



## **Modellierung der Auswirkungen von Offshore Windenergieanlagen auf die Abiotik in der Nordsee**

Ahrendt, Kai; Schmidt, Anke

*Published in:*  
Forschung für ein Integriertes Küstenzonenmanagement

*Publication date:*  
2011

*Document Version*  
Verlags-PDF (auch: Version of Record)

[Link to publication](#)

*Citation for pulished version (APA):*  
Ahrendt, K., & Schmidt, A. (2011). Modellierung der Auswirkungen von Offshore Windenergieanlagen auf die Abiotik in der Nordsee. In A. Kannen, G. Schernewski, I. Krämer, M. Lange, H. Janßen, & N. Stybel (Hrsg.), *Forschung für ein Integriertes Küstenzonenmanagement: Fallbeispiele Odermündungsregion und Offshore-Windkraft in der Nordsee* (S. 45-57). (Coastline reports; Band 15). EUCC – Die Küsten Union Deutschland e.V.. <http://www.iczm.org/Coastline-Report-15.pdf>

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



## Modellierung der Auswirkungen von Offshore Windenergieanlagen auf die Abiotik in der Nordsee

Kai Ahrendt & Anke Schmidt

Büro für Umwelt und Küste

### Abstract

The promoted erection and operation of wind power plants in offshore regions causes severe impacts on the abiotic and biotic marine system. These influences can cause long-term changes in the local hydrographic and morphological regime. These effects can be divided into constructional and operational induced impacts, like turbidity within the water column or modified currents and sea bed erosion. Hence a numerical modelling was carried out which involves real data of a certain windpark area to simulate possible effects of wind power plants on the North Sea system.

Based on the hydrodynamic model, which integrates field data from the DanTysk investigation area, a modelling was carried out to simulate the spreading of suspended sediment discharged by dredging/coring. The transport of sea bed sediments was also simulated to identify significant scours around the foundations. These models were applied on two different scales, on the one hand for the whole offshore wind farm and on the other hand for a single monopile.

The results of this modelling prove no significant effect of the monopile foundation on the area to the hydrological and morphological situation. There are marginal changes of currents and local scours behind and around the pile, which can be neglected on the scale of the whole wind farm.

### 1 Problemstellung

Die geplanten Offshore Windenergieanlagen im Bereich der deutschen Nordsee sind während der Bau- und Betriebsphase mit Eingriffen in das System verbunden, welche zu abiotischen und biotischen Veränderungen führen können. Generell stellen Einbauten in See 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.

Besonders die Fundamente der geplanten Windturbinen müssen unter diesen Aspekten näher beleuchtet werden. Erfahrungen aus Naturbeobachtungen in Tidegewässern mit großen Wassertiefen liegen zurzeit kaum vor. *Monopiles* (Pfahlgründungen) und Schwerefundamente stellen als Gründungsstrukturen den größtmöglichen Eingriff dar, wobei letztere bei den beantragten Windparkgebieten aufgrund der großen Wassertiefen in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) kaum zum Einsatz kommen werden. Der *Monopile* ist neben der Tripod (Dreibein)- und Jacketstruktur (Strebenverbund) derzeit die wahrscheinlichste Gründungsmethode (BSH 2005).

Der Einfluss auf die lokale Hydrographie (Abiotik) lässt sich in verschiedene Abschnitte mit unterschiedlicher Ausprägung gliedern. Während in der Bauphase durch Baggerarbeiten kurzfristig Sediment aufgewirbelt und transportiert wird, kommt es in der Betriebsphase zu dauerhaften Änderungen der Strömungsverhältnisse und der lokalen Morphologie. Lokale Auskolkungen an den Einbauten und im ungünstigen Fall Interaktionen zwischen den einzelnen *Piles* können die Folge sein und eventuell die Standsicherheit der betroffenen Bauwerke gefährden. Mit einer hydronumerischen Modellierung soll deshalb die Dimension der Kolkungen ermittelt werden.

## 2 Das numerische Modell MIKE 21

Eine Vielzahl von numerischen Modellen wurde bereits, oft für sehr spezielle Anwendungen, entwickelt. Das Danish Hydraulic Institut (DHI) ist einer der führenden Anbieter von kommerziellen numerischen Lösungsansätzen im Küstenbereich und kann auf eine sehr lange erfolgreiche Anwendung seiner Modelle zurückblicken. Eigene Erfahrungen, die bis in die Anfänge der Modellfamilie MIKE zurückreichen, bestätigen die „naturnahen“ Lösungsansätze dieser Anwendungen (Ahrendt & Thiede 2002).

Das vom DHI entwickelte Model MIKE 21 simuliert die hydrodynamischen Verhältnisse in zwei Dimensionen und ist modular aufgebaut. Das hydrodynamische Modul in MIKE 21 (HD) (DHI 2004a, b) stellt die Basis für alle weiteren Untersuchungen dar. Dieses Modul simuliert Wasserstandsänderungen und Wassermassendurchflüsse unter Berücksichtigung von:

Bodenscherspannung (*bottom shear stress*), Windscherspannung (*wind shear stress*),  
Luftdruckgradienten (*barometric pressure gradients*), Corioliskraft (*Coriolis force*),  
Ausbreitungsimpuls/- moment (*momentum dispersion*), Quellen und Abflüsse (*sources and sinks*),  
Verdunstung (*evaporation*), Überflutung und Austrocknung (*flooding and drying*), *Wave radiation stress*

Das Sedimenttransportmodul in MIKE 21 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 Ausbreitung von gelöstem oder suspendiertem Material im Wasserkörper wird mit Hilfe des integrierten Moduls MIKE 21/3 *Particle/Spill Analysis* simuliert. Das Modul greift dabei auf die mit MIKE 21 (HD) erzeugten Daten zurück und bezieht so die hydrodynamischen Verhältnisse ein.

## 3 Untersuchungsgebiet Offshore-Windpark „DanTysk“

Eine große Anzahl von Windparks wird zurzeit in der deutschen AWZ geplant. Mit diesen Planungen gehen meistens intensive Untersuchungen von Seegrund und Ökologie 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 Betreibers Vattenfall, zuvor GEO (Gesellschaft für Energie und Ökologie) ausgewählt, welcher voraussichtlich ab 2011 errichtet und ab 2013 in Betrieb genommen wird (Vattenfall Europe AG 2009). Das Planungsgebiet des Windparks DanTysk liegt ca. 70 km westlich der Insel Sylt unmittelbar an der dänischen Grenze (BSH 2005). Die Wassertiefen liegen hier zwischen 25 und 35 m. Als Gründungsstrukturen sind *Monopiles* vorgesehen. Die hydrologische Datenbasis stammt vom östlich gelegenen Messpfahl Westerland/Sylt. Die Planungsgesellschaft GEO war zudem bereit weitergehende Daten zur Verfügung zu stellen. Daher wurde der Windpark DanTysk als Modellgebiet ausgewählt (Abb. 1).

