



## SCHLUSSBERICHT

gemäß Anlage 2 zu Nr. 3.2 BNBest-BMBF 98

**03KIS101**

### **Messung und Modellierung der Seegangsabschwächung in Rückseitenwatten**

Projektlaufzeit: 01.11.2011 - 31.10.2014

---

**Cordula Berkenbrink, Markus Witting & Andreas Wurpts**

Norderney, Februar 2016

**Inhalt**

1	Aufgabenstellung und Projektdurchführung .....	3
1.1	Aufgabenstellung .....	3
1.2	Ausgangslage und Voraussetzungen .....	3
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens .....	4
1.4	Anknüpfung an Wissenschaft und Technik.....	4
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	5
2	Projektergebnisse und Nutzen.....	5
2.1	Ergebnisse .....	5
2.1.1	Untersuchungsgebiet und Messgeräte .....	5
2.1.2	Messergebnisse.....	8
2.1.3	Erste Vergleiche von Messdaten und Modellergebnissen im Untersuchungsgebiet	9
2.2	Zahlenmäßiger Nachweis .....	12
2.3	Voraussichtlicher Nutzen .....	12
2.4	Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen .....	12
2.5	Berichte und Veröffentlichungen.....	12
3	Literatur.....	12

## 1 Aufgabenstellung und Projektdurchführung

### 1.1 Aufgabenstellung

Die mathematische Modellierung der Seegangsausbreitung in abgeschattete Bereiche, wie z.B. hinter den Barriereinseln Ostfrieslands, ist mit Unsicherheiten behaftet. Insbesondere der langperiodische Anteil des Seegangsspektrums hat Auswirkungen auf verschiedene Fragestellungen im Küstingenieurwesen. Hierzu sind morphologische Prozesse zu zählen sowie auch die Bemessung von Küstenschutzwerken und anderen Anlagen in diesen Bereichen, die hier bislang nicht mit der sonst erreichbaren Sicherheit und Wirtschaftlichkeit möglich sind. Der für die numerische Simulation von morphologischen Änderungen im Wattenmeer zu berücksichtigende Sedimenttransport ist im erheblichen Maße abhängig von der Periode des ursächlichen Seegangs. Lange Wellen reichen mit ihren Orbitalbewegungen tiefer und haben einen entsprechend großen Anteil an der seegangsinduzierten Sohlschubspannung. Auch bei der Berechnung der Wellenauflaufhöhe ist die Wellenperiode ein maßgebender Faktor, da sie linear in Gleichungen einfließt.

Das Pilotprojekt befasst sich daher primär mit der Messung des bislang nur qualitativ bekannten Phänomens in Verbindung mit der begleitenden mathematischen Modellierung der beobachteten Größen. Dabei soll mittels neuer Sensorik der Einfluss der Strömung bzw. der strömungsinduzierten Schwingung auf die Seegangsmessdaten identifiziert werden, so dass mit einer ausreichenden Datengrundlage geeignete Filter entwickelt werden können. Weiterhin soll in den stark durchströmten Baljen hinter den Inseln langperiodischer Seegang erfasst werden, der im Anschluss an das Pilotprojekt eventuell gestützt durch Folgeprojekte analysiert und belastbar ausgewertet werden kann.

### 1.2 Ausgangslage und Voraussetzungen

Die Grundlage der Untersuchungen bildet das Seegangsmessprogramm der Forschungsstelle Küste, das seit Jahrzehnten betrieben wird. Es liegen somit die notwendigen, umfangreichen Erfahrungen in der Durchführung und Auswertung von Naturmessungen zur Seegangsausbreitung vor. Mit den aus den Projektmitteln finanzierten Systemen wird das Messprogramm erweitert und in Eigenleistung betreut und ausgewertet (Abbildung 1). Die Eigenleistung umfasst dabei den Aufbau, den Betrieb und die Auswertung der neu zu beschaffenden Sensorik innerhalb des regulär betriebenen Messnetzes. Hierzu gehören Ausbringen und Einholen per Schiff, die Wartung (Antifouling-Anstrich, Reparatur, Batteriewechsel), die Datenerfassung/Datenanalyse sowie die wissenschaftliche Koordination. Die Möglichkeit die Betreuung von Bachelor- und Masterarbeiten übernehmen zu können, ermöglicht zudem eine detaillierte Analyse der Daten und den Vergleich mit Seegangsmodellen in entsprechenden Arbeitspaketen.



