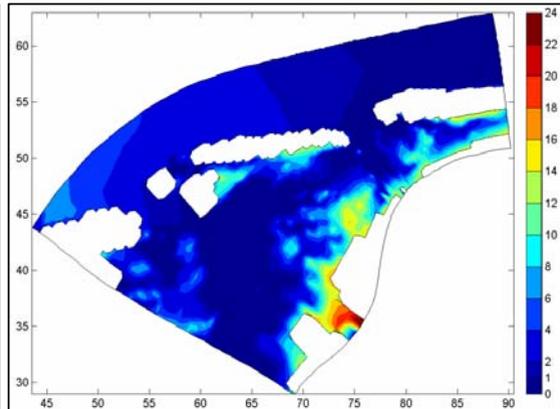
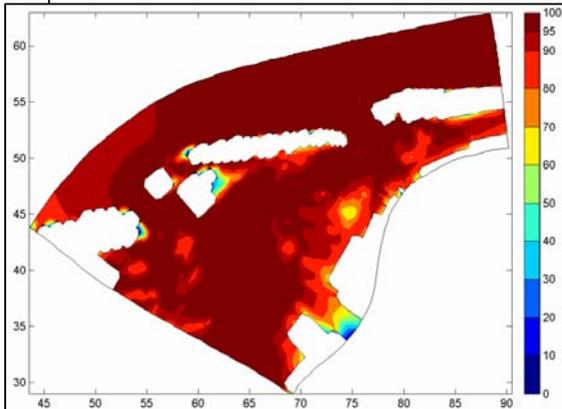
Muster 2



Muster 3

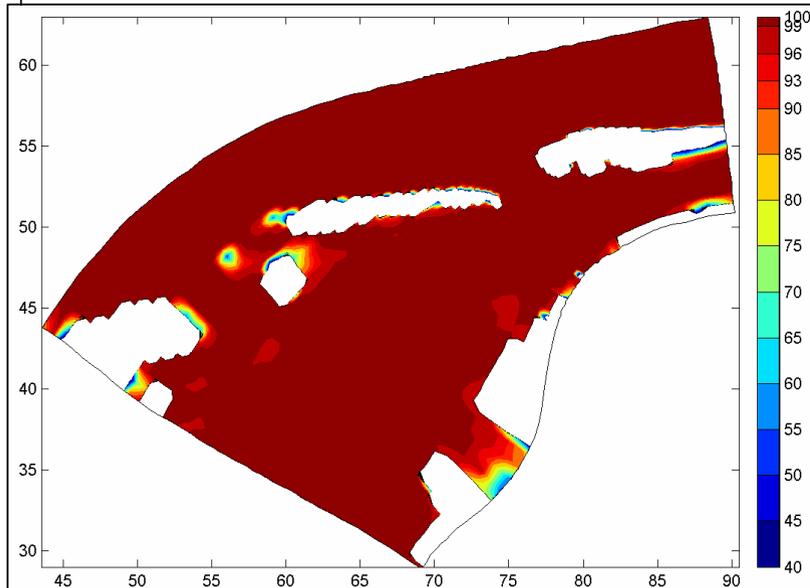


räumliche Verteilung des Anteils an der Varianz [%]

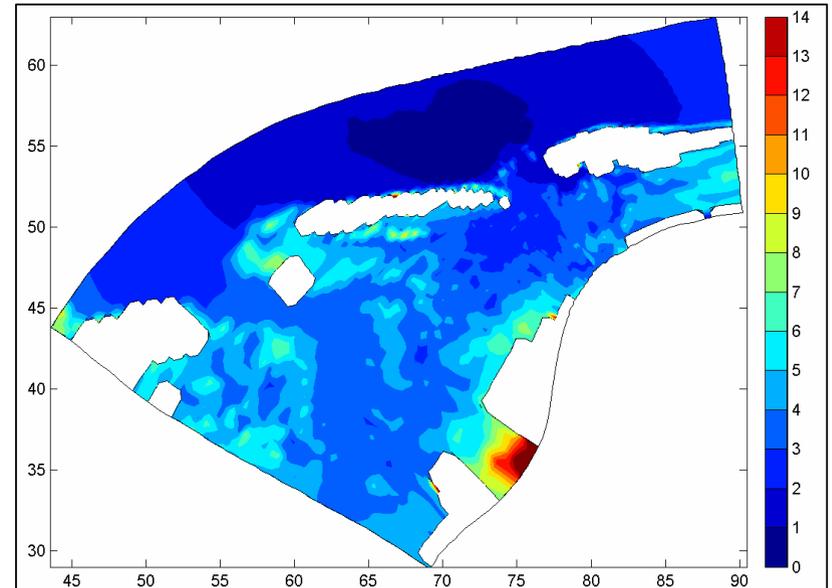


Hauptkomponentenanalyse der Wasserstände, 1962-1963

Räumliche Verteilung
der mit 5 Hauptkomponenten
rekonstruierten Varianz [%]

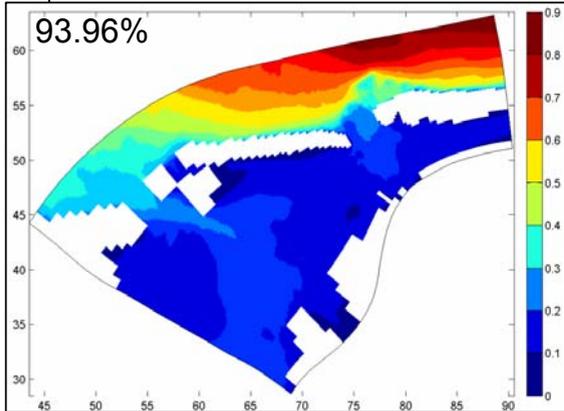


Standardabweichung der Differenzen [cm]
zwischen den D3D-Ergebnissen
und den mit 5 Hauptkomponenten
rekonstruierten Zeitreihen

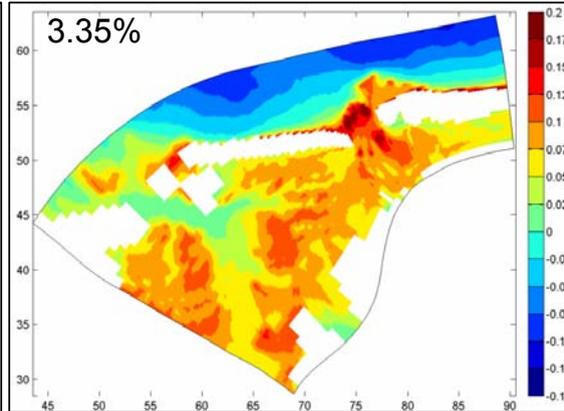


Hauptkomponentenanalyse der sign. Wellenhöhen, 1962-1963

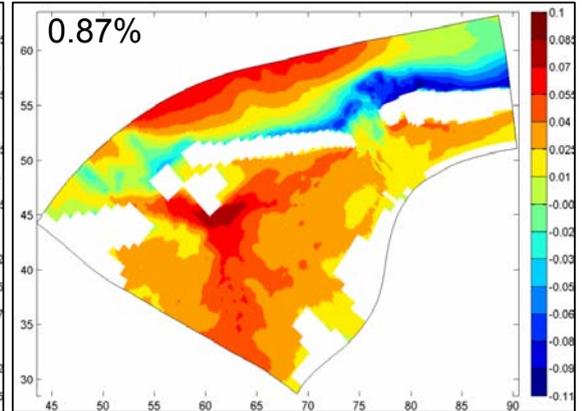
Muster 1



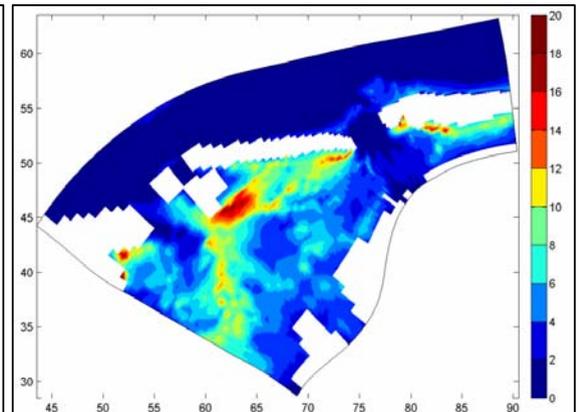
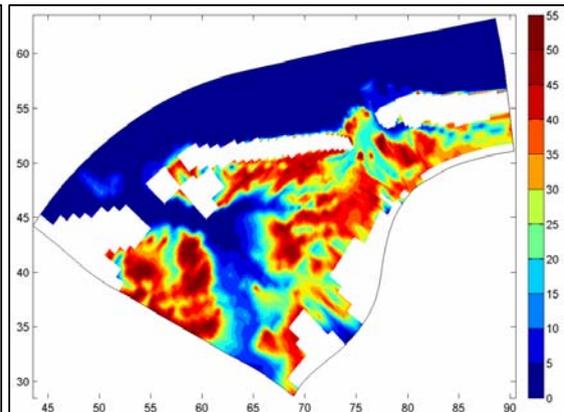
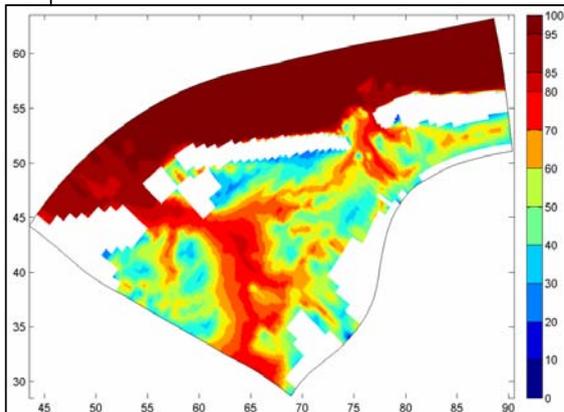
Muster 2



Muster 3

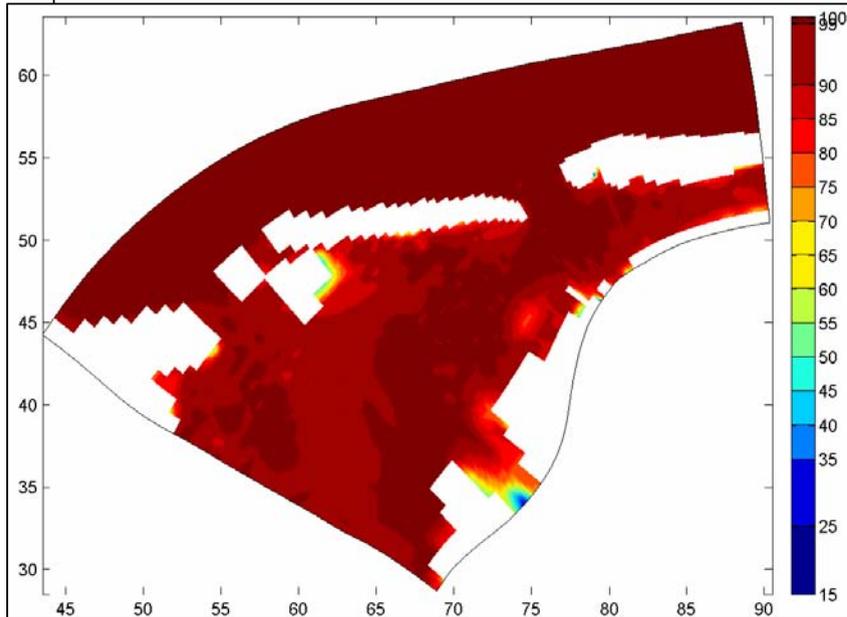


räumliche Verteilung des Anteils an der Varianz [%]

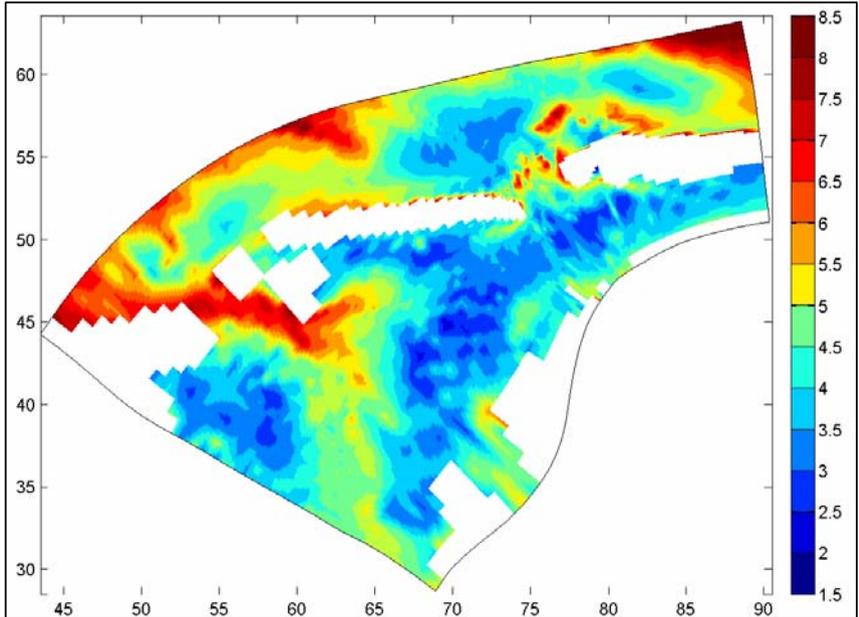


Hauptkomponentenanalyse der sign. Wellenhöhen, 1962-1963

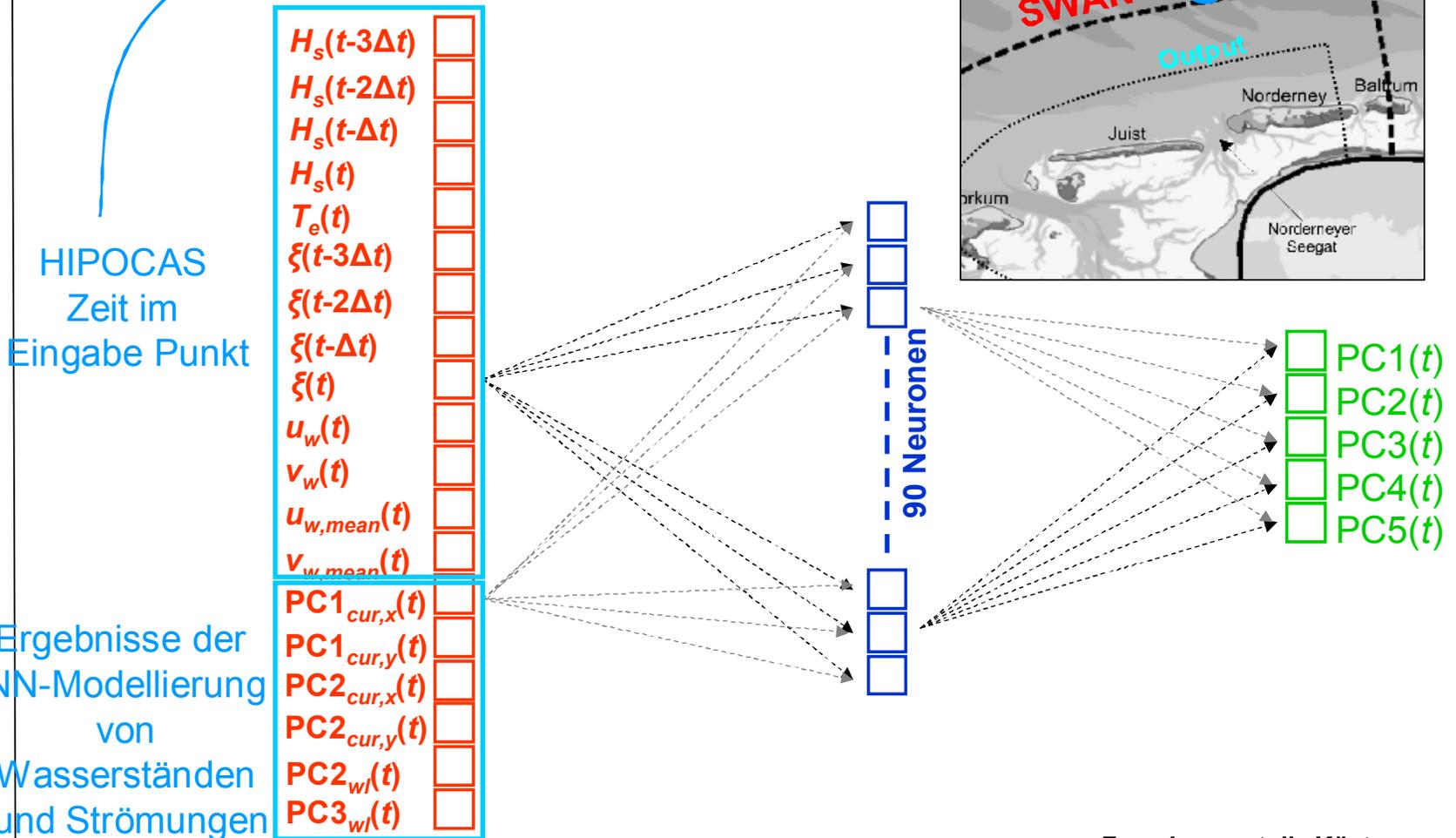
Räumliche Verteilung
der mit 5 Hauptkomponenten
rekonstruierten Varianz [%]



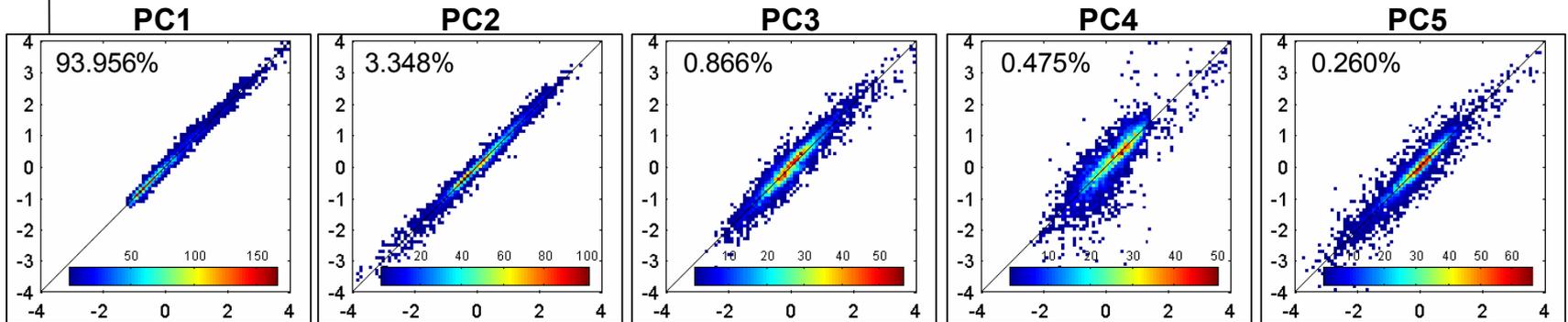
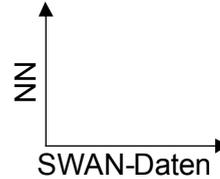
Standardabweichung der Differenzen [cm]
zwischen den SWAN-Ergebnissen
und den mit 5 Hauptkomponenten
rekonstruierten Zeitreihen



