



GLOWA – Danube

**Integrative Techniken, Szenarien und Strategien zur
Zukunft des Wassers im Einzugsgebiet der Oberen
Donau**

Zwischenbericht 2008

über den Fortgang des Projektes GLOWA-Danube

Berichtszeitraum: 01.05.2008 – 30.04.2009

Zusammengestellt durch:

Prof. Dr. Wolfram Mauser

Dr. Sara Stöber

Department für Geographie
Lehrstuhl für Geographie und Geographische Fernerkundung
Ludwig-Maximilians-Universität München

Inhaltsverzeichnis

I. Zusammenfassung und Überblick über den Fortgang des Projektes	I
II. Berichte der Teilprojekte	
Prof. Dr. Hennicker, LMU München, Lehr- und Forschungseinheit für Programmierung und Softwaretechnik DANUBIA: Ein Web-basiertes Modellierungs- und Entscheidungs-Unterstützungssystem zur integrativen „Global-Change“-Forschung im Bereich der oberen Donau	1
Prof. Dr. Mauser, LMU München, Lehrstuhl für Geographie und Geographische Fernerkundung Modellierung von Wasser- und Stickstoffflüssen an der Landoberfläche mit Fernerkundung	17
Dr. Barthel, Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Hydraulik und Grundwasser Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung, Wasserversorgung, Human Capacity Building	31
LBD Hans Weber, Bayerisches Landesamt für Umwelt Ref. 81 Klimawandel, Klimafolgen und Wasserhaushalt Praxisrelevante Analyse der Modellierungen mit DANUBIA für die Wasserwirtschaft	53
Prof. Dr. Kuhn, Universität Innsbruck, Institut für Meteorologie und Geophysik und Kommission für Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften München Veränderung der Schneebedeckung und der Gletscher bei unterschiedlichen Szenarien eines Klimawandels im GLOWA-Danube-Einzugsgebiet und die sich daraus ergebenden Folgen	59
Dr. Daniela Jacob, Max-Planck-Institut für Meteorologie Regionale Klimamodellierung Entwicklung und Bereitstellung von REMO-Szenarien zum Klimawandel des Wasserkreislaufs im Einzugsgebiet der Oberen Donau	79
PD Dr. Zängl, LMU München, Lehrstuhl für Theoretische Meteorologie Mesoskalige Modellierung der Atmosphäre	95
Prof. Dr. Schneider, Universität zu Köln, Lehrstuhl für Hydro- und Klimageographie Modellierung der Auswirkungen des Globalen Wandels auf die Wasser-, Nährstoff- und Kohlenstoffflüsse im System Boden-Pflanze	107

Prof. Dr. Dabbert, Universität Hohenheim, Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre (410A) Sozioökonomische Analyse und Modellierung von Wassernutzung und Land- nutzung durch Landwirtschaft	127
Prof. Dr. Ernst, Universität Kassel, Wissenschaftliches Zentrum für Umweltsystemforschung Modellierung typischer Wassernutzer im Einzugsgebiet der Donau	143
Dr. Johann Wackerbauer, ifo Institut für Wirtschaftsforschung, München, Global Change Szenarien und deren Wirkung auf die Ökonomie und Demo- graphie des oberen Donau Einzugsgebiet	159
Prof. Dr. Schmude, Universität Regensburg, Lehrstuhl für Wirtschaftsgeographie Wechselbeziehungen zwischen dem Tourismus und der Ressource Wasser im Untersuchungsraum von GLOWA Danube	177

Zusammenfassung und Überblick über den Fortgang des Koordinationsprojektes

Teilprojekt:	Koordination
Leiter:	Prof. Dr. Wolfram Mauser
Ausführende Stelle:	Department für Geographie Lehrstuhl für Geographie und Geographische Fernerkundung Ludwig-Maximilians-Universität München Luisenstraße 37, 80333 München
Berichtersteller:	A. Reiter, Dr. Ch. Heinzeller, D. Waldmann, Ch. Michelbach, Dr. H. Büttner, Dr. S. Stöber, Prof. Dr. W. Mauser

1. Überblick

Folgende Bereiche wurden vom Koordinationsprojekt während der Berichtsphase (01.05.2008-30.04.2009) schwerpunktmäßig bearbeitet:

- Verwaltungstechnische Abwicklung des Projektes sowie Repräsentation nach Außen
- Vorbereitung der Nationalen Abschlusskonferenz (Oktober 2009 in Potsdam)
- Koordination des Szenario-Gestaltungsprozesses und der Szenarienläufe
- Vorbereitung der dritten Auslieferung der Druckversion des Global Change Atlases und Aktualisierung der Online-Version
- Fortführung und Intensivierung des *Stakeholder*-Dialogs
- Entwicklung von Analysetools zur Auswertung der DANUBIA-Läufe
- Pflege und Update des Linux-Rechnerclusters
- Pflege des Geographischen Informationssystems und gemeinsamen Datenverbunds, Fortführung und Aufbereitung der meteorologischen Zeitreihen
- Pflege der GLOWA-Danube-Homepage (www.glowa-danube.de)

2. Personelles

1. Die wissenschaftliche, technische und organisatorische Koordination während des Berichtszeitraumes wurde von Frau Dr. Sara Stöber durchgeführt.
2. Die Koordination wurde in allen Sekretariats-relevanten Belangen von Frau Andrea Ebner unterstützt.
3. Die Pflege des GLOWA-Danube GIS- und Datenbanksystems wurde von Frau Ruth Weidinger (bis 15.12.2008) und Frau Andrea Reiter bearbeitet. Von Herrn Daniel Waldmann (s. Projekt „Hydrologie und Fernerkundung“) wurden die hierfür entwickelten Analysetools weiter entwickelt.
4. Die Betreuung des gemeinsamen GCDSS DANUBIA Systems sowie des Linux-Clusters oblag Herrn Dr. Christoph Heinzeller.

5. Die Aufbereitung von Daten sowie die Redaktion des Global Change Atlas für die Obere Donau haben Frau Ruth Weidinger (bis 15.12.2008) und Frau Andrea Reiter durchgeführt. Darüber hinaus unterstützte unsere Kartographin Frau Vera Falck die Redaktion der Print-Version des Atlas. Die Online-Version wurde von Herrn Christian Michelbach weiterentwickelt und aktualisiert.
6. Die *Stakeholder*-Aktivitäten wurden von der Firma IFOK (Institut für Organisationskommunikation, Bensheim) unter der Leitung von Frau Dr. Hannah Büttner durchgeführt.

3. Meetings im Berichtszeitraum

Neben einer Vielzahl von kleineren Abstimmungstreffen zwischen einzelnen Projektgruppen wurden im Berichtszeitraum folgende öffentliche Konferenzen bzw. interne Projektmeetings von der Koordination geplant/durchgeführt bzw. besucht:

- 02.-03.05.2008 Klausurtagung in Herrsching
- 02.-04.06.2008 XXIVth Conference of the DANUBIAN Countries, Bled (Slowenien)
- 05.06.2008 Rundgespräch Land- und Forstwirtschaft (im Rahmen der *Stakeholder*aktivitäten) im Bayerischen Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, München.
- 24.-25.06.2008 Symposium Klimawandel, Nürnberg
- 29.07.2008 Rundgespräch Wasserversorgung (im Rahmen der *Stakeholder*aktivitäten), Landeswasserversorgung Stuttgart
- 30.07.2008 Rundgespräch Energie (im Rahmen der *Stakeholder*aktivitäten), Ludwig-Maximilians-Universität München
- 25.-28.08.2008 International Conference in Ouagadougou: Global Change and Water Resources in West Africa - The German-African GLOWA Projects, Ouagadougou (Burkina Faso)
- 15.-18.09.2008 HydroPredict 2008, Prag (Tschechische Republik)
- 29.09.-01.10.2008 Klausurtagung in Hofgeismar
- 13.-16.10.2008 IHP 2008 - The Role of Hydrology in Water Resources Management, Capri (Italien)
- 10.-11.11.2008 IWRM-Statuskonferenz des BMBF, Leipzig
- 24.11.2008 *Stakeholder*-Workshop: Wasserwirtschaft, Energie, Infrastruktur, Künstlerhaus am Lenbachplatz, München
- 28.11.2008 *Stakeholder*-Workshop: Wasserwirtschaft, Wasserversorgung und Tourismus, Seehaus München
- 04.-05.12.2008 Fachgespräch zur Entwicklung von wasserwirtschaftlichen Anpassungsstrategien an den Klimawandel (WASKlim-Projekt), UBA, Dessau
- 30.01.2009 *Stakeholder*-Workshop: Wasserwirtschaft, Land- und Forstwirtschaft, Künstlerhaus am Lenbachplatz, München
- 11.02.2009 Informationsveranstaltung (im Rahmen der *Stakeholder*aktivitäten) im LfU, Hof

- 10.-12.03.2009 Climate Change Congress “Global Risks, Challenges & Decisions”, Kopenhagen (Dänemark)
- 17.-19.03.2009 Freie und Open Source Software für Geoinformationssysteme (FOSSGIS) Konferenz 2009, Leibniz-Universität Hannover
- 23.-16.03.2009 Klausurtagung in Wildbad Kreuth
- 31.03.-02.04.2008 Messe „Wasser Berlin“, Berlin

4. GLOWA-Danube Partnerprojekte

Im Berichtszeitraum haben wir uns in folgenden GLOWA-Danube Partnerprojekten engagiert:

- Anwendung von GLOWA-Danube know-how am Châteauguay und Ottawa River (Québec, Kanada), Förderung durch das Konsortium Ouranos, das MinistPre du Développement économique, de l’Innovation et de l’Exportation der Provinz Québec und das Bayerische Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz im Rahmen der Länderkooperation Bayern/Québec: Die Pilotstudie ‘GLOWA-Ouranos - Integrative Einzugsgebietsmodellierung im Kontext des Klimawandels: Vergleich von Problemstellungen, Forschungsansätzen und Lösungstechniken aus Québec und Bayern’ wurde zum 31.03.08 erfolgreich abgeschlossen. Sie lieferte wertvolle Erkenntnisse zum Stand der Wissenschaft und zu den Notwendigkeiten zukünftiger Forschungsaktivitäten im Bereich Klimawandel und Wasserwirtschaft.

Anerkennung erfuhr die bisherige Projektpartnerschaft durch die Auswahl zum Vorzeigeprojekt innerhalb der internationalen Zusammenarbeit zwischen Bayern und Québec. Die damit verbundene Unterzeichnung einer Kooperationsvereinbarung zur Entwicklung gemeinsamer Aktivitäten für die Anpassung an den Klimawandel fand am 08. Mai 2008 in der Nationalversammlung von Québec im Beisein des Bayerischen Ministerpräsidenten, Dr. Günter Beckstein, und des Premier Ministre von Quebec, Jean Charest, statt. Die Aktivitäten dieser Kooperation wurden von Prof. Dr. Ralf Ludwig (früherer Mitantragsteller und Projektwissenschaftler bei GLOWA-Danube) und Herrn Dr. Marco Braun (früherer Doktorand in GLOWA-Danube) in München wissenschaftlich bearbeitet. Zu den Ergebnissen der einzelnen Arbeitspakete der Pilotstudie wurden gemeinsam mit den kanadischen Kollegen drei Fachartikel eingereicht und zur Veröffentlichung im Jahr 2009 angenommen.

In der Folge haben die Projektpartner eine Skizze einer Projektfortführung entwickelt und diese gemeinsam mit den Ergebnissen der Pilotstudie im Oktober 2008 am Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz vorgestellt. Die erweiterte Projektidee wurde interessiert aufgenommen und für die Umsetzung im Jahr 2009 in Aussicht gestellt.

In einem Projektvorbereitungsworkshop in Montreal im November 2008 wurden Details des zukünftigen Projekts besprochen. Dabei sind an der Fortführung der gemeinschaftlichen Forschungs- und Entwicklungsarbeit von bayerischer Seite das Landesamt für Umwelt (LfU) und das Department für Geographie (LMU München) beteiligt. Auf Seiten Québecs arbeiten das Consortium Ouranos, das Centre d’Expertise Hydrique du Québec (CEHQ) und Hydro-Quebec (HQ) zusammen. Hier steht die enge internationale Verzahnung von Wasserwirtschaft und angewandter Wissenschaft im Vordergrund, so dass neben neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen auch ein sehr konkreter Mehrwert für deren praktische Umsetzung auf Verwaltungsebene erwirtschaftet werden soll. Neben regelmäßigen wissenschaftlichen Projekttreffen soll daher auch ein umfangreicher Ideen- und Methodenaustausch auf der Ebene der Wasserwirtschaftsbehörden stattfinden.

- Transfer von GLOWA-Danube know-how auf das Einzugsgebiet des oberen Brahmaputra (Tibet, Bhutan, Indien): unsere Gruppe an der LMU ist Partner des EU-Projekt-konsortiums „Brahmatwinn“ (<http://www.brahmatwinn.uni-jena.de/>) (Sustdev-2005-3.II.3.6), das seit 1.6.2006 läuft und von Prof. Dr. W.-A. Flügel (Jena) koordiniert wird. Ziel ist die Übertragung von know-how für nachhaltiges Wassermanagement von der Donau an den oberen Brahmaputra. Die Projektarbeiten bezüglich der hydrologischen Modellierung werden von Frau Monika Prasch und Herrn Dr. Thomas Marke in Zusammenarbeit mit Herrn Dr. Strasser und Prof. Dr. Wolfram Mauser in München durchgeführt. Bis jetzt wurden außerdem zwei erfolgreiche „field trips“ nach Tibet und Bhutan zur Erhebung von Geländeparametern sowie zwei Projektworkshops in Bhutan und München durchgeführt. DANUBIA *light* Trainingskurse wurden sowohl in Bhutan (Dr. U. Strasser, M. Prasch) als auch unter Einbeziehung von Stakeholdern in Kathmandu, Nepal (Dr. Th. Marke, Dr. T. Hank) durchgeführt. Zu den zahlreichen Anpassungen von DANUBIA *light* für die Verhältnisse am Brahmaputra zählt die Verwendung von CLM Daten. Damit wird u.a. die prinzipielle Übertragbarkeit des Systems gezeigt. Erste hydrologische Modellierungen bestätigen die Übertragbarkeit des Systems auf andere Einzugsgebiete. In Zusammenarbeit mit der Kommission für Glaziologie (M. Weber) wurde das flächenverteilte Gletschermodell SURGES integriert und in ersten Tests erfolgreich angewendet. Die Mitglieder der Brahmatwinn-Community werden als prime users die ersten Open Source Versionen von DANUBIA testen können. Durch die Beteiligung an Brahmatwinn ergibt sich für GLOWA-Danube außerdem die Möglichkeit zum Einsatz des *River Basin Information Systems* RBIS. Nach der bestmöglichen Bewertung „Good to excellent“ im midterm review wird das Projekt noch bis Dezember 2009 laufen.

5. Veröffentlichungen, Vorträge und Posterpräsentationen

- MAUSER, W., MARKE, T. und STÖBER, S. (2008): Klimawandel und Wasserressourcen: Szenarien über Niedrigwasserbedingungen im Einzugsgebiet der Oberen Donau. In: HABERLANDT, U., RIEMEIER, B., BILLIB, M., VERWORN, H.-R. und KLEEBERG, H.-B. (Hrsg.): Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 23.08. Hannover. S. 229-237.
- MAUSER, W., MARKE, T. und STÖBER, S. (2008): Climate Change and the Water Resources: Scenarios of low-flow conditions in the Upper Danube Watershed, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 4, 10, Slovenia (mit Vortrag).
- MAUSER, W. (2008): Overview of the GLOWA-Program. International Conference in Ouagadougou: Global Change and Water Resources in West Africa - The German-African GLOWA Project. Ouagadougou, 25.-28.08.2008 (invited).
- MAUSER, W., MARKE, T. und STÖBER, S. (2008): Climate change and water resources: Scenarios of low-flow conditions in the Upper Danube River basin. Vortrag zur Konferenz HydroPredict 2008. Prag, 15.-18.9.2008.
- MAUSER, W. und STÖBER, S. (2008): GLOWA-Danube: Integrative Techniken, Szenarien und Strategien zur Zukunft des Wassers im Einzugsgebiet der Oberen Donau. IWRM-Statuskonferenz des BMBF. Leipzig, 10.-11.11.2008.
- MAUSER, W. (2008): Methodik der Entscheidungsunterstützung vor dem Hintergrund von Unsicherheiten in der Modellkette Klimawandel, Bevölkerungsentwicklung, Landnutzung, Wasserressourcen. Fachgespräch „Entwicklung von wasserwirtschaftlichen Anpassungsstrategien an den Klimawandel“ (WASKlim-Projekt). Umweltbundesamt (UBA), Dessau, 04.-05.12.2008 (invited).

- MAUSER, W., MUERTH, M. und STÖBER, S. (2009): Climate Change Scenarios of Low-Flow Conditions and Hydro Power Production in the Upper Danube River Basin. Abstract und Vortrag zum Climate Change Congress 2009, Kopenhagen.
- MAUSER, W. und MARKE, T. (2009): Climate change and water resources: scenarios of low-flow conditions in the Upper Danube River Basin. The Role of Hydrology in Water Resources Management. Proceedings of a workshop held on the island of Capri, Italy, October 2008. IAHS Publ. 327. (mit Vortrag)
- WALDMANN, D., MUERTH, M., LUDWIG, R., SCHÄFFLER, HEINZELER, Ch., und MAUSER, W. (2009): Prozessierung, Analyse und Präsentation räumlich-zeitlich verteilter Datensätze des Decision Support Systems DANUBIA. Tagungsband FOSSGIS 2009. Hannover. (eingereicht, mit Vortrag)
- MAUSER, W. und STÖBER, S. (2009): GLOWA-Danube: Integrative Techniken, Szenarien und Strategien zur Zukunft des Wassers im Einzugsgebiet der Oberen Donau. Vortrag und Poster zur Messe Wasser Berlin. Berlin, 31.3.-02.04.2008.

6. Gemeinsame Formulierung und Auswertung von komplexen Szenarien

Eine zentrale Aufgabe des Koordinationsprojektes in der dritten Förderphase ist es, die gemeinsame Definition von komplexen Szenarien, deren Umsetzung bzw. Simulation mit DANUBIA sowie die Auswertung der Szenarioergebnisse zu koordinieren. Hierfür unerlässlich ist der intensive Austausch mit Stakeholdern verschiedenster Fachrichtungen und Interessensgebieten (z.B. aus Wasserwirtschaft, Landwirtschaft, Energiewirtschaft, Tourismus), um sowohl allgemeine als auch individuell relevante Szenarien formulieren und bewerten zu können. Die Moderation des *Stakeholder*-Dialogs wird in der dritten Projektphase dezentral von der Firma IFOK organisiert und durchgeführt (s. Kap. 14).

Die allgemeine Szenarienformulierung wurde auf den beiden internen Klausurtagungen im Frühjahr 2008 in Herrsching sowie im Herbst 2008 in Hofgeismar spezifiziert und diese übergeordnet als GLOWA-Danube-Szenarien® definiert. Ein GLOWA-Danube-Szenario® ist hierbei eine Kombination aus einem angenommenen Klimatrend (siehe auch Teilprojekt Hydrologie und Fernerkundung), daraus ausgewählten Klimavarianten und einem angenommenen Trend in der Entwicklung der gesellschaftlichen Rahmenbedingungen sowie verschiedene Optionen von Handlungsszenarien (s. Abb. 1). Ein GLOWA-Danube-Szenario® beschreibt somit in groben Zügen einen möglichen Verlauf des Klimas und der gesellschaftlichen Entwicklung in der Zukunft. Daher gibt es prinzipiell unendlich viele GLOWA-Danube-Szenarien®.