Abbildung 1: Messprogramm Forschungsvorhaben 03KIS101

### 1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt hat im November 2011 mit der Beschaffung der notwendigen Sensorik begonnen. Es wurde daraufhin das Messkonzept erstellt und die benötigten Positionen wurden beantragt. Die Lieferung der Seegangsmessboje mit integriertem ADCP verzögerte wegen erforderlicher Umrüstungsmaßnahmen bezüglich des Arbeitsschutzes bis Februar 2012. Jedoch lieferte das System aufgrund technischer Schwierigkeiten keine Strömungsdaten. Das Problem konnte zusammen mit dem Hersteller erst im Sommer 2013 gelöst werden. Von Juni bis August 2013 lieferte die Boje erstmals zuverlässige Daten in der Nähe von Norderney. Danach wurde sie in das Messfeld gebracht, wo sie seit Oktober 2013 an der Position KS-W Seegang und Strömung erfasst.

Das Messprogramm wurde 2014 in Eigenleistung um zwei zusätzliche Messpositionen erweitert (Abbildung 1). Auf der Nordseite der Memmertbalje wurden zwei akustische Wellenpegel auf Pfählen installiert, die die Ausbreitung des Seegangs in Richtung Inselwatt aufnehmen (NL-S und NL-N). Am Ende der Balje wurde eine Messposition reaktiviert und mit einer einfachen Wellenmessboje bestückt (MB), womit die gesamte Memmertbalje messtechnisch erfasst wird. Der einschwingende Seegang aus dem Küstenvorfeld in die Osterems wird durch eine Wellenmessboje des regulären Seegangsmessprogramms der Forschungsstelle Küste erfasst (OEMS-N).

### 1.4 Anknüpfung an Wissenschaft und Technik

Die seit vielen Jahren an der Forschungsstelle Küste des NLWKN durchgeführten Seegangsmessungen (NIEMEYER 1977, 1979, 1983, NIEMEYER et al. 1992a) und zugehörigen Modellierungen (NIEMEYER et al. 1992b, KAISER & NIEMEYER 2001) belegen, dass

die aktuellen spektralen Seegangsmodelle der 3. Generation immer noch Schwächen in der Ermittlung der Wellenperiode direkt im Wellenschatten der ostfriesischen Barriereinseln aufweisen. Hierbei kann angenommen werden, dass diese Schwäche auch auf andere, ähnliche Inselkonfigurationen und Verhältnisse übertragbar ist; und zwar immer dort, wo langperiodischer Seegang mittels Beugung in einen Wellenschatten einschwingt.

Die erhobenen und weiterhin zu erhebenden Datensätze gehen über die Klärung der benannten Phänomene hinaus ein in weiterführende Projekte, die sich mit Seegang oder Morphodynamik im Wattenmeer, insbesondere in den Baljen, befassen. Sie verbessern das Prozessverständnis und helfen bei der Modellweiterentwicklung.

### 1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Bei dem Projekt handelt es sich in erster Linie um eine Pilotstudie, die das Ziel verfolgt, die Datengrundlage mittels neuer Sensorik und einem speziell ausgerichteten Messprogramm im Bereich der Baljen hinter den Barriereinseln aufzustocken. Die Forschungsstelle Küste betreibt seit vielen Jahren ein Messfeld zwischen dem Festland und dem Fahrwasser vor der Küste rund um Norderney in das bereits Sensorik anderer Projekte integriert wurde. So können beispielsweise Daten aus dem Projekt COSYNA (Coastal Observing System for Northern and Arctic Seas) vom Helmholtz-Zentrum Geesthacht an zwei Stationen im Projekteinzugsgebiet bezogen werden.

## 2 Projektergebnisse und Nutzen

### 2.1 Ergebnisse

#### 2.1.1 Untersuchungsgebiet und Messgeräte

Das Untersuchungsgebiet ist in das Messprogramm der Forschungsstelle Küste integriert, welches seit 1976 betrieben wird. Seit 1994 werden alle Daten digital erfasst und verwaltet. Neben dauerbetriebenen Stationen für Langzeitmessungen sind kurzzeitstatistische Seegangsanalysen bei Extremsituationen von großer Bedeutung. Der Schwerpunkt des Messprogramms „Seegangsabschwächung in Rückseitenwatten“ liegt südlich von Juist. Neben den aus Projektmitteln finanzierten TRIAXYS und AWAC Systemen wurden Messstationen des Messprogramms der Forschungsstelle Küste hinzugezogen, sowie in Eigenleistung zwei Messpegel aufgestellt, um das Gebiet vollständig zu erfassen (Abbildung 1). Die verwendeten Messsysteme werden nachfolgend kurz beschrieben:

