

Prozessierung, Analyse und Präsentation räumlich-zeitlich verteilter Datensätze des Decision Support Systems DANUBIA

Daniel Waldmann, Markus Muerth, Matthias Ludwig, Ulrich Schäffler, Christoph Heinzeller, Wolfram Mauser

Das Projekt GLOWA-Danube (www.glowa-danube.de) ist ein Forschungsverbund, der sich der umfassenden Analyse der regionalen Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt im Einzugsbereich der Oberen Donau widmet. Arbeitsgruppen aus verschiedenen Disziplinen der Natur-, Sozial- und Wirtschaftswissenschaften arbeiten seit 2001 in einem interdisziplinären, universitären Netzwerk an der Entwicklung und Anwendung des GIS-basierten, objekt-orientierten Entscheidungsunterstützungssystems (DSS: Decision Support System) DANUBIA [1,2]. Ergebnisse von Simulationen über den Szenariozeitraum 2011 bis 2060 sollen das nachhaltige und langfristige Wasserressourcenmanagement im Einzugsgebiet der Oberen Donau unter dem Einfluß des Globalen Wandels auf Grundlage von prozess-orientierten Modellen und Stakeholder-relevanten Fragestellungen unterstützen. Der Kern des DSS koppelt naturwissenschaftliche Modelle mit sozio-ökonomischen, agentenbasierten Akteuren [3], welche zur Laufzeit Daten miteinander austauschen (Abb. 1). Die Entwicklung von DANUBIA basiert deshalb auf neu entwickelten, integrativen Modellansätze auf Basis der Unified Modeling Language (UML) und der objekt-orientierten Programmierung in JAVA und ermöglicht so paralleles, verteiltes Rechnen in vernetzten Rechenclustern. Zum Ende der letzten Projektphase (2010) wird DANUBIA in ein Open Source Software Projekt überführt, und somit für eine koordinierte Weiterentwicklung geöffnet und der interessierten Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Es steht damit auch in Zukunft als Werkzeug für eine vorausschauende Bewirtschaftung der Wasserressourcen vor dem Hintergrund des Globalen Wandels zur Verfügung.

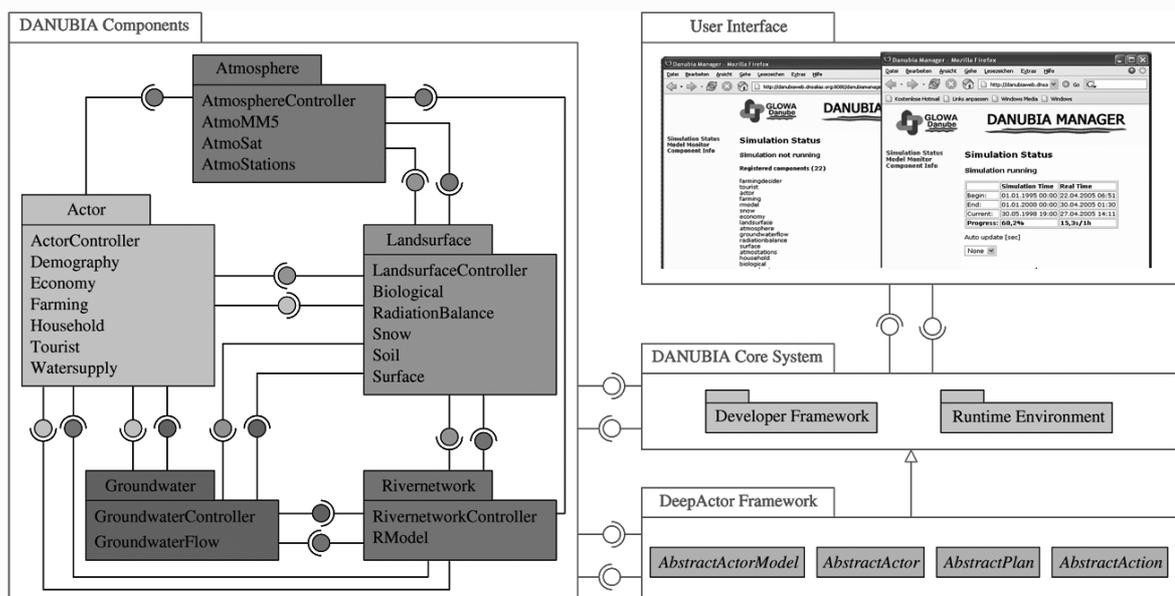


Abbildung 1: Die Komponenten des DSS DANUBIA.

