

Modellierung der Auswirkungen von Offshore Windenergieanlagen auf die Abiotik

Stand: Februar 2007

CF-Arbeitsbericht XI

Dr. Kai Ahrendt



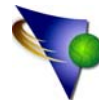
Modellierung der Auswirkungen von Offshore Windenergieanlagen auf die Abiotik



**Büro für Umwelt und Küste
Steinstr. 25
24118 Kiel
Dr. Kai Ahrendt
<http://www.iczm.de>**

Kiel, Februar 2007





Inhaltsverzeichnis :

1	Problemstellung	... 1
2	Das numerische Modell MIKE 21	... 1
3.	Untersuchungsgebiet DanTysk	... 4
	3.1 Topographie	... 6
	3.2. Hydrologie	... 7
	3.2.1 Welle	... 7
	3.2.2 Tide	... 8
	3.3 Wind	... 9
	3.4 Sedimente	... 9
4.	Modellierung	...12
	4.1. Parameterstudie	...14
	4.1.1 Bodenreibung	...14
	4.1.2 Turbulenz	...15
	4.1.3 Sedimenttransportformeln	...15
5.	Ergebnisse	...16
	5.1. Gesamtgebiet	...16
	5.1.1 Strömung	...16
	5.1.2 Sedimente	...21
	5.2. Einzelpile	...23
	5.2.1 Strömung	...23
	5.2.2 Sedimente	...26
6	Bewertung	...28
7	Literatur	...29



Anhang

Anhang 1: Protokoll Basislauf DanTysk mit 144 Piles, Gesamtgebiet

Anhang 2: Protokoll Basislauf DanTysk Gesamtgebiet

Anhang 3: Protokoll Basislauf DanTysk mit Piles und einer maximalen
Windgeschwindigkeit von 50m/s

Anhang 4: Protokoll der Berechnung der topographischen Veränderung im
Untersuchungsgebiet mit Piles

Anhang 5: Protokoll der Berechnung der topographischen Veränderung im
Untersuchungsgebiet mit Piles und einer maximalen Windgeschwindigkeit von 50
m/s

Anhang 6: Protokoll Basislauf DanTysk Einzelpile

Anhang 7: Protokoll Basislauf DanTysk Einzelpile und einer maximalen
Windgeschwindigkeit von 50 m/s

Anhang 8: Protokoll der Berechnung der topographischen Veränderung am Einzelpile

Anhang 9: Protokoll der Berechnung der topographischen Veränderung und einer maximalen
Windgeschwindigkeit von 50 m/s am Einzelpile

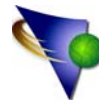
Anlagen: CD mit Animationen:

Strömung im Testfeld mit Piles (STmP.avi)

Strömung im Testfeld mit Piles unter Sturmbedingungen (STmPS.avi)

Strömung um einen Pile (STP.avi)

Strömung um einen Pile unter Sturmbedingungen (STPS.avi)



Abbildungsverzeichnis :

Abbildung 1: Startfenster des Flow Modells MIKE21	... 2
Abbildung 2: Startfenster des MIKE21 Sedimenttransportmodells	... 4
Abbildung 3: Lage des Untersuchungsgebietes	... 5
Abbildung 4: Topographie des Untersuchungsgebietes	... 7
Abbildung 5: Wellenklima Februar 2005 am Messpfahl Westerland	... 8
Abbildung 6: Tideverlauf Dezember 2005 am Messpfahl Westerland	... 9
Abbildung 7: Windverteilung Dezember 2005 am Messpfahl Westerland	...10
Abbildung 8: Sedimentverteilung der Deutschen Bucht (FIGGE 1981)	...11
Abbildung 9: Sedimentverteilung nach Antragsunterlagen	...12
Abbildung 10: Das Untersuchungsgebiet mit Gründungsstrukturen	...13
Abbildung 11: Strömungskomponente V während der Ebbphase ohne Piles	...17
Abbildung 12: Strömungskomponente V während der Ebbphase mit Piles	...18
Abbildung 13: Strömungsvektoren während der Flutphase ohne Piles	...19
Abbildung 14: Strömungsvektoren während der Flutphase um einen Pile (Auszug aus Gesamtgebiet)	...20
Abbildung 15: Strömungsvektoren während der Flutphase bei einer maximalen Windgeschwindigkeit von 50m/s um einen Pile (Auszug aus Gesamtgebiet)	...21
Abbildung 16: Tiefenveränderung im Gesamtgebiet mit Piles	...22
Abbildung 17: Tiefenveränderung im Gesamtgebiet mit Piles und einer maximalen Windgeschwindigkeit von 50m/s	...23
Abbildung 18: Strömungskomponente V während der Flutphase um einen Pile	...24
Abbildung 19: Strömungsvektoren um einen Pile während der Flutphase	...25
Abbildung 20: Strömungskomponenten V um einen Pile während der Ebbphase und einer maximalen Windgeschwindigkeit von 50m/s	...26
Abbildung 21: Tiefenveränderung um einen Pile	...27
Abbildung 22: Tiefenveränderung um einen Pile und einer maximalen Windgeschwindigkeit von 50 m/s	...28



1 Problemstellung

Einbauten in See stellen einen Strömungswiderstand dar und verändern damit das Strömungsgeschehen. Je nach Ausmaß der Einbauten und des vorhandenen Strömungsregimes kommt es zu unterschiedlichen Auswirkungen auf das Fließverhalten der Wassermassen. Lokale Auskolkungen an den Einbauten und im ungünstigen Fall Interaktionen zwischen den einzelnen Elementen können die Folge sein.

Besonders die Fundamente von den geplanten Windturbinen müssen unter diesen Aspekten näher beleuchtet werden. Monopiles und Schwerefundamente stellen hierbei den größtmöglichen Eingriff dar. Erfahrungen aus Naturbeobachtungen in Tidegewässern mit großen Wassertiefen liegen zur Zeit kaum vor. Schwerefundamente werden bei den beantragten Windparkgebieten aufgrund der großen Wassertiefen in der deutschen AWZ kaum zum Einsatz kommen. Der Monopile ist neben der Jacketstruktur zur Zeit die wahrscheinlichste Gründungsmethode. Auskolkungen können die Standsicherheit dieser Bauwerke gefährden, so dass Kolkschutzmaßnahmen notwendig werden können. Dieser Fragestellung soll mit einer hydronumerischen Modellierung nachgegangen werden.

Kolkschutzmaßnahmen wiederum stellen neben der Gründungsstruktur selbst Habitate für „Hardground“-besiedler dar. Durch die Besiedlung, vor allem in Bereichen in denen vorher kein „Hardground“ vorhanden gewesen ist, kann es zur Veränderung der Habitate auf lokaler Ebene aber auch auf Maßstabebene eines Windparks kommen. Hierdurch wiederum können sich die Biozönose und die Nahrungskette relevant verschieben. Dieser Fragestellung wird im vorliegenden Bericht nicht nachgegangen.

2 Das numerische Modell MIKE 21

Eine Vielzahl von numerischen Modellen wurde bereits, oft für sehr spezielle Anwendungen, entwickelt. Das Danish Hydraulic Institut ist eines der führenden Anbieter von kommerziellen numerischen Lösungsansätzen im Küstenbereich und kann auf eine sehr lange erfolgreiche Anwendung seiner Modelle zurückblicken. Eigene Erfahrungen des Berichterstatters, die bis in die Anfänge der Modellfamilie MIKE zurückreichen, bestätigen die „naturnahen“ Lösungsansätze dieser Anwendungen.

MIKE 21 simuliert die hydrodynamischen Verhältnisse in zwei Dimensionen und ist modular aufgebaut (Abbildung 1).

Das hydraulische Modul MIKE21 (HD) stellt die Basis für alle weiteren Untersuchungen dar. Dieses Modul simuliert Wasserstandsänderungen und Wassermassendurchflüsse unter Berücksichtigung von:



- bottom shear stress
- wind shear stress
- barometric pressure gradients
- Coriolis force
- momentum dispersion
- sources and sinks
- evaporation
- flooding and drying
- wave radiation stresses

Das Modul MIKE21 (MT) beschreibt die Erosion, den Transport und die Ablagerung von Silt und Ton unter dem Einfluss von Strömung und Welle. Dieses Modul wird im vorliegenden Falle nicht angewandt, da keine entsprechenden Sedimente im Untersuchungsgebiet oberflächlich vorkommen.

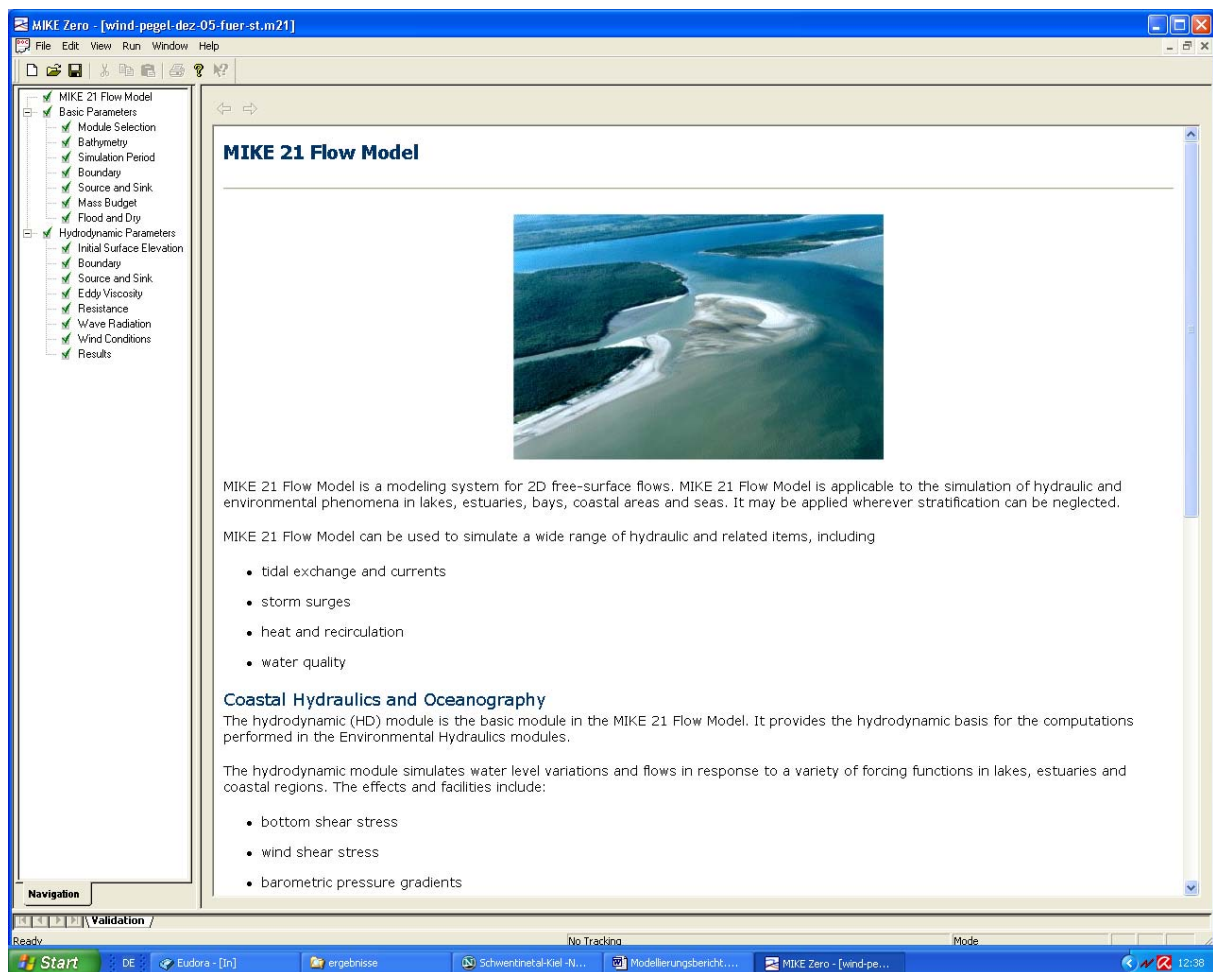


Abbildung 1: Startfenster des Flow Modells MIKE21



Das Sedimenttransportmodell MIKE21 (ST) berechnet den Sedimenttransport nicht bindiger Sedimente in Strömung und Welle. Diese Simulation beruht auf der Basis der hydrodynamischen Modellierung in Verbindung mit einer Topographie. Da es sich nicht um ein volles morphodynamisches Modell handelt, findet keine Rückkopplung zwischen Bodenveränderung und Hydrodynamik statt. Das St-Modul gibt Hinweise zu potentiellen Erosions- und Ablagerungsgebieten an, aber keinen Endzustand am Ende des Modellierungszeitraumes.

Die Hauptkomponenten des MIKE 21 non-cohesive sediment transport moduls (Abbildung 2) sind folgende:

- Constant or spatially varying characteristics of the bed material (i.e. median grain size and gradation)
- Five different sand transport theories available for the calculation of transport rates in pure current conditions:
 - The Engelund and Hansen total-load transport theory
 - The Engelund and Fredsøe total-load (determined as bed load + suspended load) transport theory
 - The Zyserman and Fredsøe total-load (bed load + suspended load) transport formulation
 - The Meyer-Peter and Müller bed-load transport theory
 - The Ackers and White total-load transport formulation
- Two methods available for the calculation of the sediment transport rates in combined current and waves:
 - Application of DHI's deterministic intra-wave sediment transport model STP
 - Bijker's total-load transport method
- User-selected sand transport method (two-dimensional (2DH) or quasi three-dimensional (Q3D)) in combined waves and current when the STP model is used.
- Use of STP allows to account for the influence of the following phenomena on the computed sediment transport rates:
 - Arbitrary direction of wave propagation respect to the current
 - Breaking/unbroken waves
 - Geometric properties of bed material described through a single grain size or a grain size distribution curve
 - Plane/ripple-covered bed
- Finite differences technique on space-staggered rectangular grid
- Courant-Friedrichs-Lewy stability criterion

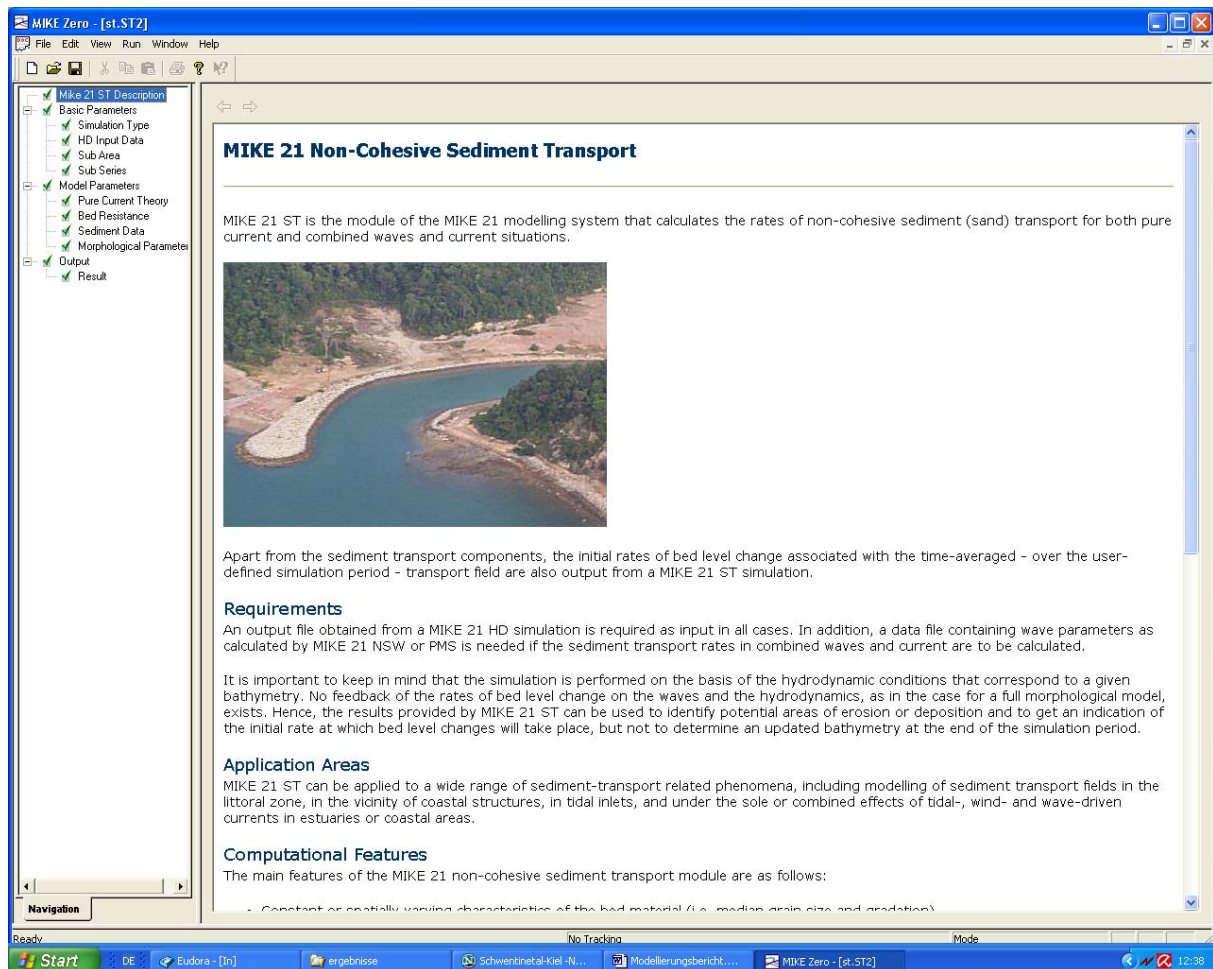
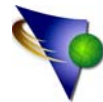


Abbildung 2: Startfenster des MIKE21 Sedimenttransportmodells

3. Untersuchungsgebiet DanTysk

Eine große Anzahl von Windparks werden z. Z. in der deutschen AWZ geplant. Mit diesen Planungen gehen meistens intensive Naturuntersuchungen einher, die für die Antragstellung notwendig sind. Für die hier durchgeführte Modellierung sollte ein möglichst „repräsentativer“ Standort ausgewählt werden. Nach Durchsicht der vorliegenden Antragsunterlagen wurde der Windpark DanTysk des Planungsbüros GEO – Gesellschaft für Energie und Ökologie ausgewählt. Der Windpark DanTysk liegt ca. 70 km westlich Sylts an der dänischen Grenze mit Wassertiefen zwischen 25 und 35 m. Als Gründungsstrukturen sind Monopiles vorgesehen. Hydrologische Naturmessungen können vom östlich gelegenen Messpfahl Westerland/Sylt übernommen werden. Sedimentologische Daten wurden durch eine Benthoskartierung erhoben. Die Planungsgesellschaft GEO war bereit auch



weitergehende Daten zur Verfügung zu stellen. Daher wurde der Windpark DanTysk als Modellgebiet ausgewählt (s. Abbildung 3).