- TRIAXYS - System

Das System TRIAXYS™ (Directional Wave Buoy) der kanadischen Firma Axys besteht aus drei Komponenten: Boje, Empfänger und der Software. Das System ist so konzipiert, dass es stündlich via Funk ihren Bojenstatus sendet und 2D-Spektren auswertet. Die 20 minütige-Zeitreihe der Wasserspiegelauslenkungen wird mittels Fourier-Transformation in ein Energiedichtetespektrum umgeformt. Die hier verwendete Boje ist zusätzlich mit einem ADCP ausgestattet, so dass gleichzeitig die Strömung erfasst werden kann.



Abbildung 2: TRIAXYS Boje bei Testlauf vor Norderney (links) und in der Nahaufnahme (rechts)

- AWAC - System

Die AWAC-Messgeräte (**A**coustic **W**ave and **C**urrent Profiler) werden von dem norwegischen Unternehmen Nortek AS hergestellt und vertrieben (Abbildung 3). Die Geräte nutzen das Prinzip des akustischen Dopplereffekts und messen vom Meeresboden aus. Das Messsystem macht Aufnahmen bzw. Auswertungen über die Wellenhöhe und –richtung, Tidewellen sowie Strömungen. Die Ermittlung der Wellenhöhe basiert auf dem AST-Algorithmus (Acoustic Surface Tracking). Dabei wird der Abstand zur Wasseroberfläche mittels Echoortung über die vertikal ausgerichtete Messvorrichtung bestimmt (Abbildung 4 links).



Abbildung 3: AWAC-Messgerät im Schutzkasten

Die Wellenrichtung wird aus der Kombination der AST-Messung und der Orbitalgeschwindigkeit knapp unter der Wasseroberfläche bestimmt (Abbildung 4 rechts). Über die Druckmessdose, die im Gerät eingebaut ist, wird vom Meeresboden aus der Wasserstand ermittelt.

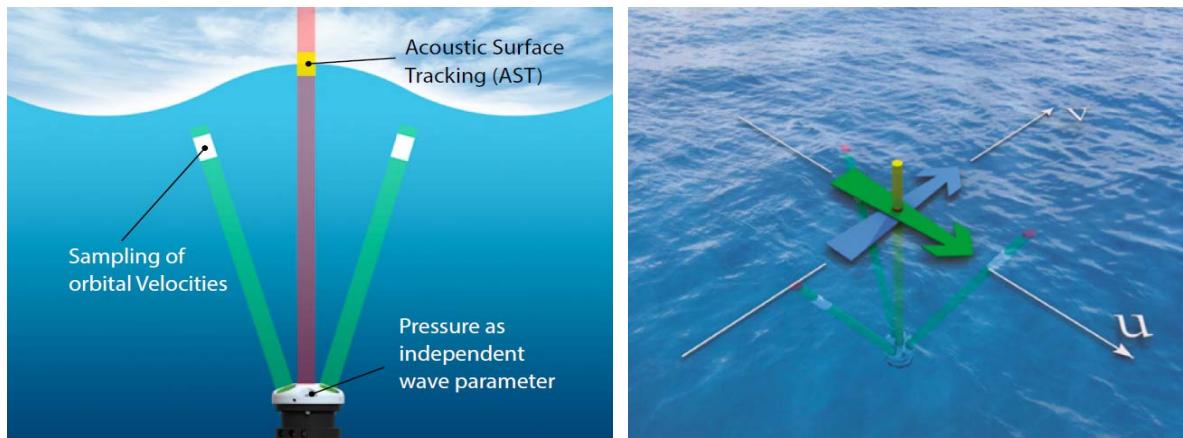


Abbildung 4: Prinzip zur Bestimmung der Wellenhöhe (links) und der Wellenrichtung (rechts)  
(Quelle: Nortek)

- LOG\_aLevel® der Firma General Acoustics

Das deutsche Unternehmen General Acoustics (GA) stellt das Messgerät LOG\_aLevel her. Dies misst über einen Ultraschallsender und -empfänger die Entfernung zur Wasseroberfläche (Abbildung 5). Es wird in ausreichender Höhe an einen Messpfahl angebracht. Durch die enge Zusammenstellung der drei akustischen Messstrahlen wird die Wasseroberfläche in kleinen Segmenten abgetastet. Dadurch und durch die Abtastrate von 5 Hz wird sichergestellt, dass kleinere Wellenzüge mit in die Messdatenreihe aufgenommen werden.