Die GIS-Struktur von DANUBIA

Die räumlich verteilte Berechnung der natürlichen und anthropogenen Wasserflüsse beruht auf dem Konzept des *Proxels* (Prozess Pixel), einem rasterbasierten Ausschnitt des Untersuchungsgebiets ($1 \times 1 \text{ km}^2$) der über Energie- und Stoffflüsse mit seinen Nachbarn verknüpft ist (Abb. 2). Die einzelnen Modelle und Komponenten des Systems kommunizieren über das Framework, das den zeitlichen und räumlichen Ablauf der Berechnungen und den Datenaustausch zwischen den Teilmodellen koordiniert [4]. Sowohl die vielfältigen Eingangsdaten, als auch alle Ergebnisdaten werden als räumlich verteilte GIS-Layer bereitgehalten und wo nötig über einen Zeitstempel in den Simulationszeitraum eingeordnet. Durch die horizontale Rasterstruktur und die Definition von Teilflächen im Untersuchungsgebiet (z.B. Landkreise, Teileinzugsgebiete, Grundwasserkörper) können Flüsse und Zustände im Modellsystem räumlich aggregiert betrachtet und an andere Teilmodelle weitergegeben werden.

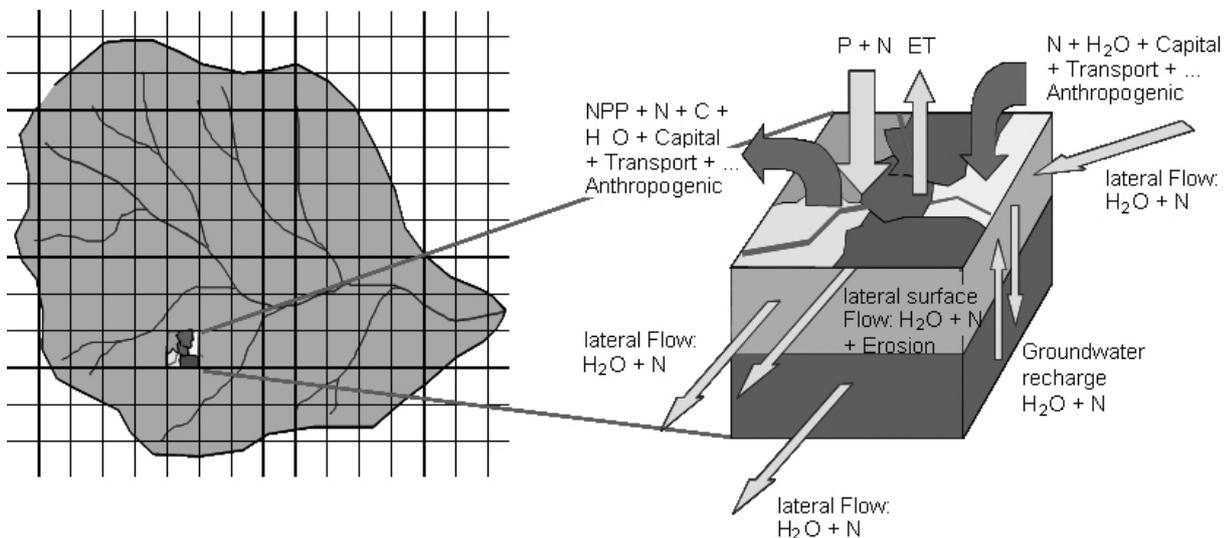


Abbildung 2: Das Proxel-Konzept in DANUBIA.

