

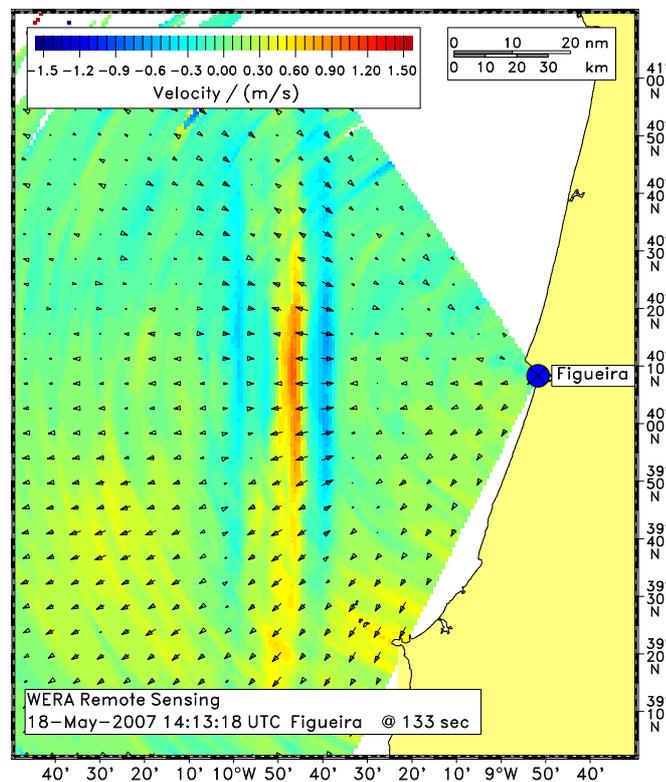
Abschlussbericht BMBF-Projekt 03G0659A

Echtzeit Erkennung von tsunami-erzeugten Signaturen in Strömungskarten des HF-Radars WERA zur Überwachung gefährdeter Küstenregionen (WeraWarn)

Gesamtlaufzeit des Projektes. 01.04.2007 – 30.06.2010

Projektkoordinator: Prof. Dr. Detlef Stammer

K.-W. Gurgel, T. Pohlmann, T. Schlick, J. Xu, A. Dzvonkovskaya



Institut für Meereskunde der Universität Hamburg

Zentrum für Meeres- und Klimawissenschaften

Das diesem Bericht zugrundeliegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03G0659A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

I. Kurzdarstellung

I.1. Aufgabenstellung

Vor dem Hintergrund der im Dezember 2004 im Indischen Ozean aufgetretenen Naturkatastrophe ist der Bedarf an zuverlässigen Frühwarnsystemen in den Blickpunkt von Politik, Wissenschaft und Forschung getreten. Daher sollte mit diesem Vorhaben untersucht werden, in welchem Rahmen ein weitblickendes (250km) HF-Küsten-Radar, welches andernorts bereits erfolgreich in vielen nationalen und internationalen ozeanographischen Experimenten eingesetzt wird, entscheidend zur Verringerung der Fehlalarmrate durch direkte Beobachtung von Tsunami-Signaturen beitragen kann. Anhand theoretischer Betrachtungen, numerischer Simulationen und Überprüfung der Ergebnisse anhand von Messdaten sollen die Möglichkeiten und Grenzen des HF-Radar-Systems WERA als unterstützende Komponente eines Tsunami-Frühwarnsystems untersucht werden.

I.2. Voraussetzungen unter denen das Projekt durchgeführt wurde

Das Projekt wurde als Verbundprojekt mit je einem Partner aus dem Bereich der Universität und der Industrie durchgeführt. Es gliedert sich in die Teilprojekte der ozeanographischen Modelle, der Simulation der Ausbreitung und Rückstreuung elektromagnetischer Radarwellen, der Entwicklung von Tsunami-Detektionsalgorithmen, der Optimierung der Radar-Hardware, sowie der Durchführung eines Experiments zur Validierung der theoretischen Ergebnisse.

Die Arbeiten an der Universität Hamburg umfassen die ozeanographischen Modelle zur Simulation tsunami-erzeugter Strömungssignaturen und der Verbesserung der Vorhersage der aktuellen Strömungsfelder ohne das Vorhandensein eines Tsunamis mittels Datenassimilation (Modellstudie „TsunamiCoast“) und der Identifikation der Küstengebiete, an denen das Verfahren ausreichende Vorwarnzeiten ermöglicht (Modellstudie „TsunamiGlobal“). Die Simulation der Rückstreuung elektromagnetischer Radarwellen und die Entwicklung des Tsunami-Detektionsalgorithmus werden in der Modellstudie „TsunamiHFSpec“ durchgeführt.

