

BELAWATT – Die hydrodynamische Belastung von Wattgebieten

Dr. Dieter Eppel
Dr. Hartmut Kapitza
Dr. Reiner Onken
Dr.-Ing. Andrey Pleskachevsky
Dr. Walter Puls
Dr. Rolf Riethmüller
Dipl.-Ozean. Bernd Vaessen

GKSS-Forschungszentrum Geesthacht

Das KFKI-Forschungsvorhaben „Die hydrodynamische Belastung von Wattgebieten (BELAWATT)“ (Förderkennzeichen 03KIS038) wurde im Sommer 2002 vom BMBF für die Dauer von drei Jahren genehmigt. In zwei Zwischenberichten wurde über den Fortschritt der Arbeiten berichtet. Bis Ende 2005 wird ein Abschlussbericht erstellt.

Die Vorgeschichte des BELAWATT-Projektes bildet das im November 2000 (unter der Federführung des AWI) skizzierte Projekt DYNAWATT: „Einfluss der Hydrodynamik auf die sedimentäre, biogeochemische und biologische Dynamik im Wattenmeer“.

Das Antragsvolumen betrug 10 Millionen DM. Das Projekt DYNAWATT wurde von den Geldgebern nicht weiter verfolgt. Stattdessen wurde vom damaligen Forschungsleiter Küste das Projekt BELAWATT initiiert. Damit sollte ein Hauptelement von DYNAWATT, die Modellierung der Hydrodynamik, unter vorwiegend physikalisch-ozeanographischen Aspekten in die Tat umgesetzt werden. Die Modellergebnisse sollten mit eigenen Feldmessungen validiert werden.

Ziel von BELAWATT ist es, die Belastung von Wattgebieten durch Strömung und Seegang am Beispiel des Hörnummer Tidebeckens darzustellen. Die hydrodynamische Belastung wird quantifiziert durch die Schubspannung, die Strömung und Seegang am Wattboden erzeugen. In BELAWATT geht es in erster Linie um die Suche nach einer geeigneten Methode und erst in zweiter Linie um den Vergleich unterschiedlicher Wattbereiche, wie in DYNAWATT vorgesehen.

Im folgenden wird zunächst berichtet über den Umfang der Feldmessungen und danach über die Ergebnisse der Modell-Rechnungen.

Feldmessungen

Während des gesamten BELAWATT-Förderungszeitraums wurden, in Zusammenarbeit mit dem Nationalparkamt Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer Tönning sowie dem Amt für ländliche Räume Husum, diverse Feldmessungen durchgeführt. Es

handelt sich um Dauermessungen an festen Orten sowie jeweils etwa 10 tägige Messkampagnen. Als Plattformen für langfristige Dauermessungen dienen ein im Watt fixierter Messpfahl, ein im Boden eingespültes ADCP (Boden-ADCP), verankerte Waverider-Bojen sowie ein Wellen-mess-Radar (WAMOS) an Land (Abb. 1).

Seitlich am Messpfahl sind ein Wellenmessstab mit Schwimmer sowie ein Sensorfahrstuhl mit einer Unterwassereinheit angebracht. Die Unterwassereinheit ist mit Sensoren zur Messung von Druck, Temperatur, Leitfähigkeit, Strömung (ADCP und ADV), Transmission und Trübung ausgestattet. Erwähnenswert ist die Horizontalausrichtung des ADCP; damit kann nicht nur die Strömung unmittelbar am Pfahl gemessen werden, sondern es wird auch die horizontale Stromscherung bis zu einer Entfernung von 70 m hochauflösend erfasst.

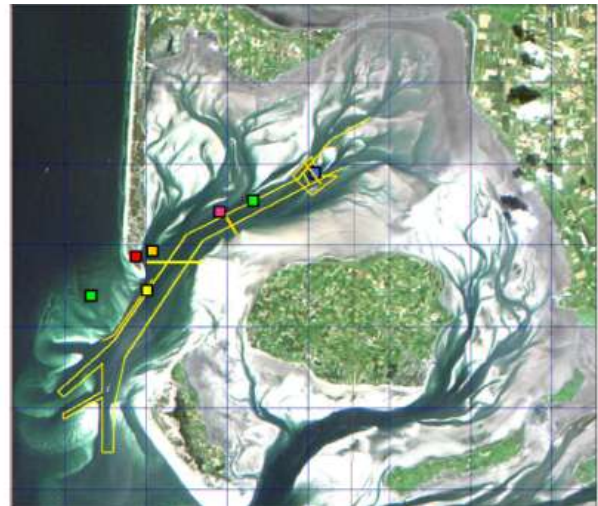


Abb. 1: Karte des Hörnummer Tidebeckens mit Lage der Dauermesssysteme (blau - Pfahl, pink - Boden ADCP, grün - Waverider-Bojen, rot - WAMOS) sowie den im April (gelb) und August (orange) 2003 durchgeführten Schiffkampagnen