Das Modellgebiet umfasst den nördlichen Bereich des DanTysk-Feldes, da die vorhandene Seekarte nicht weiter nach Süden reicht. Es reicht 6000 Meter in der Breite und 5400 Meter in der Höhe über das beantragte Planungsgebiet hinaus. Hierdurch werden Randeffekte ausgeschlossen.

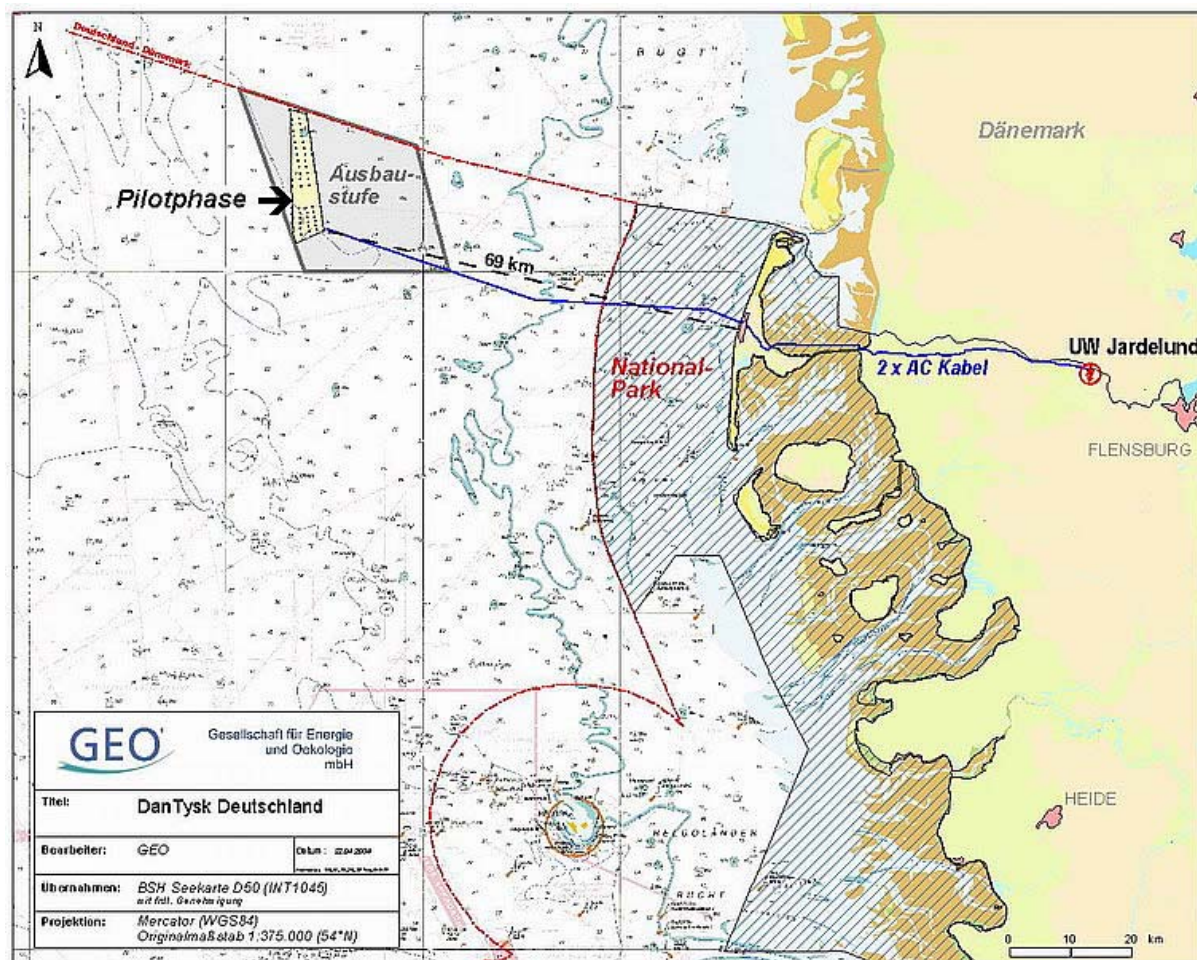


Abbildung 3: Lage des Untersuchungsgebietes



Modell-Gesamtgebiet:

Linke untere Ecke: Rechtswert: 32383000

Hochwert: 6095600

Rechte obere Ecke: Rechtswert: 32395000

Hochwert: 6125000

Breite: 12000 Meter

Höhe: 29400 Meter

3.1 Topographie

Die Topographie des ausgewählten Gebietes wurde der BSH-Arbeitskarte 1508 Deutsche Bucht Nord (Aufnahmejahr 1990) entnommen. Die im PDF-Format vorliegende Karte wurde mit dem GIS ARC-INFO georeferenziert und anschließend digitalisiert. Die hieraus erzeugte Tabelle mit Hoch- und Rechtswerten (UTM) und dazugehörigen auf NN bezogenen Tiefenwerten wurde mit dem Programm SURFER Version 8 in ein 20 m x 20 m Raster durch das Kriging-Verfahren überführt. Diese Datenbasis wurde anschließend als bathymetrische Information in MIKE21 eingeladen (s. Abbildung 4). Auch hier wurde der 20 m x 20 m Gitterabstand eingehalten. Diese Topographie stellt den Referenzzustand ohne Gründungsstrukturen dar.

Für die Ermittlung der Auswirkungen der Gründungsstrukturen wurden nach Unterlagen der Antragsteller für den Windpark DanTysk in das beantragte Planungsgebiet 144 Anlagen mit einem Abstand von 1000 m eingefügt. An den entsprechenden Gitterpunkten wurde die Topographie mit +10 m, somit als „Land“, implementiert. Hieraus ergibt sich ein Piledurchmesser von 20 m.

Für die höher auflösende Modellierung einer Einzelanlage wurde eine Wassertiefe von 25 m bzw. 30 m für ein 200 m x 200 m großes Gebiet angesetzt. Der Gitterabstand beträgt 1 m x 1 m. Der Einzelpile hat in diesem Falle einen Durchmesser von 8 m.

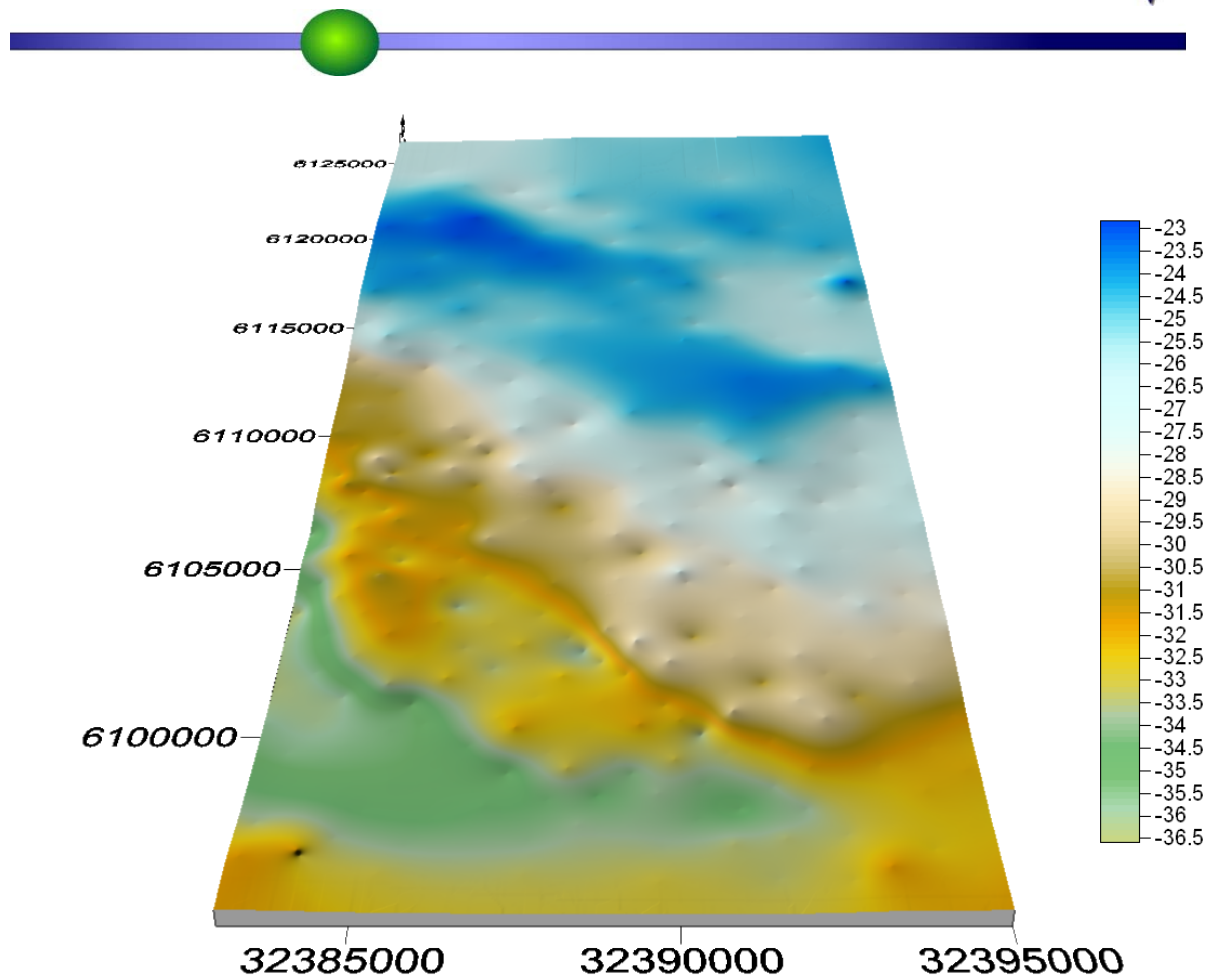


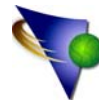
Abbildung 4: Topographie des Untersuchungsgebietes

3.2. Hydrologie

Für das Untersuchungsgebiet liegen keine hydrologischen Messdaten in repräsentativer Form vor. Die nächstgelegenen Naturmessdaten kann der Messpfahl 10 km westlich vor Westerland/Sylt mit einer Wassertiefe von 13 m liefern. Dieser Messpfahl zeichnet seit 1986 kontinuierlich hydrologische Parameter auf. Daher wurde auf diese Naturmessdaten, auch wenn diese ca. 60 km östlich aufgezeichnet werden, zurückgegriffen.

3.2.1 Welle

Wellenparameter werden am Messpfahl Westerland und den benachbarten Wellenmessbojen im 2-stündigen Zeitintervall, bei Starkwindereignissen auch höher aufgelöst, aufgezeichnet. Eine kontinuierliche Messreihe stand für den Februar 2005 zur Verfügung (s. Abbildung 5). Im westlich und tiefer gelegenen Untersuchungsgebiet werden die hier aufgezeichneten



Wellen nur im Extremfall bereits verformt, so dass im Mittel die Daten vom Messpfahl Westerland mit den Bedingungen im Untersuchungsgebiet übereinstimmen dürften.

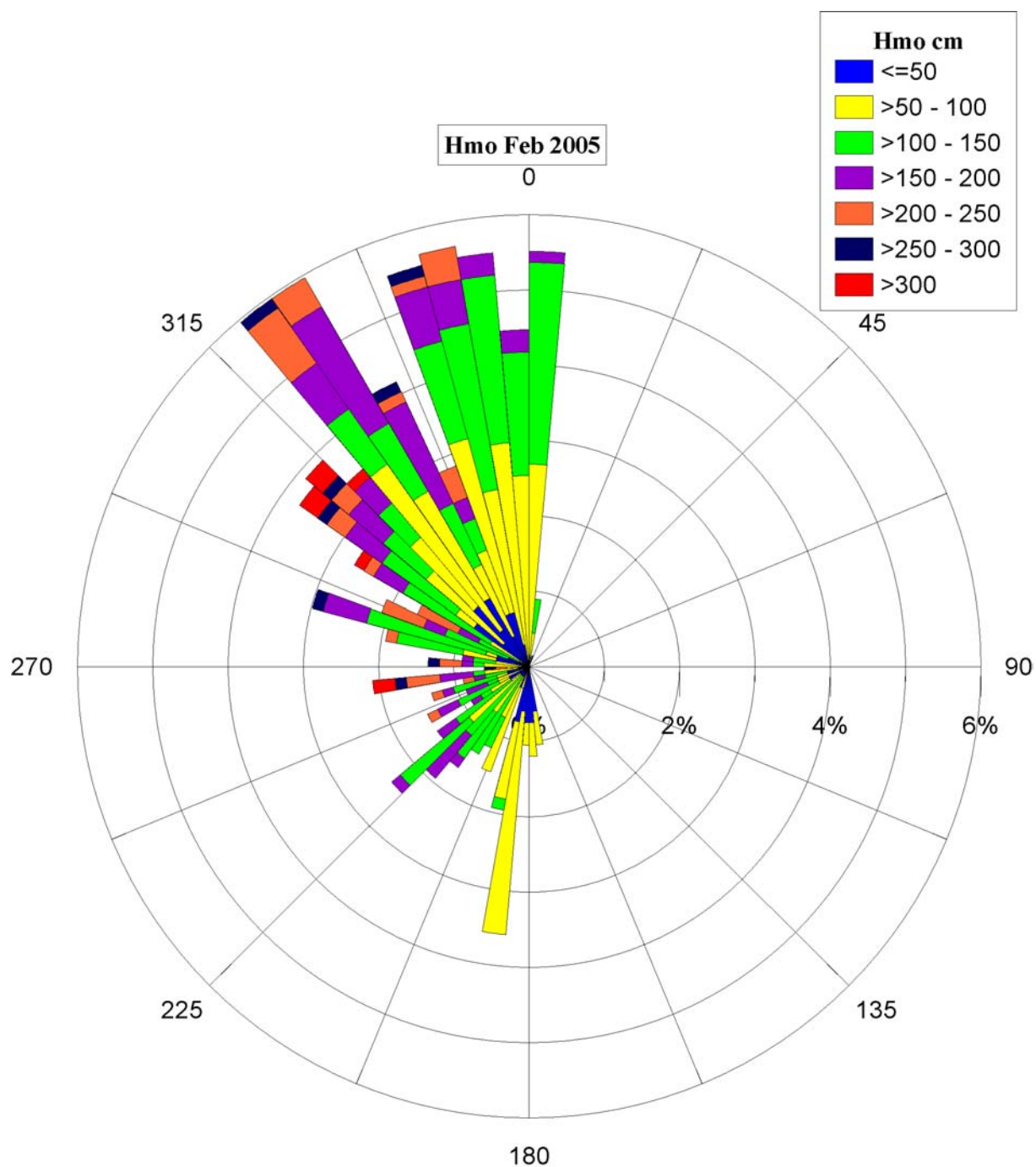


Abbildung 5: Wellenklima Februar 2005 am Messpfahl Westerland



3.2.2 Tide

Die Tideparameter am Messpfahl Westerland dürften auch im Untersuchungsgebiet auftreten. Aufgrund der geringeren Entfernung zum nächstgelegenen amphidromischen Punkt wird der Tidehub hier etwas geringer ausfallen. Aufgrund der großen Wassertiefe im Verhältnis zum Tidehub wurden die Daten des Messpfahl Westerland jedoch direkt übernommen (s. Abbildung 6).

