

Topographische Karte des Wattgebietes aus ERS-1 SAR- und Modelldaten

Dissertation
zur Erlangung des Grades
Dr. rer. nat.
der Universität Bremen

vorgelegt von
Britta Klocke

März 2001

Berichte aus dem Institut für Umweltphysik – Band 7
herausgegeben von:

Dr. Georg Heygster

Universität Bremen, FB 1, Institut für Umweltphysik,
Postfach 33 04 40, D-28334 Bremen

URL <http://www.iup.physik.uni-bremen.de>

E-Mail iupsekr@uni-bremen.de

Die vorliegende Arbeit ist die inhaltlich unveränderte Fassung einer Dissertation, die im März 2001 dem Fachbereich Physik/Elektrotechnik der Universität Bremen vorgelegt und von Prof. Dr. K. Künzi sowie Prof. Dr. W. Alpers begutachtet wurde. Das Promotionskolloquium fand am 20. April 2001 statt.

Die Arbeit dient außerdem als Abschlußbericht des BMBF-Vorhabens MTK 0596 0, Förderkennzeichen 03 KIS309/8; Projektleitung Dr. Georg Heygster.

In der Originalarbeit sind zahlreiche Abbildungen farbig. Erläuterungen im Text bezüglich farblicher Darstellungen in Abbildungen beziehen sich auf die Originalarbeit. Bei Interesse an den Originalabbildungen wenden Sie sich bitte an die oben angegebene Adresse.

Die Deutsche Bibliothek – CIP Einheitsaufnahme

Klocke, Britta:

Topographische Karte des Wattgebietes aus ERS-1, SAR- und
Modelldaten / Britta Klocke. – Berlin : Logos-Verl., 2001

(Berichte aus dem Institut für Umweltphysik ; 7)

Zugl.: Bremen, Univ., Diss., 2001

ISBN 3-89722-684-7

© Copyright 2001 Logos Verlag Berlin

Alle Rechte vorbehalten.

ISBN 3-89722-684-7

ISSN 1615-6862

Logos Verlag Berlin

Comeniushof

Gubener Straße 47

D-10243 Berlin

Telefon (0 30) 42 85 10 90

URL <http://www.logos-verlag.de>

Layout und Satz: Lothar Meyer-Lerbs, Bremen

Inhaltsverzeichnis

Abstract	5
Zusammenfassung	7
1 Einleitung	9
I Grundlagen	13
2 Das Radar mit synthetischer Apertur	15
2.1 Theorie des SARs	15
2.1.1 Abbildungsprinzip	15
2.1.2 Speckle-Rauschen	20
2.1.3 Bragg-Streuung	24
2.2 Das ERS-1 SAR	26
2.3 SAR-Bilder der Helgoländer Bucht	27
2.3.1 Abbildungseigenschaften von Watt- und Wasserflächen	28
2.3.2 Das ausgewählte Untersuchungsgebiet	31
2.3.3 Auswahl der SAR-Bilder	37
3 Die Wasserstandsdaten	45
3.1 Einflüsse auf den Wasserstand	45
3.1.1 Astronomische Einflüsse	45
3.1.2 Meteorologische Einflüsse	48
3.2 Das Wasserstandsmodell	49
3.3 Anpassung der Modellwasserstände an Pegeldata	52

II Algorithmen	55
4 Auswertung der SAR-Daten	57
4.1 Algorithmus zur Detektion der Wasserlinie	57
4.1.1 Skalenadaptiver Kantendetektionsalgorithmus	60
4.1.2 Bearbeitung der extrahierten Kanten mit Hilfe der Segmentierung	66
4.1.3 Manuelle Nachbearbeitung der Wasserlinie	72
4.1.4 Anwendung auf andere Testgebiete	73
4.2 Geokodierung	79
5 Erstellen einer topographischen Karte	83
5.1 Zuordnung der Wasserstände zu den Punkten der Wasserlinien	83
5.2 Interpolation	90
III Ergebnisse	95
6 Ergebnisse	97
7 Zusammenfassung und Ausblick	107
Anhang	111
A Verwendete SAR-Bildausschnitte	113
B Detektierte Wasserlinien	117
C Danksagung	129
D Symbolverzeichnis	131
E Abkürzungen	135
F Literaturverzeichnis	137

Abstract

The Wadden Sea is a globally unique and very vulnerable ecological system. Additionally, the area is exposed to intensive economical use, e.g. by shipping, fishing and tourism. Accurate and up to date topographic maps play a vital role in the protection of the Wadden Sea and the coastal area. Conventional mapping methods such as geodatic levelling or echo sounding need approximately six years to cover the German part of the Wadden Sea. Due to the high variability of this area caused by storms and tidal currents conventionally generated maps often do not represent the actual situation. Furthermore, the special circumstances in the mud-flats prevent the intertidal area from being completely mapped with conventional methods.

An alternative for generating a topographic map of the complete intertidal area is offered by the waterline method presented in this thesis. The chosen sample area, called *Süderoog Sand*, covers an area of $14 \text{ km} \times 14 \text{ km}$ including the supratidal sand Süderoog and the southern part of Norderoog Sand. 26 images of the Synthetic Aperture Radar (SAR) aboard the European Remote Sensing Satellite (ERS-1) taken in 1992 are used as a data basis to detect the borderline between wadden flats and the surrounding water, the so called waterline. This waterline can be detected in a lot of SAR images taken at a wind speed $> 5 \text{ m s}^{-1}$. In addition to that SAR images offer the advantage that they can be taken without regarding weather and light conditions. Moreover they offer a high resolution of 25 m.

