



FORSCHUNGSBERICHT | 2012-2014

Impressum

Herausgeber: Forschungszentrum Küste (FZK)

V.i.S.d.P.: Stefan Schimmels

Redaktion: Maike Paul

Gestaltung, 3D-CAD-Renderings: Martin Miranda-Lange

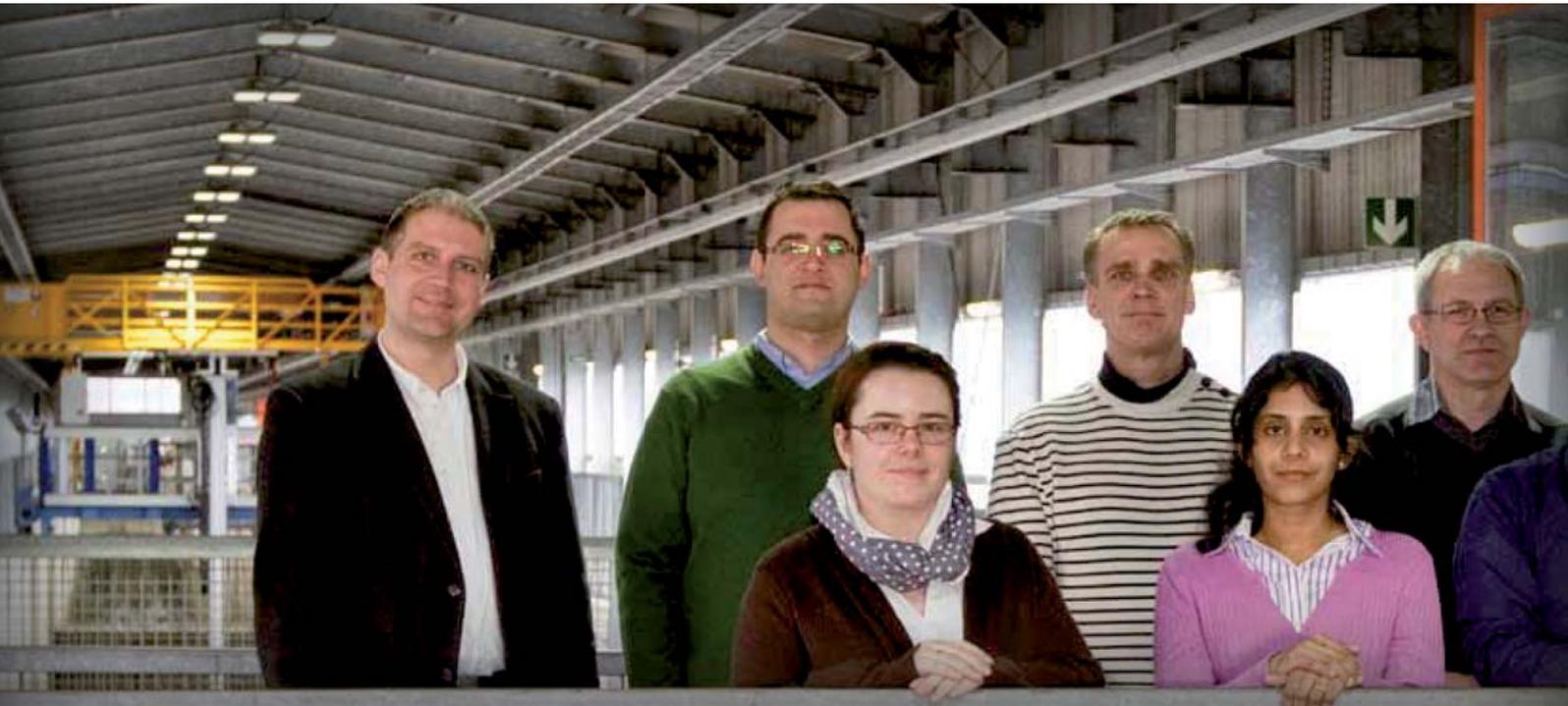
Alle nicht gekennzeichneten Fotos: FZK

Druck: Druck Team, Hannover

Auszüge aus dieser Publikation dürfen ohne weitere Genehmigung wiedergegeben werden, vorausgesetzt dass bei der Veröffentlichung das Forschungszentrum Küste genannt wird.

Um ein Belegexemplar wird gebeten. Alle übrigen Rechte bleiben vorbehalten.

Stand: 10.02.2015



Das FZK auf einen Blick

Das Forschungszentrum Küste (FZK) hat die wissenschaftliche Erforschung hydrodynamischer, morphodynamischer und ökologischer Prozesse an der Küste und im Küstenvorfeld zum übergeordneten Ziel. Es wurde im Jahr 1996 als Gemeinsame Zentrale Einrichtung der Leibniz Universität Hannover (LUH) und der Technischen Universität Braunschweig (TU BS) gegründet und führt seitdem die etablierte Zusammenarbeit der vier Partnerinstitute in einem einzigartigen Kompetenzzentrum auf dem Gebiet des Küsteningenieurwesens fort. Die Professoren der Institute bilden das Direktorium; den Vorstand hat der Geschäftsführende Direktor, der alle drei Jahre neu gewählt wird. Derzeit ist Prof. Dr.-Ing. H. Oumeraci vom Leichtweiß-Institut der TU BS der geschäftsführende Direktor, seine Amtszeit endet im Juni 2015.

Mit dem Großen Wellenkanal (GWK) betreibt das FZK eine der größten Forschungseinrichtungen ihrer Art weltweit. Diese Kompetenz-

bündelung verbessert die Koordinierung der universitären Küstenforschung und verstärkt die Wettbewerbsfähigkeit der Forschung. Zudem verbessert sie entscheidend die Bedingungen für die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses im Wasserbau und Küsteningenieurwesen in Deutschland. Darüber hinaus fördert das FZK aktiv die interdisziplinäre, nationale und internationale Zusammenarbeit durch seine Präsenz in weltweiten Projekten und Forschungsverbänden. Im Verbund mit den vier Partnerinstituten bietet das FZK numerische und physikalische Modelle und entwickelt neue Messmethoden, um die physikalischen Prozesse im Küstenraum besser und hochauflösender untersuchen zu können. Des Weiteren werden am FZK Handlungsempfehlungen erarbeitet, die sicherstellen, dass erforderliche Eingriffe in das Naturgeschehen unter weitgehender Bewahrung des natürlichen Küstenraumes erfolgen.



Träger

Leibniz Universität Hannover (LUH; 50%)
Technische Universität Braunschweig (TU BS; 50%)

Direktorium

Prof. Dr.-Ing. Martin Achmus
Institut für Geotechnik Hannover (IGtH, LUH)

Prof. Dr.-Ing. Hocine Oumeraci
Leichtweiß-Institut für Wasserbau
Abteilung Hydromechanik und Küsteningenieurwesen (LWI, TU BS)

Prof. Dr.-Ing. habil. Torsten Schlurmann
Franzius-Institut für Wasserbau, Ästuar- und Küsteningenieurwesen (FI, LUH)

Prof. Dr.-Ing. Joachim Stahlmann
Institut für Grundbau und Bodenmechanik (IGB, TU BS)

Betriebsleiter

Dr.-Ing. Stefan Schimmels

Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter

Wissenschaftler und Doktoranden 6
Technik und Verwaltung 5
Praktikanten 1
(Stand 31.12.2014)



Dr.-Ing.
Stefan Schimmels

Liebe Leserinnen und Leser,

der vorliegende Forschungsbericht des FZK ist der erste seiner Art und blickt auf drei ereignisreiche Jahre 2012 bis 2014 zurück, die sicherlich in erster Linie durch eine außergewöhnlich hohe Zahl an Projekten im GWK geprägt waren. Darüber hinaus standen vor allem die Aktivitäten im Rahmen der zwei großen EU-Verbundprojekte HYDRALAB IV und MARINET im Vordergrund. Beide Projekte sind grundsätzlich in drei Aktivitäten unterteilt: (i) Networking Activities (NA), in denen Studien und Standards erarbeitet sowie kostenfreie Kurzveranstaltungen zur Aus- und Weiterbildung angeboten werden, (ii) Joint Research Activities (JRA), bei denen Methoden und Technologien weiterentwickelt werden, die zur Verbesserung des Services der Forschungseinrichtungen beitragen und (iii) Transnational Access (TA), in dessen Rahmen europäischen Forschergruppen die Möglichkeit zur Nutzung einzigartiger Versuchseinrichtungen wie dem GWK ermöglicht wird.

HYDRALAB IV (www.hydralab.eu) zielt auf die Weiterentwicklung hydraulischer Modellversuche und die Vernetzung der entsprechenden europäischen Infrastrukturen ab, wobei der Schwerpunkt auf Versuchen mit Wellen und Seegang liegt. Das Projekt wurde nach 4 Jahren Laufzeit Ende September 2014 abgeschlossen. Unter dem Motto „More than Water“ befasste sich HYDRALAB IV mit den komplexen Fragestellungen der Wechselwirkung von Wasser bzw. Wellen mit (i) Umweltelementen (Ökologie und Biologie), (ii) Sedimenten, (iii) Strukturen und (iv) Eis. Die ersten drei Themen stehen in direktem Einklang mit den Forschungsthemen am FZK, das daher als zweitgrößter von insgesamt 22 Partnern erheblich zum Gesamterfolg des Projekts beitragen konnte.

Das HYDRALAB Netzwerk ist einzigartig im Bereich des hydraulischen Versuchswesens und das FZK war von Beginn an – seit 1997 – an allen Projekten (HYDRALAB I-III) maßgeblich beteiligt. Dabei spielte der Transnational Access zum GWK immer eine bedeutende Rolle. So wurden auch im Rahmen von HYDRALAB IV fünf TA-Projekte mit insgesamt 172 Nutzungstagen im GWK durchgeführt. Neben dem Transnational Access lag am FZK ein besonderes Gewicht auf den Joint Research Activities, die sich mit den Themen Wasser und Umweltelemente (PISCES), Wasser und Sedimente (WISE) sowie Wasser und Strukturen (HyReS) befassten. Dabei konnten neue Versuchsmethoden und Messtechniken entwickelt werden, die völlig neue Möglichkeiten für großmaßstäbliche Untersuchungen im GWK eröffnen und zum Teil bahnbrechende und einzigartige Ergebnisse für zukünftige Projekte versprechen.

Das Hauptziel von MARINET (www.fp7-marinet.eu) ist die Entwicklung von Technologien zur Nutzung Maritimer Erneuerbarer Energien (MEE) – hierzu werden Wellen-, Tide- und Offshore Windenergie gezählt – weiter voranzubringen. Es soll die Zusammenarbeit zwischen europäischen Forschungsinfrastrukturen im Bereich der MEE gefördert und der Zugang zu den Einrichtungen erleichtert werden. Das Projekt MARINET läuft noch bis Ende März 2015, wobei das FZK hauptsächlich an einem JRA zur Verbesserung der Versuchseinrichtungen hinsichtlich des Betriebs und der Messmethoden beteiligt ist. Die Arbeiten sind bereits abgeschlossen und lieferten neue Methoden zur Wellenvorhersage auf Basis künstlicher Neuronaler Netzwerke sowie Verfahren zur berührungslosen Messung des Wellenaufbaus und -überbaus durch Kombination von Video und Laserscantechniken.

Neben den längerfristigen Aktivitäten im Rahmen der EU-Projekte wurden auch einige Auftragsforschungsprojekte in Zusammenarbeit mit den Partnerinstituten bzw. direkt am FZK bearbeitet. Das Franzius-Institut untersuchte im Auftrag der Firma Mibau die Lagestabilität eines besonders weitgestuften Bruchsteinmaterials unter Wellen, um seine Tauglichkeit z.B. als Kolkchutz nachzuweisen und das Leichtweiß-Institut führte Versuche zur Stabilität von Dünen auf Wangerooge unter Sturmflutbedingungen im Auftrag des NLWKN durch. Das FZK wurde zur Dimensionierung des Beschwerungsmaterials und des Kolk schutzes der Windenergieanlagen in der Karehamn Offshore Windfarm von Jan de Nul beauftragt und hat die Kolkbildung beim Absenken einer großen Offshore Plattform im Auftrag von Technip bzw. Chevron untersucht. Vor allem letzteres Projekt hatte die Besonderheit, das erste Projekt im GWK zu sein, bei dem keine Wellen generiert wurden.

Trotz der großen Projektauslastung im GWK konnte auch die Infrastruktur erheblich verbessert und neue, moderne Messtechniken am GWK eingeführt werden, die bereits in einigen Projekten erfolgreich zum Einsatz kamen und für zukünftige Projekte völlig neue Möglichkeiten eröffnen. Hierbei sind sicherlich vor allem die Beschaffung eines synchronisierten Kamerasystems sowie eines 2D und 3D Laserscanners hervorzuheben, aber auch die Erneuerung der alten wartungsintensiven Quecksilberdampf Hochdrucklampen durch moderne, hellere und energiesparende LED-Flächenleuchten sowie der neue, zusätzliche 5 Tonnen Brückenkran stellen eine wesentliche Verbesserung der Services am FZK dar.

Auf den folgenden Seiten wollen wir Ihnen die einzelnen Projekte und infrastrukturellen Maßnahmen der letzten drei Jahre näher vorstellen und hoffen, Ihnen damit die Aktivitäten des FZK auf anschauliche Art und Weise näher bringen zu können. Im Namen des Direktoriums und des gesamten FZK Teams wünsche ich eine interessante und unterhaltsame Lektüre.

Ihr Stefan Schimmels





- 2 Das FZK auf einen Blick
- 4 Vorwort
- 6 Inhalt

KÜSTENSCHUTZWERKE

- 8 Hydraulic Response of Structures (HyReS)
- 12 Druckschlagkräfte auf Wellenabweiser
- 16 Bodenschubspannungen in der Wellenauflaufzone
- 18 Dynamik extrem langer Wellen in der Wellenauflaufzone

SEDIMENTTRANSPORT

- 20 Water-Interface-Sediment Experiments (WISE)
- 24 Dünenerosion oberhalb eines Raudeckwerks auf der Insel Wangerooge
- 26 Modelluntersuchungen mit weitgestuftem Steinmaterial als Kolkenschutz
- 30 Kolkbildung beim Absenken eines Schweregewichtsfundaments



MARITIME ENERGIE

- 32 MARine Renewables Infrastructure NETwork (MARINET)
- 34 Wellendruckschlagkräfte auf eine Fachwerkkonstruktion
- 38 Grundlagenforschung an einem OWC-Wellenenergiekraftwerk
- 42 Stabilität von Ballast- und Kolkschutzmaterial an einem Schweregewichtsfundament



ÖKOHYDRAULIK

- 44 Protocols and Instrumentation for Combined hydraulic and Ecological models (PISCES)
- 48 Wellendämpfung durch Salzwiesen
- 52 Nutzung von Wellen und Strömung in der Nährstoffaufnahme von Seegrass



GWK und Co.

- 54 Der Große Wellenkanal
- 55 Verbesserung der Infrastruktur
- 57 Erweiterung der Messtechnik
- 59 Veranstaltungen
- 61 Anhang



<http://www.panoramio.com/photo/17825626>

Hydraulic Response of Structures (HyReS)

HyReS ist die Joint Research Activity (JRA) im Verbundprojekt HYRALAB IV, die sich gleich mit zwei der Projektschwerpunkte beschäftigte: „Wasser und Strukturen“ und „Wasser und Eis“. Dabei ging es, wie in den anderen JRAs auch, insbesondere um die Verbesserung der Infrastrukturen und Versuchsmethoden, um die komplexen Interaktionsprozesse noch besser im Labor simulieren und untersuchen zu können. Aufgrund seiner langjährigen Erfahrung in der Durchführung und Analyse von großmaß-

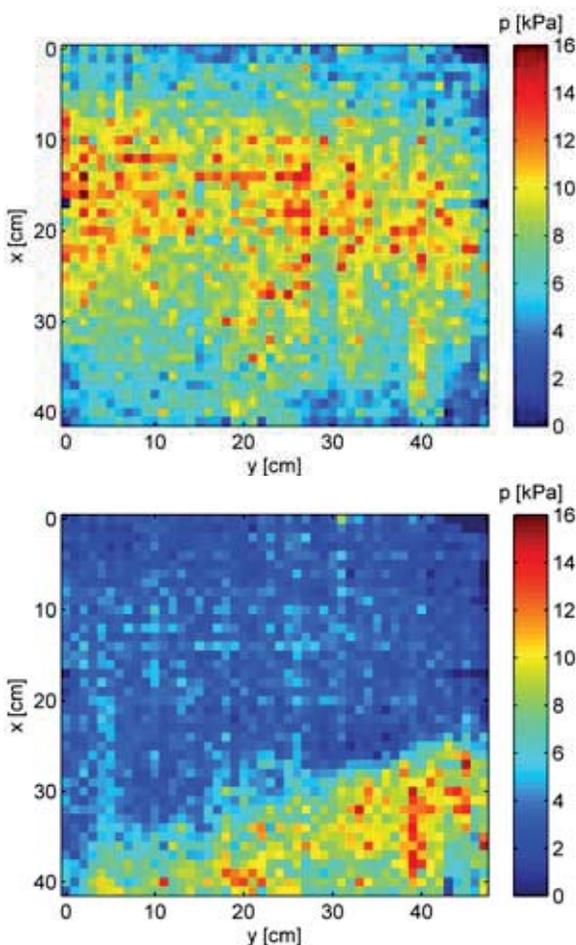
stäblichen Modellversuchen mit verschiedensten Küsten- und Offshorebauwerken im GWK war das FZK intensiv an HyReS beteiligt und auf die Wechselwirkung zwischen Wellen und Strukturen fokussiert. Dabei wurden neue Methoden zur Erzeugung von Wellen entwickelt und eine neuartige Messtechnik zur räumlich und zeitlich hochaufgelösten Messung des Wellendruckschlags auf Strukturen weiterentwickelt, die bislang nicht erzielbare einzigartige Ergebnisse lieferte.

Druckschläge durch brechende Wellen können enorme Belastungen auf Bauwerke ausüben und sind aufgrund ihrer extrem kurzen Dauer sowie ihrer räumlichen und zeitlichen Zufälligkeit äußerst schwierig zu

erforschen. Klassische Drucksensoren bieten zwar eine zeitlich sehr hohe Auflösung, stellen aber nur eine Punktmessung dar, so dass die räumliche Verteilung eines Druckschlags bislang nicht ausreichend erfasst werden konnte. Im Rahmen von HyReS wurde daher am FZK eine neue Methode zur flächenhaften, dynamischen Druckmessung auf Basis taktiler Sensoren erprobt und weiterentwickelt. Taktile Drucksensoren sind eine Art Folie, die aus zahlreichen Messzellen besteht und insbesondere für statische Messungen in trockener Umgebung, z.B. in der Automobil- und Medizintechnik, ein etabliertes Messinstrument darstellt. Die Herausforderung bestand darin, die Sensoren für den Einsatz unter Wasser und für hochdynamische Messungen umzurüsten. Hierfür wurde über der Messfolie eine weitere Folie angebracht, die zum einen für die notwendige Wasserdichtigkeit sorgte und zum anderen

die Erzeugung eines geringen Unterdrucks erlaubte, der für dynamische Messungen zwingend erforderlich ist. Darüber hinaus wurde ein neuer Versuchsstand für die dynamische Kalibrierung der taktilen Sensoren entwickelt, bevor sie zum ersten Mal zur Messung des Druckschlags auf ein Deckwerk im GWK getestet wurden. Später wurde diese Messtechnik auch in einem TA Projekt eingesetzt (Seite 12) und verspricht für die Zukunft weitere neue, einzigartige Erkenntnisse zum besseren Verständnis des Wellendruckschlags.

Freak Wave, Monsterwelle oder Kaventsmann sind nur einige von vielen Bezeichnungen für extreme Wellen, die mehr als doppelt so hoch wie die signifikante Wellenhöhe sind und damit regelmäßig zu teilweise erheblichen Schäden an Schiffen und Strukturen im Meer führen. In Laboren können solche Monster-



Messung des Wellendruckschlags auf ein Deckwerk mit taktilen Drucksensoren

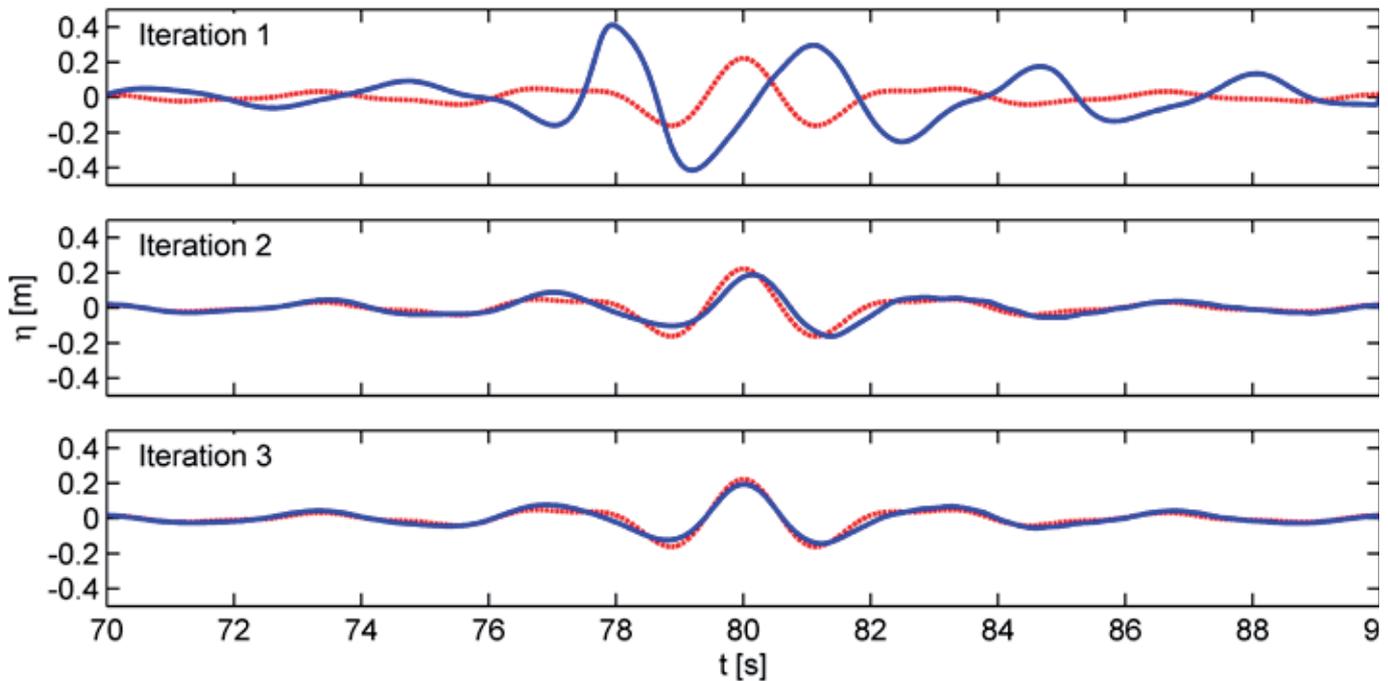
wellen simuliert werden, indem mehrere Wellenkomponenten mit unterschiedlicher Frequenz an einem vorbestimmten Punkt phasengleich überlagert werden, weshalb dieser Prozess auch allgemein als Wellenfokussierung bezeichnet wird. Am FZK wurde eine neue Methode entwickelt, die es ermöglicht eine definierte Wellensequenz (z.B. eine fokussierte Welle) an einem vordefinierten Ort im Wellenkanal auch bei variabler Wassertiefe und/oder stark reflektierenden Strukturen zu erzeugen, was mit allen bisherigen Methoden bislang nicht möglich war. „Das Prinzip ist denkbar einfach“ sagt Dr. Fernández und erläutert: „Das Zielsignal wird vom Zielpunkt nach linearer Wellentheorie zur Wellenmaschine zurückgerechnet und die entsprechende Wellensequenz erzeugt. Dies führt natürlich noch nicht zu der gewollten Welle am Zielpunkt, aber durch bestimmte Korrektur der Phasen und Amplituden des erzeugten Wellenspektrums und Wiederholung dieses Prozederes erhält man das Zielsignal innerhalb weniger Iterations-schritte. Die Methode korrigiert sich somit quasi von selbst und wird daher auch als ‚Self Correcting Method (SCM)‘ bezeichnet.“

Die notwendigen Iterationen müssen nicht zwingend im Wellenkanal selbst, sondern können auch im Vorfeld mit einem numerischen Wellenkanal durchgeführt werden. Hierzu wurde ein von Dr. Sriram vom IIT Madras, der für zwei Jahre als Humboldt Fellow am Franzius-Institut beschäftigt war, entwickelter numerischer Wellenkanal verwendet und die Methode erfolgreich zur Erzeugung verschiedener brechender und nicht-brechender fokussierter Wellen und einer gemessenen Tsunami Zeitreihe im GWK eingesetzt. Die Simulation von Tsunamis im Labor war auch ein Thema am Rande von HyReS. Bislang wurde das Verhalten und die Auswirkungen dieser Einzelwellen zumeist mit Hilfe von sogenannten solitären Wellen untersucht, wobei vor kurzem nachgewiesen



Kalibrierung eines taktilen Drucksensors

wurde, dass diese in Wellenlänge und höhe nicht einem echten Tsunami entsprechen. In Zusammenarbeit mit Dr. Sriram und Dr. Didenkulova, die gerade ein Transnational Access Projekt im GWK durchgeführt hatte (Seite 18), konnte in einem kurzen Versuchsprogramm gezeigt werden, dass der GWK für Versuche mit richtig skalierten Tsunamis im Maßstab von etwa 1:50 bis 1:100 optimal geeignet ist.



Die ‚Self Correcting Method‘ konvergiert in nur 3 Iterationsschritten

Leitung

Dr.-Ing. Stefan Schimmels

Bearbeitung

Dr. Hernán Fernández, Karunya Ramachandran

Projektlaufzeit

01.10.2010 – 30.09.2014

Förderung durch

EU (FP7)

www

http://hydralab.eu/water_structures.asp

Publikationen

Fernández, H., Schimmels, S., Sriram, V. (2013). Focused wave generation by means of a self correcting method. In: Proceedings of the International Conference on Offshore and Polar Engineering. Anchorage, USA.

Fernández, H., Sriram, V., Schimmels, S., Budzik, M., Oumeraci, H. (2014). Focused wave generation in laboratory flumes over uneven bottom. In: Proceedings of the 34th International Conference on Coastal Engineering. Seoul, Korea.

Fernández, H., Sriram, V., Schimmels, S., Oumeraci, H. (2014). Extreme wave generation using self correcting method — Revisited. Coastal Engineering 93, 15–31, doi: 10.1016/j.coastaleng.2014.07.003.

Ramachandran, R., Roldan Gonzalez, R., Oumeraci, H., Schimmels, S., Kudella, M., van Doorslaer, K., de Rouck, J., Versluys, T., Trouw, K. (2012). Loading of vertical walls by overtopping bores using pressure and force sensors - A large scale model study. In: Proceedings of the 33rd International Conference on Coastal Engineering. Santander, Spanien.

Ramachandran, R., Roldan Gonzalez, R., Schimmels, S., Oumeraci, H., van Doorslaer, K. (2012). Impact loads on a vertical wall due to overtopping bore – Large scale physical model experiments. In: Proceedings of the 4th International Conference on the Application of Physical Modelling to Port and Coastal Protection. Ghent, Belgien.

Ramachandran, R., Schimmels, S., Kudella, M., van Doorslaer, K., de Rouck, J., Versluys, T., Trouw, K. (2012). Measuring wave impacts in large scale tests, using both pressure and force sensors. In: Proceedings of the 33rd International Conference on Coastal Engineering. Santander, Spanien.

Ramachandran, R., Schimmels, S. (2013). Measuring Pressure Distributions on Coastal Structures. In: 9. FZK Kolloquium „Modellierung im Seebau und Küsteningenieurwesen“. Hannover.

Ramachandran, R., Schimmels, S., Stagonas, D., Müller, G. (2013). Measuring Wave Impact on Coastal Structures with High Spatial and Temporal Resolution – Tactile Pressure Sensors a Novel Approach. In: Proceedings of the 35th IAHR World Congress. Chengdu, China.

Sriram, V., Didenkulova, I., Schimmels, S., Fernández, H. (2014). On the generation of Tsunami in a large scale wave flume. In: Proceedings of the 34th International Conference on Coastal Engineering. Seoul, Korea.

Stagonas, D., Müller, G., Ramachandran, R., Schimmels, S., Dane, A. (2012). Distribution of impact induced pressures at the face of uniformly sloped sea dikes: preliminary 2D experimental results. In: Proceedings of the 33rd International Conference on Coastal Engineering. Santander, Spanien.



Druckschlagkräfte auf Wellenabweiser

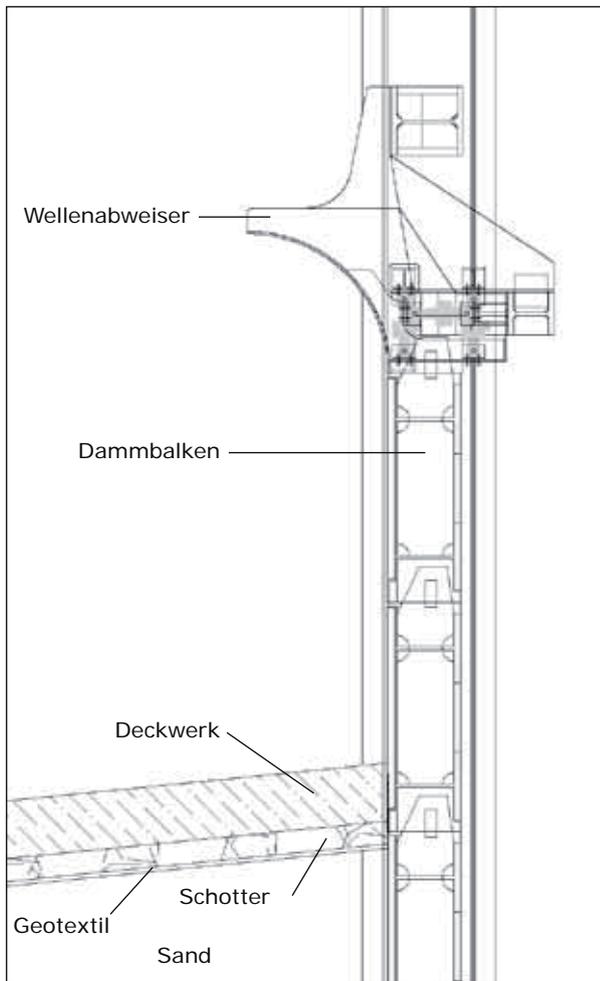
Bemessungsrichtlinien für vertikale Wände im Küstenschutz sehen eine überhängende Mauerkrone vor, die den Wellenüberlauf reduzieren soll. Die Wirksamkeit solcher Wellenabweiser wurde mehrfach bewiesen, so dass sie sowohl in neuen Strukturen berücksichtigt, als auch auf bestehenden Mauern nachgerüstet werden. Allerdings ist bislang nichts über die Druckverteilung und die daraus resultierenden Kräfte und Wellenbelastungen auf Wellenabweiser bekannt.

