
Preprint aus:

Strobl, J, T. Blaschke & G. Griesebner (Hrsg.)

Angewandte Geoinformatik 2006

Beiträge zum 18. AGIT-Symposium Salzburg

2006

Wichmann Verlag Heidelberg

S. 75-80

Konzept zur Archivierung von Tsunami-Simulationsrechnungen

Stephan BRAUNE, Jens SCHRÖTER und Wolfgang HILLER

Zusammenfassung

Als Reaktion auf den verheerenden Tsunami am 26. Dezember 2004 wird für die Anrainerstaaten des Indischen Ozeans ein Tsunami-Frühwarnsystem (German-Indonesian Tsunami Early Warning System, GI-TEWS) aufgebaut (MÖLLER 2005). Am GI-TEWS sind als Beitrag der Bundesrepublik Deutschland mehrere Institute der Helmholtz-Gemeinschaft maßgeblich beteiligt. In diesem Beitrag werden das Datenmanagement der am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) berechneten Simulationsrechnungen und der Datenaustausch mit den anderen Instituten behandelt.

1 GI-TEWS Überblick und Aufgabenverteilung

Zwischen dem auslösenden Beben am 26. Dezember 2004 und dem ersten Eintreffen der Welle an der indonesischen Küste lag eine Zeitspanne von ca. 40 min (MERRIFIELD et al. 2005). Die genaue Laufzeit der Tsunami-Welle 2004 zu verschiedenen Pegelstationen ist in MERRIFIELD et al. 2005 aufgelistet. Aufgrund der räumlichen Nähe der tektonisch aktiven Zone zu den gefährdeten Gebieten und der hohen Verantwortung, die mit dem GI-TEWS-Projekt verbunden ist, müssen im Frühwarnsystem alle verfügbaren Kenntnisse und Datenquellen genutzt werden. Um qualifizierte (rechtzeitige und aussagekräftige) Tsunami-Warnungen herausgeben zu können, umfasst das GI-TEWS

- die permanente Auswertung der relevanten vorhandenen Meßsysteme (Seismometernetz GEOFON und GPS-Bodenstationsnetz),
- die Neuinstallation von Sensoren zur Messung der Wellenhöhe (Messbojen und Gezeitenpegel) und
- das Vorausberechnen wahrscheinlicher Szenarien.

Die Echtzeit-Modellierung der Ausbreitung einer Tsunami-Welle im Indischen Ozean dauert zu lange, um sie im Fall eines Beben-Ereignisses vornehmen und auswerten zu können. In der Aufbauphase modellieren das GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ), das AWI, das ForschungsZentrum GKSS und das Deutsche Forschungszentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) die Ausbreitung der Tsunami-Welle in den Bereichen am Epizentrum (initiale Welle), im tiefen Wasser, in Küstennähe bzw. im Überflutungsbereich. Das AWI wird die Ausbreitung der Tsunami-Welle im tiefen Wasser, also vom Epizentrum durch den ganzen Indischen Ozean bis an die Küsten (ca. 100 m Wassertiefe) rechnen und diese Modellläufe den anderen beteiligten Forschungseinrichtungen zur Verfügung stellen.

2 Speichermodell – Inhalte, Schnittstellen und Umsetzung

Entlang der (bekannten) tektonisch aktiven Bruchlinie im Indischen Ozean werden für ca. 500 gedachte Epizentren sogenannte Elementar-Tsunamis (synthetische Tsunamis, pre-computed virtual tsunamis) gerechnet. Die Parametrisierung dieser synthetischen Tsunamis und die Berechnung der initialen Welle wird am GFZ durchgeführt. Neben der initialen Welle als Ausgangsparameter geht wesentlich die Bathymetrie in die Rechnung der Wellenausbreitung durch den Indischen Ozean ein. Gerechnet wird auf einem irregulären Gitter, das der Bathymetrie angepasst ist, auf mehr als 1 Mio. Gitterpunkten und in 5 s Zeitintervallen über einen Zeitraum von mehreren Stunden. Zur Kontrolle des Modells rechnet man den täglichen Gezeitenverlauf mit demselben Programm und vergleicht die Ergebnisse mit Pegelmessungen.