Neben dem eigentlichen Simulationssystem, beinhaltet DANUBIA Werkzeuge zur einheitlichen Darstellung, Prozessierung und Verwaltung von Eingangsdaten und Ergebnissen (siehe Abb. 3).

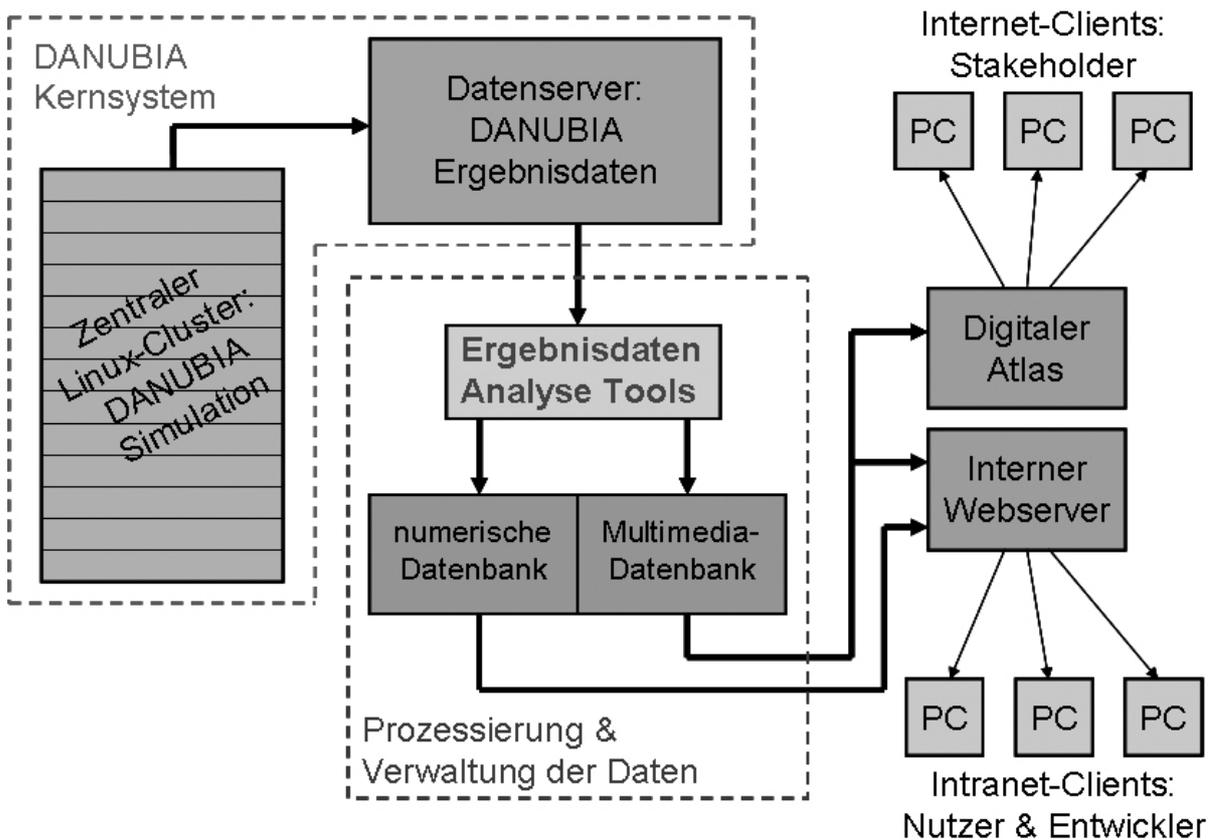


Abbildung 3: Aufbereitung und Bereitstellung von Ergebnisdaten.