Das Modellgebiet umfasst den nördlichen Bereich des DanTysk-Feldes. Es reicht 6.000 m in der Breite und 5.400 m in der Höhe über das beantragte Planungsgebiet hinaus. Hierdurch werden Randeffekte ausgeschlossen.

### 3.1 Topographie

Morphologisch lässt sich das Untersuchungsgebiet dem östlichen Ufer des Elbe Urstromtales zuordnen. Die Nordseesedimente entstammen dem Pleistozän. Sie wurden durch die Nordsee aufgearbeitet, umgelagert und oberflächlich von einer holozänen Sedimentschicht flach überlagert. Das Relief ist von Nordwest-Südost verlaufenden Strukturen geprägt.

Die Topographie des ausgewählten Gebietes wurde der BSH-Arbeitskarte 1508 Nordsee - 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 den 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 (Abb. 2).

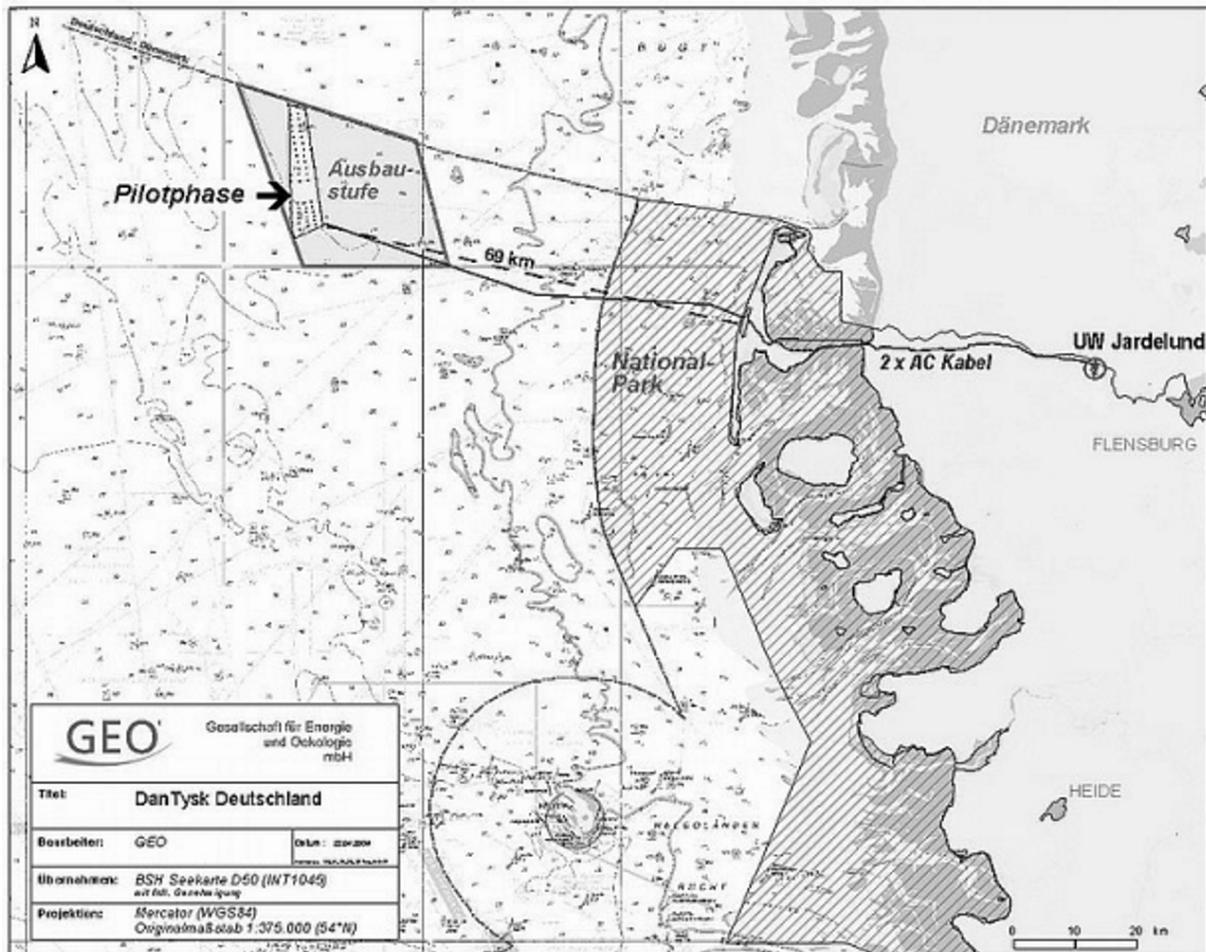


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes (GEO 2003)

## Sedimente

Eine hochauflösende Sedimentkartierung für das Gesamtgebiet stand nicht zur Verfügung. Im zentralen Bereich des Untersuchungsgebietes konnten Daten aus den benthologischen Untersuchungen für die Antragstellung des Windparks DanTysk übernommen werden (GEO 2003). Aus diesen Informationen wurde eine Sedimentverteilungskarte generiert und in das Modell MIKE 21 überführt.

Das Untersuchungsgebiet, als Sedimentationsraum des Küstenvorfeldes und küstenferner Gebiete, weist überwiegend fein- bis mittelsandige Oberflächensedimente auf. Dreiviertel der untersuchten Standorte waren durch Korngrößen von 63 bis 500  $\mu\text{m}$  charakterisiert. Kies, Festgestein und Schlick fehlen, weshalb das Gebiet als nahezu homogen angesehen werden kann.