Abbildung 5: GA-Pegel mit Windrotor vor Norderney

- DIWAR – Boje

Der Bojetyp DIWAR (Digital Waverider Reciver) der Firma Datawell misst die vertikale Auslenkung der Boje (Abbildung 6) und erhält dadurch die Zeitreihe der Wellenauslenkung. Aus den Datensätzen können eindimensionale Energiedichtespektren und Seegangssparameter abgeleitet werden.



Abbildung 6: Datawell-Boje

### 2.1.2 Messergebnisse

Die strömungsinduzierten Schwingungen können im Energiedichtespektrum eindeutig identifiziert werden. Sie liegen um 0,04 Hz, was einer für das Wattenmeer deutlich zu langen Wellenperiode von 25 s entspricht (Abbildung 7). Der Effekt beginnt bei einer Geschwindigkeit von 0,1 m/s und bleibt unabhängig von der Geschwindigkeit auf der Frequenz.

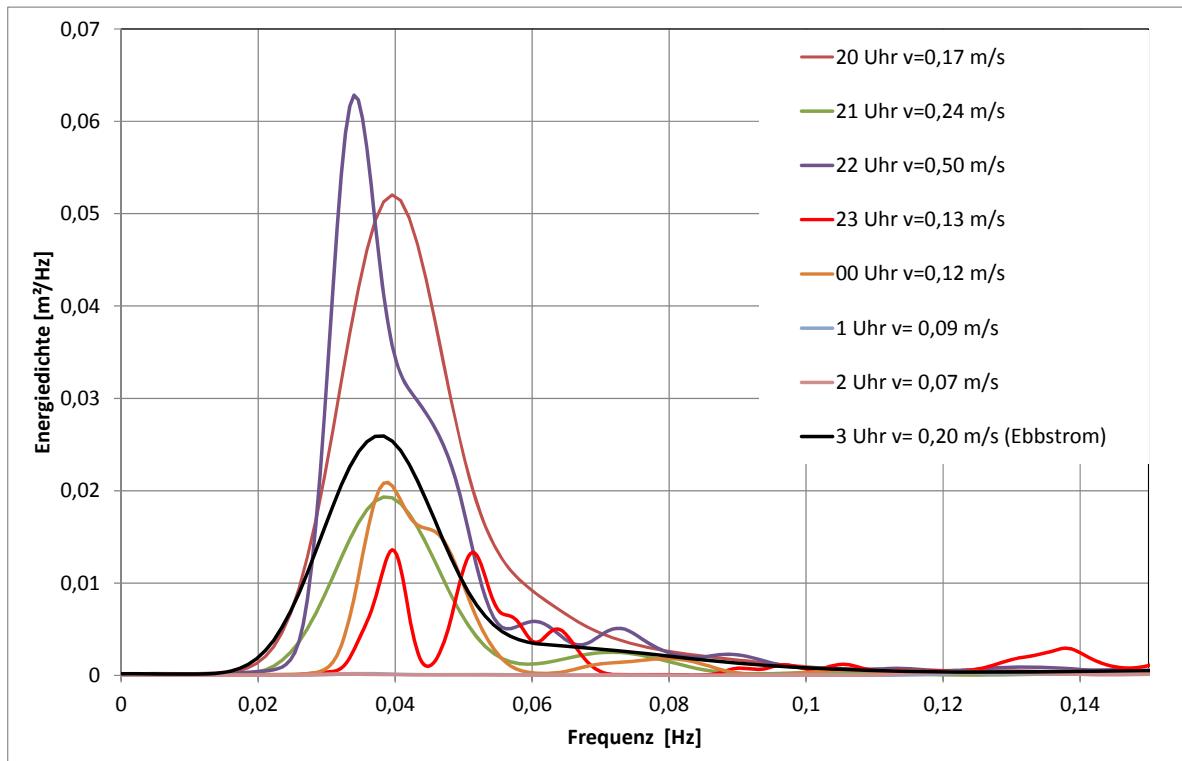


Abbildung 7: Ausschnitt aus den Energiedichtespektren der TRIAXYS mit ADCP – Station KS mit Strömungsgeschwindigkeit

### 2.1.3 Erste Vergleiche von Messdaten und Modellergebnissen im Untersuchungsgebiet

Für den Vergleich mit mathematischen Modellierungen wurde aus den verfügbaren Datensätzen ein Zeitraum gewählt, der einen möglichst energiereichen oder langperiodischen Seegang im Untersuchungsgebiet aufzeigt. Als erster Testfall wurde für moderaten langwelligen Seegang der Zeitraum vom 18. bis 20.02.2015 ausgewertet.