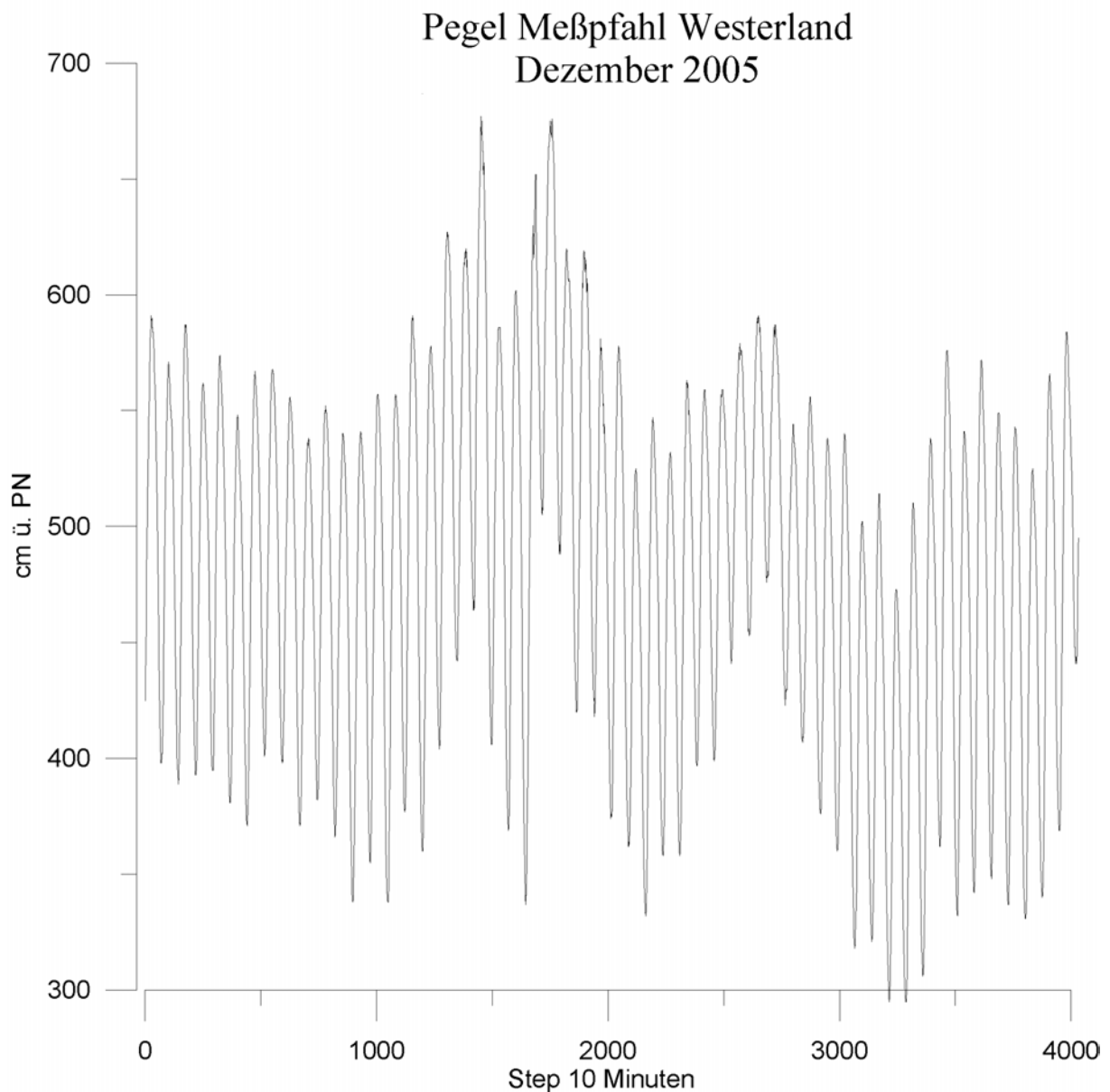
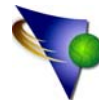


Abbildung 6: Tideverlauf Dezember 2005 am Messpfahl Westerland



3.3 Wind

Die Windgeschwindigkeiten, die ursächlich den Wassermassentransport verursachen, wurden ebenfalls vom Messpfahl Westerland übernommen. Windfeldverändernde Einflüsse sind zwischen Untersuchungsgebiet und dem Ort der Aufzeichnung nicht vorhanden, so dass diese Daten annäherungsweise auch das Windfeld im Untersuchungsgebiet repräsentieren dürften. Eine kontinuierliche Windmessreihe (Mittelwert über 10 Minuten) stand für den Dezember 2005 zur Verfügung (s. Abbildung 7).

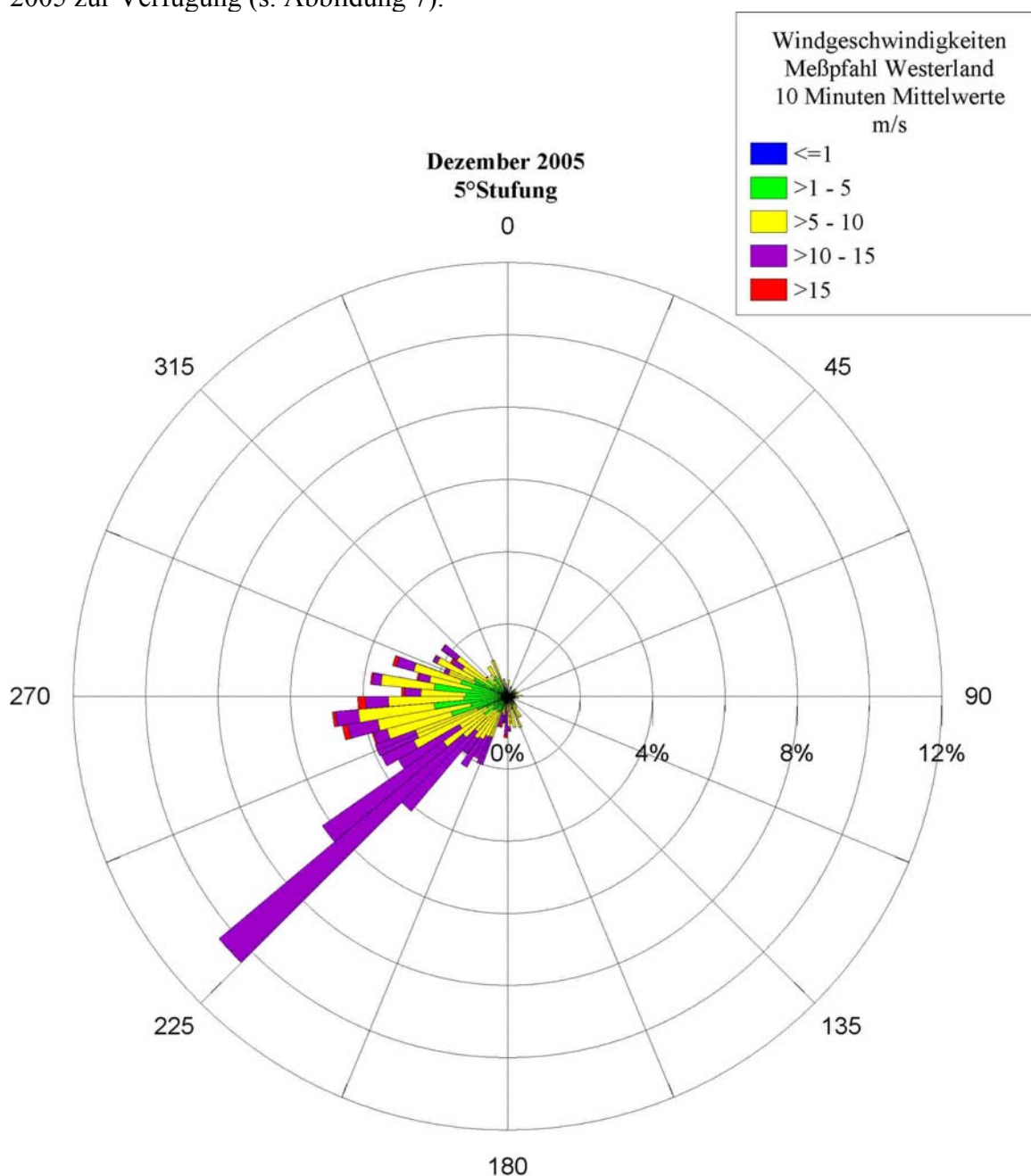


Abbildung 7: Windverteilung Dezember 2005 am Messpfahl Westerland



3.4 Sedimente

Eine hochauflösende Sedimentkartierung für das Gesamtgebiet stand nicht zur Verfügung. Die Karte von FIGGE (1981) (s. Abbildung 8) gibt für dieses Gebiet eine grobe Übersicht der anstehenden Sedimente. Im zentralen Bereich des Untersuchungsgebietes konnten Daten aus den benthologischen Untersuchungen für die Antragstellung des Windparks DanTysk übernommen werden (s. Abbildung 9). Aus diesen Informationen wurde eine Sedimentverteilungskarte generiert und in das Modell MIKE21 überführt.

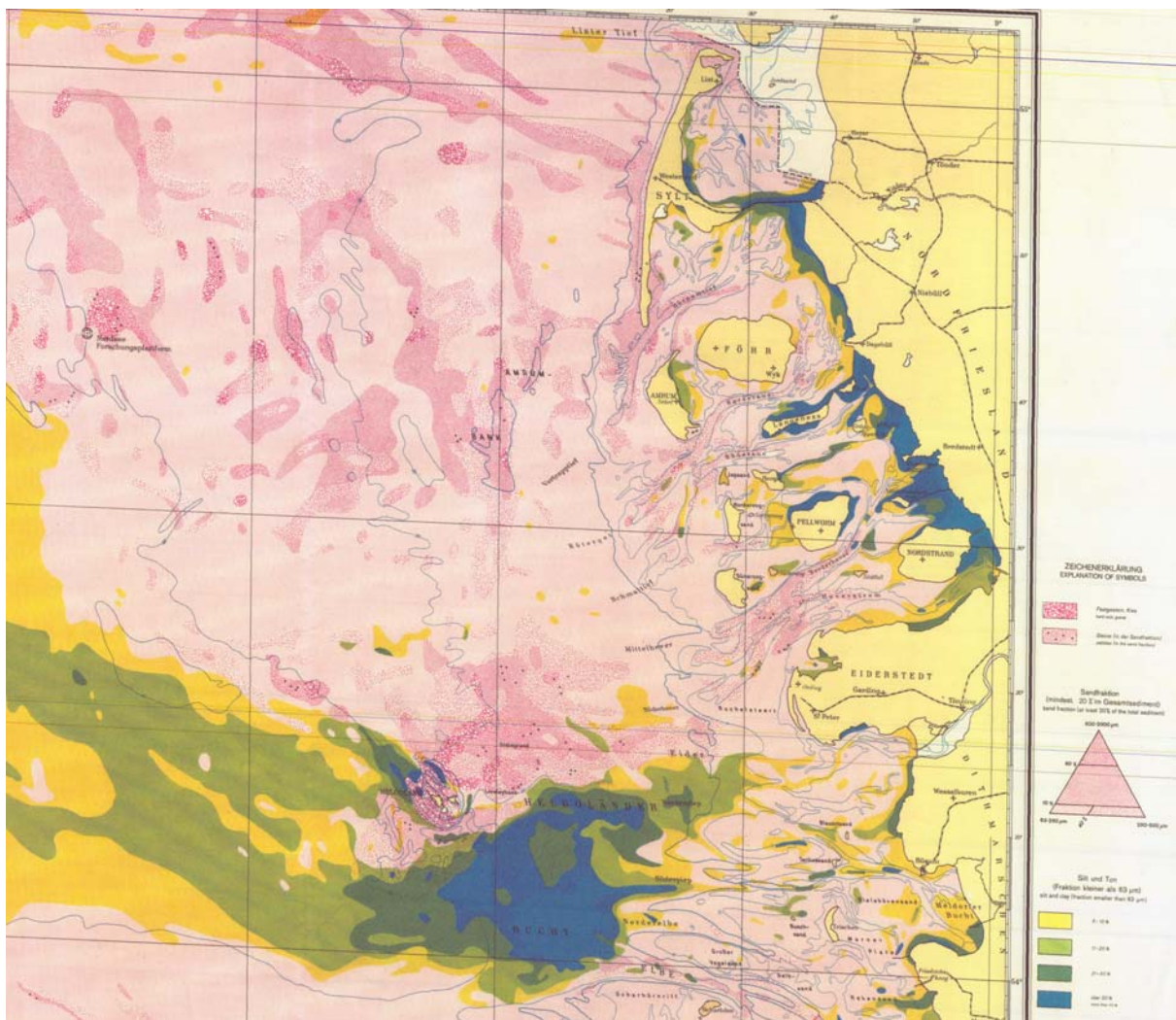


Abbildung 8: Sedimentverteilung der Deutschen Bucht (FIGGE 1981)

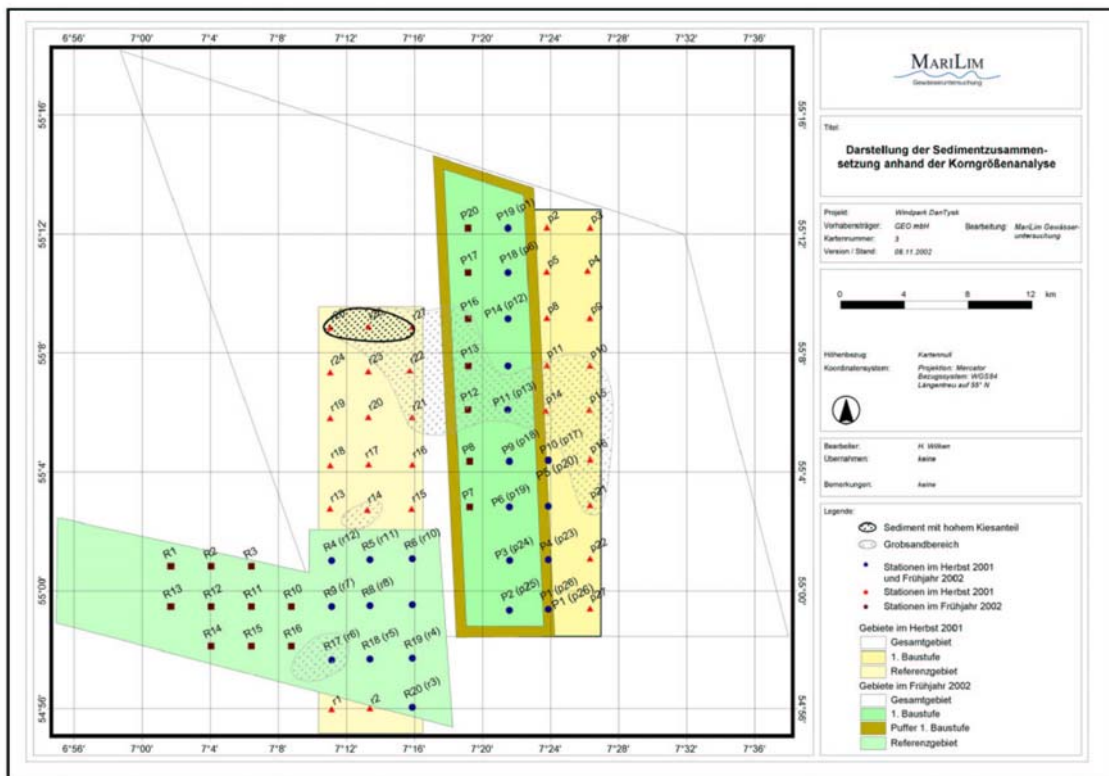


Abbildung 9: Sedimentverteilung nach Antragsunterlagen

4. Modellierung

Nach Vorbereitung und Plausibilitätsprüfung und der Anpassung der externen Inputdaten konnte mit der Modellierung begonnen werden. Als erstes galt es, ein Raster zu erzeugen, welches einem Kompromiss zwischen Rechenzeit und Auflösung gerecht wird. Ein Raster größer als 50 m x 50 m schied aus Gründen der notwendigen Implementierung der Gründungsstrukturen aus, da diese dann unverhältnismäßig große Ausdehnungen aufweisen würden. Ein Raster kleiner 20 m ergibt nicht mehr durchführbare Rechenzeiten. Das hier gewählte Raster von 20 m x 20 m stellt somit einen Kompromiss zwischen diesen Randbedingungen dar. Hieraus ergibt sich ein Durchmesser von 20 m für die Monopiles und Rechenzeiten für die Modellierung für einen Monat Echtzeit von 275 Stunden Rechnerzeit.

Ein Pile von 20 m Durchmesser stellt somit einen übertriebenen Einbau dar. Daher wurde ein zweites Modellgebiet mit einem Raster von 1 m x 1 m für hochauflösende Modellierung aufgebaut. In dieses Raster wurde eine Gründungsstruktur von 8 m Durchmesser eingesetzt. Die Ausdehnung des Gebietes beträgt 200 m x 200 m. Die



Wassertiefe wurde mit –25 m angenommen, da dies den flachsten Bereich im DanTysk Gebiet darstellt. Für Sturmbedingungen wurde das Gebiet auf 600 m X 600 m erweitert.

Modellierungen mit Wellen- bzw. mit Wind- und Welleneinfluss ergaben, dass die Wellendaten des Messpfahl Westerlands keinen Einfluss auf das Strömungsgeschehen haben. Das Verhältnis von Wellenhöhe zu Wassertiefe ist so gering, dass Wellen in diesem Bereich überwiegend keinen Einfluss haben. Daher wurde auch vor dem Hintergrund der Rechenzeiten auf die Berücksichtigung von Naturmessdaten der Wellen verzichtet. Stattdessen wurden Extremwerte in den Untersuchungen berücksichtigt.

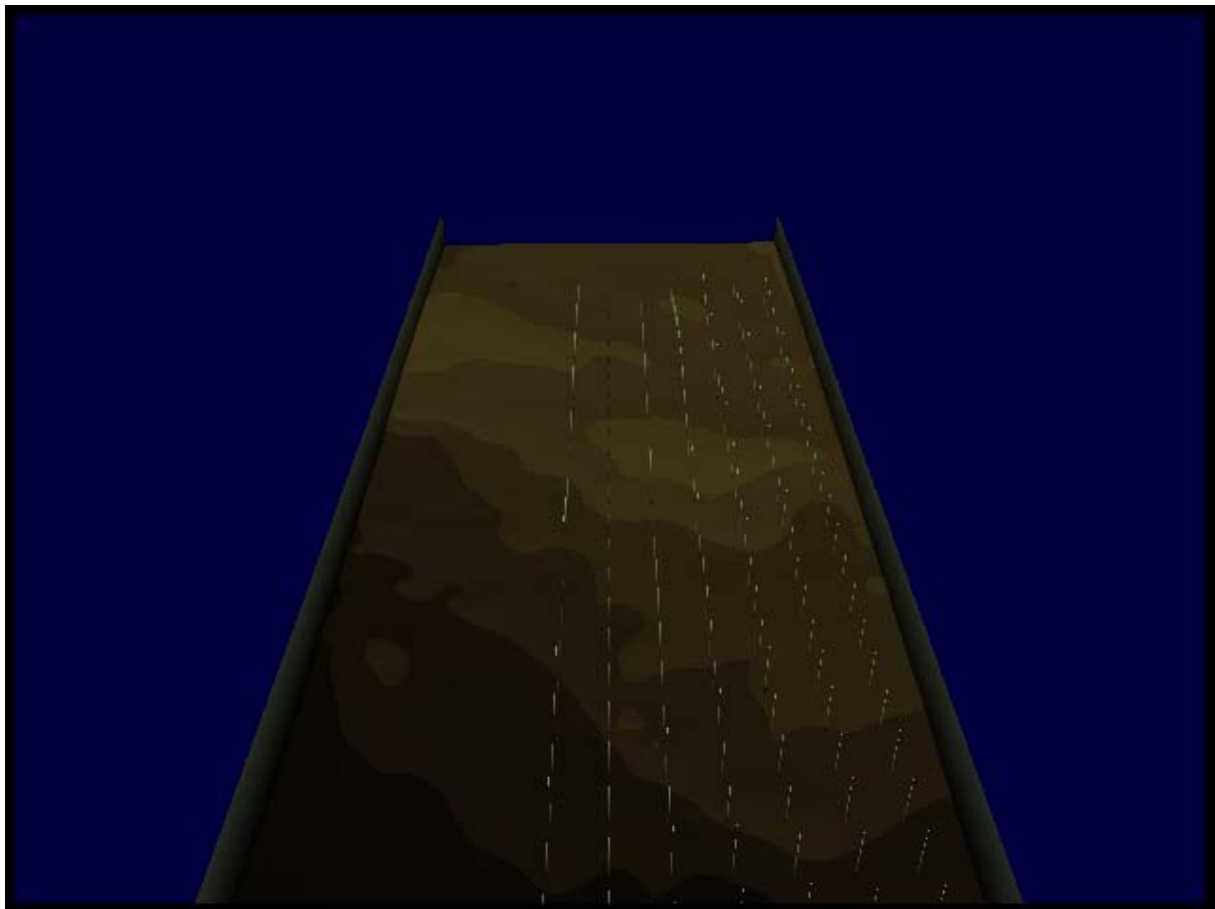


Abbildung 10: Das Untersuchungsgebiet mit Gründungsstrukturen

Bei einem Gitterabstand von 20 Meter ergeben sich Knotenpunkte von 600 in der Breite und 1470 in der Höhe. Insgesamt enthält das Modell somit 882.000 Knotenpunkte.