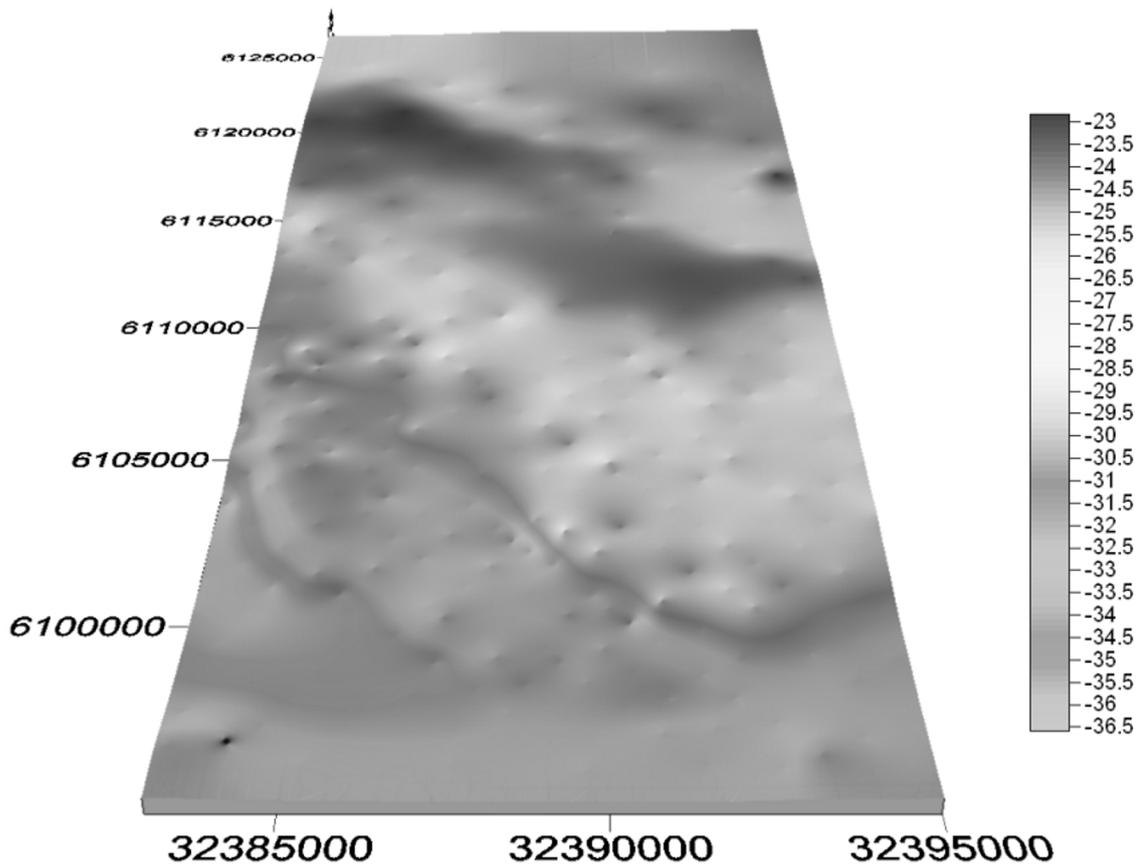


Abb. 2: Topographie des Untersuchungsgebietes

### 3.2 Hydrologie

Für das Untersuchungsgebiet liegen keine hydrologischen Messdaten in repräsentativer Form vor. Die nächstgelegenen Naturmessdaten stammen vom Messpfahl 10 km westlich vor Westerland/Sylt, die freundlicher Weise vom Landesamt für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz (LKN) in Husum zur Verfügung gestellt wurden. Dieser Messpfahl mit einer Wassertiefe von 13 m zeichnet seit 1986 kontinuierlich hydrologische Parameter auf. Daher wurde auf diese Naturmessdaten, auch wenn diese ca. 60 km östlich aufgezeichnet werden, zurückgegriffen.

#### Tide

Die Tideparameter am Messpfahl Westerland dürften auch im Untersuchungsgebiet auftreten. Durch die geringere Entfernung zum nächstgelegenen amphidromischen Punkt wird der Tidehub hier etwas geringer ausfallen. Aufgrund der großen Wassertiefe im Verhältnis zum Tidehub wurden die Daten des Messpfahls Westerland jedoch direkt übernommen (Abb. 3).

#### 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 Februar 2005 zur Verfügung. Im westlichen, tiefer gelegenen Untersuchungsgebiet werden die aufgezeichneten Wellen nur im Extremfall verformt, so dass im Mittel die Daten vom Messpfahl Westerland mit den Bedingungen im Untersuchungsgebiet übereinstimmen dürften.

## 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. Eine kontinuierliche Windmessreihe (Mittelwert über 10 Minuten) stand für den Dezember 2005 zur Verfügung (Abb. 4).

