

PHOTOGRAMMETRISCHE ERFASSUNG UND NUMERISCHE MODELLIERUNG IN DER BRANDUNGSZONE

von

Stefan Schimmels¹
Folke Santel²
Christian Heipke³
Werner Zielke⁴

ABSTRACT

Numerical modelling of highly complex processes in the surf and swash zone, like wave breaking and wave runup is an important task in current research. But the availability of data to calibrate and validate such models is rather limited. The project WAVESCAN is aimed at the automatic reconstruction and modelling in the surf zone, based on digital image sequences. Photogrammetry is able to provide information about water surface elevations, highly resolved in space and time. These data are used as input and reference for the numerical model. The research area is a groyne field on the island Norderney. Results of the first measurement campaign which was carried out in August 2002 are presented.

1 EINLEITUNG

Die Entwicklung numerischer Modelle, die physikalische Prozesse im Computer simulieren hat in den letzten Jahren rasant zugenommen. Zur Kalibrierung und Validierung solcher Modelle sind Messdaten von Laborversuchen und natürlichen Situationen erforderlich, die ständig steigenden Ansprüchen an Genauigkeit und Informationsgehalt genügen müssen. Während sich die Messtechnik im Labor parallel zur Numerik weiterentwickelt hat, werden in der Natur häufig Instrumente verwendet, die zwar eine ausreichende Genauigkeit aufweisen, aber nur sehr lokal begrenzte Informationen liefern können.

Im Projekt WAVESCAN wird eine photogrammetrische Messmethode entwickelt, die es ermöglicht, flächenhafte und zeitlich hochaufgelöste Informationen über die Wasseroberfläche in der Brandungszone zu bestimmen. Diese Daten können dann zur Validierung und Weiterentwicklung numerischer Modelle, die die Prozesse im Küstennahbereich simulie-

¹ Dipl.-Ing., Institut für Strömungsmechanik, Appelstraße 9a, 30167 Hannover

² Dipl.-Ing., Institut für Photogrammetrie und GeoInformation, Nienburger Straße 1, 30167 Hannover

³ Prof. Dr.-Ing., Institut für Photogrammetrie und GeoInformation, Nienburger Straße 1, 30167 Hannover

⁴ Prof. Dr.-Ing., Institut für Strömungsmechanik, Appelstraße 9a, 30167 Hannover

ren, verwendet werden (STRYBNY & WEGMANN, 2001). Das Untersuchungsgebiet ist das Bühnenfeld D1/E1 an der Küste von Norderney, das von der Forschungsstelle Küste (FSK) des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie (NLÖ) mit herkömmlichen Messinstrumenten, wie Wellenmessdrähten, Druck-Geschwindigkeits-Sonden und Waverider-Bojen ausgestattet und bereits für zahlreiche Forschungsprojekte genutzt wurde.

2 MODELLIERUNG UND PHOTOGRAMMETRISCHE AUSWERTUNG

2.1 Numerisches Modell

Zur phasenauflösenden Simulation von Seegang im Küstenbereich haben sich Boussinesq-Modelle als effizient und leistungsfähig herausgestellt. Ihr Ansatz basiert auf der Annahme eines inkompressiblen, rotationsfreien Fluids, dessen Geschwindigkeit über die Wassertiefe gemittelt wird. Die so entstehenden horizontal-zweidimensionalen Gleichungen für Massen- und Impulserhaltung werden meistens mit Hilfe von Finiten-Differenzen-Verfahren gelöst. Die mit den oben getroffenen Annahmen beschreibbaren Phänomene, wie Refraktion, Diffraktion, Reflexion oder Shoaling, sind implizit im Modell enthalten und wurden bereits ausführlich untersucht und beschrieben (SCHRÖTER, 1995).

In der Brandungszone sind durch das Brechen der Wellen weder die Rotationsfreiheit, noch eine vertikale Mittelung der Geschwindigkeit gerechtfertigt. Daher werden in diesem Bereich empirische Strategien verwendet, die den durch Turbulenz und Bodenreibung entstehenden Energieverlust mittels einfacher Gleichungen abbilden. Das seit über 15 Jahren am Institut für Strömungsmechanik ständig weiterentwickelte Boussinesq-Modell BOWAM2 verwendet ebenfalls solche Strategien (STRYBNY & ZIELKE, 2000), deren Kalibrierung und Validierung durch photogrammetrisch ermittelte Naturmessdaten erfolgen soll.