Bei 1000 Meter Abstand der Piles untereinander ergibt sich ein Pile bei jedem 50stem Gitterwert. Es ergibt sich somit ein Feld von 6 Reihen mit 24 Piles, also 144 Piles im betrachteten Untersuchungsgebiet.



Erste Baustufe: (nach Antragsunterlagen)	Modellgrenze der Piles:	erster Pile bei Gitterwert:	letzter Pile bei Gitterwert:
unter linke Ecke (0,0)			
Rechtswert: 32388000	32388000	250	
Hochwert: 5985000	6096000	20	
obere rechte Ecke (600,1470)			
Rechtswert: 32398000	32394000		550
Hochwert: 6118000	6120000		1220

4.1. Parameterstudie

In der Parameterstudie wurden die Beiwerte, die nicht aus direkten Naturmessungen stammen, auf ihre Sensitivität der Beeinflussung des Ergebnisses hin näher untersucht. Die nichtveränderbaren Parameter wie Topographie, Wind, Welle, Tide und Sediment wurden in allen Modellläufen konstant gehalten. Bodenreibung und Turbulenz können von der Theorie her die Ergebnisse stark beeinflussen und wurden daher untersucht.

4.1.1 Bodenreibung

In MIKE21 kann die Bodenreibung auf zwei verschiedene Weisen berücksichtigt werden. Entweder wird sie durch den Widerstandsbeiwert nach CHEZY definiert oder durch die MANNING-Zahl vorgegeben. Zwischen CHEZY-Beiwert und MANNING-Zahl wird folgende Beziehung angesetzt:

$$C = M \cdot h^{1/6}$$

mit:	C	Widerstandsbeiwert nach CHEZY	$[m^{1/2}/s]$
	M	MANNING-Zahl	$[m^{1/3}/s]$
	h	Wassertiefe	$[m]$

Die MANNING-Zahl liegt erfahrungsmäßig zwischen 20 und 40 $m^{1/3}/s$. Die CHEZY-Widerstandsbeiwerte liegen i. A. in einem Bereich von 30 bis 50 $m^{1/2}/s$. Durch die Anpassung von Reibungsbeiwerten im Bereich offener Modellränder kann die numerische Stabilität entschieden verbessert werden. Zu diesem Zweck wird im Bereich der offenen Modellränder die MANNING-Zahl auf einen Wert von 5 bis 10 $m^{1/3}/s$ festgelegt (DHI 2002). Voreingestellt in MIKE21 ist die MANNING-Zahl von 32 $m^{1/3}/s$. Eine Erhöhung auf z. B. 50 $m^{1/3}/s$ führt zu



unrealistisch großen Strömungsgeschwindigkeiten in der Nord-Süd Komponente. Daher wurde die MANNING-Zahl von $32 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ beibehalten.

4.1.2 Turbulenz

Der Einfluss der Turbulenz auf die Strömung wird in den Schubspannungstermen berücksichtigt und geht auf das Prinzip der Wirbelviskosität nach BOUSSINEQ (1877) zurück. Für die Festlegung der Wirbelviskosität wird in MIKE21 zwischen zwei verschiedenen Ansätzen unterschieden:

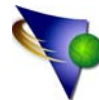
- die durchflussbasierte Formulierung und
- die geschwindigkeitsbasierte Formulierung.

Die durchflussbasierte Formulierung sollte lediglich für Untersuchungsgebiete mit konstanter Wassertiefe verwendet werden. Im vorliegenden Falle wurde die geschwindigkeitsbasierte Formulierung angewandt. Wird der Ansatz nach SMAGORINSKY (1963) verwendet, so geht der Viskositätsbeiwert als Funktion der Fließgeschwindigkeitsgradienten ein und liegt zwischen 0,25 und 1. Veränderungen der SMAGORINSKY-Konstante ergaben kaum Veränderungen in den Strömungsgeschwindigkeiten oder Wassermassentransporte, so dass der voreingestellte Wert von 0,5 beibehalten wurde.

4.1.3 Sedimenttransportformeln

Für den Sedimenttransport in strömungsdominierten Systemen bietet MIKE21 die Transportformel nach Ackers & White, Zyserman & Fredsøe, Engelund & Fredsøe, Engelund & Hansen sowie Meyer-Peter & Müller an. Für kombinierte Systeme aus Strömung- und Wellenüberlagerung stehen weitere zwei Ansätze zur Verfügung die hier nicht zum Einsatz kamen.

Im vorliegenden Fall wurden alle fünf strömungsbasierten Ansätze durchgerechnet. Die größten Unterschiede ergaben sich hierbei zwischen den Ansätzen von Engelund & Hansen und Meyer-Peter & Müller. Erosionen zwischen 7 cm beim Ansatz von Engelund & Hansen stehen maximale Erosionen von 1 cm im Ansatz von Meyer-Peter & Müller gegenüber. Der Ansatz von Engelund & Hansen weist maximale Sedimentationen von 9,6 cm und der von Meyer-Peter & Müller von 2 cm auf. Insgesamt betrachtet sind dies jedoch relativ geringe Werte, wobei die prozentuale Schwankungsbreite recht groß ist. Alle andern Transportformelansätze lagen zwischen diesen Werten, orientierten sich aber eher zu den Größenordnungen von Engelund & Hansen. Da die maximalen Auswirkungen ermittelt werden sollen, wurde auf den Ansatz von Engelund & Hansen zurückgegriffen.



5. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse beschrieben und diskutiert. Die dazugehörigen Animationen sind auf beiliegender CD enthalten. Dargestellt werden die Strömungsverhältnisse sowie die potentiellen Erosions- und Ablagerungsbereiche.

5.1. Gesamtgebiet

Das Gesamtgebiet umfasst den wie oben beschriebenen Teil des Windparks DanTysk mit 144 Piles. Für alle Tests wurden Vergleichsrechnungen mit und ohne Piles durchgeführt, um eine verbesserte Vergleichsbetrachtungen der Auswirkungen der Piles zu ermöglichen.

5.1.1 Strömung

Ermittelt wurden die Strömungskomponenten U (West-Ost) und V (Süd-Nord). Ohne Piles werden maximale Strömungsgeschwindigkeiten (V) von 1,28 m/s in Richtung Nord ermittelt. Diese treten im nordwestlichen Bereich in der geringsten Wassertiefe von -23 m auf (Abbildung 11). Mit Piles treten hier Strömungsgeschwindigkeiten der Süd-Nord Komponente von 1,24 m/s auf. Die maximale Strömungsgeschwindigkeit von 1,34 m/s tritt bei der seitlichen Umströmung eines Piles auf. Gegenüber den Nachbarbereichen wird hier eine Strömungserhöhung von ca. 12 cm/s ermittelt. Direkt hinter einem Pile kommt es zu einer Strömungsverminderung von bis zu 1 m/s. Bereits in 100 m Entfernung beträgt die Verminderung nur noch 50 cm/s und in 600 m ist die Strömung nur noch um 19 cm/s verringert (Abbildung 12).

In der Darstellung des resultierenden Vektors, ist bis max. 300 m Entfernung noch eine geringfügige Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit festzustellen (Abbildung 14 und 15).

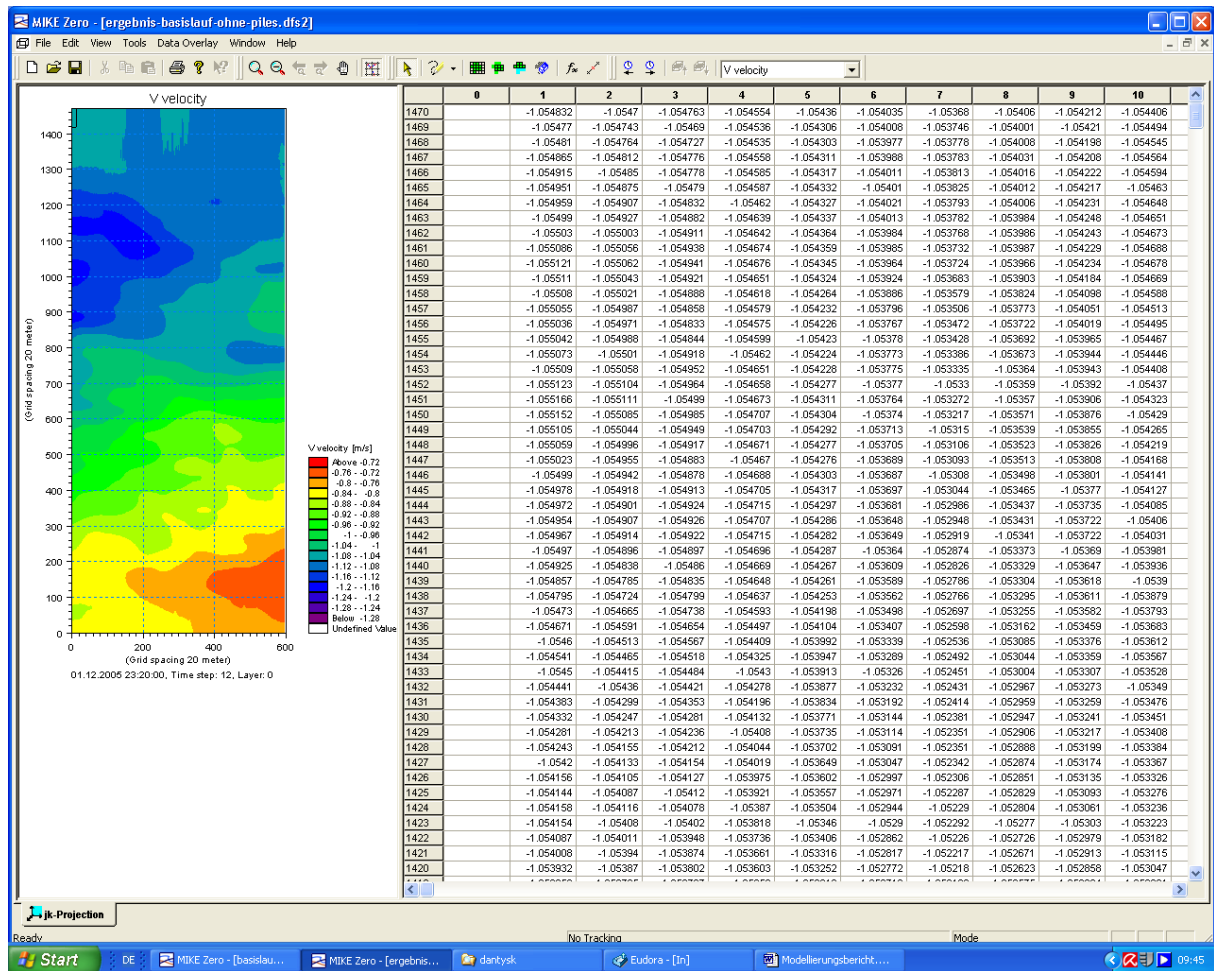


Abbildung 11: Strömungskomponente V während der Ebbphase ohne Piles

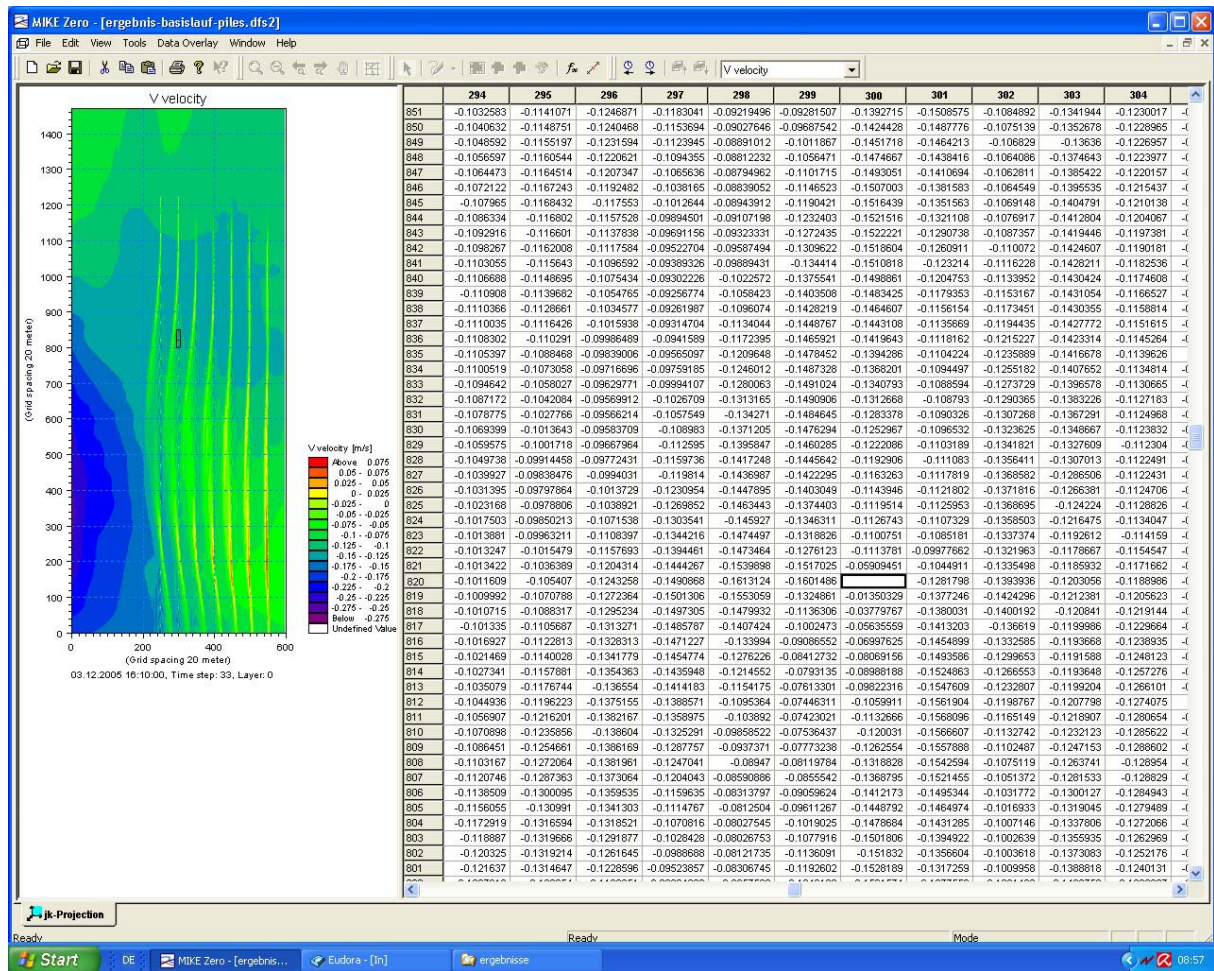


Abbildung 12: Strömungskomponente V während der Ebbphase mit Piles

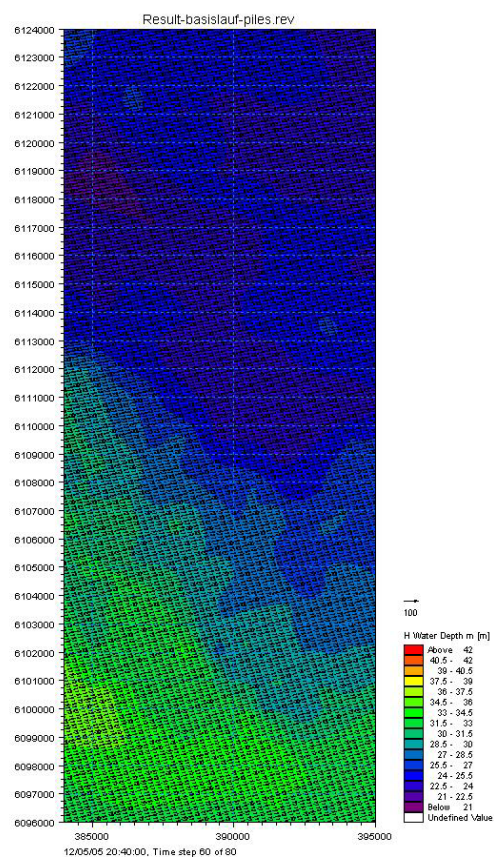
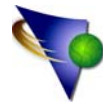