Diese Wissenslücke will Dr. Stagonas von der University of Southampton (jetzt am University College London) schließen. Er ist Leiter des Projekts und erklärt das Problem so: „Herkömmliche Drucksensoren können lediglich punktuelle Messungen liefern, so dass eine hohe räumliche Auflösung den

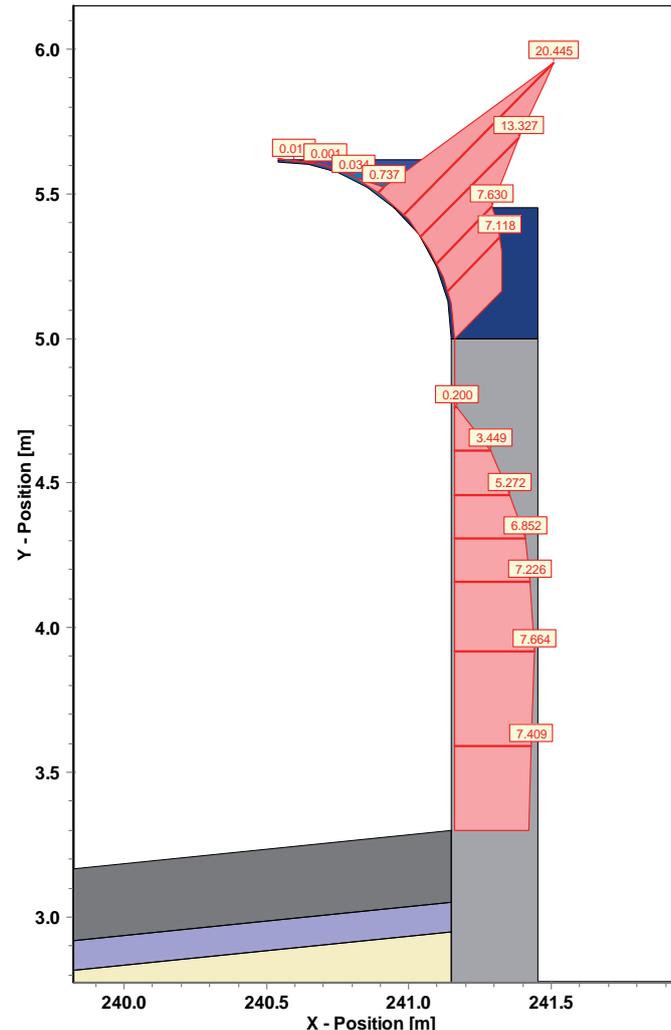
Einsatz von vielen Instrumenten erforderlich macht. Dies ist jedoch sehr kosten- und zeitintensiv und teilweise konstruktiv nicht lösbar.“ Stattdessen greift er auf die taktilen Drucksensoren (Pressure Pads) zurück, die am FZK für genau solche Zwecke modifiziert wurden (Seite 8) und sich auch der gebogenen Form eines Wellenabweisers problemlos anpassen können.

Während der Versuchszeit im GWK setzte das Team um Dr. Stagonas drei verschiedene Wellenabweiser (Biegungen mit 45°, 70° und 90° Öffnungswinkel) diversen Wellenbedingungen aus, wobei der Brechpunkt der Wellen mal vor, an oder hinter der vertikalen Wand lag. Auf diese Weise konnten unterschiedliche Arten der Wellenbelastung untersucht werden: Belastung durch einen Wellenschwall, durch einen Druckschlag und durch Wellenauflauf.

Die Kombination von taktilen Sensoren und einzelnen Druckmessdosen ermög-



Längsschnitt durch die Konstruktion



Druckverteilung am Wellenabweiser bei einer Belastung durch brechende Wellen

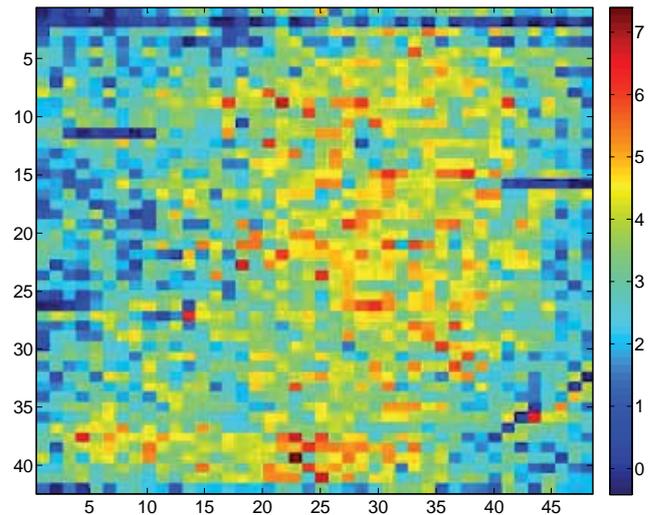
licht es den Wissenschaftlern die Druckverteilung sowohl an der vertikalen Wand als auch in der Krümmung des Wellenabweisers zu erfassen. Neben den direkten Druckmessungen wurden auch die Kräfte am Wellenabweiser gemessen. Zu diesem Zweck wurde ein Abschnitt des gebogenen Wellenabweisers mit mehreren Kraftmesszellen an der Stützkonstruktion befestigt. Die Dimensionierung und aufwendige Konstruktion für diese Kraftmessung wurde von den Mitarbeitern hier am FZK entwickelt. Aus den Messsignalen der insgesamt fünf Kraftmesszellen kann nicht nur die resultierende Gesamtkraft an diesem Teilstück des Abweisers bestimmt werden, sondern auch der Angriffspunkt und die Richtung der Kraft.

Um die Druck- und Kraftmessungen besser mit den dazugehörigen Wellenbedingungen verknüpfen zu können, wurden die Versuche mit einer Hochgeschwindigkeitskamera gefilmt. Für die Auswertung dieser Aufnahmen entwickelte Gholamreza Shiravani, Doktorand am FZK, spezielle Bildbearbeitungs- und Analysesoftware womit er anschließend die Geschwindigkeit und Schichtdicke des aufschießenden Wassers ermitteln konnte.

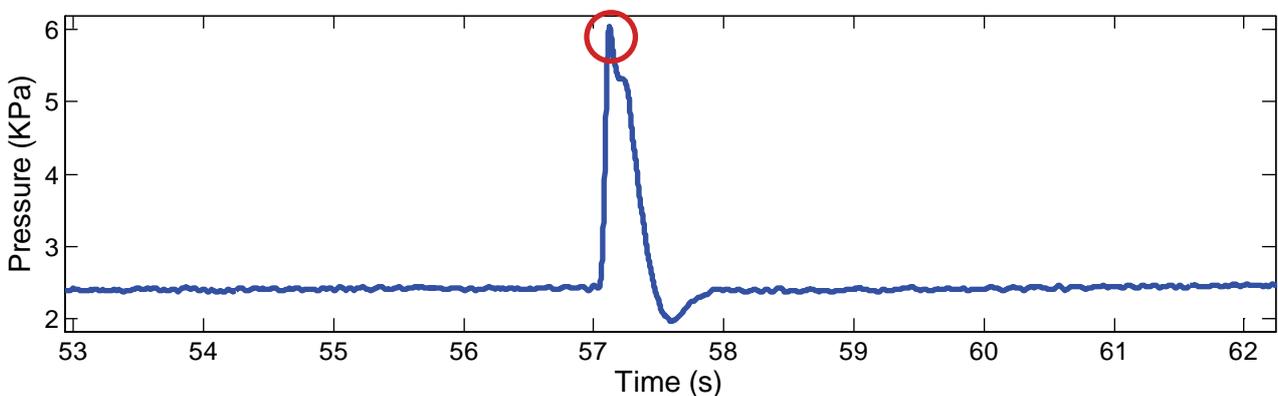
Die Messungen bestätigen, dass die resultierenden Drücke stark von den anstehenden Wellenbedingungen abhängen. So führt z.B. eine höhere Wellensteilheit zu erhöhten Druckbelastungen, die noch



So wurde das Pressure Pad am Wellenabweiser befestigt



Druckverteilung am Pressure Pad bei Maximalbelastung



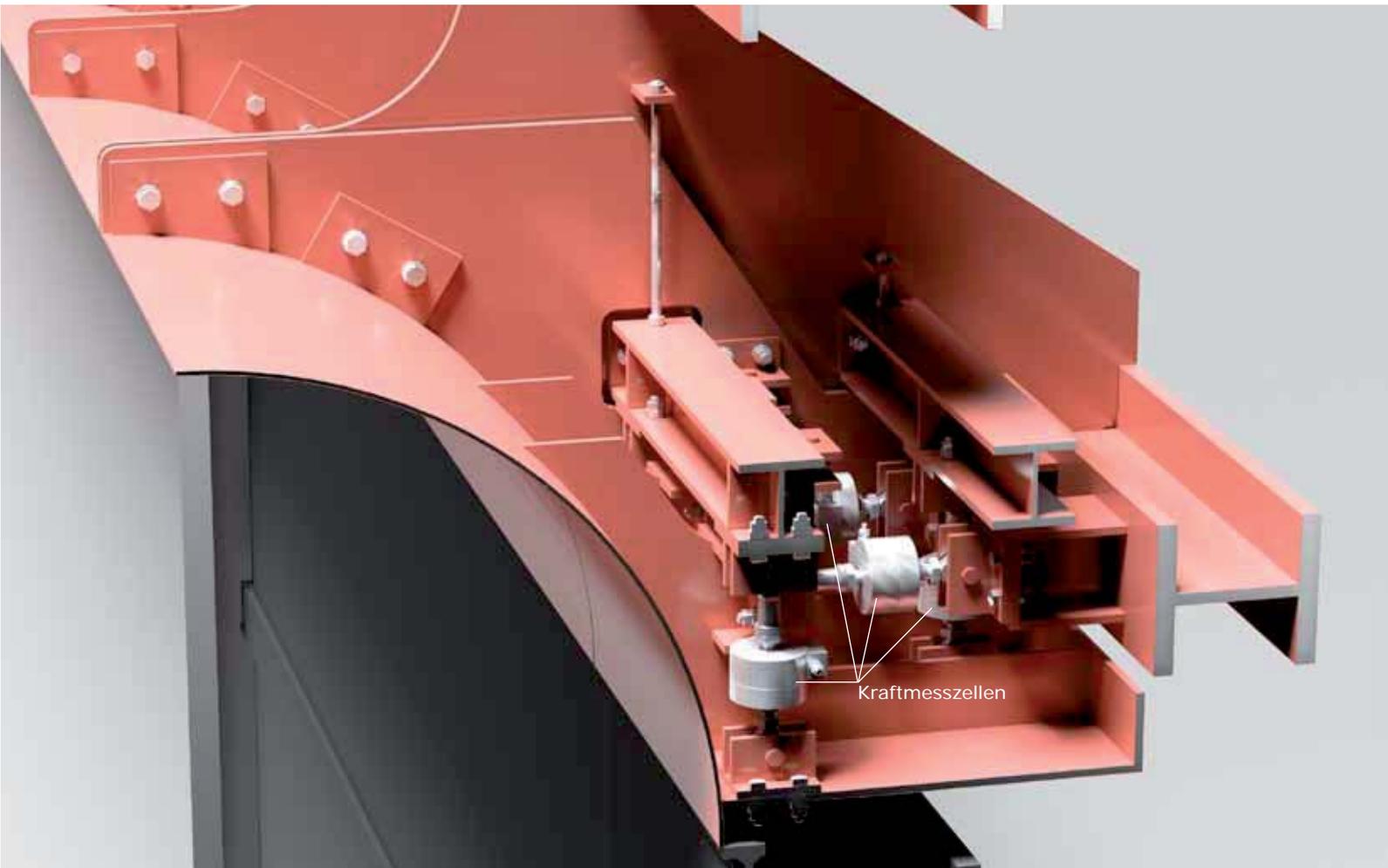
Zeitreihe des Drucksensors neben dem Pressure Pad. Für den markierten Punkt ist die Druckverteilung am Pressure Pad oben dargestellt

weiter ansteigen, wenn Wellen direkt auf die vertikale Wand brechen. Mit dem Pressure Pad konnte außerdem gezeigt werden, dass die räumliche Druckverteilung deutlich zwischen Wellenereignissen variierte, selbst wenn die ankommenden Wellenbedingungen identisch waren. Der Vergleich zwischen Messungen des Pressure Pads mit Druckmessdosen an der vertikalen Wand deckte zudem auf, dass Drücke in der Biegung des Wellenabweisers bis zu 60% höher sein können als an der Wand selbst. Dabei treten Druckmaxima in beiden Regionen jedoch nicht zwingend beim gleichen Ereignis auf. Diese Unabhängigkeit von Maximalwerten zu erklären wird die Wissenschaftler noch eine

Zeit lang beschäftigen. Aber sie hoffen, dass die nächste Projektphase, in der die Erkenntnisse in ein numerisches Modell einfließen sollen, ihnen dabei behilflich sein kann.



Rückwärtige Ansicht vom Wellenabweiser mit Überlaufrinne



3D-CAD-Konstruktionsschnitt von dem Kraftmesszellen-Abschnitt des Wellenabweisers

Leitung

Dr. Gerald Müller, Dr. Dimitris Stagonas

Versuchszeit

6 Wochen

Förderung durch

HYDRALAB IV - Transnational Access

Projektpartner

University of Southampton, Faculty of Engineering and the Environment; University College London, Dept. of Civil Engineering and Geomatics

Publikationen

Jaime, F.F.; Lara, J.L.; Losada, I.J.; Stagonas, D. (2014). Impact induced pressure distributions at the underside of wave recuves. In: Proceedings of the 5th International Conference on the Application of Physical Modelling to Port and Coastal Protection. Varna, Bulgarien.

Ramachandran, R.; Schimmels, S.; Stagonas, D.; Müller, G. (2013). Measuring wave impact on coastal structures with high spatial and temporal resolution - tactile pressure sensors a novel approach. In: Proceedings of the 35th IAHR World Congress. Chengdu, China.

Shiravani, G.; Vousdoukas, M.I.; Schimmels, S.; Stagonas, D. (2014). A methodology for measuring the velocity and thickness of wave-induced up-rushing jets on vertical seawalls and superstructure. In: Proceedings of the 34th International Conference on Coastal Engineering. Seoul, Korea.

Stagonas, D.; Müller, G.; Ramachandran, R.; Schimmels, S.; Dane, A. (2012). Distribution of impact induced pressures at the face of uniformly sloped sea dikes: Preliminary 2D experimental results. In: Proceedings of the 33rd International Conference on Coastal Engineering. Santander, Spanien.



Bodenschubspannungen in der Wellenauflaufzone

Ein Bericht von Dr. Chris Blenkinsopp

Mit Wellenauflauf wird das Phänomen bezeichnet, wenn Wellen im Flachwasser der Küste brechen und dann einen Strand oder ein Küstenschutzbauwerk hoch laufen. Wellenauflauf kann Stranderosion verursachen, Küstenschutzbauwerke beschädigen und durch Überlauf dahinter liegende Infrastruktur gefährden. An Stränden bewegt das auf- und ablaufende Wasser vorhandenes Sediment und sorgt somit dafür, dass sich das Strandprofil verändert. Starke Veränderungen des Profils treten durch den kumulierenden Effekt vieler Wellen auf. Neue Versuche haben jedoch gezeigt, dass selbst einzelne Wellen drastische Fluktuationen im Strandvolumen verursachen können, die nicht mit bestehenden Modellen vorhergesagt werden können.

Um den Wellenauflauf besser zu verstehen, untersuchte ein Wissenschaftlerteam der Universitäten New South Wales (Australien), Queensland (Australien), Bath (Großbritannien) und Delaware (USA) unter der Leitung von Dr. Chris Blenkinsopp, welche Schubspannungen zwischen auflaufendem Wasser und dem Meeresboden bestehen und wie diese den Sedimenttransport an Stränden verursachen. Frühere Untersuchungen zu dem Thema ergaben uneinheitliche Ergebnisse, was zumeist auf der Schwierigkeit beruhte, qualitativ hochwertige Messungen zu bekommen. Das Team um Dr. Blenkinsopp nutzte für seine Experimente den GWK und war somit erstmalig in der Lage, Wellenauflauf im Naturmaßstab zu untersuchen und Schubspannungen mit drei verschiedenen Methoden parallel zu messen: Es wurde eine feste Schubplatte installiert, die Wasseroberfläche wurde mit Laserscannern vermessen und über das logarithmische Gesetz wurde die Grenzschicht über Strömungsmessungen bestimmt. Indem alle drei Messmethoden

unter kontrollierten Bedingungen im Labor verwendet wurden, konnten sie miteinander verglichen und gegenseitig validiert werden, wodurch das Vertrauen in die Ergebnisse gestärkt wurde.

Im Juni 2013 bauten Dr. Blenkinsopp und seine Kollegen über 50 Instrumente (3 Laserscanner, 45 Ultraschall-Sensoren, 3 Schubplatten, 2 Acoustic Doppler Profiler und zahlreiche Videokameras) im GWK ein. Mit diesem Aufbau war es möglich, den Wellenaufbau und die dazugehörige Wasserbewegung hochauflösend zu erfassen. Auf dem so ausgestatteten Deich wurden zwei Rauheiten mit Hilfe von Querbalken simuliert und zahlreiche verschiedene Wellentypen wurden erzeugt.

Ein Vergleich der Messmethoden zeigte, dass die Schubplatte die genauesten und beständigsten Messungen der Schubspannungen lieferte: Unter regelmäßigen Wellen war das Kräfte-Signal von Welle zu Welle konsistent und die Höhe der Schubspannungen wurde in erster Linie durch die Rauheit des Untergrunds und die Strömungsgeschwindigkeit beeinflusst. Ferner zeigte sich, dass es große Unterschiede zwischen den großmaßstäblichen Messungen im GWK und älteren Datensätzen mit kleinerem Maßstab gibt.

Die Laserscanner lieferten hervorragende Daten über die Wasseroberfläche während der gesamten Auflaufphase. Daraus wurde die wechselnde Wasserbewegung ermittelt, woraus sich die Schubspannungen ableiten lassen. Die Ergebnisse für die Auflaufphase sind vielversprechend und das Forscherteam ist derzeit mit der detaillierten Analyse beschäftigt. Mit Hilfe der Laserscanner wird außerdem untersucht, wie die brechende Welle das erste Mal auf den trockenen Strand trifft; ein Prozess, der bisher nur selten erfasst wurde.



Direkte Messung der Bodenschubspannung



Messung von Geschwindigkeitsprofilen in der Grenzschicht

Leitung

Dr. Chris Blenkinsopp

Versuchszeit

2 Wochen

Förderung durch

Australian Research Council

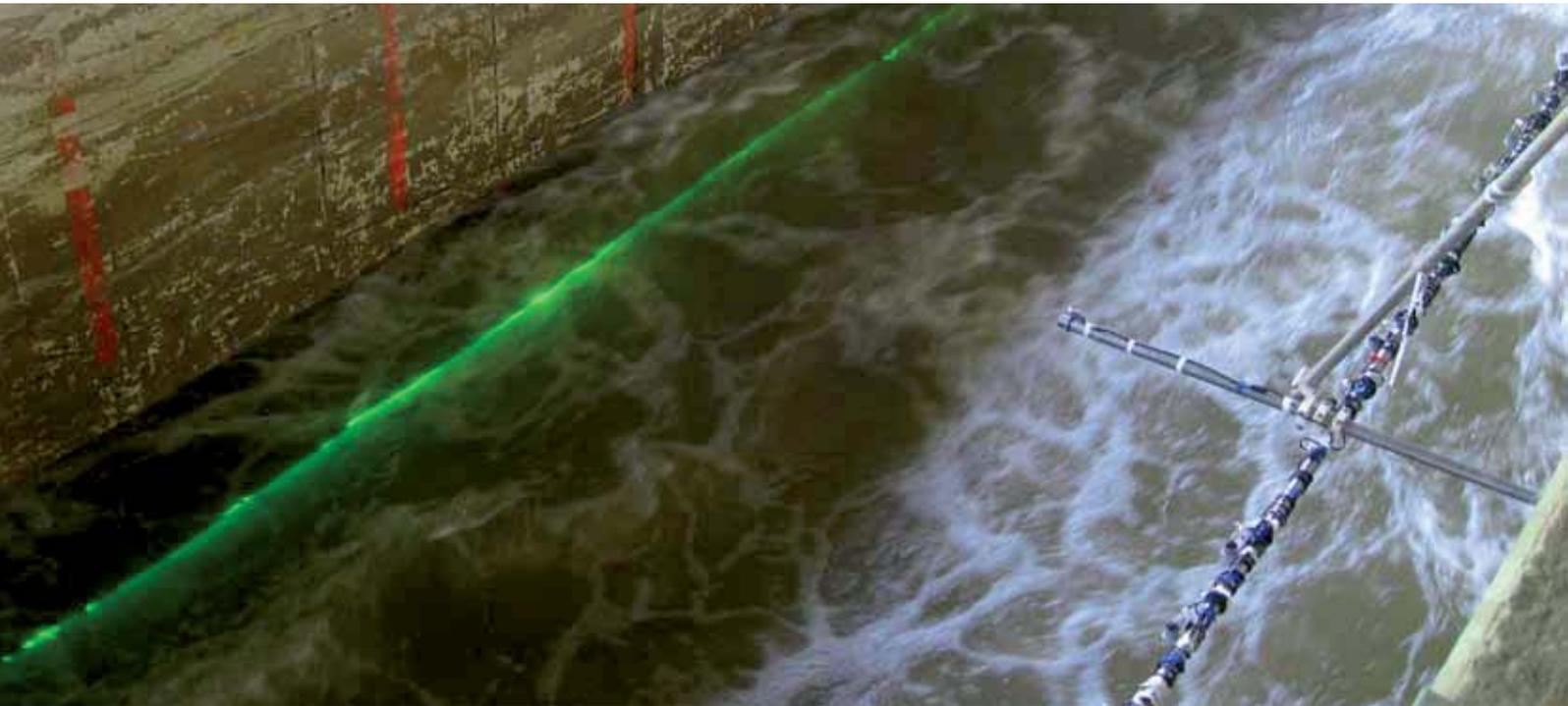
Projektpartner

University of New South Wales; University of Bath;
University of Queensland; University of Delaware

Publikationen

Allis, M.; Blenkinsopp, C.E.; Turner, I.L.; Baldock, T.E.; Puleo, J.A. (2014). Investigation of the logarithmic model applied to bed shear stresses in the swash zone. In: Proceedings of AGU Fall Meeting. San Francisco, USA.

Blenkinsopp, C.E.; Matias, A.; Howe, D.; Castelle, B.; Marieu, V. (2014). Laboratory investigation of wave runup. In: Proceedings of AGU Ocean Sciences. Honolulu, USA.



Dynamik extrem langer Wellen in der Wellenauflaufzone

Der Wellenauflauf an der Küste ist ein klassisches Forschungsthema im Küsteningenieurwesen, das bis heute nichts an Aktualität verloren hat. Bisher wurden zahlreiche empirische und theoretische Formeln entwickelt, um den Wellenauflauf zu berechnen und vorherzusagen, wobei hierbei nach wie vor große Unsicherheiten bestehen. Insbesondere bei extrem langen Wellen, wie beispielsweise Schiffswellen oder Tsunamis, besteht noch großer Forschungsbedarf.

Theoretische Studien für solche Ereignisse deuten darauf hin, dass Wellensteilheit und -asymmetrie die wichtigsten Faktoren für die Höhe des Wellenaufbaus sind. Um diese Theorie zu belegen, kam Dr. Ira Didenkulova mit ihrem Team gleich zweimal ans FZK. Bei ihrem ersten Besuch im Oktober 2012 untersuchte das Team aus Estland, Russland und Großbritannien wie sich die Wellenform auf den Wellenaufbau über glatter Sohle

auswirkt. Nach der Auswertung der Ergebnisse untersuchten die Wissenschaftler in der zweiten Projektphase im August 2013 wie sich eine künstliche Rauheit auf den Auflauf auswirkt und welche Kräfte dabei auf einzelne Rauheitselemente (z.B. Bauwerke bei einem Tsunami) wirken.

Während der ersten Phase war der Versuchsaufbau erdenklich einfach: Die Wellen wurden generiert und ihr Auflauf auf einem Asphaltdeich mit Steigung 1:6 beobachtet. 18 Wellenpegel entlang des Kanals gaben Auskunft über die Form und Entwicklung der erzeugten Wellen und der Wellenaufbau wurde über einen Wellenaufbaupegel und Videoaufzeichnungen ermittelt.

Dr. Didenkulova ist hoch zufrieden mit den Ergebnissen, denn sie bestätigen die Theorie und zeigen, dass der Wellenaufbau auf der Böschung mit der Wellensteilheit zunimmt.

Damit können nun auch die hohen Wellenaufläufe der Tsunamis von 2004 und 2011 erklärt werden. Die Erkenntnisse lassen sich auch auf die Heckwellen von Hochgeschwindigkeitsfähren übertragen, die extreme Wellenaufläufe erzeugen können.

In der zweiten Projektphase wurde auf diese Erkenntnisse aufgebaut und der Wellenauflauf auf Sohlen mit unterschiedlicher Rauheit untersucht. Anders als bei Untersuchungen zu Rauigkeiten im Bereich der Korngröße beim Sedimenttransport, untersuchte das Team, diesmal unter der Leitung von Dr. Petr Denissenko, große Rauheitselemente, die Häusern oder Küstenbauwerken entsprechen könnten. Die Böschung wurde hierzu mit horizontalen Balken (Querschnitt 10 x 10 cm) bestückt, deren Abstände zwischen den Versuchen variiert wurde (1 m, 2 m und 4 m). Zwei dieser Balken wurden außerdem mit Kraftmesszellen ausgestattet um zu sehen, welche Kräfte unter dem jeweiligen Wellenauflauf herrschen.

Mit diesen Versuchen konnte Dr. Denissenko nachweisen, dass ein nichtlinearer Zusammenhang zwischen dem Wellenauflauf und

der Anzahl der Rauheitselemente besteht. Überschlägig lässt sich sagen, dass die Summe der Höhe der Rauheitselemente eine Schätzung ihrer Auflaufreduzierung ermöglicht. Allerdings ist diese Reduzierung nach wie vor vernachlässigbar im Vergleich zum Einfluss der Böschung selbst.

Die Kräfte, die auf die Rauheitselemente wirken, hängen ebenfalls von der Amplitude der ankommenden Welle ab, wobei der Zusammenhang am deutlichsten erkennbar ist, wenn die Schichtdicke des rücklaufenden Wassers betrachtet wird. Dr. Denissenko und sein Team schließen aus diesen Erkenntnissen, dass zukünftig bei der Konstruktion von Bauwerken in Tsunami-Gebieten nicht nur die Wirkung der auflaufenden Welle berücksichtigt werden sollte, sondern die Standfestigkeit beim Wellenablauf eine noch größere Rolle spielen könnte. Bevor sich die Erkenntnisse von quadratischen Querbalken im GWK jedoch auf echte Häuser in Japan oder Thailand übertragen lassen, müssen noch weitere detaillierte Untersuchungen folgen.

Leitung

Dr. Ira Didenkulova

Versuchszeit

4 Wochen

Förderung durch

HYDRALAB IV - Transnational Access

Projektpartner

Laboratory of Wave Engineering, Institute of Cybernetics, Tallinn University of Technology; Warwick University; Nizhny Novgorod State Technical University

www

<http://www.fzk.uni-hannover.de/661.html>

wavelab.ioc.ee/people/ira-didenkulova

<https://www.youtube.com/watch?v=n2QKivQVGTI>

Publikationen

Denissenko, P.; Didenkulova, I.; Rodin, A.; Listak, M.; Pelinovsky, E. (2013). Experimental statistics of long wave runup on a plane beach. *Journal of Coastal Research SI 65 (1)*, 195–200, doi:10.2112/SI65-034.1.

Denissenko, P.; Pearson, J.; Rodin, A.; Didenkulova, I. (2014). Long waves climbing the slopes of different roughness: Run-up height and the load on individual roughness elements. In: *Proceedings of the HYDRALAB IV Joint User Meeting*. Lissabon, Portugal.

Didenkulova, I.; Denissenko, P.; Rodin, A.; Pelinovsky, E. (2013). Effect of asymmetry of incident wave on the maximum runup height. *Journal of Coastal Research SI 65 (1)*, 207–212, doi:10.2112/SI65-036.1.

Rodin, A. (2013). Influence of wave breaking effects on long wave transformation and runup on a beach. *Cand. Sci. Thesis*. Nizhny Novgorod (in Russian).



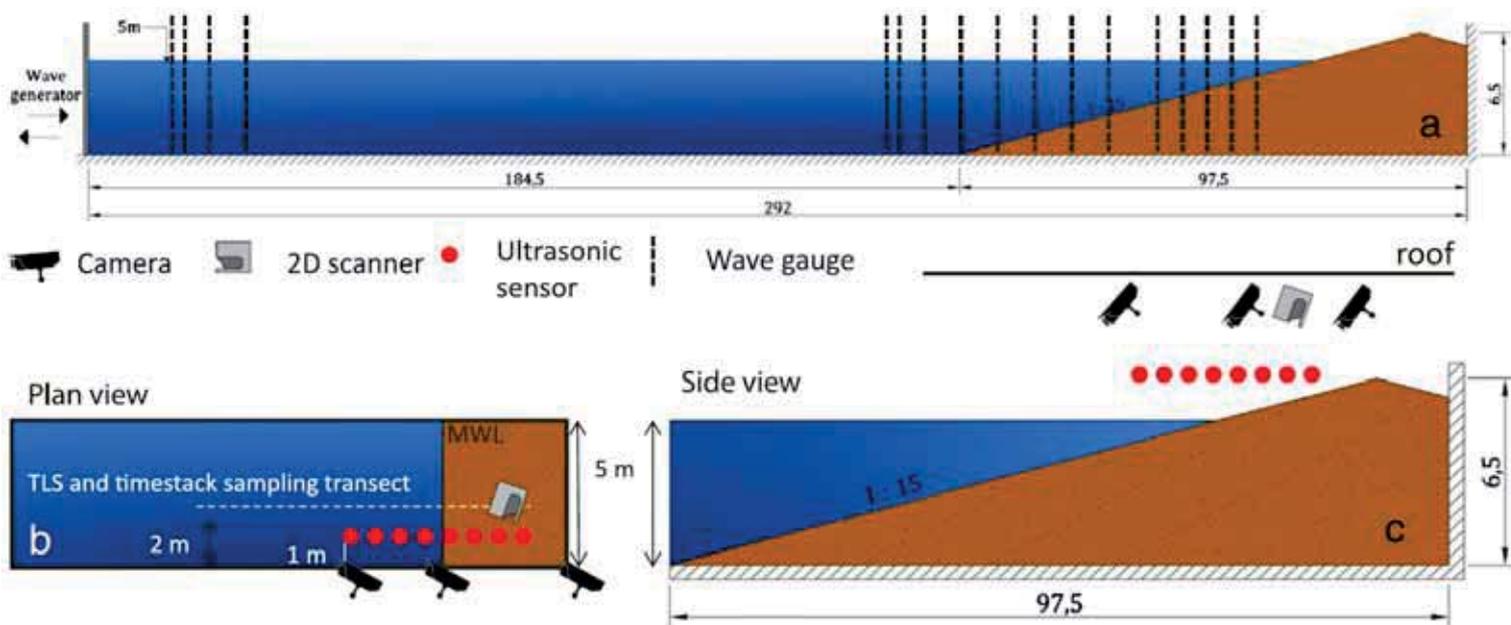
Water-Interface-Sediment Experiments (WISE)

Als Joint Research Activity (JRA) des Verbundprojekts HYDRALAB IV konzentrierte sich WISE auf Versuchstechniken im Bereich des Sedimenttransports durch Wasser bzw. Wellen. Damit soll es einen wichtigen Beitrag zur Schließung der nach wie vor existierenden Wissenslücken im Bereich der Sedimentdynamik leisten. In enger Zusammenarbeit mit internationalen Kollegen wurden unter der Leitung von Dr. Michalis Voudoukas zwei wesentliche Aufgaben innerhalb von WISE am FZK bearbeitet: (i) die Untersuchung von Skalierungseffekten bei Laborversuchen mit beweglicher Sohle und (ii) die berührungslose Messung der Wellenkinematik und der Morphologie in der Wellenauflaufzone.

