

# WAVESCAN

## AUTOMATISIERTE ERFASSUNG UND MODELLIERUNG VON BRANDUNGSZONEN AUF BASIS DIGITALER BILDSEQUENZEN

Stefan Schimmels, Inst. f. Strömungsmechanik, Universität Hannover, schimmels@hydromech.uni-hannover.de

Folke Santel, Inst. f. Photogrammetrie und GeoInformation, Universität Hannover, santel@ipi.uni-hannover.de

Werner Zielke, Inst. f. Strömungsmechanik, Universität Hannover, zielke@hydromech.uni-hannover.de

Christian Heipke, Inst. f. Photogrammetrie und GeoInformation, Universität Hannover, heipke@ipi.uni-hannover.de

### 1. EINLEITUNG

Die numerische Simulation von Wellen und Strömungen hat in den letzten Jahrzehnten einen enormen Entwicklungsschub erfahren. Heutzutage ist es möglich die Evolution von Seegangsspektren in sehr großen Gebieten zu berechnen (Mittendorf & Zielke, 2004) oder die Transformation der einzelnen Wellen in kleineren Gebieten an der Küste oder in Häfen mit Computermodellen nachzubilden (Schröter et al., 1995). Zur Kalibrierung und Validierung der numerischen Algorithmen sind Messdaten aus Laborversuchen und der Natur erforderlich. Gerade letztere beschränken sich allerdings zumeist auf einzelne Punktmessungen mit Bojen, Druckmessdosen oder Wellenpegeln. Dies ist im Hinblick auf die hohe räumliche und zeitliche Auflösung der numerischen Modelle nicht mehr ausreichend.

Im Projekt WAVESCAN werden flächenhafte Mess- und Modellierungsverfahren miteinander verknüpft. Hierzu wurde ein photogrammetrisches Verfahren entwickelt, mit dem zeitlich und räumlich hochaufgelöste Oberflächenmodelle der Brandungszone bestimmt werden. Diese Daten können zur Ansteuerung und Validierung eines numerischen Modells, das die physikalischen Prozesse in der Brandungszone simuliert, verwendet werden. Zu diesem Zweck wurde ein vorhandenes Boussinesq-Modell um die entsprechenden Erfordernisse erweitert.

### 2. MESSKAMPAGNEN

Die Datengrundlage für das Projekt wurde im Rahmen zweier Messkampagnen im August 2002 und Mai 2003 am Nordstrand der Insel Norderney erhoben. Das Untersuchungsgebiet ist das Bühnenfeld D1/E1 (siehe Abbildung 1). In Zusammenarbeit mit dem NLWK Norden wurde die Strand- sowie die Unterwassertopographie bestimmt und die



Abb. 1: Untersuchungsgebiet (Quelle: NLWK Norden)

Forschungsstelle Küste führte punktuelle Messungen des Seegangs mit Wellenmessdrähten, Druckmessdosen und Bojen durch.

Zur photogrammetrischen Datenerfassung der Wasseroberfläche wurden vier digitale Videokameras eingesetzt. Die Aufnahmen wurden von Dächern zweier Hochhäuser in unmittelbarer Nähe des Bühnenfelds durchgeführt (weiße Kreise in Abbildung 1). Die synchrone Auslösung der Kameras erfolgte über einen externen Trigger. Während der Messkampagnen wurden signifikante Wellenhöhen von bis zu einem Meter mit einer Frequenz von 8 Hz über eine Dauer von bis zu 20 Minuten aufgenommen.

### 3. PHOTOGRAMMETRISCHE AUSWERTUNG

Die dreidimensionale Bestimmung der sich bewegenden Wasseroberfläche wird unter Verwendung photogrammetrischer Stereobilddaten mit Hilfe der digitalen Bildzuordnung durchgeführt. Als geometrische Einschränkung des Suchbereichs wird eine Abart des Vertical Line Locus (VLL) verwendet. Die Bildzuordnung für das erste Stereobildpaar zum Zeitschritt [i] wird unter Hinzunahme manuell gemessener Startpunkte ausgeführt. Das Ergebnis ist eine große Anzahl neu bestimmter Objektpunkte. Aufgrund der geringen Wellenbewegung von Zeitschritt zu Zeitschritt können die Objektpunkte des Zeitschritts [i] als Startpunkte für den folgenden Zeitschritt [i+1] verwendet werden. Um den Aufwand für die Bildzuordnung zu verringern, wird nur eine bestimmte, gut verteilte Menge an Objektpunkten als neue Startpunkte genutzt. Ein grobes Raster neuer Startpunkte wird aus den Objektpunkten des vorangegangenen Zeitschritts ausgewählt. Die Bildzuordnung des Stereobildpaars [i+1] wird durchgeführt und das Ergebnis kann in gleicher Weise für das Stereobildpaar [i+2] genutzt werden und so weiter (Santel et al., 2004).