Um weitgehend frei von störenden Einflüssen des Messpfahls zu sein, sind die meteorologischen Sensoren möglichst weit oben am Plattformaufsatz montiert. Hierbei handelt es sich um eine Windmessanlage und Geräte zur Erfassung von Druck, Temperatur und Globalstrahlung.

Um Beschädigungen durch Eisgang und schweres Wetter zu vermeiden, wurden Pfahl und ADCP im Herbst jeden Jahres geborgen und im Frühjahr des darauf folgenden Jahres wieder an den ursprünglichen Positionen ausgebracht. Für die Messkampagnen wurde stets das Forschungsschiff „Ludwig Prandtl“ eingesetzt. In Abb. 1 sind die Positionen der Dauermessplattformen und die Fahrwege der Messkampagnen im April und August 2003 einge-

zeichnet. Das Balkendiagramm in Abb. 2 vermittelt eine Übersicht über die Messzeiträume.

Modellergebnisse

Es wurde eine realitätsnahe, zwei Jahre umfassende Zeitreihe (Nov. 1999 - Okt. 2001) der hydrodynamischen Größen für das Hörnum Tidebecken erstellt. Diese Zeitreihe basiert nicht auf einer Wetterstatistik, sondern enthält die reale Abfolge von Wetterereignissen über einen längeren Zeitraum.

In den Simulationsrechnungen wurden die gekoppelten Module für Strömung (TRIM3D, Casulli and Stelling 1995) und Seegang (k-Modell, Sehneberger et al. 2000) aus dem „Morphodynamic Prediction System“ (MOPS) verwendet: das k-Modell bezieht von TRIM3D Geschwindigkeiten und Wasserstände, und TRIM3D fühlt den Einfluss der Wellen durch die „Radiation Stresses“ des k-Modells.

Das Modellgebiet für TRIM3D umfasst die östliche Deutsche Bucht. Die Gitterweiten Δx verengen sich von $\Delta x = 800$ m im „Aussenbereich“ stufenweise über 400 m und 200 m auf 100 m im Zentralgebiet mit dem Hörnum Tidebecken (Abb. 5). Als Randbedingungen für TRIM3D dienen die Ergebnisse des Operationellen BSH-Modells. Das k-Modell wird nur im Zentralgebiet betrieben, allerdings mit $\Delta x = 400$ m und

nicht mit $\Delta x = 100$ m, die Rechenzeiten wären sonst zu lang. Die Seegangs-Randbedingungen für das k-Modell stammen aus dem HIPOCAS-Projekt (Weiße et al. 2003). Der Wind über dem Zentralgebiet wird mit dem MKW-Modell des Seewetterdienstes Hamburg berechnet. Die MOPS-Ergebnisse werden mit einem Zeitschritt von 20 Minuten archiviert.

Langzeit-Validierungen der MOPS-Ergebnisse zeigen die Abbildungen 3 und 4. In Abb. 3 sind berechnete Wasserstands-Daten an der Position „Hörnum Hafen“ aufgetragen gegen Pegeldata des WSA Tönning. Die Tnw (Tideniedrigwasser) des Modells liegen im Mittel um 4.3 cm höher als die Tnw der Pegeldata, während die Thw (Tidehochwasser) des Modells im Mittel um 6.3 cm zu niedrig liegen. Der mittlere Tidenhub ist im Modell also rund 10 cm (oder um 5 % gemessen am mittleren Hub) geringer als der gemessenen Tidenhub - das bedeutet um 5 % zu geringe Strömungs-Geschwindigkeiten im Modell. Bei Sturmfluten (Thw am Pegel Hörnum > 2.5 m) werden die Thw vom Modell besonders stark unterschätzt: im Mittel um 24 cm. Sturmfluten sind wichtig für die hydrodynamische Belastung höher gelegener Watten.