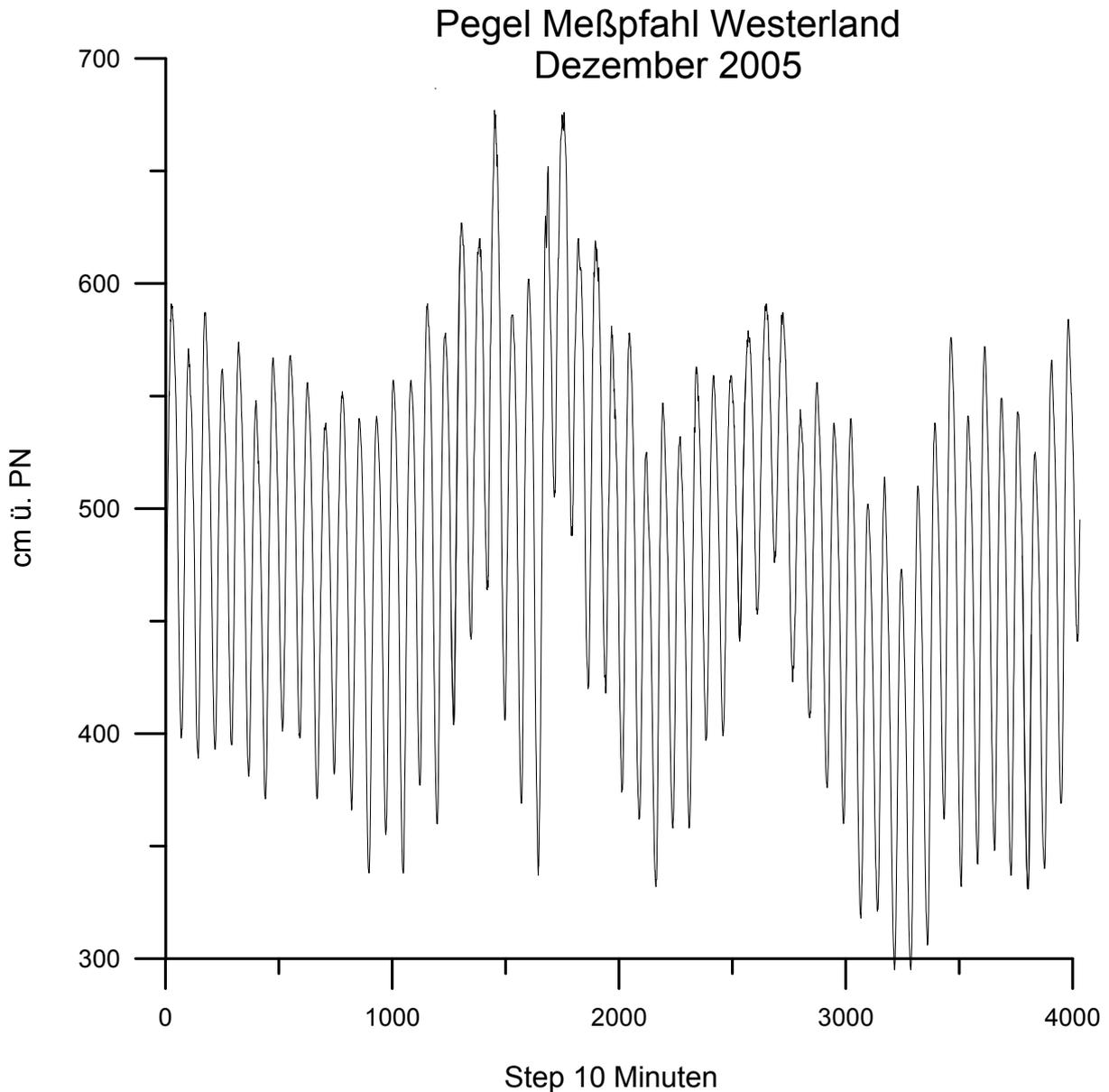


Abb. 3: Tideverlauf im Dezember 2005 am Messpfahl Westerland

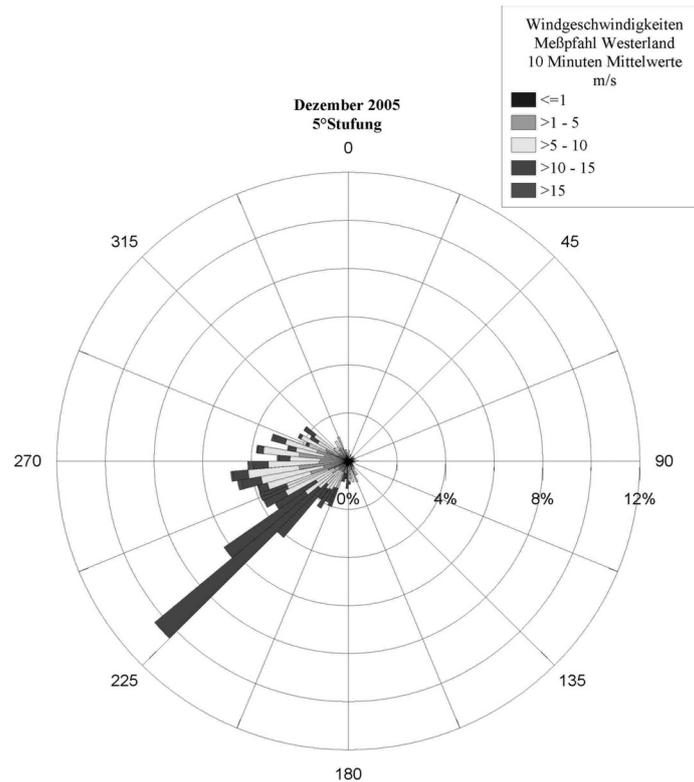


Abb. 4: Windverteilung im Dezember 2005 am Messpfahl Westerland

#### 4 Modellierung

Nach Vorbereitung, 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 – eine Gitterzelle entspräche einem *Pile* – aufweisen würden. Ein höher aufgelöstes Raster, z. B. kleiner 20 m, ergibt nicht mehr realistische Rechenzeiten. Das hier gewählte Raster für das Gesamtgebiet von 20 m x 20 m stellt somit einen Kompromiss zwischen diesen Randbedingungen dar. Hieraus ergibt sich ein Durchmesser von 20 m für jeden *Monopile* im Gesamtgebiet. Die Rechenzeiten der Modellierung für einen Monat Echtzeit betragen in etwa 275 Stunden. Bei 1.000 m Abstand der *Piles* untereinander ergibt sich ein Feld von 6 Reihen mit 24 *Piles*, also 144 *Piles* im betrachteten Gesamtuntersuchungsgebiet.

Ein *Pile* von 20 m Durchmesser stellt jedoch einen übertriebenen Einbau dar. Daher wurde ein zweites Modellgebiet mit einem Raster von 1 m x 1 m für hochauflösende Modellierungen aufgebaut. In dieses Raster wurde lediglich eine Gründungsstruktur von 8 m Durchmesser eingesetzt. Die Ausdehnung des Gebietes „*Einzelpile*“ beträgt 600 m x 600 m. Die Wassertiefe wurde, entsprechend des flachsten Bereiches im DanTysk-Gebiet, mit -25 m angenommen.

Modellierungen mit Wellen- bzw. mit Wind- und Welleneinfluss ergaben, dass das Wellenregime, gemessen am Messpfahl Westerland, keinen Einfluss auf das Strömungsgeschehen im Untersuchungsgebiet hat. Das Verhältnis von Wellenhöhe zu Wassertiefe ist in diesem Bereich so gering, dass Wellen überwiegend keinen Einfluss haben. Daher wurden – auch vor dem Hintergrund der Rechenzeiten – die gemessenen Wellendaten vernachlässigt und anstelle dessen Extremwerte der Windgeschwindigkeit und -richtung in den Untersuchungen berücksichtigt.

Im Rahmen einer Parameterstudie wurden die Beiwerte, die nicht aus direkten Naturmessungen stammen, bezüglich ihrer Sensitivität und ihres Einflusses auf die Simulation näher untersucht. Die

direkt gemessenen Parameter wie Topographie, Wind, Welle, Tide und Sediment wurden in allen Modellläufen konstant gehalten.

### Hydrodynamisches Modell

Als Basis für die Modellierung von Sedimenttransport und Ausbreitung der Trübungsfahne wurde mit MIKE 21 je ein hydrodynamisches Modell für das Gesamtgebiet und den Einzelpile angelegt. Dabei wurde auf die zuvor angelegte Bathymetrie und Messwerte zurückgegriffen. Parameter wie Bodenreibung und Turbulenz können von der Theorie her die Ergebnisse stark beeinflussen und wurden daher im Rahmen der Parameterstudie eingehend untersucht um eine naturähnliche bzw. realitätsnahe Simulation zu erhalten.

### Analyse der Trübungsfahne (Spill) während der Bauphase

Aufbauend auf dem HD-Modul simuliert das Modul MIKE 21/3 PA den Partikeltransport im zweidimensionalen Strömungsfeld. Es wurde angenommen, dass bei den Baggerarbeiten über einen Zeitraum von sechs Stunden kontinuierlich Sediment freigesetzt wird. Die Gesamtmasse entspricht dabei dem verdrängten Volumen des bzw. der *Monopiles*, welcher im Seegrund versenkt wird.

Für die Modellierung des *worst case* wurde eine wasseroberflächennahe Quelle gewählt, da das Sediment so weiter in der Wassersäule verbreitet wird. Zu einem solchen Fall käme es z. B. beim Spülverfahren oder einer unsachgemäßem Überführen des Baggergutes in ein Transportschiff. Sinkgeschwindigkeit und Abbaurate wurde in Abhängigkeit zur Korngröße des Oberflächensedimentes gewählt.

### Sedimenttransport

Die Analyse von Erosions- und Ablagerungsbereichen durch Sedimenttransport in der Strömung erfolgte mittels des ST-Moduls. Veränderung der Morphodynamik infolge von Einbauten können somit simuliert werden. Für den Sedimenttransport in strömungsdominierten Systemen bietet MIKE 21 verschiedene Transportformeln, zum Beispiel jene nach Engelund & Hansen (1976) oder Meyer-Peter & Müller (1984) an. Insgesamt betrachtet sind die Werte für die Auskolkung im Strömungslee der *Piles* relativ gering, wobei die prozentuale Schwankungsbreite zwischen 1 und 7 cm recht groß ist. Da die maximalen Auswirkungen ermittelt werden sollen, wurde auf den Ansatz von Engelund & Hansen (1976), mit Werten von 7 cm Tiefenerosion zurückgegriffen.

