

Hochwasser-Modellierung im Geodateninfrastruktur-Grid¹

Stefan KURZBACH, Stephan BRAUNE, Christian GRIMM und Erik PASCHE

Einleitung

Aufgrund von immer häufiger eintretenden Hochwasserereignissen und ihren katastrophalen Folgen wurde von der EU die Hochwasserschutzrichtlinie 2007/60/EG (EUROPEAN COMMISSION 2007) verabschiedet. Diese verlangt die Ausweisung von Überschwemmungsgebieten für Flächen, bei denen im Fall eines statistisch einmal in hundert Jahren auftretenden Bemessungshochwassers Schäden zu erwarten sind. Um die betroffenen Gebiete und die jeweilige Hochwassergefährdung zu bestimmen, müssen zahlreiche numerische Simulationsmodelle wie beispielsweise zweidimensionale hydrodynamische Modelle erstellt, Szenarien gerechnet und die Simulationsergebnisse ausgewertet werden.

In diesem Beitrag wird gezeigt, wie im Rahmen des Projekts Geodateninfrastruktur-Grid (GDI-Grid) das wasserwirtschaftliche Modellierungssystem „KALYPSO“ unter Einsatz von Technologien des Grid-Computing um leistungsstarke Prozessierungsdienste erweitert wird. Die bereitgestellten Funktionen umfassen den Modellaufbau von zweidimensionalen Strömungsmodellen aus Geobasisdaten, die numerische Simulation sowie die anschließende Auswertung der Ergebnisse. Durch die Verwendung anerkannter Standards des Open Geospatial Consortium (OGC) können diese Dienste leicht in eine Geodateninfrastruktur integriert werden, wobei gleichzeitig die bestehende D-Grid-Infrastruktur mit ihren Rechen- und Speicherressourcen genutzt wird.

1 Hochwasser-Modellierung mit KALYPSO

KALYPSO (<http://kalypso.sourceforge.net/>) ist ein anwendungsorientiertes Modellierungssystem für numerische Simulationen in der Wasserwirtschaft und bietet gleichzeitig ein offenes und erweiterbares Rahmenwerk für Simulationsmodelle verschiedenster Disziplinen (LIPPERT et al. 2009). Die Software wird von der Björnson Beratende Ingenieure GmbH und dem Institut für Wasserbau der TU Hamburg-Harburg gemeinschaftlich im Rahmen eines Open-Source-Projektes entwickelt und am Regionalen Rechenzentrum Niedersachsen an der Leibniz Universität Hannover eingesetzt. KALYPSO unterstützt bereits hydrologische und hydrodynamische Simulationen sowie die Erstellung von Überschwemmungs- und Hochwasserrisikokarten. KALYPSO adressiert Nutzergruppen wie öffentliche Einrichtungen, Fachbehörden, Hochschulen und Ingenieurbüros aus den Bereichen Wasserwirtschaft, Natur- und Landschaftsschutz.

¹ Das diesem Beitrag zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter den Förderkennzeichen 01AK826F und 01IG07012A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Eine Hochwasser-Modellierung in KALYPSO kann auf der Grundlage von Berechnungsergebnissen einer instationären Strömungssimulation durchgeführt werden. Zu diesem Zweck steht ein ein- und ein zweidimensionales, gekoppeltes hydrodynamisches numerisches Modell auf der Basis der Finite-Elemente-Methode mit dem Namen KALYPSO 1D/2D zur Verfügung. Zur Lösung der Fließgeschwindigkeiten und Wassertiefen werden im zweidimensionalen Strömungsmodell die tiefengemittelten Flachwassergleichungen und im eindimensionalen Modell die Saint-Venant-Gleichungen gelöst. Geometrie und hydraulisches Verhalten der Profile im Eindimensionalen werden durch Polynomfunktionen in Abhängigkeit des Wasserstandes beschrieben, die zunächst mit dem stationären Spiegellinienmodell KALYPSO WSPM ermittelt werden können. Der Polynomansatz erlaubt, auch komplexe Gewässergeometrien gegliederter Gerinne eindimensional zu berechnen. KALYPSO verwendet innovative Methoden zur Rauheitsmodellierung und bietet verschiedene Turbulenzmodelle (SCHRAGE et al. 2009).