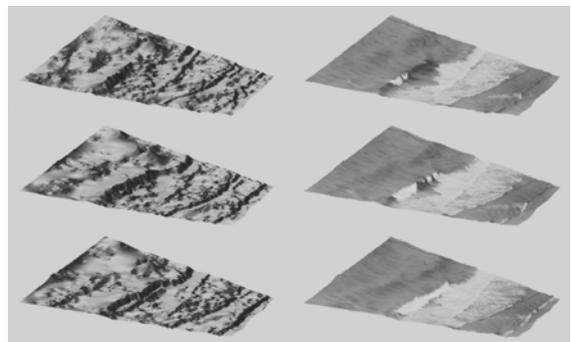


Abb. 2: Sequenz von Wasseroberflächen mit  $\Delta t = 1$  s

Abbildung 2 zeigt im linken Teil Ausschnitte aus drei generierten Wasseroberflächen einer Bildsequenz mit einem

zeitlichen Abstand von einer Sekunde von Epoche zu Epoche. Die Position der Wellenfronten kann in den Oberflächenmodellen gut erkannt und verfolgt werden. Die zusätzlich erzeugten Orthophotos wurden den ermittelten Oberflächen überlagert (rechte Hälfte der Abbildung 2).

Die Ergebnisse der digitalen Bildzuordnung wurden stichprobenweise durch manuelle Stereoauswertungen und Daten der Seegangsmessung überprüft. Die Genauigkeit der Ergebnisse liegen innerhalb der Erwartungen. Probleme entstehen in Bereichen mit schwacher Textur. An manchen Stellen sind die Ergebnisse der Bildzuordnung mit einem hochfrequenten Rauschen überlagert. Weitere Anpassungen des Bildzuordnungs-Algorithmus um dieses Problem zu lösen werden derzeit vorgenommen.

#### 4. NUMERISCHES MODELL

Der zweite Kernpunkt des Projekts ist die Erweiterung des am Institut für Strömungsmechanik entwickelten Boussinesq-Modells BOWAM2. Zur realistischen Simulation der Brandungszone müssen, zusätzlich zu der implizit in den Grundgleichungen enthaltenen nichtlinearen Umwandlung der Wellen, die Energiedissipation durch das Wellenbrechen, der Wellenauf- und überlauf am Strand sowie an den Bühnen berücksichtigt werden. Ferner wurde die Generierung von Wellen im Hinblick auf die Ansteuerung mit photogrammetrische Daten neu überdacht.

Die Grundgleichungen des Modells sind tiefwassererweiterte Boussinesq-Gleichungen, die die lineare Dispersionsbeziehung durch eine (4,4)-Padé-Approximation annähern und somit nichtlineare Transformationen der Wasseroberfläche bis zu einem Verhältnis von Wassertiefe zu Wellenlänge  $D/L \approx 1.5$  simulieren können (Schröter, 1995). Die numerische Lösung wird auf einem äquidistanten, kartesischen Gitter mit einem Finite-Differenzen-Verfahren 3. Ordnung durchgeführt.

Die Erweiterung der Grundgleichungen um den Prozess des Wellenbrechens erfolgt über den Ansatz innerer Reibung mit einem Eddy-Viscosity-Concept und das periodische Trockenfallen von Knoten beim Wellenaufwurf wird über die Annahme eines dünnen, residualen Wasserfilms mit dem Wet-Slope-Concept berücksichtigt. Die Einsteuerung von Wellen wird innerhalb des Berechnungsgebietes mit einer Massenquelle realisiert und herauslaufende Wellen werden am Rand über Spongelayern reflexionsfrei gedämpft. Diese Vorgehensweise erhöht zwar den Lösungsaufwand durch die erweiterte Gebietsgröße, hat aber die entscheidenden Vorteile, dass Wellen beliebiger Frequenz generiert werden können (was mit reflexionsfreien Randbedingungen nur eingeschränkt möglich ist) und für die Ansteuerung nur die Wasserspiegelauslenkung benötigt wird, was für die Verwendung photogrammetrischer - aber auch anderer - Messdaten sehr von Nutzen ist.