Das Verständnis und die Vorhersage des küstennahen Sedimenttransports ist im Zusammenhang mit der allgemeinen Küstenstabilität sowie der Nachhaltigkeit von Strandauf- und -vorspülungen von

hoher Bedeutung. Aufgrund der hohen Komplexität der Transportmechanismen, einschließlich Turbulenz und unterschiedlicher Transportformen am Boden oder als Schwebstoff, ist man jedoch nach wie vor weit von einem ausreichenden Verständnis der Prozesse entfernt und auf Prinzipstudien im Labor angewiesen. Dank der jüngsten Entwicklungen in der Messtechnik, vor allem was die Messung von Sedimentkonzentrationen betrifft, sind Laborversuche unter kontrollierten Randbedingungen heutzutage wahrscheinlich sogar wertvoller und wichtiger denn je. Solche Experimente müssen in der Regel skaliert werden, doch trotz zahlreicher vorangegangener Untersuchungen bestehen auch hier noch große Wissenslücken, wie man die dabei entstehenden Skalierungseffekte so gering wie möglich hält.

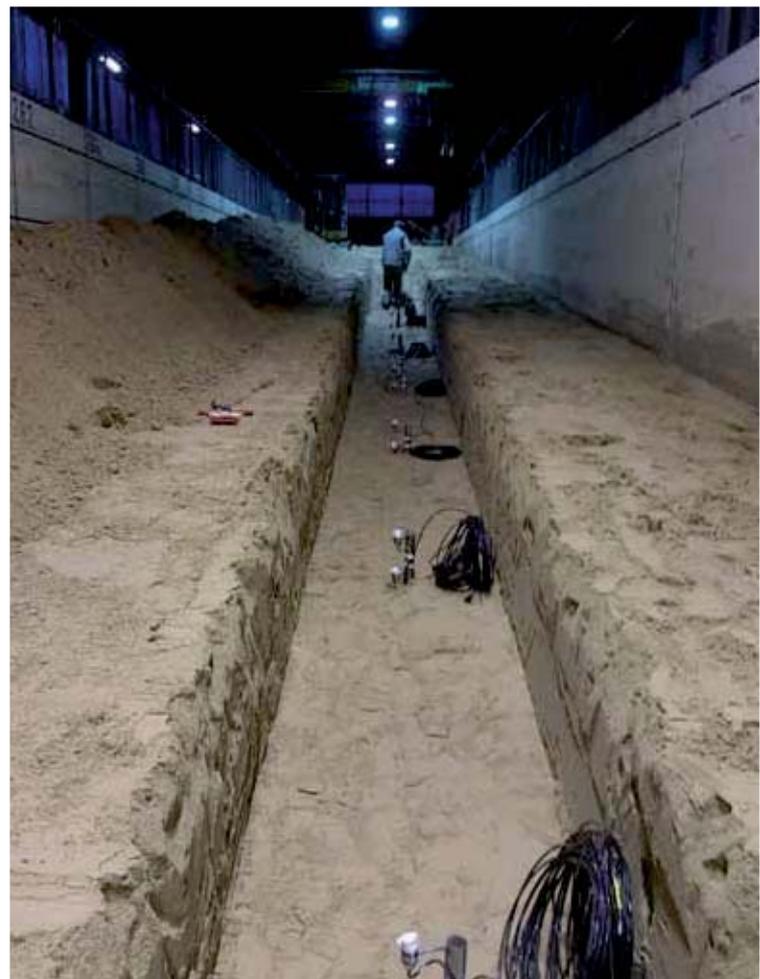
WISE knüpft hierbei an Erfahrungen aus HYDRALAB III an und das FZK beteiligte sich an einer Vergleichsstudie zur Strandpfilentwicklung unter erosiven (abtragenden) und akkretiven (anlandenden) Wellenbedingungen. Während unter HYDRALB III das



Versuchsaufbau der WISE Experimente

Hauptaugenmerk auf den erosiven Prozessen im Bereich der Brandungszone (surf zone) lag, standen für die Versuche in WISE die akkretiven Prozesse im Bereich der Wellenauflaufzone (swash zone) im Vordergrund. Dabei arbeiteten Dr. Vousdoukas und sein Team eng mit Projektpartnern aus Spanien (CIEM, Barcelona) und Portugal (LNEC, Lissabon) zusammen und führten Messungen an einer 1:15 Sandböschung im GWK durch, die anschließend mit Messungen aus identischen Versuchen in kleinerem Maßstab an den Partnerinstituten verglichen wurden.

Die WISE Experimente stellten sicherlich eine der umfangreichsten Messkampagnen im GWK dar, da über die notwendige Messtechnik hinaus der Sedimenttransport in bisher beispielloser Intensität erfasst wurde und zusätzliche Versuche durchgeführt worden sind. Dr. Vousdoukas prognostiziert sogar: „Die Daten aus den WISE Versuchen sind ziemlich einzigartig und werden zu zahlreichen wichtigen Publikationen führen, allerdings wird uns die Auswertung aller Messungen auch noch über Jahre beschäf-



Einbau der Porenwasserdruck Messgeräte



Impressionen der eingebauten Messtechnik in den WISE Experimenten

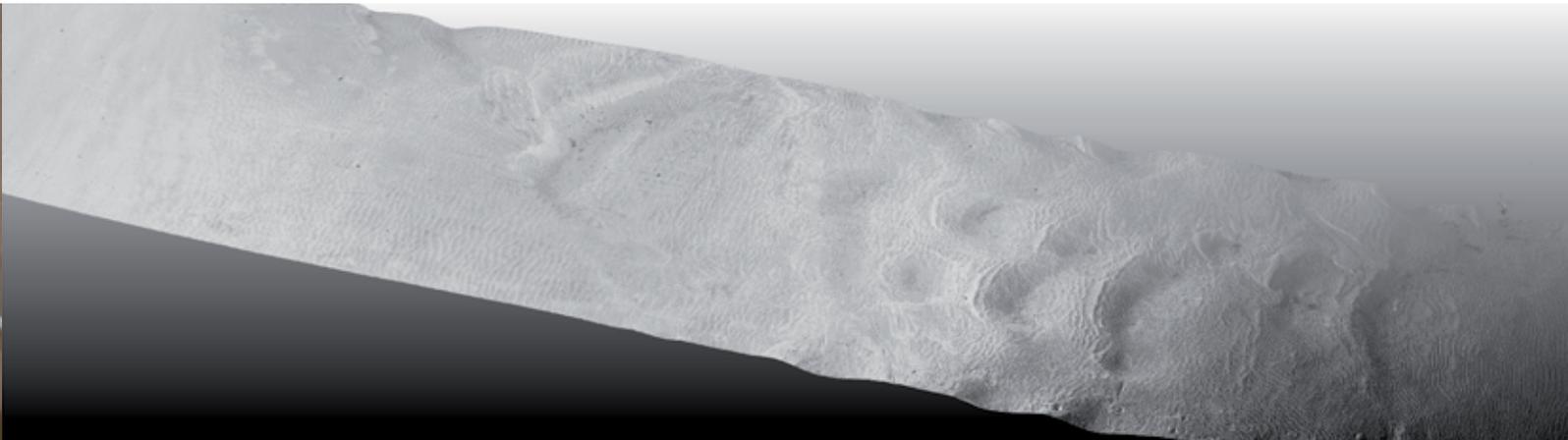
tigen“. Hierbei spielt er auf die große Zahl der verwendeten Messinstrumente an, wie z.B. Ultraschallsensoren zur punktuellen Messung der Wellenkinematik und Bodenentwicklung in der Auflaufzone, Punkt- und Profilmessungen der suspendierten Sedimentkonzentrationen mit optischen (OBS) und akustischen (ABS) Sensoren, Punkt- und Profilmessungen der Strömungsgeschwindigkeiten mit elektromagnetischen (EFM) und akustischen (ADV/ADVP) Sensoren sowie vor allem den Einsatz von mehreren Videokameras und verschiedenen Laserscannern zur ungestörten Messung der Wellenkinematik und der Morphologie in der Wellenauflaufzone.

Die berührungslose Messung von Wellenauf- und -ablauf mit Videokameras hat sich in den letzten Jahren mehr und mehr zu einer Standardtechnik etabliert, wobei der Einsatz moderner Laserscanner noch in den Kinderschuhen steckt. Dr. Vousdoukas und sein Team gingen jedoch über die einfache Verwendung dieser Techniken hinaus und entwickelten eine Methodik, bei der die Daten der Videoanalyse mit dynamischen 2D und statischen 3D Laserscans kombiniert werden. „Die Kombination der Laserscanner und Videotechnologie reduziert die Fehler bei der räumlichen Entzerrung um eine Zehnerpotenz und ermöglicht zeitlich und räumlich

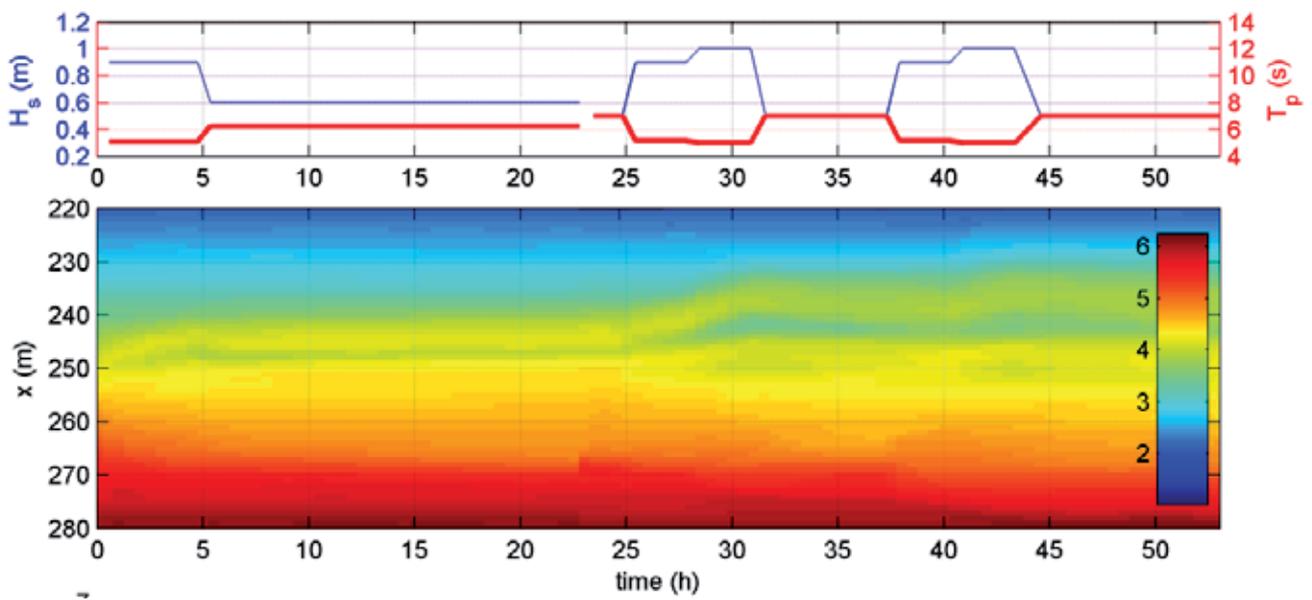
hochaufgelöste Messungen in der Wellenauf- und ablaufzone mit einer nie dagewesenen Genauigkeit“, berichtet Dr. Vousdoukas. Somit können in Zukunft küstennahe Messungen der hydro- und morphodynamischen Prozesse noch besser untersucht und dargestellt werden. Da der Wellenauf- und ablauf auch das Grundprinzip für einige Wellenenergiekonverter darstellt, wurde die neue Methode themenübergreifend in Kooperation mit dem Projekt MARINET (Seite 32) entwickelt.



Beobachtung des Sedimenttransports mit einer Hochgeschwindigkeitskamera



3D Laserscan der Sandoberfläche nach einem Versuch



Wellenparameter und Strandprofilentwicklung

Leitung

Dr. Michalis Vousdoukas

Projektlaufzeit

01.10.2010 – 30.09.2014

Förderung durch

EU (FP7)

www

http://hydralab.eu/water_sand.asp

Publikationen

de la Torre, M., Vousdoukas, M. I., Schimmels, S., Fernández, H., Kirupakaramoorthy, T. (2014). Large scale tests of beach profile response sensitivity to the initial topography under erosive or accretive conditions. In: Proceedings of the IAHR Europe Congress. Porto, Portugal.

Vousdoukas, M. I. (2013). Beach Erosion and Recovery – A Modeling and Measuring Challenge. In: 9. FZK Kolloquium "Modellierung im Seebau und Küsteningenieurwesen". Hannover.

Vousdoukas, M. I. (2014). Fusion of video cameras with laser range scanners - the coastal monitoring system of the future? In: Geophysical Research Abstracts Vol. 16. Wien, Österreich. EGU.

Vousdoukas, M. I. (2014). High frequency monitoring of the swash zone using hybrid laser and video techniques. In: Proceedings of the 34th International Conference on Coastal Engineering. Seoul, Korea.

Vousdoukas, M. I., Kirupakaramoorthy, T., Oumeraci, H., de la Torre, M., Wübbold, F., Wagner, B., Schimmels, S. (2014). The role of combined laser scanning and video techniques in monitoring wave-by-wave swash zone processes. Coastal Engineering 83, 150–165, doi:10.1016/j.coastaleng.2013.10.013.



<http://www.panoramio.com/photo/1124667>

Dünenerosion oberhalb eines Raudeckwerks auf der Insel Wangerooge

Ein Bericht von
Dr.-Ing. Agnieszka Strusińska-Correia

Die Ostfriesischen Inseln sind der niedersächsischen Festlandsküste vorgelagert. Die Insel Wangerooge grenzt an das Jade-Ästuar und ist in ihren westlichen und nordwestlichen Uferabschnitten, die zu großen Teilen aus Dünenriegeln bestehen, durch ein System aus Buhnen und Deckwerken gegen Erosion geschützt. Eine Umgestaltung von Teilen des Deckwerks im Westen der Insel wurde von der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes in Abstimmung mit dem Land Niedersachsen geplant, da die vorhandenen baulichen Anlagen Schäden aufweisen. Im Ergebnis werden die bestehenden Deckwerke voraussichtlich in Geometrie und Oberflächengestalt angepasst

und in einigen Abschnitten zusätzlich erhöht. Derzeit liegen keine Grundlagen zur Bemessung des Kolksschutzes sowie zur Vorhersage der zwischen dem Deckwerk und der Düne auftretenden Prozesse vor. Daher waren klein- und großmaßstäbliche Versuche notwendig, um die erforderlichen Erkenntnisse, insbesondere hinsichtlich der zu erwartenden Erosionsraten und Kolkentwicklungen, zu erhalten. Ziele dieser Versuche waren:

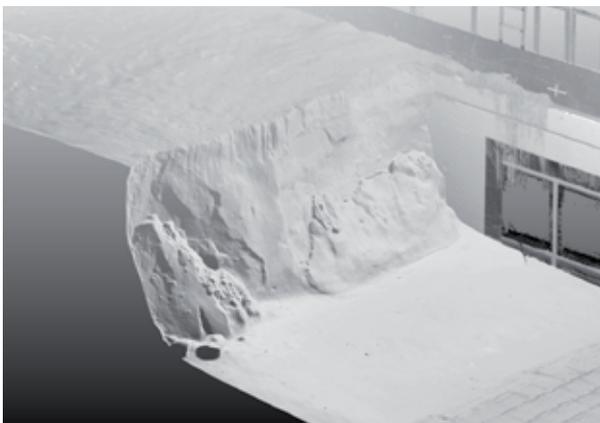
- die Untersuchung von mittleren Wellenüberlaufhöhen des Deckwerks ohne Düne
- die Ermittlung der Erosionsrate und des Erosionsvolumens der Düne oberhalb des Deckwerks
- die Messung der Kolkentiefe und -länge am Übergang von Deckwerk und Düne

Basierend auf Erfahrungen aus kleinmaßstäblichen (1:15) Vorversuchen am LWI wurden im GWK Versuche im Maßstab 1:3 durchgeführt. Der Versuchsaufbau bestand aus einem Vorstrand, einem Schrägdeckwerk mit Berme sowie einem oberhalb anschließenden

Dünenkörper (mittlerer Korndurchmesser des Sandes $d_{50} = 0.16 \text{ mm}$) mit unterschiedlichen Deckwerk- und Dünenprofilen. Diese wurden unter extremen Seegangsbedingungen getestet (im Prototyp: $H_{m0} = 3,3 \text{ m}$, $T_{m-1,0} = 11,4 \text{ s}$ mit Wellenüberlaufsraten von 10 bis 2200 l/s/m bei variiertem Wasserstand) und unter anderem mit modernster Messtechnik observiert:

- Bestimmung der Schichtdicke und Geschwindigkeit der auflaufenden Wellen mittels einer Kombination von Ultraschallsensoren und bildgebenden Messverfahren
- kontinuierliche Messung der Dünenerosion mit Videokameras und 2D Laserscanner
- Flächenhafte Aufnahme der Erosionsveränderung mit einem 3D Laserscanner

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass das erodierte Dünenvolumen wie erwartet mit steigender Überlauftrate anstieg. Dabei war die Kolkbildung am Übergang von Deckwerk und Düne in allen untersuchten Fällen durch die binnenseitig angeordnete konstruktive Kolkenschutzschürze sowie das aus der Düne umgelagerte Sediment als unkritisch für das Deckwerk zu bewerten.



3D Laserscan der Düne nach einem Versuch



Modellaufbau mit Deckwerk und Düne im GWK

Auftraggeber

Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN)

Versuchszeit

9 Wochen

Projektleitung

Prof. Dr.-Ing. Hocine Oumeraci, Dr.-Ing. Andreas Kortenhaus, LWI, TU BS

Projektbearbeitung

Kerstin Hinze, LWI, TU BS

Finanzierung

gemeinsam durch den Bund und das Land Niedersachsen

Publikationen

Oumeraci, H.; Kortenhaus, A.; Strusińska-Correia, A.; Hinze, K.; Brühl, M. (2014). Wellenüberlauf des Deckwerks und Erosion der Dünen an der Westseite der Nordseeinsel Wangerooge. Bericht Nr. 1044; Leichtweiß-Institut für Wasserbau, TU Braunschweig.

Strusińska-Correia, A.; Kortenhaus, A.; Oumeraci, H.; Thorenz, F.; Blum, H. (2013). Experimentelle Untersuchungen zur Erosion oberhalb von Dünendeckwerken. In: 9. FZK Kolloquium "Modellierung im Seebau und Küsteningenieurwesen". Hannover.

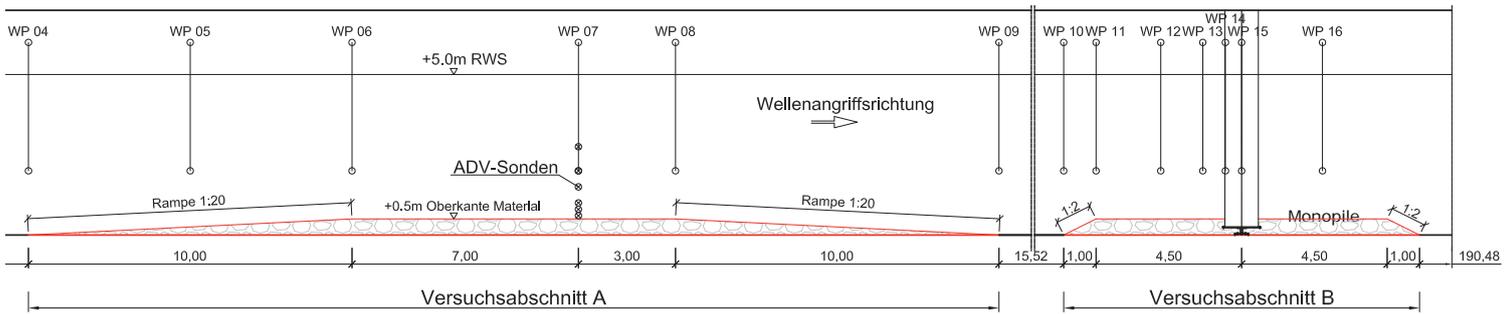


Modelluntersuchungen mit weitgestuftem Steinmaterial als Kolkschutz

Die Standsicherheit und somit die Gebrauchstauglichkeit von Offshore-Tragstrukturen kann durch Kolkbildung gefährdet werden. Darum ist ein sicherer und effizienter Kolkschutz für den wirtschaftlichen Betrieb gegründeter Offshore-Anlagen, z.B. in Windparks, unverzichtbar. Um den zeitlichen und finanziellen Aufwand beim Einbau von Kolkschutzsystemen zu minimieren, hat die Firma Mibau Holding GmbH ein weitgestuftes Bruchsteinmaterial im Korngrößenbereich von 1-200 mm entwickelt. Bevor diese unkonventionelle Materialzusammensetzung jedoch als eigenständiges Kolkschutzsystem eingesetzt werden kann, muss seine Materialstabilität unter Strömungs- und Wellenbelastung mittels detaillierter Untersuchungen beurteilt werden. Das Franzius-Institut (FI) bekam den Auftrag, genau diese Untersuchungen durchzuführen. In den ersten

zwei Projektphasen fanden hydraulische Modellversuche unter Strömungsbelastung in Laboren des FI statt. Für die Messungen unter Wellenbelastung in Phase III des Projekts nutzte das FI seine enge Verbindung zum FZK und führte Versuche im GWK im Maßstab 1:4 durch. Von diesen Tests erhoffte sich der Projektleiter Prof. Dr.-Ing. Torsten Schlurmann eine Aussage darüber, ob das Material auch als leistungsfähiger Kolkschutz für maritime Strukturen geeignet ist. In zwei Versuchsabschnitten untersuchte Alexander Schendel vom FI während Projektphase III das Verhalten des Mibau-Materials:

1. An einer 10 m langen flachen Schüttung des Materials wurde im vorderen Teil des GWK die allgemeine Lagestabilität des Materials unbeeinflusst von Bauwerksstrukturen unter unregelmäßigen Wellen untersucht.

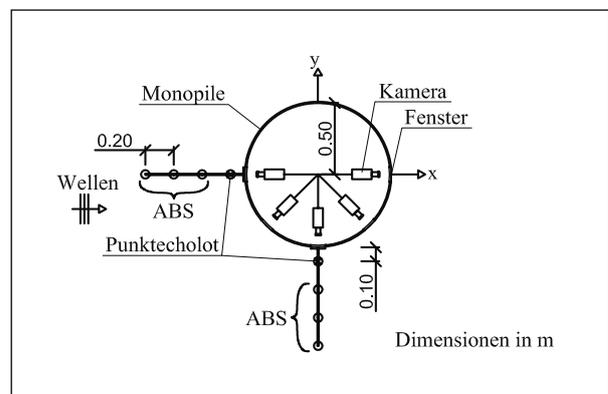


Längsschnitt des Versuchsaufbaus im GWK

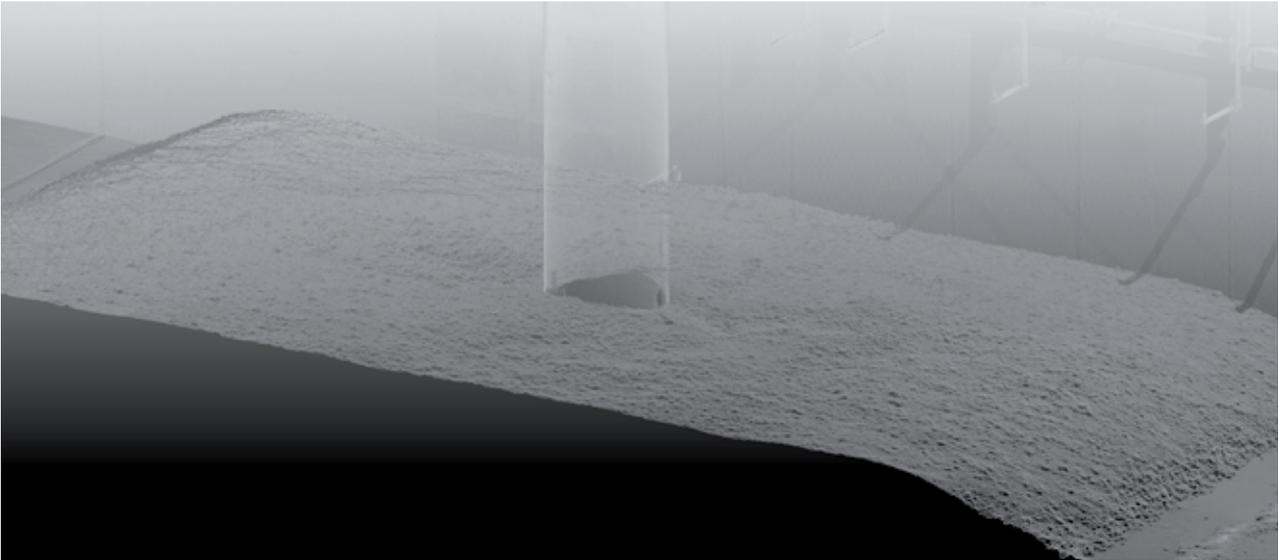
2. Weiter hinten wurde anhand eines Monopiles untersucht, inwieweit struktur-induzierte Kolkentwicklung in dem Material beobachtet werden kann.

Die beiden Versuchsabschnitte wurden zeitgleich im GWK eingebaut und typischen Seegangsbedingungen der Nordsee ausgesetzt (JONSWAP-Spektrum). Um ein charakteristisches Sturmereignis zu simulieren, wurde bei gleichbleibender Peakperiode von 16 s die signifikante Wellenhöhe in drei Schritten von 2,8 auf 5,2 m gesteigert. Für jeden Schritt wurden 3000 Wellen generiert. Die Wassertiefe über dem Steinmaterial blieb für alle Versuche konstant bei 18 m. Die durch die Wellen induzierte Sohlströmung erreichte Werte bis maximal 2,9 m/s (alle Werte im Naturmaßstab).

Wellenpegel entlang des Kanals und im Bereich des Monopiles lieferten die Seegangparameter. Die direkt am Monopile angebrachte Messtechnik bestand aus Punktecholoten zur lokalen Erfassung der Kolkentwicklung und ABS-Sensoren zur Bestimmung der aufgewirbelten Sedimentmenge im Wasser. Videoaufzeichnungen durch Fenster im Monopile und sohnnahe Strömungsmessungen mit ADV-Sonden ermöglichten es den Wissenschaftlern, die Deckschichtausbildung und Filterstabilität des Materials unter Wellen mit den Versuchen der Phasen I und II unter



Die am und im Pfahl installierte Messtechnik lieferte detaillierte Informationen zu den Umlagerungsprozessen

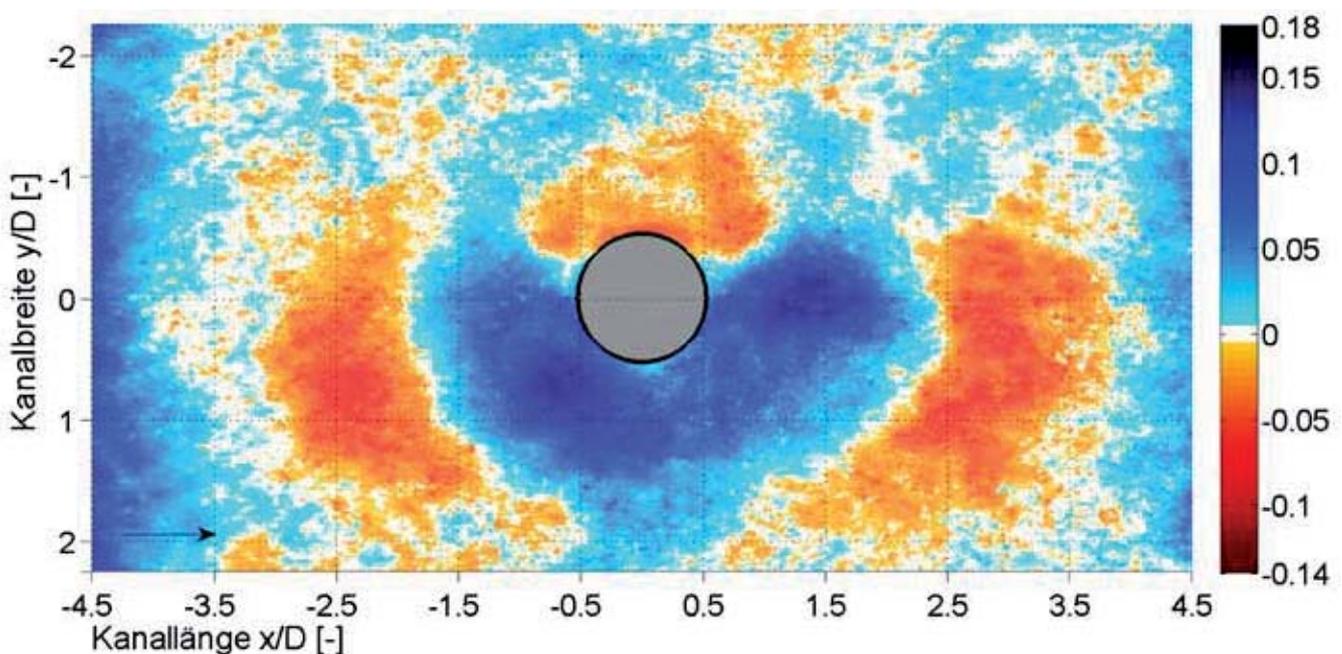


Der 3D Laserscan erfasst die Oberfläche millimetergenau

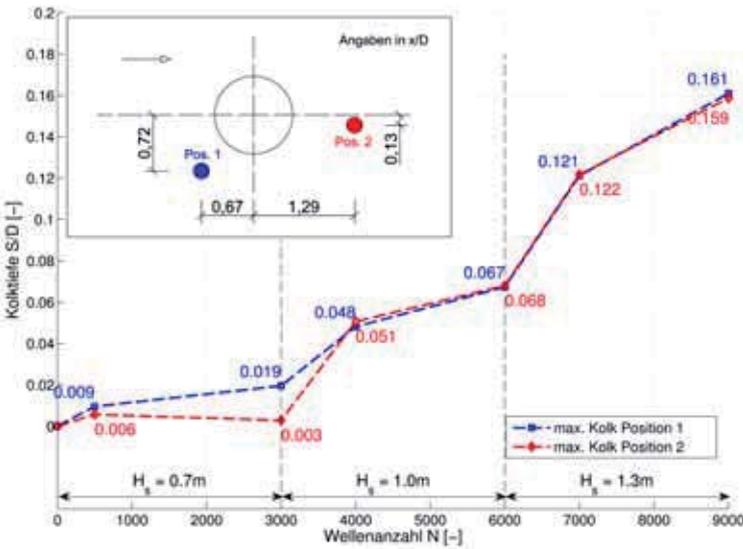
Strömung zu vergleichen. Dieser Vergleich bestätigte die ersten Erkenntnisse, dass es zwar einen gewissen Abtrag des Materials unter Strömungseinwirkung gibt, die Sohloberfläche sich aber mit zunehmender Belastung vergrößert und verfestigt, so dass das Material insgesamt ein sehr kompaktes Gesamtgefüge aufweist. Erstmals wurde in diesem Projekt auch ein 3D Laserscanner eingesetzt, um Umlagerungsprozesse und

die resultierende Kolkentwicklung zu quantifizieren. Beide Versuchsabschnitte wurden hierzu nach jeder Belastungsstufe detailliert und flächig erfasst und der Vergleich von vorher-nachher Aufnahmen ermöglichte die Berechnung von Kolk-tiefen und Mengen des umgelagerten Materials.