Aus den mit KALYPSO 1D/2D berechneten Fließtiefen und einem digitalen Geländemodell kann anschließend mit dem Werkzeug KALYPSO FLOOD eine Überschwemmungskarte generiert werden. Diese dient als Grundlage einer mit Hilfe von KALYPSO RISK durchgeführten Risikoanalyse .

2 Geographische Berechnungsdienste im Grid

Ein „Grid“ ermöglicht die Nutzung verteilter Rechen- und Speicherressourcen zur Lösung eines komplexen Problems. Einen Überblick über Grid Computing gibt FOSTER et al. (2001). Da hydrodynamische Hochwassersimulationen sehr rechenintensiv sind und ein großes Datenvolumen erzeugen, ist eine zeitnahe Simulation auf Arbeitsplatzrechnern nicht zu bewältigen. Folglich stellt die Verbindung von geographischen Informations- und Simulationssystemen mit Grid-Infrastrukturen einen unumgänglichen Entwicklungsschritt dar (KIEHLE et al. 2008). Hierfür werden KALYPSO- und andere OGC-konforme Berechnungs- und Datendienste (WPS, WFS) sowie weitere Grid-Services zu komplexen, gridfähigen Workflows verkettet, um auf diese Weise der Geodatengemeinschaft die Möglichkeit zu bieten, mit umfangreichen, verteilt liegenden Datenbeständen in kürzester Zeit sehr genaue Vorhersagen zu treffen.

Die D-Grid-Initiative ist Teil einer weltweiten Entwicklung, deren Ziel ein „direkter Zugriff auf die Ressourcen selbst, wie CPU, Speicher, wissenschaftliche Instrumente und Experimente, Anwendungen und Daten, Sensoren und sogenannte Grid-Middleware Dienste“ ist (<http://www.d-grid.de/>). Zurzeit (Januar 2009) gibt es im D-Grid ein Integrationsprojekt, welches die Grid-Basistechnologien weiterentwickelt, sowie 15 Community-Projekte, die die Grid-Technologie in akademischen und kommerziellen Gemeinschaften einsetzen. D-Grid-Projekte mit geowissenschaftlichem Bezug sind das „Collaborative Climate Community Grid“ (FRITZSCH & HILLER 2006) und das Geodateninfrastruktur-Grid (<http://www.gdi-grid.de/>). Außerhalb des D-Grid ist im „Geospatial Knowledge Grid“ (CHEN et al. 2006) Vorarbeit geleistet worden.

Praktische Beispiele, an denen das GDI-Grid den Einsatz von OGC-konformen Web-Services für Berechnungen im Grid demonstriert, sind eine Überflutungssimulation, die Lärmausbreitung in Ballungsgebieten, Routing für Einsatzkräfte im Katastrophenfall und die Verarbeitung digitaler Geländemodelle (LANIG et al. 2008).

2.1 Grid-Services und Workflows

Grid-Technologie bietet die Möglichkeit, nutzerfreundlich, d.h. mit einmaliger Anmeldung am Grid, alle angemeldeten Ressourcen je nach Verfügbarkeit und Bedarf zu nutzen. Eine Grid-Middleware kapselt Nutzerverwaltung, Betriebs- und Batchsystem aller Grid-Ressourcen und bietet eine standardisierte Schnittstelle für den Zugriff an. Die „Open Grid Services Architecture“ (OGSA) beschreibt eine allgemeine Vorgehensweise für die Implementierung einer Grid-Architektur, die als Schnittstelle das „Web Services Resource Framework“ (WSRF) vorsieht. Die Grid-Middleware Globus Toolkit 4 liefert die Referenzimplementierung des WSRF und ein Framework für die Entwicklung WSRF-basierter Web-Services, die umgangssprachlich auch „Grid-Services“ genannt werden.

