

## KONZEPT UND ANSÄTZE FÜR DAS WAVESCAN -VERFAHREN

von

Jann Strybny<sup>1</sup>  
Helge Wegmann<sup>2</sup>

### ABSTRACT

A class of models, termed Boussinesq-Wave-Models, has been developed in the past to provide time dependent (phase resolving) wave information for shallow and intermediate water depths. Recent extensions include wave breaking, runup and expansion into deeper water. There is a need for appropriate field data (spatial and time dependent) to steer and to validate the models. Aerial quasi continuous measurement techniques using high resolution digital cameras seem to be applicable for this purpose. The digital stereo-photogrammetry is the only highly accurate method with a continuous spatial and temporal data acquisition. Interfaces will be developed which can be used to incorporate measured hydrographs, collected in the complete area, at every grid point of the open boundary of a numerical model. Procedures are being developed to obtain additional information on special surf zone phenomena such as the location of breaking waves and wave runup from the digital sequences and for the automation of these methods. Measurements are being taken over distances of a few hundred meters from the top of high rise buildings. The test area is a groyne field on the island of Norderney.

### 1. EINLEITUNG

Aktuelle Forschungsschwerpunkte in der physikalischen und numerischen Modellierung küstennaher Prozesse der Seegangstransformation bilden die Beschreibung der Form brechender Wellen, sowie die räumliche Modellierung des Wellenaufbaus und des Wellenüberlaufs. Bei allen Erscheinungen handelt es sich um dreidimensionale und instationäre Prozesse. Es werden kleinskalige, hochauflösende numerische Modelle entwickelt, welche die Kinematik der Meeresoberfläche reproduzieren. Zeit- und

<sup>1</sup>Dipl.-Ing., Institut für Strömungsmechanik, Appelstraße 9a, 30167 Hannover

<sup>2</sup>Dipl.-Ing., Institut für Photogrammetrie und Geoinformation, Nienburger Straße 1, 30167 Hannover

ortsdiskrete Randbedingungen stehen häufig nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung. Zur Kalibrierung empirischer Strategien und einer Verifikation der Modelle können nur die an wenigen Positionen vorhandenen Punktmessungen herangezogen werden. Dabei muss allgemein festgestellt werden, dass punktförmige Naturmessungen als Entwicklungsgrundlage nicht mehr ausreichen. Die Modelltechniken schreiten fort, ohne dass eine ausreichende Verknüpfung mit einer in Raum und Zeit quasikontinuierlichen Messtechnik erfolgt. Aus diesem Grund ist an der Universität Hannover ein Gemeinschaftsprojekt des Instituts für Photogrammetrie und Geoinformation (IPI) unter Leitung von Herrn Prof. Heipke und des Instituts für Strömungsmechanik (ISEB) unter Leitung von Herrn Prof. Zielke hervorgegangen. Ziel des KFKI-geförderten Vorhabens WAVESCAN ist die stereophotogrammetrische Erfassung und phasenauflösende Modellierung der Brandungszone auf Basis digitaler Bildsequenzen sowie die Verknüpfung der flächenhaften Mess- und Modellierungsverfahren. Als Projektpartner beteiligt sind die NLÖ-Forschungsstelle Küste auf Norderney, die NLWK-Betriebsstelle Norden und der Große Wellenkanal am Forschungszentrum Küste in Hannover.