#### 5. ERGEBNISSE

Die Erweiterungen des numerischen Modells wurden zunächst durch umfangreiche Vergleiche mit theoretischen Lösungen und Laborversuchen verifiziert. Anschließend erfolgten Simulationen des Bühnenfeldes wobei die Einsteuerung der Wellen mit Daten der am seeseitigen Rand installierten Bojen vorgenommen wurde. Beispielfhaft hierfür zeigt

Abbildung 3 eine Momentaufnahme der Wasseroberfläche, wobei die weißen Bereiche brechende Wellen kennzeichnen.

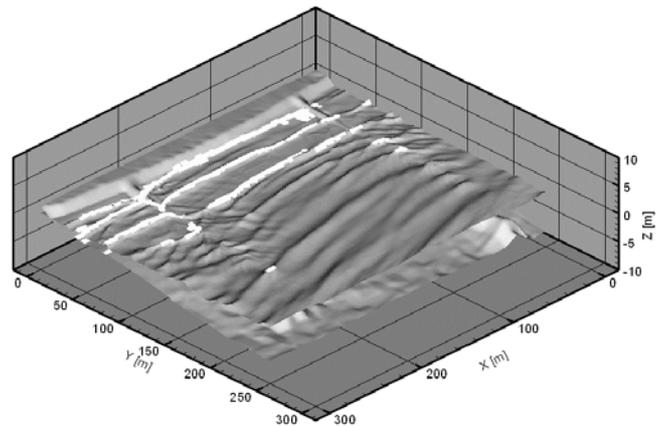


Abb. 3: Momentaufnahme der simulierten Wasseroberfläche

Ein Vergleich mit photogrammetrischen Ergebnissen deutet darauf hin, dass die Lokalisierung der Brecherzone gut vom numerischen Modell erfasst wird. Ebenso zeigt die Gegenüberstellung von Spektren und spektralen Parametern, die aus den punktuell aufgenommenen Zeitreihen der Forschungsstelle Küste gewonnen wurden, eine gute Übereinstimmung mit den simulierten Ergebnissen.

Die Generierung von Wellen auf Basis punktueller Bojenmessungen erlaubt allerdings nur eine statistische Reproduktion des Seegangs im Bühnenfeld. Um die Wasseroberfläche phasengenau abzubilden, müssen über den gesamten Modellrand gemessene Werte eingesteuert werden, was exemplarisch für einen Ausschnitt des Bühnenfeldes mit Hilfe photogrammetrischer Daten vorgenommen wurde. Das Beispiel zeigt, dass eine solche Ansteuerung prinzipiell funktioniert und wird jetzt auf größere Gebiete und längere Zeiträume erweitert werden.

#### 6. LITERATUR

Mittendorf, K. & Zielke, W., 2004. *Hind-cast database for the design of offshore wind energy structures in the German Bight*. ASCE, Proc. 29<sup>th</sup> International Conference on Coastal Engineering (ICCE), Lissabon, (im Druck).

Santel, F., Linder, W., Heipke, C., 2004. *Stereoscopic 3D-Image Sequence Analysis of Sea Surfaces*. Proceedings of the ISPRS Commission V Symposium, July 12-23, 2004, Istanbul, Turkey, Volume XXXV, Part 5, S. 708-712.

Schröter, A., 1995. *Nichtlineare zeitdiskrete Seegangssimulation im flachen und tieferen Wasser*. Bericht Nr. 42, Institut für Strömungsmechanik, Universität Hannover.

Schröter, A., Mayerle, R., Kahlfeld, A., Zielke, W., 1995. *Assesment of a Boussinesq Wave Model for the Design of a Harbour*. Conference on Port and Coastal Engineering in Developing Countries (COPEDEC), Rio de Janeiro.