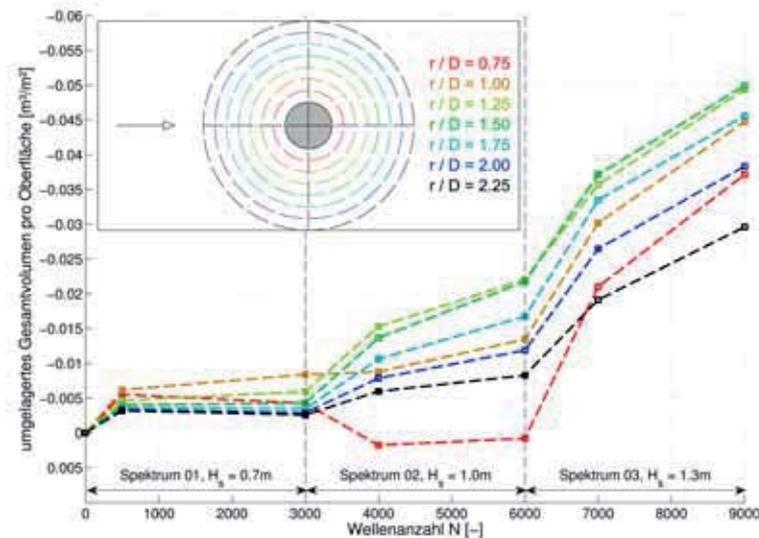
Herr Schendel ist mit der Messgenauigkeit der Methode hoch zufrieden, da die Gesamtum-



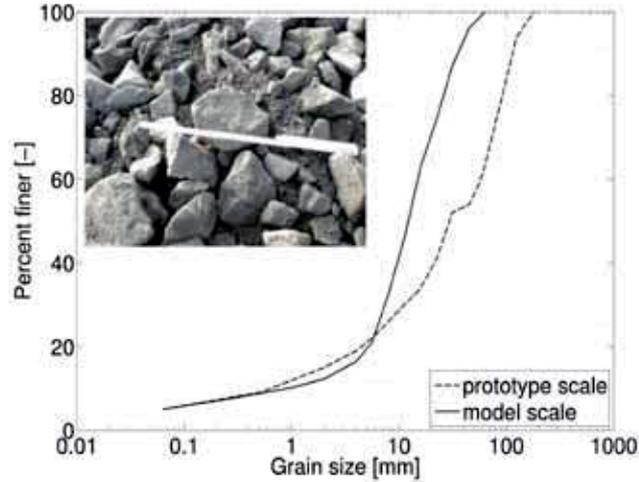
So sah die Oberfläche nach 9000 Wellen aus



Entwicklung von Kolkiefe und -volumen über die gesamte Versuchszeit



lagerung bis auf ein 1000stel m^3/m^2 genau erfasst werden kann. Allerdings zeigen die Ergebnisse auch, dass die Anzahl von 3000 Wellen – die einer Sturmdauer von etwa 13 Stunden entspricht – pro Belastungsstufe nicht ausreichend war um eine Gleichgewichtskolkiefe für die jeweilige Belastung zu erreichen. Die ermittelten Kolkiefen können daher nicht als Maximalwerte für die verwendeten Wellenspektren betrachtet werden.



Kornverteilungskurve des untersuchten Bruchsteinmaterials

Leitung
Prof. Dr.-Ing. Torsten Schlurmann

Bearbeitung
Alexander Schendel, Dr.-Ing. Nils Goseberg

Versuchszeit
5 Wochen

Förderung durch
Mibau Holding GmbH

Projektpartner
Franzius-Institut für Wasserbau, Ästuar- und Küsteningenieurwesen

Publikationen
Schendel, A., Goseberg, N., Schlurmann, T. (2012). Experimental study on erosion potentials and nearbed transport processes of coarse grain materials. In: Proceedings of the 6th Chinese-German Joint Symposium on Hydraulic and Ocean Engineering. Keelung, Taiwan.

Schendel, A., Goseberg, N., Schlurmann, T. (2013). Physikalische Modelluntersuchungen zur Beurteilung der Lagestabilität von weitgestuftem Steinmaterial. In: 9. FZK Kolloquium "Modellierung im Seebau und Küsteningenieurwesen". Hannover.

Schendel, A., Goseberg, N., Schlurmann, T. (2014). Experimental study on the erosion stability of coarse grain materials under waves. In: Proceedings of the 7th Chinese-German Joint Symposium on Hydraulic and Ocean Engineering. Hannover.

Schendel, A., Goseberg, N., Schlurmann, T. (2014). Experimental study on the performance of coarse grain materials as scour protection. In: Proceedings of the 34th International Conference on Coastal Engineering. Seoul, Korea.



Kolkbildung beim Absenken eines Schwergewichtsfundaments

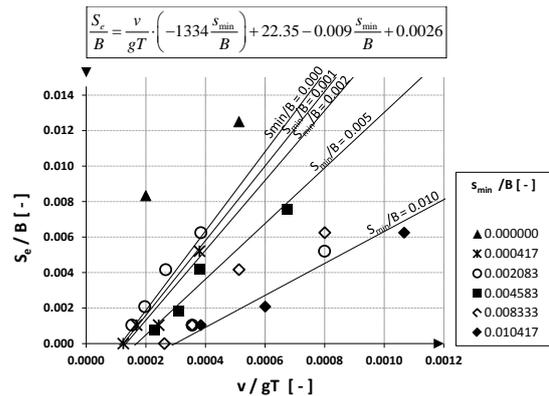
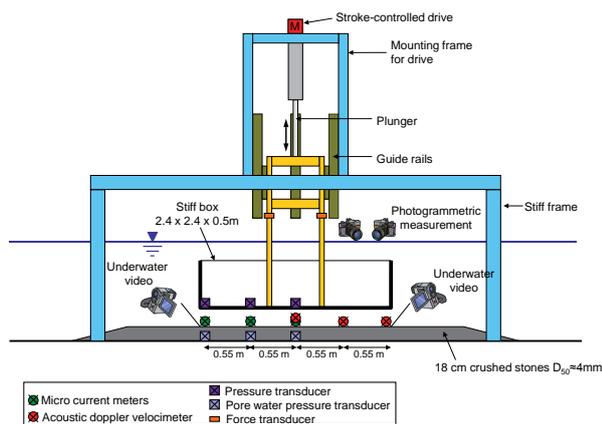
Viele Offshore Bauwerke (z.B. Windenergieanlagen oder Öl- und Gasplattformen) stehen fest auf dem Meeresgrund. Wenn die Geologie des Untergrundes es zulässt, geschieht dies bevorzugt mit Schwergewichtsfundamenten. Diese werden an Land hergestellt und mit Schiffen an die entsprechende Stelle im Meer geschwommen. Dort werden sie dann kontrolliert auf den Meeresboden abgesenkt und mit Ballast gefüllt.

Während des Absenkens der Elemente folgt das Schiff den Wellenbewegungen an der Wasseroberfläche, die sich über die Halteseile auch auf das abzusenkende Schwergewichtsfundament übertragen. Die auf- und abschwingende Bewegung des

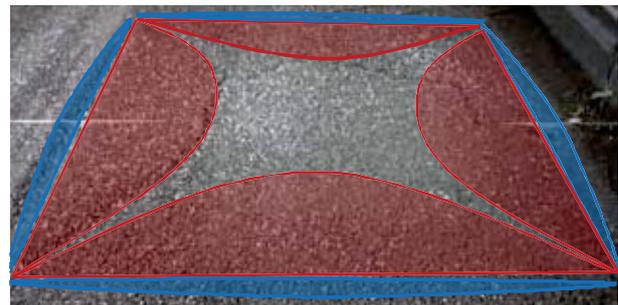
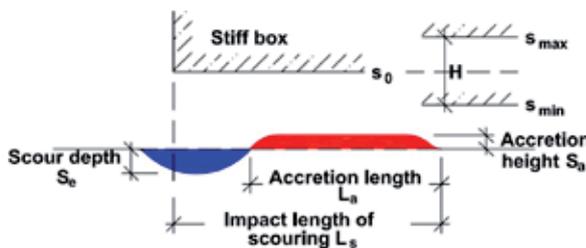
Fundaments führt dazu, dass Wasser unter der Fundamentplatte entweder verdrängt (Abwärtsbewegung) oder angesaugt wird (Aufwärtsbewegung). Dicht über dem Meeresboden können die resultierenden Strömungsgeschwindigkeiten sehr hoch werden; mit gravierenden Auswirkungen: Unterhalb der Fundamentplatte können Sedimentumlagerungen und Kolke auftreten, wodurch der Boden unter dem Fundament uneben wird, so dass die Stabilität des Bauwerks gefährdet sein kann.

Damit die Gefahr der Sedimentumlagerung bei der Installation von Schwergewichtsfundamenten besser berücksichtigt werden kann, wurde das FZK beauftragt, genau dieses Phänomen zu untersuchen. Unter der Leitung von Matthias Kudella konstruierte das Team einen Rahmen, mit dem die Auf- und Abbewegung beim Absenken des Fundaments simuliert werden konnte, und installierte ihn – samt quadratischem Fundamentmodell – über einem Splittbett im GWK. Frau Nannina Horstmann nutzte Videokameras, um die Sedimentumlagerungen während der Versuche aufzuzeichnen. Um die Kolkbildung zu quantifizieren wurde erstmals am FZK Photogrammetrie-Technik eingesetzt. Eine weitere FZK-Premiere bei diesem Projekt war die Tatsache, dass die Wellenmaschine nicht zum Einsatz kam. Da ausschließlich die Auf- und Abbewegung des Fundaments relevant war, wurden die Bewegungen unter regelmäßigen Wellen und natürlichem Seegang mit der Rahmenkonstruktion in stillem Wasser simuliert.

Bei allen Versuchen ergab sich die gleiche Kolk-Form mit einer Kuhle unter den Fundamenträndern und Ablagerungen unter dem Fundament. Die Videoaufzeichnungen zeigten, dass es einen Zusammenhang zwischen Fundamentbewegung und Abstand zum Boden gibt, der bestimmt, wann die Sedimentbewegung einsetzt. Erstaunt waren



Empirische Gleichung für die Kolkentiefe S_e



Kolk (blau) und Ablagerung (rot) unter dem Fundament

Frau Horstmann und ihre Kollegen vor allem darüber, wie schnell sich die Kolke bildeten. Die maximale Kolkentiefe wurde oft bereits nach einer einzigen Ab- und Aufbewegung erreicht und weitere Bewegungszyklen bestimmten dann nur noch die Höhe und Ausdehnung der Ablagerung unter dem Fundament.

Die Versuche deckten eine große Spanne von Seegangsbedingungen ab, so dass es möglich war, empirische Gleichungen für die Kolkbildung zu entwickeln. Mit ihnen kann man nun leicht abschätzen, wie sich ein Kolk bilden wird, wenn Seegangs- und Fundamentparameter bekannt sind. Allerdings gelten die Gleichungen momentan nur für quadratische Fundamente und das verwendete Sediment. Damit die Gleichungen weitreichend Anwendung finden können, sind weitere Versuche mit anderen Geometrien und Kornmaterialien notwendig.

Auftraggeber
Chevron, Technip

Projektleitung
Dr.-Ing. Stefan Schimmels, Matthias Kudella

Projektbearbeitung
Nannina Horstmann

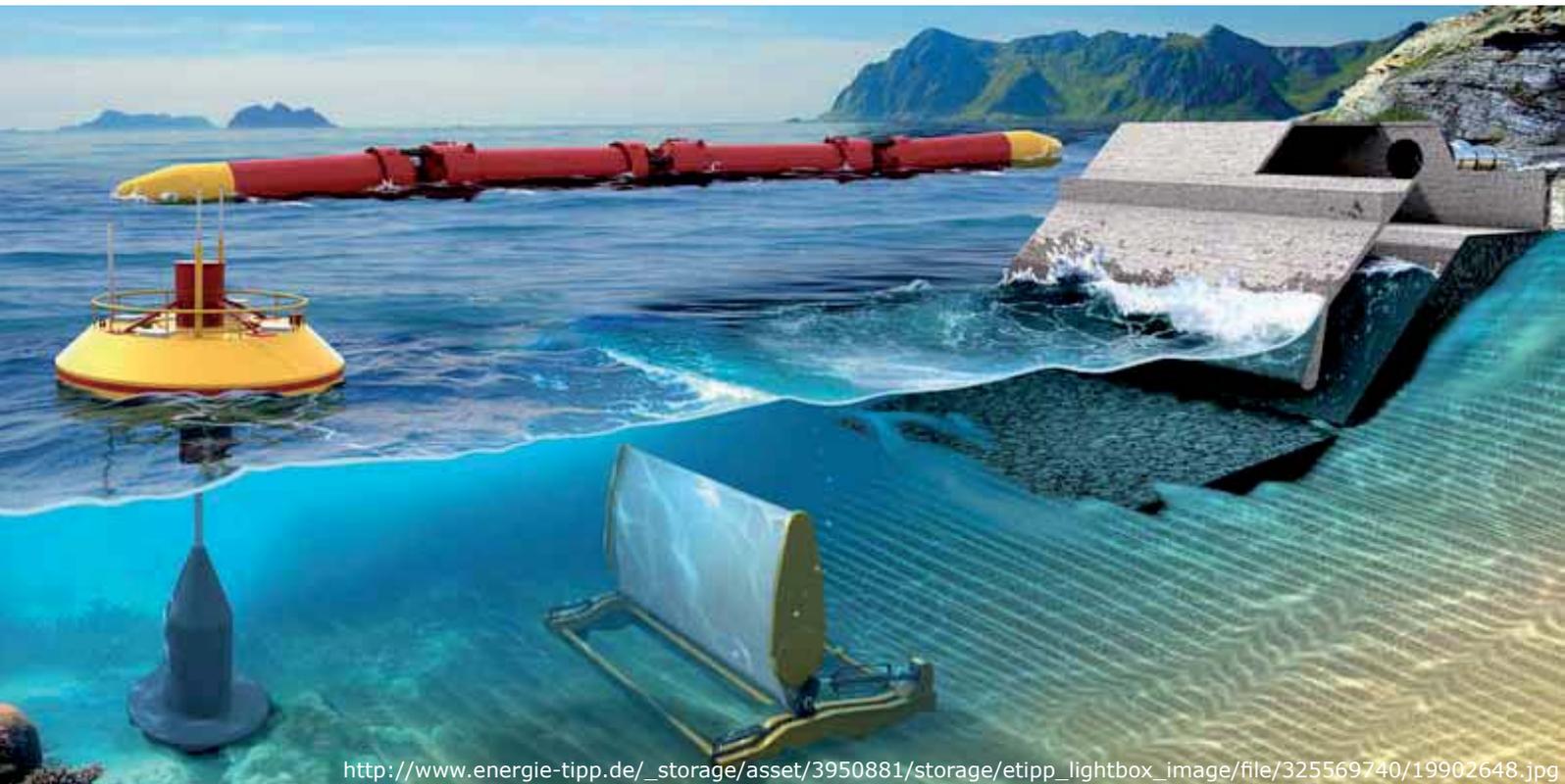
Versuchszeit
5 Wochen

Publikationen

Horstmann, N.; Kudella, M.; Schimmels, S.; Oumeraci, H. (2012). Investigation of Scour Development underneath Offshore Gravity Foundations during lowering - Large Scale Model Tests. In: Proceedings of the 4th International Conference on the Application of Physical Modelling to Port and Coastal Protection. Ghent, Belgium.

Kudella, M.; Horstmann, N.; Oumeraci, H.; Schimmels, S. (2012). Bedding Layer Stability During the Installation of a Gravity Base Offshore Structure. In: Proceedings of the 6th Chinese-German Joint Symposium on Hydraulic and Ocean Engineering. Keelung, Taiwan.

Kudella, M.; Horstmann, N.; Voudoukas, M.I.; Schimmels, S.; Oumeraci, H. (2013). Untersuchungen zur Kolkbildung beim Absenkvorgang eines Schwerkraftfundaments. In: 9. FZK Kolloquium "Modellierung im Seebau und Küsteningenieurwesen". Hannover.

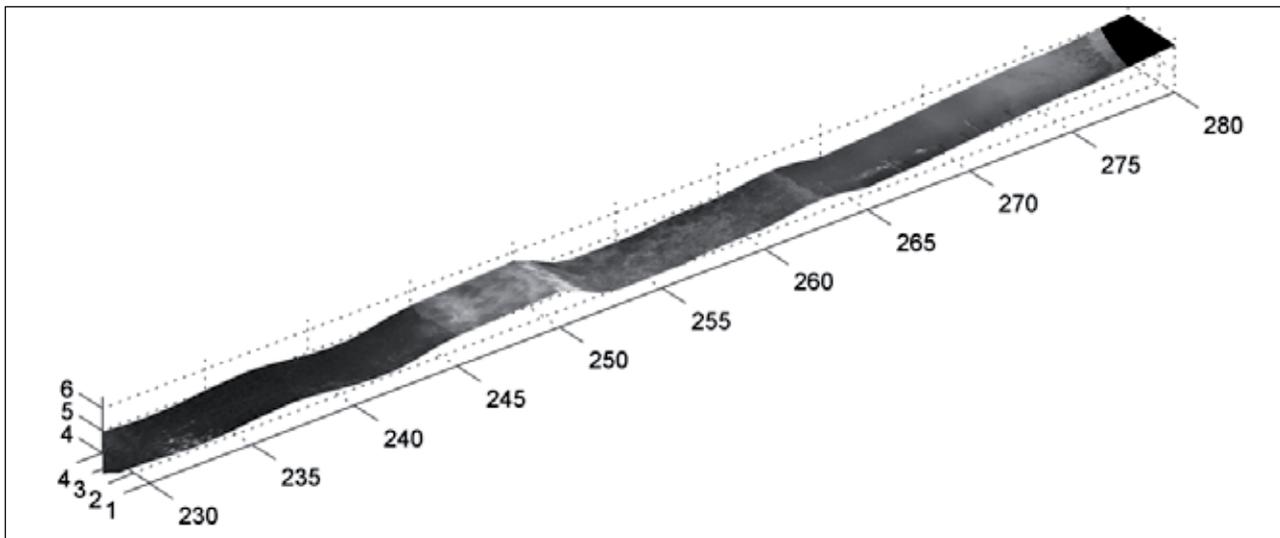


Marine Renewables Infrastructure NETWORK (MARINET)

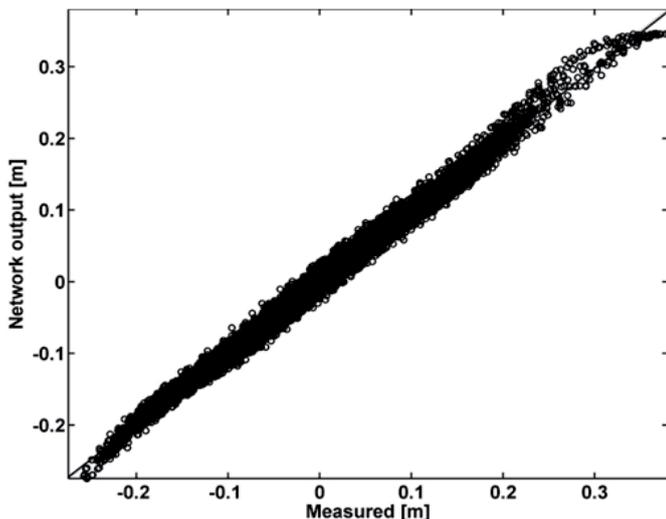
Im EU-Verbundprojekt MARINET arbeiten 29 Partnerinstitutionen gemeinsam daran die Entwicklung der Energiegewinnung aus marinen erneuerbaren Quellen zu beschleunigen. Hierzu gehören sowohl Offshore-Windenergie als auch Wellen- und Gezeitenkraftwerke. Mit MARINET soll insbesondere die Nutzung der europäischen Forschungsinfrastruktur verbessert werden. Hierzu bietet MARINET Zugang zu diesen Infrastrukturen mittels Transnational Access (TA), vernetzt Forschungsaktivitäten zwischen Wissenschaft und Wirtschaft sowie untereinander und betreibt aktive Forschung. Letzteres hat zum Ziel, Versuchsabläufe zu standardisieren und die Vergleichbarkeit von Messungen zu verbessern.

Aufgrund der traditionell intensiven Beteiligung an Hydralab IV hat das FZK im Rahmen von MARINET keinen Transnational Access zum GWK angeboten, sondern ist ausschließlich an einer Joint Research Activity (JRA) beteiligt, in der verbesserte Messmethoden und Verfahren sowohl für Versuchseinrichtungen als auch den Einsatz auf See entwickelt werden.

Der Wirkungsgrad der meisten Wellenenergiekonverter hängt maßgeblich von der Höhe und Länge der Wellen ab. Wenn die Parameter der Wellen frühzeitig bekannt sind, können die Konverter individuell eingestellt und die Energieausbeute optimiert werden. Zu diesem Zweck hat Dr. Hernán Fernández am FZK eine Wellenvorhersage auf Basis künstlicher Neuronaler Netzwerke (Artificial Neural Networks, ANN) entwickelt. Hiermit können anhand von Messungen in einiger Entfernung die Wellenparameter an einem bestimmten Ort, z.B. der Position des Wellenenergiekon-



Momentaufnahme einer auflaufenden Welle durch Kombination von Video und Laserscandaten



Vergleich von vorhergesagter und gemessener Wasserspiegelauslenkung

verters, mit ca. einer Minute Vorlaufzeit vorhergesagt werden. Dr. Fernández testete und validierte die Methode bei Versuchen im GWK für zahlreiche Seegangsverhältnisse in 2D, sprich ohne Richtungseinfluss, sowie in 3D mit von der Universität Plymouth zur Verfügung gestellten Daten aus einem Wellenbecken.

Einige Typen von Wellenenergiekonvertern basieren auf dem Prinzip des Wellenüberlaufs. Für ihre Optimierung ist eine berührungslose Messung des Wellenaufbaus und -überlaufs wichtig. Da diese Messungen auch im Küsteningenieurwesen, z.B. bei

Untersuchungen zu Deichen, Deckwerken und Strandprofilen, eine große Rolle spielen, wurde in Zusammenhang mit den Arbeiten in WISE (Seite 20) ein auf Video und Laserscandaten basierendes Verfahren entwickelt, das zeitlich und räumlich hochaufgelöste berührungslose Messungen der auf- und überlaufenden Wellen mit bisher unerreichter Genauigkeit erlaubt.

Projektleitung

Dr.-Ing. Stefan Schimmels

Projektbearbeitung

Dr. Hernán Fernández

Projektlaufzeit

01.04.2011 – 31.03.2015

Förderung durch

EU (FP7)

www

<http://www.fp7-marinet.eu/>

Publikationen

Fernández, H., Vousedoukas, M. I., Schimmels, S., Allajbej, I. (2013). Real time wave prediction for WEC control system optimization using dynamic neural networks. In: Proceedings of the European Wave and Tidal Energy Conference. Aalborg, Dänemark.

Vousedoukas, M.I., Kirupakaramoorthy T., de la Torre M., Wübbold F., Wagner W., Schimmels S., Oumeraci, H. (2014). The role of combined laser scanning and video techniques in monitoring wave-by-wave swash zone processes. Coastal Engineering, 83, 150-165.



Wellendruckschlagkräfte auf eine Fachwerkkonstruktion

Gründungen von Windkraftanlagen sind besonders im Flachwasser hohen Druckschlagkräften durch brechende Wellen ausgesetzt. Für ihre Dimensionierung verwenden derzeitige Modelle die maximalen Kräfte von stürzenden Brechern auf senkrechte Pfähle. Es ist jedoch unsicher, ob diese Modelle auch auf Fachwerkkonstruktionen angewendet werden können. Diese Frage beschäftigt insbesondere die Firma Reinertsen A/S aus Trondheim (Norwegen), da sie für den Windpark Thornton Bank in Belgien eben so ein Fachwerk als Gründung entwickelt hat. Norwegische Wissenschaftler der Universitäten Stavanger (UiS) und Trondheim (NTNU, MARINTEK) haben sich dieser Frage angenommen und untersuchten die Kräfte von brechenden Wellen auf eine Fachwerkkonstruktion mit Hilfe eines Modells im GWK.

Unterstützt wurden sie dabei von Kollegen aus Gdansk in Polen. Besonders an diesem Projekt ist, dass sich auch einige Wirtschaftsunternehmen (Reinertsen A/S, Areva Wind, DNV, NORCOVE, NOWITECH, Statoil) beteiligten. Auch wenn Unternehmen oft an Forschungsergebnissen interessiert sind, ist ihre direkte Beteiligung an solchen Projekten nicht selbstverständlich.

Die Wissenschaftler im Team von Prof. Ove T. Gudmestad und Prof. Øivind A. Arntsen haben es sich zur Aufgabe gemacht, die generellen Prozesse an einer Fachwerkkonstruktion zu untersuchen, statt ein spezielles Design zu betrachten. Das verwendete Modell im Maßstab 1:8 ist daher auch nur an das Design der Thornton Bank Struktur von Reinertsen A/S angelehnt, aber nicht identisch mit ihr.



3D-CAD-Konstruktion, welche sehr genau konstruiert werden musste. Eine Fachwerksstabhälfte ist transparent dargestellt, um die Kraftmesszellen sichtbar zu machen

Das Modell ist insgesamt mit 26 Kraftmesszellen ausgestattet, die die Kraftverteilung auf die einzelnen Elemente und die Gesamtkraft auf die Struktur aufzeichnen. Die brechenden Wellen wurden mit 15 Wellenpegeln und 3 Strömungsmessern (ADV) erfasst. Die genaue Messung der Wassergeschwindigkeit stellte das Team jedoch vor besondere Herausforderungen. „Auf Grund des Lufteinschlusses in brechenden Wellen arbeiten akustische Messgeräte unter diesen Bedingungen nicht optimal.“, erklärt Prof. Gudmestad. Deswegen verwenden er und

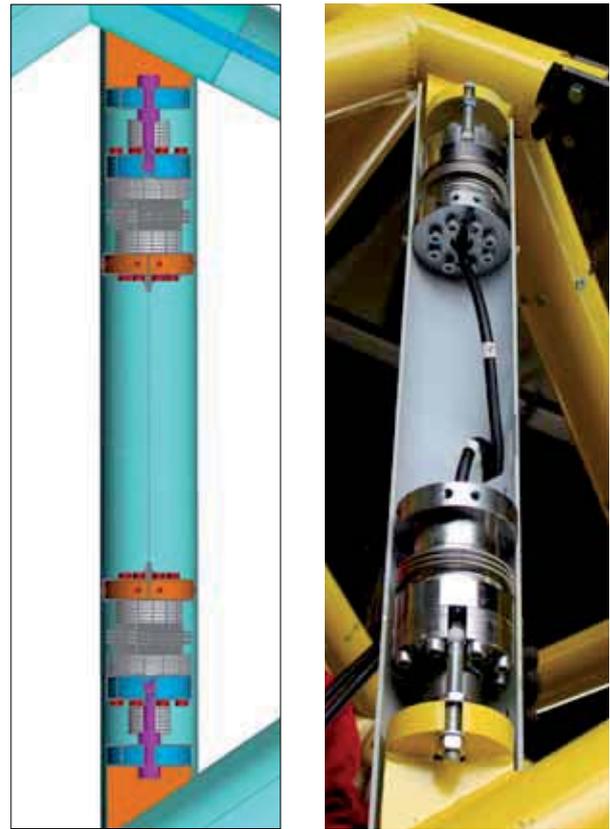
seine Kollegen zusätzlich noch ein speziell entwickeltes numerisches Modell, um die Geschwindigkeiten der Wasserpartikel zu bestimmen.