Analog zu Programmen, die lokal gespeicherte Daten lesen und Programmbibliotheken aufrufen, werden im Grid sogenannte Workflows eingesetzt (FLEUREN & MÜLLER 2008), die Grid-Services orchestrieren. Bei der Orchestrierung werden mehrere Dienste auf verschiedenen Rechnern nacheinander aufgerufen. Eingabedaten und Zwischenergebnisse werden temporär auf Grid-Ressourcen abgelegt und nur Verweise auf die Daten an die einzelnen Dienste übergeben. Durch diese Vorgehensweise wird eine effiziente Datenübertragung zwischen den Diensten erreicht.

2.2 Einbindung OGC-konformer Web-Services ins Grid

In der Geodatengemeinschaft ist die Verwendung von Web-Services anstelle von lokal installierten Speichern und Programmbibliotheken bereits etabliert. Das Open Geospatial Consortium (OGC) hat 28 Standards für Web-Services und zahlreiche weitere Dokumente erarbeitet (Stand 2008, Quelle: <http://www.opengeospatial.org/>). Über OGC-konforme Web-Services kann man auf archivierte Daten (Kataloge) und auf aktuelle Messungen (Sensoren) zugreifen und Programme zur Prozessierung und zur Visualisierung von Geodaten aufrufen. Es gibt im OGC Bemühungen, Grid-Technologien zu unterstützen (LEE & PERCIVALL 2008). Neu im GDI-Grid ist die konsequente Nutzung von OGC-Web-Services zur Prozessierung von Geodaten; Vorgängerprojekte nutzen OGC-Web-Services hauptsächlich zum Daten-Management.

Um OGC-Web-Services wie z.B. Web Feature Services (WFS) in einen Workflow einzubinden, müssen diese mit einer WSRF-konformen Schnittstelle versehen werden. Die Grid-Middleware OGSA-DAI (Open Grid Service Architecture – Data Access and Integration, <http://www.ogsadai.org.uk/>) kapselt Datenquellen und -senken wie Dateien (über GridFTP), Datenbanken (z.B. PostGIS) sowie OGC-konforme WFS und WCS unter einer solchen Schnittstelle. Beispielsweise können geographische Daten in einer ORACLE Spatial Datenbank vorgehalten und von einem ArcGIS Server über einen WFS bereitgestellt werden. KALYPSO Web Processing Services (WPS) wie z.B. der Flood Simulation Service sind von vornherein mit gleichberechtigten OGC- und WSRF-Schnittstellen ausgestattet worden.

In Abbildung 1 ist dargestellt, wie die Workflow-Engine den OGC-konformen WFS, der die zu prozessierenden geographischen Daten über einen OGSA-DAI-Server bekommt, den Flood Simulation WPS und andere Grid-Services (Globus Toolkit 4) über eine WSRF-

Schnittstelle anspricht und orchestriert. Die Daten werden hierbei nicht durch die Workflow-Engine oder aufgerufene Dienste übertragen, sondern erst an der Stelle abgeholt, wo sie von einem Dienst verarbeitet werden.