## **2. PHASENAUFLÖSENDE MODELLIERUNG DER BRANDUNGSZONE**

Das numerische Seegangmodell BOWAM2 gehört zur Gruppe der deterministischen Modelle. Die BOWAM2 zugrundeliegenden Boussinesq-Gleichungen stellen die physikalisch korrekte Erweiterung der nichtlinearen Flachwassergleichungen in den Übergangsbereich dar. Die Oberflächenstruktur des Seegangs kann damit hochgradig aufgelöst werden. Durch die nichtlineare zeit- und ortsdiskrete Berechnung wird die gerade bei komplexen Strukturen im flachen Wasser bedeutsame Transformation des Seegangs durch nichtlineare Interaktion der Frequenzbänder wiedergegeben. Innerhalb des Anwendungsbereiches kann aus den Ergebnissen der zweidimensional horizontal gelösten Erhaltungsgleichungen auf dreidimensionale Geschwindigkeitsverteilungen über den gesamten Wasserkörper geschlossen werden. Für das Modell BOWAM2 wurde von SCHRÖTER (1995) eine Tiefwassererweiterung entwickelt, mit welcher das Modell unter allen Bedingungen bis zu einem D/L von 0,5 zuverlässige Ergebnisse liefert. Die Formulierungen reichen im Einzelfall bis zu einem D/L von 1,5. Das Modell beinhaltet Ansätze zur Modellierung der relevanten Prozesse im Nahfeld von Küstenstrukturen zur Beschreibung des Wellenbrechens über ein Extended Eddy Viscosity Concept und zur Modellierung des Wellenauf- und überlaufs über eine Wet Slope (STRYBNI & ZIELKE, 2000). Mit BOWAM2 wird ein Modell bereitgestellt, welches alle wesentlichen Transformationsformen und Prozesse einschließt, wie: Diffraktion, Refraktion, Reflexion, Shoaling, Wellenbrechen, Wellenauflauf und Wellenüberlauf sowie Wellenkräfte auf großvolumige Körper. Im Übergangsbereich und Flachwasser stehen hinsichtlich des Rechenaufwands mit Boussinesqmodellen effiziente Werkzeuge für Variantenstudien zur Verfügung. Dabei sind im Bemessungsfall weiteste Bereiche des deutschen Küstenmeeres als Übergangsbereich und Flachwasser einzustufen. Großanwendungen mit über 500.000 Berechnungsknoten und Gebietsgrößen von mehreren Quadratkilometern konnten im ständig mit Wasser bedeckten Bereich außerhalb von Brandungszonen erfolgreich umgesetzt und validiert werden (KAHLFELD, 1999). Die modelltechnische Umsetzung der Prozesse in der Brandungszone erfolgt zur Zeit. Im Moment des Wellenüberschlags existieren durch