Abbildung 13: resultierende Strömungsvektoren während der Flutphase ohne Piles

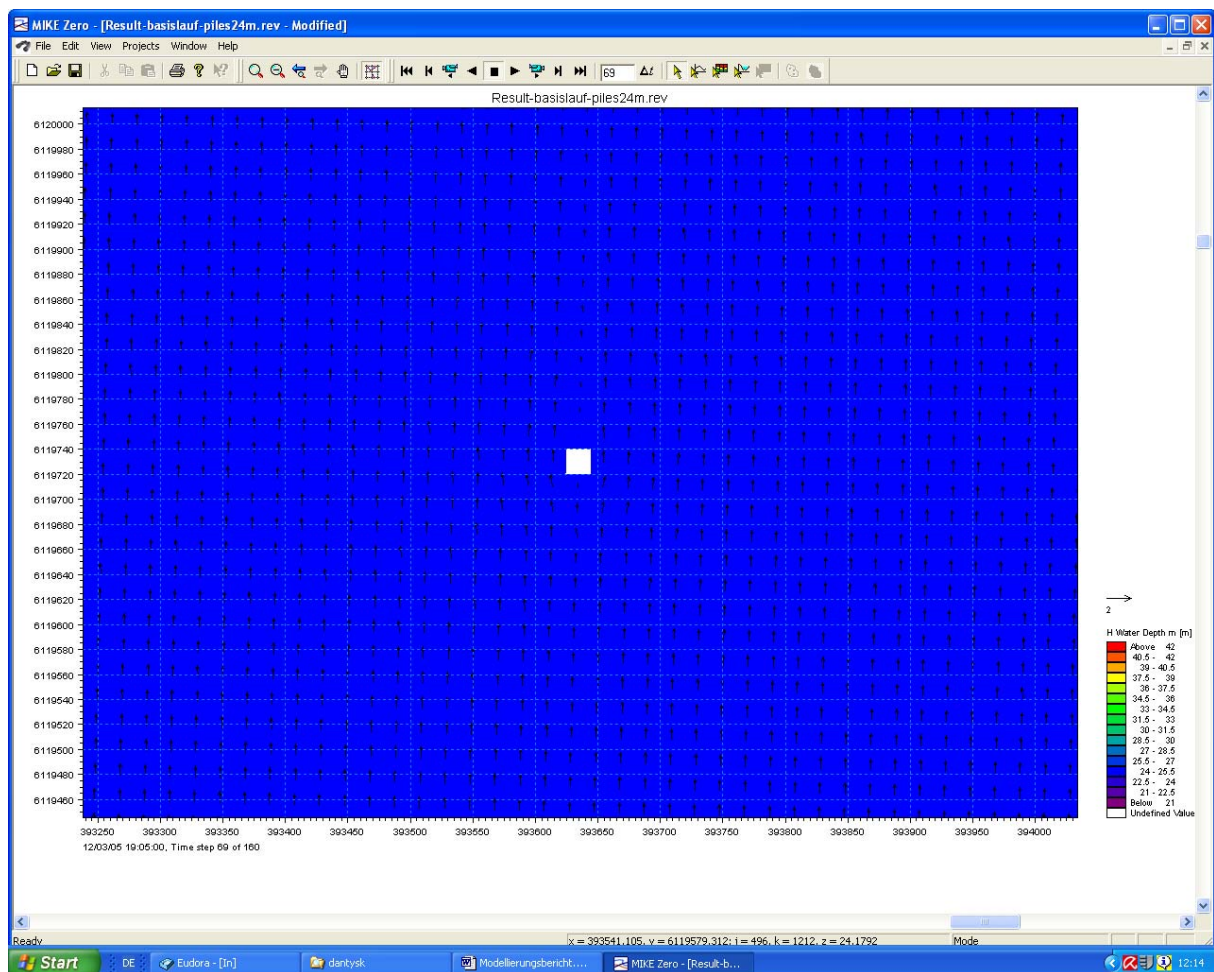


Abbildung 14: Strömungsvektoren während der Flutphase um einen Pile (Auszug aus Gesamtgebiet)

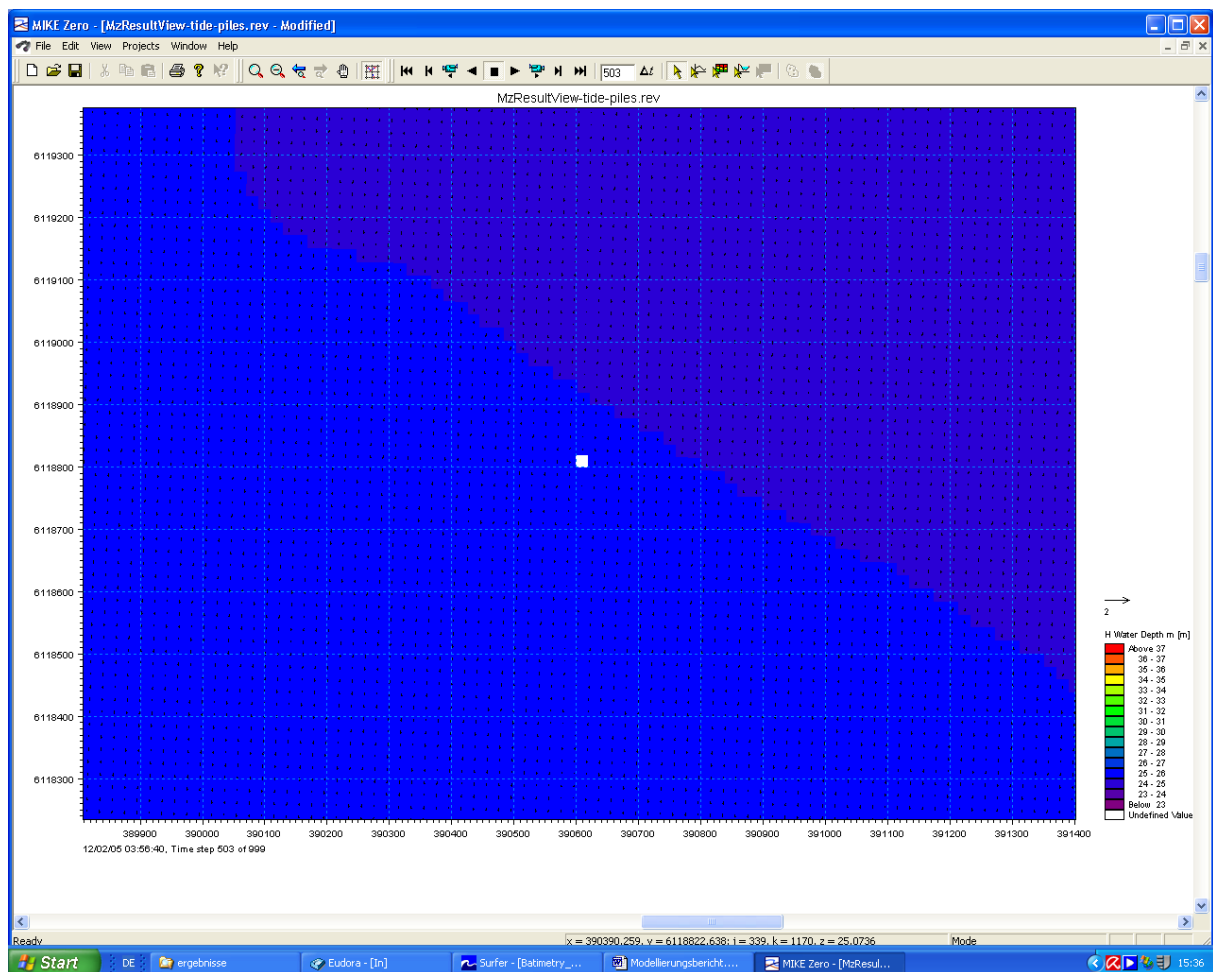
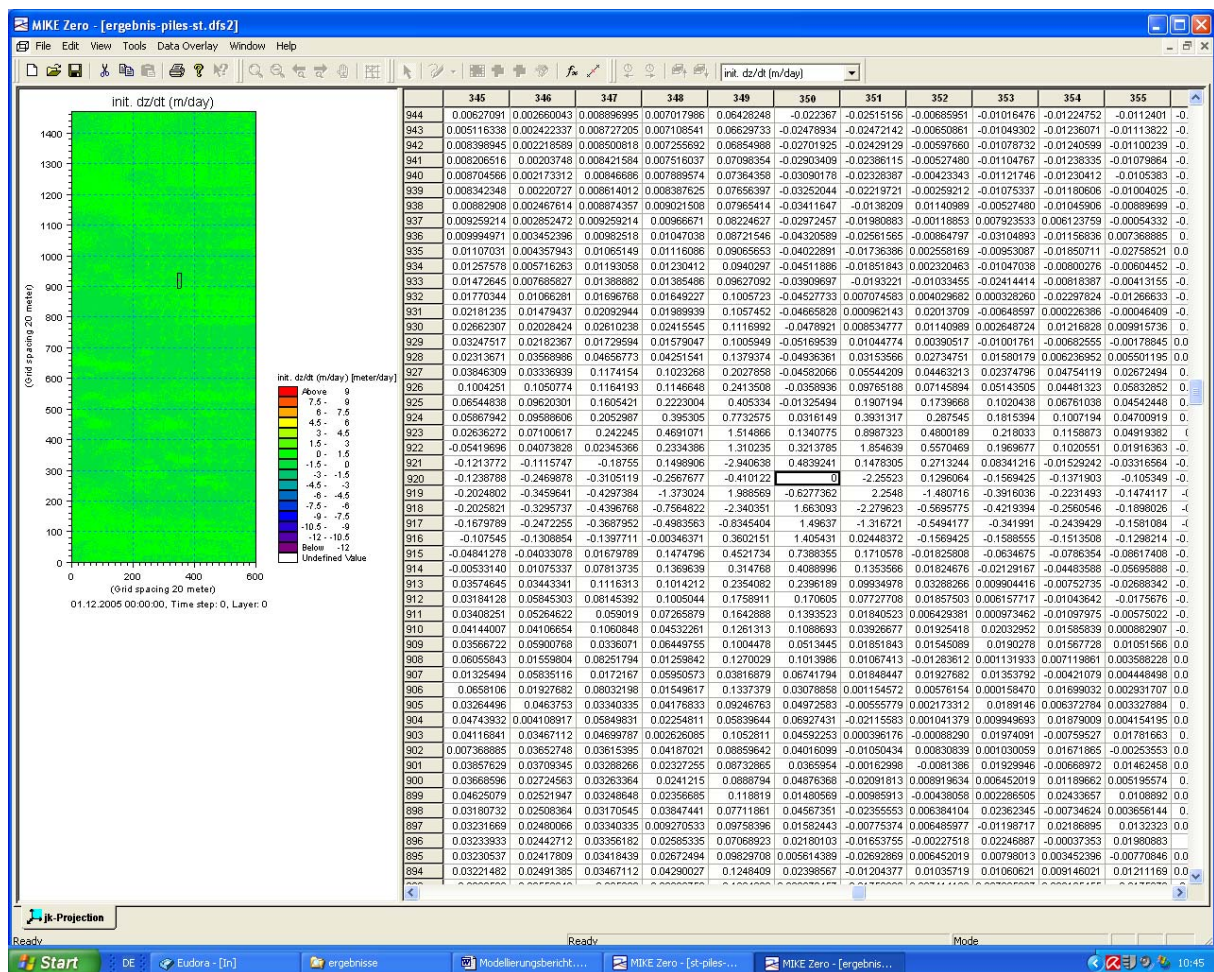


Abbildung 15: Strömungsvektoren während der Flutphase um einen Pile mit maximaler Windgeschwindigkeit von 50 m/s (Auszug aus Gesamtgebiet)

5.1.2 Sedimente

Maximale Erosionen von 3 m finden im nordwestlichen flachen Bereich des Untersuchungsgebietes um einen Pile statt. Erosionen lassen sich bis ca. 80 um einen Pile ermittelt, die in dieser Entfernung 1 – 2 Dezimeter aufweisen. Vereinzelt kommt es an anderen Piles zu Erosionen von bis zu 2 Metern aber auch zu Sedimentationen von bis zu 1,5 m. Überwiegend liegen die Veränderungen jedoch im Dezimeterbereich (Abbildung 16).

Während des angenommen Sturmes verändern sich die Erosionen und Akkumulationen nur geringfügig und liegen in der gleichen Größenordnung. Eine zusätzliche Auskolkung ist nicht festzustellen.



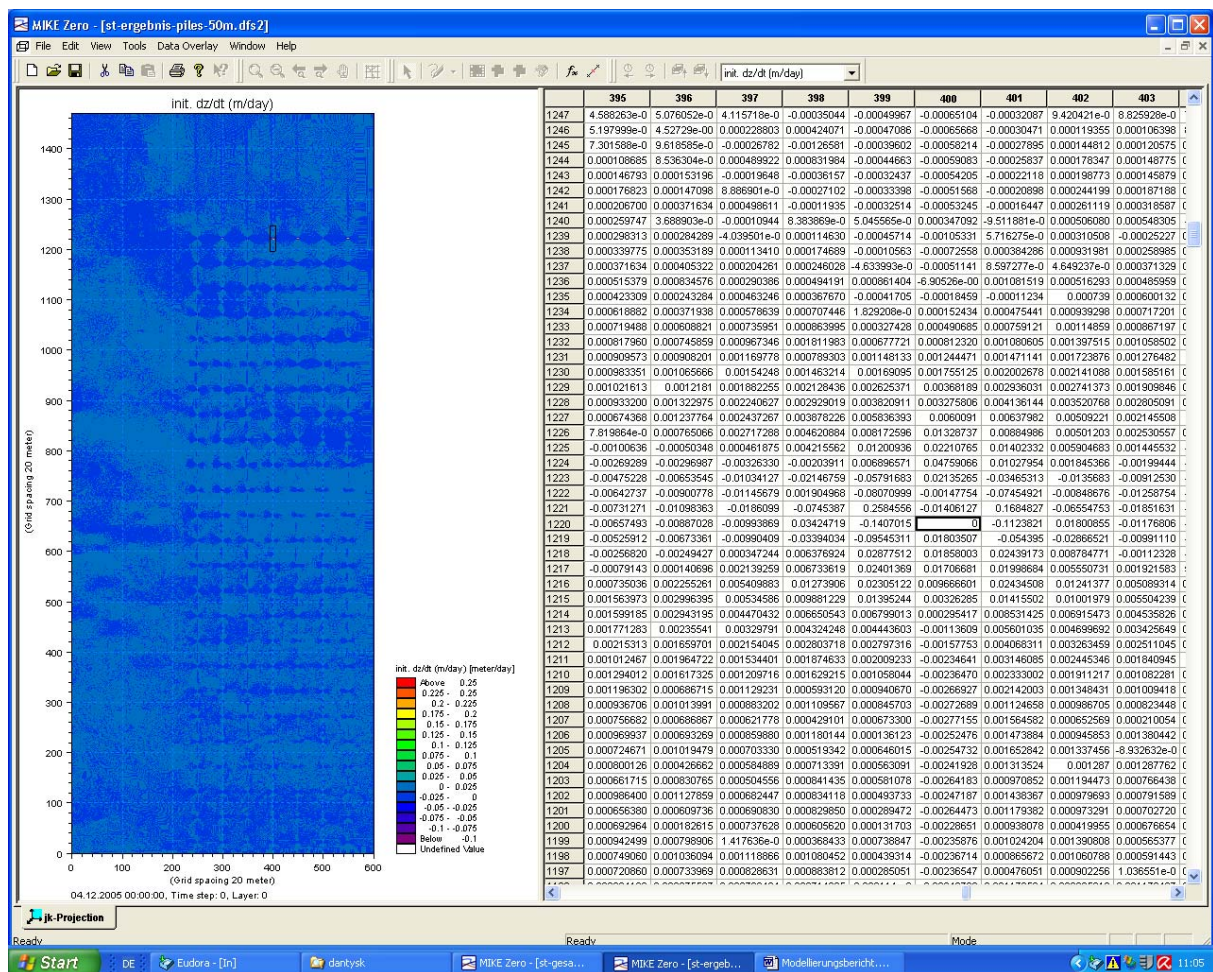


Abbildung 17: Tiefenveränderung im Gesamtgebiet mit Piles und einer Windgeschwindigkeit von maximal 50m/s

5.2. Einzelpile

Die Rechnungen für einen Einzelpile wurden mit den gleichen Parametern durchgeführt, wie für das Gesamtgebiet, um eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wobei jedoch das 1 x 1 Meter Raster eine detailliertere und vor allem naturnähere Betrachtung zulässt.

5.2.1 Strömung

Die Strömungsgeschwindigkeiten im Testgebiet liegen im allgemeinen bei ca. 0,025 m/s. Bei der Umströmung des Monopiles erhöhen sich die Strömungsgeschwindigkeiten auf ca. 0,05 m/s an den seitlichen Flanken. Hinter dem Pile kommt es zu einer Verwirbelung mit Strömungsgeschwindigkeiten zwischen -0,01 bis 0,025 m/s (s. Abbildung 18 und 19).