## 5 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Modellierungen zum einen für das Gesamtgebiet, zum anderen für den Einzelpile beschrieben und diskutiert. Dabei wird jeweils auf die Ausbreitung der Trübungsfahne infolge der Bauphase, anschließend auf die betriebsbedingten Auswirkungen eingegangen.

### 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.

### Trübungsfahne

Es ist davon auszugehen, dass lediglich ein *Pile* zurzeit im Gebiet versenkt wird. Für den *worst case* wurde jedoch angenommen, dass im Gesamtgebiet zeitgleich zwei *Piles* aufgestellt werden.

Ermittelt wurde die momentane Konzentration (*instantaneous concentration*) und die durchschnittliche Konzentration (*averaged concentration*) des suspendierten Materials jeweils in

kg/m<sup>3</sup>. Zusätzlich wurde die *exceeding frequency*, also die Häufigkeit der Überschreitung der natürlichen Hintergrundtrübung angegeben. Die Hintergrundtrübung beschreibt die beständige Schwebstoffkonzentration des Gewässers, welche im Bereich der Nordsee bei 2 mg/l liegt (Puls et al. 1997). Direkt an der Sedimentquelle werden Konzentrationen von bis zu 0,005 kg/m<sup>3</sup> (5 mg/l) erreicht. In einer Entfernung von 100 m hat sich dieser Wert auf 0,0025 kg/m<sup>3</sup> (2,5 mg/l) halbiert.

Die Gesamtausbreitung der Sedimentfahne, das heißt der Bereich in welchem die Konzentration von suspendiertem Material in der Wassersäule erhöht ist, beträgt in der Breite zwischen 40 und 80 m. Die Länge des Sediment-Spills beträgt ca. 7 bis 10 km. Wobei in einer Entfernung von 7 km zur Quelle Konzentrationen von 0,35 mg/l nicht überschritten werden (Abb. 5).

### Strömung

Ermittelt wurden die Strömungskomponenten U (West-Ost-Richtung) und V (Süd-Nord-Richtung). Ohne *Piles* werden maximale Strömungsgeschwindigkeiten (V) von 0,128 m/s in Richtung Nord ermittelt. Diese treten im nordwestlichen Bereich in der geringsten Wassertiefe von -23 m auf. Mit *Piles* treten hier Strömungsgeschwindigkeiten der Süd-Nord Komponente von 0,124 m/s auf. Die maximale Strömungsgeschwindigkeit von 0,134 m/s tritt bei der seitlichen Umströmung eines *Piles* auf. Gegenüber den Nachbarbereichen wird hier eine Strömungserhöhung von ca. 1,2 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 (Abb. 6).

### Sedimente

Maximale Erosionen von 3 m finden im nordwestlichen flachen Bereich des Untersuchungsgebietes um einen *Pile* statt. Erosionen lassen sich bis ca. 80 m um einen *Pile* ermitteln, wo sie 1–2 dm aufweisen. Vereinzelt kommt es an anderen *Piles* zu Erosionen von bis zu 2 m aber auch zu Sedimentationen von bis zu 1,5 m. Überwiegend liegen die Veränderungen jedoch im Dezimeterbereich (Abb. 7).

Während eines angenommenen Sturms verändern sich die Erosionen und Akkumulationen nur geringfügig und liegen in der gleichen Größenordnung. Eine zusätzliche Auskolkung ist nicht festzustellen.

## 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. Das 1 m x 1 m Raster lässt jedoch eine detailliertere und vor allem naturnähere Betrachtung zu.

### Trübungsfahne

Die Trübungsfahne des Einzelpiles breitet sich fächerförmig in Richtung Ost bis Nord-Ost aus. Im Strömungslee dicht am *Pile* treten Spitzenkonzentrationen von bis zu 2 kg/m<sup>3</sup> (2.000 mg/l) auf. In 100 m Entfernung erreichen die Konzentrationen von 0,14 bis 0,28 kg/m<sup>3</sup> (140 bis 280 mg/l). Die maximale Ausbreitung der Sedimentfahne reicht über das Untersuchungsgebiet hinaus und kann daher nicht exakt benannt werden (Abb. 8). Eine Ausweitung des Untersuchungsgebietes würde bei höheren Schwebstoffkonzentrationen angebracht sein.

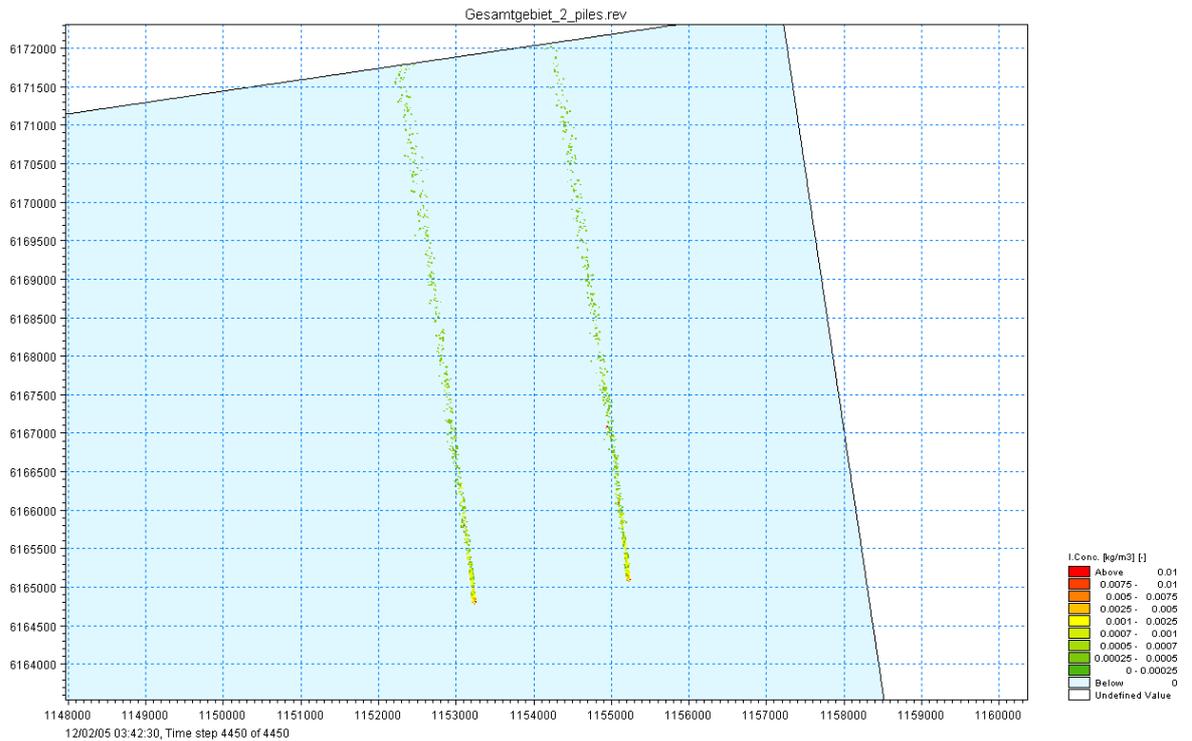


Abb. 5: Ausbreitung der Trübungsfahnen während der Bauphase zweier Monopiles im Gesamtgebiet. Dargestellt ist die momentane Konzentration in kg/m<sup>3</sup>