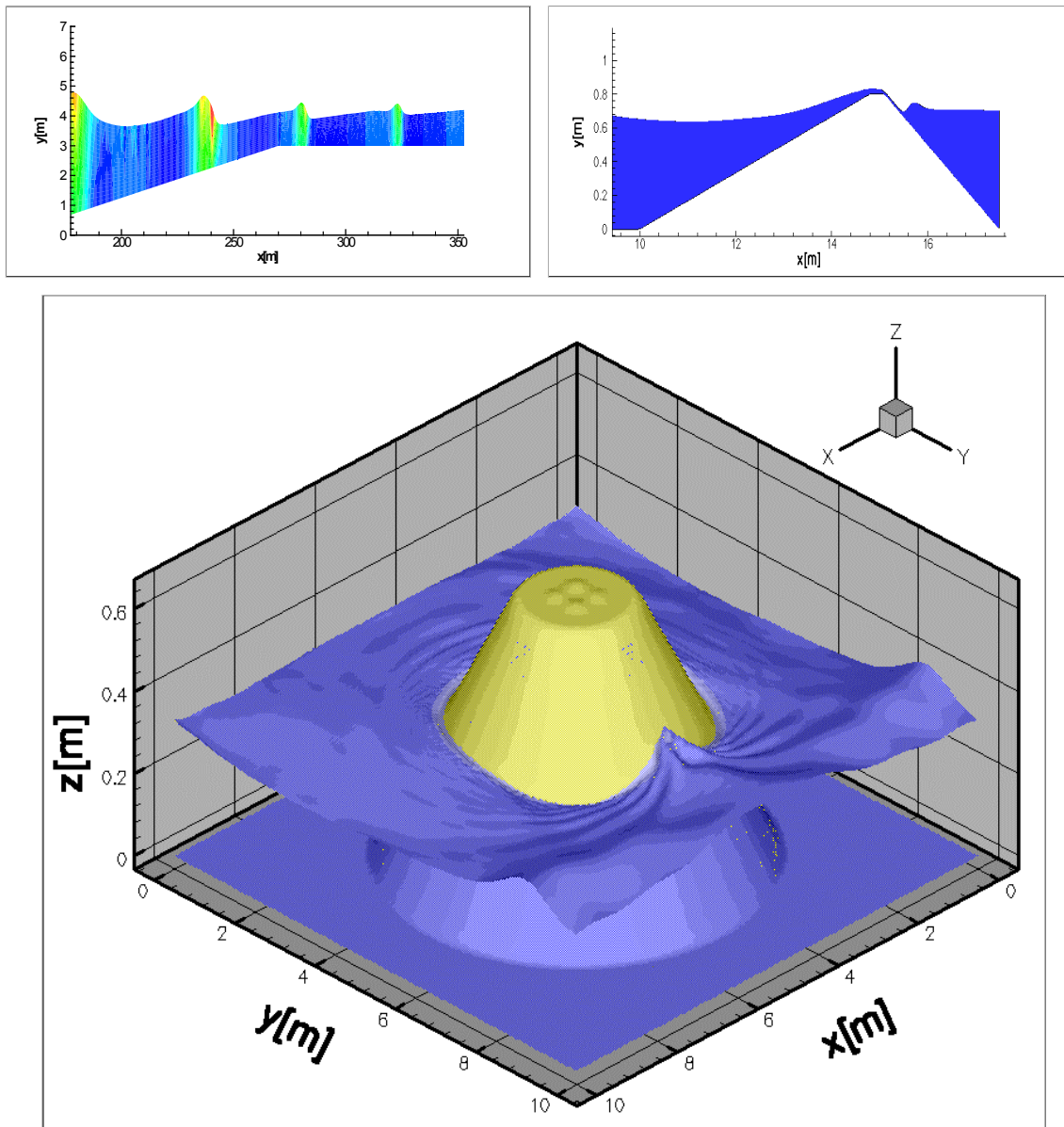


Abb.1-3: Modellierung der Brandungszone mit BOWAM2

den Lufteinschluss der Brecherzunge über dem Ort mehrere freie Oberflächen. Den Ortskoordinaten ist somit nicht mehr genau eine Wassertiefe als Lösung zuzuweisen. Da sich dieses Phänomen auch nicht mit volldreidimensionalen Modellen beschreiben lässt, sind zur näherungsweisen Beschreibung solcher Prozesse in jedem Fall empirische Ansätze notwendig. Ausreichend detaillierte Datensätze zur Kalibrierung und Verifikation dieser empirischen Ansätze stehen bisher nur in sehr begrenztem Maße zur Verfügung und konnten nur an Strukturen mit einfachen Geometrien gemessen werden. Beispiele für die Berechnung von Labortopographien mit BOWAM2 finden sich in den Abbildungen 1 – 3. Abbildung 1 (oben links) zeigt die Modellierung der Form brechender Wellen, Abbildung 2 (oben rechts) die Bestimmung des Wellenüberlaufvolumens und Abbildung 3 (unten) die räumliche Modellierung des Wellenaufbaus. Im folgenden Kapitel werden die Forderungen an eine Messtechnik formuliert, welche erforderlich ist, um diese Prozesse auch anhand natürlicher oder naturähnlicher Situationen genauer untersuchen und modellieren zu können.