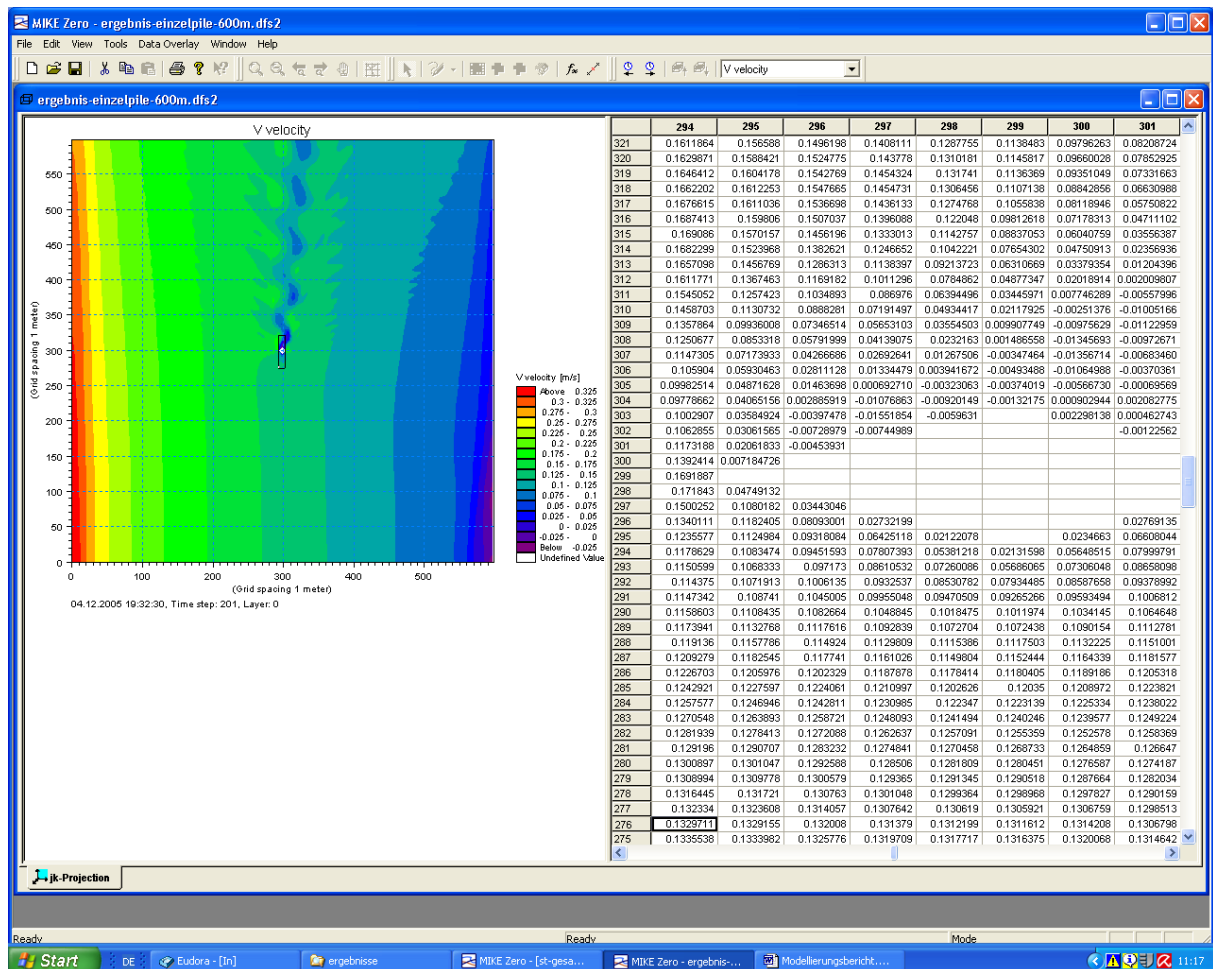
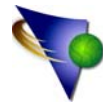


Abbildung 18: Strömungskomponente V während der Flutphase um einen Pile

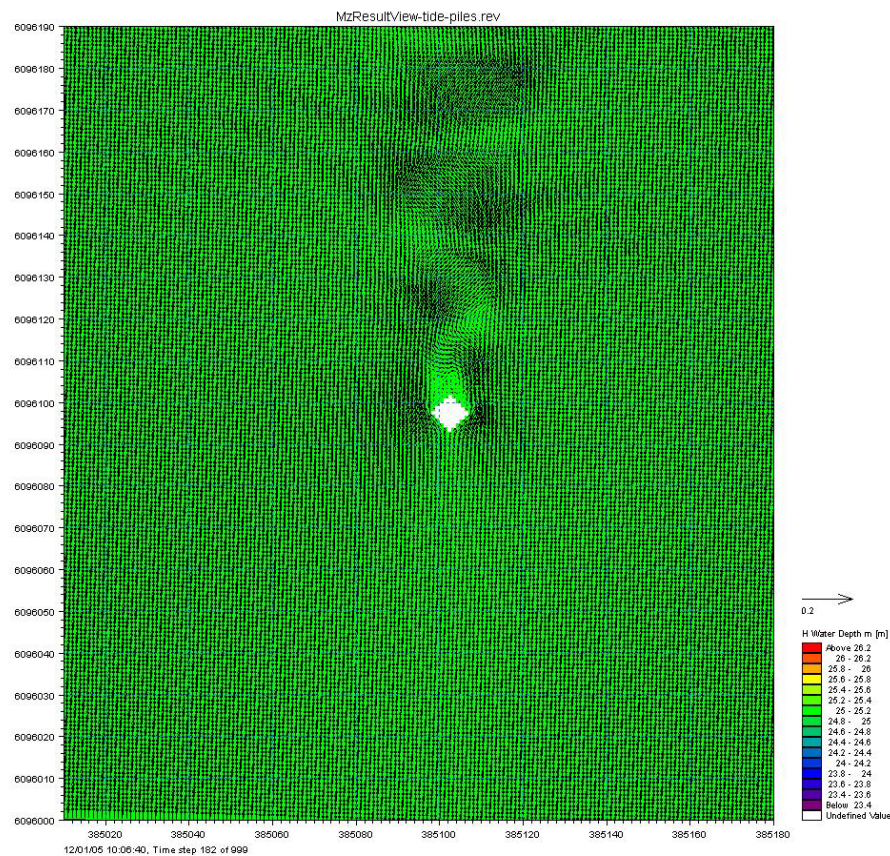


Abbildung 19: Strömungsvektoren um einen Pile während der Flutphase

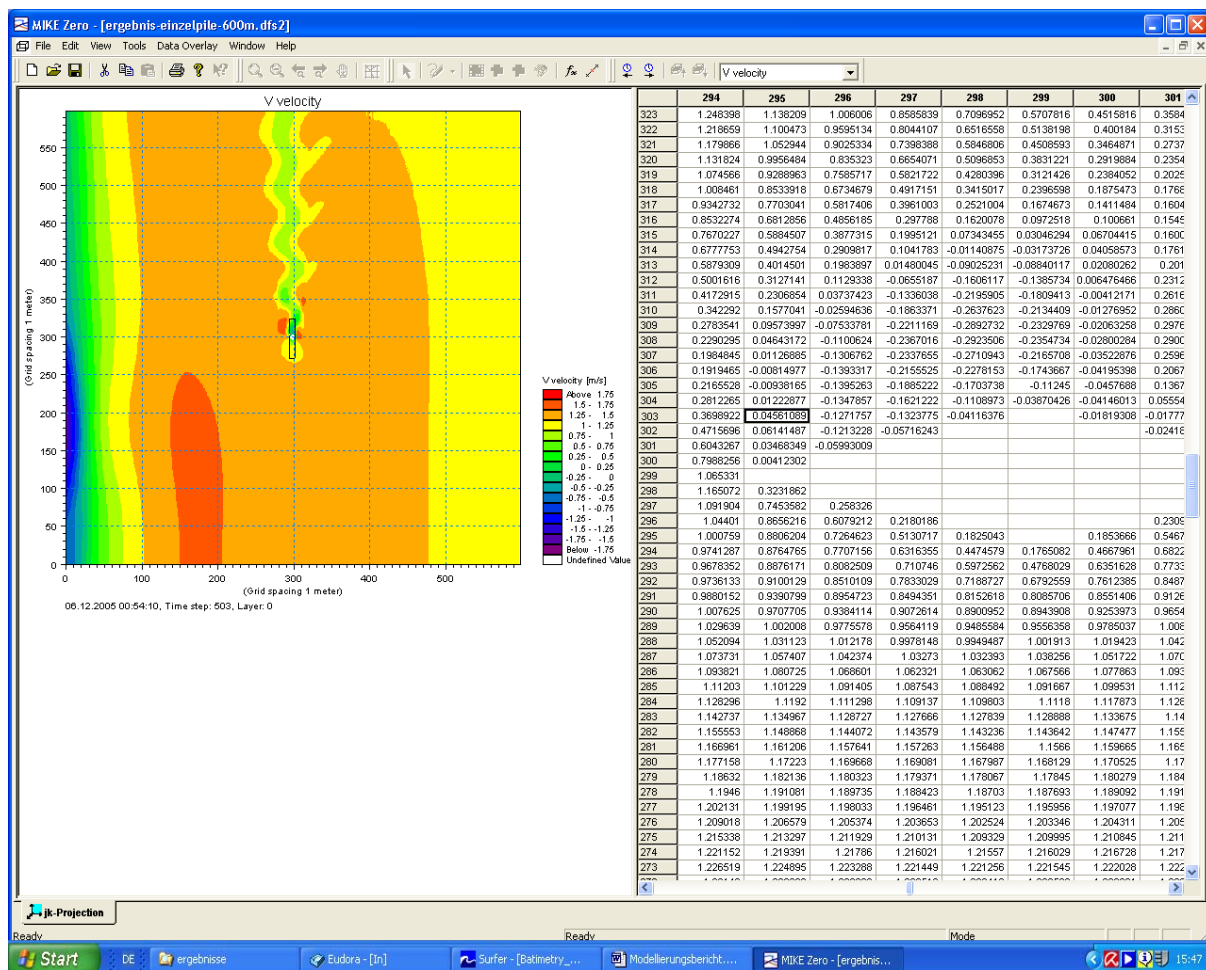
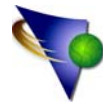


Abbildung 20: Strömungskomponenten V um einen Pile während der Flutphase bei einer maximalen Windgeschwindigkeit von 50m/s

5.2.2 Sedimente

Die mit den gemessenen Naturdaten ermittelten Tiefenveränderungen um einen Einzelpile liegen im Zentimeterbereich und sind nach einigen Metern nicht mehr nachweisbar. Topographische Veränderungen sind ansonsten mit den gegebenen Parametern nicht ermittelbar bzw. liegen in nicht relevanten Größenordnungen und können gleich Null angesehen werden.

Bei einem theoretischen Sturm mit Windgeschwindigkeiten von bis zu 50 m/s treten in direkten Umfeld (bis max. 3 Meter) Erosion bis zu 2.2 Meter auf. Nach 6 Metern Entfernung liegen die Erosionen schon unter 10 cm. Im weiteren Umfeld sind dann Veränderungen nur



noch im Zentimeterbereich nachweisbar und dürften mit dem Pile nicht mehr in Verbindung stehen.

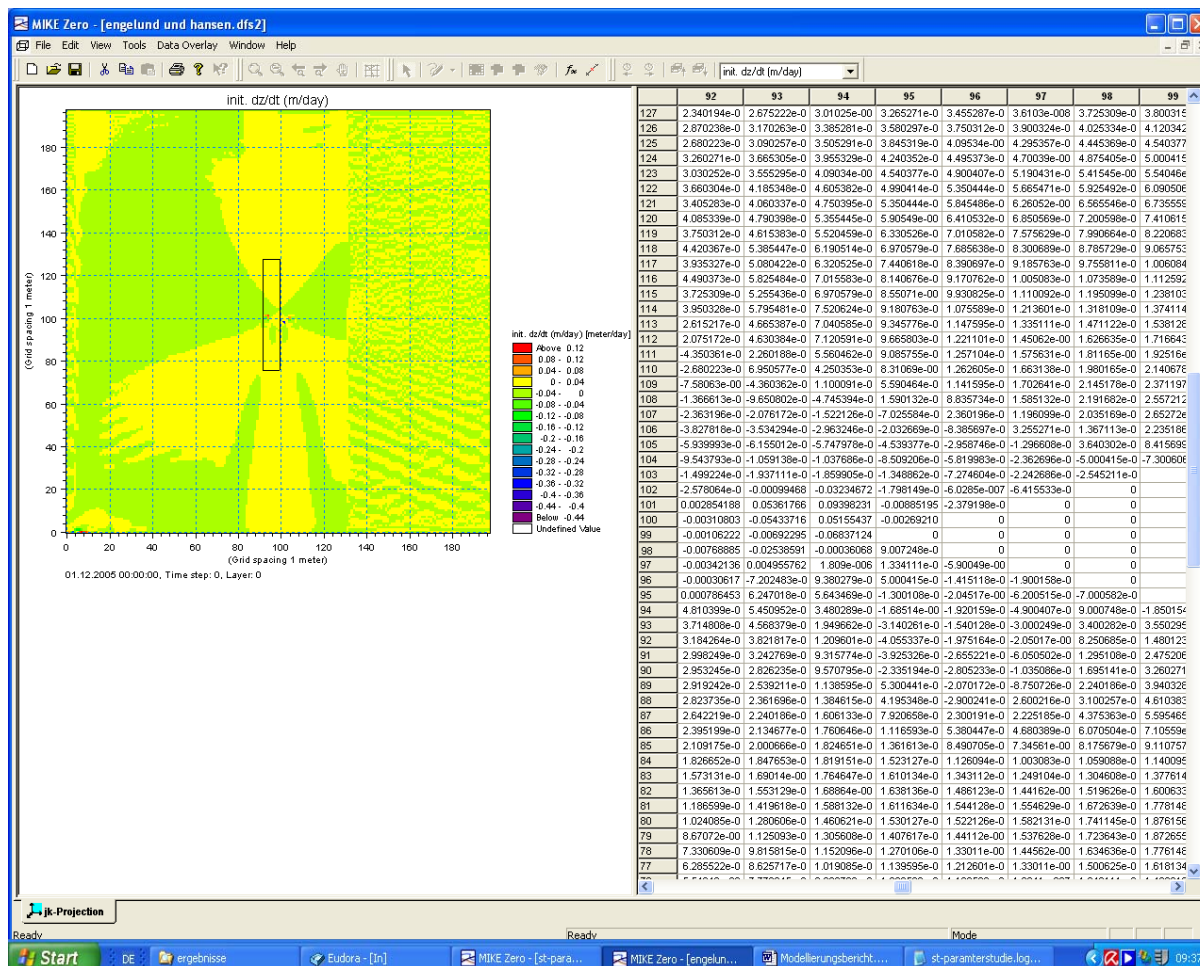


Abbildung 21: Tiefenveränderung um einen Pile

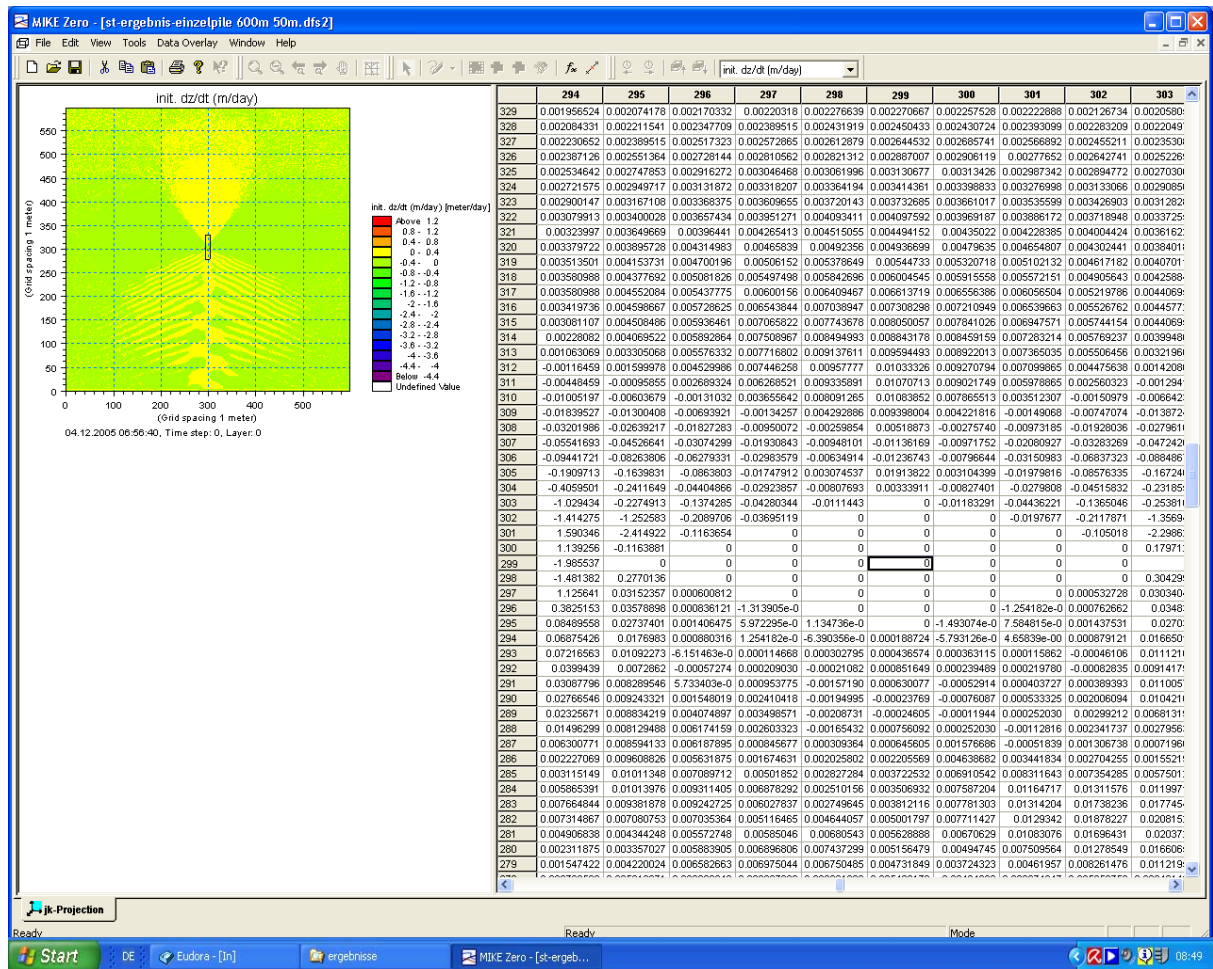


Abbildung 22: Tiefenveränderung um einen Pile und einer maximalen Windgeschwindigkeit von 50 m/s

6 Bewertung

Wie die obige Auswertungen zeigen, sind relevante Auswirkungen von Monopiles auf die Sedimentstruktur und Morphologie in diesem Gebiet nicht vorhanden. Kummulative Effekte, bzw. Interaktionen zwischen den einzelnen Piles treten nicht auf. Lokal kommt es zwar zu Auskolkungen, diese haben aber nur ein sehr begrenztes Ausmaß. Aus geologisch-sedimentologischer Sicht bestehen daher keine Bedenken gegen den Bau von Monopiles in diesem Gebiet unter den heutigen meteorologischen Bedingungen.



7 Literatur

- Ackers, P. and White, W.R. *Sediment Transport: New Approach and Analysis*
Journal of the Hydro. Div. ASCE, Vol. 99, No. HY11, 1973.
- DHI, *Reference Manual MIKE21*, 2002.
- Engelund, F. and Hansen, E. *A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Channels*. Nordic Hydrology 7, pp. 293-306, 1976.
- Engelund, F. and Fredsøe, J. *A sediment transport model for straight alluvial channels*. Nordic Hydrology, 7, pp. 296-306, 1976.
- Figge, K. Karte der Sedimentverteilung in der Deutschen Bucht, BSH, 1981
- Meyer-Peter, E. and Müller, R. *Formulas for Bed-Load Transport*. Proceedings, Second Congress IAHR, Stockholm, Sweden, 1948.
- Smargorinsky, J. *General Circulation Experiment' with the Primitive Equations*, Monthly Weather Review, 91, N. 3, pp 99-164, 1963.
- Zyserman, J. and Fredsøe, F. *Data Analysis of Bed Concentration of Suspended Sediment*. J. of Hydr. Eng., ASCE, Vol. 120, No. 9, 1994.



