



BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU

Karlsruhe · Hamburg · Ilmenau

BAW



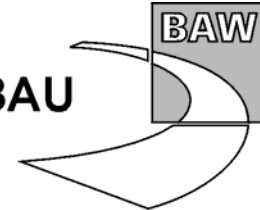
ANLAGEBAND

**Anpassung der Fahrrinne von Unter- und Außenelbe
an die Containerschifffahrt**

**Anlagenband 3 zum Gutachten
zur
ausbaubedingten Änderung
der morphodynamischen Prozesse**

BAW Nr. A3955 03 10062

H 1c



**Anpassung der Fahrrinne von Unter- und Außenelbe
an die Containerschifffahrt**

**Anlagenband 3 zum Gutachten
zur
ausbaubedingten Änderung der morphodynamischen Prozesse**

Auftraggeber: Projektbüro Fahrrinnenanpassung
der Unter- und Außenelbe beim
Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg der WSV
(Bündelungsstelle) und Hamburg Port Authority
Moorweidenstraße 14
20148 Hamburg

Auftrag vom: 1. November 2004, Az.: A;192-4;427.04

Auftrags-Nr.: BAW-Nr. A3955 03 10062

Aufgestellt von: Abteilung: Wasserbau im Küstenbereich
Referat: Ästuarsysteme II (K3)
Bearbeiter: Dr. Heyer, Dr. Winkel, Dr. Weilbeer

Hamburg im August 2006

Das Gutachten darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Die Vervielfältigung und eine Veröffentlichung bedürfen der schriftlichen Genehmigung der BAW.

Abbildungsverzeichnis

Seite

Bild 3- 1: Topographie des Seegangmodells der Deutschen Bucht	2
Bild 3- 2: Differenztopographie des Seegangmodells der Deutschen Bucht	3
Bild 3- 3: Gemessene und im Modell verwendete Windgeschwindigkeiten	3
Bild 3- 4: Vergleich von gemessenen und berechneten signifikanten Wellenhöhen	4
Bild 3- 5: Vergleich von gemessenen und berechneten Peakperioden	4
Bild 3- 6: Vergleich von gemessenen und berechneten signifikanten Wellenhöhen	5
Bild 3- 7: Vergleich von gemessenen und berechneten Peakperioden	5
Bild 3- 8: Peakperioden bei Glameyer Stack	7
Bild 3- 9: Peakperioden am Osteriff	7
Bild 3- 10: Topographie des Seegangmodells der Elbe	8
Bild 3- 11: Differenztopographie des Seegangmodells der Elbe	9
Bild 3- 12: Entlang der Elbe gemessene Windgeschwindigkeiten	10
Bild 3- 13: Entlang der Elbe gemessene Windrichtungen	10

Anlage 3

Seegangmodellierung

Mathematische Verfahren

Zur Bestimmung der ausbaubedingten Veränderungen des Seegangs in Unter- und Außenelbe wird das numerische Verfahren *Unk (K-Modell)* (siehe SCHNEGGENBURGER 1998) eingesetzt. Um die Wechselwirkung des Seegangs mit der Gezeitendynamik bei der Untersuchung zu berücksichtigen, wird das Seegangmodell *UnK (K-Modell)* mit dem hydronumerischen Modell *UnTRIM* gekoppelt.

Aufbau des Seegangmodells

Die Seegangsverhältnisse in Unter- und Außenelbe (siehe Kapitel 7.2.2) können grundsätzlich durch zwei Situationen charakterisiert werden:

1. Die lokalen Verhältnisse (Wind, Wasserstand und Strömung) in der Elbe bestimmen das lokale Seegangsklima.
2. Das Geschehen in der Nordsee (z.B. durch Starkwindereignisse) beeinflusst maßgeblich das lokale Seegangsklima in der Elbe.

Um den Einfluss der geplanten Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenelbe auf das Seegangsklima für diese unterschiedlichen Situationen untersuchen zu können, werden Modelle für zwei unterschiedliche Gebiete eingesetzt. Mit einem Seegangmodell für die Elbe wird das Seegangsklima untersucht, das nur durch die lokalen Einflüsse bestimmt wird. Gebiete in denen das lokale Seegangsklima abhängig ist vom Geschehen in der Nordsee, wird ein Seegangmodell der Deutschen Bucht eingesetzt.

Das Seegangmodell der Deutschen Bucht

Das Seegangmodell für den planerischen Ist-Zustand (PIZ) und für den geplanten Ausbauzustand (AZ) der Deutschen Bucht reicht von Nordwesten bei Helgoland bis nach Südosten bei Brunsbüttel (Bild 3-1). Im Bild 3.1 ist die Modelltopographie des planerischen Ist-Zustandes und in Bild 3-2 die geplanten topographischen Veränderungen in der Elbe bis Brunsbüttel für den Ausbauzustand als Differenz zum planerischen Ist-Zustand dargestellt. Eine Abnahme der Wassertiefen ist in Rot und eine Zunahme der Wassertiefen in Blau aufgetragen. Zusätzlich sind im Bild 3-2 wie bei allen anderen und folgenden flächenhaften Darstellungen dieses Gutachtens die topographischen Strukturlinien in derselben Art und Weise dargestellt. In dem Modell ist nur der äußere Teil der Elbe berücksichtigt worden, weil

davon ausgegangen wird, dass der Einfluss des aus der Nordsee kommenden Seegangs nur bis Brunsbüttel reicht. Das quadratische Seegangsgitter mit einer Kantenlänge von 400 m besteht aus ca. 30.000 Knoten und ca. 59.000 Elementen. Der Berechnungszeitschritt für die Seegangmodellierung ergibt sich in Abhängigkeit vom Gitterabstand zu 2,0 s.