NN-Modellierung von signifikanten Wellenhöhen



NN-Modellierung von signifikanten Wellenhöhen

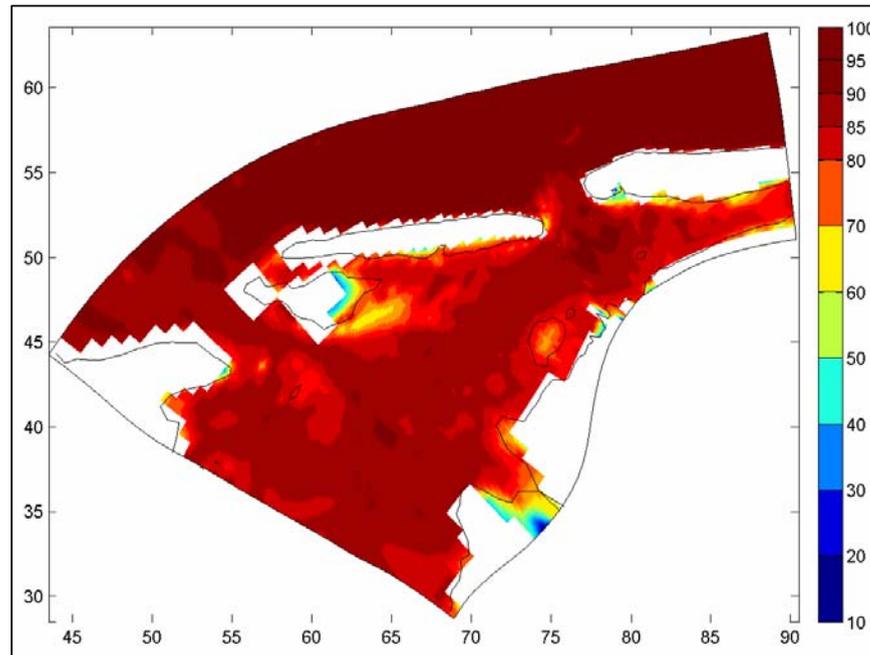


	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Korrelationskoeffizient [%]	99.49	98.97	96.37	88.10	95.01
Standardabw. der Differenzen	0.111	0.141	0.266	0.461	0.299
Mittlere Differenz	0.007	0.000	0.001	0.025	0.006

Rekonstruktion der signifikanten Wellenhöhen aus dem Jahr 1985

Vergleich zwischen den SWAN-Ergebnissen
und mit NN rekonstruierten Zeitreihen

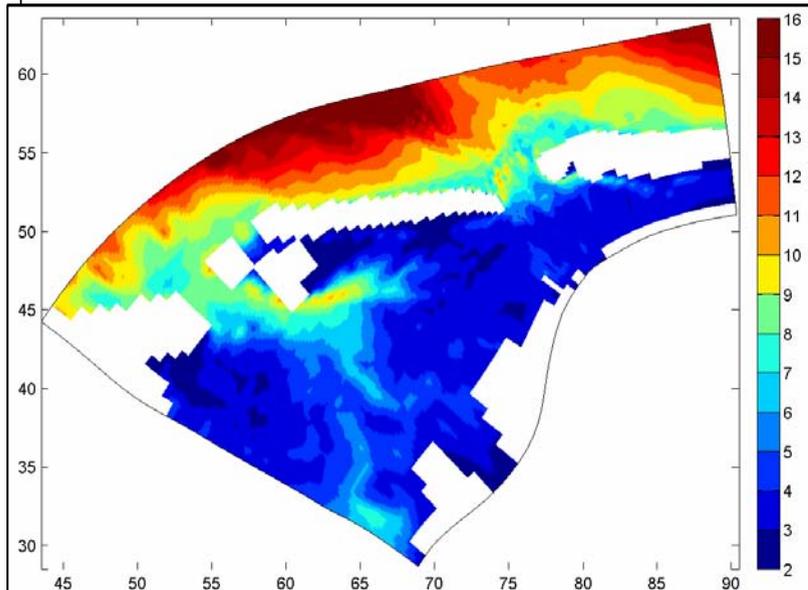
Rekonstruierte Varianz [%]



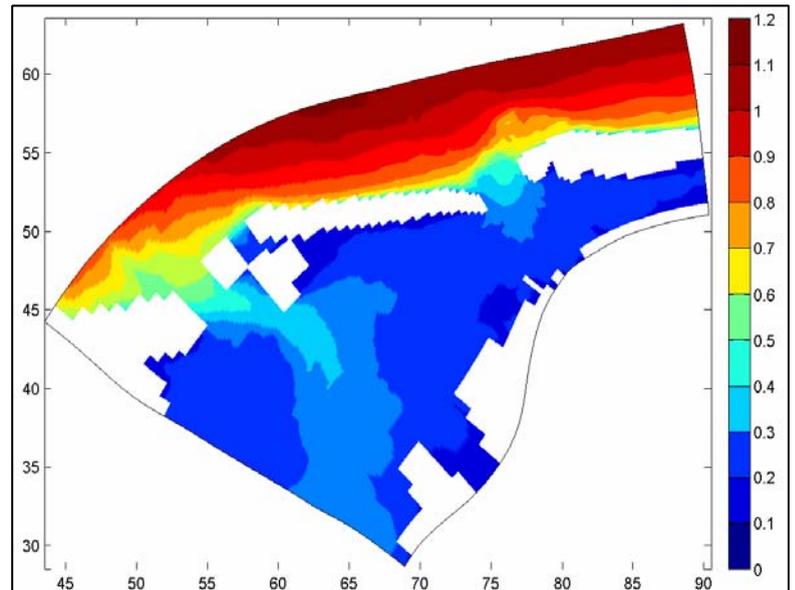
Rekonstruktion der signifikanten Wellenhöhen aus dem Jahr 1985

Vergleich zwischen den SWAN-Ergebnissen
und mit NN rekonstruierten Zeitreihen

Standardabweichung der Differenzen [cm]



Mittlere signifikante Wellenhöhen [m]

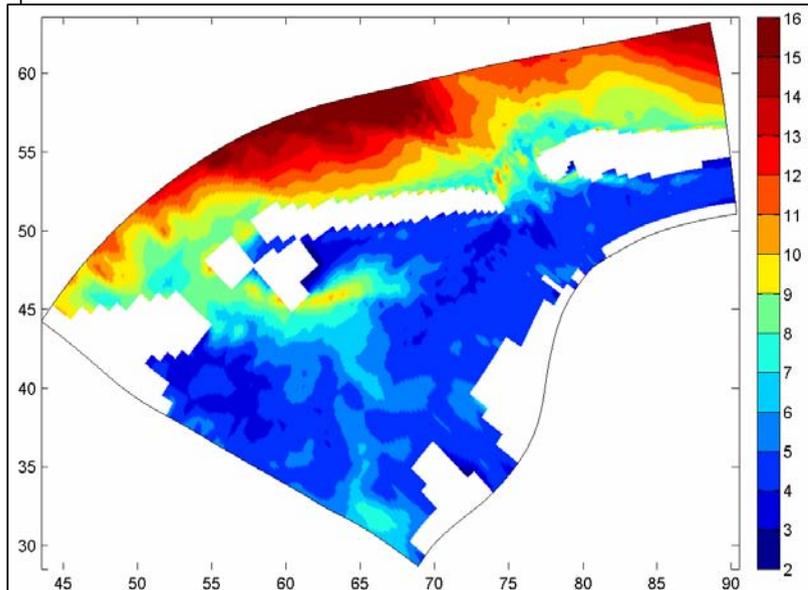


ngs überflutete Plätze

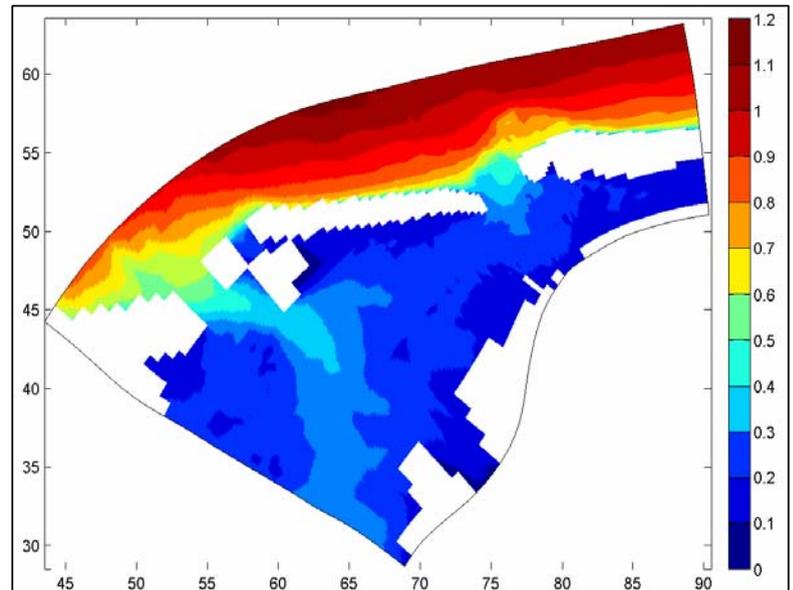
Rekonstruktion der signifikanten Wellenhöhen aus dem Jahr 1985

Vergleich zwischen den SWAN-Ergebnissen
und mit NN rekonstruierten Zeitreihen

Standardabweichung der Differenzen [cm]

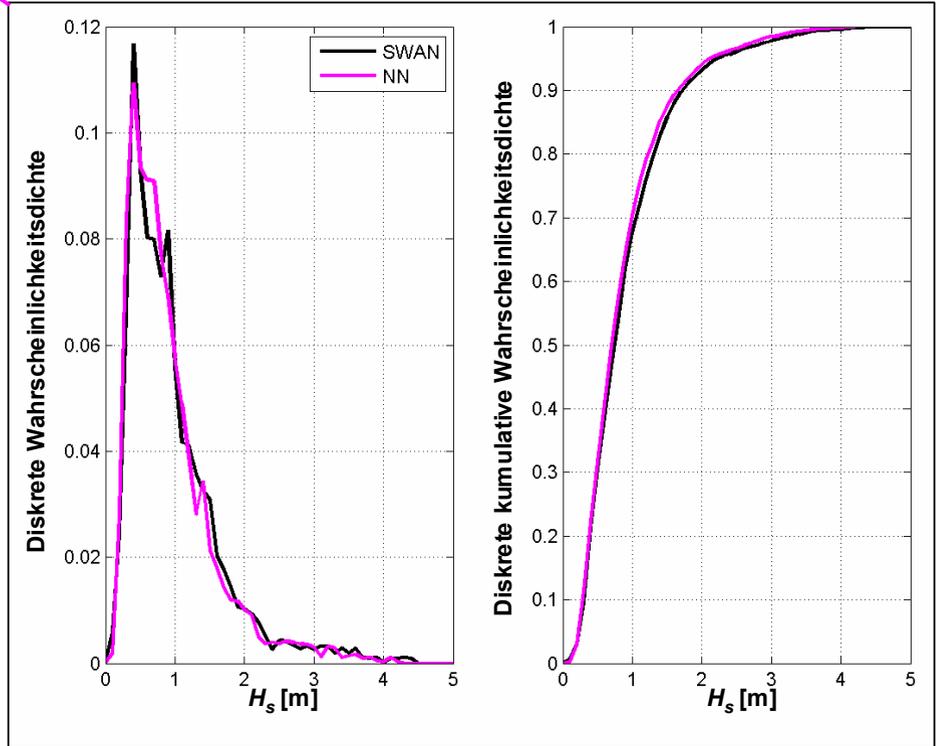
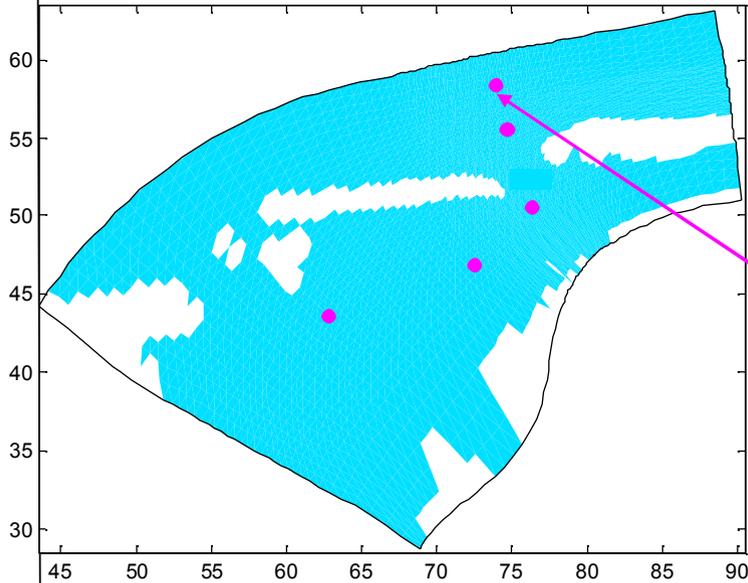


Mittlere signifikante Wellenhöhen [m]

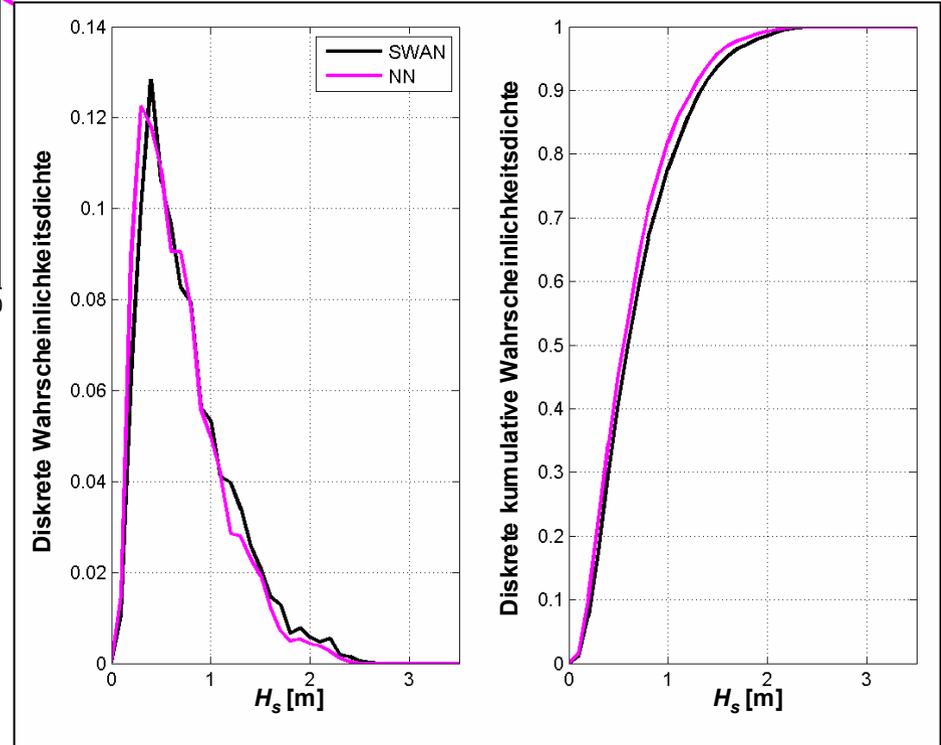
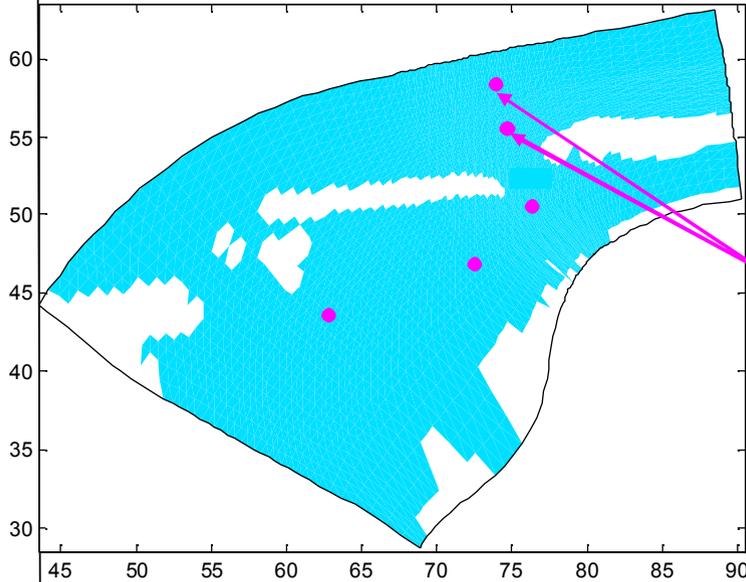


gesamter Datensatz

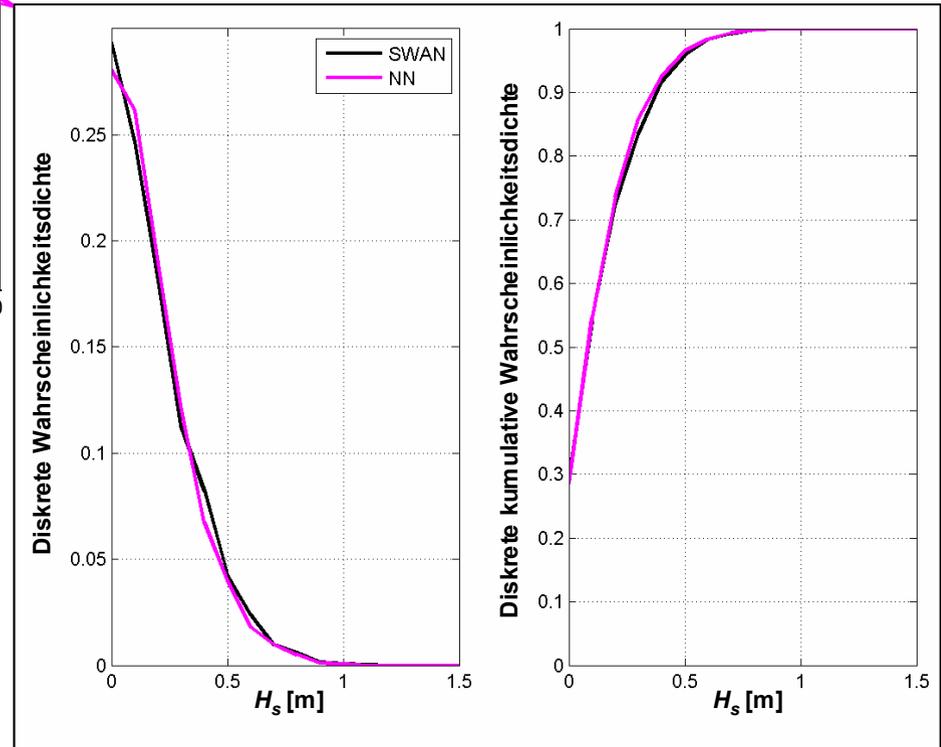
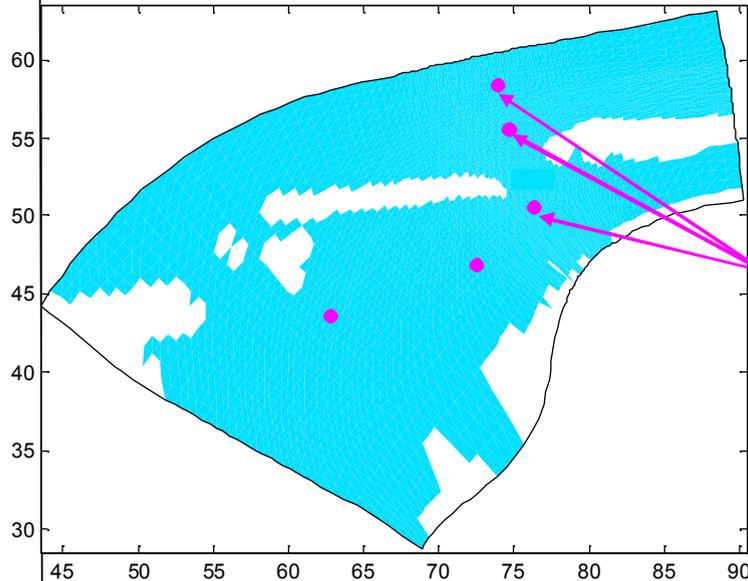
Rekonstruktion der signifikanten Wellenhöhen aus dem Jahr 1985