Die Kraftspitzen pro Welle sind nur von sehr kurzer Dauer und zusätzliche dynamische Effekte erschweren die Datenanalyse zusätzlich. Deshalb konzentrierten sich die Versuche in erster Linie auf regelmäßige Wellen, um zumindest die Variation in den ankommenden Wellen zu minimieren. Ganz lässt sich diese Variation jedoch selbst mit

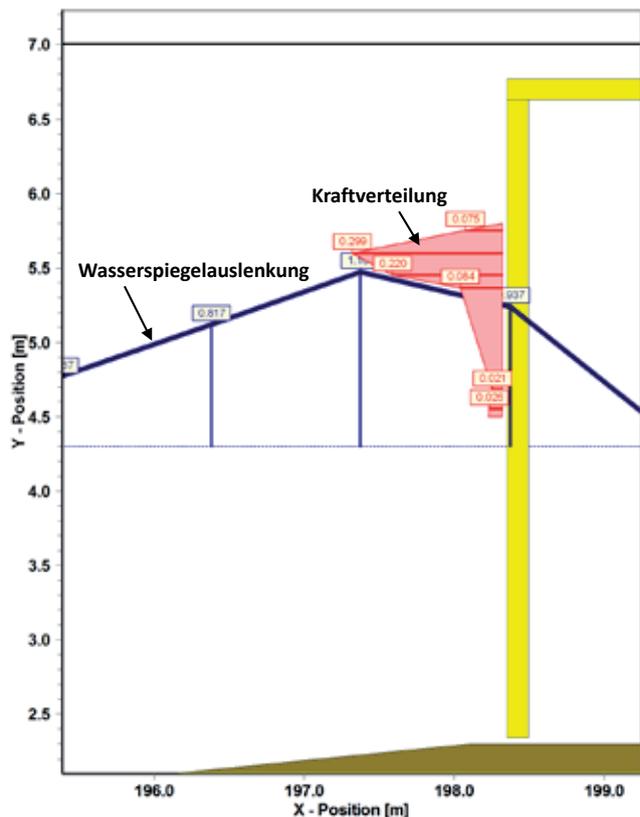
der Reflektionsabsorption der GWK Wellenmaschine nicht ausschließen. Warum die Druckschlagkräfte auch bei identischem Steuersignal von Welle zu Welle abweichen ist noch unklar; Prof. Gudmestad vermutet jedoch, dass dies auf kleine Unterschiede in der Wellensteilheit zurückzuführen ist.

Kraftmessungen allein vermitteln jedoch nur einen ungenauen Eindruck von der tatsächlichen Wellenbelastung, da sie die Bauwerksantwort auf die Belastung liefern. Für die Bestimmung der Wellenbelastung wurde daher an der NTNU die Frequency Response Method mit Hilfe von kleinmaßstäblichen Vorversuchen so weiterentwickelt, dass sie auch auf Fachwerkkonstruktionen anwendbar ist. Die Versuche im GWK bestätigten ihre Anwendbarkeit, jedoch sind die mit ihr bestimmten Druckschlagkräfte geringer als Ergebnisse, die auf Methoden anderer Forschergruppen basieren. Das Team vermutet, dass diese Unterschiede trotz des großen Modellmaßstabs im GWK auf Skalierungseffekte zurückzuführen sind. Weitere Forschungsarbeit wird jedoch nötig sein, um diese Vermutung zu bestätigen oder zu widerlegen.

Die Messdaten zeigen deutlich, dass Luft-einschlüsse in den brechenden Wellen die Druckschläge verringern. Mit der Angabe von absoluten Werten hält sich das Team jedoch zurück. Denn auch hier spielen Maßstabseffekte eine große Rolle; die Menge der eingeschlossenen Luft im Naturmaßstab lässt sich nicht aus dem Modell ableiten. Trotz der gewonnenen Erkenntnisse und verbesserten Analysemethoden müssen die Wissenschaftler um Prof. Gudmestad und Prof. Arntsen zugeben, dass das Modell auf zahlreichen Annahmen beruht und insgesamt vereinfacht ist. Es bleibt also noch viel zu tun und das Team hofft, eines Tages wieder Versuche im GWK machen zu können.



Kraftmesszellen zur Bestimmung der Querkräfte, 3D-Konstruktion und Ausführung





Beschleunigungssensor



Die Konstruktion wurde an einem Träger aufgehängt

Leitung

Prof. Ove T. Gudmestad,
Associate Prof. Øivind A. Arntsen

Versuchszeit

6 Wochen

Förderung durch

HYDRALAB IV - Transnational Access

Projektpartner

University of Stavanger; Norwegian University of Science and Technology (NTNU); University of Gdansk; Reinertsen AS; MARINTEK; Det Norske Veritas; Statoil; Areva Wind

Publikationen

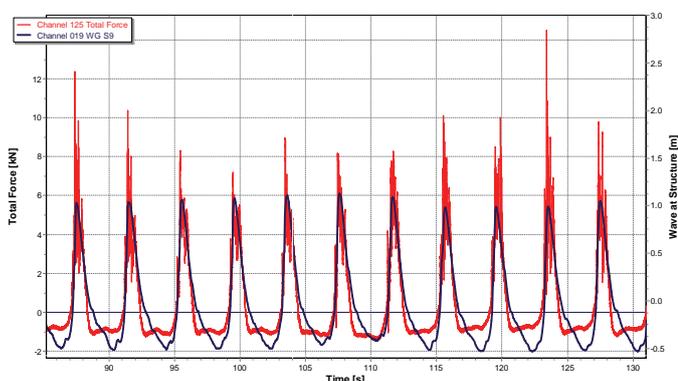
Arntsen, O.A.; Gudmestad, O.T. (2014). Wave slamming forces on truss structures in shallow water. In: Proceedings of the HYDRALAB IV Joint User Meeting. Lissabon, Portugal.

Cieślikiewicz, W.; Gudmestad, O.T.; Podrażka, O. (2014). Breaking wave loads on truss support structures for offshore wind turbines. In: Proceeding of the 2nd International Conference on Maritime Technology and Engineering. Lissabon, Portugal.

Navaratnam, C.U.; Tørum, A.; Arntsen, O.A. (2013). Preliminary analysis of wave slamming force response data from tests on a truss structure in large wave flume, Hannover, Germany (Internal Report, BAT/MB R1-2013).

Rausa Heredia, I.E. (2014). Characterization of wave slamming forces for a truss structure within the framework of the WaveSlam project. Master Thesis. NTNU, Trondheim, Norwegen.

Tørum, A. (2013). Preliminary analysis of force response data from tests on a model of a truss structure subjected to plunging breaking waves (Internal Report, IBAT/MB TN January-2013).



Spitzen in der Kraftmessung sind sehr kurz und die Maxima variieren stark

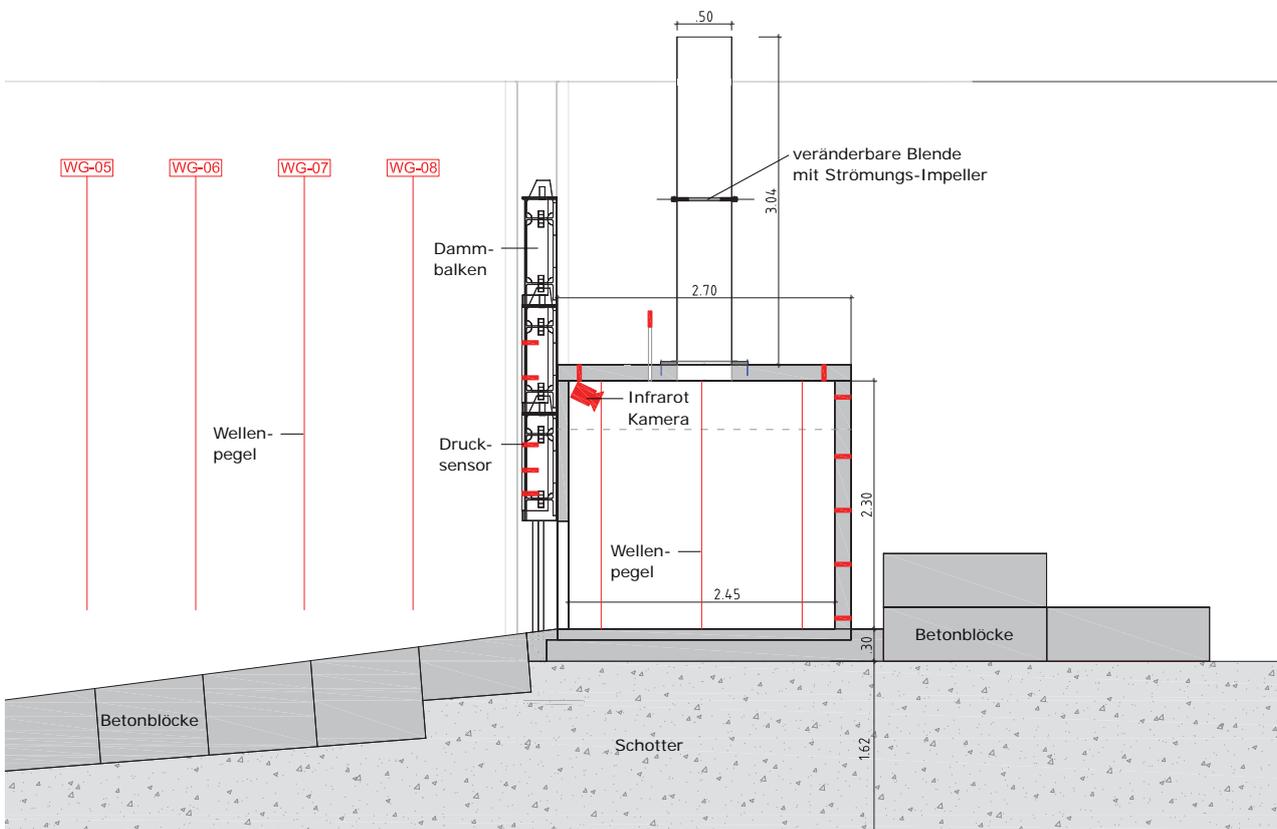


Grundlagenforschung an einem OWC-Wellenenergiekraftwerk

Seit Mitte der 90er Jahre gibt es Pilotprojekte mit Wellenenergiekonvertern (Wave Energy Converter, WEC) entlang der Küste. Die Strukturen basieren auf dem Prinzip der oszillierenden Wassersäule (Oscillating Water Column, OWC) und sind, abgesehen von den patentierten Turbinen, frei in ihrem Design. Die Weiterentwicklung dieser Technologie stagniert jedoch, was zu großen Teilen auf die hohen Unsicherheiten bei den erwarteten Wellenbelastungen und damit verbundenen Konstruktionskosten zurückzuführen ist. Viele dieser Unsicherheiten basieren auf der allgemeinen Verwendung von kleinmaßstäblichen Modellversuchen zur Bestimmung von Belastungen und resultierender Leistung. Denn besonders bei Luftdrücken und -strömungen führen Skalierungseffekte zu

verzerrten Ergebnissen. Ein internationales Forscherteam unter der Leitung von Dr. Tom Bruce von der University of Edinburgh (Schottland) machte es sich daher zur Aufgabe, diese Maßstabeffekte detailliert zu erforschen. Ziel ihrer Arbeit ist es, die Übertragbarkeit von Erkenntnissen kleinmaßstäblicher Versuche und numerischer Modelle auf den Prototyp zu verbessern.

Bei den Versuchen im GWK ging es daher nicht um die Optimierung eines speziellen Designs; stattdessen wurden grundsätzliche Fragen zu Maßstabeffekten untersucht. Das verwendete Modell war daher auch kein genauer Nachbau eines echten Designs sondern ein generelles OWC. Es entspricht einem möglichen Prototypen im ungefährem



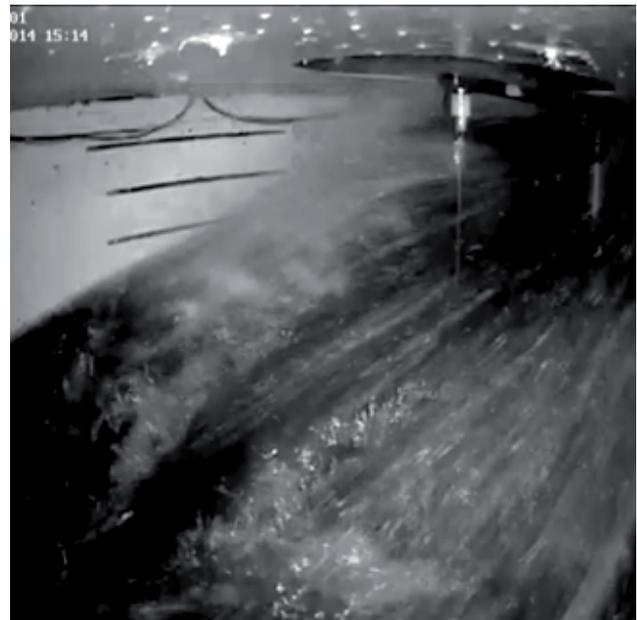
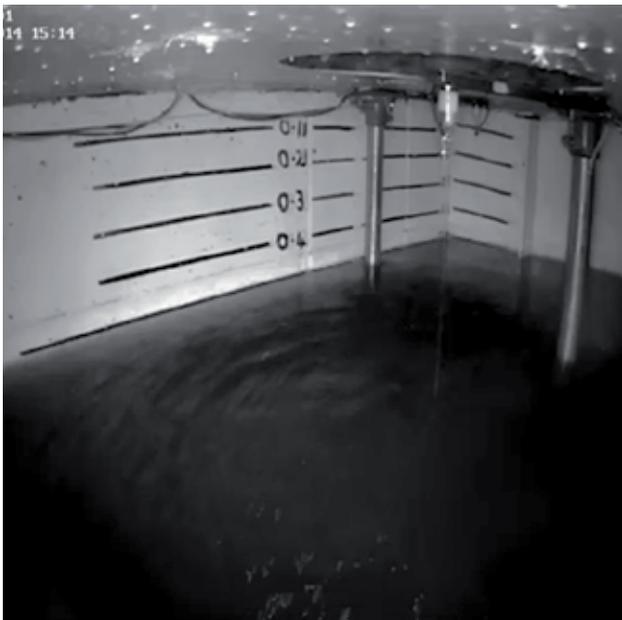
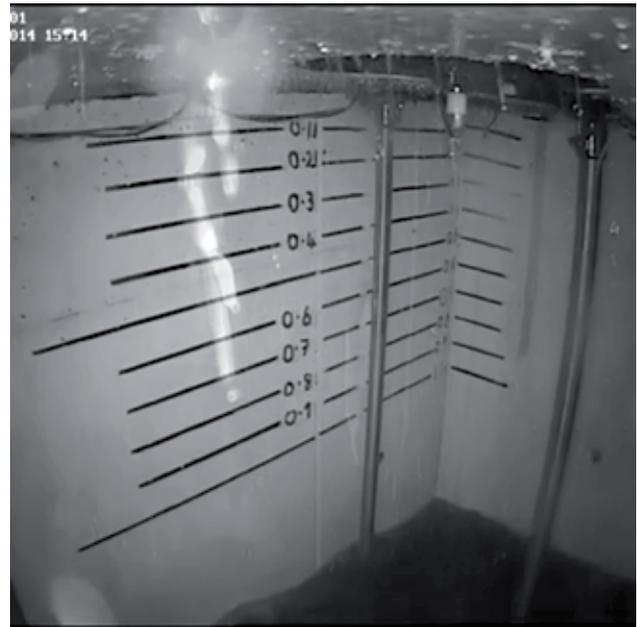
Ein stabiler Einbau ist notwendig, damit sich während der Versuche nichts verschiebt



Der Einbau der Kammern erfolgt Schritt für Schritt

Maßstab von 1:5 bis 1:9. Es wurde auch nicht mit reellen Turbinen ausgestattet. Statt dessen simulierten Platten mit unterschiedlichen Öffnungsweiten in den aufgesetzten Schloten den Widerstand, den eine Turbine der ausströmenden Luft bieten würde. Wellen und resultierende Druckschläge auf das OWC wurden an verschiedenen Stellen auf der Vorderseite gemessen. Auch das Innere einer OWC Kammer wurde mit Messgeräten ausgestattet, um die Wasser- und Luftbewegung im OWC genau zu erfassen. Wie außerhalb der Kammer kamen hier Druckmessdosen und Wellenpegel zum Einsatz. Zusätzlich wurde auch eine Infrarotkamera installiert, die die Art der Wasserbewegung im OWC zeigte. Anhand einer Skala im Inneren der Kammer lässt sich die Wasserpiegelauslenkung gut beobachten. In einem der Schlote wurde zudem ein spezieller Impeller angebracht um die Luftströmung zu messen. Damit wollen die Wissenschaftler einen Zusammenhang zwischen Wellen und möglicher Energieausbeute herstellen. Schließlich soll eines Tages auf effiziente Weise Strom mit OWCs erzeugt werden.

Besonders dieser Impeller und Versuche mit unterschiedlichen Öffnungsweiten in den Schloten stellten die Wissenschaftler vor einige Probleme. Unter den gewählten Wellen waren die Drücke stärker als erwartet. Zum Teil entwich dieser Druck durch unvorhergesehene Ritzen, zum Teil wurde jedoch auch viel Wasser statt reiner Luft durch die Schlote nach oben gedrückt. Für ein solches Luft-Wasser-Gemisch ist der Impeller jedoch nicht ausgelegt. Es war daher unklar, ob er unter diesen Bedingungen noch korrekt messen kann und die Zuverlässigkeit der ersten Messergebnisse wurde angezweifelt. Dank der Erfahrung und Kreativität der technischen Mitarbeiter am FZK konnten diese Startschwierigkeiten jedoch schnell behoben werden. Dr. Bruce und sein Team freuen sich über 187 Messreihen, die es nun auszuwerten gilt.



Die Infrarotkamera zeigt die Wasserbewegung im Inneren der Kammer

Leitung

Dr. Tom Bruce

Versuchszeit

6 Wochen

Förderung durch

HYDRALAB IV - Transnational Access

Projektpartner

University of Edinburgh (Inst. of Energy Systems)

HR Wallingford

Queen's University of Belfast

2nd University of Naples

Publikationen

Allsop, W.; Bruce, T.; Alderson, J.; Ferrante, V.; Russo, V.; Vicinanza, D.; Kudella, M. (2014). Large scale tests on a generalised oscillating water column wave energy converter. In: Proceedings of the HYDRALAB IV Joint User Meeting. Lissabon, Portugal.

Miller, N. (2014). Scale effects in physical modelling of an oscillating water column (OWC) wave energy converter - small scale tests. MEng thesis. University of Edinburgh. School of Engineering.

Ruksathamcharoen, S. (2014). Comparison of small- and large-scale tests of loadings on an oscillating water column (OWC) wave energy converter. MSc thesis. University of Edinburgh. School of Engineering.

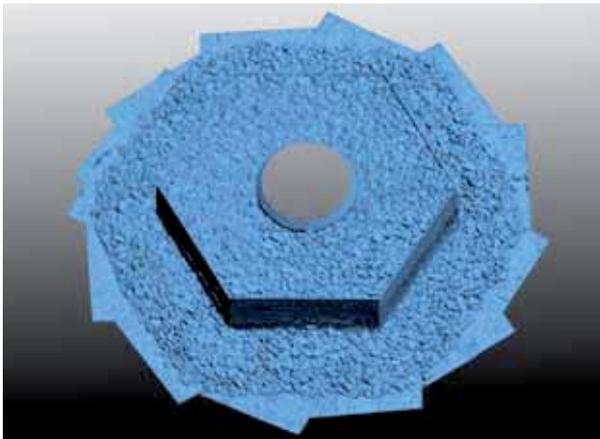


Stabilität von Ballast- und Kolkenschutzmaterial an einem Schwergewichtsfundament

Schwergewichtsfundamente finden häufig Anwendung bei der Gründung von Offshore-Windenergieanlagen (OWEA). Diese Fundamente werden so bemessen, dass sie durch das Eigengewicht und zusätzliches Ballastmaterial in der Lage sind, die Windenergieanlagen an ihrem vorgegebenen Platz zu halten. Je nach Bodenbeschaffenheit werden sie zudem mit einem Kolkenschutz umgeben.

Für die Bemessung der Fundamentstruktur sind physikalische Modelluntersuchungen notwendig, um die Größe und Kornverteilung des Ballastmaterials zu bestimmen und die Stabilität des Kolkenschutzmaterials zu überprüfen.

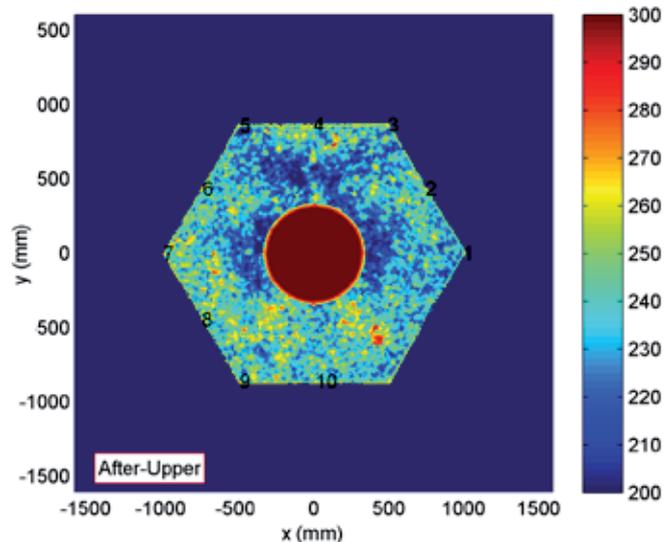
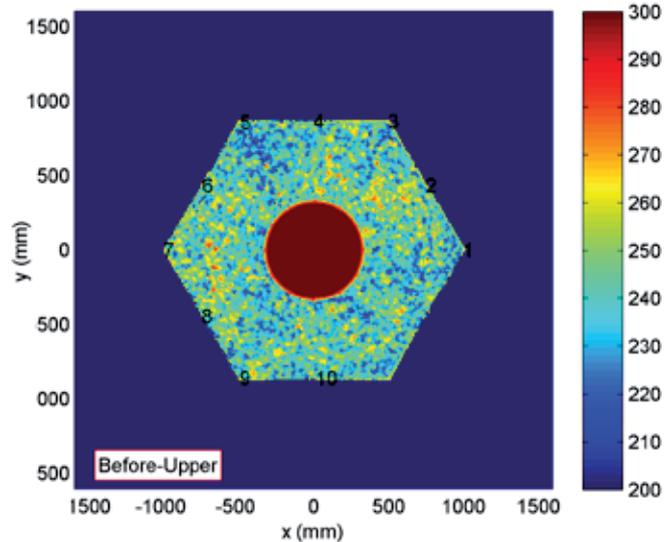
In diesem Fall haben Wissenschaftler des FZK unter der Leitung von Herrn Dr.-Ing. Schimmels und Herrn Schmidt-Kopenhagen eine sechseckige Gründungsplatte mit sechs Kammern für Ballastmaterial und umgebendem Kolkenschutz untersucht. Der Hauptpfahl war mittig eingesetzt und das gesamte Modell wurde in einem Maßstab von 1:10 im GWK eingebaut. Als Seegangbedingungen wurden Bemessungsereignisse von 3 Stunden mit Wiederkehrperioden von 10 bis 100 Jahren verwendet. Seegang wurde mittels eines JONSWAP-Spektrums simuliert, wobei die signifikanten Wellenhöhen im Modellmaßstab zwischen 0.42 und 0.55 m lagen.



3D Laserscan

Die Untersuchungen ergaben, dass der Bemessungsseegang zu starker Erosion bis zur Filterschicht führte, wenn die vorgesehenen Korngrößen für das Ballastmaterial verwendet werden. Da in diesem Fall die Stabilitätskriterien nicht erfüllt werden konnten, wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber die Korngröße erhöht und die Versuche wiederholt. Nach dieser Modifizierung konnte der Nachweis erbracht werden, dass das Fundament das notwendige Stabilitätskriterium erfüllt.

Besonders dieser Nachweis erforderte sehr hohe Messgenauigkeit bezüglich der Kolkentwicklung. Das Team vom FZK verwendete dazu einen modernen 3D Laserscanner. Indem der Versuchsaufbau vor und nach jedem Test gescannt wurde, konnte über den Vergleich der referenzierten Aufnahmen eine Aussage über die Kolkentwicklung infolge Welleneinwirkung gemacht werden. Die Auflösung der Scans war so hoch, dass die Bewegung einzelner Steine im Ballastmaterial dokumentiert werden konnte. Im Zuge des Projekts wurden auch Matlab®-Routinen zur Auswertung der Laserscandaten entwickelt. Mit ihnen ist eine automatisierte Datenanalyse möglich, so dass der Laserscanner in Zukunft standardisiert im GWK eingesetzt werden kann.



Quantitative Darstellung der 3D Laserscandaten vor und nach dem Versuch

Auftraggeber

Jan de Nul NV

Projektleitung

Dr.-Ing. Stefan Schimmels,
Reinold Schmidt-Koppenhagen

Projektbearbeitung

Anne Tönnies-Lohmann

Versuchszeit

6 Wochen

Publikationen

Tönnies-Lohmann, A.; Miranda-Lange, M.; Vousdoukas, M.I.; Schimmels, S. (2013). Stabilitätsuntersuchungen von Ballast und Kolkenschutz an einem OWEA Schwerkraftfundament. In: 9. FZK Kolloquium "Modellierung im Seebau und Küsteningenieurwesen". Hannover.

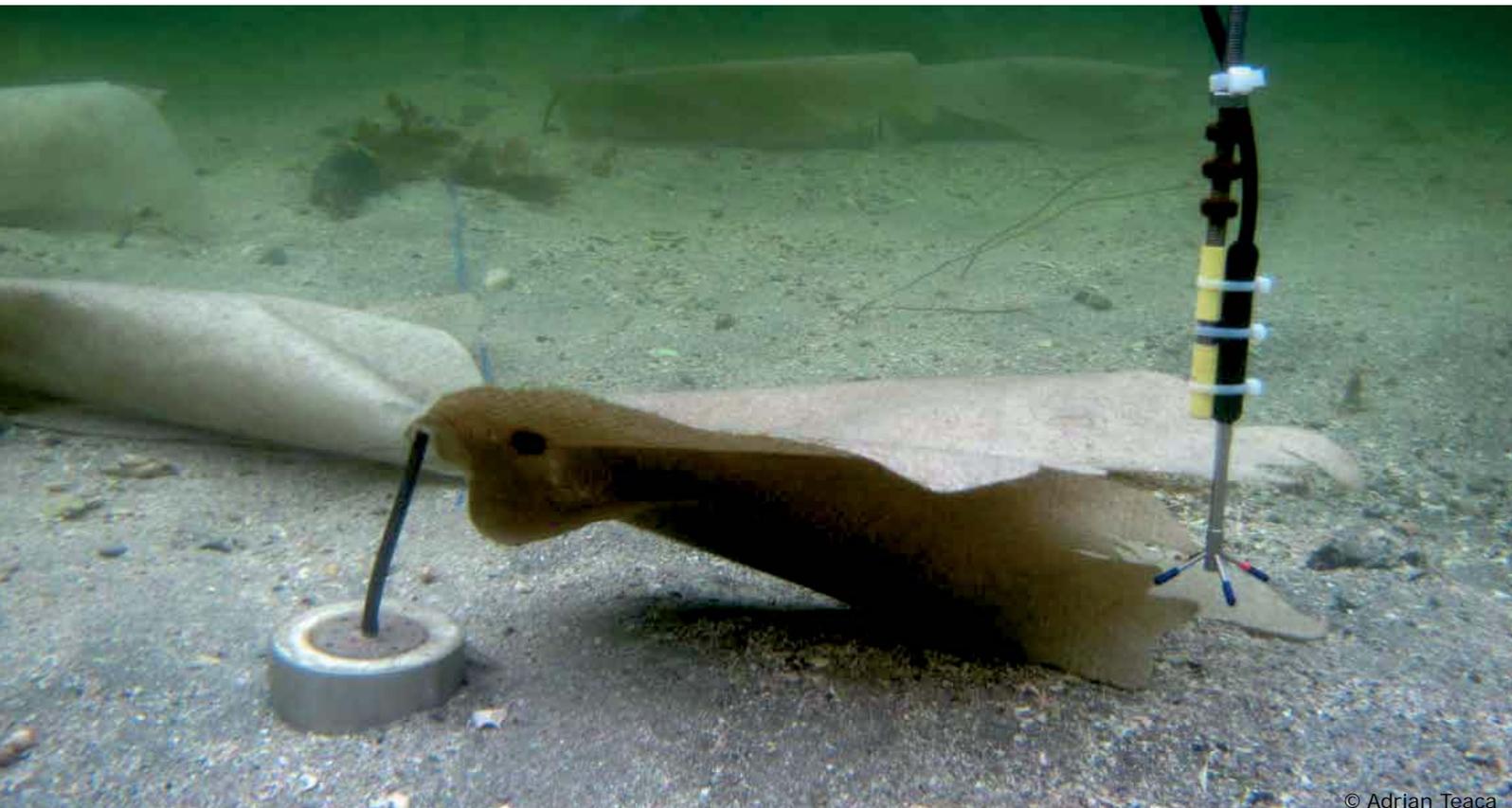


Protocols and Instrumentation for Combined hydraulic and Ecological models (PISCES)

PISCES ist eine Joint Research Activity (JRA) des Verbundprojekts HYDRALAB IV und beschäftigt sich mit der Wechselwirkung von Wasser und Biota. Ziel ist es, die experimentellen Infrastrukturen, Messinstrumente und -methoden hinsichtlich der ökologischen Forschung zu verbessern. Dabei steht die Einbindung von Vegetation und Tieren in hydraulische Versuche im Vordergrund. Des Weiteren soll evaluiert werden, in welchem Umfang ökohydraulische Laborversuche in der Lage sind, Feldbedingungen zu reproduzieren.

Das internationale Wissenschaftlerteam mit Experten vom FZK, aus Großbritannien,

Frankreich, Norwegen und den Niederlanden führte vergleichende Studien in einem norwegischen Fjord und einem Labor in Hull (Großbritannien) durch. An beiden Orten wurden dieselben Messgeräte in einem identischen Versuchsaufbau verwendet, um das Strömungsfeld im Umfeld von braunen Makroalgen aufzumessen. Damit wurde evaluiert, wie gut das natürliche Umfeld der Feldstation in Sletvik (Norwegen) im Labor rekonstruiert werden kann. Berücksichtigt wurden hierbei Geländeneigung, Sedimentzusammensetzung, Vegetationsbestand, Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit und Salzgehalt des Wassers. Im nächsten Schritt wurde die natürliche Komplexität reduziert,



© Adrian Teaca

indem ausgewählte Vegetationselemente entfernt wurden und die Anordnung der verbliebenen Elemente neu organisiert wurde. Hierbei wurden gerade und versetzte Reihenanordnungen mit der zufälligen natürlichen Anordnung verglichen. In einem dritten Schritt wurde abschließend die echte Vegetation durch künstliche (sogenannte Surrogate) ersetzt und untersucht, inwieweit die Ähnlichkeit aus hydrodynamischer Sicht gegeben ist.

Das FZK war bei diesem Projekt für das Arbeitspaket der Surrogate verantwortlich. Vegetation im Labor zu unterhalten bereitet den Pflanzen Probleme in Bezug auf Gesundheit, Vitalität und Anpassungsfähigkeit an verschiedene und sich ändernde Umweltbedingungen. Eine Möglichkeit diese Probleme zu beheben ist die Verwendung von Surrogaten, die das Verhalten von Vegetation

simulieren. Surrogate werden bereits vielfach verwendet, um die Wechselwirkung zwischen Vegetation und Hydrodynamik zu untersuchen. Es ist jedoch kaum bekannt, wie gut solche Versuche die natürlichen Gegebenheiten im Feld wiedergeben. Frau Dr. Paul verwendete daher den vergleichenden Versuchsaufbau in PISCES, um Surrogate für die braune Makroalge *Laminaria digitata* zu entwickeln, die die dominante Spezies an der norwegischen Feldstation ist. Frühere Studien haben Wuchsform, Steifigkeit und Auftrieb als die Schlüsselparameter identifiziert, die die Wechselwirkung zwischen Vegetation und Hydrodynamik steuern. In ihrer Arbeit konzentrierte sich Frau Dr. Paul daher auf diese Eigenschaften als sie Surrogate entwickelte, die die hydraulische Rauheit von *Laminaria digitata* so genau wie möglich reproduzieren.