Anhang 1: Protokoll Basislauf DanTysk mit 144 Piles, Gesamtgebiet

Startzeit: 2007-01-15 08:40:59

Target: MIKE21_NESTED_MODEL

Coastal Hydraulics and Oceanography

Section: NESTED_MODEL_GLOBALS

Section: MODULE_SELECTION

Simulation_Type : 0

Section: HYDRODYNAMIC_MODULE

Section: OPTION_PARAMETERS

Print_Misc_Output : 0 0 0 0 0 0 0 0 0 (default)

Section: BATHYMETRY_SELECTION

No_of_Areas : 1

Section: DATA_FILE

File_Name : D:\dantysk\tiefengrid-dantysk-piles.dfs2

Item_Numbers : 1 (default)

Projection : UTM-32

CoriolisForce : True

Land_Slides : False

Section: SIMULATION_PERIOD

Number_of_Timesteps : 100000

Time_Step_Interval : 7

Warm_Up_Period : 500

Start_Time : 2005 12 1 0 0 0

Section: SURFACE_ELEVATION

Type : 1

Constant_Value : 0.78

Section: RESISTANCE

Formulation : 0

Data_Format : 1

Constant_Value : 32

Include_Pier : False

Section: EDDY_VISCOSITY

Data_Format : 3

Formulation : 0

Smagorinsky_Format : 0.5

Section: OPEN_BOUNDARY

Number_Of_Boundaries : 2

Section: BOUNDARY_1

First_Point : 1 1470

Last_Point : 599 1470

Formulation : 1

Data_Format : 3

FAB_Type : 12

Tilt_Type : 0

Tilting_Point : 1

Section: USER_DIRECTIONS



Enable_User_Directions : False
Section: DATA_FILE
File_Name : D:\dantysk\pegel-westerland-dez-05-1std.dfs0
Item_Numbers : 1
Item_Number_of_Curvature : 2 (default)
Section: OPTION_PARAMETERS
Force_Cubic_Interpolation_in_T0 : 0 (default)

----- Data File Summary -----

Data origin: MIKE Zero
Title : Pegel Westerland
Delete : -1.000E-30

Axis Sets Interval Axis origin Unit
time 4321 600 2005-12-01 00:00:00

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Pegel	Undefined	-1.48	1.41	m

Section: BOUNDARY_2

First_Point : 1 0
Last_Point : 599 0
Formulation : 1
Data_Format : 3
FAB_Type : 12
Tilt_Type : 0
Tilting_Point : 1

Section: USER_DIRECTIONS

Enable_User_Directions : False

Section: DATA_FILE

File_Name : D:\dantysk\pegel-westerland-dez-05.dfs0
Item_Numbers : 1
Item_Number_of_Curvature : 2 (default)

----- Data File Summary -----

Data origin: MIKE Zero

Title : Dantsyk-pegel-Dezember-2005
Delete : -1.000E-30

Axis Sets Interval Axis origin Unit
time 4321 600 2005-12-01 00:00:00

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Pegel	Undefined	-1.48	1.41	m

Section: WIND_CONDITIONS



Data_Format : 2
Section: DATA_FILE
File_Name : D:\dantysk\westerland-Wind-Dez2005.dfs0
Item_Numbers : 1 2

----- Data File Summary -----

Data origin: MIKE Zero

Title : Wind12-05
Delete : -1.000E-30

Axis Sets Interval Axis origin Unit
time 4464 600 2005-12-01 00:00:00

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Speed	Wind Velocity	0.18	18.75	m/s
Direction	Wind Direction	0	360	degree

Section: WIND_CONDITIONS

Type_of_Wind_Friction : 0
Constant_Friction : 0.0026

Section: MASS_BUDGET

NoOfPolygons : 0

Section: OUTPUT_SPECIFICATION

Number_of_Output_Areas : 1
File_Name : D:\dantysk\ergebnisse\ergebnis-basislauf-piles.dfs2
Type : 2
X_Range_And_Interval : 0 600 1
Y_Range_And_Interval : 0 1470 1
Area_No : 1
First_Time_Step : 0
Last_Time_Step : 100000
Time_Step_Interval : 1000
Output_Item : 6
ITEM_NUMBERS : 1 2 3 4 5 6
Title : basislauf mit piles

Section: OPTION_PARAMETERS

Dissipation_coefficient : 0.5 (default)
880954. Number of water points in area 1

Data origin:

Title : basislauf-piles
Delete : -1.000E-30

Axis	Sets	Interval	Axis origin	Unit
------	------	----------	-------------	------



time 81 7000 2005-12-01 00:00:00
1 601 20 0 meter
2 1471 20 0 meter

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
H Water Depth m	Water Level	21.477533	37.412975	meter
P Flux m ³ /s/m	Flow Flux	-11.081593	10.718661	m ³ /s/m
Q Flux m ³ /s/m	Flow Flux	-38.771976	32.334652	m ³ /s/m
Surface elevation	Surface Elevation	-1.457778	1.07	meter
U velocity	u-velocity component	-0.444092	0.398786	m/s
V velocity	v-velocity component	-1.335118	1.344097	m/s

----- Run Statistics -----

Total number of computational points : 70463094784.
Elapsed time : 156894 [s]
Points/sec : 449112.8

Normal run completion
Successful completion



Anhang 2: Protokoll Basislauf DanTysk Gesamtgebiet

Startzeit : 18.01.2007, 12:13:16

Target: MIKE21_NESTED_MODEL
Coastal Hydraulics and Oceanography
Section: NESTED_MODEL_GLOBALS
Section: MODULE_SELECTION
Simulation_Type : 0
Section: HYDRODYNAMIC_MODULE
Section: BATHYMETRY_SELECTION
No_of_Areas : 1
Hot_Start : 0
Section: DATA_FILE
File_Name : D:\dantysk\tiefengrid-dantysk.dfs2
Item_Numbers : 1 (default)
Section: BATHYMETRY_SELECTION
Projection : UTM-32
CoriolisForce : True
Land_Slides : False
Section: SIMULATION_PERIOD
Number_of_Timesteps : 100000
Time_Step_Interval : 7
Warm_Up_Period : 500
Start_Time : 2005 12 1 0 0 0
Section: SURFACE_ELEVATION
Section: AREA_1
Type : 1
Constant_Value : 0.78
Section: RESISTANCE
Formulation : 0
Section: AREA_1
Data_Format : 1
Constant_Value : 32
Include_Pier : False
Section: EDDY_VISCOSITY
Data_Format : 3
Formulation : 0
Smagorinsky_Format : 0.5
Section: WAVE_RADIATION
Included : False
Section: OPEN_BOUNDARY
Number_Of_Boundaries : 2
Section: OPEN_BOUNDARY
Section: BOUNDARY_1
First_Point : 1 1470
Last_Point : 599 1470



Section: OPEN_BOUNDARY

Section: BOUNDARY_1

Formulation : 1

Data_Format : 3

FAB_Type : 12

Tilt_Type : 0

Tilting_Point : 1

Section: DATA_FILE

File_Name : D:\dantysk\pegel-westerland-dez-05-1std.dfs0

Item_Numbers : 1

Item_Number_of_Curvature : 2 (default)

----- Data File Summary -----

Data origin: MIKE Zero

Title : Pegel Westerland

Delete : -1.000E-30

Axis	Sets	Interval	Axis origin	Unit
time	4321	600	2005-12-01 00:00:00	

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Pegel	undefined	-1.48	1.41	meter

Section: OPEN_BOUNDARY

Section: BOUNDARY_2

First_Point : 1 0

Last_Point : 599 0

Formulation : 1

Data_Format : 3

FAB_Type : 12

Tilt_Type : 0

Tilting_Point : 1

Section: DATA_FILE

File_Name : D:\dantysk\pegel-westerland-dez-05.dfs0

Item_Numbers : 1

Item_Number_of_Curvature : 2 (default)

----- Data File Summary -----

Data origin: MIKE Zero

Title : Dantsyk-pegel-Dezember-2005

Delete : -1.000E-30

Axis	Sets	Interval	Axis origin	Unit
time	4321	600	2005-12-01 00:00:00	



Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Pegel	Undefined	-1.48	1.41	meter

Section: OPTION_PARAMETERS

Chezymin : 5 (default)

Chezymax : 30 (default)

Section: WIND_CONDITIONS

Data_Format : 2

Section: DATA_FILE

File_Name : D:\dantysk\westerland-Wind-Dez2005.dfs0

Item_Numbers : 1 2

----- Data File Summary -----

Data origin: MIKE Zero

Title : Wind12-05

Delete : -1.000E-30

Axis	Sets	Interval	Axis origin	Unit
time	4464	600	2005-12-01 00:00:00	

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Speed	Wind Velocity	0.18	18.75	m/s
Direction	Wind Direction	0	360	degree

Section: WIND_CONDITIONS

Type_of_Wind_Friction : 0

Constant_Friction : 0.0026

Section: OUTPUT_SPECIFICATION

Section: OUTPUT_AREA_1

File_Name : D:\dantysk\ergebnisse\ergebnis-basislauf-ohne-piles.dfs2

Type : 2

X_Range_And_Interval : 0 600 1

Y_Range_And_Interval : 0 1470 1

Area_No : 1

First_Time_Step : 0

Last_Time_Step : 100000

Time_Step_Interval : 1000

Output_Item : 6

ITEM_NUMBERS : 1 2 3 4 5 6

Title :

----- Data File Summary -----

Data origin:

Title : basislauf ohne piles

Delete : -1.000E-30



Axis	Sets	Interval	Axis origin	Unit
time	81	7000	2005-12-01 00:00:00	
1	601	20	0	meter
2	1471	20	0	meter

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
H Water Depth m	Water Level	21.477903	37.412426	meter
P Flux m ³ /s/m	Flow Flux	-2.799172	2.310898	m ³ /s/m
Q Flux m ³ /s/m	Flow Flux	-38.805328	32.33065	m ³ /s/m
Surface elevation	Surface Elevation	-1.457778	1.07	meter
U velocity	u-velocity component	-0.109622	0.090454	m/s
V velocity	v-velocity component	-1.274866	1.285027	m/s

----- Run Statistics -----

Total number of computational points	:	70464258048.
Elapsed time	:	156203 [s]
Points/sec	:	451106.9

Normal run completion
Successful completion



Anhang 3: Protokoll Basislauf DanTysk mit Piles und einer maximalen Windgeschwindigkeit von 50m/s

Startzeit: 2007-02-12, 11:33:17

Target: MIKE21_NESTED_MODEL
Coastal Hydraulics and Oceanography
Section: NESTED_MODEL_GLOBALS
Section: MODULE_SELECTION
Simulation_Type : 0
Section: HYDRODYNAMIC_MODULE
Section: OPTION_PARAMETERS
Print_Misc_Output : 0 0 0 0 0 0 0 0 0 (default)
Section: BATHYMETRY_SELECTION
No_of_Areas : 1
Hot_Start : 0
Section: BATHYMETRY_SELECTION
Section: AREA_1
Section: DATA_FILE
File_Name : D:\dantysk\tiefengrid-dantysk-piles.dfs2
Section: SIMULATION_PERIOD
Number_of_Timesteps : 80000
Time_Step_Interval : 7
Warm_Up_Period : 500
Start_Time : 2005 12 1 0 0 0
Section: SURFACE_ELEVATION
Section: AREA_1
Type : 1
Constant_Value : 0.78
Section: RESISTANCE
Formulation : 0
Section: AREA_1
Data_Format : 1
Constant_Value : 32
Section: EDDY_VISCOSITY
Data_Format : 3
Formulation : 0
Section: EDDY_VISCOSITY
Section: AREA_1
Smagorinsky_Format : 0.5
Section: OPTION_PARAMETERS
Smag_File_Name_Area_1 : (default)
Section: OPTION_PARAMETERS
MinimumEddy_Area_1 : 0 (default)
Section: OPTION_PARAMETERS
MaximumEddy_Area_1 : 571.428589 (default)
Section: OPTION_PARAMETERS



MinEddyDepth : 50 (default)
Section: OPEN_BOUNDARY
Number_Of_Boundaries : 2
Section: OPEN_BOUNDARY
Section: BOUNDARY_1
First_Point : 1 1470
Last_Point : 599 1470
Section: OPEN_BOUNDARY
Section: BOUNDARY_1
Formulation : 1
Data_Format : 3
FAB_Type : 12
Tilt_Type : 0
Tilting_Point : 1
Section: USER_DIRECTIONS
Enable_User_Directions : False
Section: DATA_FILE
File_Name : D:\dantysk\pegel-westerland-dez-05-1std.dfs0
Item_Numbers : 1
Item_Number_of_Curvature : 2 (default)
Section: OPTION_PARAMETERS
Force_Cubic_Interpolation_in_T0 : 0 (default)

----- Data File Summary -----

Data origin: MIKE Zero

Title : Pegel Westerland

Delete : -1.000E-30

Axis Sets Interval Axis origin Unit

time 4321 600 2005-12-01 00:00:00

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Untitled	Undefined	-1.48	1.41	meter

Section: OPEN_BOUNDARY

Section: BOUNDARY_2

First_Point : 1 0

Last_Point : 599 0

Section: OPEN_BOUNDARY

Section: BOUNDARY_2

Formulation : 1

Data_Format : 3

FAB_Type : 12

Tilt_Type : 0

Tilting_Point : 1

Section: USER_DIRECTIONS

Enable_User_Directions : False

Section: DATA_FILE

File_Name : D:\dantysk\pegel-westerland-dez-05.dfs0



Item_Numbers : 1
Item_Number_of_Curvature : 2 (default)

----- Data File Summary -----

Data origin: MIKE Zero

Title : Dantsyk-pegel-august-2005

Delete : -1.000E-30

Axis Sets Interval Axis origin Unit
time 4321 600 2005-12-01 00:00:00

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Untitled	Undefined	-1.48	1.41	meter

Section: OPTION_PARAMETERS

Chezymin : 5 (default)

Section: OPTION_PARAMETERS

Chezymax : 30 (default)

Section: OPTION_PARAMETERS

Include_Structures : False (default)

Section: OPTION_PARAMETERS

Read_decoupled_files : False (default)

Section: WIND_CONDITIONS

Data_Format : 2

Section: DATA_FILE

File_Name : D:\dantsyk\westerland-Wind-Dez2005-50m.dfs0

Item_Numbers : 1 2

----- Data File Summary -----

Data origin: MIKE Zero

Title : Wind12-05

Delete : -1.000E-30

Axis Sets Interval Axis origin Unit
time 4464 600 2005-12-01 00:00:00

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Speed	Wind Velocity	0.18	50	m/s
Direction	Wind Direction	0	360	degree

----- Data File Summary -----

Data origin: MIKE Zero

Title : Wind12-05

Delete : -1.000E-30

Axis Sets Interval Axis origin Unit
time 4464 600 2005-12-01 00:00:00

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Speed	Wind Velocity	0.18	50	m/s
Direction	Wind Direction	0	360	degree

Section: WIND_CONDITIONS -----



Type_of_Wind_Friction : 0
Constant_Friction : 0.0026
Section: OUTPUT_SPECIFICATION
Section: OUTPUT_AREA_1
File_Name : D:\dantysk\ergebnisse\ergebnis-basislauf-piles 50m.dfs2
Type : 2
X_Range_And_Interval : 0 600 1
Y_Range_And_Interval : 0 1470 1
Area_No : 1
First_Time_Step : 0
Last_Time_Step : 25000
Time_Step_Interval : 500
Output_Item : 5
ITEM_NUMBERS : 1 2 3 5 6
Title :

----- Data File Summary -----

Data origin:

Title :

Delete : -1.000E-30

Axis Sets Interval Axis origin Unit
time 51 3500 2005-12-01 00:00:00

1 601 20 0 meter
2 1471 20 0 meter

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
H Water Depth m	Water Level	21.416273	37.311768	meter
P Flux m ³ /s/m	Flow Flux	-10.747232	10.397915	m ³ /s/m
Q Flux m ³ /s/m	Flow Flux	-36.539436	32.334652	m ³ /s/m
U velocity	u-velocity component	-0.434974	0.398786	m/s
V velocity	v-velocity component	-1.303716	1.344097	m/s

----- Run Statistics -----

Total number of computational points : 70463094784.