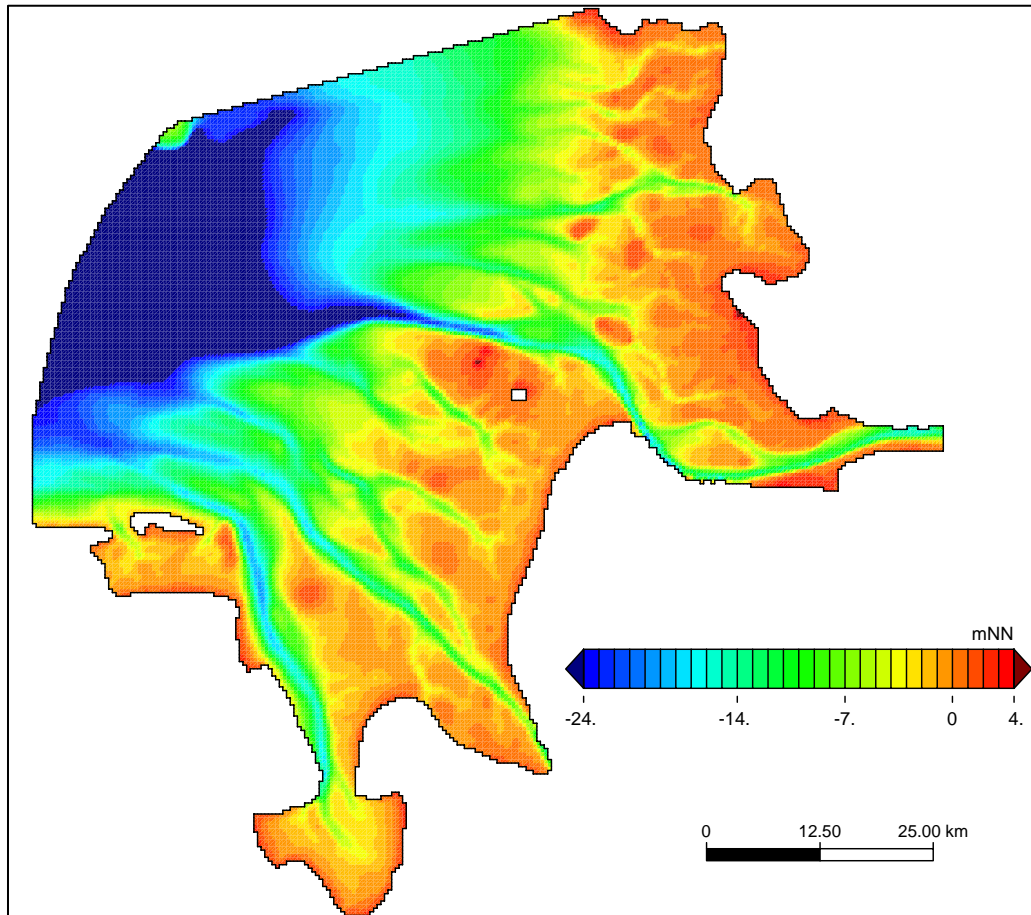


Bild 3- 1: Topographie des Seegangmodells der Deutschen Bucht für den planerischen Ist-Zustand (PIZ)

Unter Berücksichtigung der Randbedingungen für die Sturmflut 1994 wurden mit einem hydronumerischen Modell der Deutschen Bucht einschließlich der Elbe Simulationen durchgeführt. Diese Simulationen wurden mit dem dreidimensionalen Modellverfahren *UnTrim* auf einem unstrukturierten Gitter für den Ist-Zustand (PIZ) und den geplanten Ausbauzustand (AZ) durchgeführt. Hierfür wurden über 6 Stunden gemittelte Windfelder vom DNMI (Det norske meteorologiske institut) eingesetzt. Ein Vergleich der im Modell verwendeten Windgeschwindigkeit mit der Messung für Scharhörn zeigt Bild 3-3. Diese Windfelder sowie die damit berechneten Wasserstände und die vertikal integrierten Strömungen sind in die instationären Seegangsberechnungen für den planerischen Ist-Zustand (PIZ) und für den Ausbauzustand (AZ) entsprechend eingegangen.

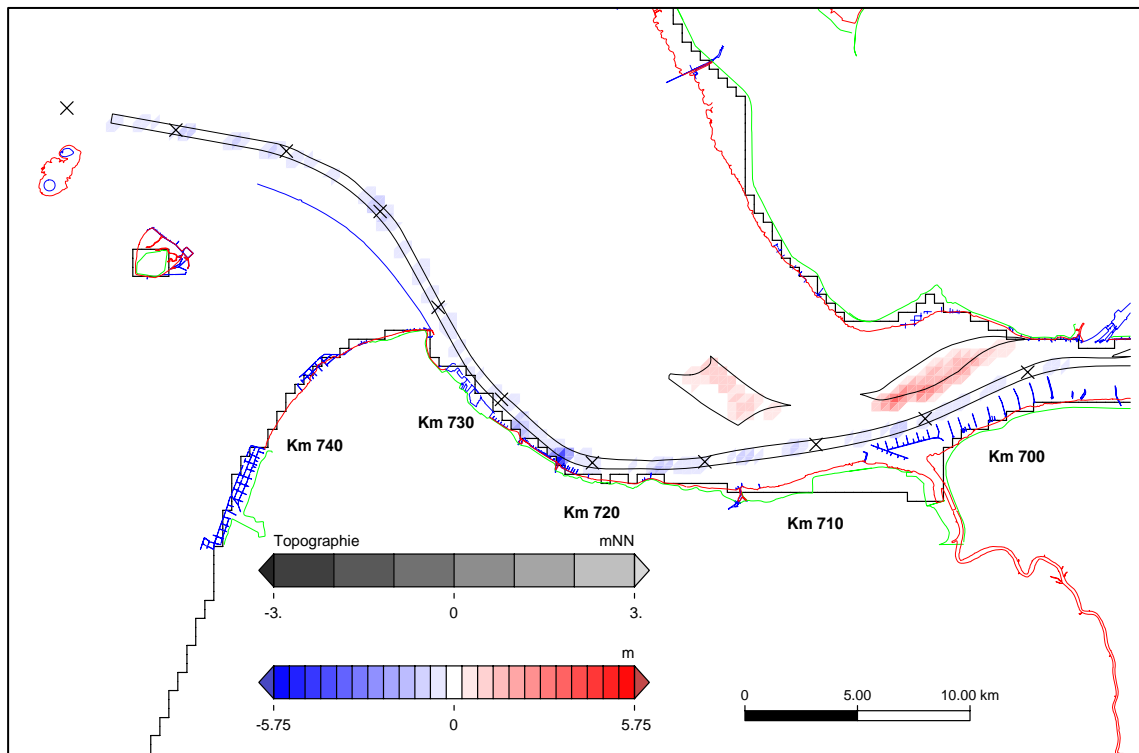


Bild 3- 2: Differenztopographie (AZ – PIZ) des Seegangmodells der Deutschen Bucht für das Elbmündungsgebiet von Scharhörn bis Brunsbüttel. In Rot eine Abnahme der Wassertiefe und in Blau eine Zunahme dargestellt.

Die Randwerte zur Steuerung des Seegangmodells am offenen seeseitigen Rand werden aus der lokalen Windgeschwindigkeit und den Windwirklängen (Fetch) bestimmt. Dabei ist der Fetch so bemessen worden, dass der Randwert vergleichbar ist mit dem bei der Sturmflut 1994 vor Helgoland vom BSH gemessenen Seegang (Bild 3-4).