Die Szenarien (z.B. Niedrigwasser-Szenarien am Pegel Achleiten) wurden bis Herbst 2008 als einfache, nicht komplexe Klimaszenarien (Szenarien ohne Akteurmodellierungen) mit einem stochastischen Klimagenerator über einen Zeitraum von 50 Jahren (2011 bis 2060) gerechnet. Seit Herbst 2008 konnte mit der komplexen bzw. gekoppelten Szenarienrechnung (s.o.) mit DANUBIA begonnen werden. Um DANUBIA für diese komplexen Szenarienrechnungen zu optimieren, wurden die weiteren Entwicklungsstufen des Systems (z.B. Implementierung dynamischer Änderungen der subskaligen Landnutzung, Rückkopplung durch das Teilmodell *Farming*) präzisiert und deren zeitliche und praktische Umsetzung innerhalb der jeweiligen Teilprojekte erfolgreich durchgeführt.

Gemeinsam mit *Stakeholdern* (u.a. mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt, LfU) erfolgt seit Anfang 2008 ein intensiver Informationsaustausch zur Identifikation und Formulierung wichtiger, für die jeweiligen *Stakeholder* relevanten Szenarien. In drei Szenario-Workshops im November 2008 und Januar 2009 wurden die oben beschriebenen GLOWA-Danube-Szena-

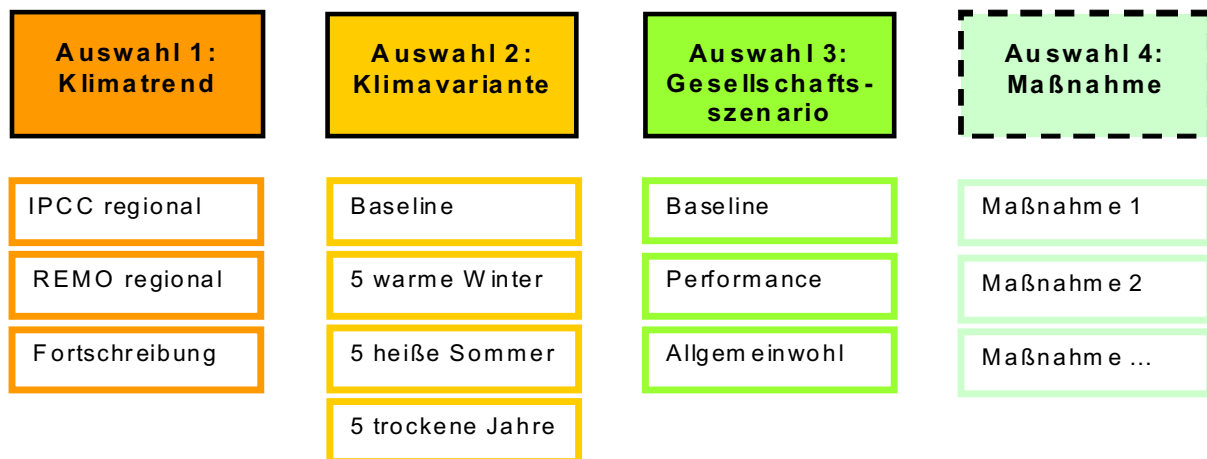


Abb. 1: Darstellung der GLOWA-Danube-Szenarien®

rien® sowie erste Simulationsergebnisse gemeinsam mit den Stakeholdern diskutiert und evaluiert sowie die weiteren Anforderungen der *Stakeholder* an die Szenariosimulationen von GLOWA-Danube konkretisiert (siehe Punkt 14). In drei weiteren Optionsworkshops werden im Herbst 2009 die noch ausstehenden Szenariosimulationen den Stakeholdern vorgestellt und gemeinsam mit ihnen evaluiert sowie darüber hinaus gemeinsam erste Anpassungsstrategien formuliert. Des Weiteren sollen in einer abschließenden Regionalkonferenz (geplant für Februar 2009) die finalen Projektergebnisse den involvierten Stakeholdern präsentiert werden. Die Regionalkonferenz signalisiert zugleich die „Übergabe“ von DANUBIA als Open Source an die Öffentlichkeit.

Auf der internen Klausurtagung Ende März 2009 in Wildbad Kreuth erfolgte mit allen an GLOWA-Danube beteiligten Wissenschaftlern u.a. ein Abgleich der internen wissenschaftlichen Interessen mit den formulierten Interessen der *Stakeholder*. Hierbei wurden die Ergebnisse der Szenarienworkshops sowie die Simulationsergebnisse analysiert und aufbereitet sowie die weiteren Schritte zur Umsetzung der Szenariosimulationen und des Stakeholder-Dialogs intensiv diskutiert.

7. Betrieb des Cluster-Rechners

Die veraltete Hardware des Linux-Cluster (größtenteils stammten die Rechner noch aus der ersten Projektjahren 2001-2003) wurde nahezu vollständig durch neue Hardware ersetzt. Lediglich folgende neuere Komponenten (aus den Jahren 2005 und 2006) blieben erhalten und werden weiterhin genutzt:

- 1 x 8 Dual-Core AMD Opteron 880
- 2 x 4 Dual-Core AMD Opteron 870

Zur Erweiterung des Clusters wurden folgende neue Hardware-Komponenten angeschafft:

- 1 x Master-Knoten zur Verwaltung des Clusters
- 2 x Intel XEON MP E 7330 16 Kern Rechner
- 2 x neue USVs MGE-Pulsar zur Notstromversorgung
- 1 x 24TB Network Attached Storage (NAS) mit RAID 6

Nach erfolgreichem Einbau der neuen Server, erfolgte die Installation des Betriebssystems sowie der weiteren für den Betrieb notwendigen Software und Client-Server-Applikationen (SSH, FTP, NTP, Java-Runtime-Environment, Diverse Tools)

Beim anschließenden Testbetrieb, gab es massive Probleme mit Hardwaretreibern (v.a. Raidcontrollern) und Ausfällen von Festplatten (Probleme mit der Firmware des Festplatten-Hersteller Seagate). Die Lösung dieser Probleme hat mehrere Wochen (November/Dezember) gedauert, da auch Geräte eingeschickt werden mussten. Mittlerweile sind die Fehler behoben und die Hard- und Software funktioniert fehlerfrei.

In Kürze steht die Anschaffung von drei weiteren schnellen, mit Intel XEON Prozessoren bestückten 8-Kern Rechnern an.

7.1 Zugriff auf Modellergebnisse

Die Modell- bzw. Simulationsergebnisse, die auf dem Cluster gespeichert werden, stehen nach Beendigung des Modelllaufs jedem Projektpartner zur Verfügung. Um dies zu gewährleisten, wurde ein sicherer FTP-Server (FTP über SSL/TLS) aufgesetzt, über den der Zugriff auf die Modellergebnisse erfolgen kann. Der Download erfolgt nach erfolgreicher Authentifizierung (individuelle Benutzererkennung und Passwort) durch den Benutzer.

7.2 Sicherung der Modellergebnisse

Die Sicherung der Modellergebnisse ist zum Einen durch das auf dem NAS installierte RAID6 (incl 2 x HotSwap Festplatten) gewährleistet, zum Anderen werden die Modellergebnisse durch einen separaten Backup-Server, der ausschließlich für die Sicherung der Ergebnisse zuständig ist, über das interne Hochschuldatennetz zum Leibniz Rechen Zentrum LRZ gesichert (archiviert). Die Sicherung erfolgt individuell nach Beendigung der Simulationsergebnisseläufe.

8. Modellpflege und Datenmanagement

Für das zentrale Management der Projektdaten wurde bereits Ende 2007 ein Linux-Server aufgesetzt. Dieser dient nach wie vor (im Dauerbetrieb) allen Projektteilnehmern zur Sicherung aller relevanten Projektdaten. Ein mehrstufiges Datensicherungskonzept gewährleistet dabei die Sicherung und Reproduzierbarkeit der sensitiven Daten.

Der Linux-Server verfügt über ein Hardware-RAID (RAID 1) und ist gegen Ausfall über das hochschulnetzinterne Backup-System des Münchner Leibniz-Rechenzentrums gesichert. Zum Schutz des Servers und der Daten vor Hackern und Viren sind eine Firewall sowie ein Virencanner (Sophos AV) installiert. Der Server dient als zentrale Speicher- und Austauschplattform für die Projektteilnehmer. Die Datenübertragung zum Server findet über das SSH-Protokoll statt (SSH = Secure Socket Shell, verschlüsselte und standardisierte Übertragungsprotokoll). Jede Projektgruppe besitzt ein eigenes Home-Verzeichnis, das durch entsprechende Vergabe der Schreib- und Leserechte gegen den Missbrauch oder Handlungen Dritter geschützt ist. Die aktuelle Version des DANUBIA und DANUBIA *light*, ist auf dem File-Server archiviert.

9. Transition von DANUBIA in ein Open Source-Projekt

Im Berichtszeitraum konnten hinsichtlich der Überführung von DANUBIA in *Open-Source* Software erste Annäherungen an die gewünschten Ziele erreicht werden. Vor der Veröffentlichung über das *Open Source* Project Hosting *sourceforge* wurde in einem ersten Schritt erfolgreich ein Hosting innerhalb des Projektes getestet. Auf einem projektinternen Server werden über das Versionierungssystem Subversion zentral die Quellcodes aller Teilprojekte verwaltet, was die Komponentenabgabe deutlich erleichtert. An das Versionierungs-System ist die Projektmanagement- und Dokumentationssoftware Trac gekoppelt. Diese erlaubt es allen beteiligten GLOWA-Danube Entwicklern, Dokumentationen anzulegen, zu ergänzen und einzusehen.

Die genannte Art der Versionierung und Dokumentation stellt einen wichtigen Punkt der Softwareentwicklung in großen Projekten dar, vor allem im *Open Source* Bereich. Da die Plattform *sourceforge* in ähnlicher Weise arbeitet, wird eine einfache Migration auf die öffentlichen Server erwartet.

Der Aufbau des GLOWA-Danube Trac Systems ist detailliert im Bericht des Teilprojektes Informatik beschrieben.

10. Entwicklung von Analysetools zur einheitlichen Datenprozessierung

Bei der Entwicklung des Danubia Data Analysis Tool (DDAT) wurde während des Berichtszeitraumes verstärkt auf den Übergang in ein *Open-Source* Werkzeug hingearbeitet. Um sich erfolgreich in der *Open Source Community* etablieren zu können, muss Software erfahrungsgemäß solche Standards, wie gute Dokumentation und leichte Erweiterbarkeit aufweisen. Aus diesem Grund wurde bei der Weiterentwicklung eine Reihe projektintern entwickelter Algorithmen durch quelloffene, anerkannte Bibliotheken ersetzt. Dadurch wird externen Nutzern eine Einbindung und Anpassung des DDAT erleichtert. Des Weiteren konnte die Funktionalität der Software ausgebaut werden. Die Verwendung der Bibliotheken verspricht auch eine geringere Fehleranfälligkeit, da diese bereits seit Jahren in stabilem Zustand vorliegen. Folgende Liste gibt einen kurzen Überblick über die zusätzlichen Funktionalitäten und die Bibliotheken, welche dafür eingebunden wurden:

- zusätzliche statistische Kenngrößen, wie z.B. Perzentile (Apache Commons)
- Konfiguration des DDAT mit Hilfe von XML-Files (Apache Commons)
- Einlesen externer Fernerkundungsdaten (BEAM / ESA)
- Darstellung von Datensätzen in Form von Diagrammen (JFreeChart)

Unabhängig von diesen Bibliotheken wurden eigene Implementierungen umgesetzt:

- Einführung eines weiteren Datenformates zur einfacheren Datenprozessierung
- Implementierung einer Methode zur Berechnung von Jährlichkeiten von Hoch- und Niedrigwässern
- Unterstützung von benutzerdefinierten Skripten zur Datenverarbeitung

Außerdem wurde im Zuge der Open-Source Initiative das Format der Dokumentation von einfachem Textformat auf HTML (über javadoc) umgestellt, das sich dieses im Internet leichter veröffentlichen lässt.

Um die Öffentlichkeit über die Software zu informieren, wird das DDAT auf der diesjährigen Konferenz für Freie und Open Source Software für Geoinformationssysteme (FOSSGIS) in Hannover präsentiert (WALDMANN et al. 2009).

11. Global Change Atlas Obere Donau

Der „Global Change Atlas Obere Donau“, der sowohl in einer Printversion als auch in einer Online-Version existiert, dient - v.a. durch seine anschauliche Aufmachung in Form von Karten und Abbildungen - als Informations- und Diskussionsgrundlage für Wissenschaftler und Entscheidungsträger und soll als dynamisches und wachsendes Werkzeug zur Unterstützung eines offenen Diskussionsprozesses beitragen.

11.1 Print-Version des Global Change Atlases Obere Donau

Ausarbeitung, Druck und Versand der 2. Lieferung konnten wie geplant zu Beginn des Berichtszeitraumes durchgeführt werden. Diese Lieferung enthielt einige ergänzende Naturraumbeschreibungen in Kapitel 1, die Modellbeschreibungen der *DeepActor*-Modelle mit neuen Ergebnissen in Kartenform in Kapitel 2 sowie ein übergeordnetes bzw. vorangestelltes Kapitel zum *DeepActor*-Ansatz, welches von allen beteiligten Projektgruppen gemeinsam verfasst wurde, um die Komplexität des *DeepActor*-Ansatzes für die Leser des Atlas verständlicher zu machen. Dieses Kapitel erklärt die Abbildung von Entscheidungsprozessen in sozioökonomischen Modellen und gibt zudem einen tabellarischen Überblick über die Verwendung des *DeepActor*-Ansatzes in den einzelnen Akteur-Gruppen.

Die Resonanz auf die ergänzten Artikel und Karten der 2. Lieferung war durchwegs positiv und im Laufe der letzten Monate konnten durch die Präsentation des Atlas auf mehreren Veranstaltungen einige neue *Stakeholder* angesprochen werden, die großes Interesse am Projekt zeigten. Deshalb wurde zeitnah an den Versand der 2. Lieferung mit der Planung der 3. Lieferung begonnen.

Bei der Planung der 3. Atlas-Lieferung wurde großes Augenmerk auf das Füllen des 3. Kapitels „Szenarien und Ergebnisse“ gelegt. Aber auch einige noch fehlende Beiträge zum Natur- und Sozialraum in Kapitel 1 sowie weitere Modellbeschreibungen für das Kapitel 2 werden die kommende Lieferung ergänzen, welche für Mai/Juni 2009 geplant ist. Diese Beiträge umfassen sowohl einen Beitrag zum Organischen Kohlenstoffgehalt im Boden als auch Beschreibungen des Gletschermodells SURGES (Teilprojekt Glaziologie) und des Bodenstickstoffmodells SNT (Teilprojekt Ökosysteme/ Pflanzenökologie).

Wie bereits auf den ersten Seiten des Atlas (Kap. E1, E2 und E3) sieht die Konzeption des Atlas vor, auch einige vorangestellte Beiträge für Kapitel 3 zu verfassen, um den komplexen und weit reichenden Begriff der „Szenarien“ für den Leser verständlich zu machen und zudem Transparenz in die Szenariengenerierung in GLOWA-Danube zu bringen. GLOWA-Danube-Szenarien bestehen aus einer Kombination von Klima- und Gesellschaftsszenarien. Alle Elemente der GLOWA-Danube-Szenarien (Klimatrends, Klimavarianten und Gesellschaftliche Megatrends) sollen in den vorangestellten Beiträgen für das Kapitel 3 ausführlich beschrieben werden (siehe auch Kapitel 6). Neben der Beschreibung der einzelnen Elemente der GLOWA-Danube-Szenarien nehmen die Methoden zur Erstellung von Klimaszenarien einen wichtigen Teil des Kapitels 3 ein. Diese umfassen sowohl den eigens für die Klimaszenariengenerierung entwickelten statistischen Klimaszenariengenerator als auch die Methodik der Bildung von Klimaszenarien aus den Regionalen Klimamodellen REMO und MM5.

Neben den allgemeinen Beiträgen in Kapitel 3 zu den Szenarien wird die kommende Lieferung die ersten Ergebnisse der gekoppelten Modellläufe enthalten. Diese Ergebnisse zeigen beispielsweise die Änderung der Schneedeckendauer in den kommenden Jahren unter An-

nahme eines bestimmten Klimaszenarios oder die Auswirkungen unterschiedlicher Gesellschaftlicher Szenarien auf die Öffnungstage von Skigebieten.

Für die kommende Lieferung wurde zudem ein umfangreiches Glossar für den Atlas erstellt, welches es dem Leser erleichtern soll, projekt- und fachspezifische Begriffe im Gesamtkontext zu verstehen. Hierfür wurden in einem projektinternen Auswahl- und Review-Prozess Begriffe aus den einzelnen Artikeln ausgewählt und definiert.

Die Aufbereitung der Daten für die Kartendarstellungen wird wie auch bei den letzten Lieferungen von der Atlas-Redaktion in enger Zusammenarbeit mit den jeweiligen Autoren der Beiträge übernommen. Die endgültige Gestaltung des Kartenlayouts sowie die Darstellung der Legende erfolgen dann unter der Berücksichtigung fachlicher Gesichtspunkte und der kartographischen Gestaltungsmöglichkeiten in Zusammenarbeit zwischen den Autoren, der Redaktion sowie der Abteilung Kartographie. Auch der projektinterne Review-Prozess wurde für die 3. Lieferung fortgeführt. Die Organisation dieses Prozesses obliegt wie gehabt der Redaktion, die endgültige Begutachtung und Endredaktion wird wieder durch den Projektkoordinator erfolgen.

11.2 Online-Version des Global Change Atlases Obere Donau

Der passwortgeschützte Prototyp des Online-Atlas „Obere Donau“ wurde im Berichtszeitraum um die wenigen noch fehlenden Karten und Textbeiträge ergänzt. Derzeit können alle im aktuellen Printatlas vorhandenen Karten mit den zugehörigen Textbeiträgen auch online betrachtet werden. Zudem konnten bereits jetzt einige Karten in den Online-Atlas aufgenommen werden, die in der Printausgabe voraussichtlich im Mai/Juni 2009 enthalten sein werden. Somit beinhaltet der Online-Atlas die neuesten Modellergebnisse in Kartenform und interessierte Leser können bereits vorab einen Blick auf die neuesten Beiträge bekommen. Anfang 2009 konnte der Online-Atlas, der bisher nur als passwortgeschützter Prototyp im Internet zugänglich war, ohne Kennwortschutz ins Internet gestellt werden. Hierfür mussten die Rechte zur digitalen Online-Veröffentlichung in aufwendiger Recherchearbeit mit jedem betroffenen Datenlieferanten neu verhandelt und geklärt werden.

Der Online-Atlas ist zum größten Teil mit Hilfe der Software *ADOBE Flash* entstanden, die in den letzten Jahren mit neuen Funktionen und Befehlssätzen weiterentwickelt wurde. Dieser Weiterentwicklung wurde ebenfalls Genüge getragen und der Code entsprechend angepasst, so dass die Erweiterung des Atlas auch in aktuellen und zukünftigen Flash-Versionen reibungslos fortgesetzt werden kann.