### **3. FORDERUNGEN AN EINE MESSTECHNIK**

- Die Oberfläche eines Seegangsfeldes soll dreidimensional mit Genauigkeiten im Zentimeterbereich vermessen werden. Die vermessenen Gebiete sollen im Zuge des Projektes zunächst etwa die Fläche eines Bühnenfeldes umfassen, das System soll aber so entwickelt werden, dass es theoretisch auf Gebiete beliebiger Größe anwendbar ist.
- Die zeitliche Auflösung soll so hoch sein, dass die Kinematik der Meeresoberfläche nachvollzogen werden kann. Die Dauer der Messintervalle soll jeweils etwa 10 Minuten betragen.
- Große Bedeutung hat die Interaktion zwischen Seegang und Morphodynamik. Die Transformation des Seegangs wird ganz wesentlich durch die Topographie des Meeresbodens beeinflusst. Um die Seegangsdaten umfassend auswerten zu können, soll die zeitnahe Vermessung des Seegangs und der periodisch trockenfallenden Topographie mit einem einzigen System möglich sein.
- Es sollen Verfahren entwickelt werden, die es ermöglichen, Parameter zur Beschreibung von Prozessen in der Brandungszone (wie z.B. Wellenbrechen und Wellenaufwurf) automatisiert aus den aufgezeichneten Bilddaten zu gewinnen.
- Der eigentliche Messvorgang soll weitestgehend automatisiert erfolgen. Seegang und Messinstrumente sollen sich gegenseitig nicht beeinflussen, daher ist eine Berührung des Messsystems mit den Objekten (Wasser und Sand) zu vermeiden. Die Messung soll aus größeren Distanzen erfolgen können.

### **4. FLÄCHENHAFTES MESSTECHNIKEN**

Die flächenhafte Aufzeichnung von Situationen in Labor und Natur mit Foto- und Videokameras wird seit langem eingesetzt. Durch das Ausbringen von Maßstäben im Aufnahmebereich können durch Auswertung der Bilder oder Bildsequenzen zweidimensionale Messungen durchgeführt werden. So kann zum Beispiel auf die Lage einer Brandungszone oder den Verlauf der Wellenaufwurfslinie geschlossen werden. Dieses Verfahren wird auch als Videometrie oder könnte genauer auch als Einzelbildauswertung („Monophotogrammetrie“) bezeichnet werden. Aus einer Einzelbildauswertung allein lässt sich ein räumliches Objekt nicht rekonstruieren.

Bei der Überwachung des Schiffsverkehrs mittels nautischem Radar wurde erkannt, dass auch der vorherrschende Seegang ein Signal reflektiert. Durch eine Analyse dieses Signals kann großräumig auf die flächenhafte Verteilung von statistischen Seegangsparemtern geschlossen werden. Dieses System der Seegangsmessung mit Radar wurde maßgeblich durch die GKSS entwickelt und wird inzwischen unter dem Namen WaMoS II in der Praxis international eingesetzt. Der Vorteil des Verfahrens ist die große Reichweite des Systems und die Witterungsunabhängigkeit. Eine örtliche Auflösung im Zentimeterbereich sowie eine hochfrequente zeitliche Auflösung ist aber nicht möglich. Es sind auch weitere radargestützte Verfahren im Einsatz, die jedoch nicht mit dem oben erläuterten zu verwechseln sind. So werden Radartechniken entwickelt, um langzeitige Messungen von Wasserspiegelauslenkungen an einem Punkt berührungslos durchführen zu können, eine Alternative zu konventionellen Pegelstationen. Auch werden Radarsensoren eingesetzt, um aus der Luft Oberflächen zu vermessen.

Das Ergebnis ist eine dreidimensionale Vermessung der Oberfläche. Dieses Vorgehen ist jedoch auf Grund der Lageänderung eines Flugzeugs bei bewegten Oberflächen nicht einsetzbar. Ein weiteres Verfahren zur flächenhaften Vermessung ist die Stereophotogrammetrie bzw. Mehrbildphotogrammetrie, welche dem natürlichen räumlichen Sehen des Menschen nachempfunden ist. In der Mehrbildauswertung wird ein Bereich von mindestens zwei Kameras mit jeweils verschiedenem Standort synchron aufgenommen. In einem trapezoidalen Stereobereich der Kameras ist es möglich, Seegang in einem Gebiet dreidimensional mit sehr hoher Genauigkeit zu vermessen. Die Aufnahme von Bildsequenzen erlaubt die Vermessung bewegter Oberflächen. Einschränkungen bestehen aufgrund der Abhängigkeit von den Sichtverhältnissen. Dies ist erst bei Dauermessungen als Problem zu bewerten. Für die hier geforderte hochauflösende Messung von Seegangsfeldern in charakteristischen Situationen sind jedoch nur Zeitfenster von jeweils etwa 10 Minuten Dauer erforderlich.