	2002					2003					2004					2005																								
	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O									
Messpfahl																																								
ADCP																																								
Seegangsboje																																								
WAMOS																																								
Turtle																																								
Schiffskampagne																																								

Abb. 2: Einsatzzeiträume von Dauermessgeräten und Schiffskampagnen 2002-2005. Es wurden nur Kampagnen mit einer Dauer von mehr als drei Tagen berücksichtigt. Nur die Kampagnen im April und August sind direkter Bestandteil des Projektes. „Turtle“ ist ein am Boden (in tiefem Wasser) liegendes Messsystem

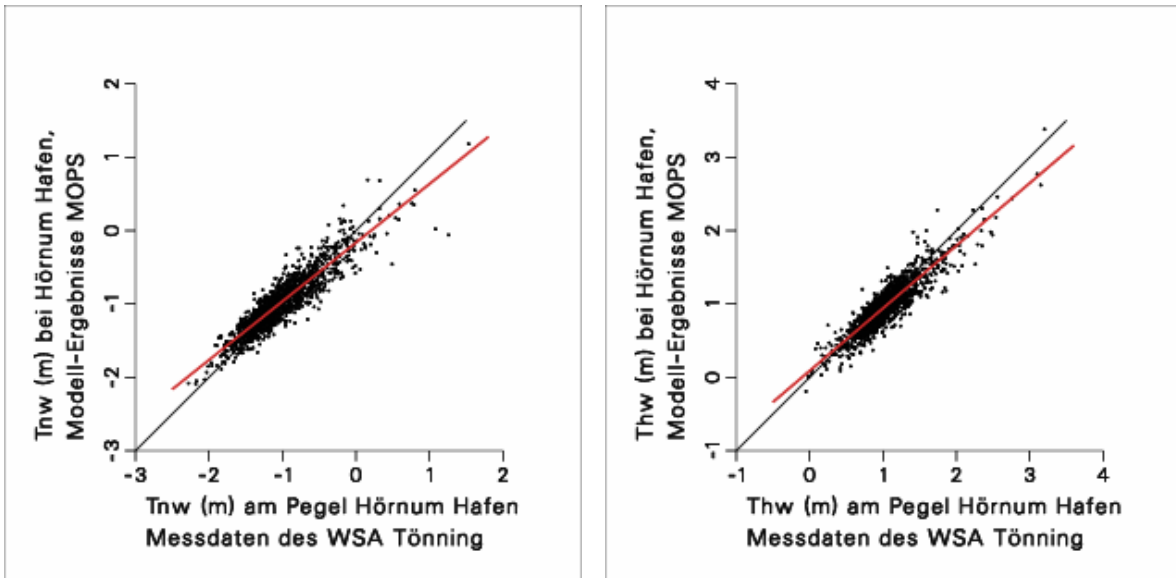


Abb. 3: Vergleich gemessener und berechneter Tnw und Thw (Wasserstands-Angaben sind bezogen auf NN) am Standort Hörnum für den BELAWATT-Simulations-Zeitraum November 1999 bis Oktober 2001. Die schwarz eingezeichneten Geraden sind die 45°-Geraden. Die Regressionsgeraden sind rot eingezeichnet.