Der durch die Osterems einschwingende Seegang wird sowohl an den Wellenpegeln als auch im mathematischen Modell auf dem Nordland gut erfasst. Die Ausbildungen der Spektren sind im Vergleich sehr ähnlich, jedoch ist eine Unterschätzung des Seegangs bei der Berechnung erkennbar (Abbildung 8 und Abbildung 9). In Richtung Norden geht mehr Energie im Seegangsmodell verloren, als das Messsignal zeigt.

Ein Vergleich der Berechnungen mit den Messungen der Bojensysteme von Datawell und TRIAXYS zeigt keine gute Übereinstimmung, obwohl das Messsignal, um die oben beschriebenen bereinigt wurde (Abbildung 10 und Abbildung 11).

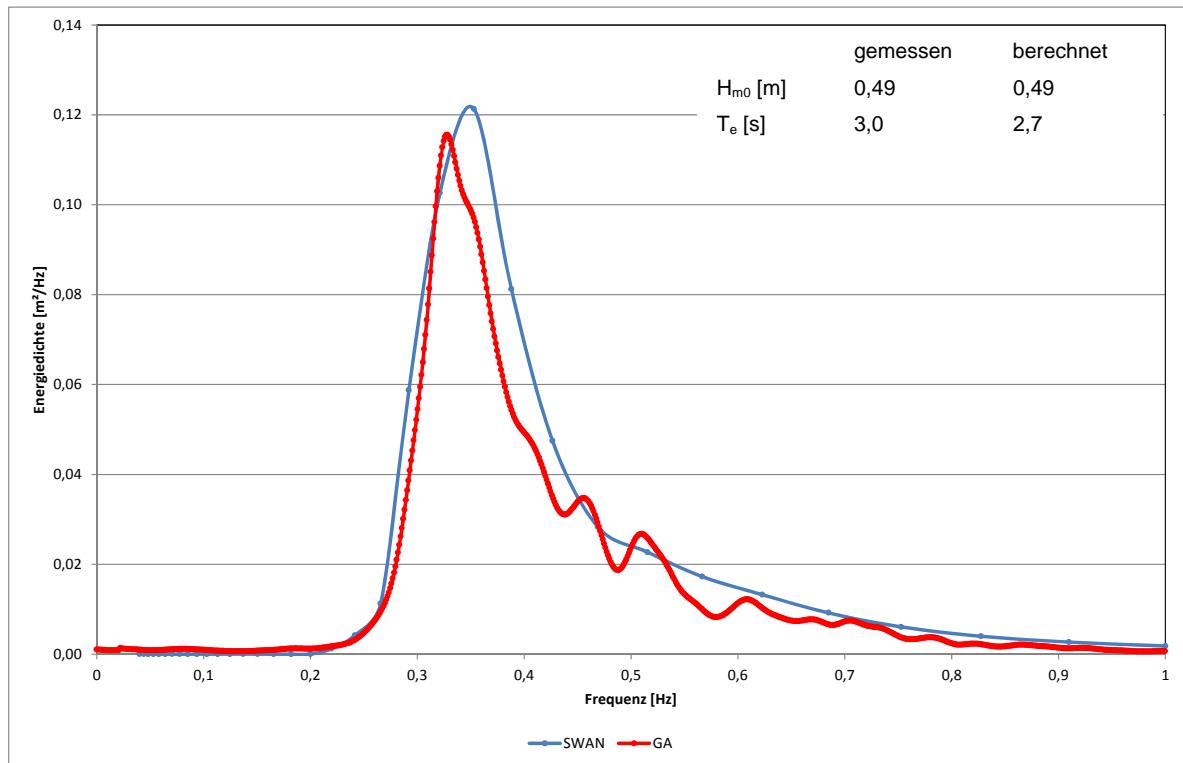


Abbildung 8: Vergleich von gemessenem und berechnetem Energiedichtespektrum an der Station Nordland-Süd (NLS)