Because of the high level and multiplicative nature of the speckle noise generated by the SAR imaging process a special algorithm has been developed to detect the waterline. The general applicability of the algorithm on ERS-SAR images has been proven by various tests. It works scale adaptively. In a first step an edge detector is applied to a small image consisting of pixels replaced by the average of the neighbouring pixels.

Areas where edges have been detected are marked. In the next step the edge detector is applied to these marked areas, providing a higher and higher resolution. The result of this process is a highly resolved waterline. Unfortunately this algorithm also detects edges not representing a waterline. In order to reduce the number of misclassified pixels a segmentation procedure is applied. Afterwards, the edges which are found in the interior of a segment can be excluded from being a waterline. Therefore, a correction by an operator is only needed in a few small regions. The developed algorithm proved to be successful detecting waterlines within 11 of 26 supplied SAR images. The waterlines of these images retrieved at different tidal levels cover the whole area between high and low water level.

In a further step the extracted waterlines are assigned to water levels. For this water levels obtained by the water level model running operationally at the Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (German Maritime and Hydrographic Agency) are used. These model data are corrected with tide gauge data from Wittdün/Amrum. The result is a random grid of topographic points. The topographic points are interpolated into a topographic map of the intertidal area using the software package TASH developed at the University of Hannover.

In comparison with a conventionally generated map the result of the waterline method is proven. Furthermore, areas not accessible to conventional methods can be mapped with the help of the waterline method.

Zusammenfassung

Das Wattenmeer ist ein weltweit einmaliges, sehr empfindliches Ökosystem. Zusätzlich wird dieses Gebiet wirtschaftlich intensiv z. B. durch Schifffahrt, Fischerei und Tourismus genutzt. Zum Schutz des Wattenmeeres, aber auch in Hinblick auf Küstenschutzmaßnahmen ist eine möglichst aktuelle und komplette Erfassung der Watttopographie erforderlich. Zur Vermessung der deutschen Wattgebiete mit herkömmlichen Methoden, wie terrestrischen Vermessungen und Echolotmessungen vom Schiff aus, benötigt man ca. sechs Jahre. Das Wattenmeer unterliegt jedoch durch die Gezeitenströmungen und Stürme starken Veränderungen, so daß diese Karten in großen Gebieten nicht die aktuelle Situation wiedergeben. Zudem ist aufgrund der Gegebenheiten im Watt keine flächendeckende Vermessung des Intertidalbereichs mit herkömmlichen Methoden möglich.

Eine Alternative zur Erstellung topographischer Karten des kompletten Intertidalbereichs bietet das in dieser Arbeit verwendete Wasserlinienverfahren. Als Testgebiet dient das ca. $14 \text{ km} \times 14 \text{ km}$ große Areal *Süderoog Sand*, das den supratidalen Sand Süderoog komplett und den Südteil von Norderoog Sand umfaßt. Als Datengrundlage zur Detektion der Grenze zwischen trockengefallenem Watt und Wassergebieten, der sogenannten Wasserlinie, dienen 26 Bilder des Radars mit synthetischer Apertur (SAR) des europäischen Fernerkundungssatelliten ERS-1 von 1992. Die Wasserlinie kann in vielen SAR-Bildern, die bei einer Windgeschwindigkeit $> 5 \text{ ms}^{-1}$ aufgenommen wurden, detektiert werden. SAR-Bilder bieten zusätzlich den Vorteil, daß sie unabhängig von Wetter und Tageslicht aufgenommen werden können und eine gute Auflösung von 25 m haben.

Aufgrund der durch das sogenannte Speckle-Rauschen verursachten körnigen Struktur der SAR-Aufnahmen mußte zur Detektion der Wasserlinie ein spezieller Algorithmus entwickelt werden, dessen allgemeine

Anwendbarkeit auf ERS-SAR-Bilder durch Tests bestätigt wurde. Dieser Algorithmus arbeitet skalenadaptiv. Ausgehend von einem stark gemittelten Bild werden in den Bereichen, in denen Kanten gefunden wurden, erneut Kanten in Bilder immer feinerer Auflösung extrahiert. Das Ergebnis ist eine pixelgenau detektierte Wasserlinie. Das Kantendetektionsverfahren detektiert aber auch Kantenabschnitte, die nicht mit einer Wasserlinie übereinstimmen. Daher werden diese Kanten nachbearbeitet. Dazu wird das betrachtete SAR-Bild zunächst segmentiert. Anschließend können diejenigen Kantenstücke, die mitten in einem Segment liegen, als Wasserlinienabschnitte ausgeschlossen werden. Eine manuelle Korrektur ist nur noch in einzelnen Bereichen nötig. In 11 der 26 zur Verfügung stehenden SAR-Bilder konnten mit dem entwickelten Algorithmus die Wasserlinien für das Testgebiet Süderoog Sand erfolgreich detektiert werden. Die Wasserlinien dieser bei unterschiedlichen Tidephasen aufgenommenen SAR-Bilder decken den gesamten Bereich zwischen Hoch- und Niedrigwasser ab.

Als nächster Schritt werden die Wasserlinien in Höheninformationen überführt. Verwendet werden dazu Wasserstände des operationellen Wasserstandsmodells des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie. Die Modelldaten werden vor der Koppelung mit den Wasserlinien mit Pegeldata der Station Wittdün auf Amrum korrigiert. Man erhält somit ein Netz unregelmäßig verteilter Höhenpunkte. Durch die Interpolation dieser Höhenpunkte mit dem Programmpaket TASH der Universität Hannover wird eine topographische Karte des Intertidalbereichs erstellt.

Diese Karte stimmt sehr gut mit einer konventionell erstellten Karte überein. Zusätzlich konnten auch Bereiche vermessen werden, die konventionellen Verfahren nicht zugänglich sind.