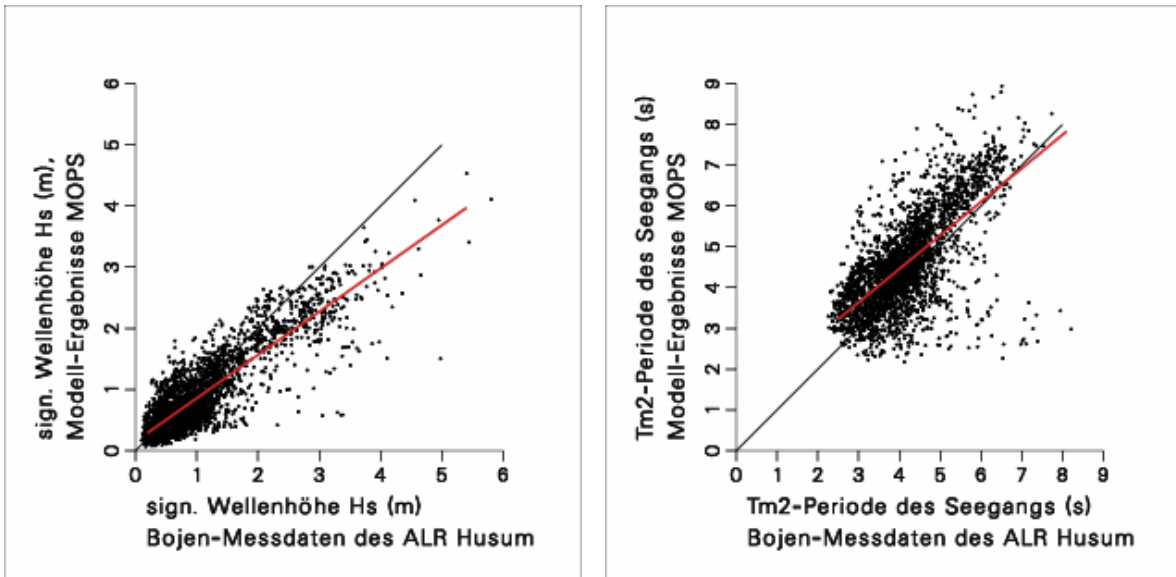


Abb. 4: Vergleich gemessener und berechneter Seegangsdaten. Links signifikante Wellenhöhe H_s , rechts mittlere Wellenperiode T_{m2} . Standort der Seegangs-Messboje „Hörnum West“: siehe Abb. 5. Wassertiefe am Ort der Boje: etwa 10 m. Vergleichs-Zeitraum: November 1999 bis Oktober 2001. Die schwarz eingezeichneten Geraden sind die 45°-Geraden. Die Regressionsgeraden sind rot.

Ein Langzeit-Vergleich für den Seegang zeigt Abb. 4. Die signifikante Wellenhöhe H_s wird vom Modell für mittleren und starken Seegang ($H_s > 1.5$ m) unterschätzt, und zwar im Mittel um 0.5 m.

Dagegen wird die mittlere Wellenperiode T_{m2} für alle Wellen um rund 0.5s zu hoch berechnet. Der in Abb. 4 gezeigte Seegang gilt für die offene See; er wird auf den flachen Sänden im Ebbdelta des Hörnum Tiefs gedämpft und gebrochen.

Im Innern des Hörnum Tidebeckens haben wir nur noch lokal erzeugte Windsee.

Aus der bodennahen Strömung und dem Seegang wird die Boden-Schubspannung τ berechnet. Dazu wird die Formulierung von Soulsby (1997) („DATA2“) verwendet.

Wirken Strömung und Seegang gemeinsam auf das Sediment, so wirbeln die Wellen das Sediment nur auf, während die Strömung das Sediment ebenfalls aufwirbelt, aber zusätzlich für einen Netto-Transport sorgt.