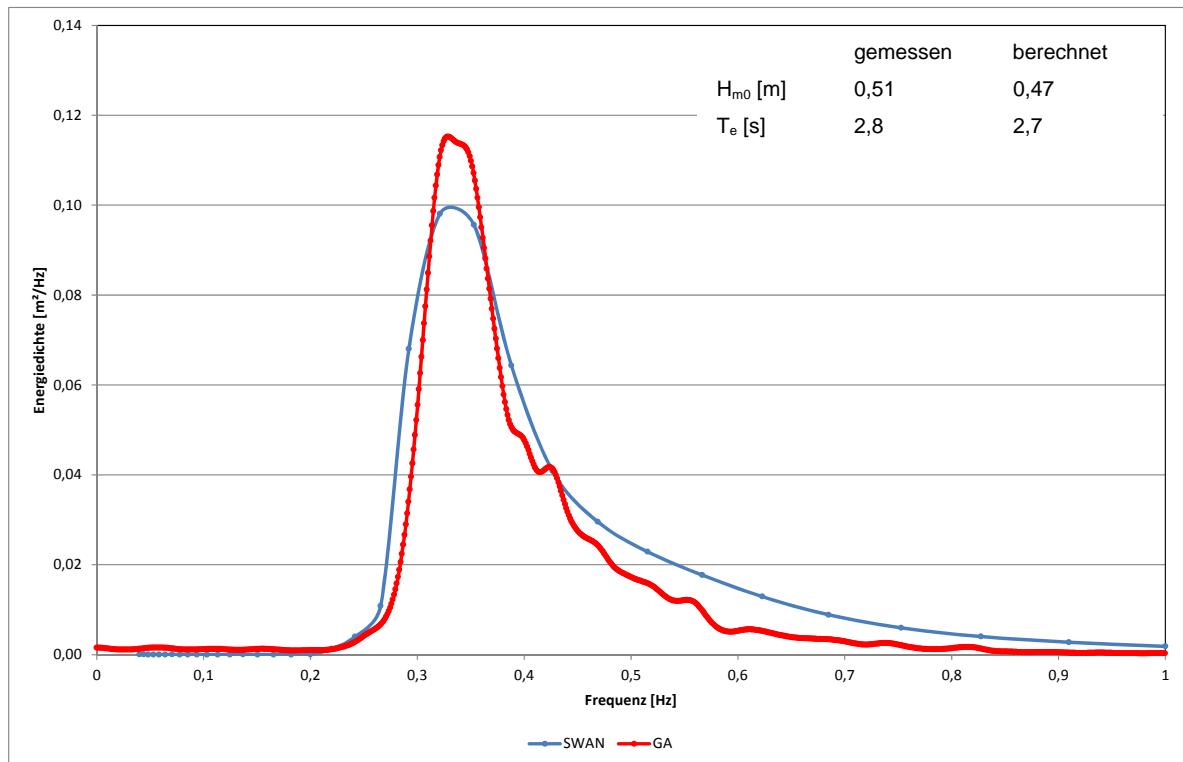


Abbildung 9: Vergleich von gemessenem und berechnetem Energiedichtespektrum an der Station Nordland-Nord (NLN)