Die Farben des Online-Atlas wurden an die des Print-Atlas angepasst, um zukünftig ein verwandtschaftliches Erscheinungsbild zu erzeugen. Die Ansichtsgröße der Karten in den Browsern wurde variabel an die Größe der von den Benutzern jeweils verwendeten Bildschirmgrößen angepasst bzw. maximiert. Dadurch ist einer stark verbesserten Lesbarkeit Rechnung getragen worden.

12. Landoberflächen-Temperaturen aus Fernerkundungsdaten

Für die Validierung der Modellergebnisse des Energiebilanzmodells der Landoberfläche (s. Teilbericht Hydrologie und Fernerkundung 2007) wurden thermale Satellitendaten aus der Datenbank des Departments für Geographie aufbereitet. Im Berichtszeitraum wurden 12 geeignete Szenen des Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) der amerikanischen National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) aus den Jahren 2003 und 2004 aufbereitet. Die thermale Emission der Erdoberfläche wird von den Spektralkanälen 4 und 5 des Satelliten NOAA-17 täglich gegen 11:00 CET mit einer räumlichen Auflösung, ähnlich der DANUBIA Proxelgröße, von ca. 1.1km aufgenommen. Die Prozessierung der Rohdaten, die Georeferenzierung der Szenen und die Schnee- und Wolkenklassifikation wurde von der Firma

VISTA GEO (München) durchgeführt. Die Extraktion der Landoberflächentemperatur (LST) aus AVHRR-Daten erfolgt i.A. über die sogenannte Split-Window Technik (SWT), die jedoch mit einigen Unsicherheiten auf Grund der Wahl der Parameter behaftet ist. Um diese Ungenauigkeiten zu evaluieren, wurden die Unterschiede von drei verschiedenen Ausprägungen der SWT untersucht (Muerth, 2008). Neben der atmosphärischen Absorption der Strahlung auf ihrem Weg zum Sensor, sind die beiden Grundprobleme der Thermalfernerkundung nach DASH et al. (2002):

1. Abschätzung der thermischen Emissivität der heterogenen Landoberfläche anhand von Bewuchs, Relief, Bodenart und Feuchte.
2. Berechnung der tatsächlichen Temperatur der Erdoberfläche anhand von zwei spektralen Ausschnitten (Strahlungstemperaturen) der thermischen Abstrahlung.

Auf Grund der groben räumlichen Auflösung des AVHRR-Sensors und dem hohen Aufwand die tatsächliche Emissivität jedes einzelnen Pixels einer Aufnahme zu ermitteln (s. u.a. SOBRINO et al. 2000), differenzieren alle bekannten SWT Algorithmen lediglich nach Dominanz durch offenen Boden, Wasserflächen oder Vegetation. Deshalb unterscheiden sich die untersuchten Algorithmen vor allem in der Komplexität der Gleichung zur Berechnung der LST aus den Strahlungstemperaturen der beiden Thermalkanäle des AVHRR. Hierbei ist die SWT von Kerr et al. (1992) die einfachste Umsetzung der Grundgleichung von BECKER und LI (1990), während YANG und YANG (2006) die komplexeste Parametrisierung speziell für die aktuellen NOAA-16 und -17 Satelliten erstellt haben. Der Algorithmus von ULIVIERI et al. (1994) nimmt eine Mittelstellung ein und wurde von verschiedenen Autoren (u.a. VASQUEZ et al. 1997; YU et al. 2008) als der zuverlässigste für stark heterogene Landoberflächen wie die der Oberen Donau beschrieben. Das Beispiel in Abbildung 2 zeigt, daß die SWT von KERR et al. (1992) im Allgemeinen niedrigere Temperaturen als die anderen beiden Algorithmen generiert. In Abb. 3 ist dagegen die Abhängigkeit der LST von der Differenz der Strahlungstemperaturen der beiden AVHRR-Kanäle dargestellt. Auch hier ist ein ähnlicher Verlauf für die beiden neueren SWTs erkennbar, während die Steigung der beiden älteren SWT-Gleichungen deutlich steiler ist. Die absolute Temperatur nach KERR et al. (1992) ist vor allem für offenen Boden ebenfalls deutlich niedriger. Auf Grund der ähnlichen Ergebnisse der beiden komplexeren SWT-Modelle und der positiven Resonanz anderer Autoren auf die SWT von ULIVIERI et al. (1994), empfiehlt sich dieser für die Validierung von simulierten Landoberflächentemperaturen in Untersuchungsgebiet.

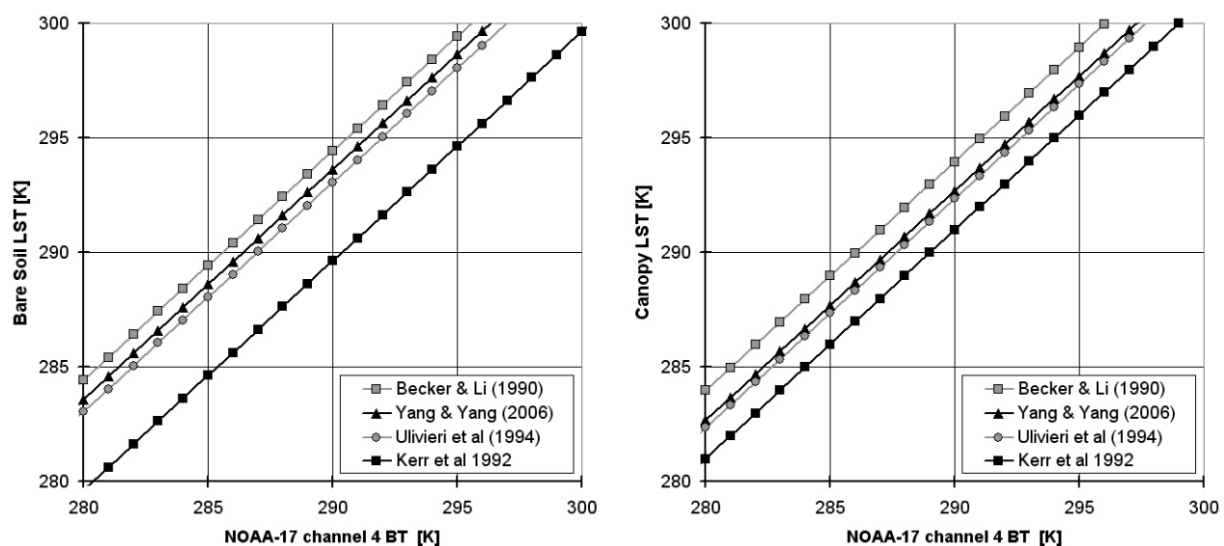


Abb. 2: Abhängigkeit der Landoberflächentemperatur von der Strahlungstemperatur des 4. Kanals mit dBT = 1,3 K für offenen Boden (links) und Vegetationsbestand (rechts)

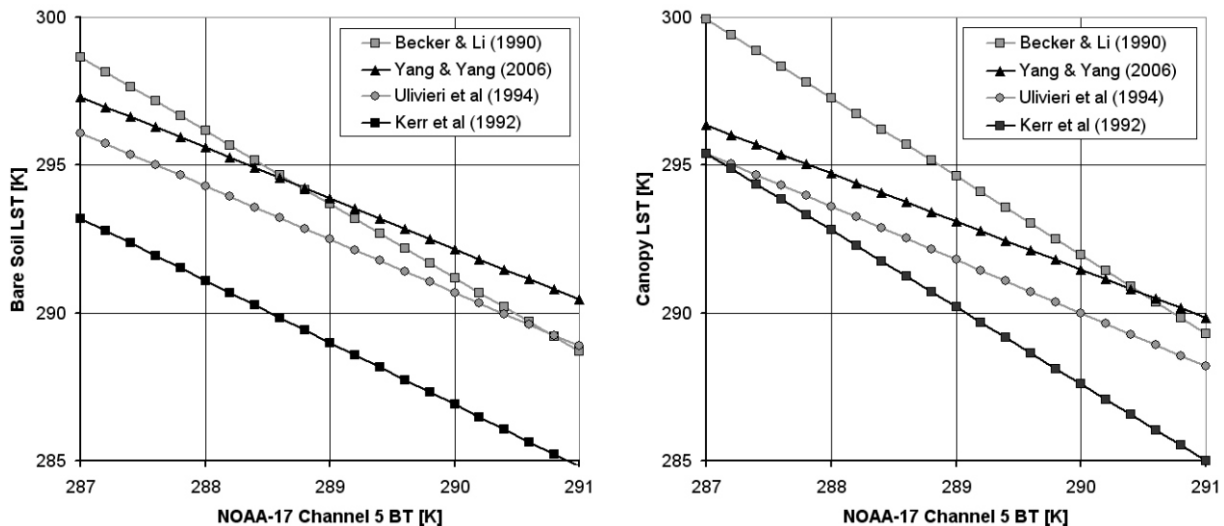


Abb. 3: Abhängigkeit der Landoberflächentemperatur von der Strahlungstemperatur des 5. Kanals bei fixer Strahlungstemperatur des 4. Kanals von 290 K für offenen Boden (links) und Vegetation (rechts)

13. Pflege der Datenbank und GIS

Auch im aktuellen Berichtszeitraum wurde die Erweiterung und Pflege der verschiedenen Access-Datenbanken fortgeführt. Die meteorologischen Zeitreihen mit stündlichen und/oder täglichen Messwerten von klimatischen Parametern beginnen teilweise bereits 1949 und reichen für einen Großteil der Stationen bis ins Jahr 2008. Die meteorologischen Daten werden vom Deutschen Wetterdienst (Offenbach) und von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (Wien) bezogen und decken das gesamte GLOWA-Einzugsgebiet mit mehreren hundert Messstationen ab. Zudem stehen im Rahmen des Partnerprojektes „Brahmatwinn“ auch Klimadaten aus Südtirol zur Verfügung.

Alle raumbezogenen Daten werden zentral in einem Geographischen Informationssystem (GIS) verwaltet und gepflegt. Auch im Zuge der Aufbereitung der Daten für den „Global Change Atlas Obere Donau“ werden kontinuierlich Projektdaten im GIS aufbereitet und stehen den Projektpartnern jederzeit für weitere Analysen oder Berechnungen zur Verfügung. Für die Aufbereitung von Daten oder Karten für den Atlas (Printversion und Onlineversion) werden die Daten aus dem Geographischen Informationssystem und den Access-Datenbanken an die Kartographie weitergeleitet. Dort erfolgt die graphische Aufbereitung für die Druckversion (Photoshop, CorelDraw) bzw. für die Internetversion (MySQL-Datenbank des Online-Atlas; s. Punkt 11.2)

14. Stakeholder-Dialog

Phase III des Projektes ist entscheidend für die Bekanntmachung und Anwendung der Ergebnisse von GLOWA-Danube und für die Entwicklung und Diskussion von Zukunfts-Szenarien. Daher verfolgt der *Stakeholder-Dialog* mit Entscheidungsträgern aus Politik, Wirtschaft und Verwaltung in dieser Phase drei wesentliche Ziele:

1. Formulierung, Anreicherung und Bewertung der Szenarien gemeinsam mit Stakeholdern unter Nutzung des sukzessiv wachsenden „Global Change Atlas“ Qualität und Relevanz der Ergebnisse steigern
2. Diskussion der Ergebnisse des Projekts mit den Stakeholdern zur Antizipation von Konflikten und der gemeinsamen Entwicklung von Lösungsoptionen Entwicklung von Anpassungsstrategien unterstützen

3. Die potenziellen Anwender von DANUBIA frühzeitig mit dem Instrument vertraut zu machen, Rückmeldungen einzuholen und letztlich Akzeptanz für DANUBIA zu erreichen DANUBIA als Unterstützungssystem in Entscheidungen etablieren

14.1 Sachstand im Berichtszeitraum

In der dritten Phase wird der *Stakeholder*-Dialog im Auftrag von GLOWA-Danube extern von der Firma IFOK durchgeführt. Die Leitung des *Stakeholder*-Dialogs obliegt Frau Dr. Hannah Büttner, unterstützt wird ihre Arbeit von Frau Martina Richwien, Frau Karina Speil und Frau Inga Kröger. Im Berichtszeitraum stand die kontinuierliche Beratung, Durchführung von Interviews sowie Rundgesprächen mit Stakeholdern sowie die Organisation und Durchführung der Szenarienworkshops im Vordergrund. Folgende Leistungen wurden im Detail hierfür erbracht:

Kontinuierliche Begleitung

- Beratung und Abstimmung mit der Projektleitung
- Teilnahme und Mitwirkung an den 3 mehrtägigen GLOWA Klausurtagungen, Präsentation von Ergebnissen, konzeptionelle Entwicklung der weiteren Vorgehensweise, Synchronisation des Stakeholderprozesses mit dem Forschungsprozess.

Arbeitspaket 1: Inhaltliche Klärung und Interviews

- Ansprache und Bedarfserhebung bei insgesamt 20 *Stakeholdern*, Aufbereitung in einem Zwischenbericht im Juli 2008, Abschluss der Interviews im August 2008.
- 29. September 2008: Vorlage des Ergebnisberichts der Interviews, Aufbereitung für einen Parameterabgleich durch die Teilprojekte.

Arbeitspaket 2: Rundgespräche („Road Show“)

- Durchführung von insgesamt 5 Rundgesprächen mit insgesamt ca. 30 Stakeholdern. Intensive Vorbereitung der Termine mit GLOWA Partnern und Stakeholdern (Auswahl und Ansprache, Terminkoordination, Klärung von Erwartungen, Inhalten und Ablauf). Dokumentation der Gesprächsergebnisse für alle Beteiligten.
- Mitwirkung (Vorbereitung, Präsentation) bei der LfU Stakeholderveranstaltung in Hof.
- Auswertung und Präsentation der Ergebnisse der Rundgespräche auf der GLOWA Klausurtagung in Hofgeismar.
- Derzeit: Vorbereitung eines letzten Rundgespräches in Österreich.

Arbeitspaket 3: Szenario- und Optionenworkshops

- Präsentation und Diskussion zur Konzeption der Szenarienentwicklung auf der Klausurtagung am 2. Mai 08, Weiterentwicklung der Konzeption der Szenario Workshops zur Diskussion im Rahmen der Projektleitersitzung am 15. Juli 08. Konzeptionelle Vorbereitung der Workshops und Abstimmung mit den GLOWA Teilprojekten auf der Klausurtagung am 1. Oktober 08
- Kontinuierliche Aktualisierung der *Stakeholder*liste, Recherche und Ansprache weiterer Akteure. Einladung versendet an über 200 Personen, mehrmalige Nachfassaktionen, persönlich und per Email, Anmeldungs- und Teilnehmermanagement.
- Vorbereitung und Durchführung von 3 Szenarioworkshops mit insgesamt ca. 50 *Stakeholdern*. Dokumentation der Ergebnisse.

14.2 Ausblick und Änderungen

Im Anschluss an die Workshops ist die Auswertung und Modellierung auf Basis der Workshopergebnisse geplant. Die Ergebnisse der Modellierung sollen dann in einer weiteren Workshopserie voraussichtlich im Herbst 2009 mit den Stakeholdern diskutiert werden. Die Ergebnisse aus diesen Workshops fließen in eine Regionalkonferenz mit Stakeholdern ein.

Änderungen beim Aufwand für die einzelnen Arbeitspakete: Für die Koordination, Vorbereitung und Ansprache von Akteuren zu den Rundgesprächen als auch für die Auswahl und Teilnehmeransprache für die Szenarioworkshops war ein höherer Aufwand erforderlich als geplant. Angesichts des bisher erhöhten Aufwands wird von Seiten IFOK vorgeschlagen, den Reflektionsworkshop im Rahmen der Regionalen Konferenz zu integrieren.

15. Literatur

- BECKER, F. und LI, Z.L. (1990): Towards a local split window method over land surface. *International Journal of Remote Sensing* 11, S. 369-393.
- DASH, P., GÖTTSCHE, F.M., OLESEN, F.S. und FISCHER H. (2002): Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: theory and practice - current trends. *International Journal of Remote Sensing* 23(13), S. 2563-2594.
- KERR, Y.H., LAGOUARDE, J.P. und IMBERNON, J. (1992): Accurate land surface temperature retrieval from AVHRR data with use of an improved split window algorithm. *Remote Sensing of the Environment* 41, S. 197-209.
- MUERTH, M. (2008): A soil temperature and energy balance model for integrated assessment of Global Change impacts at the regional scale. Dissertation der Fakultät für Geowissenschaften, Digitale Hochschulschriften der LMU München, 145 S.
- ULIVIERI, C., CASTRANUOVO, M., FRANCONI, R. und CARDILLO, A. (1994): A split window algorithm for estimating land surface temperature from satellites. *Advances in Space Research* 14(3), S. 59-65.
- VASQUEZ, D.P., REYES, F.J.O. und ARBOLEDAS, L.A. (1994): A comparative study of algorithms for estimating land surface temperature from AVHRR data. *Remote Sensing of the Environment* 62, S. 215-222.
- YANG, H. und YANG Z. (2006): A modified land surface temperature split window retrieval algorithm and its applications over China. *Global & Planetary Change* 52, S. 207-215.
- YU, Y., PRIVETTE, J.L. und PINHEIRO, A.C. (2008): Evaluation of split-window land surface temperature algorithms for generating climate data records. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 46(1), S. 179-192

DANUBIA: Ein Web-basiertes Modellierungs- und Entscheidungs-Unterstützungssystem zur integrativen „Global-Change“-Forschung im Bereich der oberen Donau

Teilprojekt: Informatik
Leiter: Prof. Dr. Rolf Hennicker
Ausführende Stelle: Institut für Informatik, Ludwig-Maximilians-Universität München
Oettingenstr. 67, 80538 München

1. Überblick

Zentrale Aufgabe des Teilprojekts Informatik ist die Entwicklung des integrativen Simulations- und Entscheidungsunterstützungssystems DANUBIA.

Im Berichtszeitraum wurden folgende grundlegende Arbeiten im Teilprojekt Informatik durchgeführt:

- Die Arbeiten an den konzeptionellen Grundlagen zu den GLOWA-Danube-Szenarien wurden abgeschlossen und die technischen Voraussetzungen für die Durchführung von Szenarien geschaffen.
- Zur Realisierung von GLOWA-Danube-Szenarien wurden zahlreiche Simulationsläufe auf dem zentralen Clusterrechner durchgeführt.
- Zur Weiterentwicklung und Qualitätssicherung des DANUBIA-Systems wurde ein projektweites Versionskontrollsystem zur Verwaltung des Quellcodes und ein web-basiertes Projektmanagementsystem zur Unterstützung des Entwicklungsprozesses eingeführt.
- Es wurde ein Werkzeug zur Performanzanalyse von DANUBIA-Simulationsläufen und damit eine Methodik zur Performanzverbesserung entwickelt und angewendet.
- Die Grundlagenforschung im Bereich komponentenbasierter Systeme wurde vorangetrieben.

Die einzelnen Punkte werden in den Abschnitten 3 bis 7 dieses Berichts näher erläutert. Des Weiteren hat die Gruppe Informatik kontinuierlich die einzelnen Fachgruppen bei der Entwicklung und Wartung ihrer Simulationsmodelle, bei der Durchführung lokaler Testläufe mit dem DANUBIA-System und bei Fragen und Problemen im Zusammenhang mit dem DANUBIA-System unterstützt.