## **5. DAS MEHRBILDPHOTOGRAMMETRISCHE MODELL**

Dieses schon lange existierende Verfahren verlor aufgrund der sehr aufwändigen manuellen und damit teuren Auswertung an Bedeutung in der Seegangsmessung. Auch war das Aufnehmen von Bildsequenzen durch den Einsatz analoger Filme begrenzt. Die Möglichkeit digitaler Aufnahmen und Bildbearbeitungstechniken hat die Photogrammetrie jedoch zu einer zukunftsweisenden Technologie zur räumlichen Messung von Seegang werden lassen. Die Stereophotogrammetrie ist zur Zeit die einzige Methode, mit welcher eine hochgenaue Messung der Kinematik der Meeresoberfläche realisiert werden kann.

Die Verwendung digitaler Aufnahmesysteme ermöglicht erst die kontinuierliche Aufnahme eines Seegangsfeldes über für Seegangsuntersuchungen ausreichend lange Zeitintervalle. Die Bildwiederholfrequenz im Zuge des Projektes wird zunächst 12 Hz betragen und die Aufnahmedauer jeweils etwa 10 Minuten. Eine weitere Steigerung ergibt sich mit zunehmender Leistungsfähigkeit der Rechner. Im Zuge des Projektes werden insgesamt vier Kameras in einem gemeinsamen System eingesetzt. Diese Aufnahmekonfiguration hat den Vorteil, dass durch zusätzliche Kameras nahezu jede beliebige Gebietsgröße dreidimensional aufgenommen werden kann, wenn eine spätere Übertragung des im Projekt entwickelten photogrammetrischen Prototypen in die Praxis erfolgt. Die Untersuchungen werden am Strand der Insel Norderney stattfinden, dort bieten sich ideale Kamerastandorte auf strandnah gelegenen Hochhäusern (Abb.4). Den Schwerpunkt der Forschung bildet die automatisierte Erfassung der in den Bildern vorhandenen Information zur Seegangmodellierung für jeden Aufnahmezeitpunkt.

Dabei besteht die Forschungstätigkeit zunächst aus zwei Teilaufgaben: der Grenzlinienbestimmung zwischen Sand und Wasser und der Oberflächenbestimmung von Sand und Wasser. Der Begriff der Grenzlinienbestimmung bezeichnet die Ermittlung des Wellenauflaufes. Die dafür notwendige Trennung von Wasser und Sand ist durch den Einsatz von Verfahren der digitalen Bildverarbeitung möglich und automatisierbar. Die automatisierte zeit- und ortsdiskrete Bestimmung der Sand- bzw. Wasseroberflächen ergibt sich aus der digitalen Bildzuordnung, d.h. der automatischen Bestimmung homologer Messelemente aus den Grauwerten von mindestens zwei digitalen Bildern. Die digitale Bildzuordnung lässt sich in flächenhafte Grauwert-