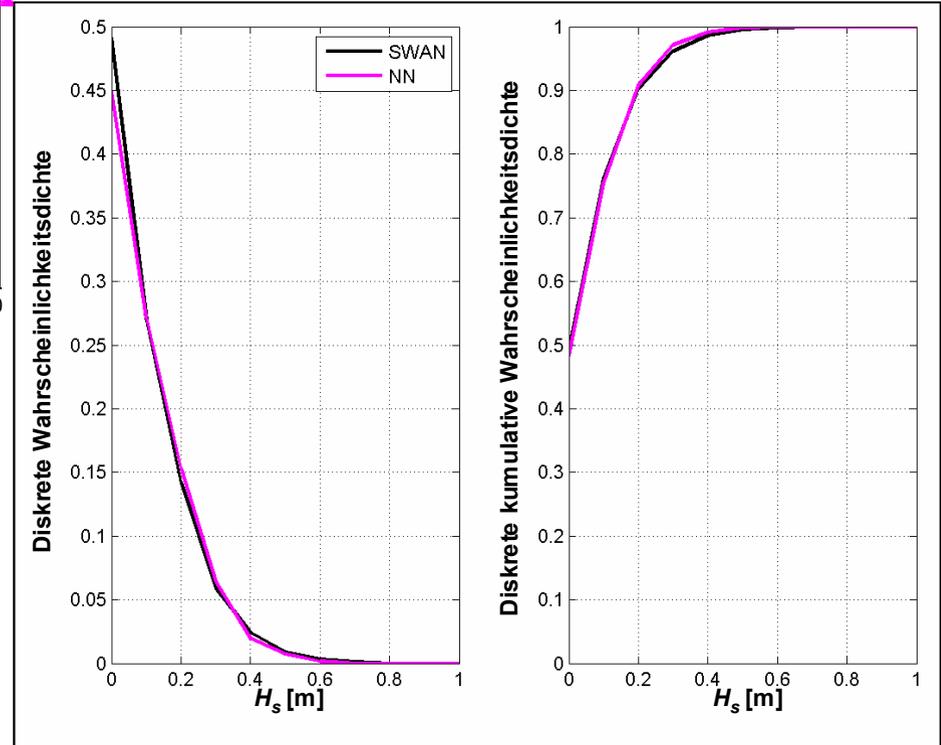
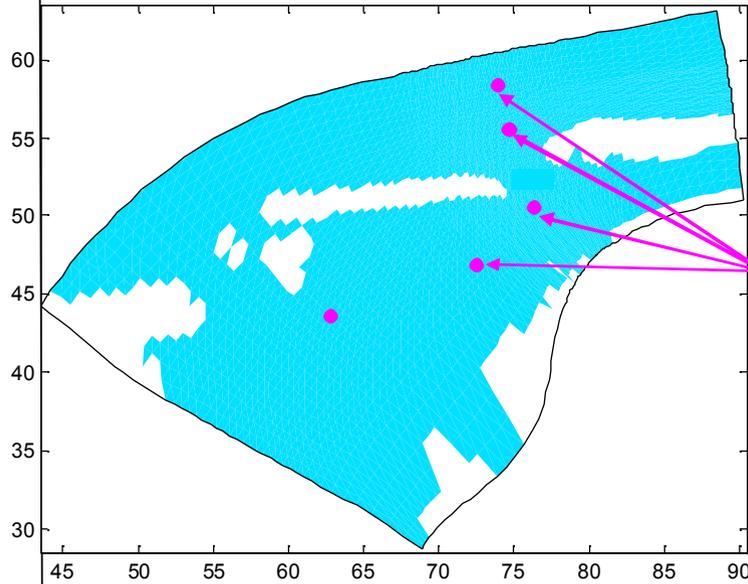
Rekonstruktion der signifikanten Wellenhöhen aus dem Jahr 1985



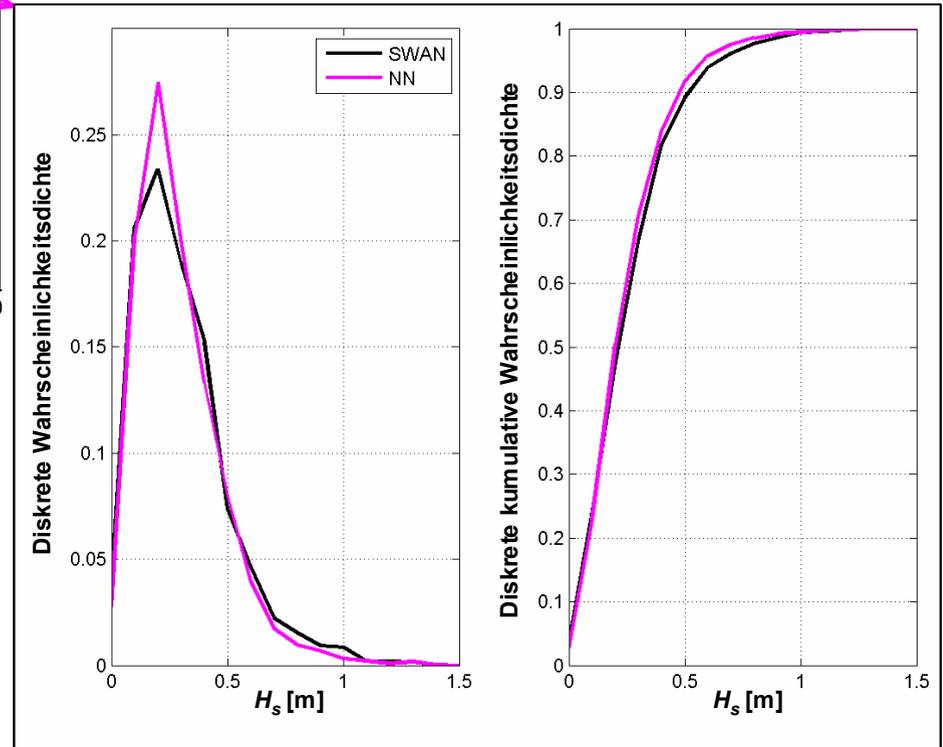
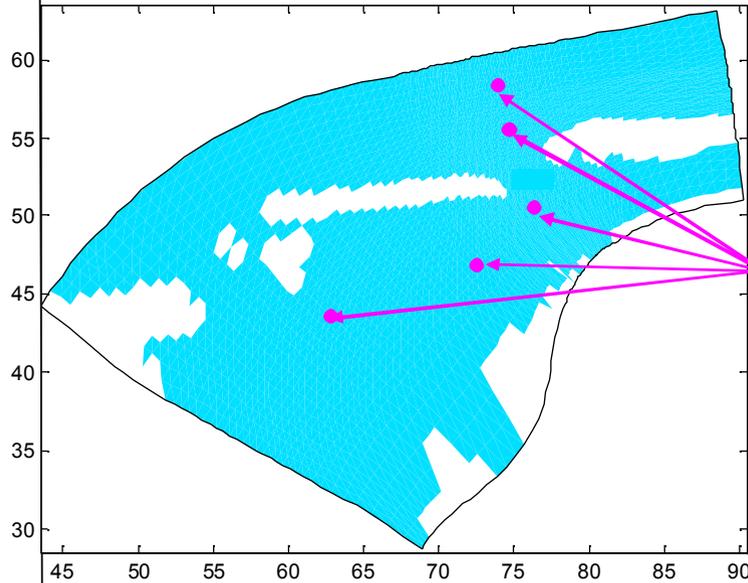
Rekonstruktion der signifikanten Wellenhöhen aus dem Jahr 1985



Rekonstruktion der signifikanten Wellenhöhen aus dem Jahr 1985



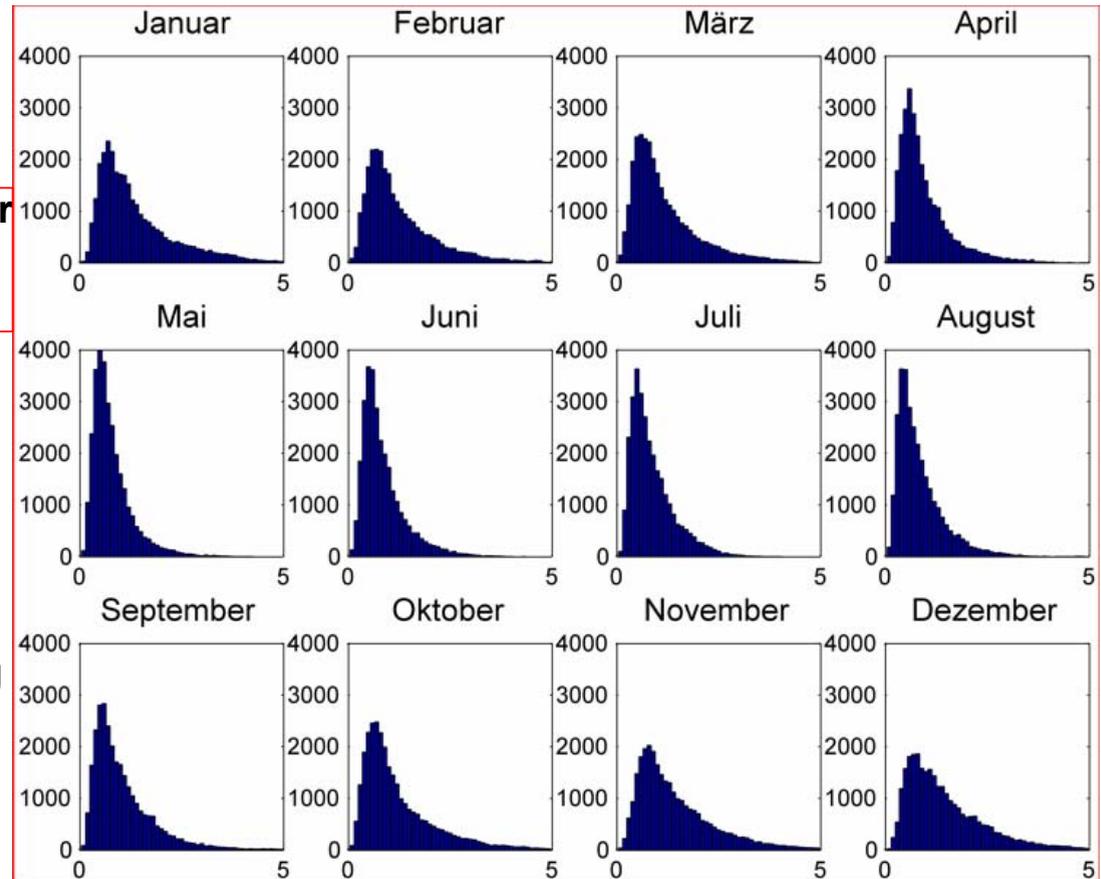
Rekonstruktion der signifikanten Wellenhöhen aus dem Jahr 1985



Mögliche Anwendungen der Daten:

Morphodyn. Modellierung, z.B.:

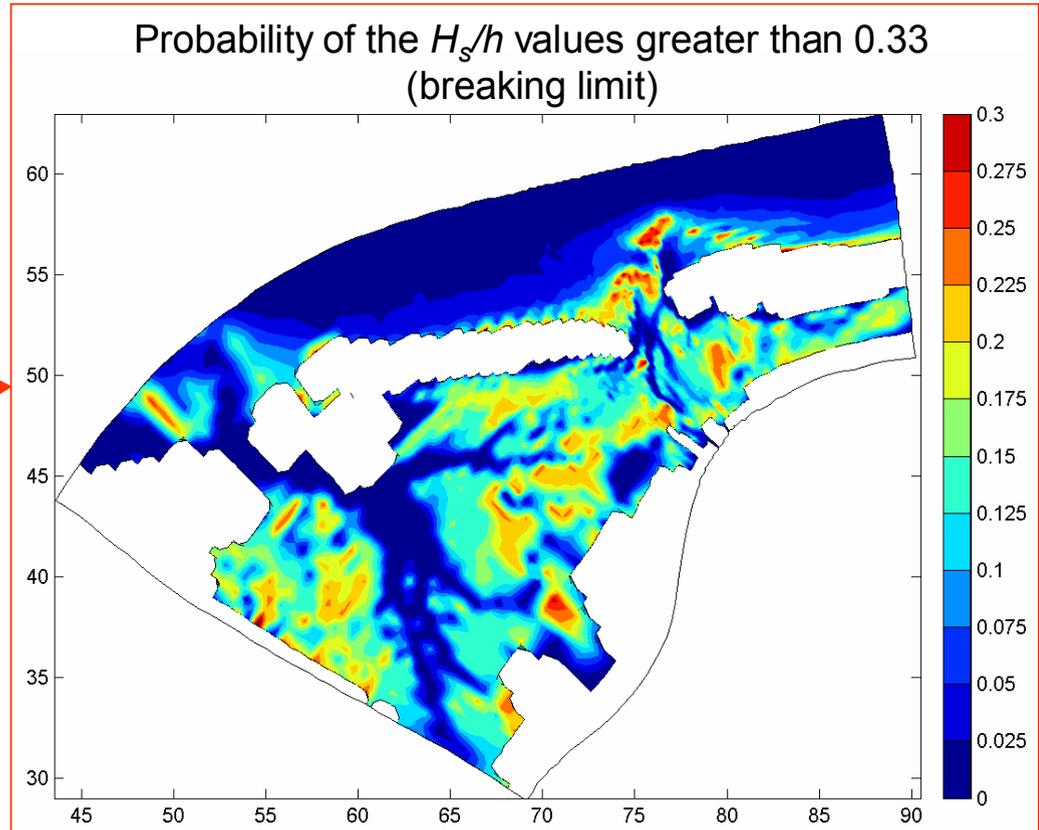
- input Daten in kompakter Form (von PCA)
- **statistische Verteilung der hydrodynamischen und Seegangs-Parameter**
- Statistik v. H_s/h
- Morph. Auswirkung (CERC Formulierung)
- andere Parameter für morphodyn. Modellierung



Mögliche Anwendungen der Daten:

Morphodyn. Modellierung, z.B.:

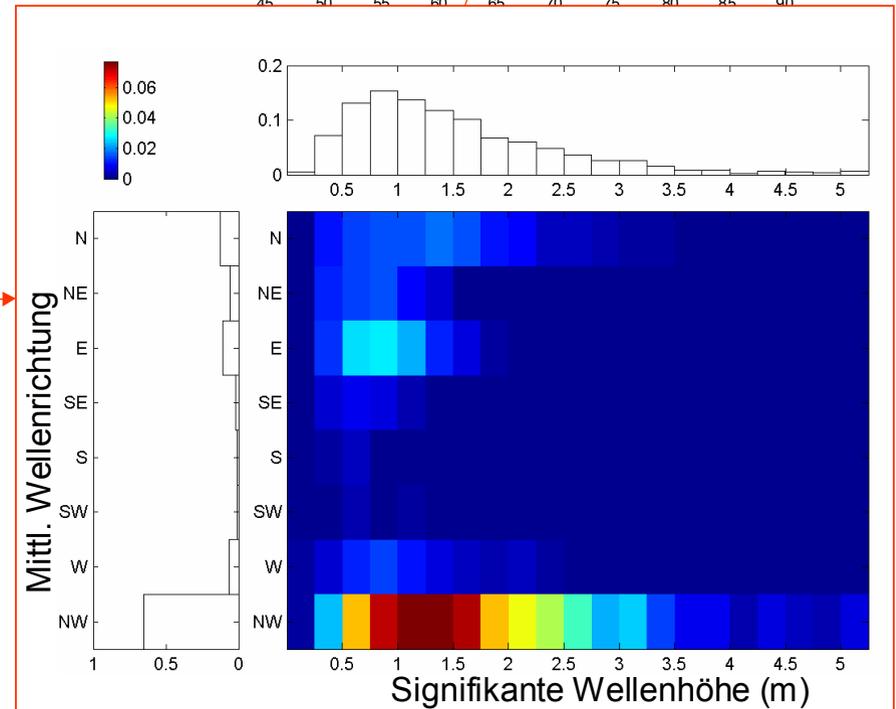
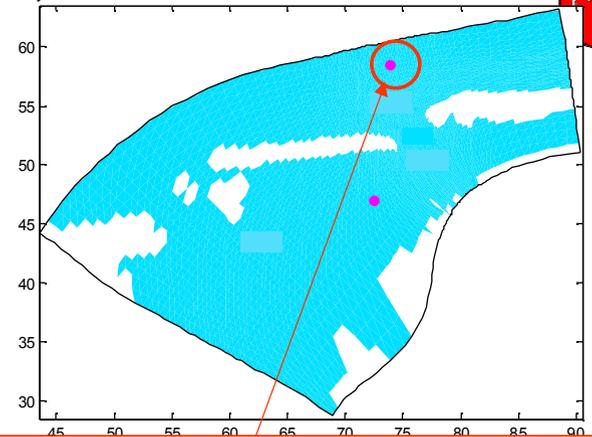
- input Daten in kompakter Form (von PCA)
- statistische Verteilung der hydrodynamischen und Seegangs-Parameter
- **Statistik v. H_s/h**
- Morph. Auswirkung (CERC Formulierung)
- andere Parameter für morphodyn. Modellierung



Mögliche Anwendungen der Daten:

Morphodyn. Modellierung, z.B.:

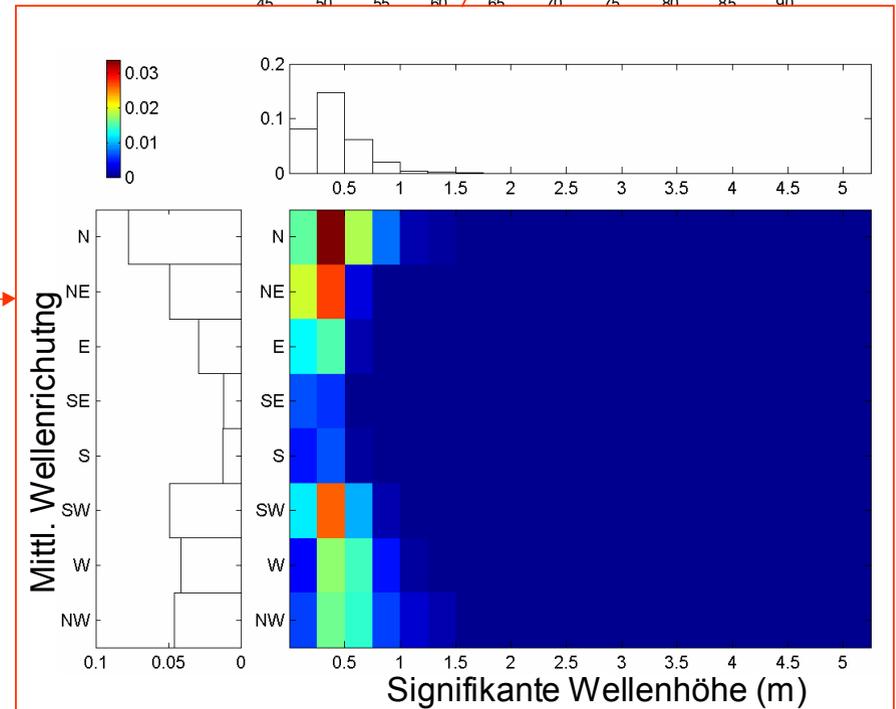
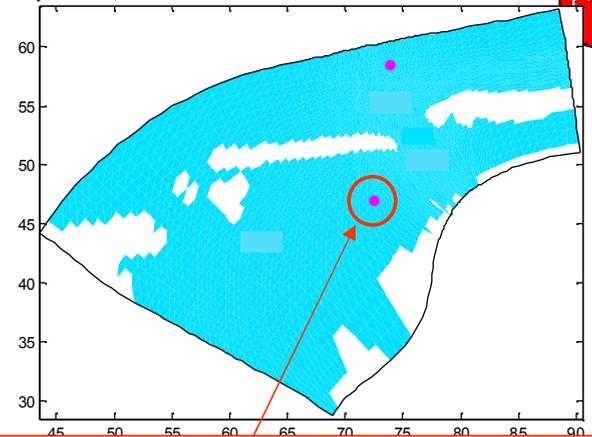
- input Daten in kompakter Form (von PCA)
- statistische Verteilung der hydrodynamischen und Seegangs-Parameter
- Statistik v. H_s/h
- **Morph. Auswirkung (CERC Formulierung)**
- andere Parameter für morphodyn. Modellierung