2. Organisation

2.1 Personal

Für die Durchführung des Projektvorhabens wurden die zugewiesenen Personalmittel im Berichtszeitraum mit den im Folgenden genannten Wissenschaftlern besetzt. Zusätzlich wurde die Projektarbeit aus der Grundausrüstung durch den Projektgruppenleiter Prof. Dr. Rolf Hennicker unterstützt.

- Dipl.-Math. Sebastian Bauer: 01.06.2008-30.04.2009, 1 BAT IIA Stelle
- Dipl.-Inf. Stephan Janisch: 01.05.2008-30.04.2009, 1 BAT IIA Stelle
- Dipl.-Math. Matthias Ludwig: 01.05.2008-30.04.2009, 1 BAT IIA Stelle

2.2 Veranstaltungen und Konferenzen

Die Mitglieder der Gruppe Informatik haben im Berichtszeitraum an folgenden Projekttreffen von GLOWA-Danube teilgenommen:

- 01.05.2008 Projektleitungstreffen, Herrsching (Hennicker)
- 02.05.-03.05.2008 GLOWA-Danube Klausurtagung, Herrsching (Hennicker, Janisch, Ludwig)
- 29.09.2008 Projektleitungstreffen, Hofgeismar (Hennicker)
- 29.09.-01.10.2008 GLOWA-Danube Klausurtagung, Hofgeismar (Hennicker, Ludwig)
- 24.11.2008 *Stakeholder-Workshop: Wasserwirtschaft, Energie, Infrastruktur in München* (Hennicker)

Daneben fanden zahlreiche bilaterale Treffen und Telefonkonferenzen mit dem Teilprojekt Koordination zur Einrichtung der Infrastruktur des Clusterrechners statt.

Die Mitglieder der Gruppe Informatik haben an folgenden internationalen Konferenzen und Arbeitstreffen teilgenommen, bei denen über für GLOWA-Danube relevante Themen vorgetragen wurde:

- 22.-27.06.2008 Teilnahme (mit Vortrag) an der Sommerschule „Second International School on Trends in Concurrency“, Prag, Tschechische Republik (S. Bauer).
- 07.-13.09.2008 Teilnahme an der Sommerschule „LASER Summer School on Software Engineering: Concurrency and Correctness“, Elba, Italien (S. Bauer).
- 31. 10.2008 Teilnahme (mit Vortrag) am Workshop „Integrated Modelling with the OpenMI“ an der Bundesanstalt für Wasserbau, Hamburg (M. Ludwig).
- 10. -12.09.2008 Teilnahme (mit Vortrag) am „5th International Workshop on Formal Aspects of Component Software“, Malaga, Spanien (S. Janisch).
- 28.-31.07.2008 Teilnahme (mit Vortrag) an der „12th International Conference on Algebraic Methodology and Software Technology“, Urbana, USA (R. Hennicker).
- 31.07- 02.08.2008 Teilnahme (mit Vortrag) am „IFIP Working Group Meeting: Foundations of System Specification“, Urbana, USA (R. Hennicker)..
- 10.-12. 09.2008 Teilnahme am „5th International Workshop on Formal Aspects of Component Software“, Malaga, Spanien (R. Hennicker).
- 24.-26.09.2008 Teilnahme (mit Vortrag) am „15th Monterey Workshop: Foundations of Computer Software, Future Trends and Techniques for Development“, Budapest, Ungarn (R. Hennicker).
- 01.12.2008 Arbeitstreffen (mit Vortrag) am Department für Software Engineering der Karls-Universität Prag (R. Hennicker).

2.3 Veröffentlichungen, Technische Berichte und Poster

Im Rahmen von GLOWA-Danube wurden im Berichtszeitraum die folgenden Beiträge mit Beteiligung der Gruppe Informatik veröffentlicht bzw. eingereicht:

- BIDOIT M. und HENNICKER R. (2008): An Algebraic Semantics for Contract-Based Software Components In: MESEGUER, J. und ROSU, G. (eds.): Proc. AMAST 2008, Algebraic Methodology and Software Technology, 12th International Conference, Urbana, USA, Springer Lecture Notes in Computer Science 5140, S. 216-231, 2008.
- LUDWIG, M., BAUER, S., JANISCH, S. und HENNICKER, R. (2009): Architektur und Simulationsraum des integrativen Umweltsimulationssystems DANUBIA, Poster für FOSSGIS 2009.
- HENNICKER, R., JANISCH, S. und KNAPP, A. (2008): On the Observable Behaviour of Composite Components. In Carlos Canal and Corina Pasareanu, editors, Proc. 5th Int. Wsh. Formal Aspects of Component Software (FACS'08), 2008.
- HENNICKER, R., JANISCH, S. und KNAPP, A (2009): Refinement of Components in Connection-Safe Assemblies with Synchronous and Asynchronous Communication.
- VAN RIEMSDIJK M.B., HENNICKER R., WIRSING M. und SCHRÖDER A. (2008): Service Specification and Matchmaking Using Description Logic: An Approach Based on Institutions. In: MESEGUER, J. und ROSU, G. (eds.): Proc. AMAST 2008, Algebraic Methodology and Software Technology, 12th International Conference, Urbana, USA, Springer Lecture Notes in Computer Science 5140, S. 392-406, 2008.
- WALDMANN, D., MUERTH, M., LUDWIG, M., SCHÄFFLER, U., HEINZELLER, C. und MAUSER, W. (2009): Prozessierung, Analyse und Präsentation räumlich-zeitlich verteilter Datensätze des Decision Support Systems DANUBIA. Proc. FOSSGIS 2009.

Anleitungen und Dokumentationen für Modell-Entwickler

BAUER, S. und LUDWIG, M.: diverse Dokumentationen in elektronischer Form (projekt-interner Zugriff über <https://141.84.50.172/trac>):

- How to upload your local projects to the repository using Eclipse.
- How to create an Eclipse project linked with a source folder in the repository.
- How to commit your changes to the repository using Eclipse.
- Structure of the repository.
- Delivery structure of component source folders.
- Configuration of GLOWA-Danube scenarios.

Diplomarbeiten und Fortgeschrittenenpraktika

Kourtessis, A.(2009): Integrative Umweltsimulationssysteme und -frameworks: Eine vergleichende Studie zum Stand der Technik. Projektarbeit. Institut für Informatik, Ludwig-Maximilians-Universität München.

3. Szenariorechnungen

Im Berichtszeitraum wurden vom Teilprojekt Informatik, das an der Entwicklung der konzeptionellen Grundlagen von GLOWA-Danube-Szenarien beteiligt ist, in diesem Bereich folgende Arbeiten durchgeführt:

1. Erstellung eines Konzepts zur technischen Umsetzung von GLOWA-Danube-Szenarien und Ermittlung von technischen Anforderungen an die Simulationsmodelle zum Einsatz für GLOWA-Danube-Szenarien,
2. Entwicklung einer einheitlichen Nomenklatur für GLOWA-Danube-Szenarien auf der Grundlage der Beschlüsse der Klausurtagung in Hofgeismar (Oktober 2008),
3. Anpassungen des Frameworks und technische Vorbereitungen am zentralen Clusterrechner zur Durchführung von Simulationsläufen, mit denen GLOWA-Danube-Szenarien realisiert werden.

Zudem wurden die Modellentwickler der einzelnen Teilprojekte bei der technischen Umsetzung der sich aus (1) ergebenden Szenarioanforderungen an die Simulationsmodelle unterstützt. Die einzelnen Punkte werden im Folgenden kurz erläutert.

1. GLOWA-Danube-Szenarien werden durch Simulationsläufe mit dem DANUBIA-System realisiert. Um ein Simulationsmodell für verschiedene Szenarien einsetzen zu können, muss dieses über eine Komponentenmetadatenfile geeignet parametrisiert werden. Für jedes Szenario, das für das betreffende Modell relevant ist, muss eine Komponentenmetadatenfile erstellt werden, die die szenariospezifische Parametrisierung enthält. In der Simulationskonfiguration wird dann für jedes an der Simulation beteiligte Modell aus der Menge der zur Verfügung stehenden Komponentenmetadatenfiles eine Datei in konsistenter Weise ausgewählt, wodurch das Verhalten des gesamten Modellverbunds und damit das GLOWA-Danube-Szenario bestimmt wird.
2. Bei der GLOWA-Danube-Klausurtagung in Hofgeismar im Oktober 2008 wurde in Bezug auf GLOWA-Danube-Szenarien Folgendes beschlossen: Ein GLOWA-Danube-Szenario wird zunächst durch die Auswahl eines Klimatrends (z.B. IPCC oder REMO) und eines gesellschaftlichen Megatrends (z.B. Liberalisierung oder Nachhaltigkeit) bestimmt. Innerhalb des gewählten Klimatrends können weiterhin verschiedene Klimavarianten ausgewählt werden (z.B. fünf aufeinander folgende warme Winter oder fünf aufeinander folgende trockene Jahre). Die einheitliche und projektweit verbindliche Nomenklatur für GLOWA-Danube-Szenarien berücksichtigt die Zusammensetzung eines Szenarios aus den Schlüsselfaktoren Klimatrend, Klimavariante und gesellschaftlicher Megatrend. Ein GLOWA-Danube-Szenario wird daher stets in der Form

$$KT_x_KV_y_GMT_z$$

bezeichnet, wobei x , y und z die projektinterne Kodierung einer Ausprägung eines Klimatrends (KT), einer Klimavariante (KV) bzw. eines gesellschaftlichen Megatrends (GMT) darstellen.

3. Am DANUBIA-Framework wurde eine Erweiterung im Hinblick auf die Verarbeitung szenariospezifischer Komponentenmetadatenfiles vorgenommen. Mit dieser Erweiterung kann eine Komponentenmetadatenfile in einen szenariospezifischen und einen szenariounabhängigen Anteil aufgespalten werden. Durch die Wiederverwendung des szenariounabhängigen Anteils werden Redundanzen vermieden und wird Inkonsistenzen vorgebeugt.

Entsprechend der in (2) dargestellten Nomenklatur für die Szenarien wurde eine Verzeichnisstruktur zur Ablage der szenariospezifischen Eingabedaten der einzelnen Simulationsmodelle auf dem zentralen Fileserver geschaffen. Dabei wurde berücksichtigt, dass bei den

naturwissenschaftlichen Modellen nur die Aufteilung nach Klimatrend und Klimavariante und bei den Akteurmodellen nur die Aufteilung nach gesellschaftlichen Megatrends relevant ist.

4. DANUBIA-Simulationsläufe

Gekoppelte Simulationsläufe mit dem DANUBIA-System werden auf dem zentralen Clusterrechner durchgeführt, der vom Teilprojekt Koordination verwaltet wird. Im Berichtszeitraum wurden durch das Teilprojekt Informatik auf dem Cluster zahlreiche Simulationsläufe zur Realisierung der GLOWA-Danube-Szenarien durchgeführt. Die Durchführung beinhaltet die Vorbereitung (Erstellen geeigneter Verzeichnisstrukturen, Übertragen von Komponenten und Daten auf den Cluster), Integrationstests, die Überwachung während und die Bereitstellung der Ergebnisse nach dem Simulationslauf. In der Testphase ist zudem eine intensive Kommunikation mit den Modellentwicklern zur raschen Beseitigung etwaiger noch auftretender Modellfehler erforderlich.

Im Vorfeld der gekoppelten Simulationsläufe wurden die Hauptkomponentenschnittstellen und die DANUBIA-Datentypen in Zusammenarbeit mit den betroffenen Modellentwicklern aktualisiert. Ferner wurde das Zentralprojekt bei der Anschaffung neuer Hardware beraten und bei der Installation derselben unterstützt.

5. DANUBIA: Weiterentwicklungen und Qualitätssicherung

In diesem Bereich wurden im Berichtszeitraum folgende Verbesserungen am DANUBIA-*Framework* vorgenommen:

- Anpassung der Metadatenverwaltung im Hinblick auf die erweiterten Komponentenmetadateien der Simulationsmodelle (vgl. Abschnitt 3)
- Erweiterung der Java-Swing-basierten Benutzerschnittstelle DANUBIAMonitor um eine detailliertere Überwachung des Simulationsstatus.

Neben den Modifikationen am DANUBIA-*Framework* wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

1. Einführung eines Versionskontrollsystems für den Quellcode des DANUBIA-*Frameworks* und der dezentral entwickelten Simulationsmodelle,
2. Installation und Einführung eines web-basierten Projektmanagementsystems zur Unterstützung des verteilten Entwicklungsprozesses und des Einsatzes des DANUBIA-Systems,
3. Unterstützung der Modellentwickler der einzelnen Teilprojekte bei der Wartung und Weiterentwicklung ihrer Simulationsmodelle.

Die ersten beiden Punkte stellen einen wesentlichen Schritt in Richtung eines Open Source Projektes dar, da in solchen Projekten der Einsatz von Versionskontroll- und Projektmanagementsystemen obligatorisch ist. Im Folgenden werden die genannten Punkte kurz erläutert.

1. Zur Verwaltung des Quellcodes des DANUBIA-*Frameworks* und der Simulationsmodelle wurde ein Subversion-Repository eingerichtet. Subversion (SVN) ist ein frei verfügbares, in Software-Projekten häufig verwendetes System zur Versionskontrolle. Die Modellentwickler der Teilprojekte wurden bei der Umstellung von der lokalen Verwaltung des Quellcodes ihrer Simulationsmodelle auf das zentrale Repository unterstützt. Durch die Einführung von Subversion in GLOWA-Danube wird die Wartung des Systems, insbesondere der dezentral entwickelten Simulationsmodelle wesentlich vereinfacht. Die folgende Tabelle zeigt die Struktur des Subversion-Repository für GLOWA-Danube.

svn	
├ framework	Quellcode des DANUBIA-Frameworks unterteilt in
├ core	DANUBIA-Kernsystem
├ datatypes	Datentypen
├ deepactor	DeepActor-Framework
├ components	Quellcode, Metadaten, Dokumentation der DANUBIA-Komponenten
├ dummies	Quellcode von Dummy-Komponenten für lokale Tests
├ tools	DANUBIA-bezogene Werkzeuge (z. B. zur Datenanalyse)
├ commonlib	gemeinsam genutzte Java-Bibliotheken

2. Zur Unterstützung des verteilten Entwicklungsprozesses von DANUBIA wurde das freie, web-basierte Projektmanagement-System Trac installiert und eingeführt. Trac verfügt über eine Schnittstelle zu Subversion, so dass der im Repository abgelegte Quellcode über einen Webbrowser betrachtet werden kann. Neben der aktuellen Version können alle bisherigen Versionen einer im Repository abgelegten Datei betrachtet und die Versionsunterschiede nachvollzogen werden.

Trac enthält ferner ein so genanntes Wiki. Ein Wiki ist eine im World Wide Web verfügbare Seitensammlung, die von jedem Benutzer online geändert werden kann. Die Seiten im GLOWA-Danube Wiki enthalten unter anderem

- eine Dokumentation zur Verwendung des DANUBIA-Subversion-Repository einschließlich einer Erläuterung der Repository-Struktur,
- Links zum Download des DANUBIA-*Frameworks* und der DANUBIA-Komponenten,
- Hinweise zur Konfiguration von GLOWA-Danube-Szenarien und zur Bereitstellung der szenariospezifischen Eingabedaten auf dem zentralen Fileserver,
- einen Graphen, der die aktuellen DANUBIA-*Framework*- und Simulationskomponenten und ihre Abhängigkeiten zeigt,
- einen Link zur DANUBIA Programmierschnittstelle-Dokumentation (API).

Ferner enthält das Wiki eine Seite mit Berichten über abgeschlossene Simulationsläufe. Diese Berichte können von Modellentwicklern um Kommentare ergänzt werden, wodurch die projektinterne Kommunikation über die Qualität der Simulationsergebnisse wesentlich vereinfacht wird.

Im Aufbau befindet sich eine Dokumentation aller DANUBIA-Simulationskomponenten im Wiki, ferner eine Möglichkeit zum Erfassen und Verwalten von Fehlermeldungen und Erweiterungswünschen. Die Einführung von Subversion und Trac ist zentraler technischer Bestandteil der Überführung von DANUBIA in ein Open-Source-Projekt (vgl. Jahresbericht Teilprojekt Koordination).

3. Im Berichtszeitraum wurden die Modellentwickler der einzelnen Teilprojekte bei der Wartung und Weiterentwicklung ihrer Modelle (vor allem im Hinblick auf die oben erwähnten Szenarioanforderungen), bei der Durchführung lokaler Simulationstestläufe sowie bei der Integration der Modelle in das Subversion-Repository unterstützt. Dies galt insbesondere für die Teilprojekte Hydrologie/Fernerkundung (Komponente *NaturalEnvironment*), Grundwasserhaushalt/Grundwasserbewirtschaftung/Wasserversorgung (*GroundwaterFlow, WaterSupply*), Pflanzenökologie (*Biological*), Umweltpsychologie (*Household*), Ökonomie (*Demography, Economy*), Tourismusforschung (*Tourism*) und Agrarökonomie (*Farming*).

6. Performanz

Bei Simulationsläufen mit DANUBIA spielt die Laufzeit-Performanz eine wichtige Rolle. Die Performanz hängt dabei wesentlich von der verwendeten Hardware und den damit verbundenen Einstellungen ab. Der Grund hierfür sind die verschiedenen Hardware-Anforderungen der beteiligten DANUBIA-Komponenten (z.B. Speicheranforderungen, Anforderungen an die Prozessoren). Zunächst geben wir einen Überblick darüber, wie integrative Simulationen auf dem zentralen Clusterrechner ausgeführt werden.

Für einen gekoppelten Simulationslauf mit dem DANUBIA-System müssen die beteiligten DANUBIA-Komponenten auf den Rechnerknoten des Clusters verteilt werden. Der Clusterrechner besteht aus insgesamt neun Rechnerknoten und einem Datenserver (*Network Attached Storage*, kurz NAS). Auf einem Rechnerknoten können mehrere Java-Laufzeitumgebungen (Java virtuelle Maschinen, kurz JVM) gestartet werden, denen wiederum mehrere DANUBIA-Komponenten zur Ausführung zugewiesen werden können. In Abbildung 1 ist beispielhaft eine Verteilung von DANUBIA-Komponenten illustriert.