Der am AWI modellierte Wellenverlauf wird in NetCDF-Dateien (REW et al. 2006) entsprechend der „Climate and Forecast“- (CF-) Convention (EATON et al. 2003, CLS 2005) abgelegt, die in der Ozean- und Klimamodellierung Quasistandard ist (LAWRENCE et al. 2005). Diese Modelle sind Ausgangspunkt für die weitere Modellierung am GKSS und DLR. Der Datenfluss innerhalb der Tiefwassermodellierung am AWI ist in Abbildung 1 zusammenfassend dargestellt.

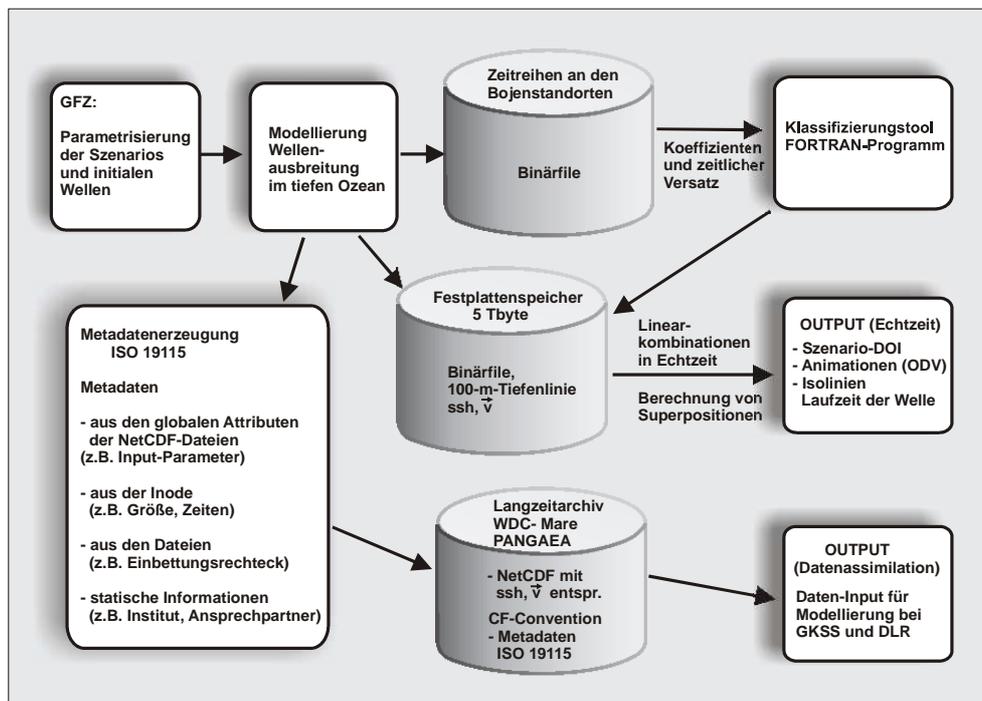


Abb. 1: Datenfluss innerhalb der Datenassimilation (Tiefwassermodellierung).

2.1 Klassifizierungstool

Im Fall eines Bebens (Echtzeit-Fall) soll aus den „auf Vorrat“ (pre-computed) gerechneten Modellen dasjenige herausgesucht werden, das dem tatsächlichen Ereignis am ähnlichsten ist. Das geschieht mit einem Klassifizierungstool, das die Koordinaten des Epizentrums oder der tektonischen Bruchzone (KRÜGER & OHRNBERGER 2005, YUAN et al. 2005) und die Daten des GPS-Festnetzes (VIGNY et al. 2005) sowie die Daten der Messbojen (Ozeanbodendruck und Schwimmkörper mit GPS-Antenne) und der Gezeitenpegel mit den vorausgerechneten Modellen vergleicht. Der Vergleich geschieht mit der Gauß'sche Methode der kleinsten Quadrate.

Dazu werden die von den gerechneten Tsunamis die Zeitreihen des Wasserstandes („sea surface height“) an den Bojen- und Pegelstandorten gesondert abgelegt. Auf den so indexierten Datenbestand greift das Klassifizierungstool im Echtzeitfall zu, ohne die NetCDF-Dateien zu öffnen. Zu dieser Übersicht gehören die erwarteten Zeitverzögerung (Eintreffen der Tsunami-Welle an den Messbojen und Gezeitenpegeln) und die erwarteten Signalamplituden und -frequenzen der ausgesetzten Messbojen und Gezeitenpegel.