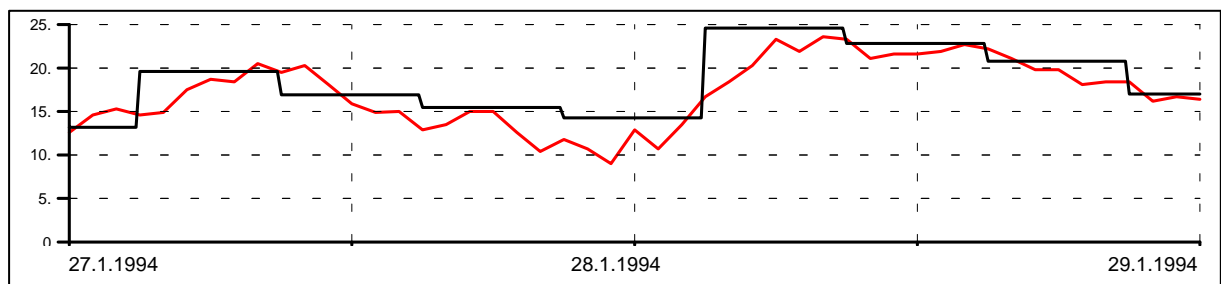


Bild 3- 3: Gemessene (rot) und im Modell (schwarz) verwendete Windgeschwindigkeiten (m/s) bei Scharhörn für die Zeit vom 27.1.1994 bis zum 29.1.1994

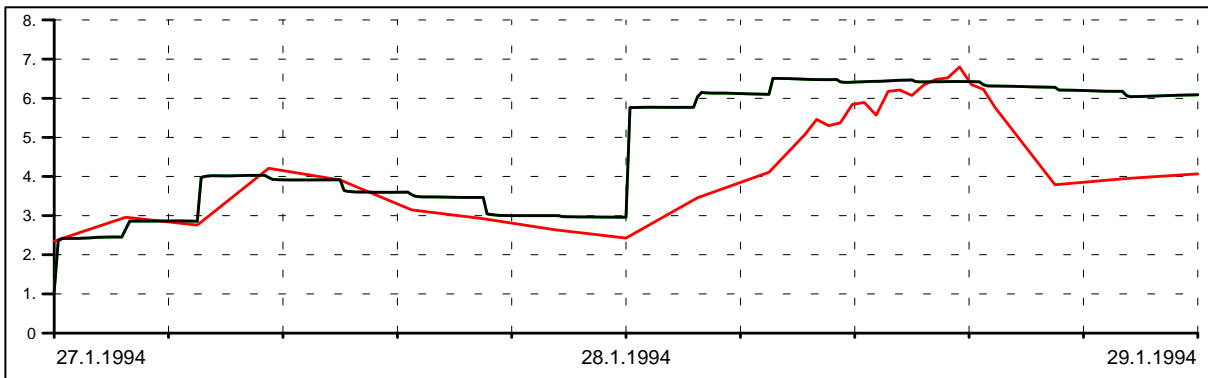


Bild 3- 4: Vergleich von gemessenen (rot) und berechneten (schwarz) signifikanten Wellenhöhen (m) für die Messstation Helgoland des BSH für die Zeit vom 27.1.1994 bis zum 29.1.1994

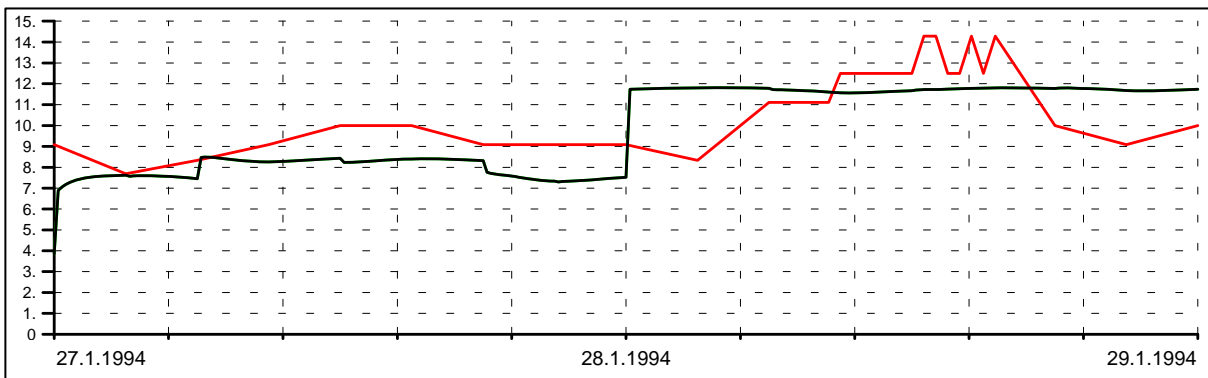


Bild 3- 5: Vergleich von gemessenen (rot) und (schwarz) berechneten Peakperioden (s) für die Messstation Helgoland des BSH für die Zeit vom 27.1.1994 bis zum 29.1.1994

Die mathematischen Ansätze des k-Modells (k steht hierbei für Wellenzahl) sind auf Naturuntersuchungen, wie zum Beispiel das JONSWAP-Experiment, abgestimmt. Eine Kalibrierung des Modells mit Sohlrauigkeiten oder anderen Parametern ist nicht notwendig.

Für die Validierung des Seegangmodells stehen Daten für die Messstation Außenelbe des BSH (s. Kapitel 7.2.2) vom 27.1.1994 bis 29.1.1994 zur Verfügung. Der Vergleich zeigt eine gute Übereinstimmung von berechneten und gemessenen signifikanten Wellenhöhen (Bild 3-6) bzw. Peak-Perioden (Bild 3-7). Die Unterschiede zwischen Rechnung und Messung resultieren in erster Linie aus den in die Simulation eingehenden Windfeldern. Die Eingangsdaten zur Erstellung dieser Windfelder haben eine grobe räumliche und zeitliche Auflösung, wodurch die Unterschiede zwischen dem im Modell verwendeten Wind und dem gemessenen Wind bei Scharhörn (Bild 3-3) zu erklären sind.