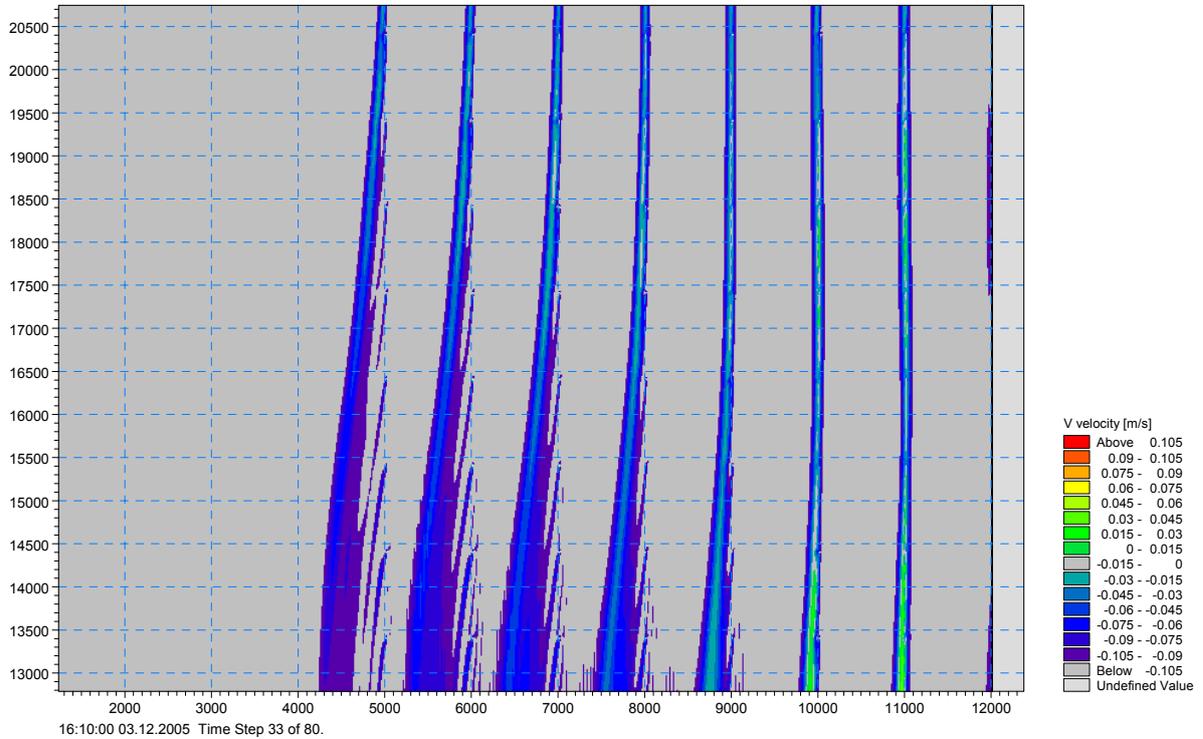


Abb. 6: Strömungskomponente V dargestellt in m/s

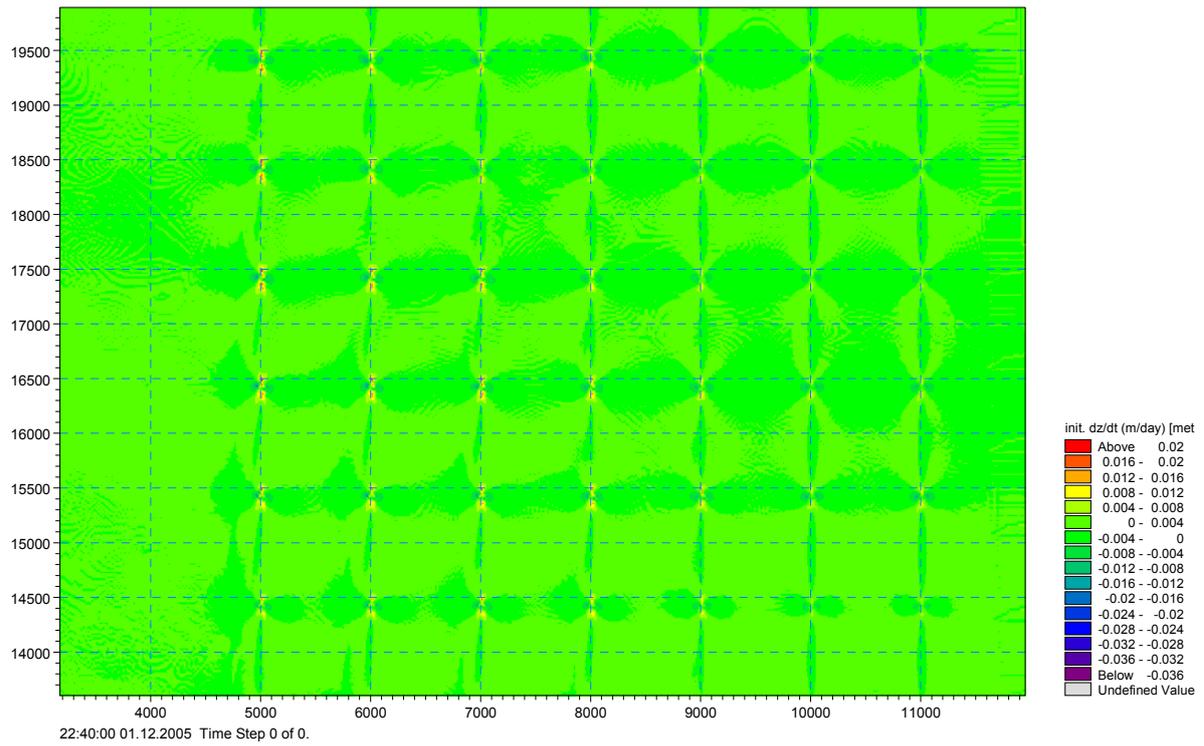


Abb. 7: Tiefenveränderung, dargestellt ist  $dz/dt$  in m/Tag im Gesamtuntersuchungsgebiet