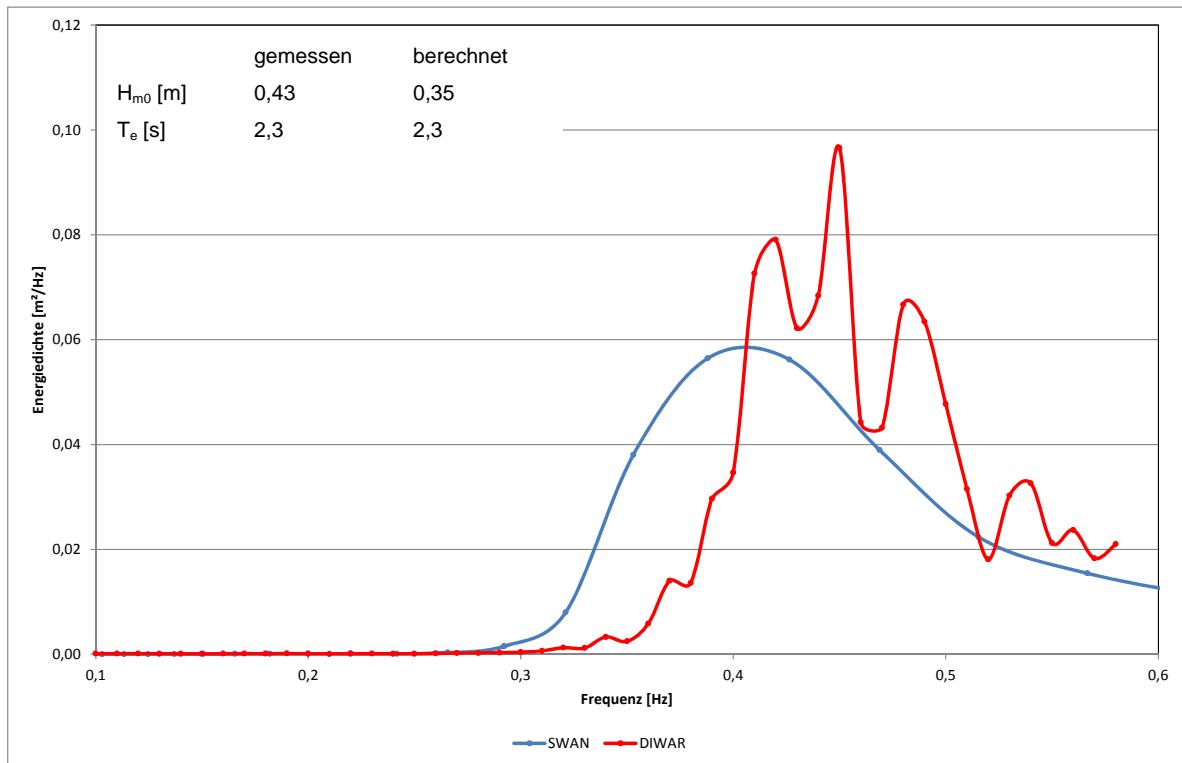


Abbildung 10: Vergleich von gemessenem und berechnetem Energiedichtespektrum an der Station Memmertbalje (MB)