Prototyp und Surrogat der norwegischen Population von *Laminaria digitata*

Die natürliche Algenpopulation in Sletvik wurde hinsichtlich Größe, Form, Auftrieb und Steifigkeit beprobt. Letzteres wurde für die Stiele und zum ersten Mal überhaupt, für die blattartigen Flächen ermittelt. Basierend auf den erhobenen Messdaten wurden 22 verschiedene künstliche Materialien untersucht und Surrogate aus den Materialien erstellt, die den Algen am ähnlichsten waren. Vergleiche des Verhaltens und des Strömungsfeldes in der Nähe von Surrogaten und Braunalgen sowohl im Feld als auch im Labor zeigten, dass es in direkter Umgebung der Strukturen (Abstand <0.5 m) jedoch zu deutlichen Unterschieden in den Strömungsprofilen für Surrogat und Braunalge kam. Frau Dr. Paul und ihre Kollegen vermuten, dass dies mit leichten Unterschieden im Auftriebsverhalten der Materialien erklärt werden kann. Beide Elemente neigen sich unter dem Druck des anströmenden Wassers, nehmen auf Grund ihres Auftriebs jedoch leicht verschiedene Positionen innerhalb der Wassersäule an. Dennoch ist das Team

mit den Ergebnissen sehr zufrieden, da das hydrodynamische Verhalten im weiteren Umfeld auch für gesamte Vegetationsbestände ausgesprochen gut simuliert werden konnte.

Leitung

Dr. Maike Paul

Projektlaufzeit

01.10.2010 – 30.09.2014

Förderung durch

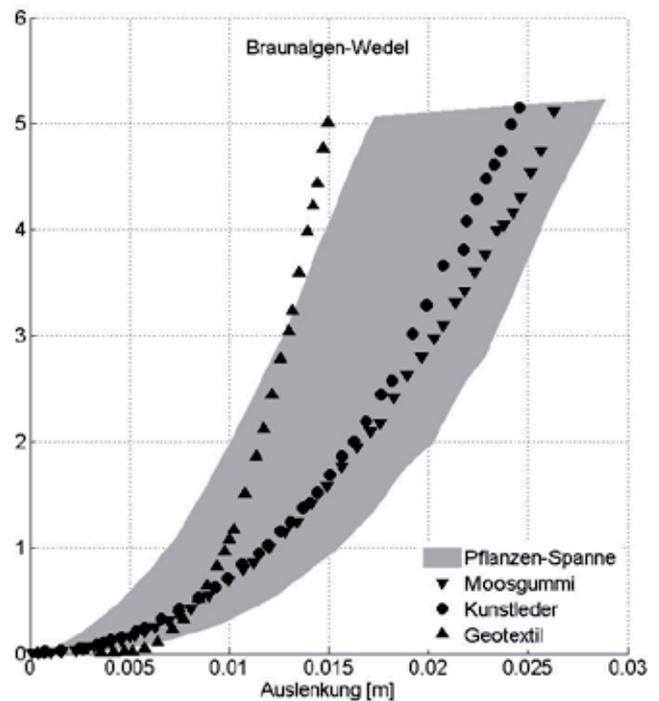
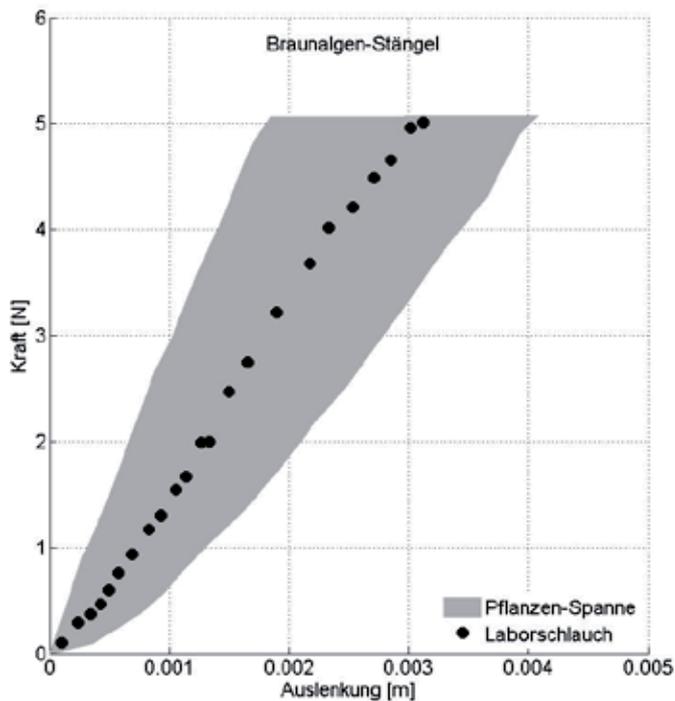
EU (FP7)

www

http://hydralab.eu/water_environmental.asp

Publikationen

Frostick, L.E.; Thomas, R.E.; Johnson, M.F.; Rice, S.P.; McLelland, S.J. (Eds, 2014). Users Guide to Ecohydraulic Modelling and Experimentation. Experience of the Ecohydraulic Research Team (PISCES) of the HYDRALAB Network. IAHR. Leiden, Niederlande: CRC Press/Balkema (IAHR Design Manual).



Kraft-Auslenkungs-Diagramm für Komponenten der natürlichen Braunalgen (grauer Bereich) und ausgewählte Surrogate.

Paul, M.; Henry, P.-Y.T. (2013). Evaluation of the use of surrogate *Laminaria digitata* in eco-hydraulic laboratory experiments. In: Proceedings of the 35th IAHR World Congress. Chengdu, China.

Paul, M.; Henry, P.-Y.T. (2014). Evaluation of the use of surrogate *Laminaria digitata* in eco-hydraulic laboratory experiments. *Journal of Hydrodynamics, Ser. B* 26 (3), 374–383, doi:10.1016/S1001-6058(14)60042-1.

Paul, M.; Henry, P.-Y.T.; Thomas, R.E. (2014). Geometrical and mechanical properties of four species of northern European brown macroalgae. *Coastal Engineering* 84, 73–80, doi:10.1016/j.coastaleng.2013.11.007.

Paul, M.; Penning, W.E.; Dijkstra, J.T.; Johnson, M.F. (2014). Using surrogate organisms in hydraulic research: guidance on their design and implementation. ZENODO, doi:10.5281/zenodo.13299.

Paul, M.; Thomas, R.E. (2014). Assessing the reality of 'realistic' experiments with macroalgae: How real can they really be? - Outcomes from the Joint Research Activity PISCES. In: Proceedings of the HYDRALAB IV Joint User Meeting. Lissabon, Portugal.

Paul, M.; Thomas, R.E.; Keevil, G.M. (2013). Concurrent field measurements of turbulent velocities, plant reconfiguration and drag forces on *Ranunculus penicillatus*. In: *Geophysical Research Abstracts Vol. 15*. Wien, Österreich. EGU.

Paul, M.; Thomas, R.E.; Keevil, G.M. (2013). Concurrent field measurements of turbulent velocities, plant reconfiguration and drag forces on *Ranunculus penicillatus*. In: Conference Programme and Abstracts Volume. 10th International Conference on Fluvial Sedimentology, Leeds, Großbritannien.

Thomas, R.E.; Johnson, M.F.; Frostick, L.E.; Parsons, D.R.; Bouma, T.J.; Dijkstra, J.T.; Eiff, O.; Gobert, S.; Henry, P.-Y.T.; Kemp, P.; McLelland, S.J.; Moulin, F.Y.; Myrhaug, D.; Neyts, A.; Paul, M.; Penning, W.E.; Puijalón, S.; Rice, S.P.; Stanica, A.; Tagliapietra, D.; Tal, M.; Tørum, A.; Vousdoukas, M.I. (2014). Physical modelling of water, fauna and flora: knowledge gaps, avenues for future research and infrastructural needs. *Journal of Hydraulic Research* 52 (3), 311–325, doi:10.1080/00221686.2013.876453.

Thomas, R.E.; Johnson, M.F.; Frostick, L.E.; Parsons, D.R.; Bouma, T.J.; Dijkstra, J.T.; Eiff, O.; Gobert, S.; Henry, P.-Y.T.; Kemp, P.; McLelland, S.J.; Moulin, F.Y.; Myrhaug, D.; Neyts, A.; Paul, M.; Penning, W.E.; Rice, S.P.; Puijalón, S.; Stanica, A.; Tagliapietra, D.; Tal, M.; Tørum, A.; Vousdoukas, M.I. (2013). Physical Modeling of Water, Fauna and Flora: A Foresight Study for Ecohydraulics. In: Proceedings of the 35th IAHR World Congress. Chengdu, China.

Wellendämpfung durch Salzwiesen

Ein Bericht von Dr. Iris Möller

Experimente im GWK liefern den Beweis, dass selbst schmale Salzwiesen Wellenhöhen während einer Sturmflut um fast 20 % reduzieren.

Ein Forschungsteam mit Mitgliedern aus Deutschland, den Niederlanden und England hat das bisher größte Laborexperiment zur Messung der Wellenreduktion über Salzwiesen am FZK durchgeführt. Für das Experiment wurden 200 m² Salzwiese aus dem norddeutschen Wattenmeer zum GWK transportiert. Die Labortests bewiesen eindeutig, dass Wellen selbst in einer Wassertiefe von 2 m über einer nur 40 Meter langen Distanz 18 % ihrer Höhe verlieren, wenn sie über eine Salzwiese laufen. Dadurch ist es bewiesen, dass Salzwiesen auch unter extremen Bedingungen einen Schutz gegen Küstenerosion und Überflutung bieten können. Durch die Wiederholung des Experiments mit einer gemähten Salzwiesenfläche gelang es dem Team unter der Leitung von Dr. Iris Möller (Cambridge, England) auch zu berechnen, dass die Pflanzendecke selbst 60 % der gemessenen Wellenreduktion verursacht.

Die Resultate des Experiments sind in der wissenschaftlichen Zeitschrift ‚Nature Geoscience‘ veröffentlicht worden und sind besonders deshalb interessant, weil die erhöhte Frequenz und Stärke von Sturmfluten im Nordseeraum eine wahrscheinliche Folge des Klimawandels sein wird. Zusammen mit dem Meeresspiegelanstieg

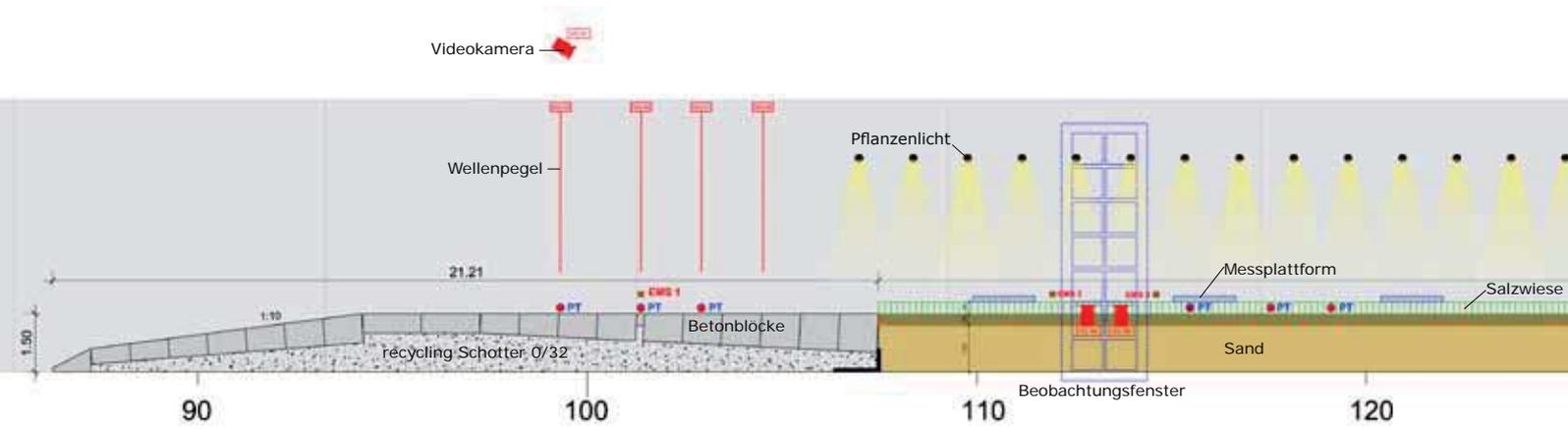


stellen Sturmfluten also eine besondere Herausforderung für den Küstenschutz dar, da sie die Bevölkerung und die Nutzung der Küstengebiete in größeres Überflutungsrisiko versetzen. Die alltäglich schützende Funktion der Salzwiesen, die oft seawärts der Deiche zu finden sind, war zwar allgemein bekannt, aber inwieweit diese natürliche Wellendämpfung auch unter extremen Wetterbedingungen, hohem Wasserstand und großen Wellen stattfindet, hatte vor diesem Experiment noch niemand erfasst.

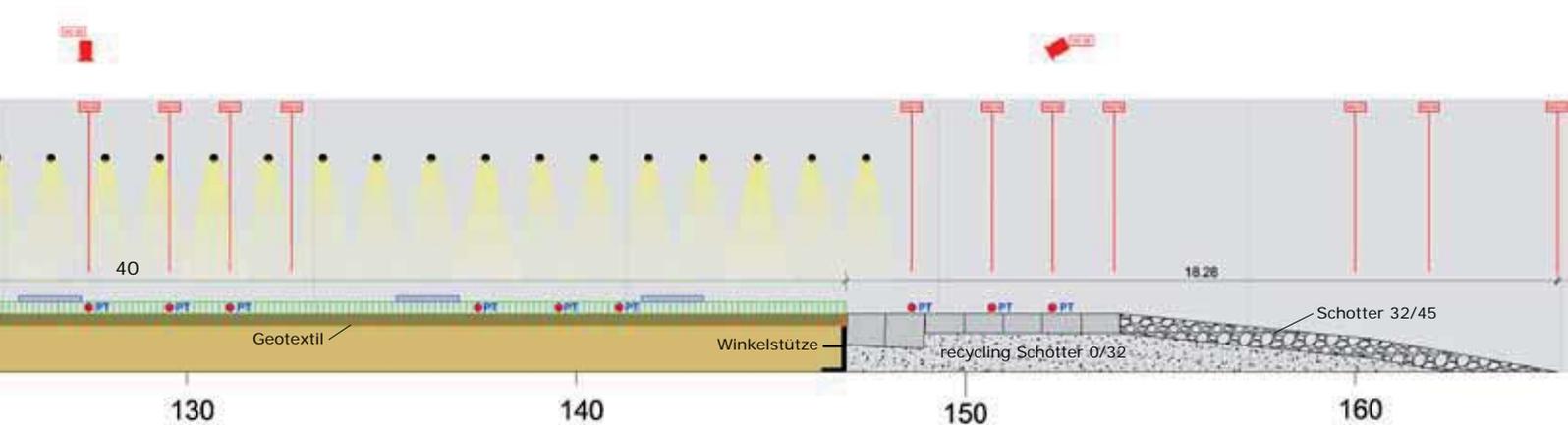
Seit mehreren Jahren interessieren sich sowohl Biologen und Ökologen als auch Ingenieure, Politiker und Küstenschutzbeauftragte mehr und mehr für die vielseitigen Funktionen (sogenannte Ökosystem-Dienstleistungen oder ‚ecosystem services‘), mit denen Salzwiesen der lokalen aber auch globalen Bevölkerung dienen. Salzwiesen reduzieren nicht nur das Überflutungs- und Erosionsrisiko an der Küste, sondern bieten auch andere ‚Dienstleistungen‘, z.B. langfristige CO₂-Speicherung und die Schaffung eines Lebensraums mit erhöhter Artenvielfalt oder Weidemöglichkeiten für Schafe und Kühe.

Das Experiment zeigte auch, dass selbst wenn die hohe Wellenenergie zum Abbrechen der Pflanzen führt, der Boden unter der Pflanzendecke stabil bleibt und dass, zumindest über den Zeitraum eines Sturmes, kein Boden von oben her abgetragen wird. Weil die Bedingungen, die in diesem Experiment simuliert wurden, in Wirklichkeit selten vorkommen und man davon ausgehen kann, dass die Vegetation sich zwischen Stürmen regenerieren kann, deuten die Ergebnisse darauf hin, dass es sich aus ökonomischen sowie ökologischen Gesichtspunkten lohnt, Salzwiesen fest in die langfristige Küsten- und Naturschutzplanung mit einzubeziehen. Das Forscherteam plant nun weitere Projekte in denen es darum geht, die Faktoren, die





Der 3D Laserscan zeigt die Verteilung der verschiedenen Salzwiesenpflanzen



für die Wellendämpfung durch Vegetation und für die Stabilität des Salzwiesenbodens wichtig sind, näher zu untersuchen. Einige der Teammitglieder arbeiten nun am Projekt FAST („Foreshore Assessment using Space Technology“ – „Begutachtung des Küstenvorlandes durch Benutzung von Weltraumtechnik“), das durch europäische Forschungsgelder finanziert wird. Das

Projekt soll in einigen Jahren ein internet-basiertes Hilfsprogramm liefern, das es ermöglicht die Stabilität und wellendämpfende Funktion verschiedener Küstengebiete durch die Benutzung von Satellitenbildern zu bestimmen. Weitere Laborexperimente zur Bestimmung der Stabilität von Salzwiesen werden auch in Erwägung gezogen.

Leitung

Dr. Iris Möller

Versuchszeit

10 Wochen

Förderung durch

HYDRALAB IV - Transnational Access

Projektpartner

Cambridge Coastal Research Unit;
Universität Hamburg; Deltares; NIOZ-Yerseke

Publikationen

Bouma, T.J. (2014). Towards the use of natural ecosystems for coastal defense: Bottlenecks, opportunities and knowledge needs. Keynote lecture. In: Proceedings of the International Coastal Biology Congress. Yantai City, China.

Möller, I.; Kudella, M.; Rupprecht, F.; Spencer, T.; Paul, M.; van Wesenbeeck, Bregje K.; Wolters, G.; Jensen, K.; Bouma, T.J.; Miranda-Lange, M.; Schimmels, S. (2014). Wave attenuation over coastal salt marshes under storm surge conditions. *Nature Geoscience* 7 (10), 727–731, doi:10.1038/ngeo2251.

Möller, I.; Rupprecht, F.; Kudella, M.; Spencer, T.; Paul, M.; van Wesenbeeck, Bregje K.; Wolters, G.; Jensen, K.; Bouma, T.J.; Miranda-Lange, M.; Schimmels, S. (2014). Wave dissipation and transformation over coastal vegetation under extreme hydrodynamic loading. In: Proceedings of the HYDRALAB IV Joint User Meeting. Lissabon, Portugal.

Möller, I.; Spencer, T.; Rupprecht, F.; Kudella, M.; Paul, M.; van Wesenbeeck, Bregje K.; Wolters, G.; Jensen, K.; Bouma, T.J. (2014). Process thresholds in plant-wave interactions on saltmarsh surfaces: implications for wave dissipation and marsh stability. In: *Geophysical Research Abstracts* Vol. 16. Wien, Österreich. EGU.

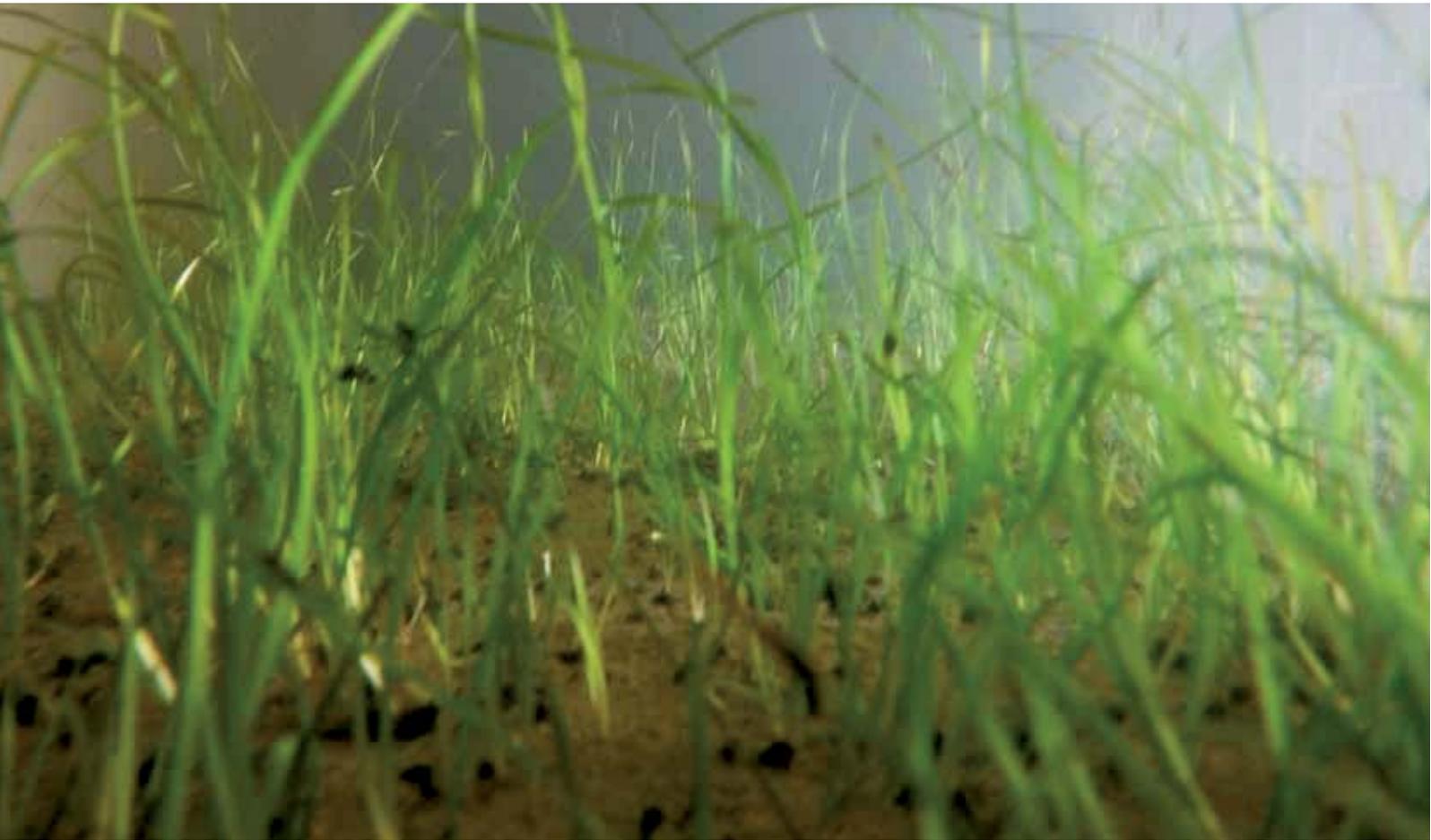
www

<http://thesaltmarshexperiment.wordpress.com/>

<http://www.youtube.com/watch?v=UqRIXOvogHc>

<http://www.cam.ac.uk/research/news/salt-marsh-plants-key-to-reducing-coastal-erosion-and-flooding>

<http://www.fast-space-project.eu/>



Nutzung von Wellen und Strömung in der Nährstoffaufnahme von Seegrass

In einer Kooperation mit Wissenschaftlern des niederländischen Instituts für Meeresforschung (NIOZ) wurde die Wechselwirkung zwischen Pflanzen und Hydrodynamik von zwei Seiten beleuchtet. Spezialisten des NIOZ untersuchten die Nährstoffaufnahme des Zwergseegrases unter dem Einfluss verschiedener hydrodynamischer Bedingungen. Und parallel dazu zeichnete Frau Dr. Paul vom FZK Strömungsprofile an vier verschiedenen Positionen im Seegrasfeld auf, um die Auswirkung der Vegetation auf Wellen und Strömung zu bestimmen. Drei verschiedene Bewuchsdichten wurden jeweils fünf verschiedenen Strömungsge-

schwindigkeiten – einmal mit und einmal ohne Wellen – ausgesetzt.

Aus den hochaufgelösten Strömungsprofilen (100 Hz) konnten Turbulenzwerte und Orbitalgeschwindigkeiten ermittelt werden, die verwendet wurden, um die Auswirkung des Seegrases auf die Hydrodynamik zu bewerten. Die Strömungsprofile wurden mit steigender Seegrasdichte immer weiter beeinflusst, indem die Strömung dicht über der Sohle gedämpft wurde. Es ergab sich ein S-förmiges Profil für die höchste Seegrasdichte und die höchste Strömungsgeschwindigkeit, sowohl mit als auch ohne

Wellen. Unabhängig vom Seegras wurden die Orbitalgeschwindigkeiten im oberen, vegetationslosen Teil der Wassersäule beeinflusst: Die Differenz zwischen maximaler und minimaler Orbitalgeschwindigkeit wurde kleiner. Innerhalb der Vegetation wurde dieser Prozess von der Dämpfung durch Seegras überlagert, wobei jedoch nur die Strömung in Wellenlaufrichtung beeinflusst wurde. Gegenläufige Strömungen unter den Wellentälern blieben unverändert.

Durch die gläserne Kanalwand konnte deutlich beobachtet werden, wie sich die Pflanzen unter erhöhter Strömung immer weiter neigen und mit der Wellenbewegung oszillieren. Trotz dieser steigenden Stromlinienförmigkeit stieg die Wellen- und Strömungsdämpfung mit steigender Seegrasdichte. Frau Dr. Paul und ihre Kollegen vermuten daher, dass die Ökosystem-Ingenieurleistungen von Seegräsern nicht durch steigende hydrodynamische Energie kompromittiert werden. Neben der Veröffentlichung dieser Ergebnisse werden die hydrodynamischen Daten als Validierung für ein numerisches Modell dienen.

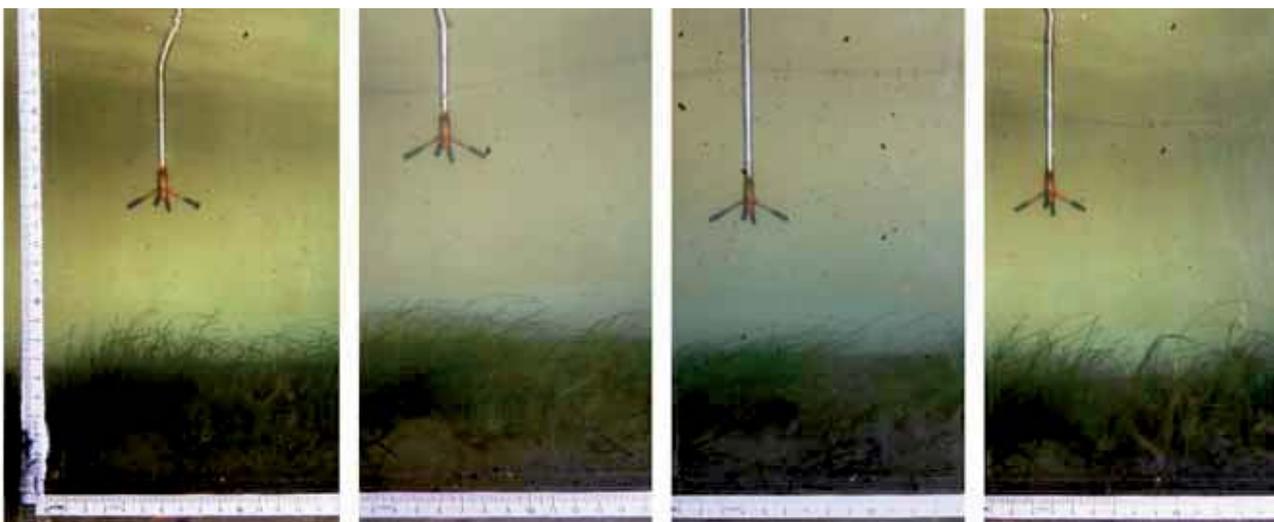
Indem auch gezielt die Überlagerung von Wellen und Strömung in dieser Studie untersucht wurde, wurden naturnahe Bedingungen auch in Hinblick auf die Nährstoffversorgung simuliert. Durch die oszillierende Bewegung unter Wellen ändert sich der Wasser- und Nährstoffaustausch zwischen den Wasserkörpern in und über dem Seegrasbestand. Für einige Versuche wurde das Wasser mit Ammoniumchlorid (NH_4Cl) versetzt. An Hand von Seegrasproben wird nun untersucht, wie sich die Nährstoffaufnahme bei unterschiedlichen hydrodynamischen Bedingungen verändert.

Publikationen

Gillis, L.G.; Paul, M.; Bouma, T.J. (eingereicht). No waves, no nutrients: How waves affect nutrient uptake in seagrass beds. Marine Ecology Progress Series.

Paul, M.; Gillis, L.G. (akzeptiert). Let it flow: How does an underlying current affect wave propagation over a natural seagrass meadow? Marine Ecology Progress Series, doi:10.3354/meps11162.

Paul, M.; Gillis, L.G. (2014). Wave propagation over seagrass and its response to an underlying current. In: Proceedings of the 10th International Symposium on Ecohydraulics. Trondheim, Norwegen.



Die Seegrasbewegung unter Wellen lässt sich deutlich erkennen

Der Große Wellenkanal

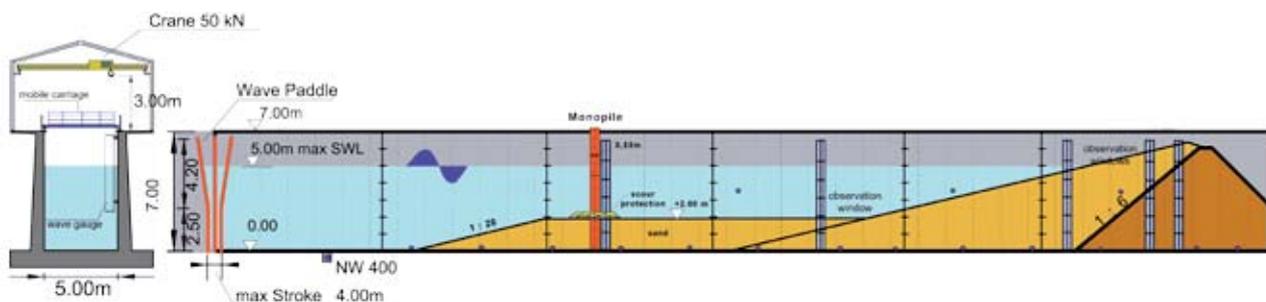
Der Große Wellenkanal (GWK) ist die zentrale Infrastruktur des FZK, in der großmaßstäbliche Laborversuche durchgeführt werden können. Die stattlichen Dimensionen von 5 m Breite, 7 m Tiefe und etwa 300 m Länge machen ihn zu einer der größten Versuchseinrichtungen ihrer Art weltweit.