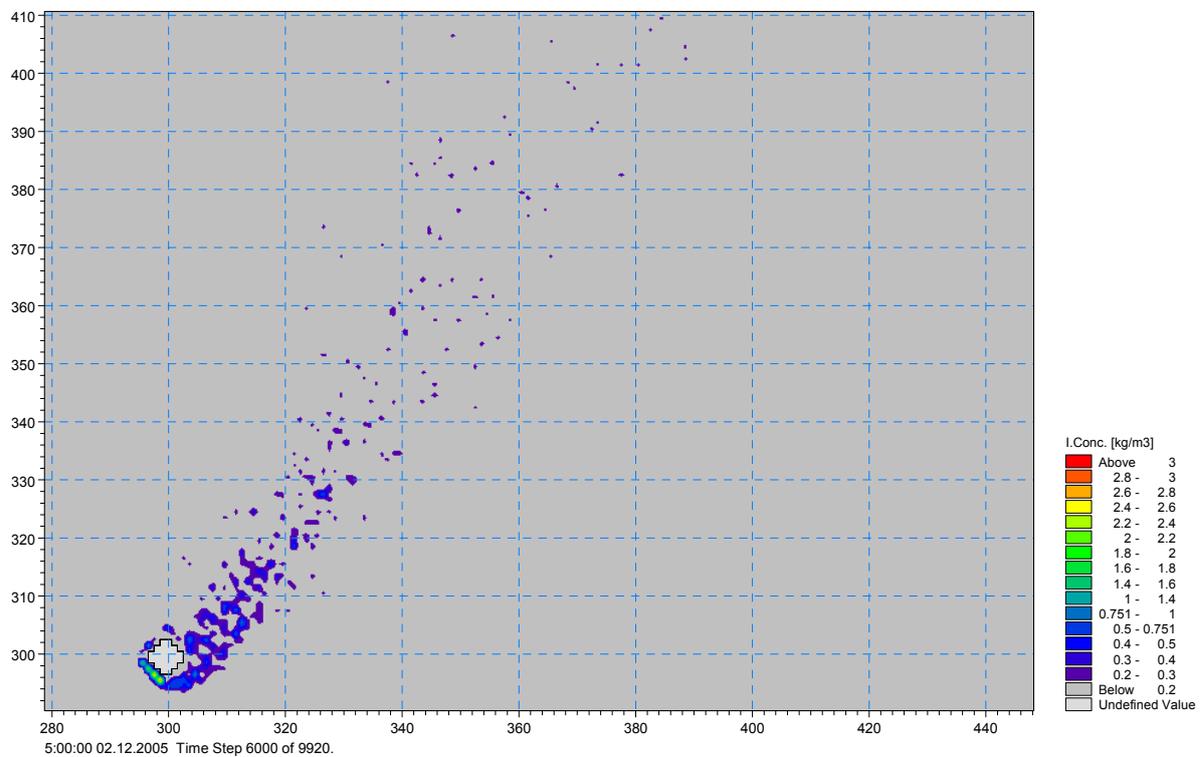


Abb. 8: Ausbreitung der Trübungsfahnen während der Bauphase eines *Monopiles* im Teilgebiet „Einzelpile“. Dargestellt ist die momentane Konzentration in  $\text{kg/m}^3$

## Strömung

Die Strömungsgeschwindigkeiten im Testgebiet liegen im Allgemeinen bei ca. 0,1 m/s. Bei der Umströmung des *Monopiles* erhöhen sich die Strömungsgeschwindigkeiten auf ca. 0,2 m/s an den seitlichen Flanken. Hinter dem *Pile* kommt es zu einer Verwirbelung mit Strömungsgeschwindigkeiten zwischen -0,01 bis 0,025 m/s (Abb. 9).

## 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 im direkten Umfeld (bis maximal 3 m) Erosion bis zu 2.2 m auf. Nach 6 m 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 (Abb. 10).

## 6 Bewertung

Wie die obigen Auswertungen zeigen, sind relevante Auswirkungen von *Monopiles* auf die Sedimentstruktur und Morphologie in diesem Gebiet nicht vorhanden. Kumulative 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.

Die Ausbreitung der Trübungsfahne ist ebenfalls lokal und zudem zeitlich begrenzt. Die Konzentrationen bewegen sich innerhalb tolerabler Grenzen und sind kurze Zeit nach Beendigung der Bauphase auf ihren natürlichen Wert gesunken.

## 7 Ausblick

Das hydronumerische Modell MIKE 21 liefert Vorhersagen über das Verhalten eines hydrologischen Systems bei Veränderung des Zustandes, für welchen keine Beobachtungen vorliegen. Ein weiterführender Schritt wäre die Kalibrierung des Modells anhand von Naturmessdaten. Somit kann die Verlässlichkeit und Übertragbarkeit von Simulationen auf den Naturzustand überprüft werden.

Im konkreten Fall bietet sich ein detailliertes Monitoring während der Bauphase eines Offshore Windparks an. Die relevanten Parameter können so durch gemessene Daten ersetzt und ergänzt werden, sodass die Modellierung optimal an den Naturzustand angepasst werden kann.

Gleichzeitig ist es möglich, die vorherigen Simulationsergebnisse anhand der Monitoringdaten zu bewerten.