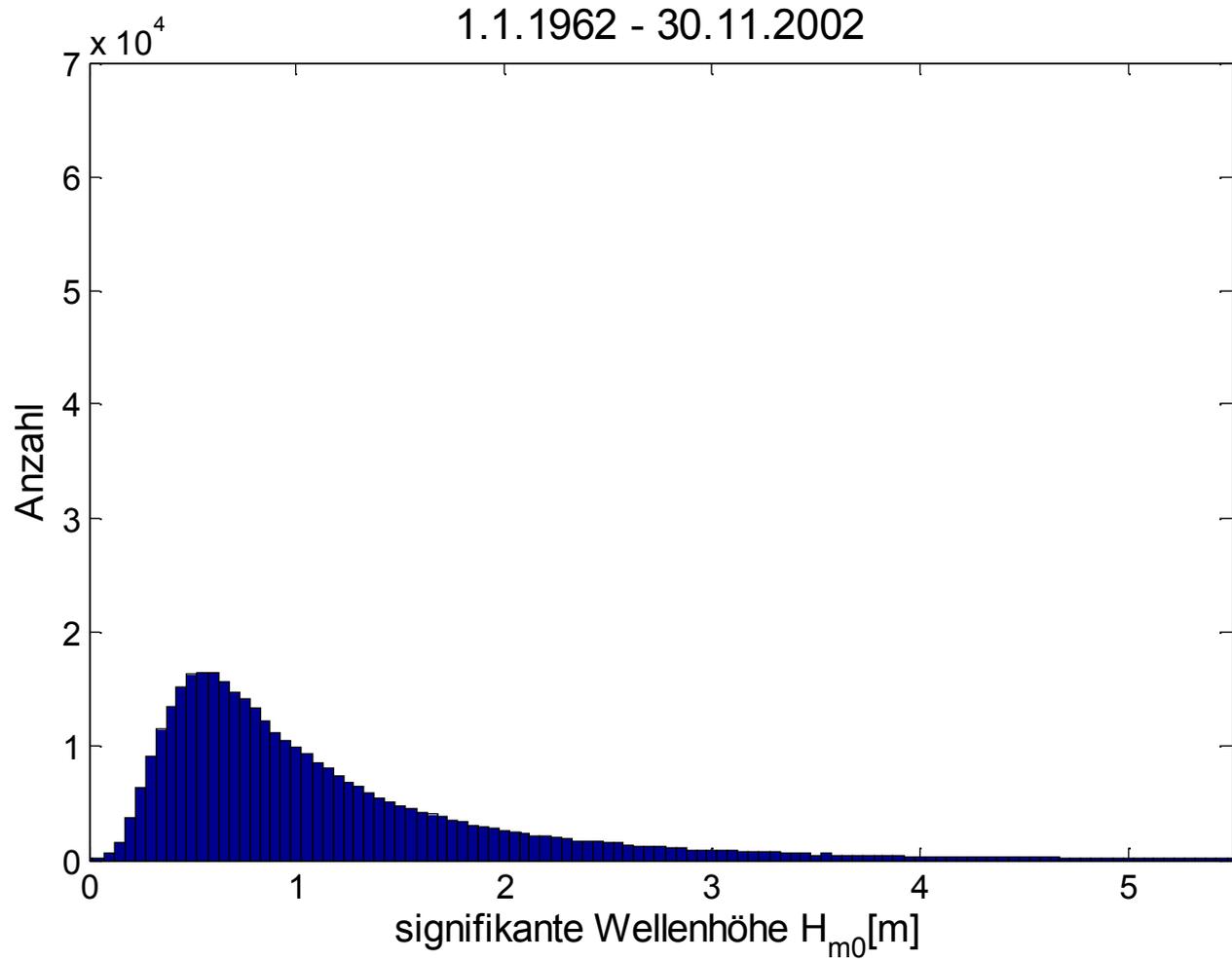
Mögliche Anwendungen der Daten:

Morphodyn. Modellierung, z.B.:

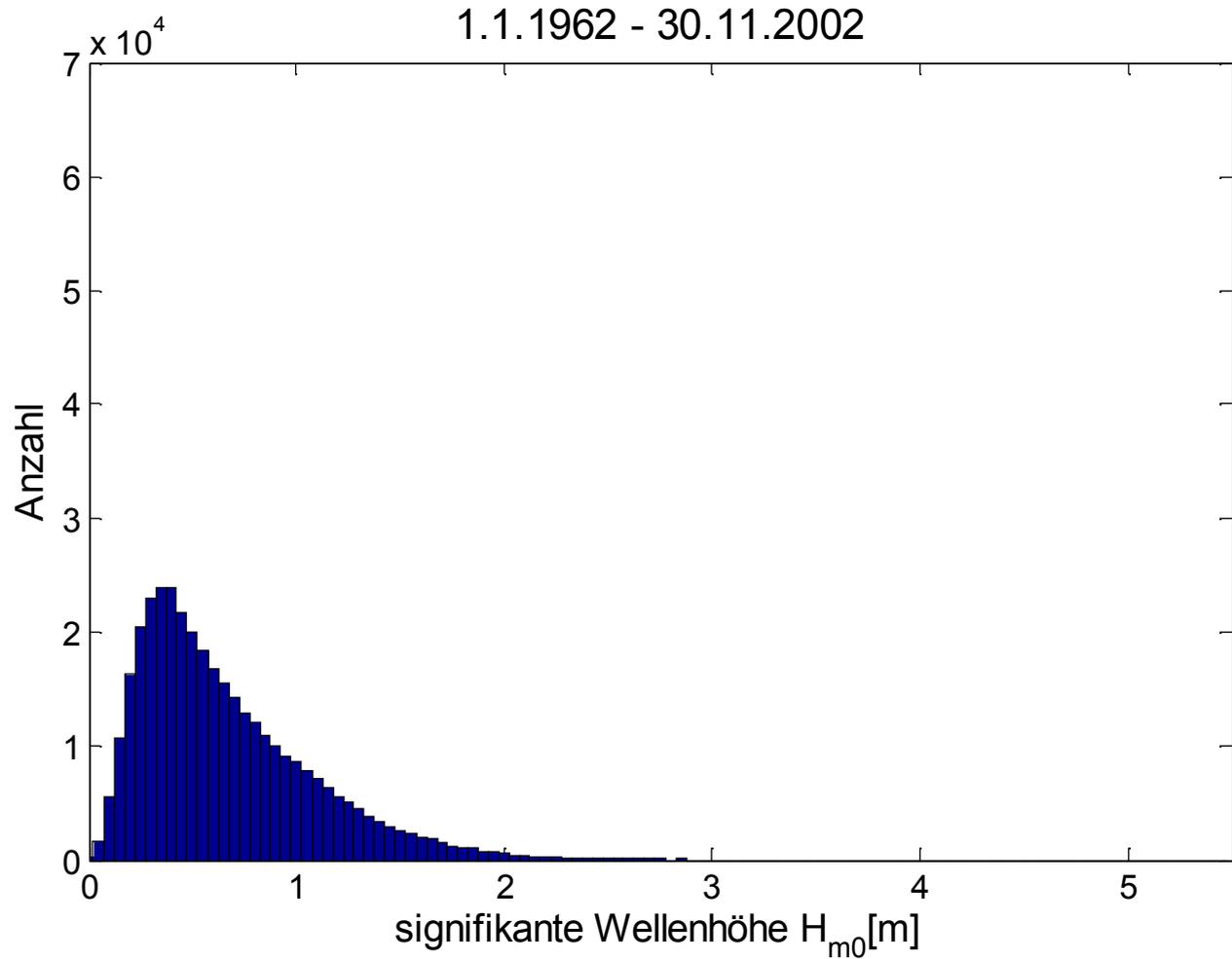
- input Daten in kompakter Form (von PCA)
- statistische Verteilung der hydrodynamischen und Seegangs-Parameter
- Statistik v. H_s/h
- **Morph. Auswirkung (CERC Formulierung)**
- andere Parameter für morphodyn. Modellierung



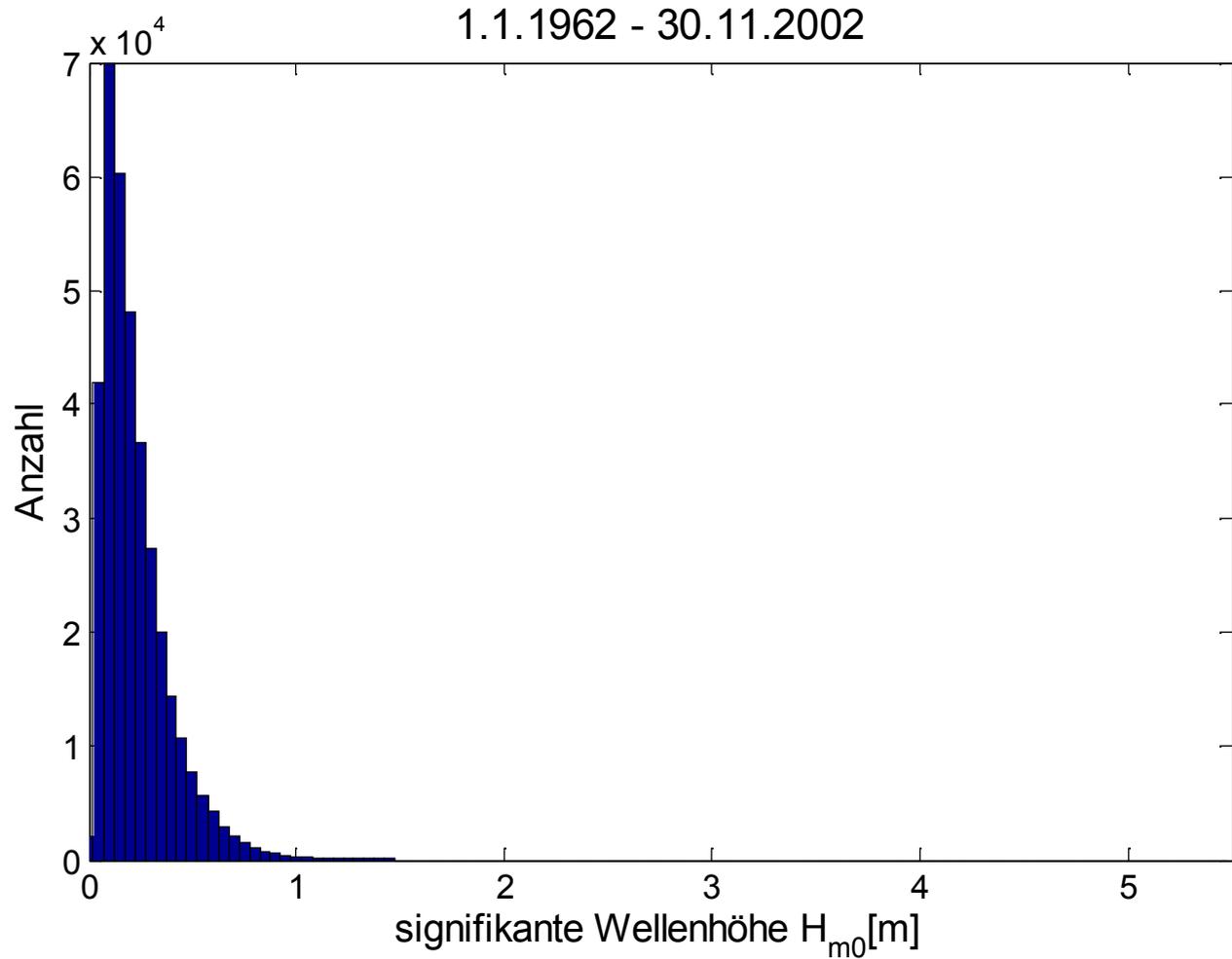
Station See



Station Vorstrand

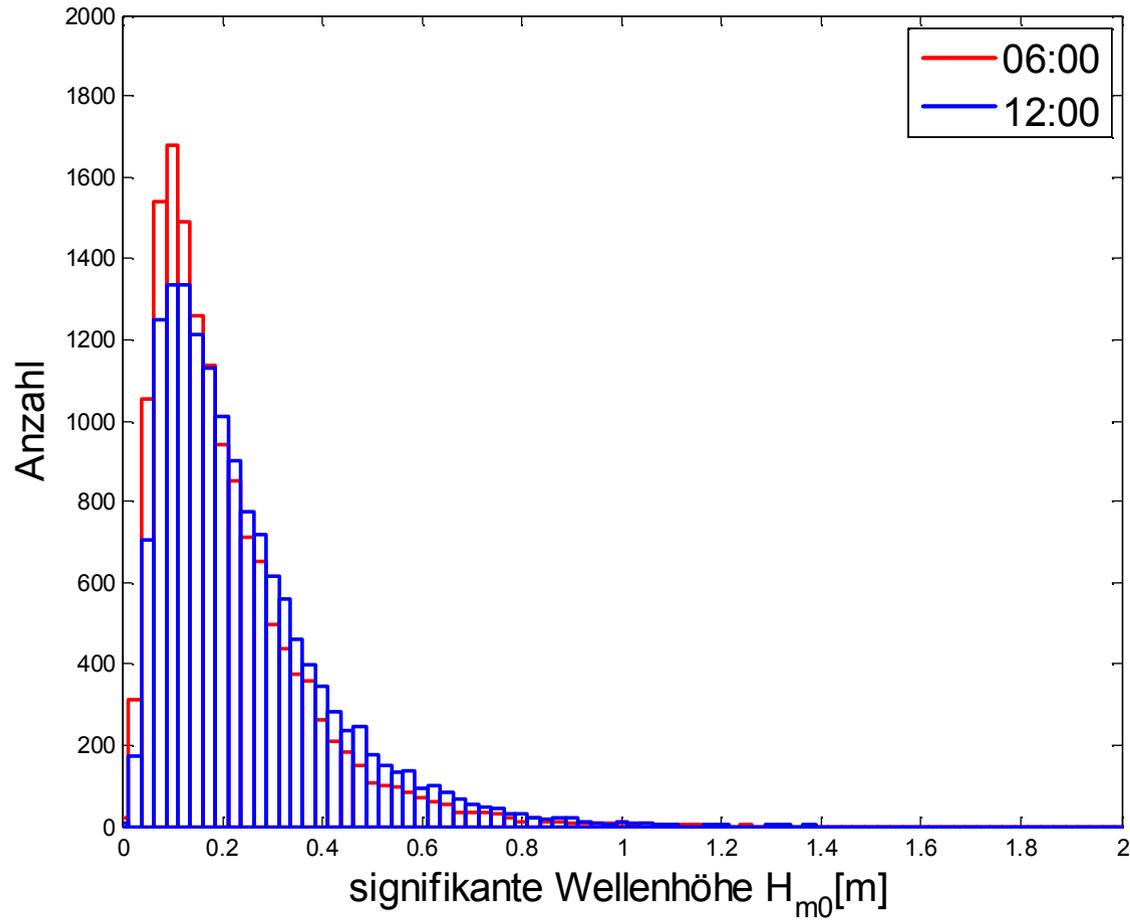


Station Osterriede



Station Osterriede

1.1.1962 - 30.11.2002



Nutzung (Eignung) von Moses-Daten für die Bestimmung des morphodynamisch wirksamen Seegang

1. Hauptkomponentenanalyse der für morphodynamischen Modellierung notwendigen Parameter (de Vriend et al. 1993)
2. Morphological impact (CERC 2002 und Elias et al 2006)
3. Relative Wellenhöhen (H_s/h)
4. Single representative wave – Method (Chesher und Miles, 1992), (Hirschhäuser und Zanke 1999)

Morphological Impact (CERC 2002 und Elias et al 2006)

Klasseneinteilung des Seegangs an einem Ort nach H_s , θ_m

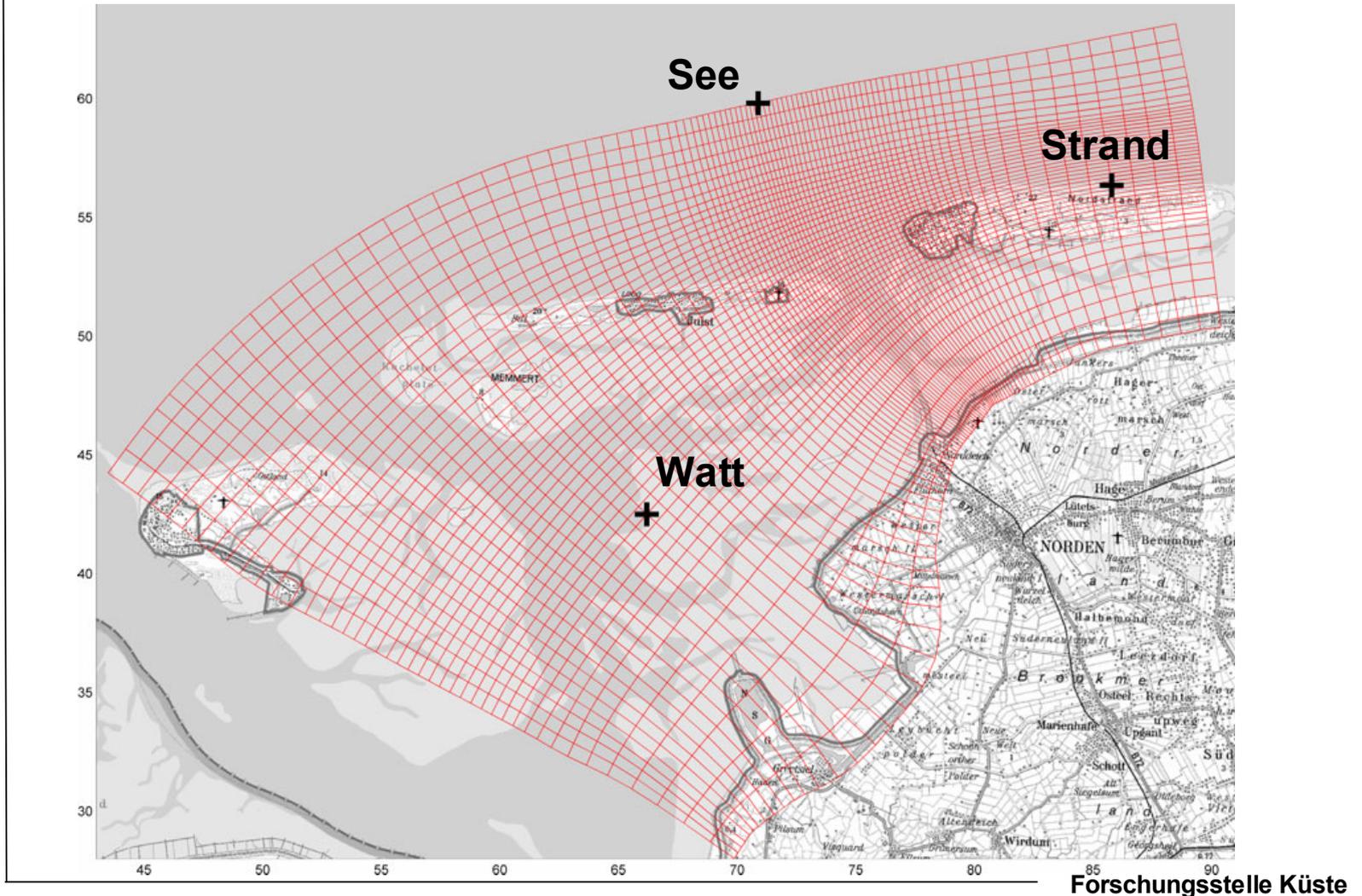
$$H_{mor} = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_{s,i}^k \right]^{\frac{1}{k}}$$