Der GWK war in den Jahren 2012-2014 ca. zwei Drittel der Zeit mit Projekten belegt; dies entspricht einer Auslastung von durchschnittlich 157 Tagen pro Jahr. In der restlichen Zeit wurden notwendige Wartungsarbeiten durchgeführt, deren Zeitaufwand bei einer Anlage dieser Größe nicht zu unterschätzen ist (insgesamt 121 Tage). So musste zum Beispiel die Plunger-Stange 2012 überholt werden, was nicht bei laufendem Betrieb stattfinden konnte. Und im Sommer 2014 wurde die Wellenmaschine vom TÜV auf Herz und Nieren geprüft, was turnusmäßig alle 10 Jahre zu einer mehrwöchigen Unterbrechung im Versuchsprogramm führt.

Da der GWK zwar überdacht aber nicht geheizt ist, kommt es auch im Winter auf Grund von Frost regelmäßig zu Ausfallzeiten. Des Weiteren werden immer wieder einige belegungsfreie Tage zwischen den Projekten benötigt, um neue Infrastruktur (Seite 55) zu installieren oder neue Messtechnik zu testen, damit sie den Wissenschaftlern und Kunden des FZK zukünftig in vollem Umfang zur Verfügung stehen.

Indem Wartungsarbeiten gebündelt werden, liegen die technisch bedingten Unterbrechungen während einer Projektphase unter 5%. Dennoch kommen Besucher nur selten in den Genuss, eindrucksvolle Wellen im GWK beobachten zu können. Zwei Drittel einer Projektphase werden für Auf-, Um- und Abbau von Versuchsaufbauten benötigt. Dies liegt zum einen an den Dimensionen des GWK. Sie sorgen dafür, dass viel Material bewegt werden muss um zum Beispiel ein Podest wie für die Salzwiese (Seite 48) zu errichten. Zum anderen wird bei den meisten Versuchen eine Vielzahl von Messgeräten verwendet, die alle sorgfältig eingebaut und kalibriert werden müssen, damit die Datenerfassung während der Versuche reibungslos funktionieren kann.

Eine graphische Darstellung der GWK Nutzung befindet sich im Anhang.

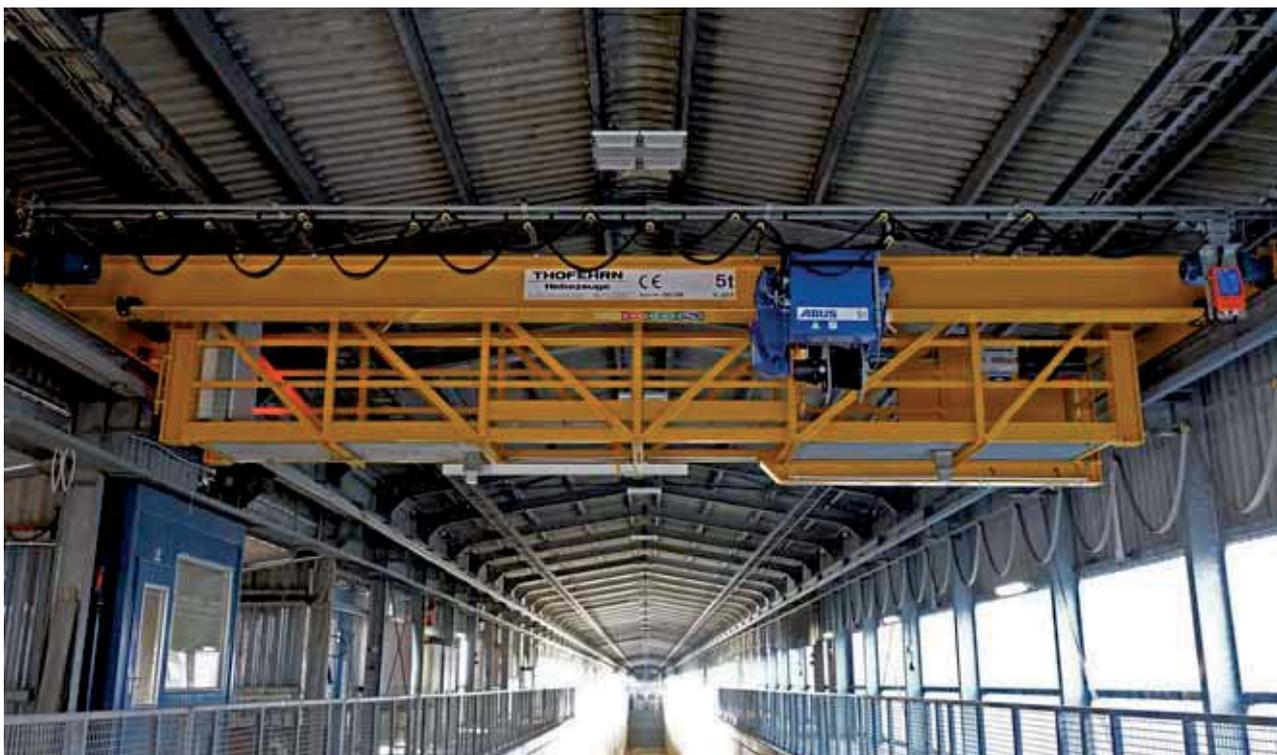


Verbesserung der Infrastruktur

Das FZK verfügt über eine große Palette an Messinstrumenten und spezielle Forschungsinfrastruktur. Diese Geräte sind die Voraussetzung für erfolgreiche Versuche und hochauflösende Daten, die zu bahnbrechenden Forschungsergebnissen führen. Wie die Forschung selbst entwickeln sich auch Mess- und Anlagentechnik stetig weiter. Darum investiert das FZK kontinuierlich in neue Geräte und Technologien um weiterhin effizient arbeiten zu können und seinen Wissenschaftlern und Kunden eine ausgezeichnete Forschungsinfrastruktur zu bieten. In den Jahren 2012-2014 hat es sowohl in der Messtechnik als auch in der technischen Infrastruktur einige Neuerungen gegeben.

Neuer Kran

2013 wurde zusätzlich zum bestehenden Kran ein neuer 5 t Brückenkran installiert. Er läuft auf der gleichen Bahn wie der bestehende Kran und wird wie dieser über eine schnurlose Fernsteuerung bedient. Moderne Lasertechnik überwacht den Abstand zwischen den Kranen und verhindert durch eine Wegfahrsperre, dass die Krane ineinander fahren und somit Schaden verursachen können. Diese Vorsichtsmaßnahme ist sinnvoll, da die beiden Krane parallel genutzt werden können, wodurch Auf-, Um- und Abbauarbeiten von Modellversuchen noch effizienter durchgeführt werden können. Der neue Kran verfügt zusätzlich über einen Laufsteg, der gleich zwei Funktionen übernimmt: Von ihm aus kann nun leicht und gefahrlos an Deckeninstallationen (z.B. Lampen) und Kabeltrassen gearbeitet werden und es können Messgeräte, wie z.B. Kameras oder Laserscanner, daran befestigt werden. Der Einsatz von optischer Messtechnik in großer Höhe wurde unter anderem intensiv im Projekt WISE genutzt (Seite 20), um die gesamte Länge des Strandprofils überblicken zu können.



Neue Beleuchtung

Seit seiner Inbetriebnahme wurde der GWK mittels Quecksilberdampf Hochdrucklampen beleuchtet; im Jahre 1983 entsprachen sie dem Stand der Technik. Doch inzwischen ist diese Technologie überholt und damit das FZK in jeder Hinsicht zum Klimaschutz beiträgt, wurden die Lampen 2014 vollständig durch moderne, energiesparende LED-Flächenleuchten ersetzt. Die neuen Leuchten erzeugen ein klares, weißes Licht, mit dem sich auch auf der Kanalsole gut und sicher arbeiten lässt und sind dabei so stark, dass auch die Anzahl der Leuchten halbiert werden konnte. 40 % der Mittel für diese Sanierung stammen aus dem Sondervermögen „Energie- und Klimafonds“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Durch diese Sanierung senkt das FZK seinen Stromverbrauch immens: Es spart etwa 44.030 kWh pro Jahr. Im Laufe der nächsten 20 Jahre – der geplanten Lebensdauer der neuen Leuchten – entspricht dies etwa 520 Tonnen CO₂.



Neue Regelung für die Wellenmaschine

Die Wellenmaschine ist das Herzstück des GWK, das bisher von einer DOS-Plattform aus betrieben wurde. Zur Sicherheit wurde stets ein redundantes System vorgehalten, im Laufe der Zeit zeichnete sich jedoch ab, dass langfristig auf ein aktuelles System mit moderner Hardware portiert werden muss. Denn nur so ist es möglich, bei Problemen auf gängige Austausch-teile zurückgreifen zu können und etwaige Ausfallzeiten zu vermeiden. Außerdem sollte der Funktionsumfang der Regelung erweitert werden, um auch zukünftig den Anforderungen der Wissenschaft gerecht zu werden. 2014 wurde daher der Wechsel auf ein Windows-basiertes Betriebssystem realisiert. Zunächst wurde dabei die Funktionalität der alten Regelung implementiert und das neue System ausgiebig getestet. Mittlerweile wurde die alte Steuer- und Regelsoftware vollständig durch die neue ersetzt. Diese wird jetzt schrittweise weiterentwickelt und verbessert, was dank des modularen Aufbaus leicht möglich ist.

3D-CAD-Planung

Die Versuchsaufbauten im GWK sind oft komplex und verlangen eine detaillierte Planung. Seit 2012 erfolgen diese Planungen am FZK dreidimensional in einem CAD Programm. Auf diese Weise steigt die Planungssicherheit und das FZK spart Zeit und Geld. Denn wenn Bauteile extern gefertigt werden müssen, können die 3D Konstruktionsdaten direkt an die entsprechenden Gewerke weitergegeben werden.

Erweiterung der Messtechnik

Im GWK werden hauptsächlich Wasserbewegungen, Drücke und andere physikalische Parameter gemessen. Die dazu gehörigen Messinstrumente sind die Voraussetzung für hochauflösende Daten und bahnbrechende Forschungsergebnisse. In den Jahren 2012-2014 wurde das Portfolio am FZK um ein Videosystem und zwei Laserscanner erweitert. Da diese Geräte inzwischen standardmäßig im GWK eingesetzt werden, gehört das FZK auch im Bereich der Messtechnik zu den Vorreitern und bleibt somit auch in Zukunft ein attraktiver Partner für Wissenschaft und Praxis.

Synchronisiertes Videosystem

Das FZK verfügt über ein Videosystem bestehend aus fünf Kameras. Vier davon machen 30 Bilder pro Sekunde mit einer Auflösung von 1292 x 964 Bildpunkten und eine Kamera macht 300 Bilder pro Sekunde, allerdings nur mit einer Auflösung von 640 x 480 Bildpunkten. Jedoch erst mit dem entsprechenden Computer, der die Ansteuerung der Kameras und die Datenspeicherung übernimmt, ist das System komplett. Alle Kameras können außerdem extern getaktet werden, womit sie synchron zur digitalen 16bit Messwerterfassung betrieben werden können. Diese Technik wurde unter anderem im Projekt WISE (Seite 20) verwendet um Videosequenzen den Daten anderer Messgeräte direkt zuordnen zu können. Die Synchronisierung mehrerer Kameras ermöglicht darüber hinaus auch eine photogrammetrische Auswertung der Bilder und somit die Erfassung von Prozessen wie z.B. die morphologische Veränderung an Stränden oder die Kolkbildung an Strukturen.

2D Laserscanner

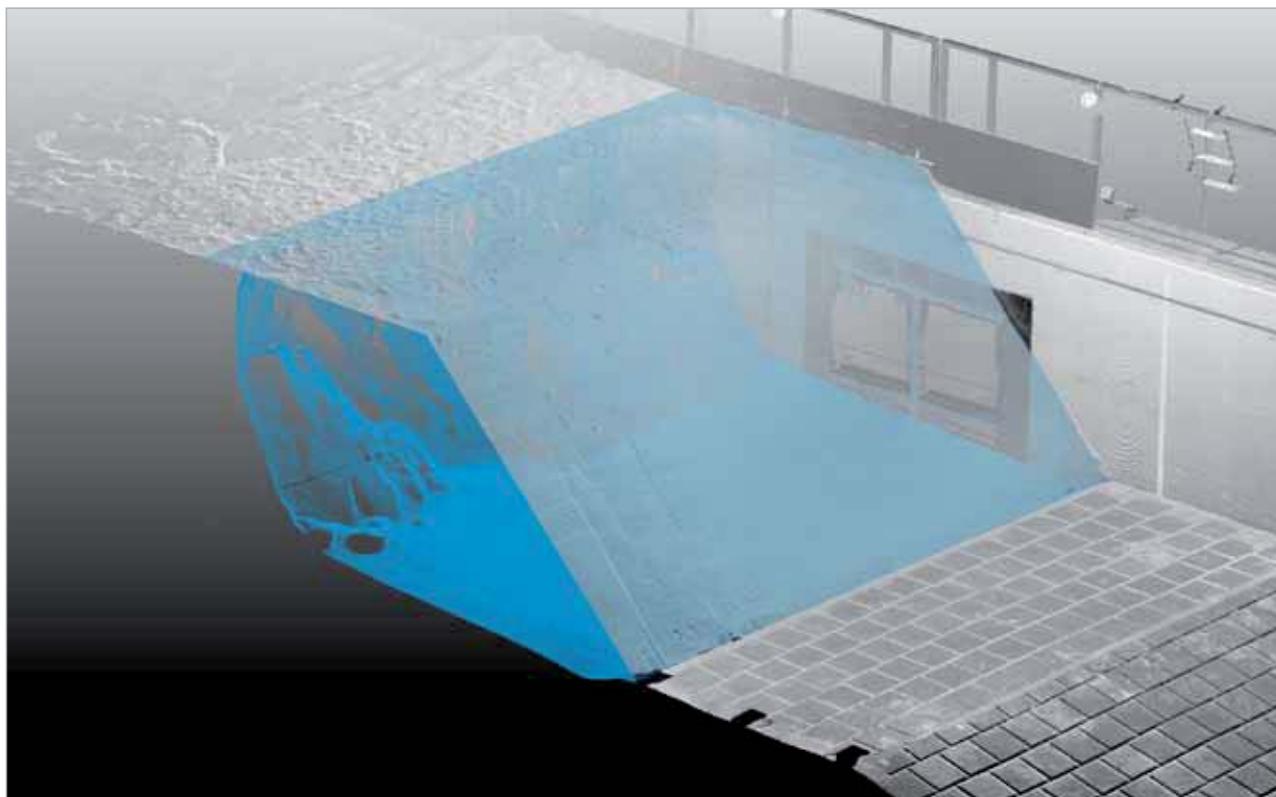
Mit dem 2D Laserscanner der Firma Sick können am FZK Bewegungen in Echtzeit verfolgt werden. Somit können, beispielsweise wie im Projekt zur Schubspannungsmessung in der Wellenauflaufzone (Seite 16) oder im Projekt WISE (Seite 20), die Wellen in der Brecher- und Wellenauflaufzone zeitlich und räumlich hochaufgelöst erfasst werden. Der Scanner wird aber auch eingesetzt, um Veränderungen von Strand- oder Dünenprofilen unter Wellenangriff zu bestimmen (z.B. Dünenstabilität Wangerooge, Seite 24). Bei einer Winkelauflösung von $0,5^\circ$ ist eine Aufzeichnungsfrequenz von 36 Hz möglich. Die Messgenauigkeit des 2D Laserscanners beträgt für Entfernungen, wie sie im GWK üblich sind, ± 35 mm. Da die Winkelauflösung konstant ist, variiert die räumliche Auflösung der Messpunkte stark und kann von 5 cm bis in den Dezimeterbereich reichen, wenn der Scanner beispielsweise 5 m oberhalb des zu erfassenden Profils installiert ist. Diese Technologie liefert eine räumlich und zeitlich hohe Dichte an Messpunkten, wie sie nur noch – allerdings mit wesentlich höherem Aufwand in der Auswertung – mit dem synchronisierten Videosystem erreicht werden kann, wenn es für eine photogrammetrische Aufnahme eingerichtet ist.



3D Laserscanner

Mit dem FARO Laser Scanner Focus 3D-S120 können dreidimensionale Abbildungen von Oberflächen einschließlich Farbinformationen erzeugt werden. Im GWK wird er für die Aufnahme von Sohlprofilen (z.B. Strand- und Dünenprofile, Kolke, Transportkörper) und für die Identifizierung von Umlagerungsvorgängen (z.B. Steinschüttungen, Deckwerkselemente) angewendet: Indem Scans vor und nach einem Versuch gemacht werden, kann die Verschiebung von Steinen oder Sediment während des Versuchs aus der Differenz der Scans errechnet werden. Liegt der kürzeste Abstand zwischen Scanner und Objekt bei ca. 9 m und ist eine Punktauflösung im Millimeterbereich eingestellt, kann ein 360° Scan in 5 bis 15 Minuten durchgeführt werden.

Selbst die Erfassung ausgedehnter Oberflächen, die nicht mit einem einzigen Scanvorgang aufgenommen werden können, ist möglich. Hierzu werden mehrere Scans von versetzten Positionen aus aufgenommen und anschließend in der Auswertungssoftware zusammen gesetzt. Für diese Referenzierung der Einzel-Scans gibt es über den gesamten GWK verteilt fest eingemessene Referenzpunkte. Dank der hohen Qualität und der vergleichsweise einfachen Durchführung der Messungen, wurde der 3D Laserscanner bereits in zahlreichen Projekten eingesetzt (z.B. Seite 42 und 48).



Das Bild zeigt zwei 3D Laserscans übereinander gelegt. Der vordere transparente Scan zeigt einen Dünenaufbau vor dem Versuch, der blaue durchscheinende Scan wurde nach dem Versuch aufgenommen. Auf diese Weise kann berechnet werden, welches Sandvolumen durch die Wellen abgetragen wurde.

Veranstaltungen

Das FZK beteiligt sich an Informationsveranstaltungen für die breite Öffentlichkeit und richtet regelmäßig Veranstaltungen für Vertreter aus Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung aus.

Hannover Messe 2012

Das FZK präsentierte sich vom 23.-27.4.2012 bei der Hannover Messe auf dem Stand des Landes Niedersachsen. Mit einem Wellenkanalmodell des Franzius-Instituts als Publikumsmagnet wurden den internationalen Besuchern Einblicke in die Thematik des Küsteningenieurwesens ermöglicht. Mit Filmausschnitten und in persönlichen Gesprächen wurden Interessenten die aktuellen Forschungsbereiche des FZK näher gebracht.



Nacht die W!ssen schafft 2012

Gemeinsam mit zahlreichen anderen Instituten und Einrichtungen der Leibniz Universität Hannover öffnete das FZK seine Tore am 10.11.2012 zur Nacht, die W!ssen schafft, um der interessierten Öffentlichkeit einen Einblick in seine Forschungsaktivitäten zu gewähren. Im halbstündigen Turnus waren im GWK über 2 m hohe fokussierte Wellen zu bestaunen. Dazwischen wurde immer wieder ein Seegangsspektrum erzeugt, dessen Energie und Kraft am Ende des Kanals am deutlichsten wurden. Dort brachen die Wellen auf einen Asphaltdeich und Zuschauer konnten vereinzelt nasse Füße bekommen.



9. FZK Kolloquium

Das 9. FZK Kolloquium am 26. Februar 2013 stand unter dem Thema „Modellierung im Seebau und Küsteningenieurwesen“. Es gab neben zahlreichen Fachvorträgen reichlich Gelegenheit zu persönlichen Gesprächen. Über 130 Gäste informierten sich über die aktuellen Forschungstätigkeiten des FZK und tauschten sich über laufende und geplante Vorhaben sowie bestehenden Forschungsbedarf aus.



CG Joint 2014

Vom 8.-12. September 2014 veranstaltete das Franzius-Institut das 7. Chinese-German Joint Symposium on Hydraulic and Ocean Engineering, an dessen Vorbereitung Mitarbeiter des FZK beteiligt waren. Etwa 150 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus China, Taiwan und Deutschland nutzten das abwechslungsreiche Programm mit einer Kombination von Fachvorträgen und Exkursionen zum Austausch über die Auswirkungen des Klimawandels und den Ausbau der Offshore-Windenergie in China und Deutschland.



Bürgerfest zum Tag der Deutschen Einheit

Das FZK beteiligte sich am 2. und 3.10.2014 mit einem Informationsstand am Bürgerfest zum Tag der Deutschen Einheit in Hannover. An Hand des Kanalmodells des Franzius-Instituts erläuterten Mitarbeitende des FZK wie Wellen entstehen und sich verändern. Filmausschnitte erläuterten zusätzlich, warum Küstenforschung für uns alle wichtig ist. Neben zahlreichen interessierten Bürgerinnen und Bürgern besuchte auch die Niedersächsische Ministerin für Wissenschaft und Kultur, Frau Dr. Heinen-Kljajić, den Stand und informierte sich über die neuesten Erkenntnisse und Entwicklungen in der Forschung im Küsteningenieurwesen.



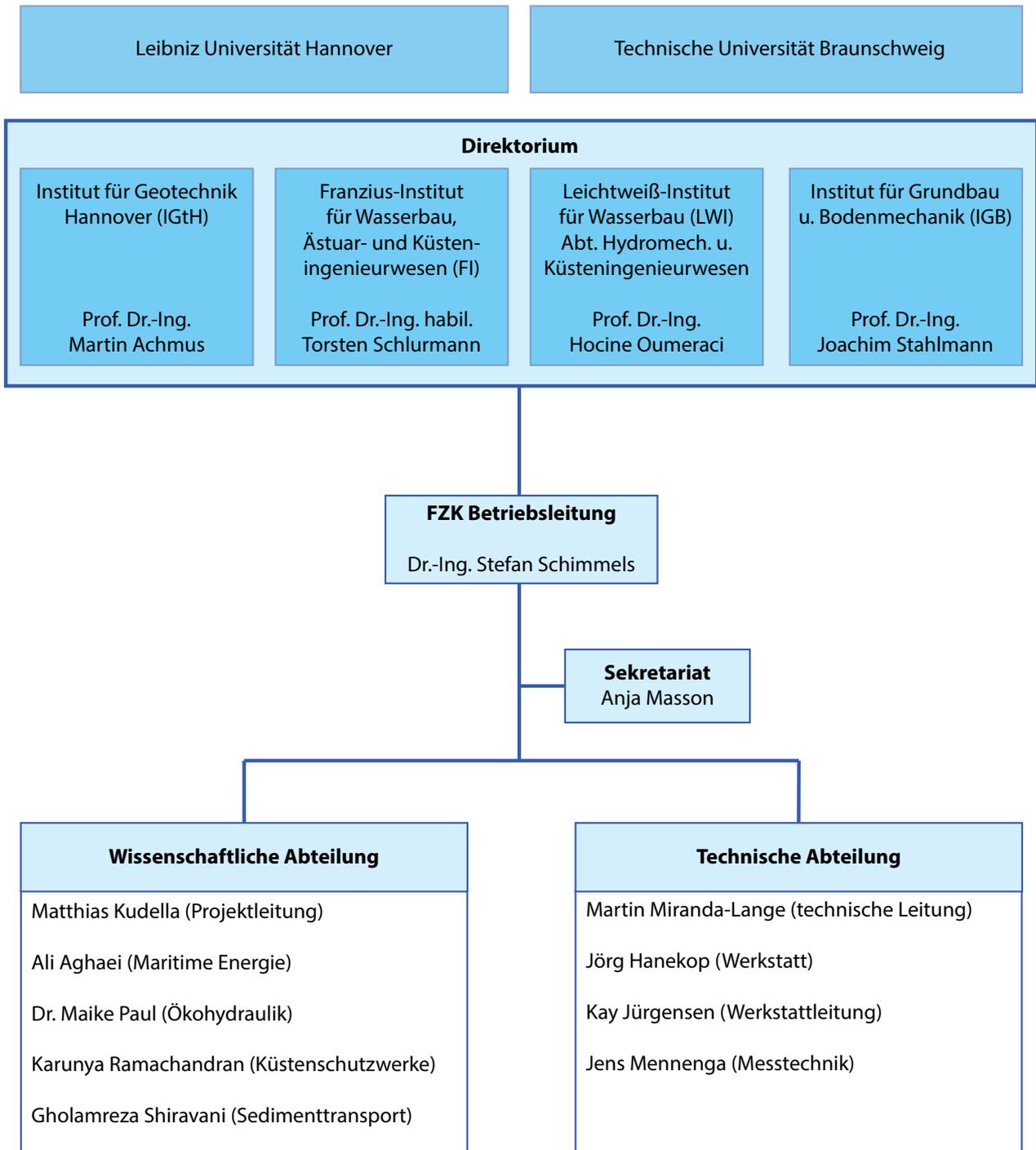
Nacht die W!ssen schafft 2014

Auch zur Nacht, die W!ssen schafft 2014, zog es wieder hunderte von Interessierten ans FZK um die Arbeit im GWK zu bestaunen. In diesem Jahr war das Wellenkraftwerk (siehe S. 38) im Kanal installiert und die Besucher konnten erfahren, wie aus Wellen Strom erzeugt werden kann. Vor allem die großen Wellen im Seegangsspektrum, die spritzend auf die senkrechte Wand des Bauwerks schlugen, sorgten bei großen und kleinen Besuchern für Begeisterung. Zusätzlich wurden im stündlichen Programm eine fokussierte Welle und regelmäßige Wellen erzeugt, um die gesamte Bandbreite der Wellenerzeugung zu demonstrieren.