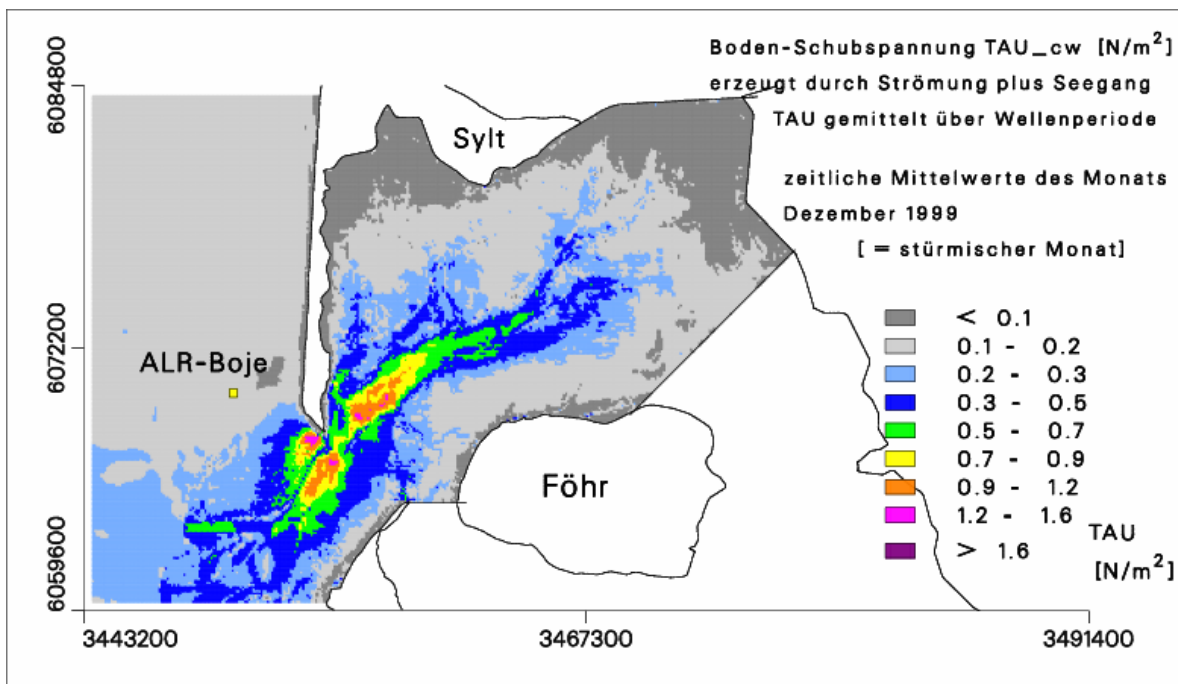


Abb. 5: Verteilung der berechneten Boden-Schubspannung $\tau_{cw,m}$ im Hörnum Tidebecken, gemeinsam erzeugt von Strömung und Seegang. Um die Rechenzeiten des Seegangmodells im Rahmen zu halten, wurde das Watt südlich und östlich Föhr ausgeblendet. Gegeben ist hier das über eine Wellenperiode gemittelte τ . Aus den archivierten MOPS-Ergebnissen (Strömung, Seegang) wird alle 20 Minuten ein Feld der $\tau_{cw,m}$ berechnet. Hier dargestellt ist das zeitliche Mittel aller dieser $\tau_{cw,m}$ -Felder für den Dezember 1999 (ein relativ stürmischer Monat mit „ANATOL“ am 3. Dezember). Trockenfallzeiten werden für die zeitliche Mittelung nicht berücksichtigt. Maßgebend für $\tau_{cw,m}$ ist die Strömungsgeschwindigkeit, daher die höchsten $\tau_{cw,m}$ in den Tiderinnen und die geringsten $\tau_{cw,m}$ auf den hohen Watten.