Die Zahl der Messbojen ist im Endausbau auf 10 festgelegt, es werden die Daten von ca. 20 Pegeln hinzugenommen. Sobald die Bodendrucksensoren der Messbojen einen Tsunami erkennen, senden sie alle 2 Minuten eine 15-Sekunden getrackte Zeitserie von Ozean-Bodendruckdaten (wobei die zurückliegenden 190 min Bodendruckdaten im Cache der Boje liegen und ebenfalls gesendet werden). Die zum Vergleich der gemessenen Bodendruckdaten mit den Simulationsrechnungen benötigte Datenmenge (Index) ist daher auch im Endausbau so überschaubar (mehrere Megabyte), dass sie in einer einzigen Binärdatei abgelegt werden kann.

2.2 Festplatten-Cache

Wird nach der Gauß'schen Methode der kleinsten Quadrate gerechnet, so muss man im Echtzeitfall nicht nur die geeigneten Simulationsdateien heraussuchen, sondern auch Linearkombinationen davon rechnen. Problematisch dabei ist, dass bei dem nichtlinearen Problem (Flachwassergleichung mit Advektions- und Coriolisterm) eine Linearkombination aus Lösungen streng genommen keine Lösung ist. Bei ausgedehnten Bruchzonen ist dies aber die einzige Möglichkeit einer schnellen Vorhersage. Um eine Linearkombination zu rechnen, müssen die (jeweils ca. 2 GByte großen) NetCDF-Files für einen schnellen Zugriff hochausfallsicher bereitliegen. Hardwaremäßig wird das mit einem RAID-System realisiert, das über eine Fibre-Channel-Verbindung mit dem Rechner verbunden ist.

2.3 Langzeitarchivierung im WDC-MARE

Der am AWI modellierte Wellenverlauf wird in NetCDF-Dateien entsprechend der CF-Convention abgelegt, mit einem Metadatenfile auf Grundlage des ISO19115-Standards (O.A. 2003) beschrieben und zusammen mit dem Metadatenfile im Archiv PANGAEA (Publishing Network for Geoscientific & Environmental Data, DIEPENBROEK et al. 2002) des WDC-MARE (World Data Center for Marine Environmental Sciences) langzeitarchiviert. Die Metadatenfiles enthalten Angaben wie Erstellungsdatum, verwendete

Programmversion, Inputparameter (Epizentrum und vertikalen Versatz) und Angaben zum verwendeten Ozeanbodenmodell und zum Zirkulationsmodell. Die NetCDF-Dateien erhalten zusammen mit dazugehörigen geographischen Visualisierungen (Karten und Animationen) und den ISO19115-Dateien einen DOI (Digital Object Identifier, PASKIN 2005) und werden dann zum Download bereitgestellt. Die gegenseitige Abhängigkeit der Daten und Modelle (Bathymetrie, interpoliert auf das irreguläre Gitter, und Gezeitenmodelle) ist in den Metadatenfile dokumentiert.

Die Daten sind in zwei räumlich getrennten Magnetbandsilos redundant gespeichert. Für die Suche im Echtzeit-Fall ist das WDC-MARE allerdings wegen der Speicherung auf Magnetbändern zu langsam und hinsichtlich der Ausfallsicherheit ungeeignet.

3 Metadaten

Die gerechneten Szenariendateien dürfen selbstverständlich nicht ohne Metadaten ins WDC-MARE eingespeichert werden. Zu jedem Szenario wird ein Metadatenfile nach dem Standard ISO19115 angelegt. ISO19115 setzt sich sowohl in Deutschland als auch im Pazifischen Raum (in MOELLERING et al. 2005) durch. Metadaten beinhalten

- Informationen über Datenautor, Zeit und die technische Bezeichnung (Identifizier) des Modellaufs,
- Input-Parameter der durchgeführten Modellrechnung (angenommenes Epizentrum, angenommener vertikaler Versatz),
- Informationen über das verwendete Meeresbodenrelief, die räumliche und zeitliche Auflösung des Modells, das zugrunde liegende Zirkulations- und Gezeitenmodell und die verwendete Programmversion und
- die Pfadnamen der NetCDF-Dateien, der dazugehörigen ISO19115-Datei (Metadatenfiles) und geographischen Visualisierungen (Karten und Animationen).