2.2 Photogrammetrische Auswertung von Bildsequenzen

Zur dreidimensionalen photogrammetrischen Objektbestimmung werden mindestens zwei sich überlappende Bilder benötigt. Ausgehend von manuell bestimmten Startpunkten können nach automatischer Messung (Bildzuordnung) homologer Punkte in diesem sogenannten Stereobildpaar die Koordinaten des rechten und linken Bildes in den Objektraum transformiert werden. Nähere Informationen zur Anwendung der Photogrammetrie in WAVESCAN finden sich in STRYBNY & WEGMANN (2001).

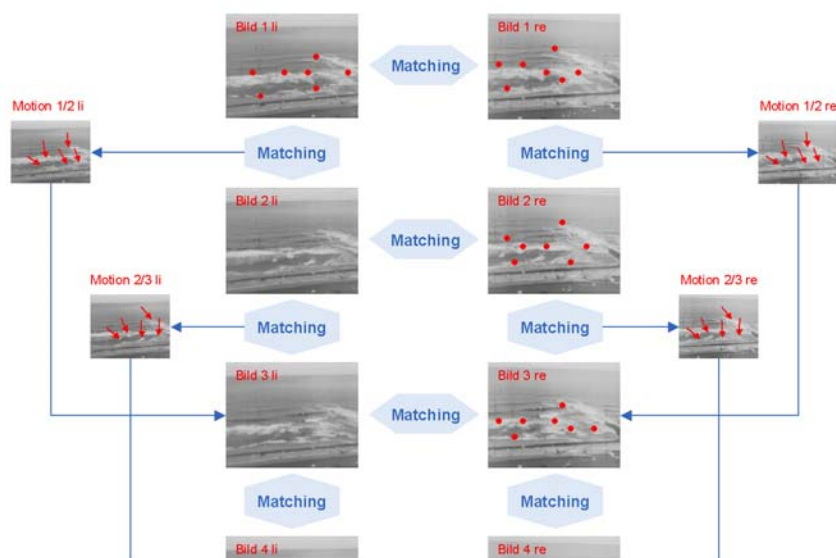


Abb. 1: Algorithmus zur Bestimmung der Wasseroberfläche

Für die Auswertung in der Zeit wird für jedes Bild eines Stereopaars ein Bewegungsmodell aus zwei aufeinander folgenden Bildern berechnet (SANTEL et al., 2002). Durch diese Erweiterung des Algorithmus können die Startpunkte für die Bildzuordnung des nächsten Zeitschritts automatisch bestimmt werden, lediglich die Startpunkte des ersten Paares sind manuell zu messen (siehe Abbildung 1). Die Bildzuordnung wird für jede Epoche einzeln durchgeführt, die so gewonnenen homologen Punkte werden durch räumlichen Vorwärtsschnitt in den Objektraum transformiert und zu Oberflächen interpoliert. Das Ergebnis der photogrammetrischen Datenerfassung und –auswertung ist eine dynamische Beschreibung der Wasseroberfläche in der Form $Z(X,Y,t)$. Die erreichbare Genauigkeit wird beeinflusst durch die geometrische Messanordnung (Objektgröße, Anzahl der Kameras, Standpunkt, Blickrichtung und Öffnungswinkel jeder Kamera) sowie der Messgenauigkeit für die homologen Bildkoordinaten.

3 MESSKAMPAGNE

Die erste Messkampagne fand in Kooperation mit der FSK und der Betriebsstelle Norden des Niedersächsischen Landesbetriebes für Wasserwirtschaft und Küstenschutz (NLWK) im August 2002 statt. Das Untersuchungsgebiet ist das Bühnenfeld D1/E1 am Nordstrand der Insel Norderney mit einer Größe von etwa $200 \times 200 \text{ m}^2$ (siehe Abbildung 2). Die Wahl fiel dabei auf dieses Bühnenfeld, da es zum einen als Forschungsfeld der FSK bereits sehr gut mit herkömmlichen Messinstrumenten ausgestattet ist und zum anderen, da in der Nähe hohe Gebäude stehen, die gut zur Positionierung der Kameras geeignet sind. Zusätzlich zu den vorhandenen neun Geschwindigkeits-Druck-Sonden und zwei Wellenmessdrähten wurden von der FSK drei Waverider-Bojen am seeseitigen Rand des Modellgebiets installiert.