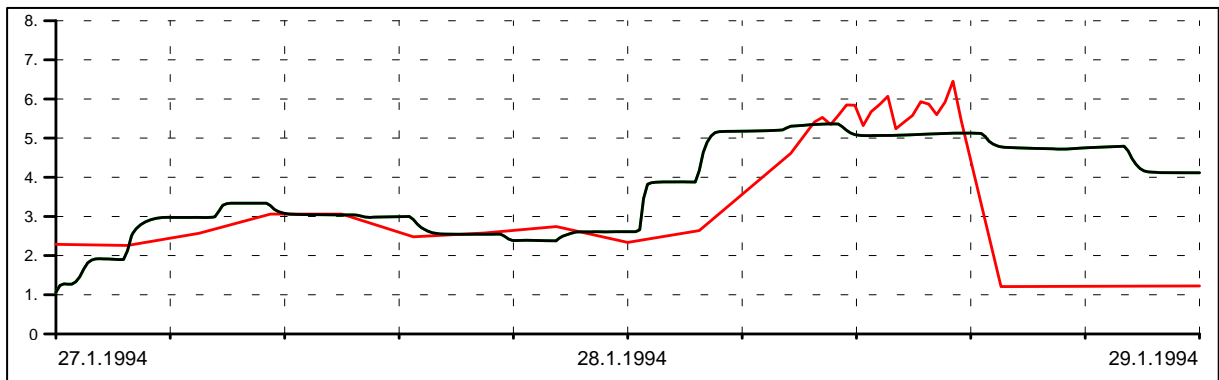


Bild 3- 6: Vergleich von gemessenen (rot) und berechneten (schwarz) signifikanten Wellenhöhen (m) für die Messstation Außenelbe des BSH für die Zeit vom 27.1.1994 bis zum 29.1.1994

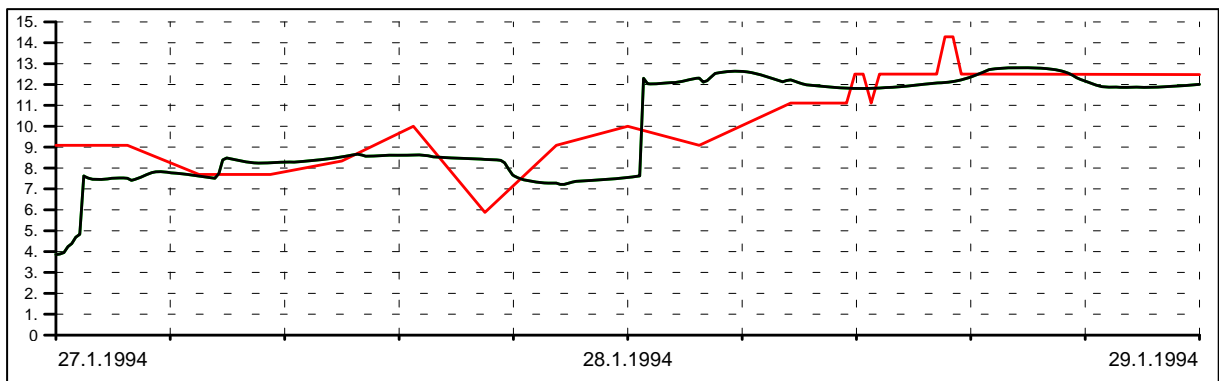


Bild 3- 7: Vergleich von gemessenen (rot) und (schwarz) berechneten Peakperioden (s) für die Messstation Außenelbe des BSH für die Zeit vom 27.1.1994 bis zum 29.1.1994

Ausbaubedingte Änderungen

Nachdem die Seegangssimulationen nach dem oben beschriebenen Konzept für den planerischen Ist-Zustand und den Ausbauzustand für den Zeitraum 27.1.1994 bis 29.1.1994 durchgeführt worden sind, werden die maximalen signifikanten Wellenhöhen (höchster Wert des Analysezeitraums) ermittelt und als Isofarbflächen grafik abgebildet (siehe Anlagenband 1 Bild 110). Die Wellenhöhen werden von 0 bis 5,00 m farbkodiert in Regenbogenfarben mit einer Klassenbreite von 0,20 m aufgetragen. Die schwarzen Pfeile geben für die lokal ermittelte maximale Wellenhöhe die Richtung an, die sie bei ihrem Eintritt hatte. Die ausbaubedingten Änderungen der maximalen signifikanten Wellenhöhen werden als Differenz zwischen dem Ausbauzustand und dem planerischen Ist-Zustand (AZ – PIZ) ermittelt und als Isofarbflächen grafik nach dem bekannten Schema dargestellt (Anlagenband 1 Bild 111). Die Differenzen werden von - 0,11 m (Abnahme) bis 0,11 m (Zunahme) mit einer Klassenbreite



von 0,02 m gekennzeichnet. Dabei sind die Abnahmen in Blautönen und die Zunahmen in Rottönen zu erkennen. Die schwarzen Pfeile geben die Richtungsdivergenz der Höchstwerte der signifikanten Wellenhöhen an.

Im Bereich der geplanten Ausbaumaßnahmen stellen sich im Bereich des niedersächsischen Ufers für den Untersuchungszeitraum Höchstwerte der signifikanten Wellenhöhen von mehr als 2,00 m zwischen Km 705 und Km 720 ein (Anlagenband 1 Bild 110). Auf dem Bild 111 des Anlagenbandes 1 sind folgende Änderungen bei den maximalen signifikanten Wellenhöhen zu erkennen:

- Zunahmen kleiner als 0,05 m im Altenbrucher Bogen (Km 720)
- Abnahmen kleiner als 0,05 m bei der Medemmündung (Km 710 bis Km 720)
- Zunahmen bis 0,10 m im westlichen Teil bei der Ostemündung (Km 710 bis Km 705)
- Abnahmen um 0,05 m zwischen Neufeld und Brunsbüttel (stromauf von Km 705)
- Zu- und Abnahmen von 0,05 m im Bereich der UWA Medemrinne und der UWA Neufeld

Für diesen Untersuchungszeitraum sind zur Bestimmung der ausbaubedingten Änderung der Peakperiode an einigen Punkten zwischen dem Altenbrucher Bogen und Brunsbüttel berechnete Zeitreihen ausgewertet worden. Exemplarisch sind hier die Zeitreihen der Peakperiode für den planerischen Ist-Zustand und dem geplanten Ausbauzustand sowie ihre Differenzen im Bild 3-8 für Glameyer Stack und im Bild 3-9 für Km 708 oberhalb des Osteriffs dargestellt. In den Bildern ist jeweils im oberen Teil die Peakperiode (Wertebereich 0 bis 15 s) für den PIZ in Schwarz und für den AZ in Rot zu sehen. Unten die Differenz zwischen AZ und PIZ. Der Auswertebereich liegt hier zwischen $-0,10$ s (Abnahme) und $0,10$ s (Zunahme). Die ausbedingten Änderungen der Peakperiode verhalten sich dabei ähnlich wie die der Wellenhöhen. Zunahmen bis über $0,10$ s der Peakperioden werden insbesondere zwischen Km 708 und Km 720 zu finden sein. Abnahmen bis über $0,10$ s stromauf Km 708.