Um Stakeholdern die Möglichkeit zu geben, Entscheidungen auf Basis möglicher Zukunftsszenarien zu treffen, müssen modellierte Szenarien angemessen präsentiert werden. Dazu werden Modellierungsergebnisse in Datenbanken eingespeist und über einen webbasierten Online-Atlas zugänglich gemacht (www.glowa-danube.de/atlas/). Dies setzt eine Analyse und Aufbereitung der Daten aus dem DANUBIA-eigenen Datenformat voraus. Da diese Ergebnisdaten aus verschiedensten wissenschaftlichen Disziplinen kommen, wurde im DANUBIA Data Analysis Tool (DDAT) eine möglichst allgemein verwendbare Lösung auf Basis der GIS-Struktur des DANUBIA-Frameworks implementiert.

Da eine Öffnung des Quellcodes bis Ende des Projektes bevorsteht und des weiteren der Einsatz in Bereichen außerhalb des Projektes erwünscht ist, wurde bei der Implementierung auf eine möglichst allgemeine, leicht erweiterbare, objektorientierte Rahmenstruktur geachtet. Dadurch konnte die Funktionalität zur Projektlaufzeit kontinuierlich erweitert werden, und zukünftigen Nutzern wird die Möglichkeit gegeben eigene Bedürfnisse zu implementieren und diese wiederum der Open Source Community zur Verfügung zu stellen. Die Verwendung der Programmiersprache Java bietet dabei durch ihre Plattformunabhängigkeit hohe Flexibilität, da zwischen Anwendern und Wissenschaft häufig Grenzen in Form unterschiedlicher Betriebssysteme herrschen.

Datenstruktur und Dateiformate

Die Darstellung statischer und dynamischer Daten innerhalb des DANUBIA-Frameworks erfolgt in einem eigens entwickelten Datenformat (ddat). Dies ist nötig, da die modellierten Ergebnisse große Datenmengen in Anspruch nehmen und zusätzlich, im Vergleich zu regulären Geoinformationssystemen, die zeitliche Komponente eine wesentliche Rolle spielt. Das modellierte Untersuchungsgebiet erstreckt sich über 425 x 430 Proxel und der Simulationszeitraum reicht von 2011 bis 2060, was selbst bei Aggregation der Ergebnisse auf Tageswerte (der Modelltakt beträgt 1h) bei einfacher binärer Speicherung zu Datenmengen von mehr als 10 GB pro Ausgabeparameter führt. Daher wird für das native Datenformat von DANUBIA eine GZIP Kompression verwendet, und neben Metadaten zum Untersuchungsgebiet auch der zugehörige Zeitstempel der Modellergebnisse mitgeführt.

Um Kompatibilität zu anderer gängiger Software bzw. deren Formaten zu bieten, werden folgende weitere Dateiformate unterstützt:

- ArcAscii: Ascii-Files im Format von ArcGIS (ESRI)
- PIC: Fernerkundungsdatenformat des Dept. für Geographie der LMU München
- RAS: Flächendatenformat des Dept. für Geographie der LMU München
- Sämtliche Datenformate die von BEAM (ESA) unterstützt werden, wie z.B. MERIS, MODIS oder CHRIS Szenen.

Die Integration von Datenformaten wird zum Teil durch eigene Implementierungen, aber auch durch Einbindung z.B. der BEAM Bibliotheken erreicht. Der Einsatz solcher offenen Bibliotheken kann durch geringfügige Ergänzungen im Code des DDAT erreicht werden.

Datenauswertung

Da das Hauptaugenmerk bei der Verarbeitung der Daten auf der zeitlichen Änderung der Ausgabeparameter auf Grund des Globalen Wandels liegt, stehen Auswertungen über lange Zeiträume im Vordergrund. Trotzdem kann und darf der räumliche Kontext nicht vernachlässigt werden, wenn es z.B. um die Beurteilung zukünftiger Entwicklungen in Teileinzugsgebieten oder Naturräumen geht. Für die Bewertung der Modellergebnisse stehen eine Reihe statistischer Funktionen zur Verfügung, die sowohl auf die zeitliche als auch räumliche Dimension der Daten angewendet werden können.