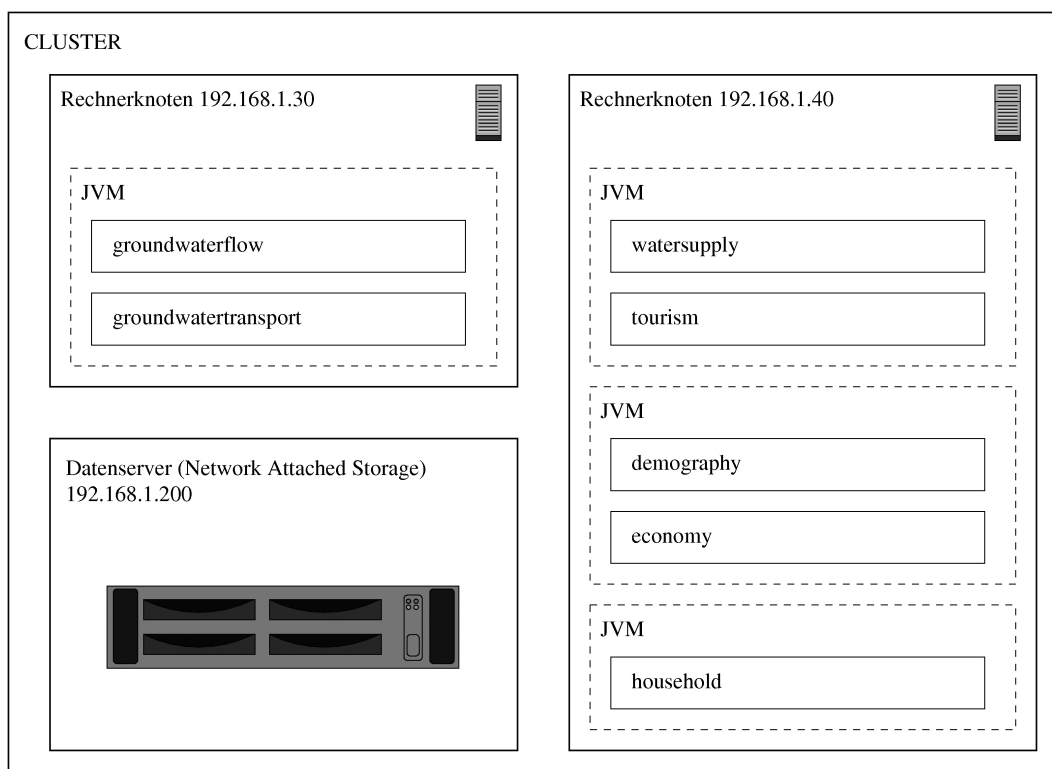


Abb. 1: Beispiel einer Verteilung der DANUBIA-Komponenten auf dem Clusterrechner

Es ist offensichtlich, dass es mehrere Möglichkeiten der Verteilung gibt. In diesem Abschnitt werden die wesentlichen Variationspunkte solcher Verteilungen identifiziert. Weiterhin wird beschrieben, wie man durch systematische Testläufe (verbunden mit fortlaufender Performanzmessung) eine Verteilung der DANUBIA-Komponenten auf dem Clusterrechner mit möglichst hoher Performanz ermitteln kann. Im Folgenden wird angenommen, dass ein GLOWA-Danube-Szenario festgelegt wurde und die Szenarienkonfigurationen der einzelnen DANUBIA-Komponenten nicht verändert werden.

Eine Verteilung auf dem Clusterrechner ist durch die folgenden Punkte charakterisiert:

1. Die **Wahl der beteiligten Rechnerknoten** innerhalb des Clusters ist wesentlich für die Laufzeit einer Simulation. Unklar war im Vorfeld der Performanzanalyse, in wie weit sich eine Verteilung der Simulationsmodelle auf verschiedene Rechnerknoten auf die Performanz auswirkt. Eine ungünstige Verteilung der DANUBIA-Komponenten auf den Rechnerknoten kann zu langen Kommunikationswegen zwischen den Komponenten (innerhalb des Netzwerks des Clusters) und damit zur Verschlechterung der Performanz führen. Im Gegensatz dazu können durch eine feinere Verteilung der DANUBIA-Komponenten auf mehreren Rechnerknoten und damit durch die Nutzung von größerer Rechenleistung die Simulationsprozesse schneller berechnet werden.
2. Damit eng verbunden ist die **Anzahl der Java-Laufzeitumgebungen**. Auf einem Rechnerknoten können mehrere JVMs gestartet werden. Die Datenübertragung zwischen JVMs geschieht durch Serialisierung der Daten, was zu Geschwindigkeitseinbußen führen kann. Vorteil der Verteilung auf verschiedene JVMs ist allerdings der getrennt reservierte Speicherbereich und damit der niedrigere Synchronisationsaufwand bei parallelen Speicherzugriffen von mehreren Simulationsmodellen in einer JVM.
3. Der letzte Punkt betrifft den **Speicherort der Ein- und Ausgabedaten**, die lokal auf der Festplatte des Rechnerknotens oder auf dem im Cluster vorhandenen Datenserver liegen können. Durch den Datenserver wird im Cluster eine hohe Speicherkapazität zur Verfügung gestellt, die von jedem Knoten im Verbund genutzt werden kann. Einer zentralen Ablage der Daten auf dem Datenserver (und damit der leichteren Verwaltung der Daten) stehen eventuelle Performanzeinbußen durch Netzwerkübertragung gegenüber.

6.1 Performanzmessung

Im Wesentlichen wird die Performanz eines Simulationslaufs mit deren Dauer für einen (Tages-)Zeitschritt gemessen - je kürzer, desto besser die Performanz. Um jedoch zu genaueren Informationen und damit auf Ursachen für unterschiedliche Zeiten bei verschiedenen Verteilungen eines abgeschlossenen Simulationslaufs zu schließen, sind detaillierte Zeiten für alle Phasen eines Simulationsmodells nötig. Ein Simulationsmodell durchläuft einen koordinierten Berechnungszyklus, der eingeteilt ist in den Datenimport von gekoppelten Simulationsmodellen (`getData`), die Berechnung von neuen modellspezifischen Daten (`compute`), und dem abschließenden Bereitstellen der neu berechneten Daten (`provide`). Durch die wohldefinierte Koordination der Simulationsmodelle durch eine Zeitsteuerungskomponente können vor dem Datenimport bzw. -export Wartezeiten (`wait_getData`, `wait_provide`) entstehen, da nur so die Konsistenz der Daten sichergestellt werden kann. Die Messung der Dauer der einzelnen Berechnungsphasen gibt Aufschluss über deren gegenseitige Abhängigkeiten. Typische Durchschnittswerte sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Namen der DANUBIA-Komponenten sind mit (M) für ein Monatsmodell und (T) für ein Tagesmodell gekennzeichnet.

Tab. 1: Durchschnittswerte eines Simulationslaufes

Name	Gesamtzeit	wait_getData	getData	compute	wait_provide	provide	mem_used	mem_reserved
Demography (M)	294s	6,6s	21s	44s	221s	372ms	2,2GB	3,3GB
Economy (M)	294s	6,3s	17s	318ms	269s	581ms	585MB	773MB
Groundwaterflow (T)	9,4s	39ms	447ms	8,1s	305ms	473ms	162MB	223MB
Groundwatertransport (T)	9,4s	8,2s	84ms	37ms	1,0s	29ms	57MB	83MB
Household (M)	294s	5,3s	383ms	9,0s	278s	1,5s	4,7GB	6,3GB
Tourism (T)	9,4s	7,9s	107ms	372ms	869ms	71ms	211MB	285MB
Watersupply (M)	294s	6,8s	21s	2,2s	263s	92ms	221MB	302MB

In der obigen Tabelle wird für jede DANUBIA-Komponente die durchschnittliche Gesamtzeit eines Tages- bzw. Monatszeitschritts, die durchschnittliche Dauer der einzelnen Phasen des Berechnungszyklus und die Größe des durchschnittlich benutzten und reservierten Speichers angegeben. Für eine Analyse der Performanz sind besonders die Wartezeiten wichtig: Bei minimalen Wartezeiten, wie in dem Beispiel bei *Groundwaterflow* der Fall, lässt sich schließen, dass diese Komponenten performanzbestimmend ist. Der Grund dafür ist, dass die Komponente vor dem Datenimport und -export auf keine andere Komponente warten muss, was wiederum heißt, dass alle anderen Komponenten bereits die vorhergehende Phase abgeschlossen haben. Solche Schlüsse lassen sich allerdings mit solch einer Tabelle nur begrenzt ziehen, da die Abhängigkeiten, die durch den Synchronisationsmechanismus der Tages- und Monatsmodelle bedingt sind, nicht unmittelbar sichtbar werden. Zudem sind die Werte in der Tabelle Durchschnittswerte; für eine Analyse der Simulationsmodelle beim Monatswechsel kann die Tabelle nicht dienen. Deswegen wurde ein Tool entwickelt, das eine Visualisierung von Simulationsläufen durch Verwendung während der Simulation generierter Zeitstempel durchführt. Dabei werden die Zeitschritte aller beteiligten DANUBIA-Komponenten auf einer gemeinsamen Zeitachse angezeigt. Damit lassen sich auch Abhängigkeiten zwischen Tages- und Monatsmodellen, die nicht in der obigen Tabelle erkennbar sind, anschaulich darstellen. Die Visualisierung des Simulationslaufs kann deshalb helfen zu entscheiden, in wie weit eine Performanzänderung einer Komponente Auswirkung auf die Gesamtperformanz hat.

Zusätzlich wurden Kurven der Prozessorauslastungen aller beteiligten Rechnerknoten in das Diagramm integriert. Die Prozessorauslastungen werden mit Systemwerkzeugen protokolliert und geben Aufschluss über die Auslastung des jeweiligen Rechnerknotens. Eine für einen Simulationslauf typische Visualisierung findet sich in Abbildung 2.

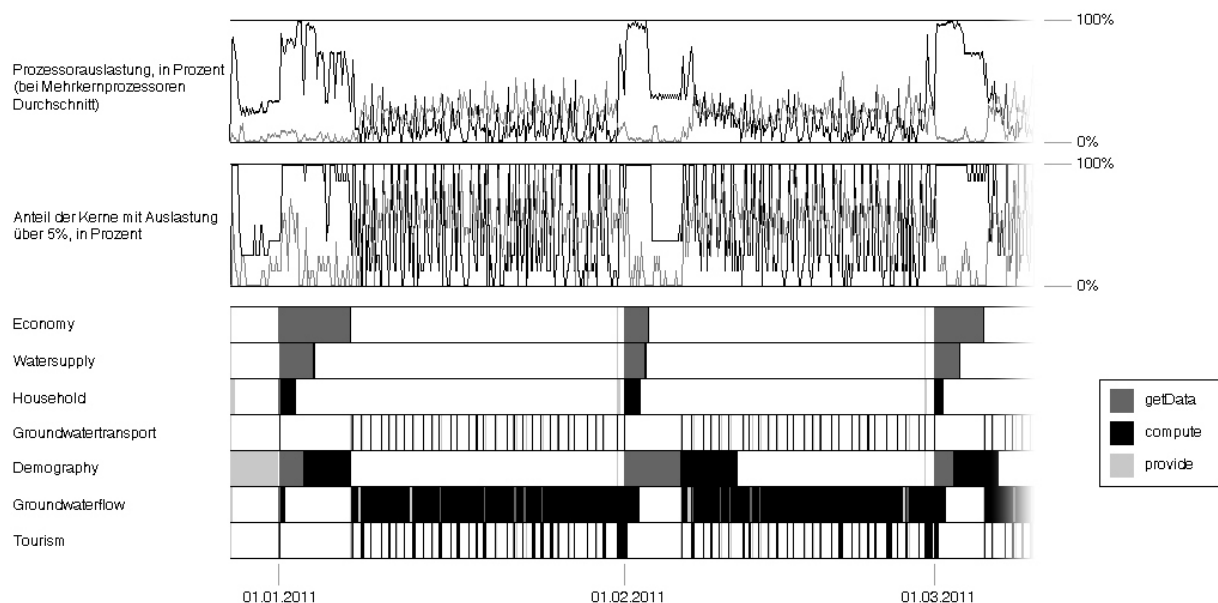


Abb. 2: Visualisierung eines Simulationslaufs

Die oberste Zeile gibt den zeitlichen Verlauf der Prozessorauslastung an. Dabei bedeutet die hellere Kurve die Auslastung durch Benutzerprozesse, die dunklere Kurve die Auslastung durch Systemprozesse. Bei Mehrkernprozessoren wird dabei das Mittel über alle Kerne genommen. Die zweite Zeile gibt an, wie viele Kerne zu mindestens 5% (bzgl. Benutzer- und Systemprozessen) ausgelastet sind. Danach sind die Phasenentwicklungen der DANUBIA-Komponenten auf der Zeitleiste dargestellt. Weiße Zwischenräume stellen Wartezeiten dar, die durch den Synchronisationsmechanismus bedingt sind.

Anhand der Grafik lassen sich unmittelbar die Abhängigkeiten erkennen. Bei den Tagesschritten wissen wir aus der Tabelle der Durchschnittszeiten, dass die Komponente *Groundwaterflow* performanzbestimmend ist. Das wird in der Grafik bestätigt: Während der Phase *compute* warten alle anderen Komponenten, der Datenimport und -export (*getData* und *provide*) fällt nichts ins Gewicht. Bei den Monatswechseln kommen die Monatsmodelle ins Spiel. Man kann erkennen, dass *Demography* und *Economy* einige Zeit brauchen, um den Datenimport durchzuführen.

Nun kann man in die Analyse die Kurven für die Prozessorauslastung hinzunehmen. Bei den Tagesschritten wird der Rechnerknoten nur bei Datenaustausch voll ausgelastet. Bei den Berechnungen der Komponente *Groundwaterflow* werden nur wenige Prozessoren verwendet. Bei Monatswechseln kann man erkennen, dass der Vorteil der Mehrkernprozessoren zum Tragen kommt.

Zusammenfassend kann man folgende Aussagen treffen. *Groundwaterflow* ist bei den Tagesschritten performanzbestimmend, da während der Phase *compute* alle anderen Komponenten warten. Deshalb sollte die Komponente *Groundwaterflow* auf einem Rechnerknoten mit möglichst schnellen Prozessoren laufen, um die Zeit für *compute* möglichst gering zu halten. Für die Monatswechsel sind der Datenimport der Komponenten *Economy* und *Demography* performanzbestimmend. Hier gilt ebenso, dass diese beiden Komponenten möglichst auf schnellen Rechnerknoten mit möglichst vielen Prozessoren laufen sollten (da laut Grafik der Datenaustausch parallel unter Verwendung vieler Prozessoren durchgeführt wird).

6.2 Testläufe und Ergebnisse

Performanz wird immer an der Gesamtlaufzeit einer Simulation gemessen. Je kürzer diese Zeit ist, desto höher ist die Performanz. Um eine Verteilung für Simulationsläufe mit möglichst hoher Performanz zu ermitteln, wurden strukturierte Testläufe auf dem zentralen Clusterrechner durchgeführt. Das Ziel dieser Testläufe war es, durch gezielte Änderungen in jeweils einer der oben genannten Kategorien (Rechnerknoten, JVM, Ein-/Ausgabedaten) Erkenntnisse über deren Auswirkung auf die Performanz zu gewinnen. Die Performanzmessung und -analyse basierte einerseits (wie eben beschrieben) auf den zeitlichen Durchschnittswerten einzelner Berechnungsschritte jedes Simulationsmodells, und andererseits auf der Auswertung der Visualisierung des Simulationslaufs. Im Folgenden gehen wir auf die Ergebnisse der Testläufe ein und erläutern die Erkenntnisse, die aus den Testläufen gezogen worden sind.

Die Testläufe wurden mehrheitlich auf den beiden im Februar 2009 angeschafften Rechnerknoten ausgeführt. Damit konnte durchschnittlich die Laufzeit um 20% im Vergleich zu den Simulationsläufen auf den bisherigen Rechnern reduziert werden. Die schnellste Verteilung war diejenige, die die Komponente *Groundwaterflow* auf einem Rechnerknoten und alle anderen Simulationsmodelle auf dem anderen Rechnerknoten ausgeführt hat. Bei der Verteilung der Simulationsmodelle in JVMs hat sich gezeigt, dass die Simulation am schnellsten läuft, wenn jedes Modell in einer eigenen JVM läuft (mit ausreichend zugewiesenem Speicher, vgl. Tab. 1). Der Vorteil der separaten Laufzeitumgebung für jedes Modell überwog demnach den Nachteil der aufwändigeren Kommunikation (Serialisierung oder Übertragung per Netzwerk). Bei der Wahl der Ablage der Ein- und Ausgabedaten hat sich der zentrale Datenserver bewährt - im Vergleich zur lokalen Ablage der Daten verrin-

gerten sich die Laufzeiten nur minimal. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass das Abschalten aller Log-Meldungen ebenfalls nur eine geringfügige Auswirkung auf die Performance hat.

7. Komponentenbasierte Systeme

Im Rahmen des „Common Component Modeling Example“ (RAUSCH et al. 2008) wurde ein Software-Komponentenmodell (LAU und WANG 2007) für portbasierte Komponenten entwickelt (KNAPP et al. 2008), auf einer formalen algebraischen Ebene definiert (KNAPP et al. 2008) und schließlich um Modellierungs-möglichkeiten für asynchrone Kommunikation erweitert (HENNICKER, JANISCH und KNAPP 2009).

Es wurde unter anderem der Begriff des beobachtbaren Verhaltens einer Komponente präzisiert, Eigenschaften asynchron kommunizierender Komponenten analysiert sowie Voraussetzungen zur effizienten Berechnung des Verhaltens einer Komposition von synchron kommunizierenden Komponenten studiert. Auf dieser Grundlage lassen sich Techniken zur Modellierung und Analyse komponentenbasierter Systeme wie DANUBIA entwickeln und integrieren. Dazu gehört einerseits eine Analyse funktionaler Eigenschaften wie beispielsweise der Anforderungen an die zeitliche Koordination integrativer Simulationsrechnungen (vgl. Abschlussbericht Phase II) und andererseits die Analyse nicht-funktionaler Eigenschaften wie der Laufzeit-Performanz von Komponenten bzw. Kompositionen von Komponenten.

Im Folgenden erläutern wir zentrale Konzepte portbasierter Komponenten anhand des in Abbildung 3 definierten Metamodells und illustrieren die Begriffe des Metamodells anschließend am Beispiel statischer Spezifikationen für DANUBIA.

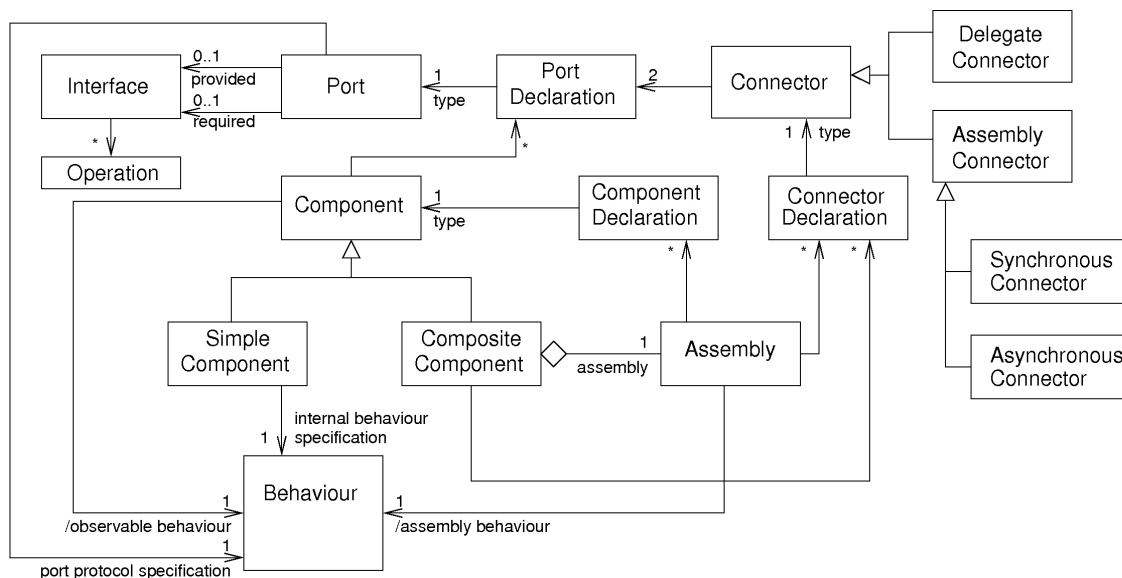


Abb. 3: Metamodell für portbasierte Komponenten

Komponenten repräsentieren strikt gekapselte Prozesse, die mit ihrer Umgebung ausschließlich über Ports interagieren. Komponenten lassen sich unter Verwendung von Konnektoren zu Assemblies zusammensetzen. Assemblies dienen der Konstruktion zusammengesetzter Komponenten. Auf diese Weise werden hierarchische Systeme beliebiger Tiefe modelliert.