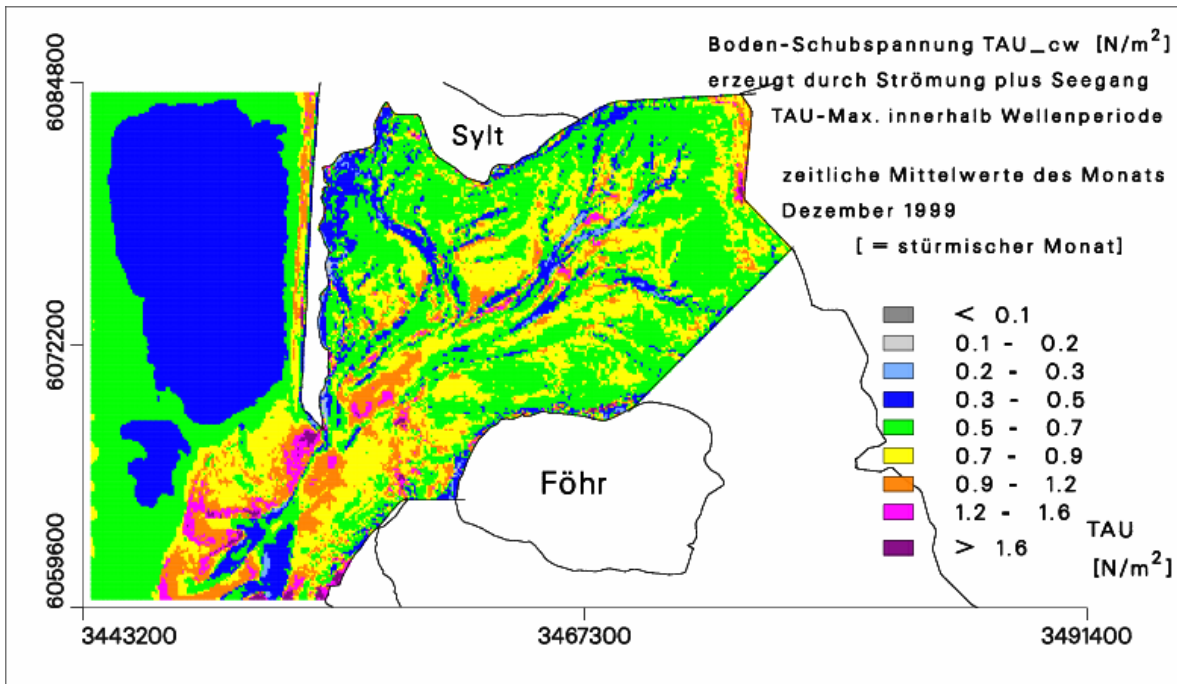


Abb. 6: Verteilung der berechneten Boden-Schubspannung $\tau_{cw,max}$ im Hörnumer Tidebecken, gemeinsam erzeugt von Strömung und Seegang. Gegeben ist hier das maximale τ innerhalb einer Wellenperiode, und zwar das zeitliche Mittel aller $\tau_{cw,max}$ -Felder für den Dezember 1999. Das $\tau_{cw,max}$ ist dort am höchsten, wo Seegang aus tiefem Wasser unmittelbar in flaches Wasser einläuft, z. B. über den Außensänden des Ebbdeltas. Das $\tau_{cw,max}$ ist ebenfalls hoch nahe der Küste im Osten des Beckens. In den Tiderinnen ist das Wasser so tief, dass der Seegang den Boden kaum erreicht - dort ist $\tau_{cw,max}$ nur wenig höher als das in Abb. 5 gezeigte $\tau_{cw,max}$. Von der offenen Nordsee läuft (durch Vorgabe des HIPOCAS-Seeganges) ein Seegang ein, der eine höhere Schubspannung am Boden erzeugt als jener Seegang, der vom k-Modell „unterstützt“ wird.

Die in den Abbildungen 5 und 6 dargestellten Schubspannungen $\tau_{cw,m}$ und $\tau_{cw,max}$ sind beide berechnet aus Strömung plus Seegang.

Das $\tau_{cw,m}$ ist das über eine Wellenperiode gemittelte τ - es ist in den bed load Formeln von Soulsby (1997) die für die Sediment-Verfrachtung zuständige Schubspannung.

Dagegen ist das in Abb. 6 gezeigte $\tau_{cw,max}$ in den bed load Formeln „nur“ zuständig für die Beantwortung der Frage, ob überhaupt Sedimenttransport stattfindet, d.h. ob $\tau_{cw,max}$ größer ist als die sog. kritische Boden-Schubspannung τ_{cr} (siehe auch Abb. 7) des Sediments. Hier nicht gezeigt sind jene τ , die allein durch Strömung bzw. allein durch Seegang verursacht werden.

In BELAWATT steht die Frage im Mittelpunkt: welches τ ist maßgebend für die „Belastung“ des Watts? Zur Beantwortung dieser Frage wird in Abb. 7 gezeigt, wie die Verteilungen der $\tau_{cw,m}$ bzw. $\tau_{cw,max}$ korrelieren mit der räumlichen Verteilung der Sediment-Korngrößen im Hörnumer Tidebecken.

Offensichtlich beeinflusst $\tau_{cw,m}$, also das für die Sediment-Verfrachtung maßgebende τ , den Wattboden stärker als $\tau_{cw,max}$, das für die Sediment-Aufwirbelung zuständige τ .

Das heißt: die Sedimentverteilung im Hörnumer Tidebecken ist mehr durch die (transportierende) Strömung beeinflusst als durch den Seegang.