Da mit den Apache Commons eine Reihe offener und effizienter Bibliotheken zur Verfügung steht, wurde auf die dort vorhandene Math Library zurückgegriffen um einen Großteil der statistischen Funktionen bereitzustellen. Die implementierten Analysemethoden beinhalten:

- Grundlegende beschreibende Statistik wie z.B. Minima, Maxima, Standardabweichung oder Perzentile
- Verrechnung zweier oder mehrerer Datensätze miteinander, z.B. Differenzbildung zweier räumlich-zeitlicher Datensätze um verschiedene Modellimplementierungen zu vergleichen
- Projektspezifische Datenauswertung wie z.B. Berechnung von HQ_{100} Überschreitungen in modellierten Zukunftsszenarien

Diese Funktionalitäten stehen für temporale Auswertungen zur Verfügung, indem sie es dem Nutzer erlauben, z.B. flächendeckende tägliche Niederschlagsmaxima aus Stundenwerten über mehrere Jahre hinweg zu berechnen. Auf räumlicher Ebene können ausmaskierte Bereiche über die gewünschte Zeit aggregiert werden, und so z.B. mittlere tägliche Abflüsse von Teileinzugsgebieten berechnet werden.

Präsentation

Neben der rein numerischen Auswertung erleichtert eine visuelle Darstellung der Ergebnisse die Analyse und Interpretation, ist vor allem aber für die Präsentation gegenüber Stakeholdern unerlässlich. Daher bietet das DANUBIA Data Analysis Tool auch die Möglichkeit Daten graphisch darzustellen:

- „on-the-fly“: alle oben genannten Datenformate können direkt vom Speichermedium visualisiert werden. Dabei werden die einzelnen Datensätze nacheinander auf dem Bildschirm abgespielt. Optional können die Werte eines oder mehrerer Proxel als Graphen mitgeführt (Abb. 4).
- Bilder: um Abbildungen in Berichte integrieren zu können, bietet das DDAT die Möglichkeit, einzelne Datenlayer im Bildformat abzuspeichern.
- Filme: anstatt einzelne Bilder aus den Datensätzen zu extrahieren, wird die Möglichkeit bereitgestellt, Dateien in Filme zu konvertieren, was z.B. eine anschauliche Darstellung der Änderung der mittleren täglichen Lufttemperaturen im Jahresverlauf zeigen kann (Abb. 5).

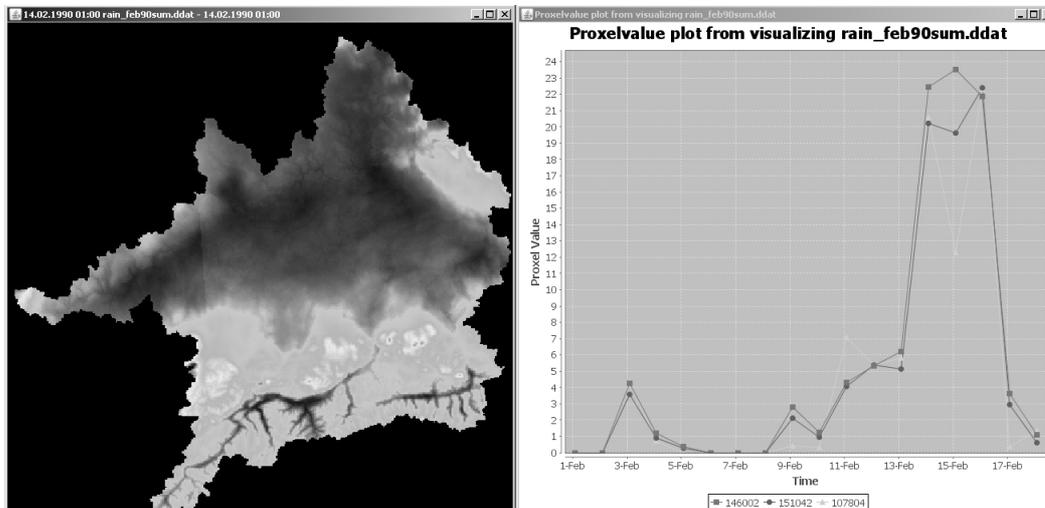


Abbildung 4: Datenvisualisierung „on-the-fly“ mit Darstellung ausgewählter Proxelwerte