Die Interaktion zwischen über Konnektoren verbundenen Komponenten erfolgt über synchronen oder asynchronen Nachrichtenaustausch. Unter synchroner Kommunikation ist

hier ein gleichzeitiges Ausführen einer gemeinsamen Aktion zu verstehen, in diesem Fall die gemeinsame Ausführung von Nachrichtenversand und Empfang. In asynchroner Kommunikation hingegen werden Nachrichten nicht synchron zum Versand verarbeitet. Die hier betrachtete Form asynchroner Kommunikation verwendet FIFO-Puffer (First In First Out) zur Zwischenspeicherung versendeter Nachrichten.

Ports (Port) beschreiben Sichten auf eine Komponente. Angebotene Operationen eines Ports werden in einer Angebotsschnittstelle (**provided Interface**), benötigte Operationen in einer Bedarfsschnittstelle (**required Interface**) definiert. Ein Portprotokoll (**port protocol specification**) beschreibt die erlaubte Reihenfolge von Nachrichtenempfang und Versand unter Verwendung der angebotenen und benötigten Operationen.

Es werden zwei Arten von Komponenten unterschieden, einfache (**SimpleComponent**) und zusammengesetzte (**CompositeComponent**) Komponenten, deren gemeinsame Grundeigenschaften durch die Metaklasse **Component** gegeben sind. Jede Art von Komponente enthält eine Menge von Portdeklarationen (**Port Declaration**). Deklarationen definieren lokal eindeutige Namen zusammen mit einem Typ (**type**) für diesen Namen; im Falle von Portdeklarationen einen lokal eindeutigen Portnamen zusammen mit einem Porttyp (**Port type**). Neben einer Menge von Portdeklarationen wird eine Komponente durch ein beobachtbares Verhalten (**observable behaviour**) charakterisiert, das die Reihenfolge von Nachrichtenempfang und Versand bezüglich aller Ports einer Komponente beschreibt. Das beobachtbare Verhalten sollte korrekt bezüglich der jeweiligen Portprotokolle sein. Ein Ansatz für einen entsprechenden Korrektheitsbegriff ist in (HENNICKER, JANISCH und KNAPP 2009) beschrieben. Einfache Komponenten verfügen zusätzlich über eine Spezifikation ihres internen Verhaltens (**internal behaviour specification**), das neben Nachrichtenempfang und Versand auch interne Aktionen spezifiziert. Zusammengesetzte Komponenten verkapseln eine Assembly von Komponenten und Konnektoren.

Eine **Assembly** definiert die interne Struktur einer zusammengesetzten Komponente in Form von Komponenten-Deklarationen (**Component Declaration**) und Assembly-Konnektoren (**AssemblyConnector**). Dabei werden synchrone und asynchrone Konnektoren unterschieden (**Synchronous/Asynchronous Connector**). Die in einer Assembly nicht verbundenen Ports lassen sich im Kontext einer zusammengesetzten Komponente unter Verwendung von Delegations-Konnektoren (**DelegateConnector**) mit den Ports der zusammengesetzten Komponente verbinden. Mit Assemblies ist ebenfalls „Verhalten“ in Form eines **assembly behaviour** assoziiert, das sich wie schon das beobachtbare Komponentenverhalten ableiten lässt und nicht als spezifiziert vorausgesetzt wird. Letzteres ist in Abbildung 3 durch Verwendung eines Schrägstrichs **./** notiert.

Das beobachtbare Verhalten einfacher Komponenten ist abgeleitet aus dem gegebenen internen Verhalten; dasjenige zusammengesetzter Komponenten aus dem Assembly-Verhalten und letzteres schließlich aus dem beobachtbaren Verhalten der zu einer Assembly gehörigen Komponenten sowie der in der Assembly verwendeten Konnektoren. Detaillierte Definitionen und Analysen zur Berechnung abgeleiteter Verhaltensspezifikationen sind im Rahmen des formalen algebraischen Modells in (HENNICKER et al. 2008; HENNICKER, JANISCH und KNAPP 2009) beschrieben.

DANUBIA ist ein verteiltes System, dessen Architektur klar zwischen Kontroll- und Datenfluss unterscheidet. Der Kontrollfluss wird durch die globale Zeitsteuerung und deren Integration in das Entwickler-*Framework* bestimmt. Konkrete Simulationsmodelle implementieren sogenannte „Plug-Points“ (u.a. **getData**, **compute** und **provide**), deren Ausführung vollständig auf *Framework*ebene koordiniert wird. Die Implementierung der Plug-Points durch die Simulationsmodelle betrifft ausschließlich den Datenfluss der Applikation. Durch **getData** sollen Daten von anderen Modellen importiert, durch **compute** neue Daten berechnet und durch **provide** diese neu berechneten Daten für andere Modelle zur Abfrage bereitgestellt werden.

Die in Abbildung 4 gezeigte Assembly illustriert eine mögliche Modellierung eines solchen Systems unter Verwendung portbasierter Komponenten. Die strikte Trennung von Kontroll- und Datenfluss wird durch entsprechende Ports modelliert. Die Konnektoren zwischen TimeController und Simulationskomponenten betreffen ausschließlich den Kontrollfluss, wohingegen die Konnektoren zwischen den Simulationskomponenten ausschließlich der Modellierung des Datenaustausches dienen.

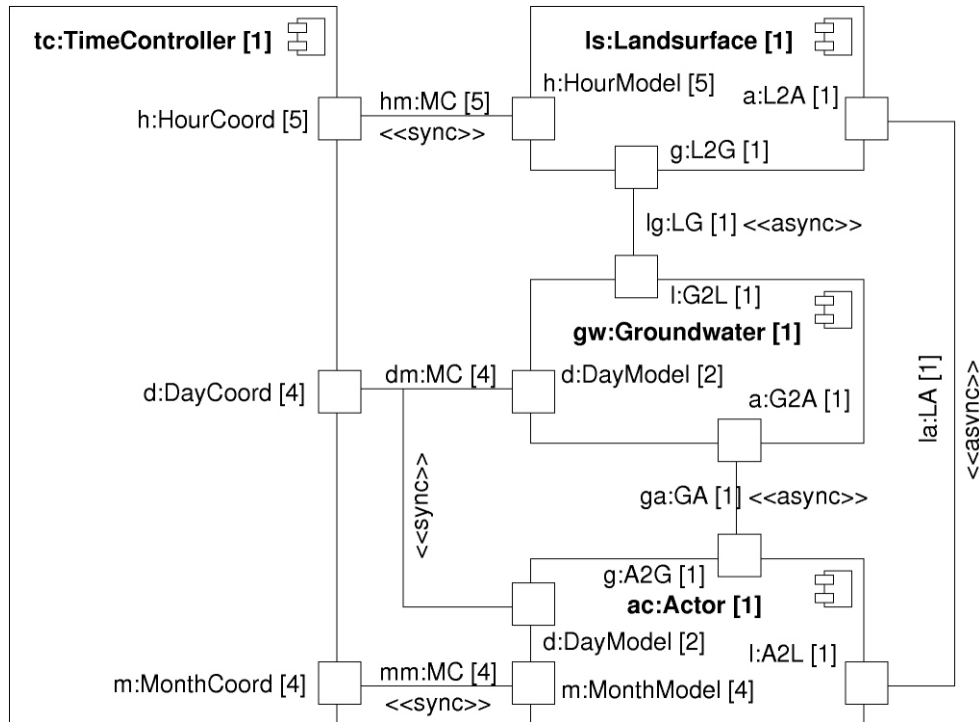


Abb. 4: Beispiel einer Assembly mit portbasierten DANUBIA-Komponenten

Die Assembly verwendet vier Komponentendeklarationen und sechs Assembly-Konnektoren. Die Komponentendeklaration tc:TimeController [1] spezifiziert einen Komponentennamen tc mit Typ TimeController und Multiplizität 1 und definiert Portdeklarationen wie h:HourModel [5] unter Verwendung eines Porttyps HourModel, dessen statische Struktur in Abbildung 5 spezifiziert ist. Der Port hat eine angebotene Schnittstelle Monitor und eine benötigte Schnittstelle Acknowledge. Erstere definiert Operationen, die über den Port HourCoord empfangen werden und letztere definiert Operationen, die versendet werden. Der Port HourModel der Komponente Landsurface repräsentiert einen Kommunikationspartner, dessen Schnittstellen komplementär zu HourCoord spezifiziert sind. Die Multiplizität 5 spezifiziert 5 Instanzen des Porttyps HourCoord im Kontext der Komponente tc:TimeController.

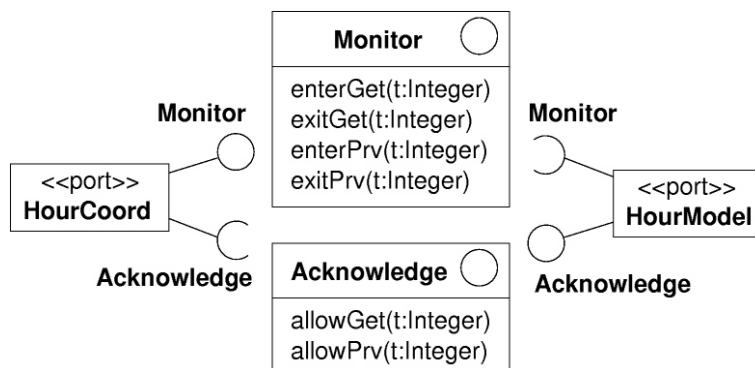


Abb. 5: Ports und Schnittstellen zur Koordination von Simulationsmodellen

Es wird angenommen, dass Portinstanzen für Deklarationen mit Multiplizität >1 durch einen entsprechend indizierten Namen voneinander unterschieden werden. Insgesamt sind dann im Kontext `tc:TimeController` 13 Portinstanzen spezifiziert, die sich über die Namen $h_1, \dots, h_5, d_1, \dots, d_4$ und m_1, \dots, m_4 unterscheiden lassen. Diese Namen spielen u.a. bei der Beschreibung von Komponentenverhalten eine wichtige Rolle. An dieser Stelle sei lediglich angemerkt, dass die Kombination aus Komponentename und Portname, wie z.B. `tc.h1` einen global eindeutigen Instanzbezeichner liefert, der für eine wohldefinierte Komposition von Komponenten und Konnektoren benötigt wird.

Assembly-Konnektoren werden durch Deklarationen analog zu Port- und Komponentendeklarationen spezifiziert. Zusätzlich wird hier durch UML-Stereotypen `<sync>` und `<async>` notiert, ob es sich um einen synchronen oder asynchronen Konnektor handelt.

Sämtliche Simulationskomponenten in Abbildung 4 sind hierarchische (zusammengesetzte) Komponenten, deren interne Struktur durch eine Komposition einfacher Komponenten bestimmt wird (nicht in der Abbildung dargestellt). Beispielsweise besteht `ac:Actor` aus 6 Komponenten (Economy, Demography, Farming, Watersupply, Household, Tourism), wobei jede dieser Komponenten einen eigenen Port zur Verbindung mit der Zeitsteuerung `TimeController` deklariert. Diese Portdeklarationen spiegeln sich in den Multiplizitäten der Portdeklarationen `d:DayModel` und `m:MonthModel` der zusammengesetzten Komponente `ac:Actor` wieder.

Neben einer Spezifikation statischer Strukturen wird für portbasierte Komponenten eine Spezifikationen von Portprotokollen und Komponentenverhalten angenommen (vgl. `port protocol` und `internal behaviour specification` in Abb. 3). Protokolle und Verhalten werden durch Zustandsübergangssysteme ähnlich der formalen Beschreibung des Lebenszyklus von DANUBIA-Simulationsmodellen (HENNICKER und LUDWIG 2006) beschrieben. Auf der Grundlage dieser Spezifikationen kann das beobachtbare Verhalten von Komponenten oder das Verhalten einer Komposition von Komponenten berechnet und analysiert werden (HENNICKER et al. 2008).

Für verteilte Umweltsimulationssysteme wie DANUBIA wäre es dann denkbar, Ansätze zur formalen Verifikation funktionaler Eigenschaften wie Verklemmungsfreiheit oder zur Berechnung von Pufferkapazitäten für asynchronen Nachrichtenaustausch zu entwickeln. Eine zu Verklemmungsfreiheit ähnliche Eigenschaft wurde im allgemeinen Kontext zweier asynchron kommunizierender Komponenten in (HENNICKER, JANISCH und KNAPP 2009) analysiert. Ob Obergrenzen für die Pufferkapazitäten eines gegebenen asynchron kommunizierenden Systems existieren, ist im Allgemeinen nicht entscheidbar (BRAND und ZAFIROPULO 1983). Allerdings ist zu vermuten, dass durch den komponentenbasierten Ansatz mit strikt gekapselten Prozessen und der Koordination durch eine globale Zeitsteuerung eine Klasse von Systemen beschrieben wird, für die eine entsprechende Analyse möglich ist.

8. Literatur

- BRAND, D. und ZAFIROPULO, P. (1983): On Communicating Finite-State Machines J. ACM, ACM Press, 30, S. 323-342.
- HENNICKER, R. und LUDWIG, M. (2005): Property-Driven Development of a Coordination Model for Distributed Simulations. Proc. 7th IFIP Int. Conf. on Formal Methods for Open Object-based Distributed Systems (FMOODS'05), S. 290-305.
- HENNICKER, R., JANISCH, S., KNAPP, A., CANAKL, C. und CPASAREANU, C. (ed.) (2008): On the Observable Behaviour of Composite Components. Proc. 5th Int. Wsh. Formal Aspects of Component Software (FACS'08).

- HENNICKER, R., JANISCH, S. und KNAPP, A. (2009): Refinement of Components in Connection-Safe Assemblies with Synchronous and Asynchronous Communication. Submitted.
- INFORMATIK (2006): Jahresbericht 2005 - Teilprojekt Informatik, GLOWA-Danube.
- INFORMATIK (2007): Jahresbericht 2006 - Teilprojekt Informatik, GLOWA-Danube.
- INFORMATIK (2007): Abschlussbericht Phase II - Teilprojekt Informatik, GLOWA-Danube.
- KNAPP, A., JANISCH, S., HENNICKER, R., CLARK, A., GILMORE, S., HACKLINGER, F., BAUMEISTER, H. und WIRSING, M. (2008): Modelling the CoCoME with the Java/A Component Model , in RAUSCH, A., REUSSNER, R., MIRANDOLA, R. und PLASIL, F. (ed.) (2008), S. 207-237.
- LAU, K. und WANG, Z. (2007): Software Component Models IEEE Trans. Software Eng., 33, S. 709-724.
- RAUSCH, A., REUSSNER, R., MIRANDOLA, R. und PLASIL, F. (ed.) (2008): The Common Component Modeling Example: Comparing Software Component Models CoCoME, Springer, 5153.

Modellierung von Wasser- und Energieflüssen an der Landoberfläche mit Fernerkundung

Teilprojekt: Hydrologie und Fernerkundung
Leiter: Prof. Dr. Wolfram Mauser
Ausführende Stelle: Department für Geographie
Lehrstuhl für Geographie und Geographische Fernerkundung
Ludwig-Maximilians-Universität München
Luisenstraße 37, 80333 München
Berichtersteller: Dr. M. Muerth, Dr. T. Marke, Dr. M. Bernhardt, D. Waldmann,
F. Zabel, Prof. Dr. W. Mauser

1. Überblick

Folgende Bereiche wurden vom Projekt Hydrologie und Fernerkundung während der Berichtsphase (01.05.2008-30.04.2009) schwerpunktmäßig bearbeitet:

- Weiterentwicklung von Verfahren zur Kopplung von Atmosphären- und Landoberflächenprozessen.
- Erstellung von Klimaszenarien auf Basis verschiedener Trends.
- Auswertung von Szenarienergebnissen der Komponente *SOIL* und Weiterentwicklung des Modells zur Abflussbildung.
- Weiterentwicklung und Validierung des Modells zum Schneetransport und subskaliger Schneebedeckung.
- Weiterentwicklung des Erosionsmodells und Validierung der Niederschlags-dissaggregation .

2. Personelles

An Doktoranden waren und sind beschäftigt: Daniel Waldmann (seit 16.03.05, Modellierung der Bodenerosion) und Florian Zabel (seit 01.02.08, Kopplung Landoberfläche - Atmosphäre).

Die Doktoranden Matthias Bernhardt (01.04.04 bis 31.10.08, Schneetransport-Modellierung), Thomas Marke (seit 01.03.05, Kopplung Landoberfläche - Atmosphäre) und Markus Muerth (seit 01.06.04, Bodentemperaturmodellierung) haben im Berichtszeitraum ihre Promotion erfolgreich abgeschlossen.

Herr Dr. Matthias Bernhard und Frau Monika Tepfenhart (seit 01.09.2004, Verkehrsmodellierung) haben ihre Mitarbeit am Teilprojekt Hydrologie und Fernerkundung beendet.

3. Meetings im Berichtszeitraum

Folgende öffentliche Konferenzen und Workshops wurden im Berichtszeitraum besucht:

- 02.-03.05.2008 Klausurtagung in Herrsching
- 02.-04.06.2008 XXIVth Conference of the Danubian Countries, Bled (Slowenien)
- 15.-18.09.2008 HydroPredict 2008, Prag (Tschechische Republik)
- 30.09.-01.10.2008 Klausurtagung in Hofgeismar
- 13.-16.10.2008 IHP 2008 - The Role of Hydrology in Water Resources Management, Capri (Italien)
- 07.11.2008 Workshop „Regionales Downscaling“, Max-Planck-Institut, Hamburg
- 12.-14.11.2008 12. Workshop Großskalige Hydrologische Modellierung, Salza bei Kiel
- 24.11.2008 Stakeholder-Workshop: Wasserwirtschaft, Energie, Infrastruktur, Künstlerhaus am Lenbachplatz, München
- 28.11.2008 Stakeholder-Workshop: Wasserwirtschaft, Wasserversorgung und Tourismus, Seehaus München
- 07.12.2008 CLM Workshop und Kontaktforum, Cottbus
- 30.01.2009 Stakeholder-Workshop: Wasserwirtschaft, Land- und Forstwirtschaft, Künstlerhaus am Lenbachplatz, München
- 11.02.2009 Informationsveranstaltung (im Rahmen der Stakeholderaktivitäten) im LfU, Hof
- 26.02.2009 Alpine Glaciological Meeting, Innsbruck (Österreich)
- 10.-12.03.2009 Climate Change Congress “Global Risks, Challenges & Decisions”, Kopenhagen (Dänemark)
- 17.-19.03.2009 Freie und Open Source Software für Geoinformationssysteme (FOSSGIS) Konferenz 2009, Leibniz-Universität Hannover
- 23.-16.03.2009 Klausurtagung in Wildbad Kreuth
- 26.-27.3.2009 Tag der Hydrologie 2009, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
- 19.-24.04.2009 European Geosciences Union General Assembly 2009 (EGU), Wien (Österreich)

4. Veröffentlichungen

BERNHARDT, M. (2008): Using wind fields from a high resolution atmospheric model for simulating snow dynamics in mountainous terrain. Dissertation an der Fakultät für Geowissenschaften der LMU München.