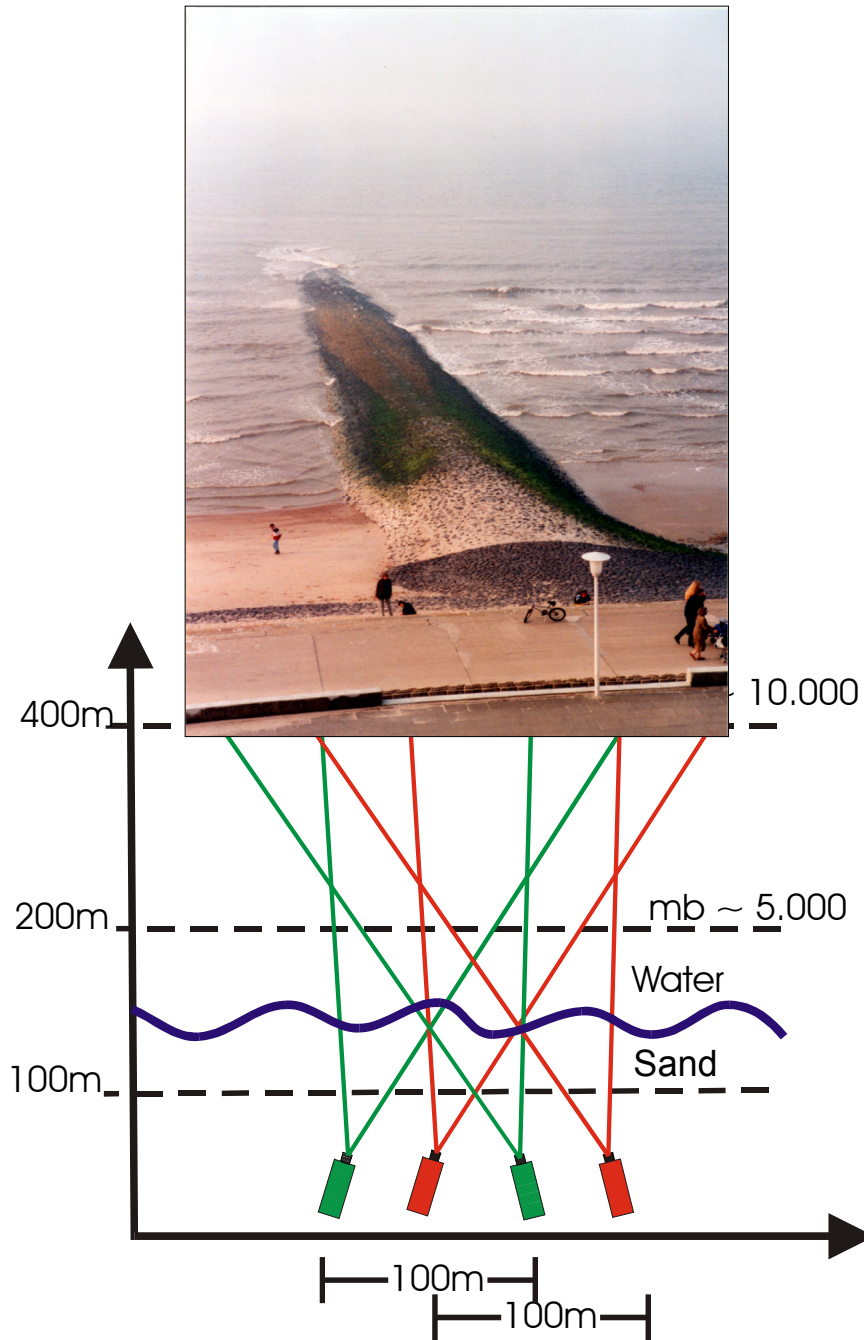


Abb.4: Aufnahmekonfiguration

zuordnung, Merkmalszuordnung und die relationale (Struktur-) Zuordnung unterteilen. Die Grauwertzuordnung (z.B. Kreuzkorrelation, Kleinste-Quadrate-Korrelation) besitzt ein hohes Genauigkeitspotential und wurde am IPI schon mit Erfolg für die Bestimmung von Seegangparametern aus terrestrischen Stereobildpaaren eingesetzt (REDWEIK, 1993). In dieser und ähnlichen Arbeiten hat sich gezeigt, dass für die automatische Auswertung mittels der flächenhaften Grauwertzuordnung unter den gegebenen Voraussetzungen die Kenntnis optimaler Mustermatrixgrößen sowie weiterer, die Bildzuordnung beeinflussender Parameter, eine wesentliche Voraussetzung darstellt. In diesem Bereich sind detailliertere Untersuchungen erforderlich, um bei unterschiedlichen Aufnahme- und Objektgeometrien a priori optimierte Parameterwerte

verwenden zu können. Inwieweit die Merkmalszuordnung bzw. Strukturzuordnung oder eine Kombination der digitalen Bildzuordnungsverfahren, die eine Erhöhung der Zuverlässigkeit und des Automatisierungsgrades bei der Oberflächenrekonstruktion mit sehr dichtem Stützpunktabstand versprechen, für die Bestimmung von Sand- bzw. Wasseroberflächen geeignet sind, ist eine aktuelle Frage der Forschung am IPI (WEGMANN ET AL., 2000).