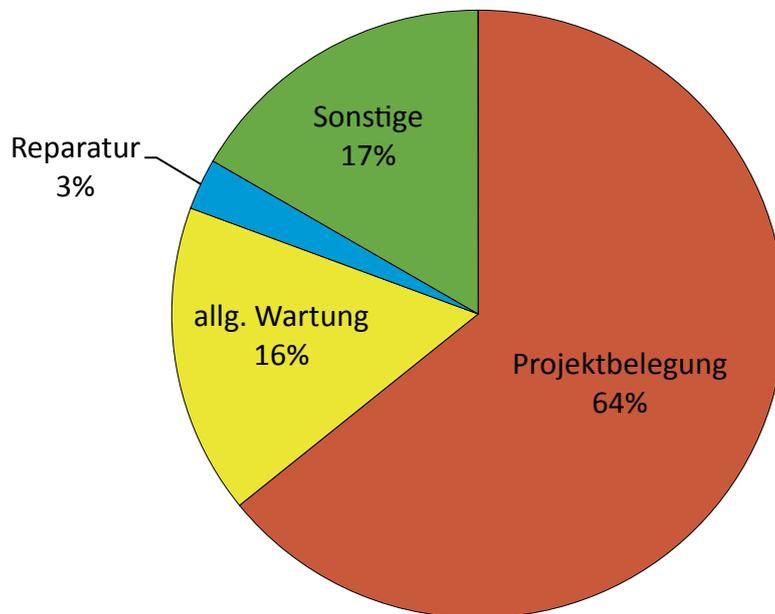
ANHANG

Organigramm

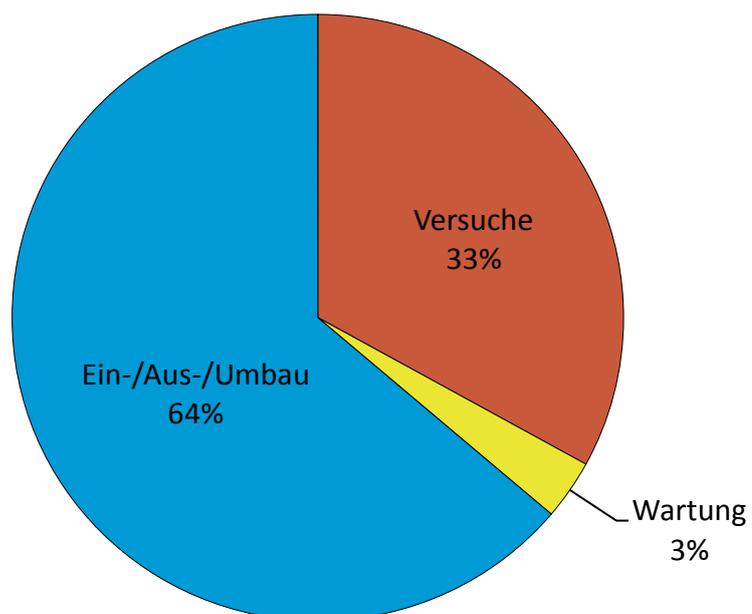


GWK Nutzung

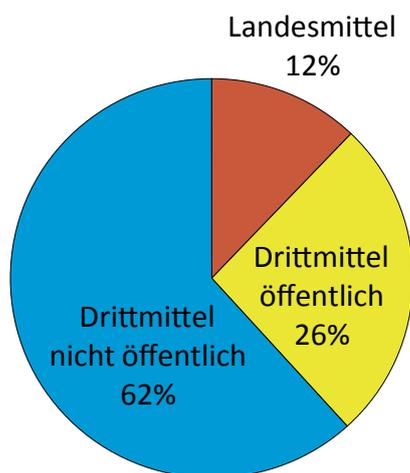
GWK Auslastung, gesamt



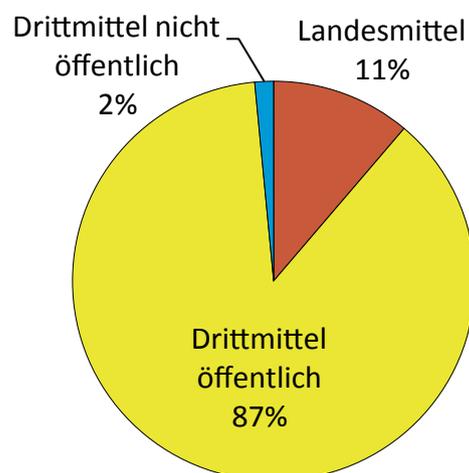
Aufteilung im Projekt, gemittelt



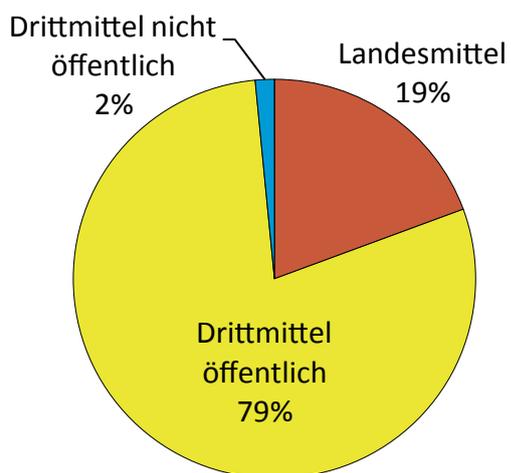
Finanzierung



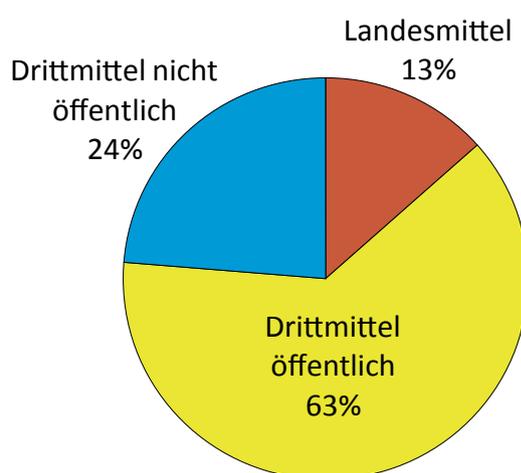
2012



2013

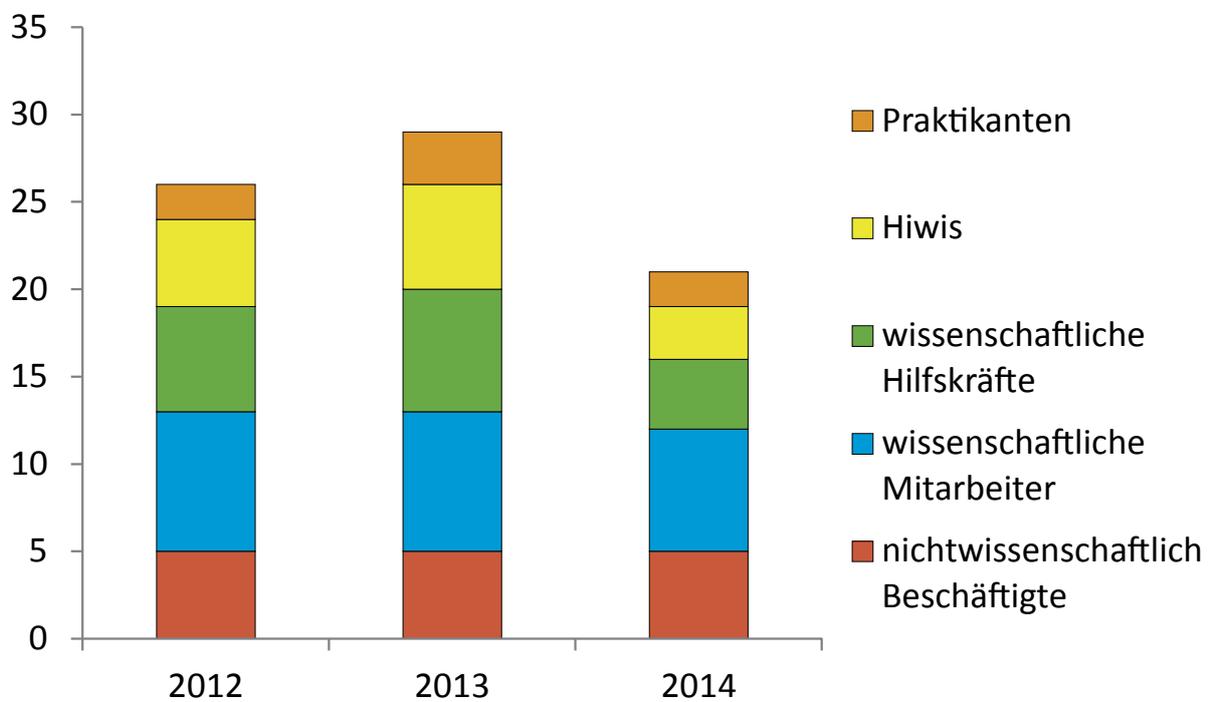
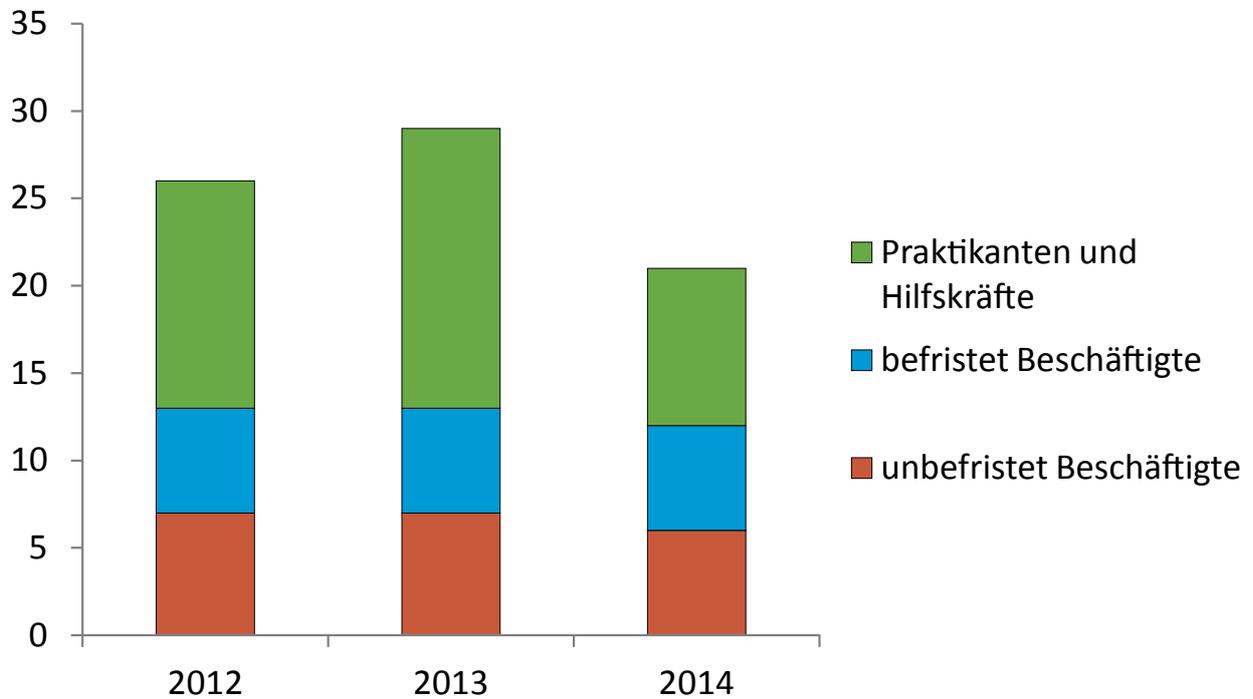


2014

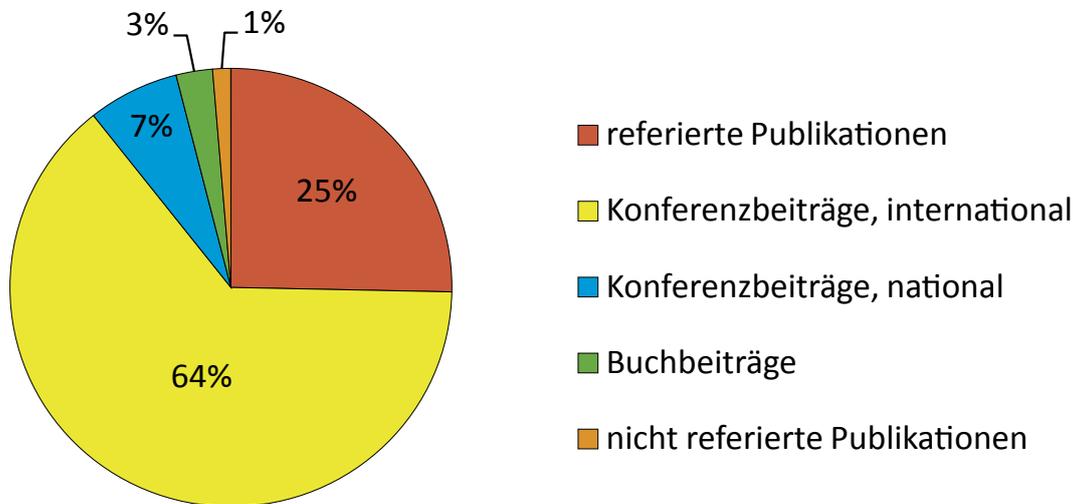


gesamt

Personal



Publikationen



Veröffentlichungen 2012-2014 (75 gesamt)

Referierte Publikationen und Buchbeiträge

Almeida, L.P.M.; Vousdoukas, M.I.; Ferreira, Ó.; Rodrigues, B.A.; Matias, A. (2012). Thresholds for storm impacts on an exposed sandy coastal area in southern Portugal. *Geomorphology* 143-144, 3–12, doi: 10.1016/j.geomorph.2011.04.047.

Fernández, H.; Iglesias, G.; Carballo, R.; Castro, A.; Fraguera, J.A.; Taveira-Pinto, F.; Sánchez, M. (2012). The new wave energy converter WaveCat: Concept and laboratory tests. *Marine Structures* 29 (1), 58–70, doi:10.1016/j.marstruc.2012.10.002.

Fernández, H.; Sriram, V.; Schimmels, S.; Oumeraci, H. (2014). Extreme wave generation using self correcting method — Revisited. *Coastal Engineering* 93, 15–31, doi: 10.1016/j.coastaleng.2014.07.003.

Fortes, C.J.; Ferreira, Ó.; Silva, P.A.; Moura, T.; Capitão, R.; Amante, L.; Vousdoukas, M.I.; Bezerra, M. (2012). Joint use of data and modeling in coastal wave transformation. *Journal of Coastal Conservation* 16 (4), 461–472, doi: 10.1007/s11852-012-0187-2.

Gillis, L.G.; Paul, M.; Bouma, T.J. (eingereicht). No waves, no nutrients: How waves affect nutrient uptake in seagrass beds. *Marine Ecology Progress Series*.

Iglesias, G.; Sánchez, M.; Carballo, R.; Fernández, H. (2012). The Tidal Stream Exploitability (TSE) index- a new tool for selecting tidal stream sites in depth limited regions. *Renewable Energy* 48, 350–357, doi: 10.1016/j.renene.2012.05.012.

Johnson, M.F.; Thomas, R.E.; Dijkstra, J.T.; Paul, M.; Penning, W.E.; Rice, S.P. (2014). Using surrogates, including scaling issues, in laboratory flumes and basins, Chapter 3. In: *Users Guide to Ecohydraulic Modelling and Experimentation. Experience of the Ecohydraulic Research Team (PISCES) of the HYDRALAB Network* (L. E. Frostick, R. E. Thomas, M. F. Johnson, S. P. Rice, S. J. McLelland. Leiden, Niederlande: CRC Press/Balkema (IAHR Design Manual).

Möller, I.; Kudella, M.; Rupprecht, F.; Spencer, T.; Paul, M.; van Wesenbeeck, Bregje K.; Wolters, G.; Jensen, K.; Bouma, T.J.; Miranda-Lange, M.; Schimmels, S. (2014). Wave attenuation over coastal salt marshes under storm surge conditions. *Nature Geoscience* 7 (10), 727–731, doi:10.1038/ngeo2251.

Paul, M.; Bouma, T.J.; Amos, C.L. (2012). Wave attenuation by submerged vegetation: combining the effect of organism traits and tidal current. *Marine Ecology Progress Series* 444, 31–41, doi:10.3354/meps09489.

Paul, M.; Henry, P.-Y.T. (2014). Evaluation of the use of surrogate *Laminaria digitata* in eco-hydraulic laboratory experiments. *Journal of Hydrodynamics, Ser. B.* 26 (3), 374–383, doi:10.1016/S1001-6058(14)60042-1.

Paul, M.; Henry, P.-Y.T.; Thomas, R.E. (2014). Geometrical and mechanical properties of four species of northern European brown macroalgae. *Coastal Engineering* 84, 73–80, doi:10.1016/j.coastaleng.2013.11.007.

Paul, M.; Thomas, R.E.; Dijkstra, J.T.; Penning, W.E.; Vousdoukas, M.I. (2014). Plants, hydraulics and sediment dynamics, Chapter 6. In: *Users Guide to Ecohydraulic Modelling and Experimentation. Experience of the Ecohydraulic Research Team (PISCES) of the HYDRALAB Network* (L. E. Frostick, R. E. Thomas, M. F. Johnson, S. P. Rice, S. J. McLelland. Leiden, Niederlande: CRC Press/Balkema (IAHR Design Manual).

Paul, M.; Gillis, L.G. (akzeptiert). Let it flow: How does an underlying current affect wave propagation over a natural seagrass meadow? *Marine Ecology Progress Series*, doi:10.3354/meps11162.

Thomas, R.E.; Johnson, M.F.; Frostick, L.E.; Parsons, D.R.; Bouma, T.J.; Dijkstra, J.T.; Eiff, O.; Gobert, S.; Henry, P.-Y.T.; Kemp, P.; McLelland, S.J.; Moulin, F.Y.; Myrhaug, D.; Neyts, A.; Paul, M.; Penning, W.E.; Puijalon, S.; Rice, S.P.; Stanica, A.; Tagliapietra, D.; Tal, M.; Tørum, A.; Vousdoukas, M.I. (2014). Physical modelling of water, fauna and flora: knowledge gaps, avenues for future research and infrastructural needs. *Journal of Hydraulic Research* 52 (3), 311–325, doi:10.1080/00221686.2013.876453.

Vousdoukas, M.I. (2012). Erosion/accretion patterns and multiple beach cusp systems on a meso-tidal, steeply-sloping beach. *Geomorphology* 141-142, 34–46, doi:10.1016/j.geomorph.2011.12.003.

Vousdoukas, M.I.; Almeida, L.P.M.; Ferreira, Ó. (2012). Beach erosion and recovery during consecutive storms at a steep-sloping, meso-tidal beach. *Earth Surface Processes and Landforms* 37 (6), 583–593, doi:10.1002/esp.2264.

Vousdoukas, M.I.; Ferreira, Ó.; Almeida, L.P.M.; Pacheco, A. (2012). Toward reliable storm-hazard forecasts: XBeach calibration and its potential application in an operational early-warning system. *Ocean Dynamics* 62 (7), 1001–1015, doi:10.1007/s10236-012-0544-6.

Vousdoukas, M.I.; Perakakis, P.; Idrissi, S.; Vila, J. (2012). SVMt: a MATLAB toolbox for stereo-vision motion tracking of motor reactivity. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 108 (1), 318–329, doi:10.1016/j.cmpb.2012.01.006.

Vousdoukas, M.I.; Velegakis, A.; Paul, M.; Dimitriadis, C.; Makrykosta, E.; Koutsoubas, D. (2012). Field observations and modeling of wave attenuation over colonized beachrocks. *Continental Shelf Research* 48, 100–109, doi:10.1016/j.csr.2012.08.015.

Vousdoukas, M.I.; Wziątek, D.; Almeida, L.P.M. (2012). Coastal vulnerability assessment based on video wave run-up observations at a meso-tidal, reflective beach. *Ocean Dynamics* 62, 123–137, doi:10.1007/s10236-011-0480-x.

Vousdoukas, M.I.; Kirupakaramoorthy, T.; Oumeraci, H.; de la Torre, M.; Wübbold, F.; Wagner, B.; Schimmels, S. (2014). The role of combined laser scanning and video techniques in monitoring wave-by-wave swash zone processes. *Coastal Engineering* 83, 150–165, doi:10.1016/j.coastaleng.2013.10.013.

Konferenzbeiträge und nicht referierte Publikationen

Allsop, W.; Bruce, T.; Alderson, J.; Ferrante, V.; Russo, V.; Vicinanza, D.; Kudella, M. (2014). Large scale tests on a generalised oscillating water column wave energy converter. In: *Proceedings of the HYDRALAB IV Joint User Meeting*. Lissabon, Portugal.

de la Torre, M.; Vousdoukas, M.I.; Schimmels, S.; Fernández, H.; Kirupakaramoorthy, T. (2014). Large scale tests of beach profile response sensitivity to the initial topography under erosive or accretive conditions. In: *Proceedings of the IAHR Europe Congress*. Porto, Portugal.

de Rouck, J.; van Doorslaer, K.; Versluys, T.; Ramachandran, R.; Schimmels, S.; Kudella, M. (2012). Full scale impact tests of an overtopping bore on a vertical wall in the Large Wave Flume (GWK) in Hannover. In: *Proceedings of the 33rd International Conference on Coastal Engineering*. Santander, Spanien.

Fernández, H.; Iglesias, G.; Carballo, R.; Castro, A. (2012). Optimization of the WaveCat wave energy converter. In: *Proceedings of the 33rd International Conference on Coastal Engineering*. Santander, Spanien.

Fernández, H.; Iglesias, G.; Lopez, I.; Schimmels, S. (2013). WaveCat wave energy converter modelling by means of a RANS-VoF numerical model. In: *Proceedings of the International Conference on Computational Methods in Marine Engineering*. Hamburg.

- Fernández, H.; Schimmels, S.; Sriram, V. (2013). Focused wave generation by means of a self correcting method. In: Proceedings of the International Conference on Offshore and Polar Engineering. Anchorage, USA.
- Fernández, H.; Vousdoukas, M.I.; Schimmels, S.; Allajbej, I. (2013). Real time wave prediction for WEC control system optimization using dynamic neural networks. In: Proceedings of the European Wave and Tidal Energy Conference. Aalborg, Dänemark.
- Fernández, H.; Carballo, R.; Iglesias, G.; Schimmels, S. (2014). Impact of wave energy exploitation in the Galician (NW Spain) wave climate. In: Proceedings of the IAHR Europe Congress. Porto, Portugal.
- Fernández, H.; Sriram, V.; Schimmels, S.; Budzik, M.; Oumeraci, H. (2014). Focused wave generation in laboratory flumes over uneven bottom. In: Proceedings of the 34th International Conference on Coastal Engineering. Seoul, Korea.
- Horstmann, N.; Hinze, K.; Schimmels, S.; Oumeraci, H. (2012). Incorporation of pre-existing damages into a risk-based life cycle strategy for coastal structures. In: Proceedings of the 33rd International Conference on Coastal Engineering. Santander, Spanien.
- Horstmann, N.; Hinze, K.; Schimmels, S.; Oumeraci, H. (2012). Risk-Based Life Cycle MIM Strategy for Coastal Structures – Effect of pre-existing Damages on Failure Probability. In: Proceedings of the 33rd International Conference on Coastal Engineering. Santander, Spanien.
- Horstmann, N.; Kudella, M.; Schimmels, S.; Oumeraci, H. (2012). Investigation of Scour Development underneath Offshore Gravity Foundations during lowering - Large Scale Model Tests. In: Proceedings of the 4th International Conference on the Application of Physical Modelling to Port and Coastal Protection. Ghent, Belgien.
- Horstmann, N.; Schimmels, S.; Hinze, K.; Oumeraci, H. (2012). Risk-based monitoring, inspection and maintenance framework for coastal structures. In: Proceedings of the 3rd International Symposium on Life Cycle Civil Engineering. Wien, Österreich.
- Jayawardena, L.; Bay, G.; Raveenthiran, K.; Amari, M.; Mendis, M.S.; Kirupakaramoorthy, T. (2012). 3D Physical Model Testing on Breakwater Stability of New El Kala Fishery Harbour. In: Proceedings of the 8th International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries. Chennai, Indien.
- Kontogianni, A.; Tourkolias, C.; Vousdoukas, M.I.; Skourtos, M. (2012). The social cost of coastal erosion. Using cultural theory to enrich the interpretation of stated preference data. In: Geophysical Research Abstracts Vol. 14. Wien, Österreich. EGU.
- Kudella, M.; Horstmann, N.; Oumeraci, H.; Schimmels, S. (2012). Bedding Layer Stability During the Installation of a Gravity Base Offshore Structure. In: Proceedings of the 6th Chinese-German Joint Symposium on Hydraulic and Ocean Engineering. Keelung, Taiwan.
- Kudella, M.; Horstmann, N.; Vousdoukas, M.I.; Schimmels, S.; Oumeraci, H. (2013). Untersuchungen zur Kolkbildung beim Absenkvorgang eines Schwerkraftfundaments. In: 9. FZK Kolloquium "Modellierung im Seebau und Küsteningenieurwesen". Hannover.
- Möller, I.; Rupprecht, F.; Kudella, M.; Spencer, T.; Paul, M.; van Wesenbeeck, Bregje K.; Wolters, G.; Jensen, K.; Bouma, T.J.; Miranda-Lange, M.; Schimmels, S. (2014). Wave dissipation and transformation over coastal vegetation under extreme hydrodynamic loading. In: Proceedings of the HYDRALAB IV Joint User Meeting. Lissabon, Portugal.
- Möller, I.; Spencer, T.; Rupprecht, F.; Kudella, M.; Paul, M.; van Wesenbeeck, Bregje K.; Wolters, G.; Jensen, K.; Bouma, T.J. (2014). Process thresholds in plant-wave interactions on saltmarsh surfaces: implications for wave dissipation and marsh stability. In: Geophysical Research Abstracts Vol. 16. Wien, Österreich. EGU.
- Paul, M. (2013). Wie bringt man Pflanzen ins Labor – Methoden zur öko-hydraulischen Modellierung. In: 9. FZK Kolloquium "Modellierung im Seebau und Küsteningenieurwesen". Hannover.
- Paul, M.; Henry, P.-Y.T. (2013). Evaluation of the use of surrogate *Laminaria digitata* in eco-hydraulic laboratory experiments. In: Proceedings of the 35th IAHR World Congress. Chengdu, China.
- Paul, M.; Thomas, R.E.; Keevil, G.M. (2013). Concurrent field measurements of turbulent velocities, plant reconfiguration and drag forces on *Ranunculus penicillatus*. In: Geophysical Research Abstracts Vol. 15. Wien, Österreich. EGU.

- Paul, M.; Thomas, R.E.; Keevil, G.M. (2013). Concurrent field measurements of turbulent velocities, plant reconfiguration and drag forces on *Ranunculus penicillatus*. In: Conference Programme and Abstracts Volume. 10th International Conference on Fluvial Sedimentology, Leeds, Großbritannien.
- Paul, M.; Gillis, L.G. (2014). Wave propagation over seagrass and its response to an underlying current. In: Proceedings of the 10th International Symposium on Ecohydraulics. Trondheim, Norwegen.
- Paul, M.; Penning, W.E.; Dijkstra, J.T.; Johnson, M.F. (2014). Using surrogate organisms in hydraulic research: guidance on their design and implementation. ZENODO, doi:10.5281/zenodo.13299.
- Paul, M.; Thomas, R.E. (2014). Assessing the reality of ‚realistic‘ experiments with macroalgae: How real can they really be? - Outcomes from the Joint Research Activity PISCES. In: Proceedings of the HYDRALAB IV Joint User Meeting. Lissabon, Portugal.
- Poulos, S.; Velegrakis, A.; Kampanis, N.; Ghionis, G.; Vousdoukas, M.I.; Karditsa, A.; Alexandrakis, G.; Andreadis, O.; Petrakis, S.; Sifnioti, D.; Giannouli, D.; Lipakis, M.; Marinos, E.; Manganas, T. (2013). The development of new methodologies for the quantification and mitigation of the climatic change impact on the E. Cretan coast, S. Aegean Sea (Project AKTAIA). In: Proceedings of the 40th CIESM Congress. Marseille, Frankreich.
- Ramachandran, R.; Roldan Gonzalez, R.; Oumeraci, H.; Schimmels, S.; Kudella, M.; van Doorslaer, K.; de Rouck, J.; Versluys, T.; Trouw, K. (2012). Loading of vertical walls by overtopping bores using pressure and force sensors - A large scale model study. In: Proceedings of the 33rd International Conference on Coastal Engineering. Santander, Spanien.
- Ramachandran, R.; Roldan Gonzalez, R.; Schimmels, S.; Oumeraci, H.; van Doorslaer, K. (2012). Impact loads on a vertical wall due to overtopping bore – Large scale physical model experiments. In: Proceedings of the 4th International Conference on the Application of Physical Modelling to Port and Coastal Protection. Ghent, Belgien.
- Ramachandran, R.; Schimmels, S.; Kudella, M.; van Doorslaer, K.; de Rouck, J.; Versluys, T.; Trouw, K. (2012). Measuring wave impacts in large scale tests, using both pressure and force sensors. In: Proceedings of the 33rd International Conference on Coastal Engineering. Santander, Spanien.
- Ramachandran, R.; Schimmels, S. (2013). Measuring Pressure Distributions on Coastal Structures. In: 9. FZK Kolloquium „Modellierung im Seebau und Küsteningenieurwesen“. Hannover.
- Ramachandran, R.; Schimmels, S.; Stagonas, D.; Müller, G. (2013). Measuring Wave Impact on Coastal Structures with High Spatial and Temporal Resolution – Tactile Pressure Sensors a Novel Approach. In: Proceedings of the 35th IAHR World Congress. Chengdu, China.
- Rigos, A.; Vousdoukas, M.I.; Tsekouras, G.E.; Velegrakis, A. (2013). On the systematic implementation of artificial neural networks in the classification of variance images and shoreline extraction. In: Proceedings of the 4th International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE 2013) and SECOTOX Conference.
- Schimmels, S. (2012). Wave Run-Up Observations at Highly Porous Revetments. In: Proceedings of the 6th Chinese-German Joint Symposium on Hydraulic and Ocean Engineering. Keelung, Taiwan.
- Schimmels, S.; Vousdoukas, M.I.; Wziatek, D.; Becker, K.; Gier, F.; Oumeraci, H. (2012). Wave run-up observations at revetments with different porosity. In: Proceedings of the 33rd International Conference on Coastal Engineering. Santander, Spanien.
- Schimmels, S.; Sriram, V.; Didenkulova, I.; Fernández, H. (2014). On the generation of Tsunami in a large scale wave flume. In: Proceedings of the 34th International Conference on Coastal Engineering. Seoul, Korea.
- Shiravani, G.; Shiravani, A. (2012). Effects of Wave Attack Angle and Foreshore Slope on Armour Layer Units Stability. In: Proceedings of the 10th International Conference on Hydroscience & Engineering. Florida, USA.
- Shiravani, G.; Vousdoukas, M.I.; Schimmels, S.; Stagonas, D. (2014). A methodology for measuring the velocity and thickness of wave-induced up-rushing jets on vertical seawalls and superstructure. In: Proceedings of the 34th International Conference on Coastal Engineering. Seoul, Korea.
- Sriram, V.; Didenkulova, I.; Schimmels, S.; Sergeeva, A.; Goseberg, N. (2014). Long Wave Propagation, Shoaling and Run-Up in Nearshore Areas. In: Proceedings of the 34th International Conference on Coastal Engineering. Seoul, Korea.

- Stagonas, D.; Müller, G.; Ramachandran, R.; Schimmels, S.; Dane, A. (2012). Distribution of impact induced pressures at the face of uniformly sloped sea dikes: preliminary 2D experimental results. In: Proceedings of the 33rd International Conference on Coastal Engineering. Santander, Spanien.
- Stagonas, D.; Lara, J.L.; Losada, I.J.; Higuera, P.; Jaime, F.F.; Galani, K.; Dimas, A.; Vousdoukas, M.I.; Kudella, M.; Müller, G. (2014). Large scale measurements of wave loads and mapping of impact pressure distribution at the underside of wave recurves. In: Proceedings of the HYDRALAB IV Joint User Meeting. Lissabon, Portugal.
- Thomas, R.E.; Johnson, M.F.; Frostick, L.E.; Parsons, D.R.; Bouma, T.J.; Dijkstra, J.T.; Eiff, O.; Gobert, S.; Henry, P.-Y.T.; Kemp, P.; McLelland, S.J.; Moulin, F.Y.; Myrhaug, D.; Neyts, A.; Paul, M.; Penning, W.E.; Rice, S.P.; Puijalon, S.; Stanica, A.; Tagliapietra, D.; Tal, M.; Tørum, A.; Vousdoukas, M.I. (2013). Physical Modeling of Water, Fauna and Flora: A Foresight Study for Ecohydraulics. In: Proceedings of the 35th IAHR World Congress. Chengdu, China.
- Tönnies-Lohmann, A.; Miranda-Lange, M.; Vousdoukas, M.I.; Schimmels, S. (2013). Stabilitätsuntersuchungen von Ballast und Kolkschutz an einem OWEA Schwerkraftfundament. In: 9. FZK Kolloquium "Modellierung im Seebau und Küsteningenieurwesen". Hannover.
- van Doorslaer, K.; de Rouck, J.; Trouw, K.; van der Meer, J.W.; Schimmels, S. (2012). Wave Forces on Storm Walls, Small and Large Scale Experiments. In: Proceedings of the 8th International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries. Chennai, Indien.
- Verney, R.; Jany, C.; Thouvenin, B.; Pairaud, I.; Vousdoukas, M.I.; Pinazo, C.; Ardhuin, F.; Cann, P. (2013). Sediment transport in the bay of Marseille: Role of extreme events. In: Proceedings of the 7th International Conference on Coastal Dynamics. Bordeaux, Frankreich.
- Vousdoukas, M.I. (2012). Five-month observations of multiple beach cusp systems on a meso-tidal, steeply-sloping beach. In: Proceedings of the 22nd International Ocean and Polar Engineering Conference. Rhodos, Griechenland.
- Vousdoukas, M.I.; Almeida, L.P.M.; Ferreira, Ó. (2012). An early warning system for marine storm hazard mitigation. In: Geophysical Research Abstracts Vol. 14. Wien, Österreich. EGU.
- Vousdoukas, M.I.; Almeida, L.P.M.; Ferreira, Ó. (2012). Erosion-recovery and nearshore bar processes during consequent storms. In: Proceedings of the 33rd International Conference on Coastal Engineering. Santander, Spanien.
- Vousdoukas, M.I. (2013). Beach Erosion and Recovery – A Modeling and Measuring Challenge. In: 9. FZK Kolloquium "Modellierung im Seebau und Küsteningenieurwesen". Hannover.
- Vousdoukas, M.I. (2013). ORASIS- a coastal video monitoring platform. In: Geophysical Research Abstracts Vol. 15. Wien, Österreich. EGU.
- Vousdoukas, M.I.; Wachler, B.; Almeida, L.P.M.; Ferreira, Ó.; Alexandrakis, G.; Velegrakis, A.; Schimmels, S. (2013). Predicting beach-face rotation on a meso-tidal, steeply sloping beach. In: Proceedings of the 7th International Conference on Coastal Dynamics. Bordeaux, Frankreich.
- Vousdoukas, M.I. (2014). Fusion of video cameras with laser range scanners- the coastal monitoring system of the future? In: Geophysical Research Abstracts Vol. 16. Wien, Österreich. EGU.
- Vousdoukas, M.I. (2014). High frequency monitoring of the swash zone using hybrid laser and video techniques. In: Proceedings of the 34th International Conference on Coastal Engineering. Seoul, Korea.
- Wübbold, F.; Vousdoukas, M.I.; Hentschel, M. (2012). Towards Autonomous Coastal Monitoring using 3D Laser Range Scanners and Camera Vision. In: Proceedings of the 33rd International Conference on Coastal Engineering. Santander, Spanien.