Abb. 2: Untersuchungsgebiet
(Quelle: NLWK Norden)

Die Topographie ist im Hinblick auf die numerische Modellierung von essentieller Bedeutung, da die Transformation der Wellen maßgeblich durch die Interaktion mit dem Boden beeinflusst wird.

Daher wurde vom NLWK kurz vor der Kampagne die Unterwassertopographie von einem Peilboot aus mittels Singlebeam-Echolotvermessung bestimmt und während der Kampagne die Strandtopographie sowie die Bühnengeometrie über Differential-GPS ermittelt.

Das durch Triangulation der Messpunkte generierte digitale Geländemodell (DGM) ist in Abbildung 3 dargestellt, wobei das gestrichelte Rechteck das Untersuchungsgebiet mit den Bühnen als linke und rechte Begrenzung markiert.

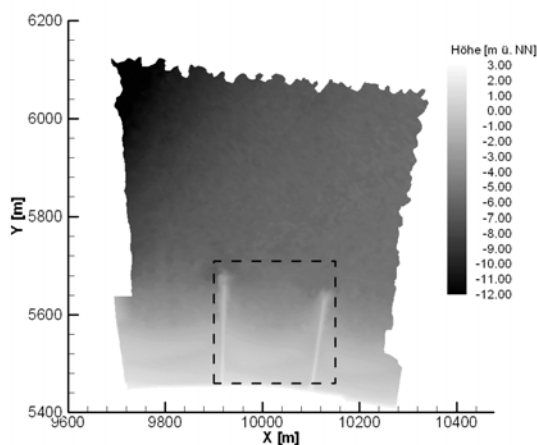


Abb. 3: DGM und Untersuchungsgebiet

Zur photogrammetrischen Datenerfassung wurden vier digitale Videokameras Ikegami SKC-131 mit einem 2/3 inch interline progressive scan CCD eingesetzt. Der CCD-Sensor hat eine radiometrische Auflösung von 10 bit monochrom sowie eine geometrische Auflösung von $6.7 \times 6.7 \mu\text{m}^2$ pro Pixel. Die Sensorgröße beträgt 1296×1031 Pixel und die maximale Bildfrequenz 12 Hz. Das System erlaubt eine Beobachtungsdauer von etwa 20 Minuten. Die synchrone Auslösung der Kameras wurde durch einen externen Funk-Trigger realisiert, der alle 1.5 ms ein Trigger-Signal von einer Master-Station zu den drei Empfänger-Stationen sendet. Als Aufnahme Standpunkte dienten zwei strandnah gelegene Hochhäuser, auf deren Dächern jeweils zwei Kameras aufgebaut wurden (vgl. weiße Kreise in Abbildung 2). Durch die gewählte Aufnahmekonfiguration können zwei sich überlappende Stereomodelle erfasst werden.

Trotz der erhöhten Aufstellung der Kameras kann es teilweise zu Verdeckungsbereichen hinter steileren Wellen kommen, was allerdings für die Wellenhöhenermittlung nicht entscheidend ist. Fehlende Daten zwischen den Wellenkämmen werden durch Interpolation ermittelt.

4 ERSTE ERGEBNISSE

4.1 Strömungsmechanik

Um die Wirkungsweise der empirischen Brechstrategien unter Naturbedingungen zu testen, wurden einige Simulationen durchgeführt, bei denen die Randbedingungen aus Spektraldaten der drei am seeseitigen Rand des Untersuchungsgebiets installierten Bojen generiert wurden. Das Ergebnis eines Zeitschritts ist exemplarisch in Abbildung 4 dargestellt. Die Lage des Berechnungsgitters entspricht dabei in etwa dem in Abbildung 3 dargestellten Rechteck und hat eine Größe von $250 \times 250 \text{ m}^2$. Die Stellen an denen die Wellen brechen sind in Abbildung 4 weiß dargestellt. Es ist gut zu erkennen, dass die Wellen über den Buhnen aufgrund der geringeren Wassertiefe früher brechen und die Strategie für das Wellenbrechen offensichtlich prinzipiell auch unter Naturbedingungen funktioniert. Die genaue Lage der Brecherzone sowie die durch den Brechvorgang implizierte Reduzierung der Wellenhöhe müssen nun durch den Vergleich mit photogrammetrisch ermittelten Daten und durch Anpassung der freien Parameter kalibriert werden.