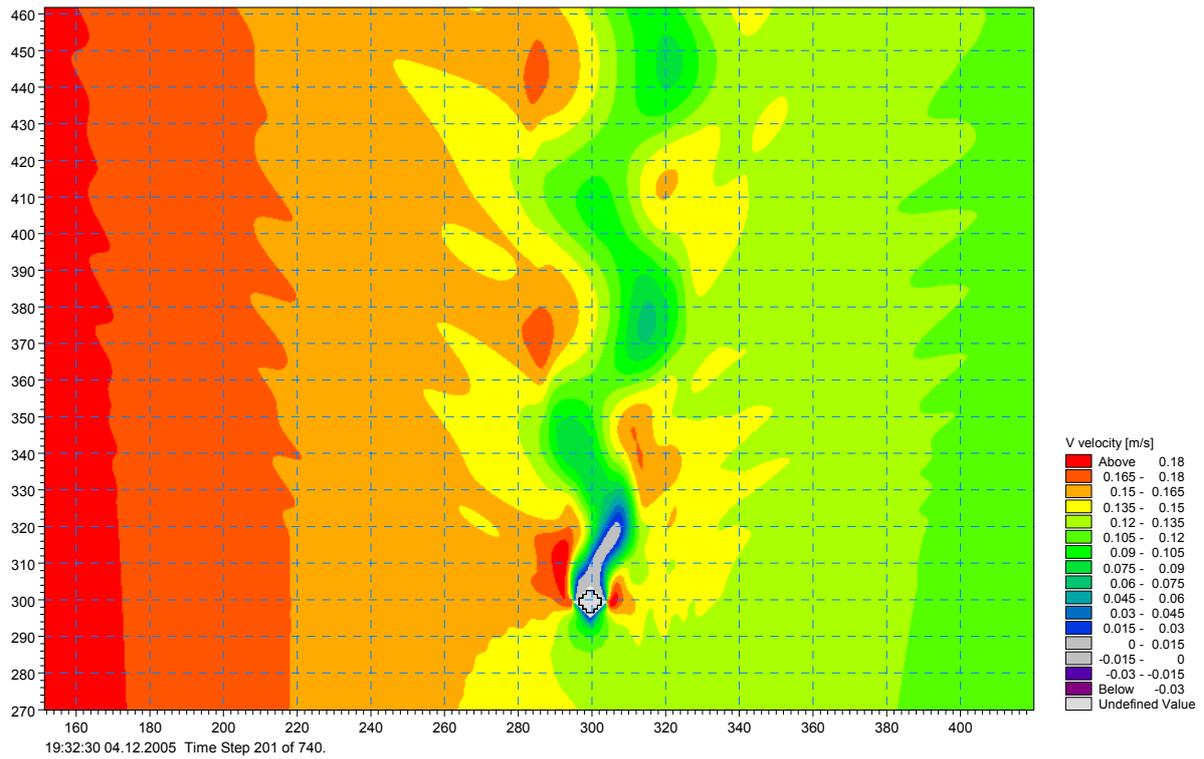


Abb. 9: Strömungskomponente V (Süd-Nord) dargestellt in m/s

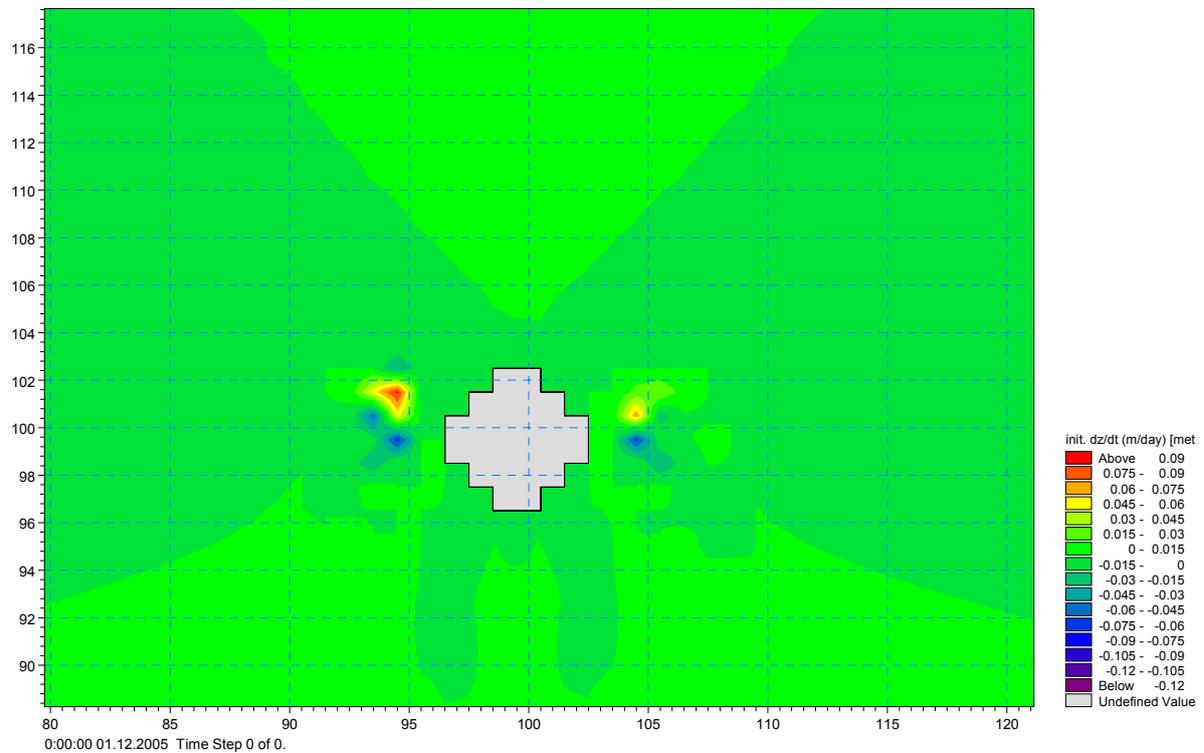


Abb. 10: Tiefenveränderung dargestellt ist dz/dt in m/Tag im Untersuchungsgebiet „Einzelpile“

## Literatur

- Ahrendt, K. & J. Thiede (2002): Naturräumliche Entwicklung Sylts – Vergangenheit und Zukunft. In: Daschkeit, A. & P. Schottes (Hsrg.): Klimafolgen für Mensch und Küste am Beispiel der Nordseeinsel Sylt. Springer-Verlag, Heidelberg. S. 69–112.
- BSH – Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (2005): Genehmigungsbescheid des Windparks DanTysk. ([www.bsh.de/de/Meeresnutzung/Wirtschaft/Windparks/Genehmigungsbescheid\\_Dan\\_Tysk.pdf](http://www.bsh.de/de/Meeresnutzung/Wirtschaft/Windparks/Genehmigungsbescheid_Dan_Tysk.pdf), 03.12.2009).
- BSH-Arbeitskarte 1508 Nordsee - Deutsche Bucht, Nord (Aufnahmejahr 1990).
- DHI – Danish Hydraulic Institute (2004a): MIKE 21- Sediment Transport and Morphological Modelling. User Guide. Hörsholm. Dänemark. 254 S.
- DHI – Danish Hydraulic Institute (2004b): Coastal Hydraulics and Oceanography. User Guide. Hörsholm. Dänemark. 144 S.
- Engelund, F. & E. Hansen (1976): Monograph on Sediment Transport in Alluvial Channels. Nordic Hydrology 7: 293-306.
- GEO – Gesellschaft für Energie und Ökologie (2003): Umweltverträglichkeitsstudie zum Offshore-Windpark DanTysk – UVP-Bericht – Zusammenfassung. August 2003. Enge-Sande. 197 S.
- Meyer-Peter, E. & R. Müller (1948): Formulas for Bed-Load Transport. Proceedings, Second Congress IAHR. Stockholm.
- Puls, W., H. Heinrich & B. Mayer (1997): Suspended particulate matter budget for the German Bight. Marine Pollution Bulletin. 34: 398–409.
- Vattenfall Europe AG (2009): 24/7/365, Unternehmensbroschüre. ([www.vattenfall.de/www/vf/vf\\_de/Gemeinsame\\_Inhalte/DOCUMENT/154192vatt/Finanzen/1711352ges/1711356vat/P02165085.pdf](http://www.vattenfall.de/www/vf/vf_de/Gemeinsame_Inhalte/DOCUMENT/154192vatt/Finanzen/1711352ges/1711356vat/P02165085.pdf), 3.12.2009).

## Danksagung

Die oben beschriebenen Modellierungen wurden im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes *Zukunft Küste – Coastal Futures* durchgeführt.

## Adresse

Dr. Kai Ahrendt  
Büro für Umwelt und Küste  
Steinstr. 25  
24118 Kiel, Germany

[ahrendt@iczm.de](mailto:ahrendt@iczm.de)