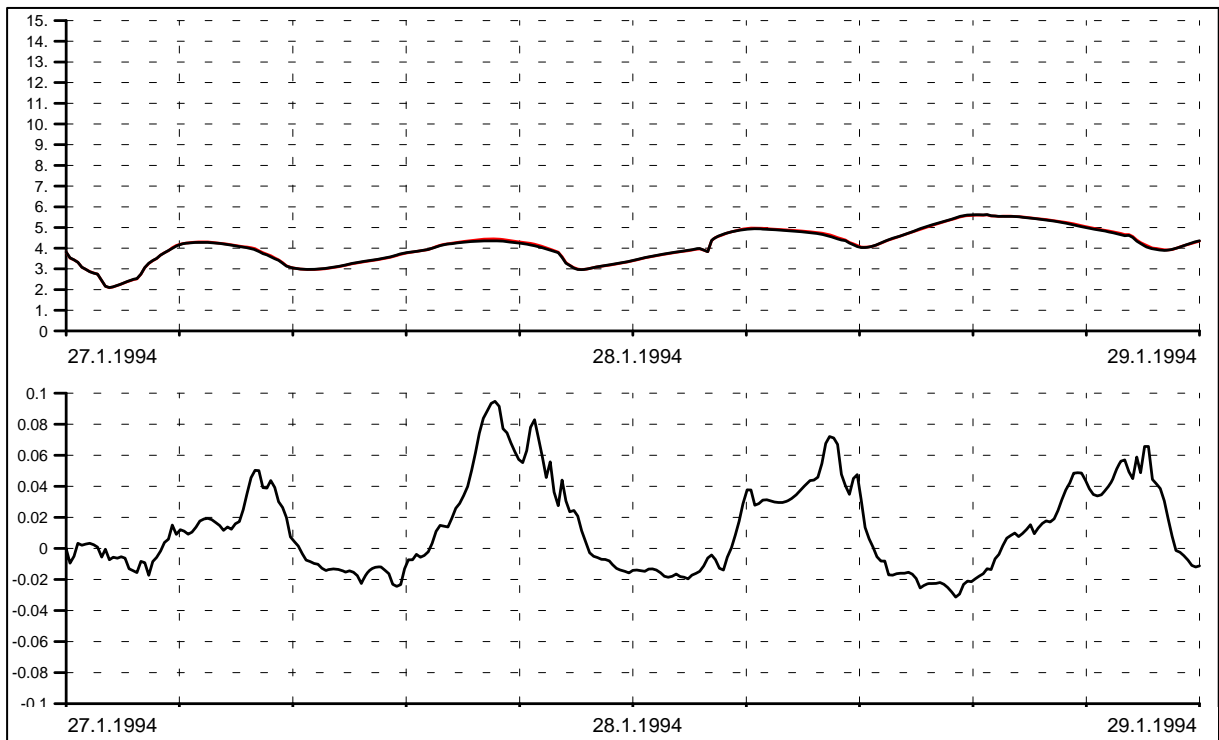


Bild 3- 8: Peakperioden (s) bei Glameyer Stack für die Zeit vom 27.1.1994 bis zum 29.1.1994. Oben die berechneten Perioden in Schwarz für den PIZ und in Rot für den AZ. Unten die Differenz (AZ – PIZ).

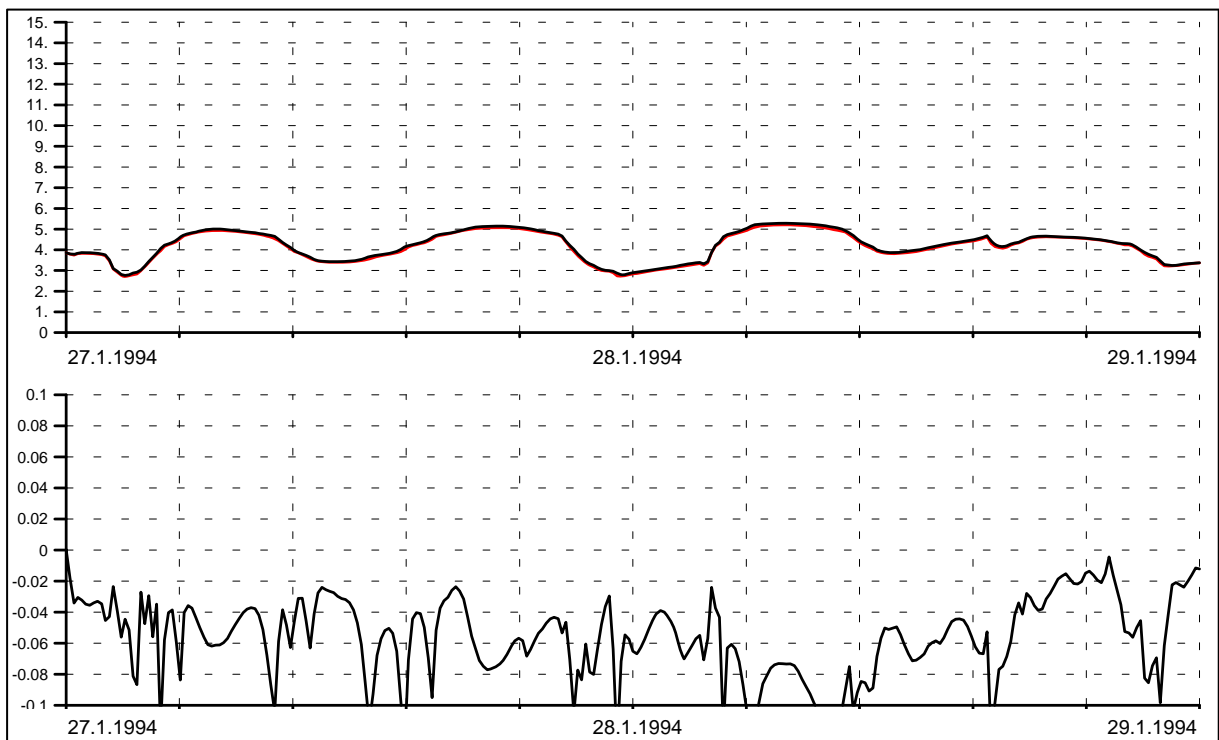


Bild 3- 9: Peakperioden (s) am Osteriff bei Km 708 für die Zeit vom 27.1.1994 bis zum 29.1.1994. Oben die berechneten Perioden in Schwarz für den PIZ und in Rot für den AZ. Unten die Differenz (AZ – PIZ).