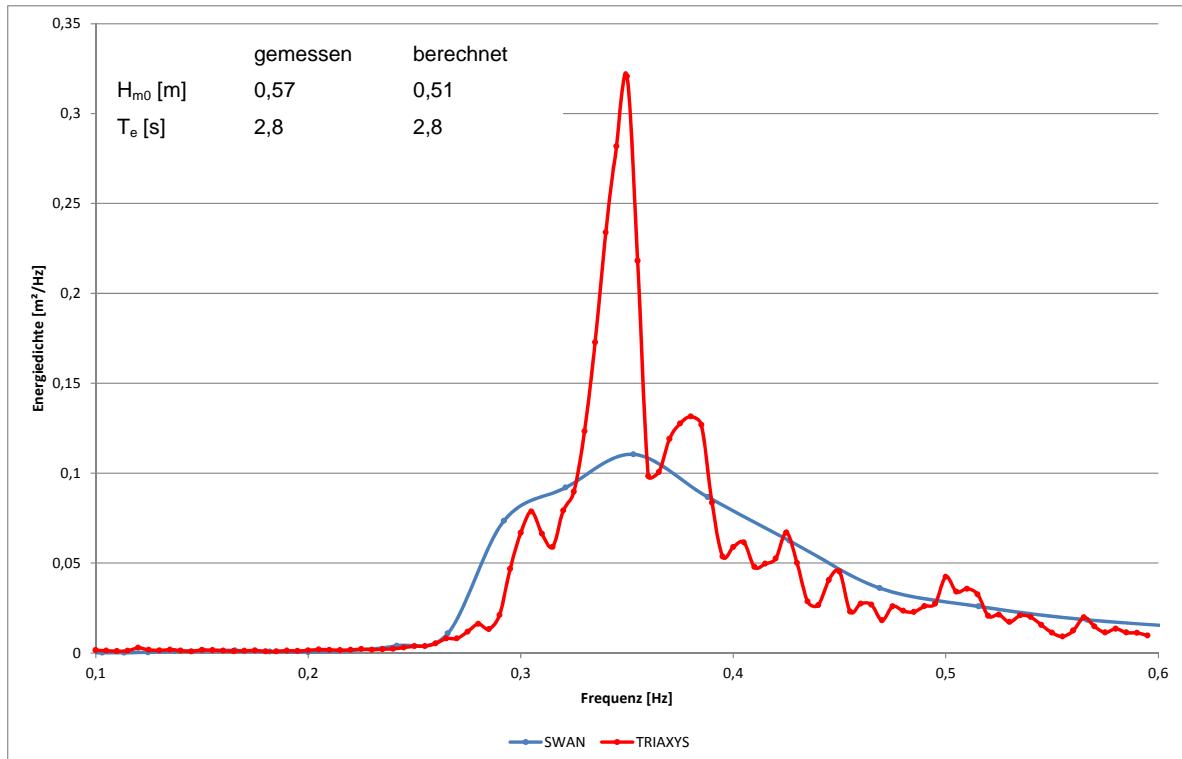


Abbildung 11: Vergleich von gemessenem und berechnetem Energiedichtespektrum an der Station Kopersand-West (KS-W)

Hier sind sowohl hinsichtlich des Messsignals als auch der Berechnungen weiterführende Untersuchungen erforderlich. In weiterführenden Analysen soll geprüft werden, ob eine feinere Auflösung des Frequenzbereichs der kurzen Wellen im Seegangsmode bessere

Ergebnisse liefert. Die Übereinstimmung bei der gemessenen und berechneten Energieperiode ist in diesem Zusammenhang ebenfalls zu verifizieren.

## 2.2 Zahlenmäßiger Nachweis

Der zahlenmäßige Nachweis ist mit den Angaben im Verwendungsnachweis von Oktober 2015 erbracht worden.

## 2.3 Voraussichtlicher Nutzen

Die erhobenen Datensätze dienen neben der Präzisierung der Messtechnik vor allem der Verifizierung und Weiterentwicklung mathematischer Modelle. Wenn die strömungsinduzierten Schwingungen aus dem Messsignal isoliert werden können, ist ein belastbarer Vergleich mit Seegangsmodellen möglich und damit einhergehend auch eine Weiterentwicklung der Modellierung der Seegangsausbreitung im Inselschatten. Dieser Abgleich ist bislang aufgrund der kleinen Gesamtheit erfasster relevanter Ereignisse nicht möglich und wird mit dem Vorliegen entsprechender Messdaten in Eigenregie des Antragstellers durchgeführt.

## 2.4 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Es sind keine derartigen Messprogramme bekannt.

## 2.5 Berichte und Veröffentlichungen

BERKENBRINK, C., HENTZE, L. & A. WURPTS (2016): Model verification based on RADAC measurements in the Wadden Sea. In: Ocean Science and Biogeochemistry – COSYNA Special Issue. (in Bearbeitung)

HENTZE, L. (2015): Sensitivitätsstudien am mathematischen Seegangsmodell SWAN und Vergleich mit Naturmessungen. Bachelorarbeit – Franzius Institut Leibniz Universität Hannover & NLKWN-Forschungsstelle Küste, Norderney. (unveröff.)

WITTING, M., BLECHSCHMIDT, S., BERKENBRINK, C., & A. WURPTS (2016): Measurements of long wave propagation in the Wadden Sea. In: Ocean Science and Biogeochemistry – COSYNA Special Issue. (in Bearbeitung)

## 3 Literatur

KAISER, R. & NIEMEYER H.D. [2001]: Analysis of Directional Spectra in Shallow Environment Comparison of Field Data and Results from Mathematical Modeling. Proc. 4th Intern. Symp. Waves 2001, San Francisco/Ca, ASCE, Reston.

NIEMEYER, H. D. [1977]: Seegangsmessungen auf Deichvorländern. Forschungsstelle Küste - Jahresbericht 1976, Bd. 27, Norderney.

NIEMEYER, H. D. [1979]: Untersuchungen zum Seegangsklima im Bereich der Ostfriesischen Inseln und Küste. Die Küste, H. 34.

NIEMEYER, H.D. [1983]: Über den Seegang an einer inselgeschützten Wattküste. BMFT-Forschungsbericht MF0203, Norderney.

NIEMEYER, H.D.; GÄRTNER, J. & GRÜNE, J. [1992a]: Naturuntersuchungen von Wattseegang an der deutschen Nordseeküste. Schlussbericht zum BMFT-Forschungsvorhaben MTK 464 B – Teil I.

NIEMEYER, H. D.; KAISER, R. & ADEL, J. D. DEN [1992b] : Anwendung des mathematischen SeegangsmodeLL HISWA an einer inselgeschützten Wattküste. Schlussbericht BMFT-Forschungsvorhaben MTK 464 - Teil III.