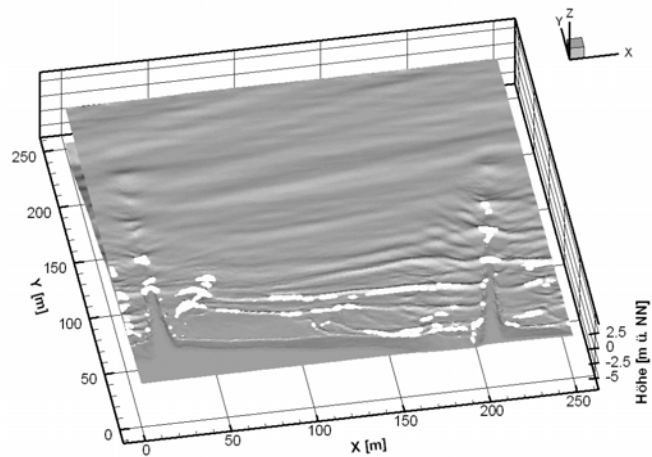


Abb. 4: Ergebnis einer BOWAM2 Berechnung

4.2 Photogrammetrie

Bis zum jetzigen Zeitpunkt haben erste Auswertungen der Messkampagne stattgefunden. Zur dreidimensionalen Objektbestimmung wurden in verschiedenen Stereobildpaaren ca. 30 gut verteilte Startpunkte gemessen. Unter Verwendung dieser 30 Startpunkte konnten

jeweils ungefähr 36 000 homologe Punkte automatisch bestimmt werden. Untersuchungen der Bildsequenzauswertung zeigen zusätzlich das hohe Potential des Algorithmus.

Die Berechnung einer Sequenz von 10 s mit einer Frequenz von 5 Hz konnte erfolgreich durchgeführt werden. Abbildung 5 zeigt drei generierte Wasseroberflächenmodelle aus dieser kurzen Bildsequenz mit einem zeitlichen Abstand von 1.7 s von Epoche zu Epoche.



Abb. 5: Sequenz von Wasserspiegelhöhen ($\Delta t = 1.7$ s)

5 AUSBLICK

In Zukunft werden weitere Anpassungen des Bildzuordnungs-Algorithmus an die Problematik der Ableitung von Wasseroberflächen vorgenommen und gleichzeitig der Programmablauf im Hinblick auf Automation, Geschwindigkeit und Genauigkeit optimiert. Das Ergebnis der Bildzuordnung wird durch eine manuelle Stereoauswertung kontrolliert. Auch weiterführende Bestimmungen der Grenzlinie zwischen Sand und Wasser sowie der brechenden Welle sind beabsichtigt. Die Lokalisierung des Beginns des Brechvorgangs der Welle ist für die korrekte Reproduktion des Wellenbrechens im numerischen Modell erforderlich. Eine weitere Messkampagne ist für das Frühjahr 2003 geplant.

6 DANK

Unser Dank gilt dem Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI), das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Kennzeichen 03KIS026 finanziell fördert. Ferner danken wir der Forschungsstelle Küste (FSK) des Niedersächsischen Landesamts für Ökologie (NLÖ) sowie der Außenstelle Norden des Niedersächsischen Landesbetriebs für Wasserwirtschaft und Küstenschutz (NLWK) für ihre tatkräftige Unterstützung.

7 SCHRIFTTUM

- SANTEL, F., HEIPKE, C., KÖNNECKE, S., WEGMANN, H.: Image Sequence Matching for the Determination of three-dimensional Wave Surfaces. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXIV, Part 5, S. 596-600, 2002
- SCHRÖTER, A.: Nichtlineare zeitdiskrete Seegangssimulation im flachen und tieferen Wasser. Dissertation, Institut für Strömungsmechanik, Universität Hannover, Bericht Nr. 42, Hannover, 1995
- STRYBANY, J. & WEGMANN, H.: Konzepte und Ansätze für das Wavescan-Verfahren. Tagungsband, 3. FZK-Kolloquium, S. 31-38, Hannover, 2001
- STRYBANY, J. & ZIELKE, W.: Extended Eddy Viscosity Concept for Wave Breaking in Boussinesq Type Models, *Proceedings of the 27th International Conference on Coastal Engineering (ICCE)*, S. 1307-1320, Sydney, 2000