Elapsed time : 158512 [s]

Points/sec : 444528.5

Normal run completion

Successful completion



Anhang 6: Protokoll Basislauf DanTysk Einzelpile

Startzeit: 2007 01 25, 16:03:42

Target: MIKE21_NESTED_MODEL

Coastal Hydraulics and Oceanography

Section: NESTED_MODEL_GLOBALS

Section: MODULE_SELECTION

Simulation_Type : 0

Section: HYDRODYNAMIC_MODULE

Section: BATHYMETRY_SELECTION

No_of_Areas : 1

Section: DATA_FILE

File_Name : D:\dantysk\eznzelpile.dfs2

Item_Numbers : 1 (default)

Projection : UTM-32

CoriolisForce : True

Land_Slides : False

Section: SIMULATION_PERIOD

Number_of_Timesteps : 500000

Time_Step_Interval : 0.4

Warm_Up_Period : 500

Start_Time : 2005 12 1 0 0 0

Section: SURFACE_ELEVATION

Section: AREA_1

Type : 1

Constant_Value : 0.78

Section: RESISTANCE

Formulation : 0

Data_Format : 1

Constant_Value : 25

Include_Pier : False

Section: EDDY_VISCOSITY

Data_Format : 3

Formulation : 0

Smagorinsky_Format : 0.5

Smag_File_Name_Area_1 : (default)

MinimumEddy_AREA_1 : 0 (default)

MaximumEddy_AREA_1 : 25 (default)

MinEddyDepth : 50 (default)

Section: WAVE_RADIATION

Section: AREA_1

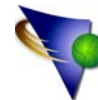
Included : False

Section: OPEN_BOUNDARY

Number_Of_Boundaries : 2

Section: BOUNDARY_1

First_Point : 1 199



Last_Point : 198 199

Formulation : 1

Data_Format : 3

FAB_Type : 12

Tilt_Type : 0

Tilting_Point : 1

Section: USER_DIRECTIONS

Enable_User_Directions : False

Section: DATA_FILE

File_Name : D:\dantysk\pegel-westerland-dez-05.dfs0

Item_Numbers : 1

Item_Number_of_Curvature : 2 (default)

Section: OPTION_PARAMETERS

Force_Cubic_Interpolation_in_T0 : 0 (default)

----- Data File Summary -----

Data origin: MIKE Zero

Title : Dantsyk-pegel-august-2005

Delete : -1.000E-30

Axis	Sets	Interval	Axis origin	Unit
time	4321	600	2005-12-01 00:00:00	

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Untitled	Undefined	-1.48	1.41	meter

Section: OPEN_BOUNDARY

Section: BOUNDARY_2

First_Point : 1 0

Last_Point : 198 0

Formulation : 1

Data_Format : 3

FAB_Type : 12

Tilt_Type : 0

Tilting_Point : 1

Section: USER_DIRECTIONS

Enable_User_Directions : False

Section: DATA_FILE

File_Name : D:\dantysk\pegel-westerland-dez-05.dfs0

Item_Numbers : 1

Item_Number_of_Curvature : 2 (default)

----- Data File Summary -----

Data origin: MIKE Zero

Title : Dantsyk-pegel-august-2005



Delete : -1.000E-30

Axis Sets Interval Axis origin Unit
time 4321 600 2005-12-01 00:00:00

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Untitled	Undefined	-1.48	1.41	meter

Section: OPTION_PARAMETERS

Chezymin : 5 (default)

Chezymax : 30 (default)

Section: WIND_CONDITIONS

Data_Format : 2

Section: DATA_FILE

File_Name : D:\dantysk\westerland-Wind-Dez2005.dfs0

Item_Numbers : 1 2

----- Data File Summary -----

Data origin: MIKE Zero

Title : Wind12-05

Delete : -1.000E-30

Axis Sets Interval Axis origin Unit
time 4464 600 2005-12-01 00:00:00

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Speed	Wind Velocity	0.18	18.75	m/s
Direction	Wind Direction	0	360	degree

----- Data File Summary -----

Data origin: MIKE Zero

Title : Wind12-05

Delete : -1.000E-30

Axis Sets Interval Axis origin Unit
time 4464 600 2005-12-01 00:00:00

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
Speed	Wind Velocity	0.18	18.75	m/s
Direction	Wind Direction	0	360	degree

Section: WIND_CONDITIONS

Type_of_Wind_Friction : 0

Constant_Friction : 0.0026

Section: SOURCE_AND_SINK



Number_Of_Sources : 0
 Section: SOURCE_AND_SINK
 PrecipitationType : -1
 Precipitation : 0
 NetPrecipitation : False
 EvaporationType : -1
 Evaporation : 0
 Section: MASS_BUDGET
 NoOfPolygons : 0
 Section: OUTPUT_SPECIFICATION
 Number_of_Output_Areas : 1
 Generate_Hotstart : False
 File_Name : D:\dantysk\ergebnisse\ergebnis-einzelpile.dfs2
 Type : 2
 X_Range_And_Interval : 1 199 1
 Y_Range_And_Interval : 1 199 1
 Area_No : 1
 First_Time_Step : 0
 Last_Time_Step : 500000
 Time_Step_Interval : 500
 Output_Item : 6
 ITEM_NUMBERS : 1 2 3 5 6 7
 Title :

Section: HYDRODYNAMIC_MODULE
 Section: OPTION_PARAMETERS
 Dissipation_coefficient : 0.5 (default)
 39559. Number of water points in area 1

----- Data File Summary -----

Data origin:

Title :
 Delete : -1.000E-30

Axis	Sets	Interval	Axis origin	Unit
time	1001	200.000003	2005-12-01 00:00:00	
1	199	1	0	meter
2	199	1	0	meter

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
H Water Depth m	Water Level	23.519619	25.980038	meter
P Flux m ³ /s/m	Flow Flux	-5.981488	1.937378	m ³ /s/m
Q Flux m ³ /s/m	Flow Flux	-3.051531	4.67662	m ³ /s/m
U velocity	u-velocity component	-0.241283	0.081953	m/s
V velocity	v-velocity component	-0.122477	0.189106	m/s
Still water depth	Water Depth	-25	-25	meter



----- Run Statistics -----
Total number of computational points : 19808372736.
Elapsed time : 19586 [s]
Points/sec : 1011353.7

Normal run completion
Successful completion



Anhang 7: Protokoll Basislauf DanTysk Einzelpile und einer maximalen Windgeschwindigkeit von 50 m/s

Startzeit: 2007-03-01, 09:40:42

Target: MIKE21_NESTED_MODEL
Coastal Hydraulics and Oceanography
Section: NESTED_MODEL_GLOBALS
Section: MODULE_SELECTION
Simulation_Type : 0
Section: HYDRODYNAMIC_MODULE
Section: OPTION_PARAMETERS
Print_Misc_Output : 0 0 0 0 0 0 0 0 0 (default)
Section: BATHYMETRY_SELECTION
No_of_Areas : 1
Hot_Start : 0
Section: BATHYMETRY_SELECTION
Section: AREA_1
Section: DATA_FILE -
File_Name : D:\dantysk\einzelpile 600X600m.dfs2
Item_Numbers : 1 (default)
Section: SIMULATION_PERIOD
Number_of_Timesteps : 370285
Time_Step_Interval : 0.7
Warm_Up_Period : 500
Start_Time : 2005 12 4 0 0 0
Section: SURFACE_ELEVATION
Section: AREA_1 -
Type : 1
Constant_Value : 0.78
Section: RESISTANCE
Formulation : 0
Section: AREA_1
Data_Format : 1
Constant_Value : 25
Include_Pier : False
Section: EDDY_VISCOSITY
Data_Format : 3
Formulation : 0
Section: EDDY_VISCOSITY
Section: AREA_1
Smagorinsky_Format : 0.9
Section: OPTION_PARAMETERS
Smag_File_Name_Area_1 : (default)



Section: OPTION_PARAMETERS
MinimumEddy_AREA_1 : 0 (default)
Section: OPTION_PARAMETERS
MaximumEddy_AREA_1 : 14.285714 (default)
Section: OPTION_PARAMETERS
MinEddyDepth : 50 (default)
Section: OPEN_BOUNDARY
Number_Of_Boundaries : 2
Section: OPEN_BOUNDARY
Section: BOUNDARY_1
First_Point : 1 599
Last_Point : 598 599
Section: OPEN_BOUNDARY
Section: BOUNDARY_1
Formulation : 1
Data_Format : 1
FAB_Type : 12
Tilt_Type : -1
Section: USER_DIRECTIONS
Enable_User_Directions : False
Value : 0
Section: OPEN_BOUNDARY
Section: BOUNDARY_2
First_Point : 1 0
Last_Point : 598 0
Section: OPEN_BOUNDARY
Section: BOUNDARY_2
Formulation : 1
Data_Format : 1
FAB_Type : 12
Tilt_Type : -1
Section: USER_DIRECTIONS
Enable_User_Directions : False
Section: OPTION_PARAMETERS
Chezymax : 30 (default)
Section: WIND_CONDITIONS
Data_Format : 2
Section: DATA_FILE
File_Name : D:\dantysk\westerland-Wind-Dez2005-50m.dfs0
Item_Numbers : 1 2
Section: OPTION_PARAMETERS
Force_Cubic_Interpolation_in_T0 : 0 (default)

----- Data File Summary -----

Data origin: MIKE Zero
Title : Wind12-05
Delete : -1.000E-30



Axis Sets	Interval	Axis origin	Unit
time 4464	600	2005-12-01 00:00:00	
Item name	Item type	Minimum	Maximum Unit
Speed	Wind Velocity	0.18	50 m/s
Direction	Wind Direction	0	360 degree

----- Data File Summary -----

Data origin: MIKE Zero

Title : Wind12-05

Delete : -1.000E-30

Axis Sets	Interval	Axis origin	Unit
time 4464	600	2005-12-01 00:00:00	
Item name	Item type	Minimum	Maximum Unit
Speed	Wind Velocity	0.18	50 m/s
Direction	Wind Direction	0	360 degree

Section: WIND_CONDITIONS -----

Type_of_Wind_Friction : 0

Constant_Friction : 0.002

Section: OUTPUT_SPECIFICATION

Number_of_Output_Areas : 1

Generate_Hotstart : False

Section: OUTPUT_SPECIFICATION

Section: OUTPUT_AREA_1

File_Name : D:\dantysk\ergebnisse\ergebnis-einzelpile-600m.dfs2

Type : 2

X_Range_And_Interval : 1 599 1

Y_Range_And_Interval : 1 599 1

Area_No : 1

First_Time_Step : 0

Last_Time_Step : 370285

Time_Step_Interval : 500

Output_Item : 5

ITEM_NUMBERS : 1 2 3 5 6

Title :

----- Data File Summary -----

Data origin:

Title :

Delete : -1.000E-30

Axis Sets	Interval	Axis origin	Unit
time 741 349.999994		2005-12-04 00:00:00	
1 599	1	0	meter
2 599	1	0	meter
Item name	Item type	Minimum	Maximum Unit
H Water Depth m	Water Level	23.985748	27.1043 meter
P Flux m ³ /s/m	Flow Flux	-283.95053	128.537796 m ³ /s/m
Q Flux m ³ /s/m	Flow Flux	-164.43833	165.055878 m ³ /s/m
U velocity	u-velocity component	-11.358433	5.141856 m/s



V velocity v-velocity component -6.710038 6.612013 474240 m/s

----- Run Statistics -----

Total number of computational points : 133282111488.

Elapsed time : 243675 [s]

Points/sec : 546966.7

Normal run completion

Successful completion



Anhang 8: Protokoll ST-Simulation für Einzelpile

Startzeit: 2007-01-29, 09:32:45

Target: MIKE21_SEDIMENT_TRANSPORT

Section: Type_of_Simulation

Incl_Waves : 0

Section: HD_Input_Data

File_Name : D:\dantysk\ergebnisse\ergebnis-einzelpile für st.dfs2

----- Data File Summary -----

Data origin: nmodel.exe

Title :

Delete : -1.000E-30

Axis Sets Interval Axis origin Unit

time 1001 200.000003 2005-12-01 00:00:00

1 199 1 0 meter

2 199 1 0 meter

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
H Water Depth m	Water Level	23.519619	25.980038	meter
P Flux m ³ /s/m	Flow Flux	-5.990991	1.937649	m ³ /s/m
Q Flux m ³ /s/m	Flow Flux	-3.052107	4.676795	m ³ /s/m

Section: Case_Pure_Current

Transport_Theory : 0

Critical_Shields_Parameter : 0.045

Sediment_Density : 2.65

Water_Temperature : 10

Include_Bed_Slope_Effect : 1

Section: Bed_Resistance

Bed_Resistance_Descr : 0

Bed_Resistance_Format : 0

Constant_Manning : 32

Section: Fixed_Bed

Fixed_Bed_Exists : False

Section: Sediment_Description

Porosity : 0.4

Sediment_Size_Format : 0

Sediment_Size_d50 : 0.35

Geometric_Deviation_Sg : 1.1

Section: Miscellaneous_Options

Start_Time_of_Sediment_Calc : 0

End_Time_of_Sediment_Calc : 1000

HD_Time_Steps_per_Sediment_Calc : 1

Section: Output_Specification

File_Name : D:\dantysk\ergebnisse\engelund und hansen.dfs2

Title :

Save_Timeseries : 0



Section: Morphological_Parameters

Create_Dtsed_X : 0 (default)
 Write_Z_new : 0 (default)
 User_Dt_Morph : 200200 (default)
 Morph_Scheme : 1
 Incl_Filter : 3
 Incl_slope : 1
 MPM_factor : 1
 LateralBC : 2
 dzh_max : 1 (default)
 dzh_hmin : 0.000599 (default)

Input data:

Current data first set no. 0
 Current data last set no. 1000
 Start sediment calcs. 0 Set No.
 End sediment calcs. 1000 Set No.
 HD time steps per sed. calc. 1.00
 No. of sediment time steps 1001
 HD time step 200. Sec.
 Sediment time step 200. Sec.
 Porosity of bed material 0.40
 HD input data:

----- Data File Summary -----

Data origin:

Title :

Delete : -1.000E-30

Axis Sets Interval Axis origin Unit
 time 1001 200.000003 2005-12-01 00:00:00

1 199 1 0 meter
 2 199 1 0 meter

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
H Water Depth m	Water Level	23.519619	25.980038	meter
P Flux m ³ /s/m	Flow Flux	-5.990991	1.937649	m ³ /s/m
Q Flux m ³ /s/m	Flow Flux	-3.052107	4.676795	m ³ /s/m

Constant Sediment size (mm) = 0.350

Constant Sediment gradation = 1.100

Sediment Transport in Pure Current

S.T. formulation: Engelund & Hansen

TIME STEP INFORMATION

Max. morphology time step (secs) {COURANT} = 3295624704.

Output file for initial bed changes:

----- Data File Summary -----

Data origin:

Title :



Delete : -1.000E-30

Axis Sets Interval Axis origin Unit

1 198 1 0 meter

2 198 1 0 meter

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
avrg. Ps (m ³ /yr/m)	Sediment transport p	-0.017121	0.001743	m ³ /yr/m
avrg. Qs (m ³ /yr/m)	Sediment transport p	-0.010031	0.015189	m ³ /yr/m
init. dz/dt (m/day)	Bottom level change	-0.296677	0.125474	meter/day

----- Run Statistics -----

Total number of water points : 39202163

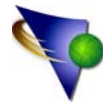
----- RUN TIME INFORMATION -----

System time : 154 [s]

Points/sec : 254559.5

M21ST: Execution finished

Successful completion



Anhang 9: Protokoll der Berechnung der topographischen Veränderung und einer maximalen Windgeschwindigkeit von 50 m/s am Einzelpile

Time: 2007-16-04; 08:17:29

Target: MIKE21_SEDIMENT_TRANSPORT

Section: Type_of_Simulation -----

Incl_Waves : 0

Section: HD_Input_Data -----

File_Name : D:\dantysk\ergebnisse\ergebnis-einzelpile-600m-50m fuer st.dfs2

----- Data File Summary -----

Data origin: nmodel.exe

Title :

Delete : -1.000E-30

Axis Sets Interval Axis origin Unit

time 641 250 2005-12-04 06:56:40

1 599 1 0 meter

2 599 1 0 meter

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
H Water Depth m	Water Level	24.942295	25.032843	meter
P Flux m ³ /s/m	Flow Flux	-13.332881	13.459496	m ³ /s/m
Q Flux m ³ /s/m	Flow Flux	-27.429379	5.468938	m ³ /s/m

Section: Case_Pure_Current

Transport_Theory : 0

Critical_Shields_Parameter : 0.045

Sediment_Density : 2.65

Water_Temperature : 10

Include_Bed_Slope_Effect : 0

Section: Bed_Resistance

Bed_Resistance_Descr : 0

Bed_Resistance_Format : 0

Constant_Manning : 32

Section: Fixed_Bed

Fixed_Bed_Exists : False

Section: Sediment_Description

Porosity : 0.4

Sediment_Size_Format : 0

Sediment_Size_d50 : 0.2

Geometric_Deviation_Sg : 1.1

Section: Subarea

J_first : 0

J_last : 598

K_first : 0

K_last : 598

Section: Miscellaneous_Options

Start_Time_of_Sediment_Calc : 0



End_Time_of_Sediment_Calc : 640
 HD_Time_Steps_per_Sediment_Calc : 1
 Section: Output_Specification
 File_Name : D:\dantysk\ergebnisse\st-ergebnis-einzelpile 600m 50m.dfs2
 Title :
 Save_Timeseries : 0
 Section: Morphological_Parameters
 Create_Dtsed_X : 0 (default)
 Write_Z_new : 0 (default)
 User_Dt_Morph : 160250 (default)
 Morph_Scheme : 1
 Incl_Filter : 3
 Incl_slope : 1
 MPM_factor : 1
 LateralBC : 2
 dzh_max : 1 (default)
 dzh_hmin : 0.000599 (default)

Input data:

Current data first set no.	0
Current data last set no.	640
Start sediment calcs.	0 Set No.
End sediment calcs.	640 Set No.
HD time steps per sed. calc.	1.00
No. of sediment time steps	641
HD time step	250. Sec.
Sediment time step	250. Sec.
Porosity of bed material	0.40

HD input data:

----- Data File Summary -----

Data origin:

Title :

Delete : -1.000E-30

Axis	Sets	Interval	Axis origin	Unit
time	641	250	2005-12-04 06:56:40	

1	599	1	0	meter
---	-----	---	---	-------

2	599	1	0	meter
---	-----	---	---	-------

Item name	Item type	Minimum	Maximum	Unit
H Water Depth m	Water Level	24.942295	25.032843	meter
P Flux m ³ /s/m	Flow Flux	-13.332881	13.459496	m ³ /s/m
Q Flux m ³ /s/m	Flow Flux	-27.429379	5.468938	m ³ /s/m

Constant Sediment size (mm) = 0.200

Constant Sediment gradation = 1.100



Sediment Transport in Pure Current

S.T. formulation: Engelund & Hansen

TIME STEP INFORMATION

Max. morphology time step (secs) {COURANT} = 275932.

Output file for initial bed changes:

----- Data File Summary -----

Data origin:

Title :

Delete : -1.000E-30

Axis Sets Interval Axis origin Unit

1 599 1 0 meter

2 599 1 0 meter

Item name Item type Minimum Maximum Unit

avrg. Ps (m³/yr/m) Sediment transport p -73.458809 74.736168 m³/yr/m

avrg. Qs (m³/yr/m) Sediment transport p -208.13151 0.223676 m³/yr/m

init. dz/dt (m/day) Bottom level change -8.985537 9.954109 meter/day

----- Run Statistics -----

Total number of water points : 229581201

----- RUN TIME INFORMATION -----

System time : 633 [s]

Points/sec : 362687.5

M21ST: Execution finished

Successful completion