Ein Teil der Metadaten ist in den globalen Attributen der NetCDF-Files abgelegt, sofern diese der CF-Convention entsprechen (EATON et al. 2003, CLS 2005). Weitere Informationen wie z.B. das geographische Einbettungsrechteck kann man den Daten direkt entnehmen. Andere Metainformationen wie z.B. die Dateigröße entnimmt man der Dateiverwaltung (UNIX: Inode-Tabelle). Ein weiterer Teil der Metadaten bleibt über den ganzen Zeitraum der Datenassimilation unverändert und wird statisch eingepflegt.

4 Standards und Schnittstellen

Neben dem ISO19115 berücksichtigt das GI-TEWS weitere Standardschnittstellen.

Die NetCDF-Files entsprechen der CF-Convention. Diese legt die Namen, Attribute und Einheiten der Orts- und Zeitvariablen sowie die globalen Attribute fest. Die geographischen Koordinaten heißen „latitude“ und „longitude“, sind vom Datentyp „nc_float“ und haben die Maßeinheit „degrees_north“ bzw. „degrees_east“. Die Zeitvariable heißt „time“, ist vom

Datentyp „nc_double“ und hat die Einheit „seconds since 0000-01-01 00:00:00“ und den Anfang „01-JAN-0000 00:00:00“. Außerdem hat die Datei die globalen Attribute „title“, „institution“, „source“, „history“, „references“ und „comment“, so dass die wichtigsten Metainformationen neben dem Metadatenfile auch in der NetCDF-Datei abgelegt sind.

Eine neue Entwicklung vom Open Geospatial Consortium (<http://www.opengeospatial.org/>) ist die Standardisierung von Sensorschnittstellen. Diese ist in der Dokumentation zum „Sensor Observation Service“ (OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM INC. 2005) beschrieben. Im GI-TEWS wird die Eignung dieses neuen OpenGIS-Standard untersucht.

5 Visualisierung mit „Ocean Data View“

Zur geographischen Visualisierung der Szenarien und zur Erstellung von Animationen wird die am AWI programmierte, frei verfügbare Software „Ocean Data View“ (ODV, SCHLITZER 2005) eingesetzt. Diese Software ist in den Ozeanwissenschaften weit verbreitet. NetCDF-Files, die der CF-Convention entsprechen, können ohne weiteres von ODV gelesen werden. Es ist sogar möglich, Batch-Jobs zu schreiben, die NetCDF-Files lesen und daraus animierte GIF-Dateien erzeugen. Diese Animationen sind eine gute Veranschaulichung der gerechneten Szenarien. Zum Anfertigen von Detailkarten und zum Verschneiden z.B. mit Satellitenfotos muss allerdings auf andere GIS-Programme zurückgegriffen werden.

6 Nächste Projektschritte

In ähnlicher Weise wie mit den Szenarien wird mit den Green'schen Funktionen verfahren. Im Gegensatz zu den aus geologischer Sicht sehr wahrscheinlichen Szenarien beschreibt eine Green'sche Funktion die Wellenausbreitung nach einer räumlich und zeitlich sehr lokalen Anregung. Aus diesen Anregungen wird dann die reale Welle zusammengesetzt. Auch die Green'schen Funktionen werden im NetCDF-Format gespeichert. Diese Methode wird bei der Berechnung von Fernfeldern und bei der Representer-Methode angewendet und dient der Absicherung der Vorhersage, die mit der Wellenmodellierung erstellt wurde.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei den Modellierern Dr. E. Taguchi, Dr. D. Sein, Dr. S. Harig, Dr. D. Sidorenko und Dr. S. Danilov (AWI) für die gute Zusammenarbeit, bei Dr. H. Grobe und Dr. R. Sieger (AWI) sowie bei Dr. M. Diepenbroeck und U. Schindler (Zentrum für Marine Umweltwissenschaften, Universität Bremen) für die Archivierung und bei Prof. R. Schlitzer und Dr. J. Schneider (AWI) für die Hilfe bei der Visualisierung.