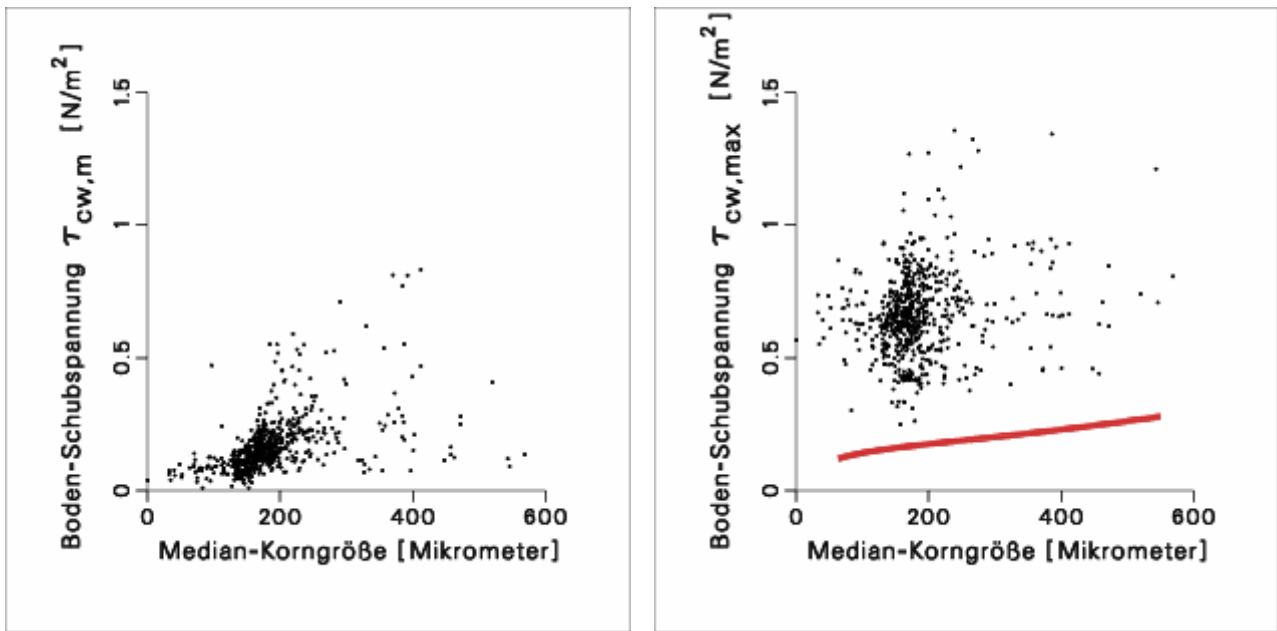


Abb. 7: Scatterplots: aufgetragen sind Boden-Schubspannungen τ (Dezember 1999, zeitlich gemittelt) gegen die Median-Korngrößen des Bodensediments im Hörnummer Tidebecken. Links die $\tau_{cw,m}$ von Abb. 5, rechts die $\tau_{cw,max}$ von Abb. 6. Anzahl der Punkte: jeweils 654. Korrelations-Koeffizient links: $r = 0.40$, rechts: $r = 0.14$. Vom Flugsand der Sylter Dünen dominierte Sedimente sind ausgeblendet. Die Korngrößendaten stammen vom BSH (Figge) und von GKSS (van Bernem). Zusätzlich ist rechts eingezeichnet die Shields-Kurve (rot), die den Beginn des Sediment-Transports in Abhängigkeit von der Korngröße angibt. Feldmessungen (z.B. von GKSS) zeigen, dass τ_{cr} eher im Bereich 0.5 bis 1 N/m^2 liegt.

Neben der Untersuchung des Ist-Zustandes untersucht BELAWATT drei Szenarien: Wasserstands-Erhöhungen (a) um 25 cm, (b) um 50 cm und (c) um 50 cm plus Erhöhung der Windgeschwindigkeit um 10 %. Ein Ergebnis des Szenarios „Wasserstand + 50 cm“ für den stürmischen Dezember 1999 (betrachtet wird nur das eigentliche Hörnummer Tidebecken, also das Gebiet östlich der Seegatkehle Sylt – Amrum):

Die Strömung in den tiefen Rinnen (Wattboden tiefer als NN-10m) erhöht sich durch die Wasserspiegel-Erhöhung (im zeitlichen Mittel) nur um 1 bis 2 %, entsprechend gering ist die Erhöhung des $\tau_{cw,m}$. Im Bereich hoher Watten (Wattboden oberhalb von NN+1m) sinkt $\tau_{cw,max}$ um 10 %, obwohl die signifikante Wellenhöhe sich dort um 7.1 % erhöht hat. Ausschlaggebend ist, dass der Seegang bei größeren Wassertiefen nicht mehr so gut zum Boden durchgreifen kann.

Literatur

Casulli, V. and Stelling, G.S.: Simulation of Three-Dimensional, Non-Hydrostatic Free-Surface Flows for Estuaries and Coastal Seas. Proceedings of the 4th Int. Conf. on Estuaries and Coastal Modeling, pages 1-12, 1995

Schneggenburger, C., Günther, H., Rosenthal, W.: Spectral wave modelling with non-linear dissipation: validation and applications in a coastal tidal environment. Coastal Engineering 41, Pages 201-235, 2000

Soulsby, R.: Dynamics of marine sands. Thomas Telford, 249 Seiten, 1997

Weiß, R., Feser, F., Günther H.: Wind- und Seegangsklimatologie 1958-2001 für die südliche Nordsee basierend auf Modellrechnungen. GKSS-Report 2003/10, 38 Seiten, 2003