BENHARDT, M., ZÄNGL, G. LISTON, G.E., STRASSER, U. und MAUSER, W. (2008a): Using wind fields from a high-resolution atmospheric model for simulating snow dynamics in mountainous terrain. Hydrol. Process., doi: 10.1002/hyp.7208.

- BERNHARDT, M., STRASSER, U., LISTON, G.E. und MAUSER, W. (2008b): High Resolution modelling of snow transport in complex terrain using simulated wind fields. *The Cryosphere Discuss.*, 2, S. 513-556.
- BENHARDT, M., ZÄNGL, G. LISTON, G.E., STRASSER, U. und MAUSER, W. (2008c): High resolution modelling of snow transport in complex terrain using simulated wind fields, Berchtesgaden National Park Research Report (special issue Alpine*Snow*Workshop), Proceeding (ISBN 13 978-3-922325-60-4).
- HANK, T. (2008): A biophysically based coupled model approach for the assessment of canopy processes under climate change conditions., Dissertation der Fakultät für Geowissenschaften, Digitale Hochschulschriften der LMU München, 307 S.
- HANK, T. und MAUSER, W. (2008): Modeling the impact of climate change on the phenological development of forest trees in the Upper Danube basin. In: BORSODORF, A., STÖTTER, J. und VEULLIET, E. (Hrsg.): *Managing Alpine Future*, IGF-Forschungsberichte, Band 2, Austria, S. 347-355.
- MARKE, T. (2008): Development and Application of a Model Interface to couple Regional Climate Models with Land Surface Models for Climate Change Risk Assessment in the Upper Danube Watershed, Dissertation der Fakultät für Geowissenschaften, Digitale Hochschulschriften der LMU München, 188 S.
- MARKE, T. und MAUSER, W. (2008): SCALMET - a tool for coupling regional climate models with physically-based simulations of land surface processes. In: BORSODORF, A., STÖTTER, J. & VEULLIET, E. (Hrsg.): *Managing Alpine Future*, IGF-Forschungsberichte, Band 2, Austria, S. 379-387.
- MAUSER, W., MARKE, T. und STÖBER, S. (2008): Klimawandel und Wasserressourcen: Szenarien über Niedrigwasserbedingungen im Einzugsgebiet der Oberen Donau. In: HABERLANDT, U., RIEMEIER, B., BILLIB, M., VERWORN, H.-R. und KLEEBERG, H.-B. (Hrsg.): *Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, Heft 23.08. Hannover, S. 229-237.
- MAUSER, W. und MUERTH, M. (2008): GLOWA-Danube: Climate change and the future of water in the Upper Danube basin. In: BORSODORF, A., STÖTTER, J. und VEULLIET, E. (Hrsg.): *Managing Alpine Future*, IGF-Forschungsberichte, Band 2, Austria, S. 54-61.
- MUERTH, M. (2008): A soil temperature and energy balance model for integrated assessment of Global Change impacts at the regional scale. Dissertation der Fakultät für Geowissenschaften, Digitale Hochschulschriften der LMU München, 145 S.
- MUERTH, M. und MAUSER, W. (2008): Implications of a regional scale soil temperature and freezing model in the Upper Danube basin for climate change scenarios. In: BORSODORF, A., STÖTTER, J. und VEULLIET, E. (Hrsg.): *Managing Alpine Future*, IGF-Forschungsberichte, Band 2, Austria, S. 305-313.
- MUERTH, M. & MAUSER, W. (2009): Long-term simulation of hourly soil temperature under Climate Change with a regional scale land surface model. *Agricultural & Forest Meteorology*, submitted.
- PRASCH, M., BENHARDT, M., WEBER, M., STRASSER, U. und MAUSER, W. (2008): Physically based modelling of snow cover dynamics in Alpine regions, In: BORSODORF, A., STÖTTER, J. & VEULLIET, E. (Hrsg.): *Managing Alpine Future*, IGF-Forschungsberichte, Band 2, Austria, S. 322-330.
- STRASSER, U., BENHARDT, M., WEBER, M., LISTON, G.E. und MAUSER, W. (2008): Is snow sublimation important in the alpine water balance? *The Cryosphere*, 2, S. 53-66.

WALDMANN, D. und MAUSER, W. (2008): Temporal Disaggregation of precipitation data for modelling soil erosion in landuse change scenarios. In: BORSODORF, A., STÖTTER, J. und VEULLIET, E. (Hrsg.): *Managing Alpine Future*, IGF-Forschungsberichte, Band 2, Austria, S. 331-338.

5. Vorträge und Posterpräsentationen:

- HANK, T. und MAUSER, W. (2008): Modelling plant growth under climate change conditions applying an explicit description of photosynthetic processes., In: background paper / poster abstracts of the German-US conference 'Tough choices - land use under a changing climate', pp. 5-6, 2./3. Oktober 2008, Berlin.
- HANK, T. und MAUSER, W. (2009): Simulation des Gaswechsels von aktiver Vegetation zur Modellierung der Landoberflächenverdunstung unter Szenarienbedingungen. In: Conference proceedings of the Tag der Hydrologie - Hydrologische Systeme im Wandel', 26. - 27. März 2009, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- HANK, T. und MAUSER, W. (2009): Modelling vegetation response to climate change in the Upper Danube subcatchment applying a biophysical landsurface model., Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, egu2009-0, EGU General Assembly 2009. Wien.
- MARKE, T. and HANK, T. (2008): Using a Regional Climate Model for the Simulation of Hydrologic Processes in the High Himalayan Wangchu Watershed, Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, accepted.
- MARKE, T. (2008): Skalierung und Einsatz regionaler Klimasimulationen für die hydrologische Modellierung im GLOWA-Danube Projekt, Workshop Regionales Downscaling, Max-Planck-Institut Hamburg, Hamburg.
- Marke, T. und Mauser, W. (2008): SCALMET - Ein Programm zur Kopplung von Landoberflächen- und Atmosphärenmodellen, Conference Proceedings of the Tag der Hydrologie 2008', 27. - 28. März 2008, Leibniz Universität Hannover, Hannover.
- MARKE, T. and MAUSER, W. (2008): Ein Ansatz zur gekoppelten Modellierung von Atmosphären- und Landoberflächenprozessen im Einzugsgebiet der oberen Donau, 12. *Workshop Großskalige hydrologische Modellierung*', Kiel.
- MAUSER, W., MARKE, T. und STÖBER, S. (2008): Climate Change and the Water Resources: Scenarios of low-flow conditions in the Upper Danube Watershed, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 4, 10, Slovenia.
- MAUSER, W., MUERTH, M. und STÖBER, S. (2009): Climate Change Scenarios of Low-Flow Conditions and Hydro Power Production in the Upper Danube River Basin. Abstract zum Climate Change Congress 2009, Copenhagen.
- MAUSER W. und MARKE, T. (2009): Climate change and water resources: scenarios of low-flow conditions in the Upper Danube River Basin. The Role of Hydrology in Water Resources Management. Proceedings of a workshop held on the island of Capri, Italy, October 2008. IAHS Publ. 327 (mit Vortrag).
- MUERTH, M. und MAUSER, W. (2008): Gekoppelte Simulation von Bodengefrorenis und Abflußbildung in Teileinzugsgebieten der Oberen Donau, Abstract zum 12. Workshop Großskalige Hydrologische Modellierung, Kiel.
- PRASCH, M., WEBER, M., MAUSER, W. und STRASSER, U. (2008): Ein Ansatz zur integrierten subskaligen Schnee- und Gletschermodellierung im Einzugsgebiet der oberen Donau, 12. Workshop „Großskalige hydrologische Modellierung“, Kiel.

- PRASCH, M., WEBER, M., MAUSER, W. und STRASSER, U. (2009): Integrierte subskalige Schnee- und Gletschermodellierung im Einzugsgebiet der oberen Donau, Tag der Hydrologie 2009: Hydrologische Systeme im Wandel, Kiel.
- PRASCH, M., WEBER, M., STRASSER, U. und MAUSER, W. (2009): Distributed Modelling of Glacier Dynamics under Climate Change Conditions from 2000 to 2060, Presentation at the Alpine Glaciological Meeting, February 2009, Innsbruck, Austria.
- WALDMANN, D. und MAUSER, W. (2008): Zeitliche Disaggregation von Niederschlag für die mesoskalige Erosionsmodellierung in einem integrativen Modellverbund, Conference Proceedings of the Tag der Hydrologie 2008', 27.-28. März 2008, Leibniz Universität Hannover, Hannover (Germany).

6. Gekoppelte Modellierung von Landoberflächen- und Atmosphärenprozessen

6.1 Kurzbeschreibung

Die Kopplung der Modelle für Landoberfläche und Atmosphäre stellt einen wichtigen Forschungsgegenstand im GLOWA-Danube Projekt dar. Regionale Klimamodelle liefern die meteorologischen Treiber für die Landoberflächenkomponenten des DANUBIA Modells. Weiter kann eine Zwei-Wege Kopplung der Modelle für Landoberfläche und Atmosphäre aufgrund der hochaufgelöste Modellierung der Flüsse an der Landoberfläche (1 x 1km) zu Verbesserungen im Bereich der Klimamodellierung beitragen. Sie ermöglicht weiter die Reaktion der Atmosphäre auf im Rahmen des Globalen Wandels stattfindende Veränderungen an der Landoberfläche.

6.2 Entwicklungen 2008

Während im Projektjahr 2007 noch an der technischen Umsetzung der Verwendung und Skalierung der Klimamodelldaten gearbeitet wurde, standen im Projektjahr die Rechnung und Analyse einseitig gekoppelter Modellläufe im Vordergrund. In diversen gekoppelten Modellläufen wurde das Potential der regionalen Klimamodelle MM5 (GRELL et al. 1995) und REMO (JACOB 2001) hinsichtlich einer Nutzung der Klimamodelldaten als Eingaben für die hydrologische Modellierung untersucht. Dabei wurden verschiedene globale Antriebsdaten und unterschiedliche Skalierungsansätze eingesetzt um die vergangenen hydrologischen Bedingungen im Einzugsgebiet der Oberen Donau unter Verwendung eines simulierten meteorologischen Antriebs zu reproduzieren. Während beobachtungsbasierte Antriebsdaten (ERA Reanalysen) eine durchaus zufriedenstellende Modellierung des regionalen Klimas (v.a. der kritischen meteorologischen Variable Niederschlag) erlauben, führt der etwas zu feuchte Antrieb des gekoppelten Atmosphären-Ozean-Zirkulationsmodell ECHAM5-MPIOM (ROECKNER et al. 2003) in Einzugsgebiet der Oberen Donau zu überhöhten Jahresniederschlägen, was eine entsprechende Überschätzung des Abflusses zur Folge hat.

Um die Abweichungen der simulierten Niederschläge von den gemessenen Niederschlägen zu korrigieren und somit eine realistischere Simulation der hydrologischen Prozesse im Einzugsgebiet zu ermöglichen wurde eine Biaskorrektur auf Grundlage der interpolierten Stationsdaten (*ATMOStations*) für beide regionalen Klimamodelle entwickelt. Neben den eben Beschriebenen Untersuchungen für vergangene Zeiträume wurden auch Simulationen beider Modelle für zukünftige meteorologische Bedingungen (IPCC A1B) im Einzugsgebiet analysiert. Durch Verwendung der Zukunftssimulationen der beiden meteorologischen Modelle als Eingaben in die hydrologische Modellkomponente des DANUBIA Modells

konnten erste Reaktionen des hydrologischen Systems auf die Klimaänderungen berechnet werden. Als Beispiel zeigt Abb. 1 die auf Grundlage der Simulationen der Modelle MM5 und REMO berechnete Verdunstung. Deutlich ist für den Szenariozeitraum eine Zunahme der Verdunstung bis zum Jahr 2060 zu erkennen.

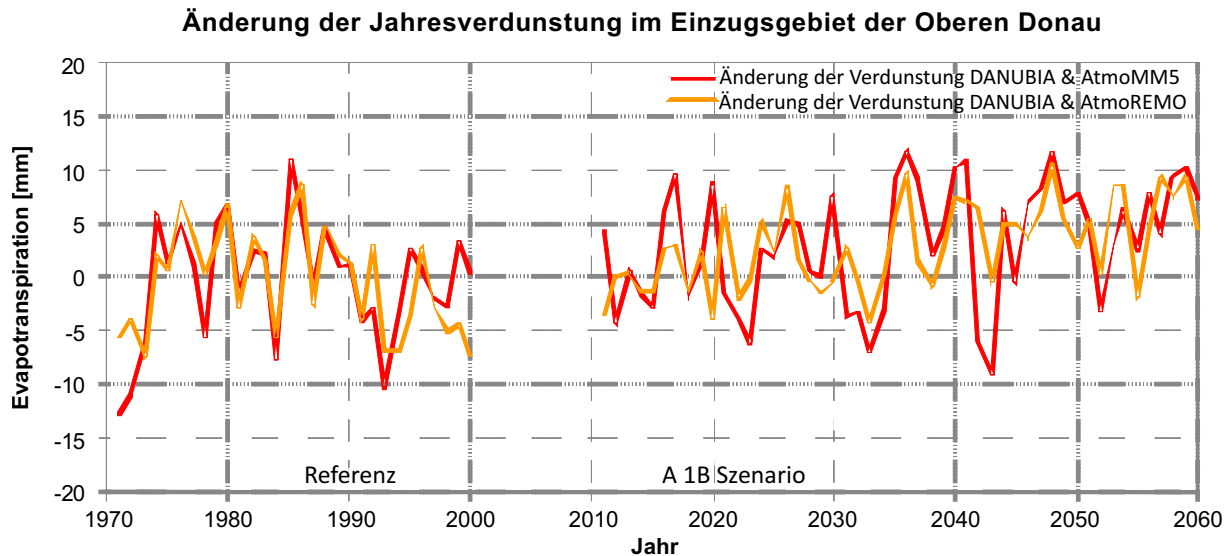


Abb. 1: Entwicklung der Verdunstungsänderung im Einzugsgebiet der Oberen Donau über die Jahre 1971 bis 2060 nach gekoppelten Modellläufen mit den regionalen Klimamodellen MM5 und REMO

Eine umfassende Untersuchung des Einflusses der von den Modellen MM5 und REMO modellierten Klimaänderung auf die Prozesse an der Landoberfläche wird derzeit durchgeführt.

Zusätzlich zur Ein-Wege-Kopplung wurde im Jahr 2008 intensiv an der Zwei-Wege-Kopplung der Modelle MM5 und DANUBIA-*Light* gearbeitet. Dafür musste zunächst eine Landnutzungsklassifikation für das gesamte Kopplungsgebiet in Auflösung des Landoberflächenmodells (1 x 1 km) erstellt werden. Das Kopplungsgebiet deckt im Fall der Zwei-Wege-Kopplung ein Gebiet von 1.368.900 km² ab (das entspricht 1170 Zeilen und Spalten bei einer räumlichen Auflösung von 1 x 1 km). Basierend auf der CORINE2000 Landnutzungs-Klassifikation (EEA 2004) wurde eine für das Modell Danubia-*Light* konzipierte Landnutzungskarte entwickelt, die das große Gebiet Zwei-Wege-Kopplungsgebiet vollständig abdeckt. Dazu wurden die 17 verschiedenen landwirtschaftlichen Klassen mit Hilfe von EUROSTAT-Daten für jede Region (NUTS) statistisch angepasst. Weitere Information über die räumliche Verteilung der landwirtschaftlichen Klassen wurde aus Fernerkundungsdaten abgeleitet. Dafür wurden multitemporale MERIS - NDVI (Normalized Differenced Vegetation Index) Aufnahmen verwendet (siehe TP Koordination). Diese dienen zur Unterteilung der landwirtschaftlichen Klassen in frühjahrsaktive und sommeraktive Vegetation (z.B. Winterweizen bzw. Mais). Eine möglichst genaue Information über die Landnutzung ist besonders im Kontext der gekoppelten Modellierung von Landoberflächenmodell und einem regionalen Klimamodell von Bedeutung, da hier die Wechselwirkungen zwischen Landoberfläche und Atmosphäre eine große Rolle spielen. Nachdem technische Schwierigkeiten weitgehend gelöst wurden, haben erste Modellläufe im Zwei-Wege-Modus über längere Zeiträume bereits stattgefunden. Im Zwei-Wege-Modus werden die vom Modell Danubia-*Light* errechneten Energieflüsse (sensibler Wärmestrom, latenter Wärmestrom, langwellige Ausstrahlung, kurzwellige Ausstrahlung, Impulsfluss) von SCALMET auf die Auflösung des Klimamodells (45 x 45 km) skaliert und an das regionale Klimamodell MM5 übergeben. Der Vergleich der Energieflüsse im Ein-Wege- und Zwei-Wege-Modus zeigt, dass die Kopplung grundsätzlich funktioniert, jedoch im Moment bei manchen Größen starke Abweichungen im Ein-Wege und Zwei-Wege-Modus auftreten. Im Weiteren besteht die Hauptarbeit in der Analyse und Optimierung der Zwei-Wege-Kopplung.

7. Erstellung von Klimaszenarien auf Basis verschiedener Trends

Ein GLOWA-Danube-Szenario® ist eine Kombination aus einem angenommenen Klimatrend, daraus ausgewählten Klimavarianten und einem angenommenen Trend in der Entwicklung der gesellschaftlichen Rahmenbedingungen inklusive Optionen von Handlungsszenarien (siehe Bericht Koordination). Ein solches Szenario kombiniert somit in einen möglichen Verlauf des Klimas mit einer bestimmten gesellschaftlichen Entwicklung im Szenariozeitraum 2011 bis 2060. Für die Analyse einer Vielzahl von möglichen Klimaszenarien wird ein statistischer Klimagenerator eingesetzt, der aus gemessenen Zeitreihen neue meteorologische Eingangsdaten für das Einzugsgebiet der Oberen Donau auf Basis von Temperatur- und Niederschlagstrends erstellt. Aufgabe mehrerer Projekt-Workshops war, aus heutiger Sicht plausible GLOWA-Danube-Szenarien® und damit aus wissenschaftlicher Sicht mögliche Klimatrends als deren Basis festzulegen. Die folgenden drei Klimatrends wurden schließlich für die aktuellen Szenarienrechnungen festgelegt:

- „IPCC regional“: Den Karten der zukünftigen Klimaveränderung in Europa im IPCC-Bericht (CHRISTENSEN et al. 2007) entnommen, welche auf den globalen Klimamodellläufen für das SRES-A1B Szenario basieren.
- „REMO regional“: Basierend auf den Simulationsläufen des MPI für Meteorologie mit dem regionalen Klimamodell REMO im Auftrag des Umweltbundesamtes (Jacob et al., 2008). Das verwendete Emissionsszenario ist das IPCC-SRES-A1B Szenario.
- „Fortschreibung“: Extrapolation des bisherigen, gemessenen Temperaturtrends (1960-2006) im Einzugsgebiet der Oberen Donau, basierend auf der Analyse von Klimastationsdaten durch A. Reiter und R. Weidinger (Publikation in Vorbereitung). Die Veränderung des Niederschlags ergibt sich hierbei aus der jahreszeitlichen Korrelation von Lufttemperatur und Niederschlag.