Das Seegangmodell der Elbe

Durch die geplanten Ausbaumaßnahmen (Veränderungen der Wassertiefen) und die damit einhergehenden Veränderungen der Tidedynamik wird auch das lokale Seegangsklima beeinflusst werden (siehe Kapitel 8.2). Um diese ausbaubedingte Änderung des lokalen Seegangs bestimmen zu können, werden meteorologische Situationen betrachtet, in denen der Seegang nicht durch aus der Nordsee kommende Einflüsse überprägt wird. Für diese Untersuchung wird das Seegangmodell der Elbe eingesetzt.

Das Seegangmodell der Elbe für den planerischen Ist-Zustand (PIZ) und für den geplanten Ausbauzustand (AZ) reicht von Westen bei Bake A bis nach Südosten bei Finkenwerder (Bild 3-10). Im Bild 3-10 ist die Modelltopographie des planerischen Ist-Zustandes und in Bild 3-12 die geplanten topographischen Veränderungen in der Elbe bis Finkenwerder für den Ausbauzustand als Differenz zum planerischen Ist-Zustand dargestellt. Eine Abnahme der Wassertiefen ist in Rot und eine Zunahme der Wassertiefen in Blau aufgetragen. Das Modell reicht nur bis Finkenwerder, da der obere Teil der Elbe mit einem Gitterabstand von 200 m nicht mehr ausreichend aufgelöst werden kann. Das quadratische Seegangsgitter besteht aus ca. 41.000 Knoten und ca. 79.500 Elementen. Der Berechnungszeitschritt für die Seegangmodellierung ergibt sich in Abhängigkeit vom Gitterabstand zu 1,0 s.

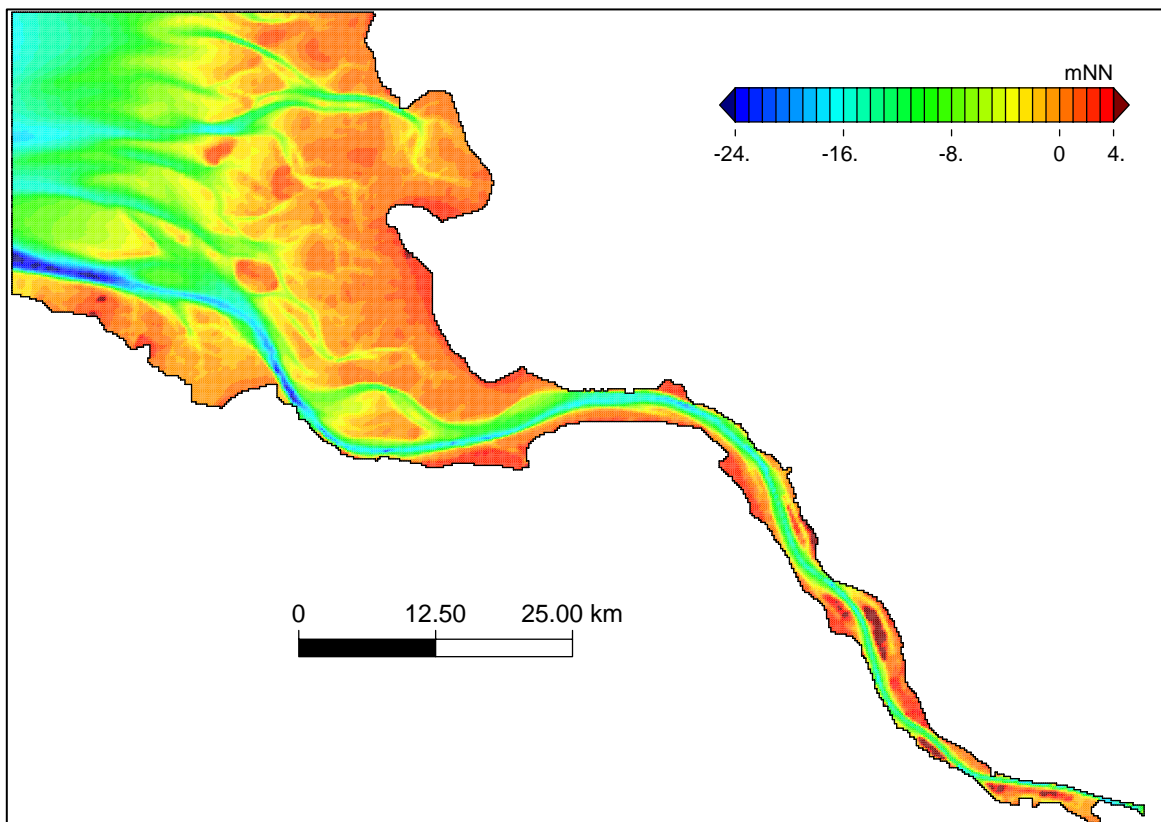


Bild 3- 10: Topographie des Seegangmodells der Elbe für den planerischen Ist-Zustand (PIZ)