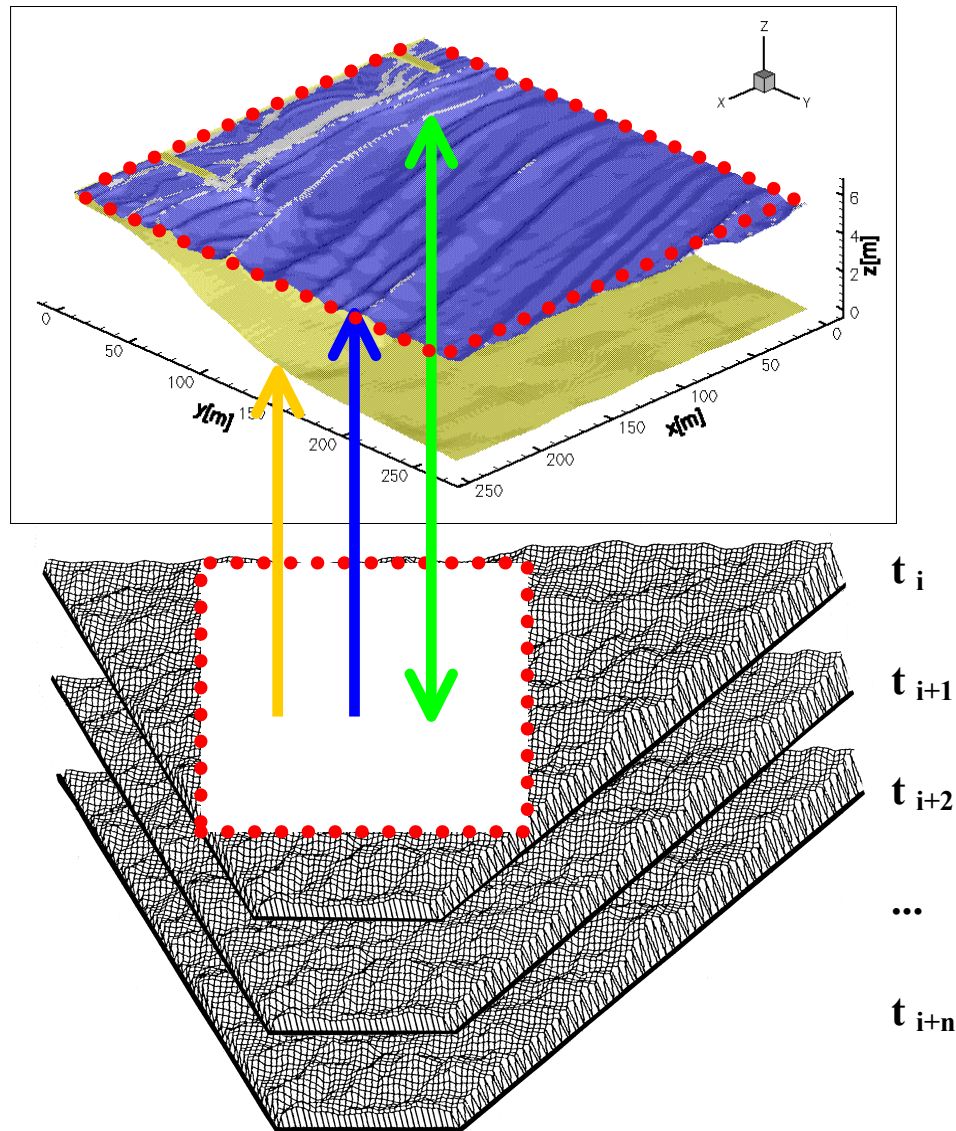


Abb.5: Verknüpfung der flächenhaften Mess- und Modelltechnik

## 6. VERKNÜPFUNG VON PHASENAUFLÖSENDEM SEEGANGSMODELL UND MEHRBILDPHOTOGRAMMETRIE

Es ist möglich, das Berechnungsgitter des numerischen Modells so zu legen, dass es einen Ausschnitt des trapezoidalen stereophotogrammetrischen Messergebnisses bildet (Abb.5). Die Modelltopographie im periodisch durch Gezeiten bzw. Wellenauf- und rücklauf trockenfallenden Bereich kann direkt durch die Stereophotogrammetrie

vermessen und dem Modell als Berechnungsgitter zugeführt werden (Abb.5 Pfeil links). Es werden Schnittstellen geschaffen, um aus den stereophotogrammetrischen Bildsequenzen die nötigen Randbedingungen für jeden Knoten des offenen Randes zu gewinnen und in ein Seegangmodell einzusteuern (Abb.5 Pfeil mitte). Ferner werden Methoden zur flächenhaften und zeitauflösenden Kalibrierung empirischer Ansätze und zur Verifikation entwickelt (Abb.5 Pfeil rechts). Aus den photogrammetrisch bestimmten Daten können formbeschreibende Parameter wie Asymmetrie und Schiefe flächenhaft in der gesamten beobachteten Brandungszone bestimmt werden. Einen weiteren gemeinsamen Schwerpunkt der beteiligten Fachgebiete bildet die automatisierte Belegung der photogrammetrisch detektierten Oberflächenveränderungen mit hydrographischen Informationen. Es werden Methoden entwickelt, um zum Beispiel die Bildsequenzen automatisiert bezüglich Lage und Intensität des Wellenbrechens auszuwerten.

## 7. SCHRIFTTUM

- KAHLFELD, A.: Numerische Seegangmodellierung als Bestandteil einer funktionellen Hafenplanung. Dissertation, Institut für Strömungsmechanik, Universität Hannover, Bericht Nr.: 58, 1999.