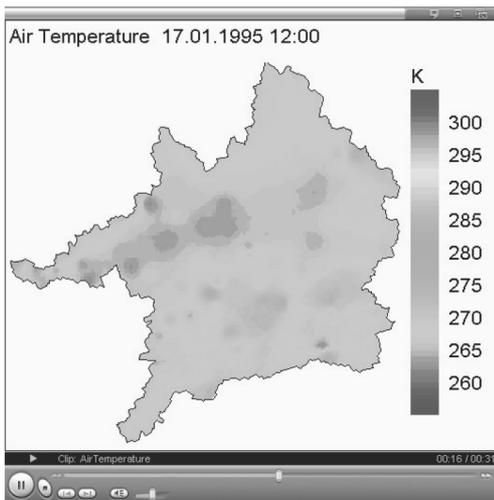


Abbildung 5: Darstellung der Lufttemperatur als Film.

Anwendung

Um hohe Flexibilität zu bieten und automatisierte Auswertungen vorzunehmen, wurde DDAT primär als Kommandozeilenanwendung konzipiert. Dadurch lassen sich beliebige viele Arbeitsschritte als batch- oder shell-Skript zusammenfassen und abarbeiten, was i.d.R. mit Grafischen Benutzeroberflächen nicht möglich ist. Trotzdem wurde bei der Entwicklung das Architekturmuster Model-View-Controller zugrundegelegt, daß die Software ggf. in Zukunft mit einer Grafischen Benutzeroberfläche versehen werden kann.

Ausblick

Das DANUBIA-Framework und seine Teilmodelle wurden bereits in ein internes Subversion Versionierungssystem eingepflegt, an welches ein Trac Management- und Dokumentationssystem gekoppelt ist. Es steht eine grundlegende Dokumentation in HTML über javadoc zur Verfügung und das Zusammenspiel der Komponenten wird via UML präsentiert. Für die Öffnung des Quellcodes ist ein Open Source Project Hosting wie etwa sourceforge.net geplant.

Kontakt zum Autor:

Dipl. Geogr. Daniel Waldmann
Department für Geographie
Universität München (LMU)
Luisenstraße 37
80333 München
089 / 2180-6692
d.waldmann@iggf.geo.uni-muenchen.de

Literatur

- [1] Ludwig, Ralf; Mauser, Wolfram; Niemeyer, Stefan; Colgan, Anja; Stolz, Roswitha; Escher-Vetter, Heidemarie; Kuhn, Michael; Reichstein, Markus; Tenhunen, John; Kraus, Andreas; Ludwig, Matthias; Barth, Manuel; Hennicker, Rolf: Web-based modeling of water, energy and matter fluxes to support decision making in mesoscale catchments – the integrative perspective of GLOWA-Danube. *Physics & Chemistry of the Earth* 28, S. 621-634, 2003.
- [2] Barthel, Roland; Janisch, Stefan; Schwarz, Nina; Trifkovic, Alexander; Nickel, Dana; Schulz, Christian; Mauser, Wolfram: An integrated modelling framework for simulating regional-scale actor responses to global change in the water domain. *Environmental Modelling & Software* 23, S. 1095-1121, 2008.
- [3] Ernst, Andreas; Schulz, Christian; Schwarz, Nina; Janisch, Stefan: Modelling of water use decisions in a large, spatially explicit, coupled simulation system. In: Edmonds, B., Hernández, C., Tritsch, K.G. (Hrsg.). *Social simulations: Technologies, Advances and New Discoveries*, Hershey, S. 138-149, 2008.
- [4] Hennicker, Rolf; Ludwig, Matthias: Design and implementation of a coordination model for distributed simulations, In: Mayr, H.C.; Breu, R. (Hrsg.), *Proceeding Modellierung 2006 (MOD'06) Lecture Notes Informatics P-82*, S. 83–97, 2006.