Volumensedimenttransport Q proportional zur k -ten Potenz von H_s

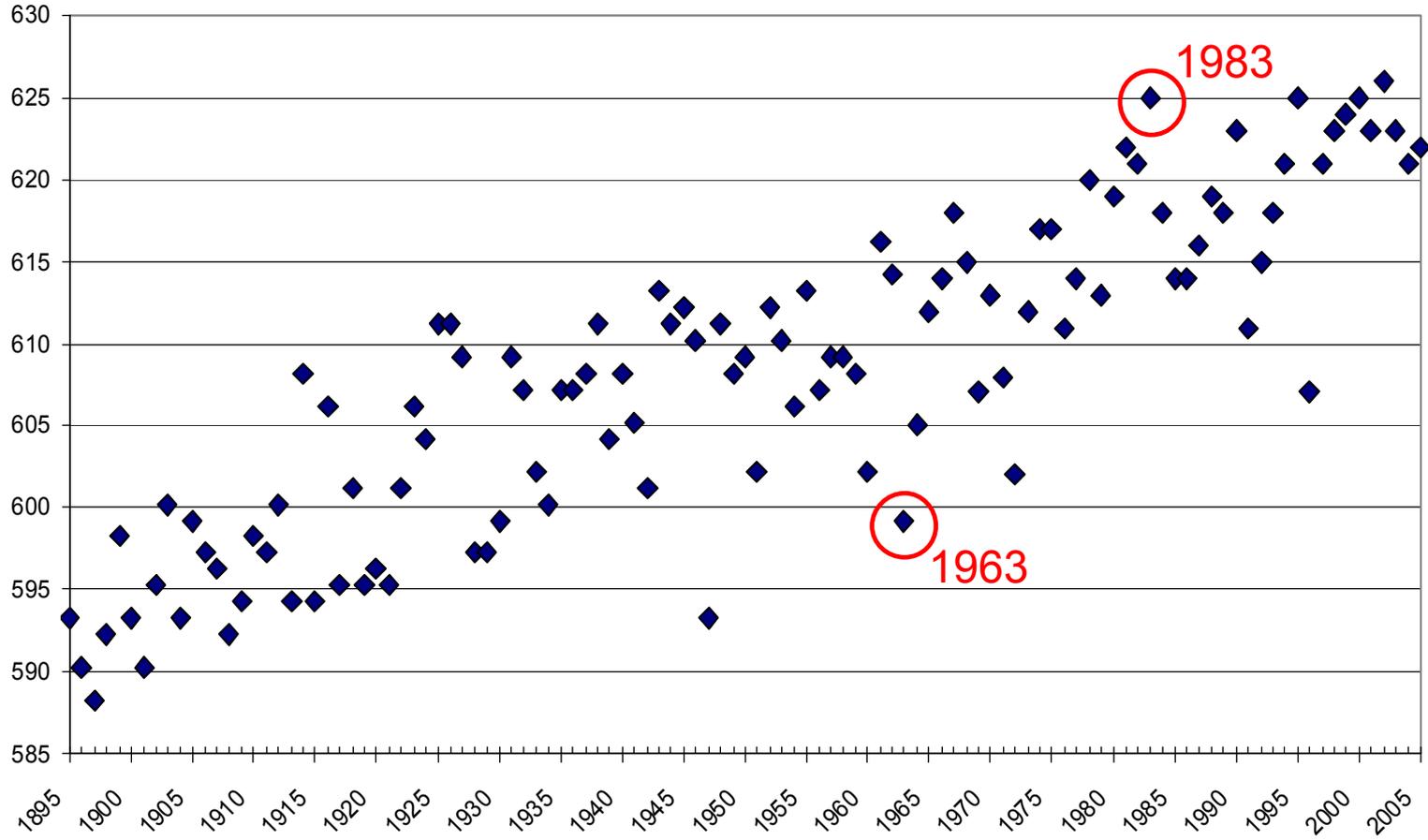
$$Q \sim H_s^k, \text{ mit } k=5/2$$

MI = Produkt aus H_{mor} und und Eintrittswahrscheinlichkeit der Klasse

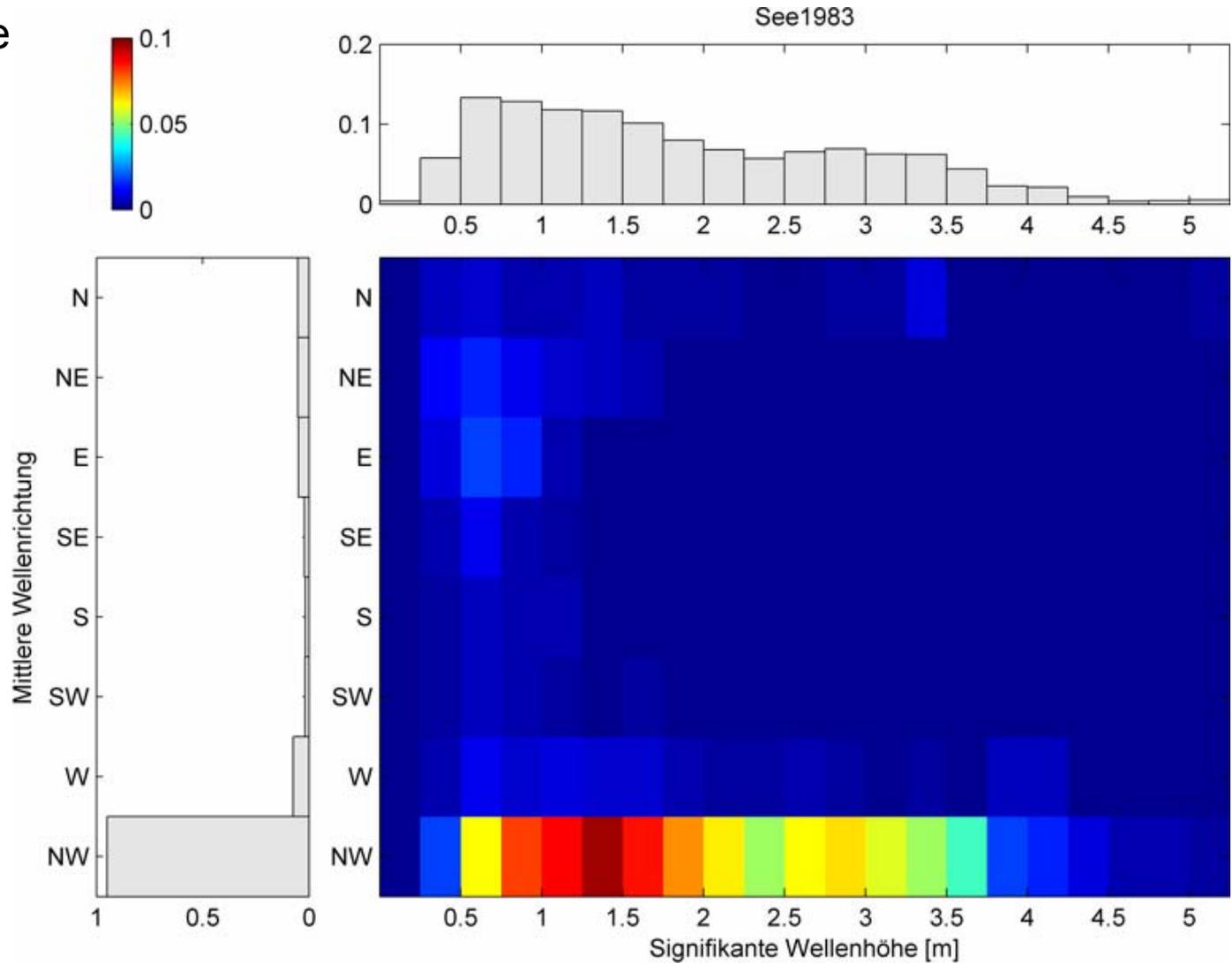
Ausgabegitterpunkte



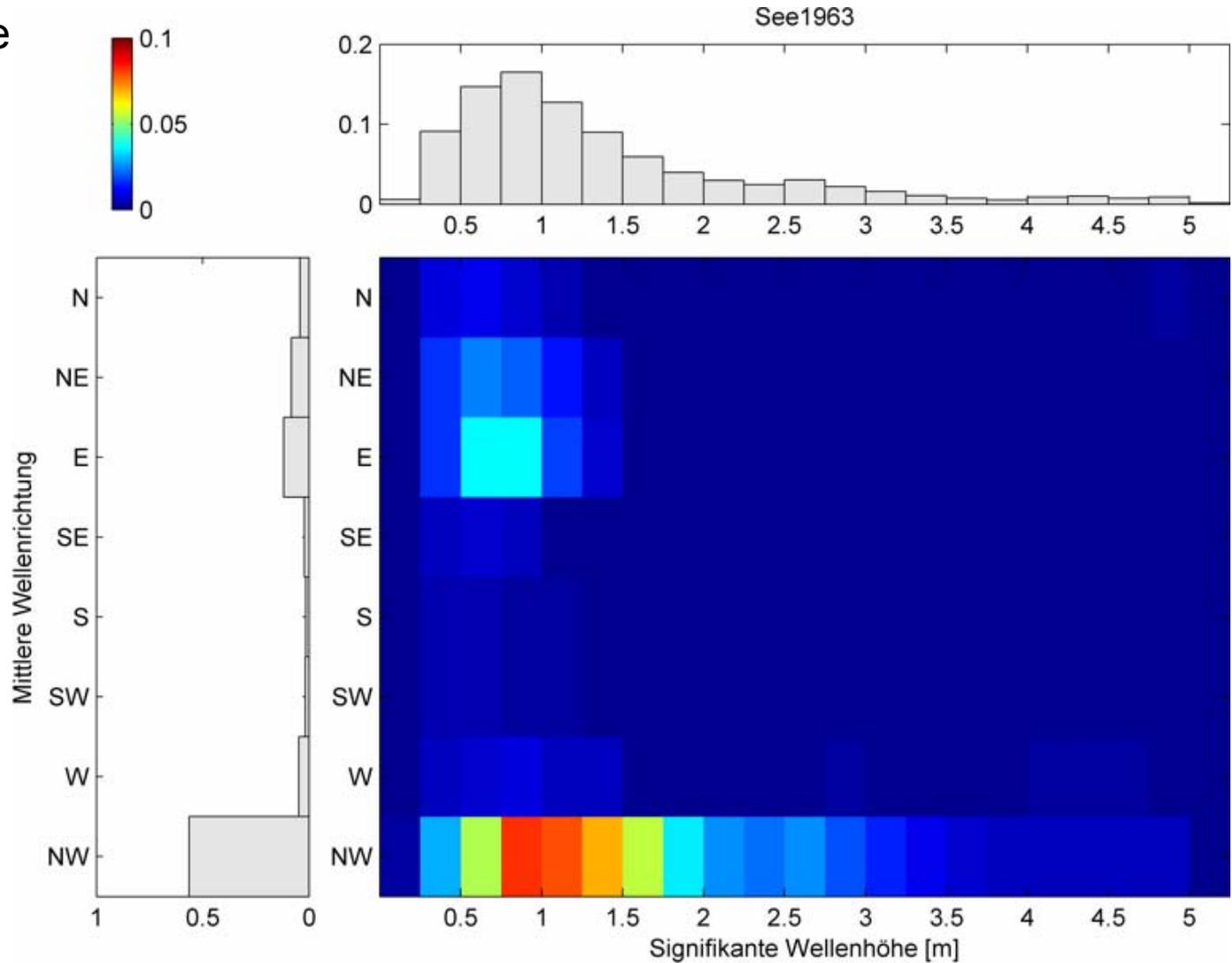
MTHW Norderney



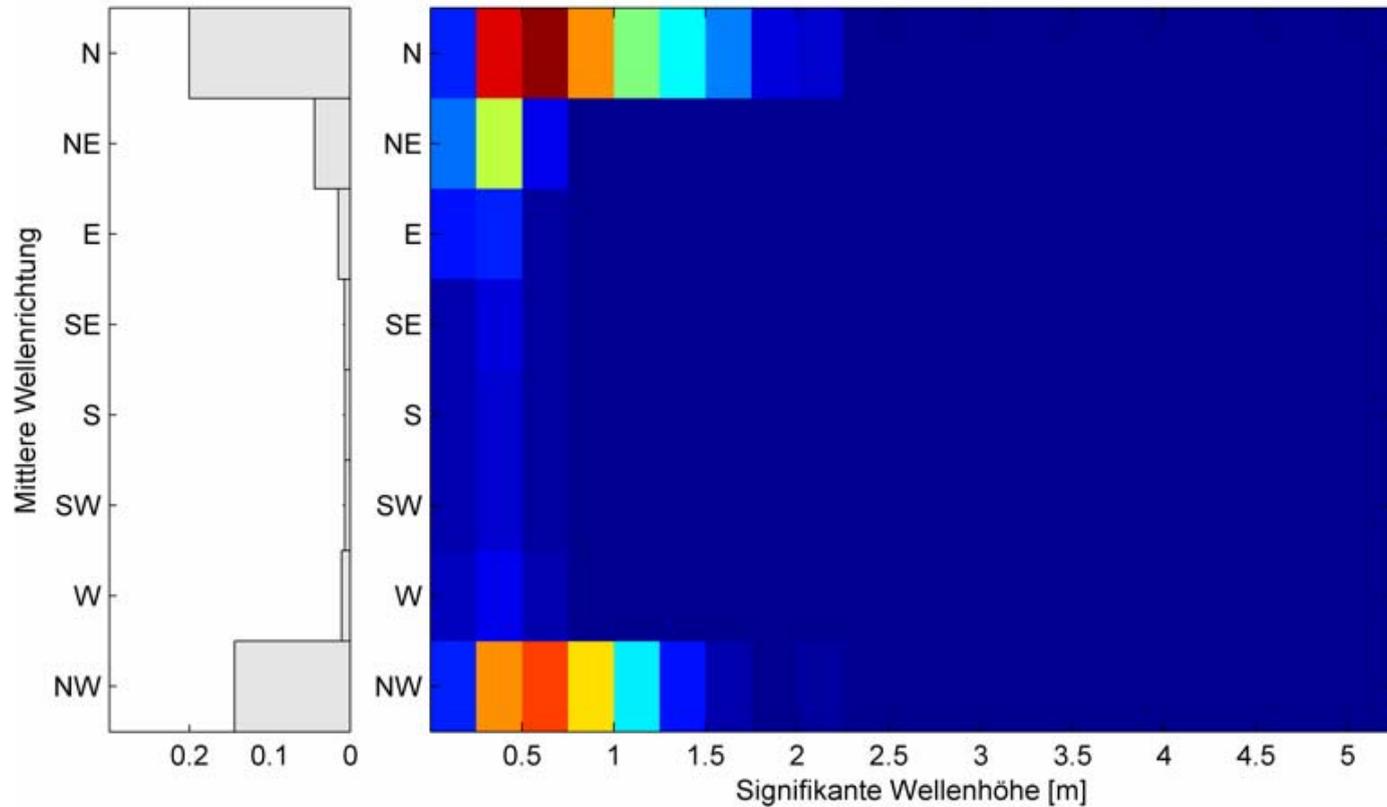
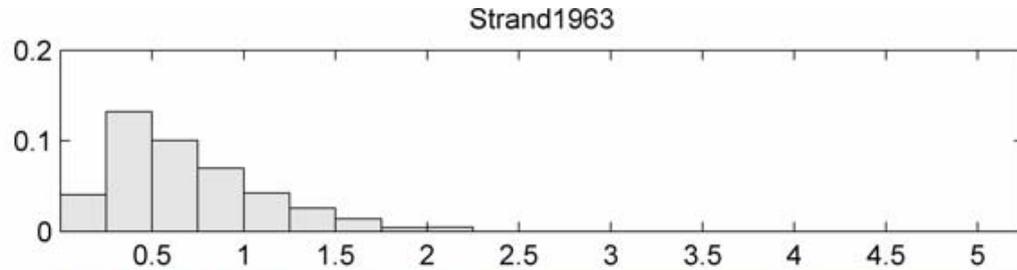
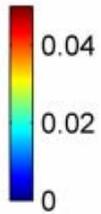
See