Die technische Weiterentwicklung der Überhorizontradar-Hardware, die große Reichweiten, eine verbesserte Störfestigkeit und kurze Integrationszeiten ermöglicht, ist von der Firma Helzel Messtechnik im Rahmen des Teilprojektes „WeraOptimize“ ausgeführt worden. Das zur Validation der theoretischen Ergebnisse vorgesehene Experiment „TidalBore“ war ursprünglich am Hangzhou-Delta in China geplant, wurde dann nach Brasilien zur Amazonas-mündung verlegt und schließlich ganz abgesagt (weitere Details siehe I.3.e). Die Planungen für das Experiment wurden von der Uni Hamburg gemeinsam mit der Firma Helzel Messtechnik vorgenommen, während später das Experiment von Helzel Messtechnik alleine durchgeführt werden sollte. Die Firma Helzel Messtechnik hat zu ihren Teilaufgaben einen eigenen Abschlussbericht angefertigt.

I.3. Planung und Ablauf des Projektes

Die oben aufgeführten Teilprojekte wurden zeitlich so koordiniert, dass eine Weitergabe der Ergebnisse, z.B. von „TsunamiCoast“ an „TsunamiHFSpec“, zu keiner Verzögerung der

Arbeiten führte. Die Bereiche der ozeanographischen Modelle wurden von Thomas Pohlmann und Jiangling Xu bearbeitet, während die Simulation der Ausbreitung und Rückstreuung elektromagnetischer Radarwellen und die Entwicklung eines Detektionsalgorithmus von Klaus-Werner Gurgel, Thomas Schlick und Anna Dzvonkovskaya durchgeführt wurde. Bei der Implementierung des Rückstreumodells wurde zudem eng mit Eric Gill von der Memorial University in St. John's, Neufundland, Kanada zusammengearbeitet. In den folgenden Abschnitten werden die Teilprojekte näher erläutert.

a) Modellstudie TsunamiCoast (T. Pohlmann, J. Xu)

Diese Modellstudie deckt zwei Arbeitsbereiche ab. Einerseits werden Datensätze mit Oberflächenströmungen hoher räumlicher (1*1 km) und zeitlicher (1 Sekunde) Auflösung erzeugt, die als Eingangssignal für die Simulation der Radar-Rückstreuung verwendet werden; andererseits wird eine Datenassimilationsmethode entwickelt, die es erlaubt, die normale ozeanographische Zirkulation zu erfassen und vorherzusagen, um außergewöhnliche Signaturen leichter erkennen zu können, wie sie z.B. von Tsunamis erzeugt werden. Diese Datenassimilationsmethode stellt damit eine wichtige Komponente in einem Tsunami-Detektionsalgorithmus dar. Da beide Arbeitsbereiche auf hochauflösende Modelle zurückgreifen, sind sie unter einer Hauptthematik zusammengefasst.

b) Modellstudie TsunamiGlobal (T. Pohlmann, J. Xu)

Diese Modellstudie hat die Identifikation der Küstengebiete zum Ziel, die voraussichtlich durch ein Radarsystem vor herannahenden Tsunamis gewarnt werden können. Wichtige Parameter in diesem Zusammenhang sind z.B. der Ort der Erzeugung, die Breite des Schelfs und die Wassertiefe auf dem Schelf. Abhängig vom Profil der Wassertiefe ergeben sich unterschiedliche Vorwarnzeiten vom ersten Erkennen eines Tsunamis bis zu dessen Eintreffen an der Küste.

c) Modellstudie TsunamiHFSpec (K.-W. Gurgel, T. Schlick, A. Dzvonkovskaya)

Dieser Arbeitsteil deckt alle mit dem Radar verbundenen Themen ab. Einerseits soll eine möglichst genaue Simulation der empfangenen Radarsignale im Falle eines herannahenden Tsunamis erfolgen, andererseits soll ein Algorithmus entworfen werden, der die Detektion eines solchen Ereignisses erlaubt. Zur Simulation der Radarechos wurden synthetische Rückstreuenspektren erzeugt, die zur anschließenden Überlagerung mit einem Tsunami-Signal in den Zeitbereich transformiert wurden. Ein neuentwickeltes Modulationsverfahren erlaubt dann die Aufprägung einer in „TsunamiCoast“ erzeugten Signatur im Zeitbereich auf das Radarsignal. Das Verfahren erlaubt auch die Aufprägung auf echte Radarmessdaten, was eine über den ursprünglichen Antrag hinausgehende Funktionalität darstellt. Die so synthetisierten Radarechos wurden dann mit variabler Integrationszeit prozessiert, um Schwellwerte für die Detektierbarkeit von Tsunami-Signaturen zu bestimmen.