7 Literatur

- o.A. (2003): *Final Draft International Standard ISO/FDIS 19115 (ISO/TC211) Geographic information - Metadata* (Version 2003-03-23). ISO, Genève.
- CLS (2005): *Guidelines for Mersea Data Provider – Gridded Data Product Format – MERSEA_WP06_CLS_UMAN_001_1B_gridded_data_format*, http://w3.mersea.eu.org/documents/information/MERSEA_WP06_CLS_UMAN_001_1B_gridded_data_format.doc (Date accessed: [06.12.2005]).
- Diepenbroek, M, H. Grobe, M. Reinke, U. Schindler, R. Schlitzer, R. Sieger, & G. Wefer (2002): *PANGAEA—an information system for environmental sciences*. *Computers & Geosciences*, Vol. 28, Iss. 10, S. 1201-1210, doi:10.1016/S0098-3004(02)00039-0.
- Eaton, E, J. Gregory, B. Drach, K. Taylor, & S. Hankin (2003): *NetCDF Climate and Forecast (CF) Metadata Conventions*. Version 1.0, <http://www.cgd.ucar.edu/cms/eaton/cf-metadata/CF-1.0.html> (Date accessed: [22.03.2006]).
- Krüger, F. & M. Ohrnberger (2005): *Tracking the rupture of the $M_w = 9.3$ Sumatra earthquake over 1,150 km at teleseismic distance*. *nature*, Vol. 435, S. 937-939, doi:10.1038/nature03696.
- Lawrence, B. N, R. Drach, B. E. Eaton, J. M. Gregory, S. C. Hankin, R. K. Lowry, R. K. Rew, & K. E. Taylor (2005): *Maintaining and Advancing the CF Standard for Earth System Science Community Data*. Draft for public comment. http://www.cgd.ucar.edu/cms/eaton/cf-metadata/CF2_Whitepaper_PublicDraft01.pdf (Date accessed: [28.02.2006]).
- Merrifield, M. A., et al. (2005): *Tide gauge observations of the Indian Ocean tsunami, December 26, 2004*. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L09603. doi:10.1029/2005GL022610.
- Möller, L. (2005): *Installation of a Tsunami Early Warning System in the Indian Ocean. A Joint Effort by Germany and Indonesia*. *UNESCO today*, Vol. 2/2005, S. 37-41.
- Moellering, H, H. J. G. L. Aalders, & A. Crane [Hrsg.] (2005): *World Spatial Metadata Standards: Scientific and Technical Descriptions, and Full Descriptions with Crosstable*. Elsevier, Amsterdam.
- Paskin, N. (2005): *Digital Object Identifier for Scientific Data*. *Data Science Journal*, Vol. 4, S. 12-20.
- Schlitzer, R. (2005): *Ocean Data View*, <http://www.awi-bremerhaven.de/GEO/ODV> (Date accessed: [27.10.2005]).
- Open Geospatial Consortium Inc. (2005): *Sensor Observation Service*. Version 0.1.4. Open GIS Draft Implementation Specification. http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=12846 (Date accessed: [09.03.2006]).
- Rew, R, G. Davis, S. Emmerson, H. Davies, & E. Hartnet (2006): *The NetCDF User's Guide*. University Corporation for Atmospheric Research, <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/docs/netcdf.pdf> (Date accessed: [26.03.2006]).
- Vigny, C, W. J. F. Simons, S. Abu, R. Bamphenyu, C. Saitrapod, N. Chooskaul, C. Socquet, K. Omar, H. Z. Abidin, & A. C. Ambrosius (2005): *Insight into the 2004 Sumatra-Andaman earthquake from GPS measurements in southeast Asia*. *nature*, Vol. 436, S. 201-206, doi: 10.1038/nature03937.
- Yuan, X, R. Kind, & H. A. Petersen (2005): *Seismic monitoring of the Indian Ocean*. *Geophys. Res. Lett.*, 32, L15308, doi:10.1029/2005GL023464.