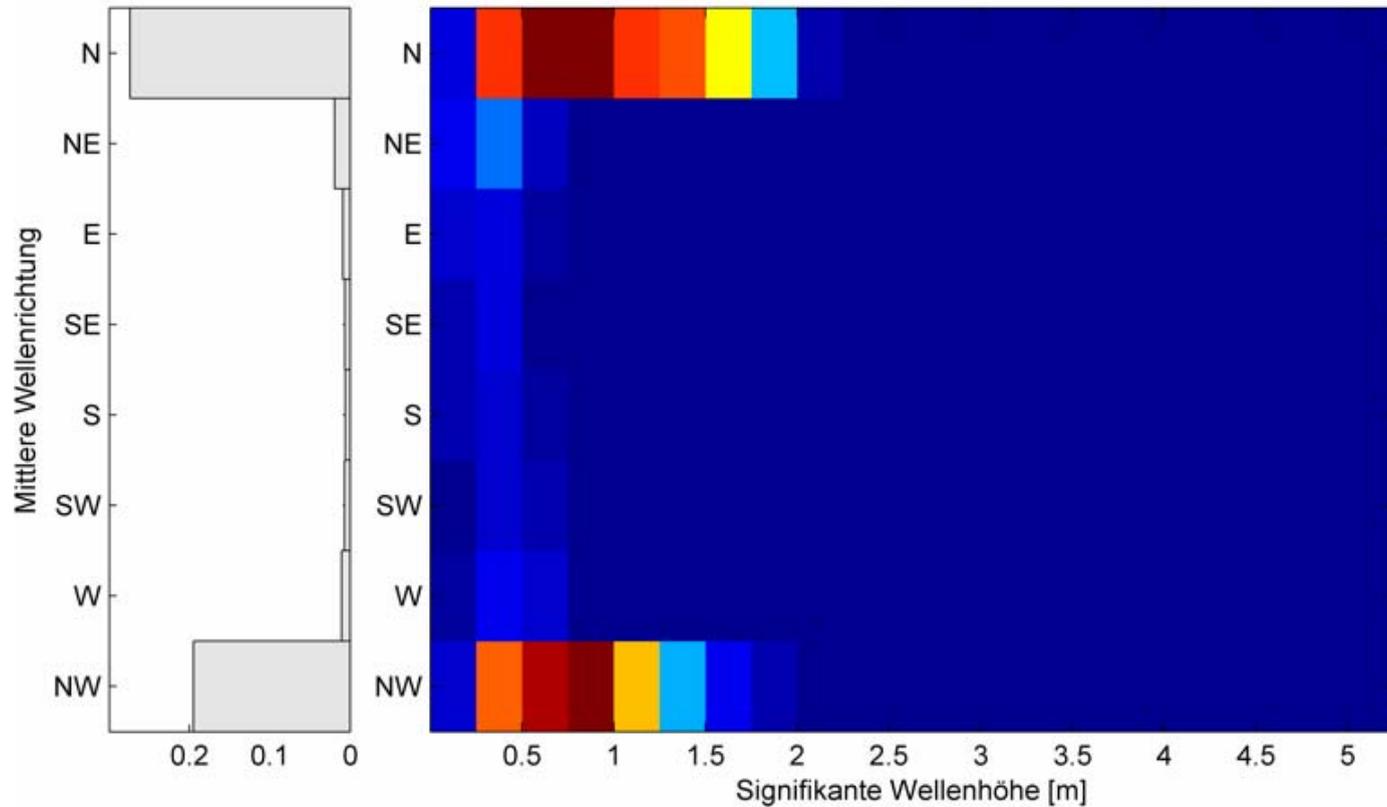
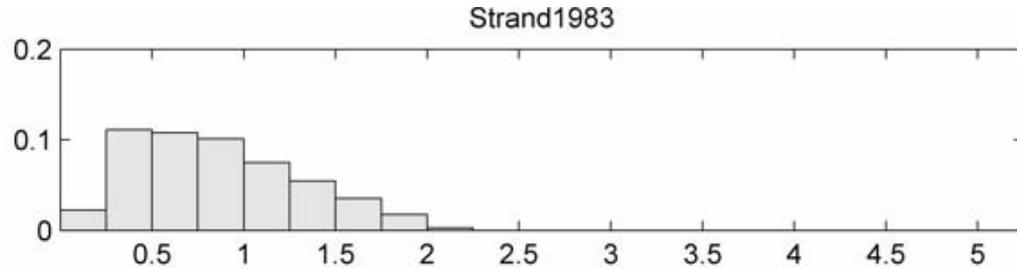
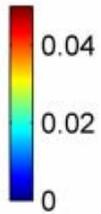
See



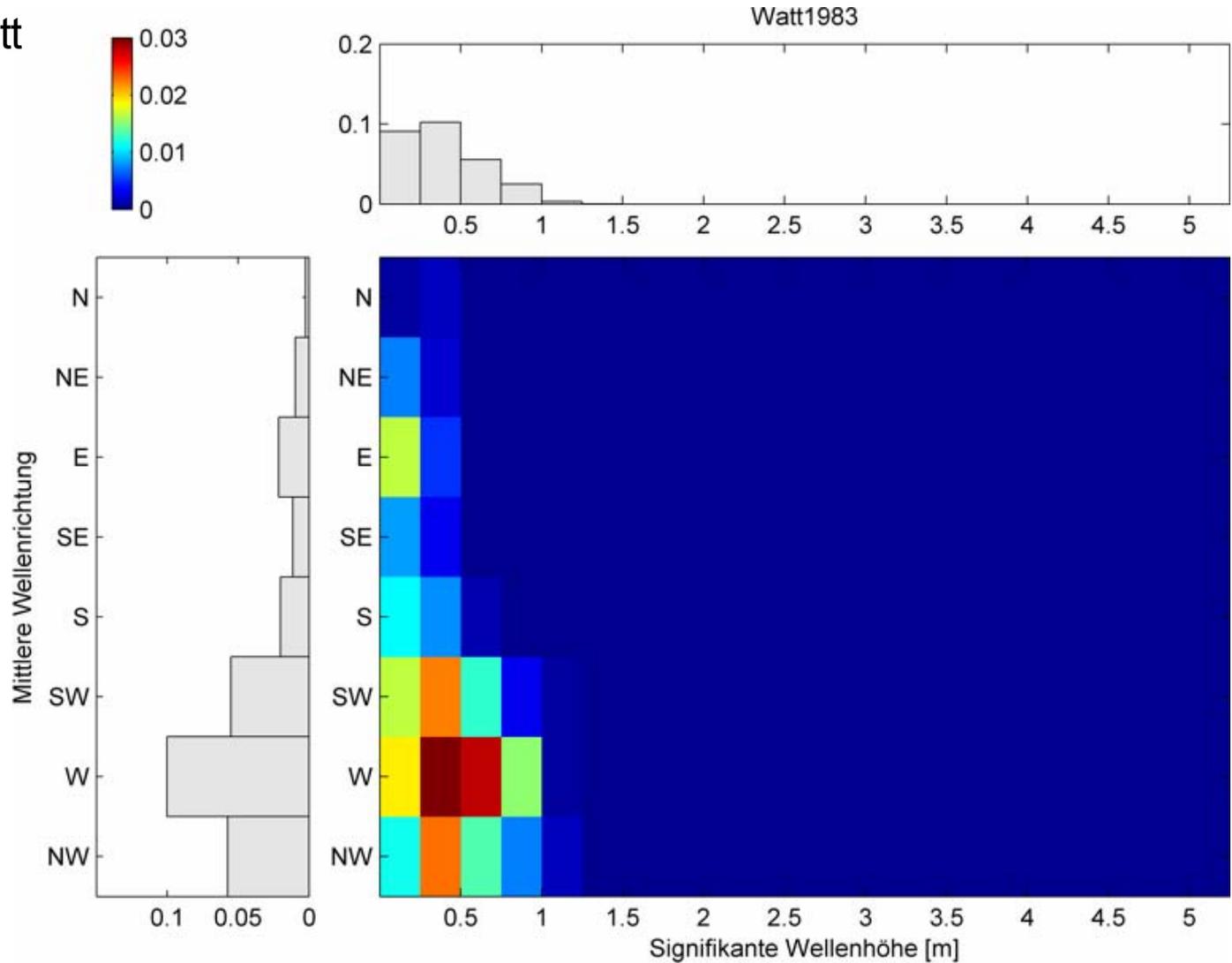
Strand



Strand



Watt



Relative Wellenhöhen (H_s/h)

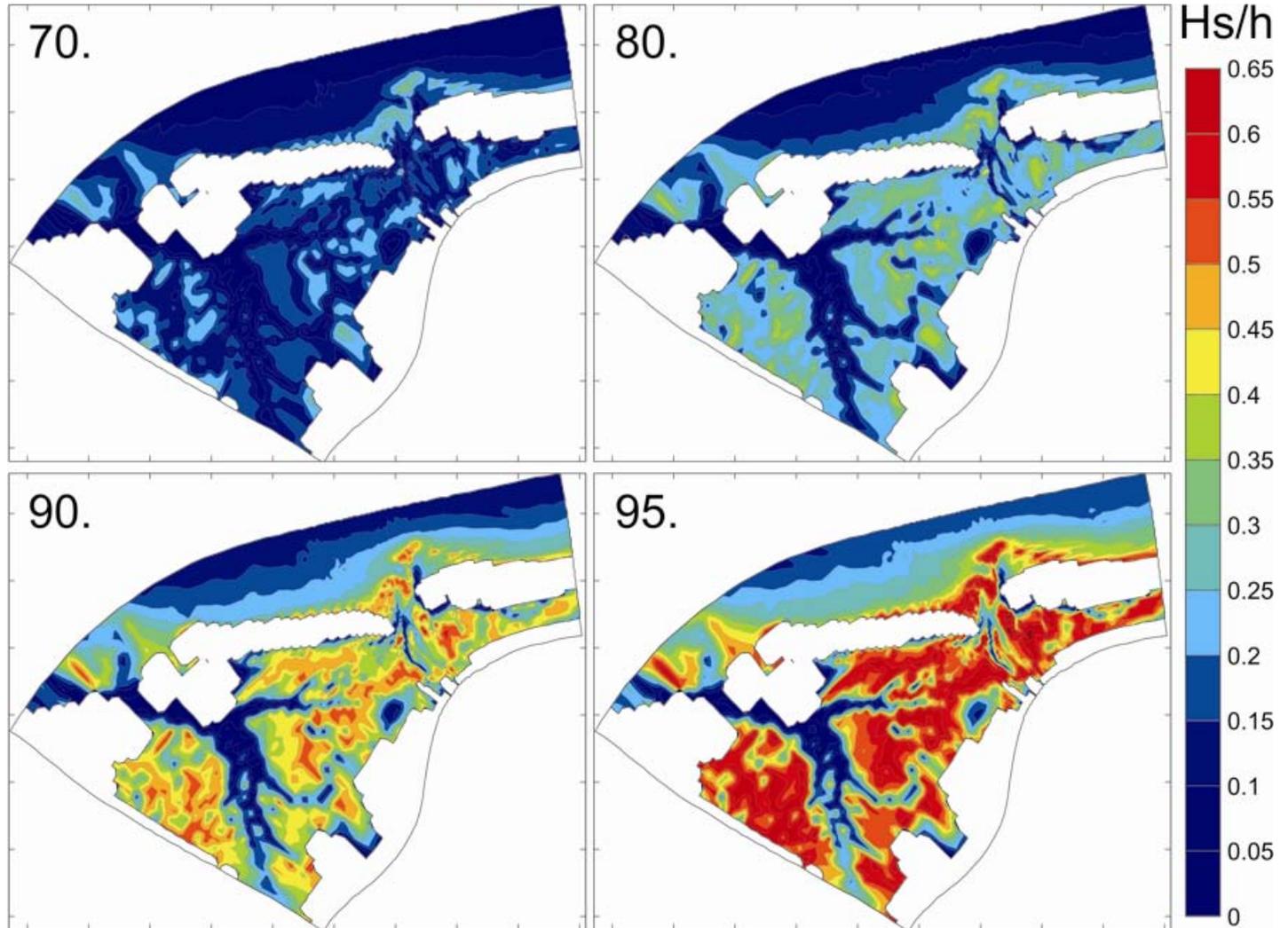
Annahmen: lineare Wellentheorie, ~ Flachwasser

Varianz der Orbitalgeschwindigkeit: $\sigma_u^2 = \frac{1}{8} \left(\frac{H_s}{h} \right)^2 gh$

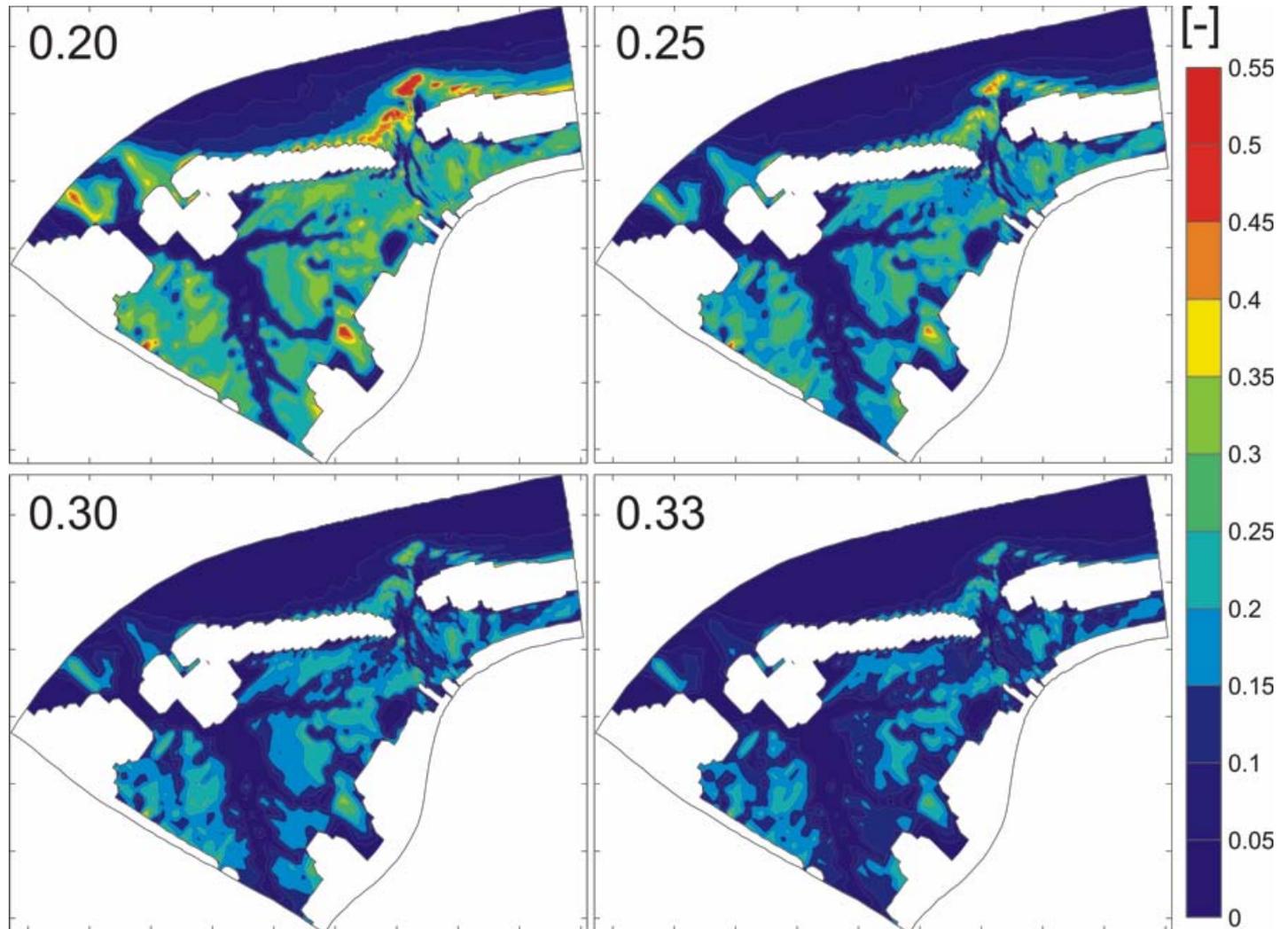
Grundlage für zahlreiche Sedimenttransportformeln in der Literatur
z.B.:

Volumentransport nach Plant et al.: $Q = \sigma_u \bar{S} \left[-\frac{H_s}{\sqrt{2}h} + c_1 R_{su} \right]$

Relative Wellenhöhen (Hs/h), Verteilung des 70., 80., 90. + 95. Perzentils



Relative Wellenhöhen (H_s/h), Verteil. der Überschreitungswahrscheinlichkeiten



Single representative wave – Method (Chesher und Miles, 1992) (Hirschhäuser und Zanke 1999)

Das vereinfachte Chesher & Miles Verfahren nach Hirschhäuser und Zanke beruht auf der Ermittlung einer repräsentativen Orbitalgeschwindigkeit am Boden:

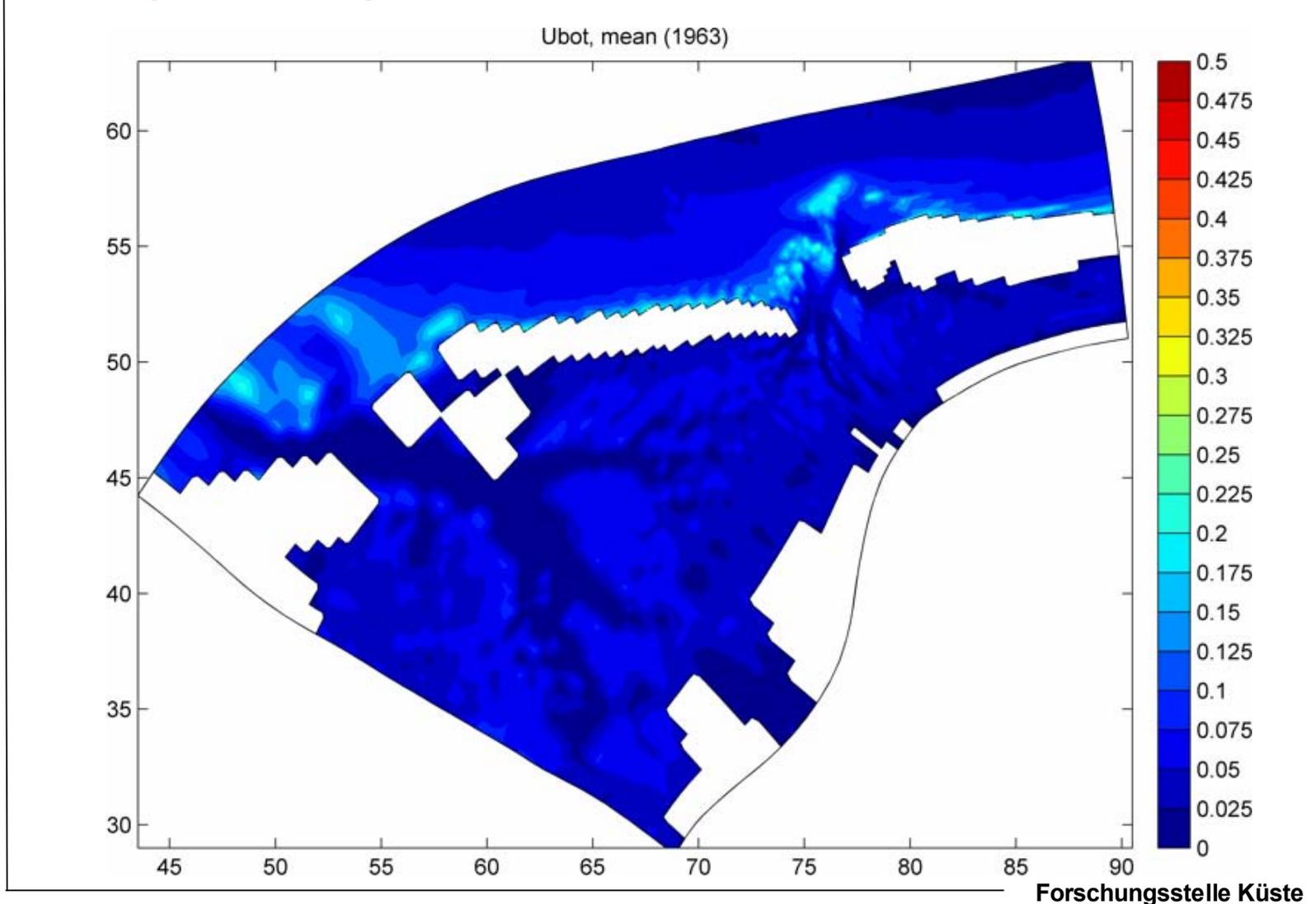
$$u_{b,repr} = \frac{\sum_{i=1}^n u_{b,i}^3 f_i}{\sum_{i=1}^n u_{b,i}^2 f_i}$$

mit 48 Klassen (8 Windrichtungen, 6 Windgeschwindigkeitsklassen)