Der Detektionsalgorithmus basiert auf einem „Constant False Alarm Rate“ (CFAR) Verfahren, das in der Radartechnik z.B. zur Erkennung von Flugzeugen in Verkehrsleitradars eingesetzt wird. Dieses Verfahren funktioniert am zuverlässigsten, wenn die im Messgebiet normalerweise vorherrschende Zirkulation, z.B. durch Gezeiten und Wind, vorher aus dem Messsignal entfernt wurde. Hierzu dient das in „TsunamiCoast“ entwickelte Datenassimilationsverfahren im Zusammenhang mit dem ozeanographischen Modell HAMSOM.

d) WeraOptimize (Helzel Messtechnik)

Zu den Ergebnissen dieses Teilprojektes sei auf den Abschlussbericht der Firma Helzel Messtechnik verwiesen.

e) TidalBore (Helzel Messtechnik, Uni Hamburg)

Zur Verifikation der theoretischen Untersuchungen war ein Experiment geplant. Da Tsunamis unvorhersehbar auftreten und daher keine Planung innerhalb eines vorgegebenen Projektzeitrahmens möglich war, wurde als Ersatz für die sich aufsteilende Welle eines Tsunamis eine tidenerzeugte Bore ausgewählt. Beide stellen in der Endphase eine schnell laufende „Wasserwand“ dar, auch wenn ein Tsunami eine andere ozeanographische Dynamik hat und die Signaturen bei der Erzeugung vor der Küste unterschiedlich sind. Die stärksten Gezeitenboren treten in China im Hangzhou-Delta und in Brasilien im Amazonas-Delta auf. Eine weitere Randbedingung für die Auswahl war die räumliche Auflösung des Radars von 1*1 km. Damit kamen Boren in engen Flussmündungen für das Experiment nicht in Frage.

Da die stärkste Bore im Hangzhou-Delta auftritt, wurde zunächst versucht, ein Experiment in China durchzuführen. Dies musste jedoch aufgrund diplomatischer Probleme nach ca. 6 Monaten aufgegeben werden. Der Kontakt nach Brasilien zur “Universidade Estadual Paulista”, Meteorologisches Institut, in São Paulo war aus diplomatischer Sicht problemlos. Ein Besuch im vorgesehenen Messgebiet hatte jedoch gezeigt, dass sich das Experiment im Rahmen der bewilligten Projektmittel nicht durchführen ließe. Die für die Durchführung des Experiments zuständige Firma Helzel Messtechnik hätte eine Mittelaufstockung um ca. 230.000 Euro benötigt. Außerdem wurde keine Versicherungsgesellschaft gefunden, die das Risiko eines Verlustes des Radars abgesichert hätte, und aufgrund der Verzögerungen hätten die Daten der Messkampagne nicht mehr im Rahmen der Projektlaufzeit ausgewertet werden können. Weitere Details zum Abbruch des Experimentes sind im Abschlussbericht der Firma Helzel Messtechnik aufgeführt.

Es wird angestrebt, ein Demonstrationsexperiment an anderer Stelle und zu einem anderen Zeitpunkt nachzuholen. Ein solches Experiment muss jedoch im internationalen Zusammenhang stehen und lokal in dem jeweiligen Land organisiert werden. Um dies international vorzubereiten, wurden die bisher erzielten Ergebnisse auf den Konferenzen Oceans 2009, ROW 2009, IRS 2009 und Radar 2009 vorgestellt. Des Weiteren wurden Kontakte zu anderen Nutzern des WERA Radars aufgebaut. Im Rahmen einer Kooperation mit der Uni Hawaii stand auch ein in Hawaii aufgezeichneter Datensatz des Tsunamis bei Samoa vom 29. September 2009 zur Verfügung, der jedoch nur eine sehr kleine Amplitude aufwies und nicht unter idealen Bedingungen aufgenommen wurde.

I.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand

Überhorizont-Radars werden seit Jahrzehnten zur flächenhaften Messung der Ozeanzirkulation verwendet. Je nach Arbeitsfrequenz (von 3-30 MHz) können Reichweiten bis zu 250 km vor der Küste und räumliche Auflösungen bis zu 1 km erreicht werden. Die typische Integrationszeit zur Messung von Strömungsfeldern beträgt dabei mindestens 9 Minuten. Diese Zeiten sind erforderlich, um ein ausreichendes Signal-zu-Rausch Verhältnis der Messungen zu gewährleisten. Im Projekt WeraWarn wurde gezeigt, dass kürzere Integrationszeiten erforderlich sind, um eine sich schnell verändernde Tsunami-Signatur zu erkennen, wobei die erhöhten Anforderungen an das Signal-zu-Rausch Verhältnis durch eine Optimierung der Radar-Hardware erreicht werden kann.

