

# Measurement of Waves, Wave Groups and Wind Fields using Nautical Radar-Image Sequences

## Abstract

In this thesis, which is based on three journal papers, novel techniques are developed for retrieving individual waves, wave groups, and wind fields, spatially and temporally from nautical radar-image sequences. The images with a spatial extension of  $\approx 4 \text{ km} \times 4 \text{ km}$  and a spatial resolution of  $\approx 10 \text{ m}$  were recorded by the Wave Monitoring System (WaMoS), developed at GKSS Research Center. Wave groups are derived by the first new method, based on the determination of the spatial-temporal envelope function. The wave groups are investigated regarding their spatial-temporal development, their extension and phase velocities for two sites, one in shallow water, the other one in deep water. High-resolution wind fields with a spatial resolution of up to  $100 \text{ m}$  are retrieved by the second method. The wind directions are extracted from the wind-induced streaks, which are approximately in line with the mean wind direction. The wind speeds are derived from the radar backscatter, taking into consideration the local wind direction and the air-sea surface temperature difference. The wind measurements are validated by comparing to in-situ measurements. For the investigation of single waves and wave groups an inversion scheme is introduced for determining ocean surface elevation image sequences from the radar-image sequences. This method is based on the local determination of the tilt angle of the ocean surface. The results are compared to three in-situ sensors for validation.

## Messung von Wellen, Wellengruppen und Windfeldern mittels Nautischer Radarbildsequenzen

### Zusammenfassung

In dieser Dissertation, welche auf drei Veröffentlichungen basiert, werden neue Techniken für die raum-zeitliche Bestimmung von individuellen Wellen, Wellengruppen und Windfeldern aus nautischen Radarbildsequenzen vorgestellt. Die Bilder, mit einer räumlichen Ausdehnung von  $\approx 4 \text{ km} \times 4 \text{ km}$  und einer Auflösung von  $\approx 10 \text{ m}$ , wurden mit dem Wave Monitoring System (WaMoS) aufgenommen, das am GKSS Forschungszentrum entwickelt wurde. Wellengruppen werden mittels der ersten neuen Methode bestimmt, die auf der Berechnung der raumzeitlichen Einhüllenden beruht. Die Wellengruppen werden hinsichtlich ihrer raumzeitlicher Entwicklung, Ausbreitung und Phasengeschwindigkeiten für zwei Gebiete, eines im Flach-, das andere im Tiefwasser, untersucht. Hochauflösende Windfelder, mit einer räumlichen Auflösung von bis zu  $100 \text{ m}$  werden mit der zweiten Methode bestimmt. Die Windrichtungen werden aus den Windstreifen gewonnen, die in ungefähr in Richtung der mittleren Windrichtung an der Meeresoberfläche verlaufen. Die Windgeschwindigkeiten werden aus der Radarrückstreuung berechnet, unter Berücksichtigung der lokalen Windrichtung und der Luft-Wasser-Temperaturdifferenz. Die Windmessungen sind anhand von Vergleichen mit In-situ-Messungen validiert. Für die Untersuchung von Einzelwellen und Wellengruppen wird ein Inversionsschema zur Bestimmung von Bildsequenzen der Wasseroberfläche aus Radarbildsequenzen vorgestellt. Die Methode basiert auf der Bestimmung der lokalen Wasseroberflächenneigung. Die Ergebnisse werden mit drei In-situ-Sensoren verglichen.