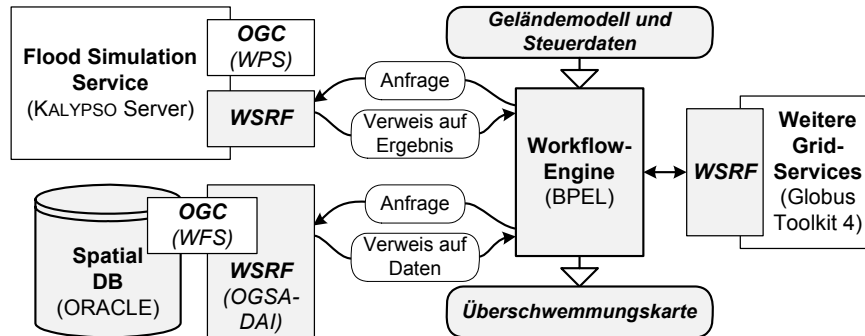


Abb. 1: Orchestrierung von Grid-Services durch die Workflow-Engine

3 Gridifizierung von KALYPSO-Workflows

Im Rahmen von GDI-Grid wird KALYPSO gridfähig gemacht („gridifiziert“). Bereits vorhandene Anwendungen wie ein gekoppeltes ein- und zweidimensionales Strömungsmodell (KALYPSO 1D/2D) und Dienste zur Auswertung von Simulationsergebnissen (KALYPSO FLOOD, KALYPSO RISK) werden an Standards des Grid-Computing angepasst, insbesondere an das WSRF. Neu wurde ein 3D Terrain Discretization Grid-Service als WSRF-konformer Web Processing Service implementiert, der aus einem digitalen Höhenmodell unter Berücksichtigung von Bruchkanten ein für eine hydrodynamische Simulation geeignetes TIN erstellt (KURZBACH & PASCHE 2009). Die Grid-Middleware Globus Toolkit 4 dient als Web-Service-Container für KALYPSO-basierte Grid-Services. KALYPSO bietet auf diese Weise nicht-triviale Dienstgütern des Grids wie hohe Rechen- und Speicherkapazitäten, Security-Mechanismen und Ausfallsicherheit.

Die Abfolge der einzelnen Webservice-Aufrufe ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt. KALYPSO berechnet aus dem digitalen Geländemodell entsprechend vorgegebener Einstellungen zunächst ein Raster-Geländemodell, erkennt darin die für die Simulation wichtigen Bruchkanten, und erstellt ein Diskretisierungsnetz für die Finite-Elemente-Rechnung (Tesselierung). Dabei werden Geländekacheln parallel im Grid verarbeitet. Die einzelnen Zwischenergebnisse sind in der Abbildung kursiv angegeben. Nach erfolgreicher Netzerstellung muss das hydrodynamische Modell erst kalibriert werden, bevor eine Hochwasservorhersage erfolgen kann. Dieser Schritt ist sehr zeitaufwändig und erfordert das Wissen und die Erfahrung eines Modellierers. Aus diesem Grund ist automatische Verknüpfung zwischen Netzerstellung und Simulation zurzeit nicht möglich. Der Dienst zur Überflutungssimulation kann jedoch auch während der Kalibrierung genutzt werden, um die nötigen hydrodynamischen Berechnungen zu beschleunigen.

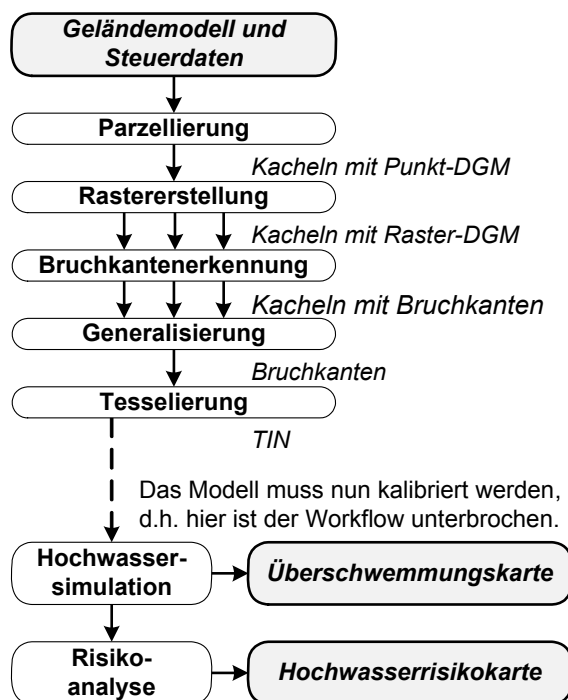


Abb. 2: Schematische Darstellung des Workflows zur Hochwasser-Modellierung

4 Diskussion der Ergebnisse und Ausblick

Es wurde eine prototypische Implementierung durchgeführt, in der alle genannten Grid-Services zur Netzerstellung in einem Workflow nacheinander aufgerufen werden. Mit diesem Workflow wurde ein Netz für die Elbmündung im Gebiet „Neufelder Watt“ erstellt. Die für die Netzerstellung benötigte Zeit bei einem ca. 218 km² großen Gebiet mit einer maximalen Ausdehnung von 27 km und mehr als 6 Millionen Geländepunkten bei einer gewählten Rasterauflösung von 5 m und einer Parzellierung in 67 Kacheln variabler Größe beträgt weniger als 30 Minuten im Grid. Auf einem lokalen Desktop-Rechner würde derselbe Prozess mehrere Stunden benötigen. Die erhebliche Reduzierung der Rechenzeiten durch das Grid führte bereits zu einer aufwändigen Parameterstudie, die auf einem Desktop-Rechner nicht umgesetzt werden könnte (KURZBACH & PASCHE 2009).