II. Detaillierte Darstellung

II.1. Erzielte Ergebnisse

a) Modellstudie TsunamiCoast (T. Pohlmann, J. Xu)

Zu Beginn muss das bestehende zweidimensionale, barotrope Wasserstands-Strömungsmodell an die speziellen Anforderungen des Projektes angepasst werden. Hierzu gehört insbesondere die Erhöhung der räumlichen Auflösung und einige Modellmodifikationen, die nötig sind, um starke Topographiesprünge adäquat aufzulösen. Außerdem muss noch zusätzlich die Drehung des Druckgradiententerms eingebaut werden, um die durch die großen Wassertiefen verursachte Zeitschrittlimitierung zu umgehen.

Mit dieser Modellkonfiguration wurden verschiedene Tsunami-relevante Szenarien simuliert. Hierbei wurden die Neigung des Schelfabhanges, die Ozean- und Schelftiefe sowie die Höhe, Wellenlänge und der Eintrittswinkel der auf die Schelfkante laufenden Tsunamiwelle systematisch variiert. Die resultierenden Strukturen der Strömungen und Wasserstände wurden im Vorwege analysiert und auf ihre Konsistenz überprüft. Aufgrund dieser Voruntersuchungen wurde abschließend ein Eingangsdatensatz erstellt, der für die Rückstreuungssimulation innerhalb von TsunamiHFSpec (siehe Abbildung 6) zur Berechnung der synthetischen Radar-Rückstreuungsspektren Verwendung gefunden hat. Für diese typische Strömungssignatur, wie sie durch einen Tsunami erzeugt wird, wurde eine ideale Ozean-Bodentopographie angenommen, die in Abbildung 1 dargestellt ist. Die Daten wurden auf einem 250 x 250 km großen Gitter mit 1 km Gitterabstand und Zeitschritten von einer Sekunde berechnet.

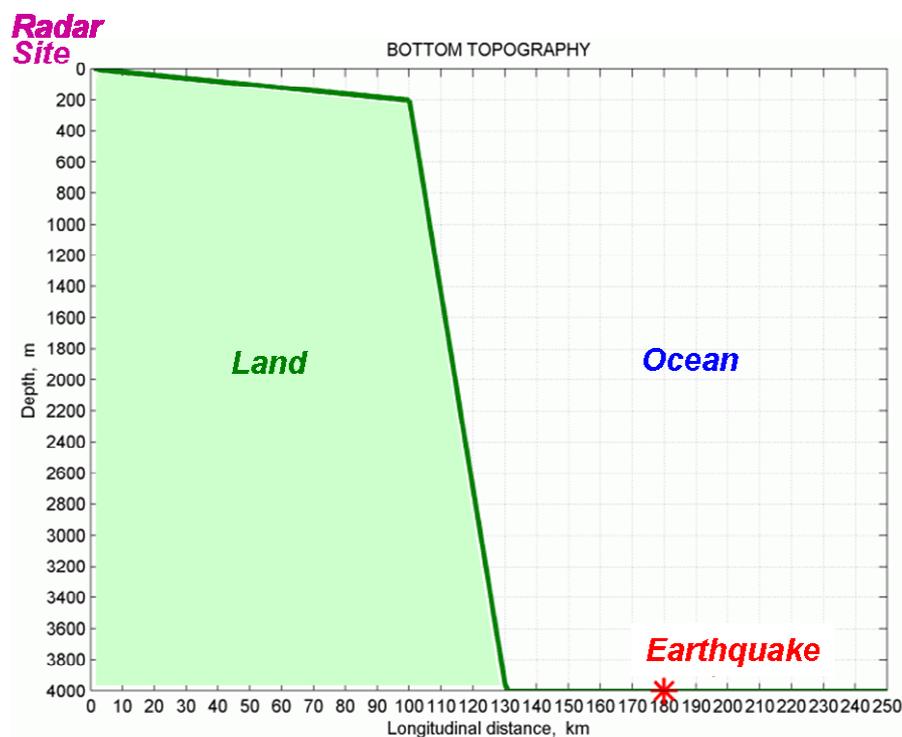


Abb. 1: Die für die Tsunami-Simulation verwendete Ozean-Bodentopographie.