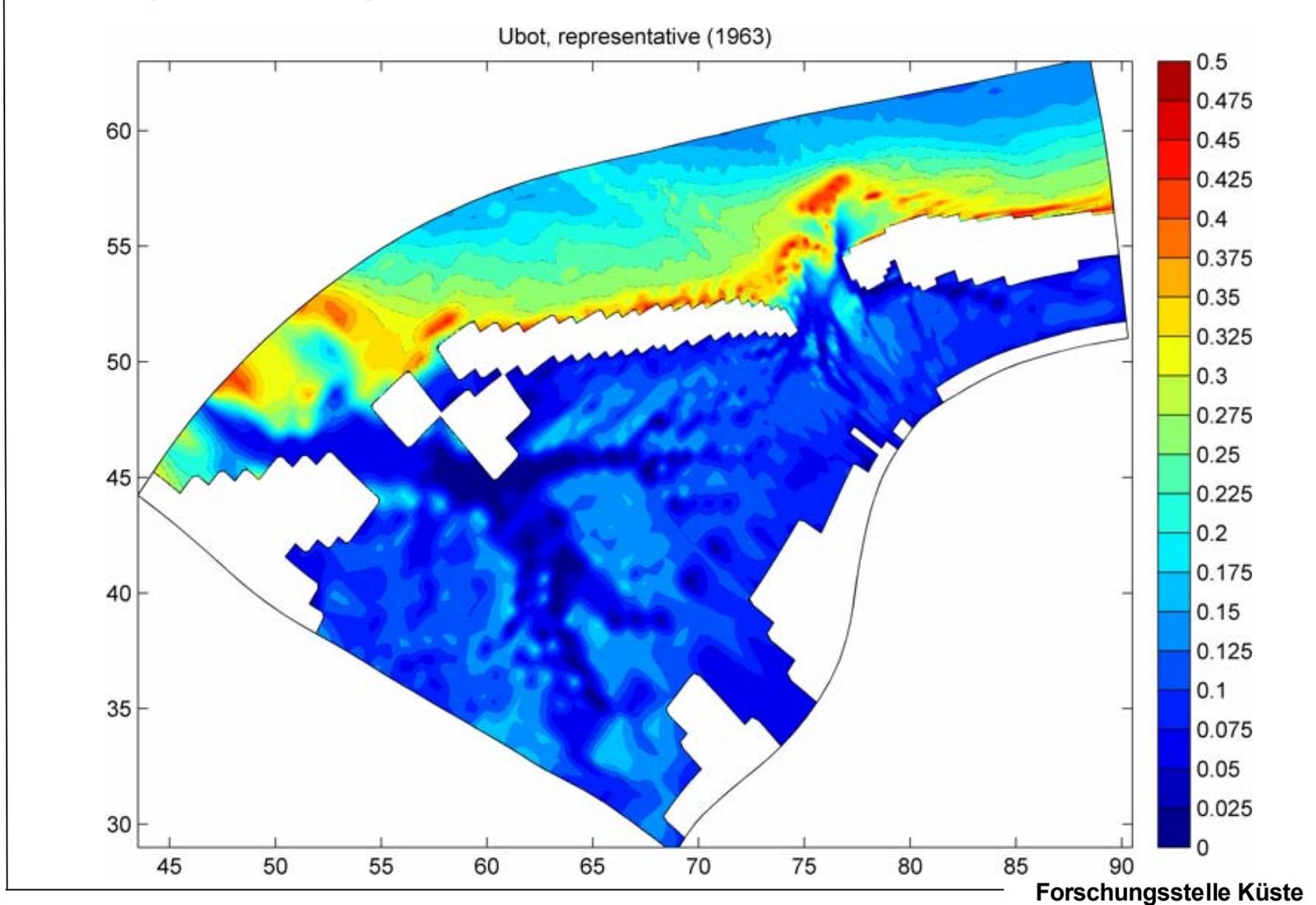
Einschränkungen: nur Seegang aus lokalem Wind
konstanter Wasserstand

Moses Daten: keine Einschränkungen,
keine Einteilung in Klassen notwendig

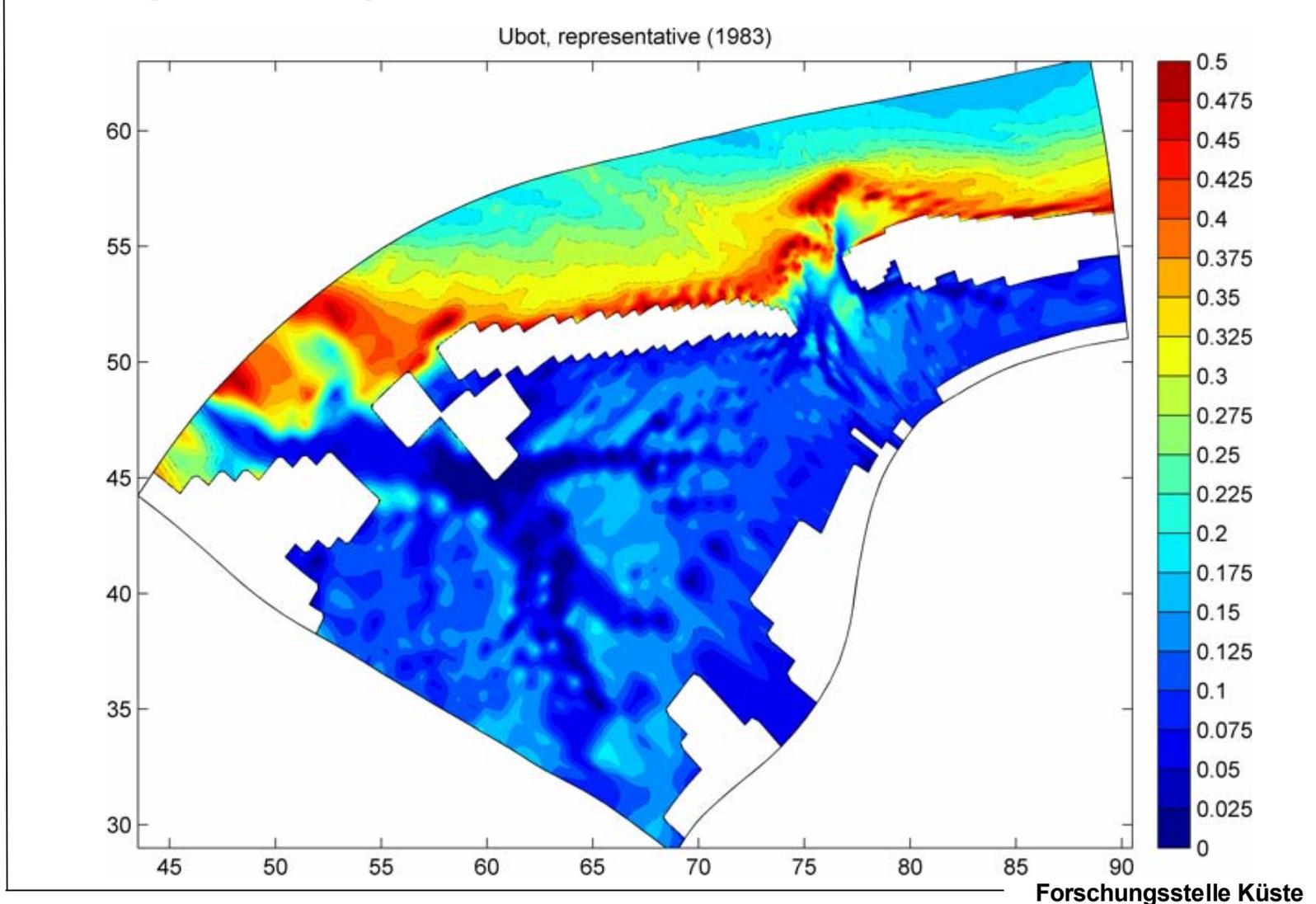
Orbitalgeschwindigkeiten am Boden (1963)



Orbitalgeschwindigkeiten am Boden (1963)



Orbitalgeschwindigkeiten am Boden (1983)



Diskussion

Die Genauigkeit der hier gezeigten Modellierung von Seegangszeitserien ist vergleichbar mit Ergebnissen aus der Literatur, wobei dort die Rekonstruktion von Parametern auf einzelne Punkte beschränkt ist.

Das im Projekt MOSES entwickelte Verfahren ist in der Lage, die räumliche Verteilung von charakteristischen Seegangparametern für das gesamte Untersuchungsgebiet zu reproduzieren.

Es ist zu beachten, dass neben den Ungenauigkeiten des Neuronalen Netzwerks selbst zwei zusätzliche Fehlerquellen vorhanden sind:

- **Ein Teil der Varianz wird dadurch vernachlässigt, dass nur die ersten fünf Komponenten verwendet werden**
- **Das Annahme, dass der Charakter der Muster universell ist, bleibt nur eine Näherung.**

Unter diesen Gesichtspunkten ist die Genauigkeit der Rekonstruktion von Modellergebnissen bemerkenswert gut.

Zusammenfassung

Delft3D and SWAN sind geeignete Werkzeuge für diese Art von Untersuchungen

Die Datensätze, die im MOSES-Projekt erstellt wurden, sind für weitere Bearbeitung geeignet wie zum Beispiel für mittelfristige statistische Analysen von Wasserständen, Strömungen und Seegang im Einzugsgebiet des Norderneyer Seegats. Allerdings hat sich gezeigt, dass singuläre bzw. Extremereignisse nicht hinreichend genau reproduziert werden können.

Die Datensätze können darüber hinaus auch für weitergehende morphodynamische Analysen/Modellierungen verwendet werden insbesondere auch im Hinblick auf das Konzept eines morphodynamisch repräsentativen Seegangs

Das im Projekt entwickelte Neuronale Netz ist ohne weitere Änderungen oder Anpassung mit Erfolg auch im Bereich der Dithmarscher Bucht angewendet worden.

A night sky with a constellation of stars in various colors (blue, white, yellow, red) scattered across the upper half. A very bright star with a prominent four-pointed diffraction pattern is in the top right corner. Below the sky is a dark, calm sea with a small, dark boat visible on the horizon line. The text "THE END" is overlaid in the center of the image.

THE END

Hauptkomponentenanalyse (PCA)

1. Wie funktioniert es?

Data matrix:
$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & y_{13} & \cdots & y_{1P} \\ y_{21} & y_{22} & y_{23} & \cdots & y_{2P} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{N1} & y_{N2} & y_{N3} & \cdots & y_{NP} \end{bmatrix}$$

„Map“ at time t_2

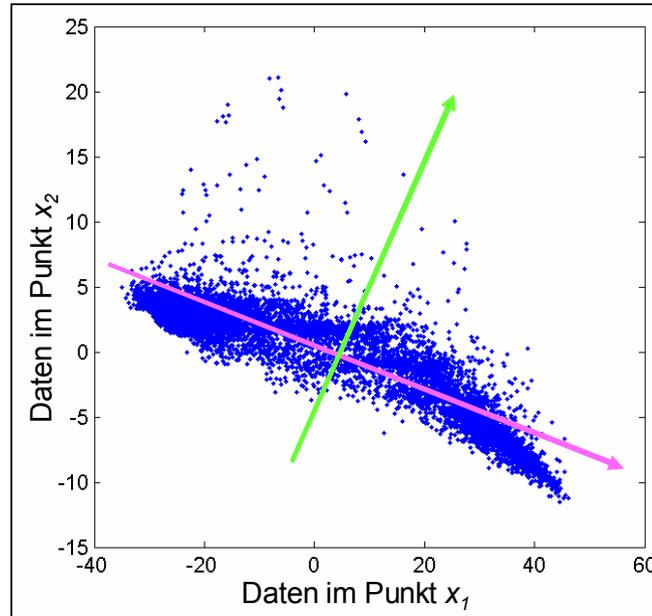
Time series in point x_2

1. Remove mean value from each time series
2. Covariance matrix $\mathbf{C} = \frac{1}{n-1} \mathbf{Y}^+ \mathbf{Y}$
3. Eigenvalue analysis of $\mathbf{C} \rightarrow$ eigenvalues + modes \mathbf{e}_j
4. Projection of \mathbf{Y} on the eigenvectors \rightarrow **principal components** $\mathbf{h}_j = \mathbf{Y}^+ \mathbf{e}_j$

Reconstruction of the data:
$$\mathbf{Y} = \mathbf{h}_1 \mathbf{e}_1 + \mathbf{h}_2 \mathbf{e}_2 + \dots + \mathbf{h}_q \mathbf{e}_q + \dots + \mathbf{h}_P \mathbf{e}_P$$

Hauptkomponentenanalyse (PCA)

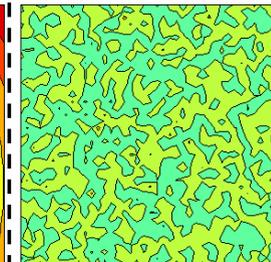
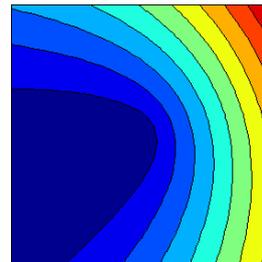
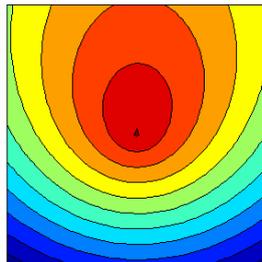
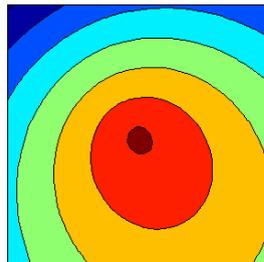
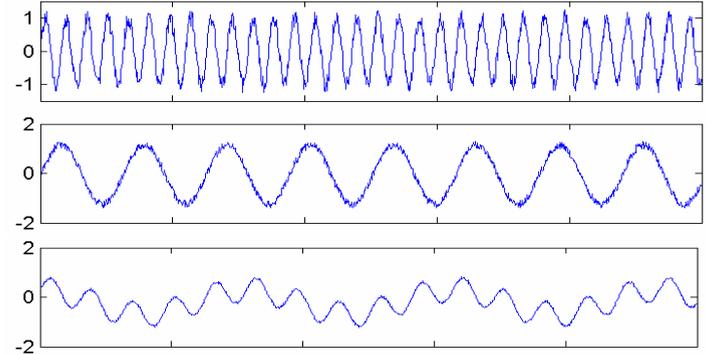
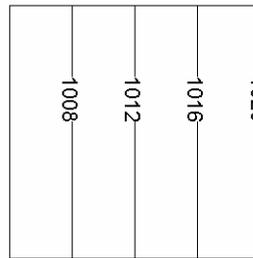
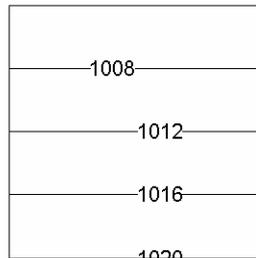
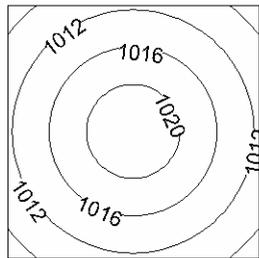
2. Was ist damit gemeint?



Hauptkomponentenanalyse (PCA)

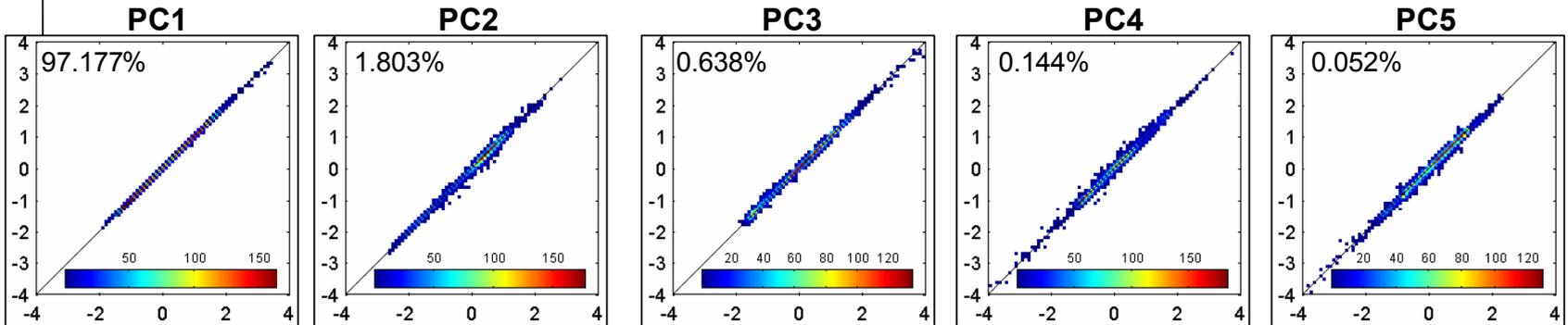
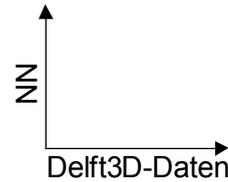
3. Einfaches Beispiel

Dataset: a combination of three fields



$1.7 \cdot 10^{-13} \%$
der Varianz

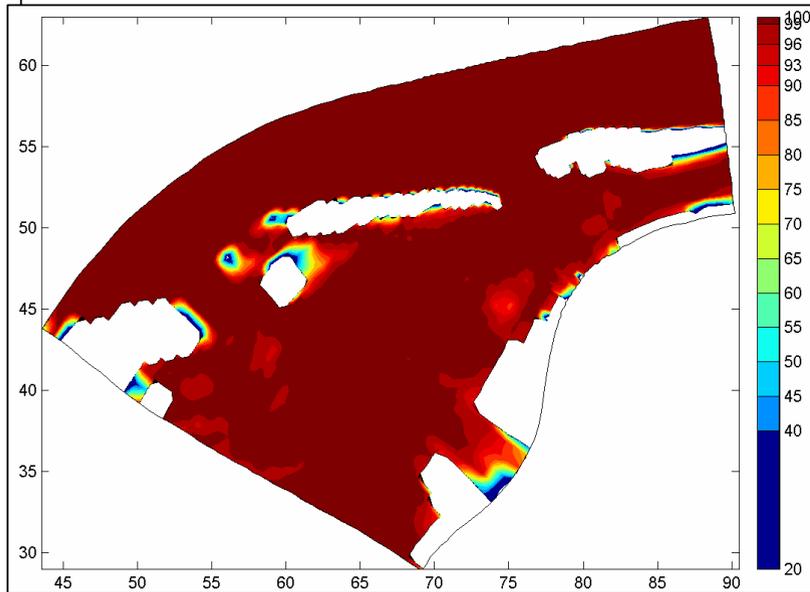
NN-Modellierung von Wasserständen



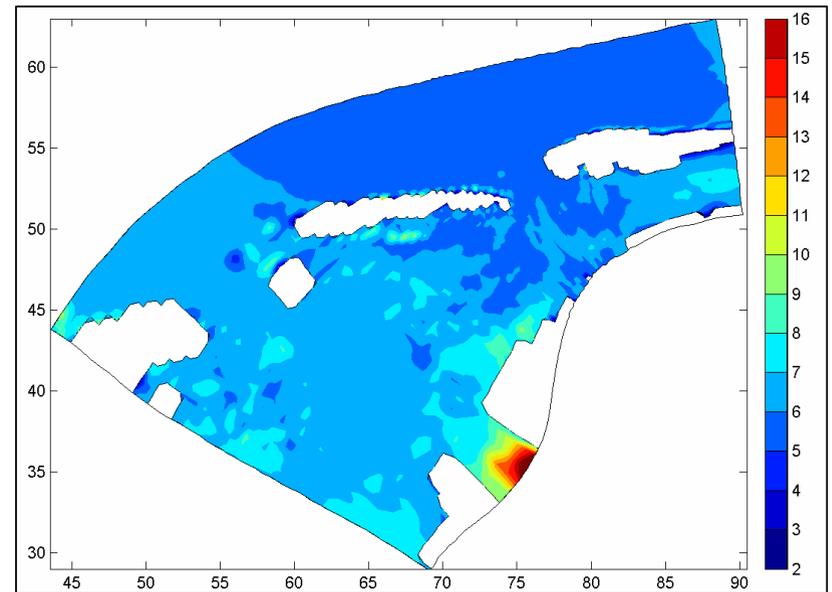
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Korrelationskoeffizient [%]	99.98	99.74	99.83	99.69	99.64
Standardabw. der Differenzen	0.021	0.069	0.059	0.072	0.081
Standardabw. der Differenzen	0.004	0.018	-0.009	0.002	0.020