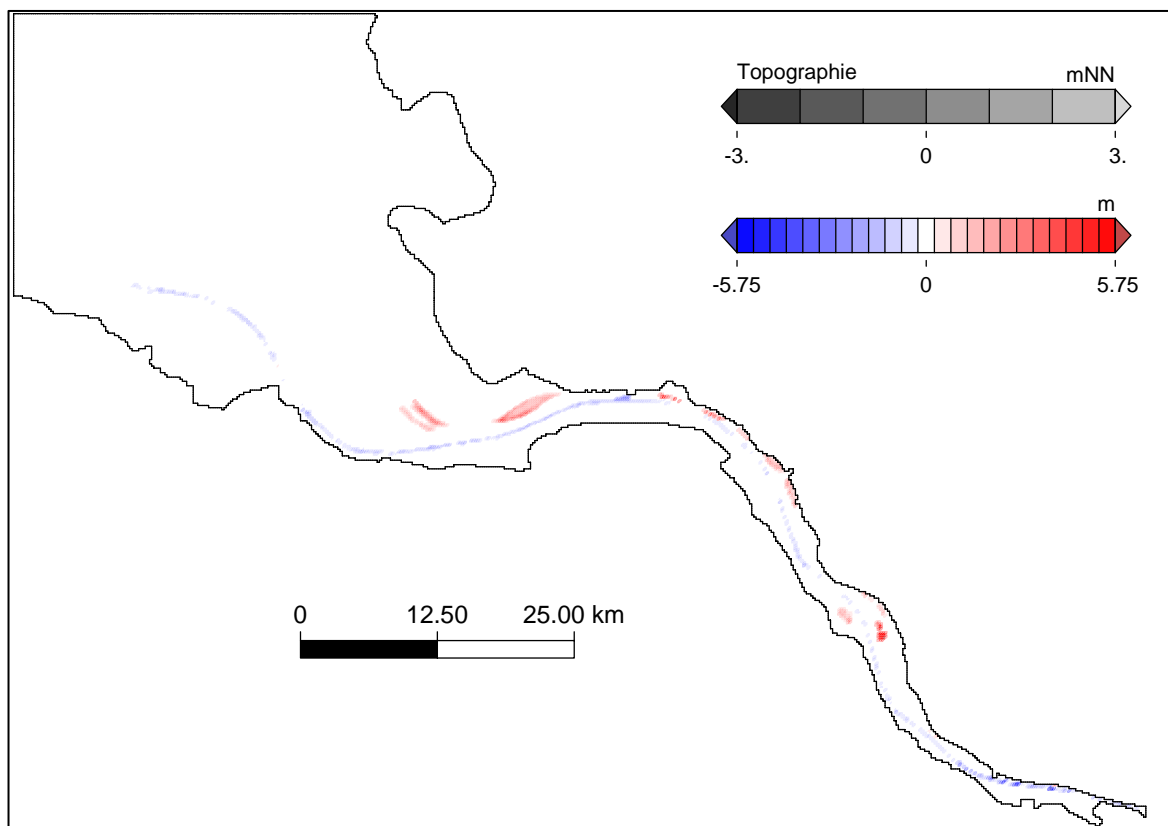


Bild 3- 11: Differenztopographie (AZ – PIZ) des Seegangsmodells der Elbe bis Finkenwerder. In Rot ist eine Abnahme der Tiefe und in Blau eine Zunahme dargestellt.

Für die Untersuchung der ausbaubedingten Änderungen des lokalen Seegangs werden 2 Zeiträume aus dem Mai 2002 mit nahezu zeitlich gleichbleibenden Windverhältnissen ausgewählt (Bild 3-12 und Bild 3-13). Der erste Zeitraum vom 14.5.2002 6:00 Uhr bis 16.5.2002 00:00 Uhr ist geprägt durch Windgeschwindigkeiten zwischen 3 m/s und 18 m/s, die aus dem Süd-West-Sektor kommen. Im zweiten Zeitraum vom 20.5.2002 00:00 Uhr bis 23.5.2002 00:00 Uhr kommen diese aus dem Süd-Ost-Sektor und die Windgeschwindigkeiten liegen zwischen 4 m/s und 16 m/s. Da der Mai 2002 auch die Grundlage für die Untersuchung der ausbaubedingten Veränderungen der Tidedynamik ist, werden die hierfür berechneten Wasserstände und Strömungen benutzt. Die für die Untersuchung des am häufigsten aufgetretenen Oberwassers berechneten Wasserstände und vertikal integrierten Strömungen werden zusammen mit dem Wind für die oben beschriebenen Zeiträume bei der Simulation des instationären Seeganges für den planerischen Ist-Zustand (PIZ) sowie für den Ausbauzustand (AZ) entsprechend berücksichtigt.

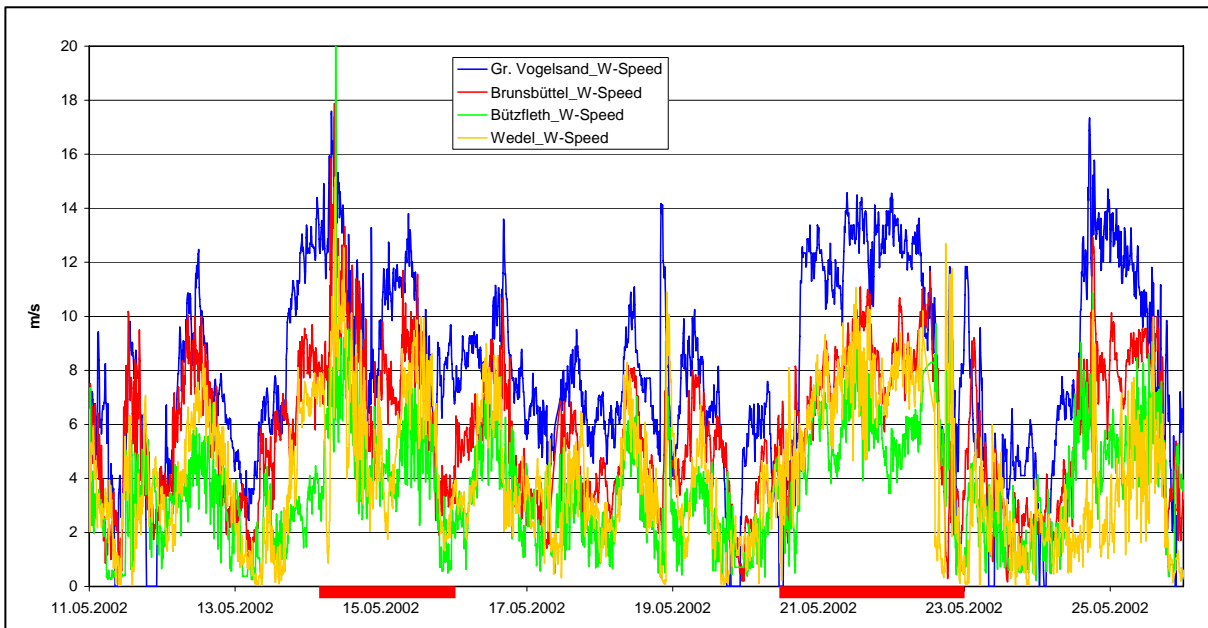


Bild 3- 12: Entlang der Elbe gemessene Windgeschwindigkeiten für den Zeitraum 11.5.2002 bis 26.5.2002. Die Analysezeiträume vom 14.5.2002 06:00 Uhr bis 16.5.2002 00:00 Uhr und 20.5.2002 12:00 Uhr bis 23.5.2002 00:00 Uhr sind rot markiert.