Als nächster Schritt ist vorgesehen, auch die hydrodynamische Simulation als Grid-Service anzubieten und die Finite-Elemente-Rechnung im Grid auszuführen. Erste Tests zeigen eine Halbierung der benötigten Zeit bei einer Rechnung im Grid gegenüber einer lokalen Simulation. Dabei ist eine mögliche Kachelung noch nicht berücksichtigt. In einem weiteren Schritt wird die Simulation parallelisiert, damit ein großes Untersuchungsgebiet in mehreren voneinander abhängigen Teilgebieten im Grid berechnet werden kann.

Literatur

- CHEN, A, DI, L., WEI, Y., BAI, Y. & LIU, Y. (2006): An optimized Grid-based, OGC standards-compliant collaborative software system for serving NASA geospatial data. In: 2nd IEEE Systems and Software Week, 30th Annual Software Engineering Workshop. April 25-27, 2006. Loyola College Graduate Center, Columbia, Maryland, USA, doi:10.1109/SEW.2006.11.
- EUROPEAN COMMISSION (2007): "Directive 2007/60/EC on the assessment and management of flood risks", Official Journal of the European Union, L 288/27.
- FLEUREN, T. & MÜLLER, P. (2008), BPEL Workflows Combining Standard OGC Web Services and Grid-enabled OGC Web Services, In: Proc. of the 34th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications, Parma, Italy.
- FOSTER, I., KESSELMAN, C. & TUECKE, S. (2001): The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations. In: International Journal of Supercomputer Applications, 15 (3), S. 200-222.
- FRITZSCH, B. & HILLER, W. (2006): Das Collaborative Climate Community Data and Processing Grid – Gridtechnologien für die Erdsystemforschung. In: STROBL, J, BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G. (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2006. Heidelberg, Wichmann, S. 171-176.
- KIEHLE, C, KEUCK, C. J. & GREVE, K. (2008): Integration von Geodateninfrastrukturkomponenten in Grid-Computing-Umgebungen. In: STROBL, J, BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G. (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2008. Heidelberg, Wichmann, S. 684-692.
- KURZBACH, S. & PASCHE, E. (2009): A 3d Terrain Discretization Grid Service for Hydrodynamic Modeling. In: Proc. of the 8th International Conference on Hydroinformatics, Concepción, Chile, Jan. 2009.
- LANIG, S, SCHILLING, A., STOLLBERG, B. & ZIPF, A. (2008): Erste Schritte auf dem Weg zur Verarbeitung digitaler Geländemodelle mittels Grid Computing. In: STROBL, J, BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G. (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2008. Heidelberg, Wichmann, S. 466-475.
- LEE, C. & PERCIVALL, G. (2008): Standard-Based Computing Capabilities for Distributed Geospatial Applications. In: Computer: innovative technology for computer professionals, 41 (11), S. 50-57.
- LIPPERT, K, JUNG, T., BELGER, G., HAASE, M. & SCHRAGE, N. (2009): Kalypso: Ein Open Source Modellierungssystem für die Wasserwirtschaft. In: BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE (Hrsg.): Wasserstandsinformationsdienste der BfG für die Bundeswasserstraßen. Rheinbach, Druckpartner Moser, März 2009.
- SCHRAGE, N, ANTANASKOVIC, D., JUNG, T. & PASCHE, E. (2009): KALYPSO – An Open Source Software Tool for Flood Studies in Rivers. In: Proc. of the 8th International Conference on Hydroinformatics, Concepción, Chile, Jan. 2009.