- REDWEIK, G.: Untersuchung zur Eignung der digitalen Bildzuordnung für die Ableitung von Seegangsparametern. Dissertation, Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover, Nr. 194, Hannover, 1993.
- SCHRÖTER, A.: Nichtlineare zeitdiskrete Seegangssimulation im flachen und tieferen Wasser. Dissertation, Institut für Strömungsmechanik, Universität Hannover, Bericht Nr.: 42, 1995.
- SEEMANN, J.: Bestimmung von Seegangsspektren aus Bildzeitserien eines nautischen Radars. GKSS GmbH, Dissertation, Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg, 1997.
- SÖRENSEN, O. & SCHÄFFER, H. & MADSEN, P.: Surf zone dynamics simulated by a Boussinesq type model. III: Wave-induced, horizontal nearshore circulations. Coastal Engineering, vol. 33, pp 155 – 176, Elsevier, Amsterdam, 1998.
- STRYBNY, J. & WEGMANN, H. & ZIELKE, W. & HEIPKE, C.: Combining a 2D-Phaseresolving-Model with a Spatial Measurement Technique. In: Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Symposium WAVES. San Francisco, 2001, accepted paper.
- STRYBNY, J. & ZIELKE, W.: Extended Eddy Viscosity Concept for Wave Breaking in Boussinesq Type Models. In: Proceedings of the 27<sup>th</sup> International Conference on Coastal Engineering, Sydney, 2000.
- WEGMANN, H. & RIEKE-ZAPP, D. & SANTEL, F.: Digitale Nahbereichsphotogrammetrie zur Erstellung von Bodenerosionsversuchen. Publikation der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 9, Berlin, 2000.
- WEGMANN, H. & STRYBNY, J.: Automatisierte Erfassung und Modellierung der Brandungszone auf Basis digitaler Bildsequenzen. KFKI-Antrag, Universität Hannover, 1999.