Rekonstruktion der Wasserstände aus dem Jahr 1985

Anteil der Varianz [%]
rekonstruiert mit dem NN



Standardabweichung der Differenzen [cm]
zwischen den D3d-Ergebnissen
und den rekonstruierten Daten



NN-Modellierung von Strömungen

PC1

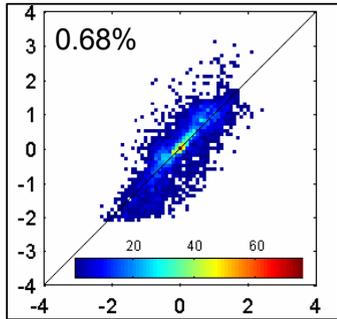
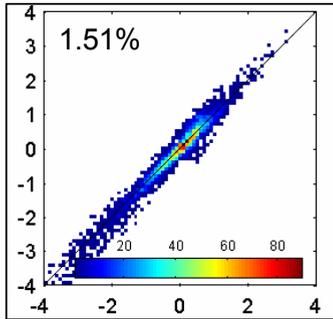
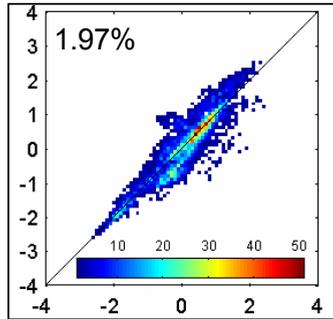
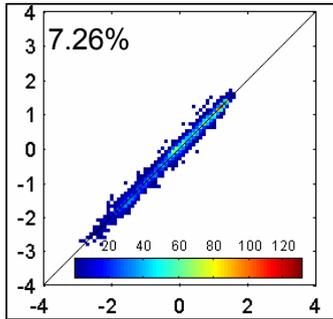
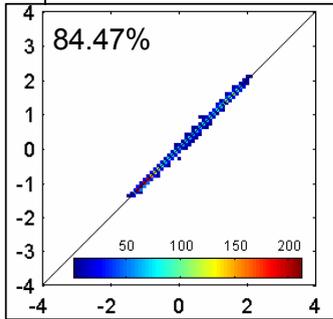
PC2

PC3

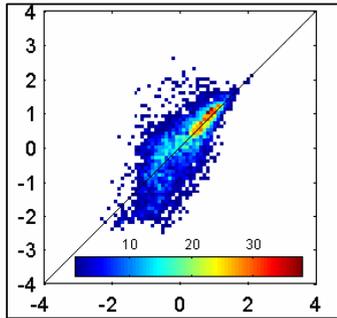
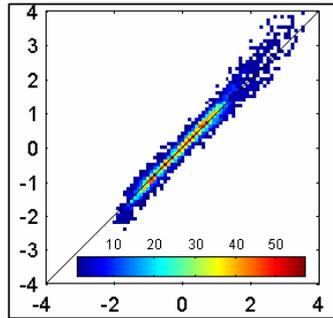
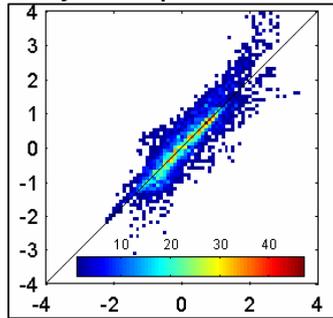
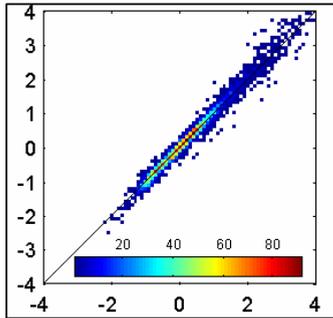
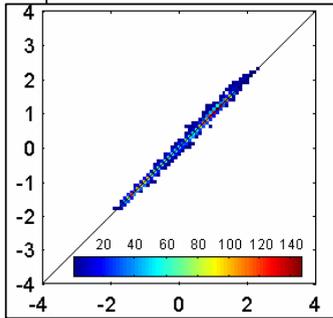
PC4

PC5

x-Komponenten



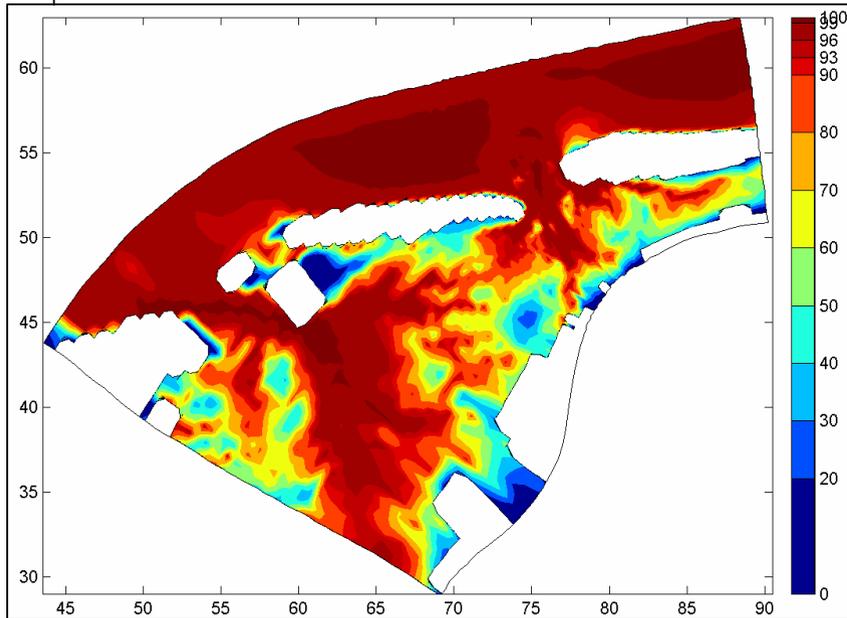
y-Komponenten



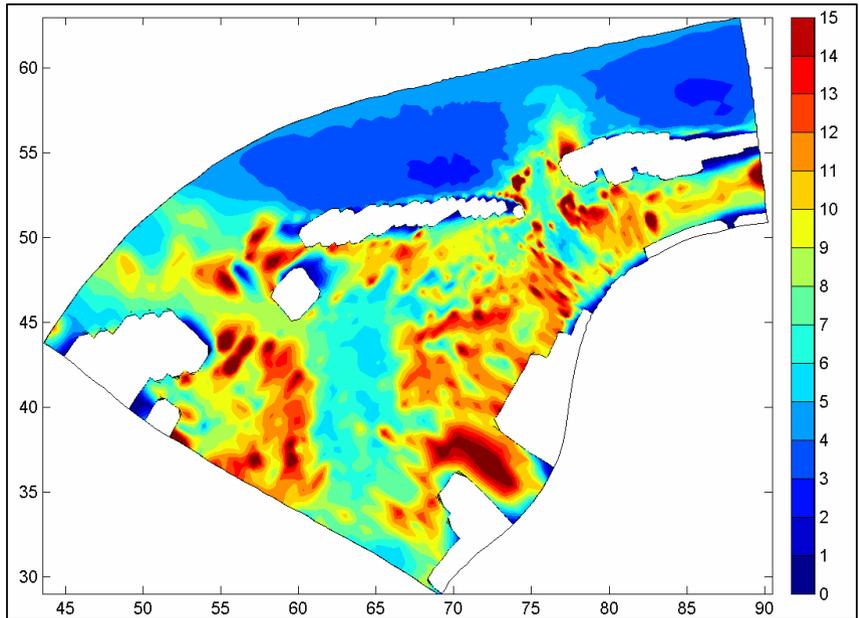
	PC1 _x	PC1 _y	PC2 _x	PC2 _y	PC3 _x	PC3 _y	PC4 _x	PC4 _y	PC5 _x	PC5 _y
Korrkoeff. [%]	99.93	99.87	99.41	98.99	91.98	90.49	98.11	98.44	81.49	76.01
Stdabw. der Diff.	0.039	0.053	0.109	0.149	0.374	0.418	0.198	0.195	0.503	0.582
Mittlere Differenz	0.004	0.000	-0.004	0.007	0.014	-0.021	0.018	-0.015	-0.003	0.013

Rekonstruktion der Strömungen aus dem Jahr 1985

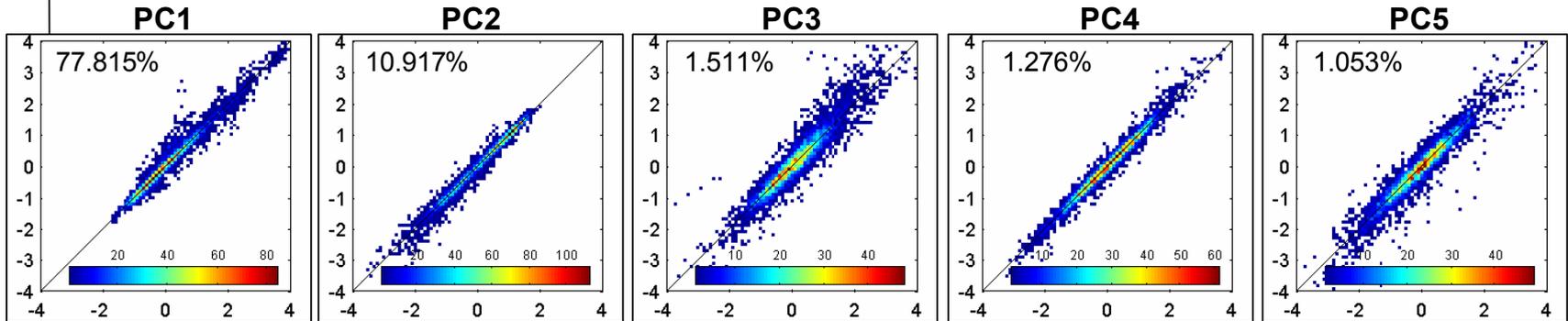
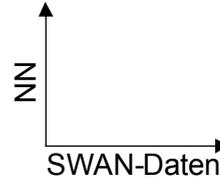
Anteil der Varianz [%]
rekonstruiert mit dem NN



Standardabweichung der Differenzen [cm/s]
zwischen den D3d-Ergebnissen
und den rekonstruierten Daten



NN-Modellierung von Energieperioden

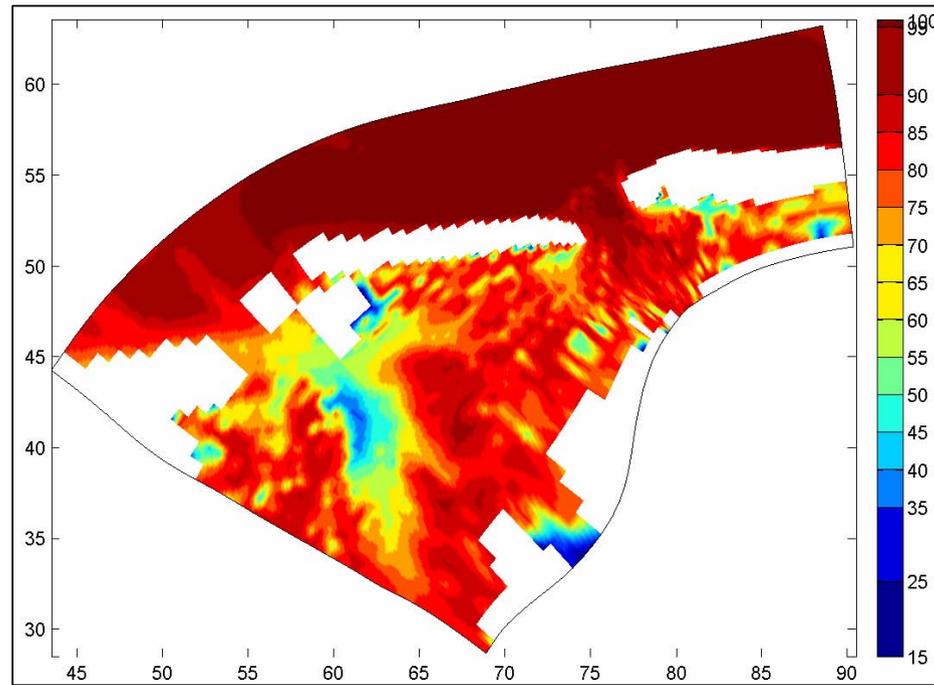


	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Korrelationskoeffizient [%]	98.04	98.94	93.50	98.66	95.55
Standardabw. der Differenzen	0.200	0.147	0.371	0.164	0.305
Mittlere Differenz	-0.020	0.014	-0.034	-0.007	0.029

Rekonstruktion der Energieperioden aus dem Jahr 1985

Vergleich zwischen den SWAN-Ergebnissen
und den mit NN rekonstruierten Zeitreihen

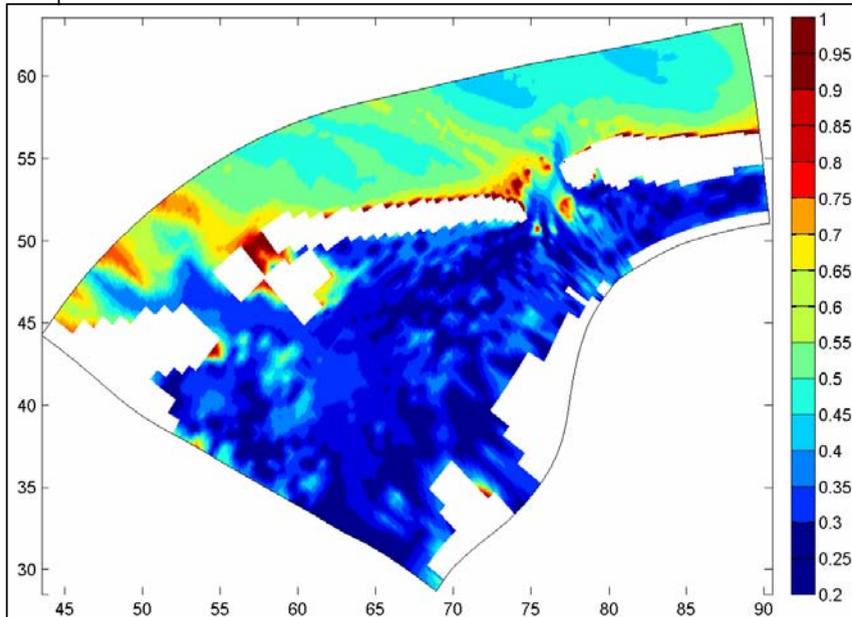
Rekonstruierte Varianz [%]



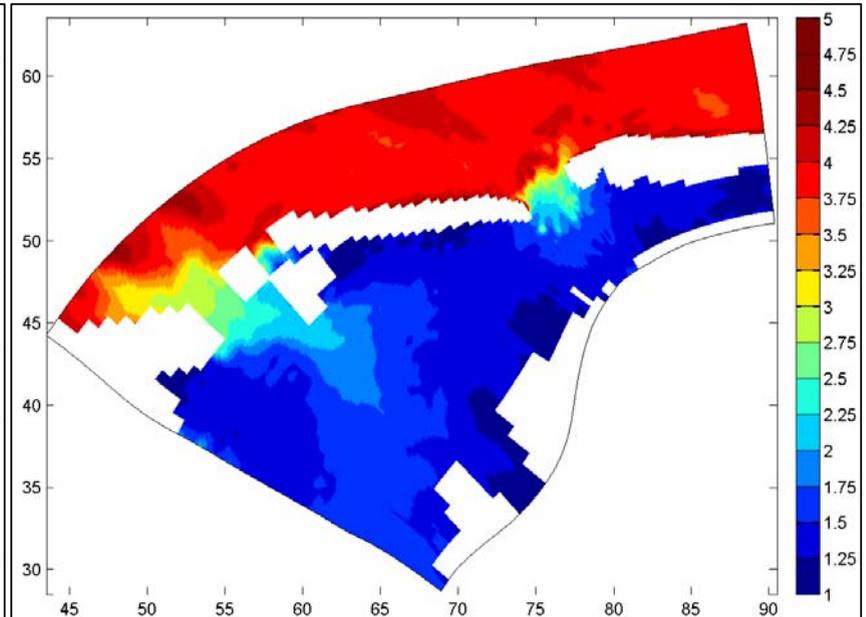
Rekonstruktion der Energieperioden aus dem Jahr 1985

Vergleich zwischen den SWAN-Ergebnissen
und den mit NN rekonstruierten Zeitreihen

Standardabweichung der Differenzen [s]



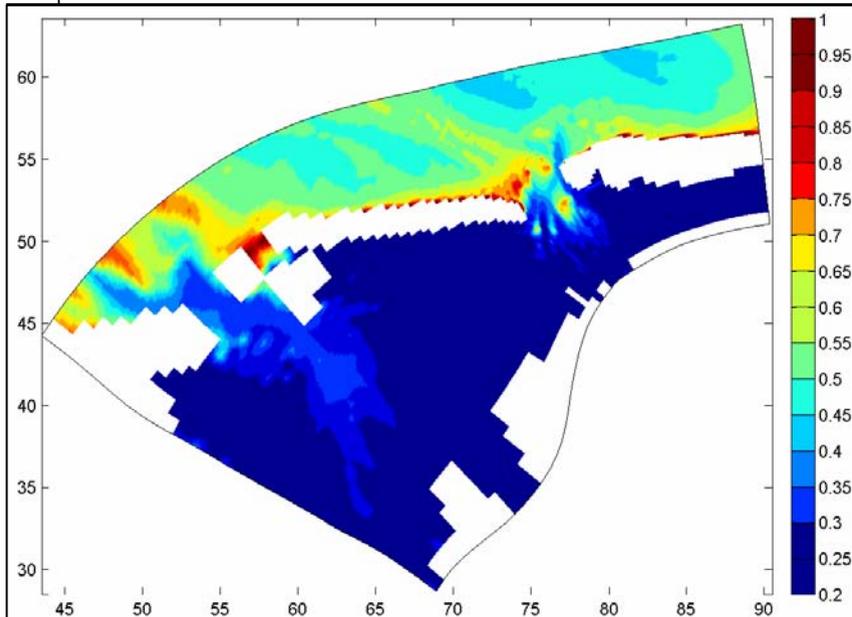
Mittlere Energieperioden [s]



Rekonstruktion der Energieperioden aus dem Jahr 1985

Vergleich zwischen den SWAN-Ergebnissen
und den mit NN rekonstruierten Zeitreihen

Standardabweichung der Differenzen [s]



Mittlere Energieperioden [s]