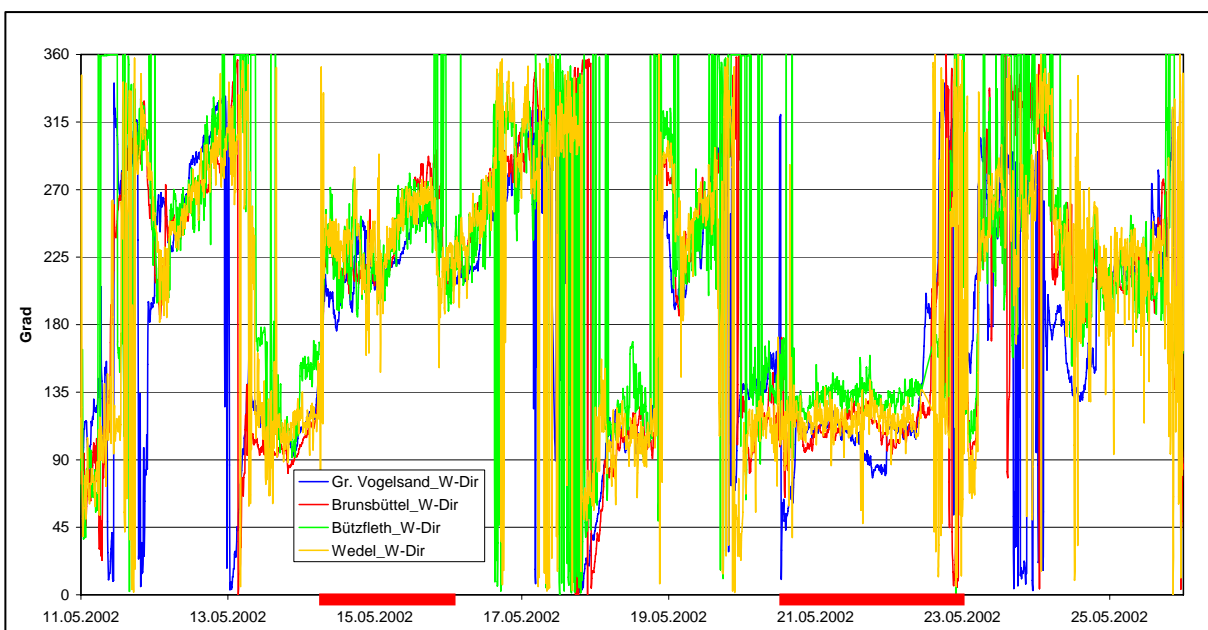


Bild 3- 13: Entlang der Elbe gemessene Windrichtungen für den Zeitraum 11.5.2002 bis 26.5.2002. Die Analysezeiträume vom 14.5.2002 06:00 Uhr bis 16.5.2002 00:00 Uhr und 20.5.2002 12:00 Uhr bis 23.5.2002 00:00 Uhr sind rot markiert.

Ausbaubedingte Änderungen

Nachdem die Seegangssimulation nach dem oben beschriebenen Konzept für den planerischen Ist-Zustand und den Ausbauzustand für die beiden Zeiträume durchgeführt worden sind, werden die maximalen signifikanten Wellenhöhen (höchster Wert des Analysezeitraums) ermittelt und als Isofarbflächengrafik abgebildet (siehe Anlagenband 1). Die Wellenhöhen werden von 0 bis 1,50 m farbkodiert in Regenbogenfarben mit einer Klassenbreite von 0,10 m aufgetragen. Die schwarzen Pfeile geben für die lokal ermittelte maximale Wellenhöhe die Richtung an, die sie bei ihrem Eintritt hatte. Die ausbaubedingten Änderungen der maximalen signifikanten Wellenhöhen werden als Differenz zwischen dem Ausbauzustand und dem planerischen Ist-Zustand (AZ – PIZ) ermittelt und als Isofarbflächengrafik nach dem bekannten Schema dargestellt (Anlagenband 1). Die Differenzen werden von - 0,11 m (Abnahme) bis 0,11 m (Zunahme) mit einer Klassenbreite von 0,02 m gekennzeichnet. Dabei sind die Abnahmen in Blautönen und die Zunahmen in Rottönen zu erkennen. Die schwarzen Pfeile geben die Richtungsänderung der Höchstwerte der signifikanten Wellenhöhen an.

In der Zeit vom 14.5.2002 6:00 Uhr bis 16.5.2002 00:00 Uhr mit dem Wind aus dem Süd-West-Sektor, werden signifikante Wellen größer als 0,50 m vom seeseitigen Rand bis Schwarztonnensand (Km 665) berechnet (Anlagenband 1 Bild 112, 114, 116 u. 118). In den Bildern 113, 115, 117 u. 119 des Anlagenbandes 1 sind folgende ausbaubedingte Änderungen bei den maximalen signifikanten Wellenhöhen in dieser Zeit zu erkennen:

- Zunahmen bis 0,05 m von Km 705 bis Km 725
- Abnahmen bis über 0,10 m auf der UVA Neufeld
- Zu und Abnahmen von 0,05 m im Umfeld der UWA Medemrinne und der Rinne
- Zunahmen kleiner als 0,05 m in der Fahrrinne bei Brunsbüttel
- Abnahmen kleiner als 0,10 m in der Uferzone zwischen Brunsbüttel und Scheelenkuhlen
- Zunahmen bis über 0,10 m vor den UWA in der Störmündung
- Zu und Abnahmen bis 0,05 m in der Pagensander Nebenelbe und hinter Schwarztonnen Sand
- Zu und Abnahmen bis 0,05 m in der Lühesander Süderelbe und Hahnöfer Nebenelbe
- Abnahmen bis 0,05 m vor der Ufervorspülung Wittenbergen

In der Zeit vom 20.5.2002 12:00 Uhr bis 23.5.2002 00:00 Uhr mit dem Wind aus dem Süd-Ost-Sektor, werden signifikante Wellen größer als 0,50 m vom seeseitigen Rand bis Pagensand (ca. Km 657) berechnet (Anlagenband 1 Bild 120, 122, 124 u. 126). In den Bildern 121, 123, 125 u. 127 des Anlagenbandes 1 sind folgende ausbaubedingte Änderungen bei den maximalen signifikanten Wellenhöhen in dieser Zeit zu erkennen:

- Zu und Abnahmen kleiner als 0,05 m im Umfeld der UWA Medemrinne und der UVA Neufeld
- Abnahmen kleiner als 0,05 m in der Uferzone von St. Margarethen bis Scheelenkuhlen
- Zunahmen in der Fahrrinne kleiner als 0,05 m bei Scheelenkuhlen (ca. Km 686)



- Abnahmen bis über 0,10 m in der Störmündung
- Zunahmen bei über 0,10 m an der Südspitze der Rhinplate
- Abnahmen bis über 0,10 m bei der Ufervorspülung Kollmar
- Abnahmen von 0,05 m in der Pagensander Nebenelbe

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass es durch den geplanten Ausbau der Unter- und Außenelbe, bedingt durch die komplexen Wechselwirkungen zwischen Seegang, Topographie und Strömung örtlich differenziert sowie ereignisabhängig, in der Tendenz sowohl zu Zu- als auch zu Abnahmen der Wellenhöhen kommen wird. Die maximalen ausbaubedingten Änderungen der Wellenhöhe liegen dem Betrag nach bis über 0,10 m. Dasselbe gilt für die Peakperioden. Hier werden Änderungen dem Betrag nach bis über 0,10 s erwartet.

Literaturverzeichnis

SCHNEGGENBURGER, C.: Spectral Wave Modelling with Nonlinear Dissipation. Technical Report GKSS 98/E42, Forschungszentrum-Geesthacht,