Die Analyse der genannten Klimatrends ergab die in Tabelle 1 dargestellten Veränderungen von Lufttemperatur und Niederschlag im Zeitraum 1990 bis 2100, die als mittlere Trends in die Erstellung der Klimaszenarien mit dem statistischen Klimagenerator eingehen.

Tab. 1: Vergleich der regionalen A1B-Klimatrends und der zugehörigen Veränderung des Jahresniederschlags für den Zeitraum 1990-2100

A1B-Klimatrend	Temperaturtrend 1990-2100	Niederschlagstrend 1990-2100	Jährlicher Niederschlagstrend [%]
1 IPCC regional	+3.3°C	+7% Winter, -14% Sommer	-4.4
2 REMO regional	+6.7°C Winter, +3.7°C Frühling, +5.3°C Sommer, +5.0°C Herbst	-7.4% Winter, +9.0% Frühling, -31% Sommer, -14.4% Herbst	-11.7
3 Fortschreibung	+5.2°C	+47% Winter, -42% Frühling, -69% Sommer, -2% Herbst	-16.4

Die Erzeugung von Klimazeitreihen mit dem Klimagenerator beruht auf einem vorgegebenen langjährigen Trend von Temperatur und Niederschlag und einer zufälligen Abweichung vom Mittelwert für jeden wöchentlichen Zeitabschnitt der erzeugten Zeitreihe. Dadurch können unterschiedliche Verläufe eines zukünftigen Klimas erstellt werden, die jedoch alle statistisch äquivalent für den gewählten Trend sind. Darauf aufbauend wurden

für jeden der drei A1B-Klimatrends 5000 mögliche Realisierungen erstellt und diese anhand der Monatsmittel von Temperatur und Niederschlag charakterisiert. Eine sog. Baseline-Klimavariante repräsentiert dabei den durchschnittlichen Verlauf der zukünftigen Temperaturerhöhung von 2011 bis 2035 und eröffnet damit die Möglichkeit, einen auf der Basis der gewählten Klimatrends und der im statistischen Klimaszenariengenerator gemachten Annahmen sehr wahrscheinlich auftretenden Witterungsverlauf zu untersuchen. Für alle anderen Klimavarianten wurden die Zeitreihen ausgewählt, die für ein bestimmtes Kriterium (s. Tab. 2) eine Eintrittswahrscheinlichkeit von 5%, basierend auf der Grundgesamtheit aller Realisierungen, aufweisen. In Absprache mit den Projektpartnern wurden zuerst 18 Klimavarianten erstellt und daraus vier Varianten als Grundlage für die GLOWA-Danube Szenarien ausgewählt (Tab. 2). Für die Simulation und Auswertung stehen somit 12 verschiedene Klimaszenarien (je 4 Varianten pro Trend) zur Verfügung.

Tab. 2: Kriterien für die 4 ausgewählten Klimavarianten der GLOWA-Danube Szenarien

Klimavariante	Bezeichnung	Kriterium
5 trockene Jahre	Lang anhaltende Trockenperiode zwischen 2011 bis 2035	5-jähriges Niederschlagsminimum zwischen 2011 und 2035
5 heiße Sommer	Lang anhaltende Periode heißer Sommer zwischen 2011 bis 2035	5-jähriges Temperaturmaximum JJA zwischen 2011 und 2035
Baseline	Baseline	mittl. Jahrestemperatur zwischen 2011 und 2035
5 warme Winter	Lang anhaltende Periode warmer Winter zwischen 2011 bis 2035	5-jähriges Temperaturmaximum DJF zwischen 2011 und 2035

Die ersten Auswertungen der Klimaszenarien zeigen, dass die Bandbreite der erwarteten Entwicklung von Temperatur und Niederschlag zusammen mit den statistisch äquivalenten Klimavarianten die große Variabilität der möglichen Witterungsverläufe abdeckt. Sie wirkt sich jeweils unterschiedlich auf die Ergebnisse der hydrologischen Modellierungen und der Akteur-Modellierungen aus und erzeugt somit einen großen Bereich möglicher Ausgaben. Entsprechende Beiträge über die Erstellung der Klimatrends und -varianten sowie die Funktionsweise des statistischen Klimagenerators wurden für den Global Change Atlas Obere Donau in Zusammenarbeit mit den anderen Projektgruppen verfasst und werden Mitte 2009 veröffentlicht.

8. Auswertung von Szenarienergebnissen der Komponente SOIL und Weiterentwicklung des Modells zur Abflußbildung

Nach Abschluss der Validierung des Bodentemperaturmodells wurden erste Szenarierechnungen mit einem Temperaturtrend von 5.1°C pro 100 Jahre (Klimatrend aus regionalen Messdaten) unter anderem für das Proxel der agrarmeteorologischen Station Freising/Weihenstephan durchgeführt und ausgewertet. Die Analyse der täglichen Temperaturwerte im Oberboden deutet auf eine starke Abnahme von Bodenfrost und eine deutliche Zunahme von Bodentemperaturen $> 25^{\circ}\text{C}$ hin (Abb. 2). Die Interaktion von Strahlung, Lufttemperatur und Energiespeicherung im Boden führt hierbei zu einer anderen Verteilung der Temperaturhäufigkeiten im Oberboden als in der bodennahen Luftschicht. Zusammen mit weiteren Szenarienanalysen der Bodenfeuchte kann daraus der zu erwartende, zukünftige Zustand der Böden in der Oberen Donau für den Zeitraum 2011-2060 dargestellt werden und für Stakeholder (v.a. Landwirtschaft) zugänglich aufbereitet werden.

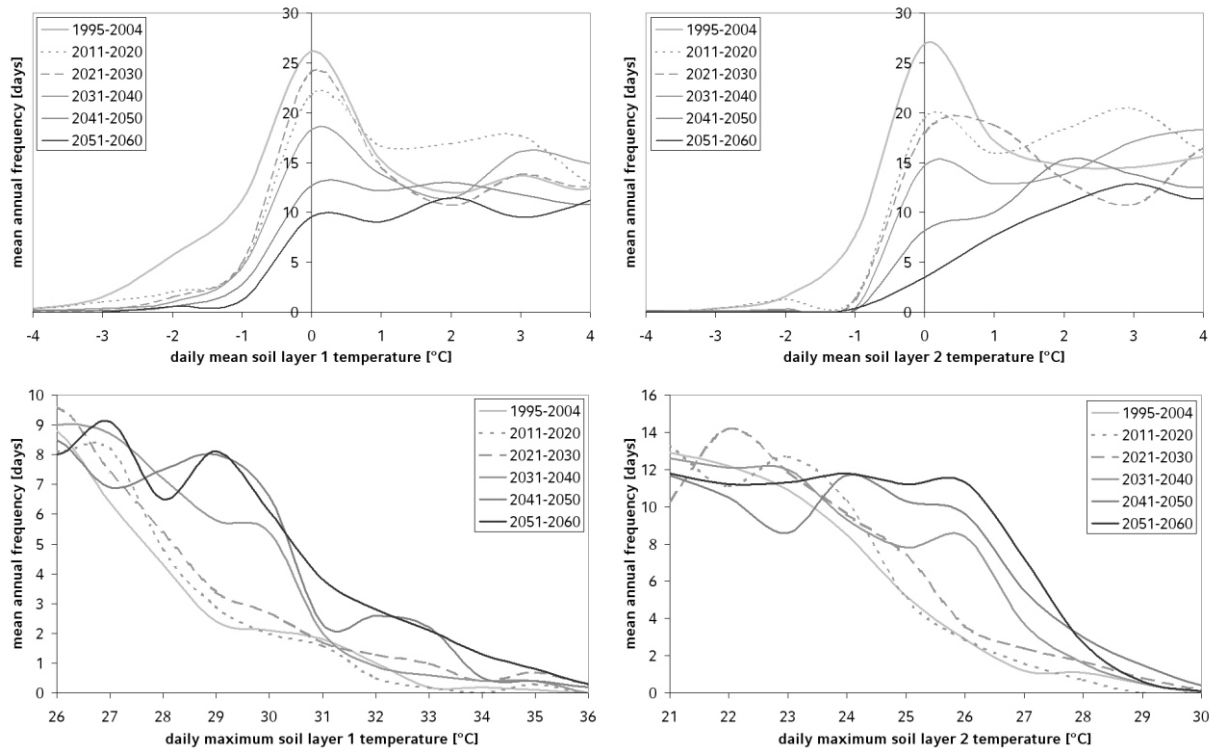


Abb. 2: Mittlere jährliche Häufigkeiten von Tagesmitteln der Bodentemperatur im Winter (oben) und von Tagesmaxima der Bodentemperatur im Sommer (unten) für eine historische und alle fünf Szenario-Dekaden, simuliert mit DANUBIA für die agrarmeteorologische Station Freising

Zur Beurteilung des zukünftigen Bodenwasserhaushalts im Einzugsgebiet der Oberen Donau, wurden im Berichtszeitraum erste Analysen der Perkolation auf Basis der Baseline-Szenarien der 3 möglichen Temperatur- und Niederschlagstrends vorgenommen. Die stündlichen Modellergebnisse wurden hierfür auf Monatsmittel aggregiert und nach Kalendermonat auf Dekaden ausgewertet. Aus dieser Analyse ergibt sich eine Reduktion des Gebietsmittels der fröhsommerlichen Perkulationsraten im Referenzzeitraum 1960-2006. Alle bisher durchgeführten Szenarienrechnungen weisen auf eine drastische Verringerung der sommerlichen Perkulationsraten hin, wie in Abbildung 3 beispielhaft für das Baseline-Szenario, ausgehend von den regionalen IPCC-A1B-Trends, dargestellt ist. Gleichzeitig ist eine Verschiebung des Maximums der Perkolation in die Wintermonate hinein zu beobachten. Darauf aufbauend wird im nächsten Berichtszeitraum eine regional differenzierte Analyse des Bodenwasserhaushalts für alle in GLOWA-Danube untersuchten Klimaszenarien durchgeführt.

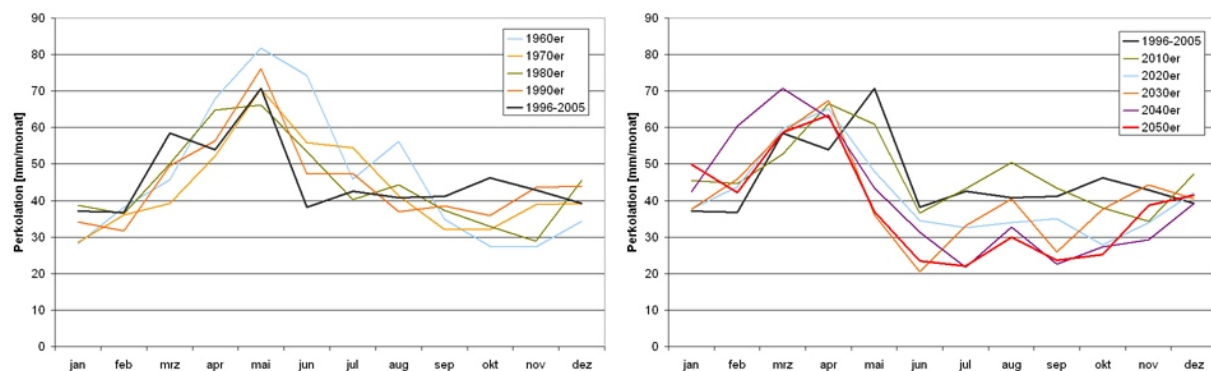


Abb. 3: Monatsmittel der Perkolation aus der Bodenzone für die Dekaden des Referenzzeitraums 1960-2006 (links) und die Dekaden des A1B-Baseline-Szenarios basierend auf den regionalen Temperatur- und Niederschlagstrends des IPCC-Berichts 2007 (rechts) im Vergleich zur Dekade 1996-2005

Die Entwicklung und Parametrisierung eines Algorithmus in SOIL zur Berechnung des potentiell erhöhten lateralen Abflusses auf gefrorenen Böden wurde im Berichtszeitraum fortgeführt. Die Analyse der Entstehung und Häufigkeit von winterlichen Hochwässern wurde auf drei Teileinzugsgebiete erweitert (Vils, Ammer, Naab) um Pegelabflüsse unterschiedlich gearteter Regionen zu untersuchen. Zum Vergleich der noch sehr heterogenen Ergebnisse wird momentan der Algorithmus von GRAY et al. (2001) ins Modell implementiert. Am Ende der Entwicklung steht die Verbesserung der Aussagekraft des Modells bezüglich Entstehung und Häufigkeit von winterlichen Hochwässern.

9. Schneetransport und subskalige Schneebedeckung

Im Berichtszeitraum wurden innerhalb des Modellansatzes folgende Arbeiten hauptsächlich durchgeführt:

- Validierung der kombinierten SnowTran-3D/MM5 Läufe anhand von Satellitendaten.
- Erstellung eines Parametrisierungsverfahrens der subskaligen Schneebedeckung.
- Validierung der subskaligen Schneebedeckung anhand von Satellitendaten.
- Austesten des Einflusses der subskaligen Schneebedeckung auf die Schmelzenergie. Alle Arbeiten wurden in der Supertestsite Nationalpark Berchtesgaden durchgeführt.
- Erstellung von Verteilungsfunktionen des Schneewasseräquivalents (SWE) für die im alpinen Bereich verorteten Proxel des Glowa - Einzugsgebiets.

Es konnte gezeigt werden, dass die Beschreibung der Schneedeckenheterogenität durch den Einsatz von physikalisch basierten MM5 Windfeldern in signifikanter Weise verbessert werden konnte. (BERNHARDT 2008).

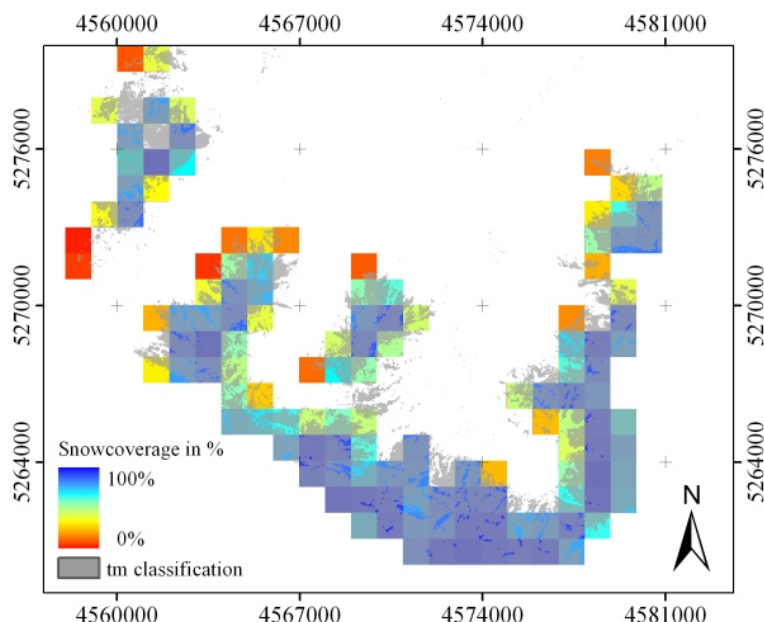


Abb. 4: Berechnete Schneebedeckung pro Proxel für das Gebiet der Supertestsite Berchtesgaden. Überlagert ist eine Landsat ETM+ Schneedeckenklassifikation (in grau) die, die reale Erstreckung der Schneedecke beschreibt

Anhand der hochaufgelösten 30m Ergebnisse wurde ein Ansatz zur Beschreibung der subskaligen Schneeheterogenität auf Proxel-ebene eingeführt. Dieser Ansatz basiert auf der Annahme, dass die Schneeverteilung in einem betrachteten Gebiet immer annähernd lognormal verteilt ist. Die Form der log-Normalverteilung wurde für die Proxel im Gebiet anhand der Erkenntnisse der hochaufgelösten Modellläufe bestimmt. Da die Schneeverteilung über die Jahre als nahezu konstant angenommen werden kann, kann die erzeugte Parametrisierung als fester Parametersatz eingelesen werden. In den durchgeführten Testläufen war es mit dem entwickelten Ansatz möglich, die Schneebedeckung pro Proxel innerhalb einer Fehlerbreite von 20% zu bestimmen (Abb. 4; BERNHARDT 2008).

Ebenso wurden die verfügbare Schmelzenergie, berechnet auf der Subskala von 30m den Berechnungen auf der Proxel-Skala gegenübergestellt. Es konnte gezeigt werden, dass die Läufe auf Proxelbasis aufgrund der Annahme einer geschlossenen Schneedecke (pro Proxel) die Schmelzenergie drastisch überschätzen.

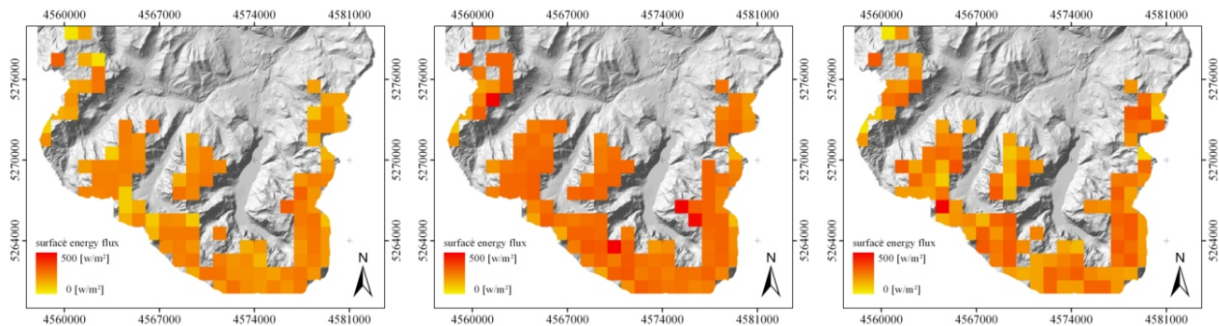


Abb. 5: Aggregierte Schmelzenergie basierend auf Modellläufen auf der 30m Skala (Schmelzenergie= 220W/m^2), km^2 Läufe ohne Integration der subskaligen Routine zur Bestimmung der Schneebedeckung (Schmelzenergie= 270W/m^2), Ergebnisse die mit Hilfe des neuen Verfahrens auf der Proxelskala erreicht werden konnten (Schmelzenergie= 200W/m^2)

Durch eine Einbindung der erzeugten subskaligen Information konnte dieser Fehler drastisch reduziert werden. Die zukünftig geplanten Arbeiten innerhalb des Modellansatzes sind die Integration der subskaligen SWE Verteilung in SNOW für das gesamte EZG. Darüber hinaus soll die Kombination der subskaligen SWE Verteilung und des subskaligen Gletschermodells erfolgen (Teilprojekt *Snow*; BERNHARDT 2008).

10. Validierung der Niederschlagsdisaggregation für die Erosionsmodellierung

Die im letzten Berichtszeitraum begonnene Evaluierung der v. A. für die Erosionsmodellierung relevanten temporalen Niederschlagsdisaggregation konnte abgeschlossen werden. Am Modell wurden lediglich geringfügige Verbesserungen vorgenommen und die Integration der Routinen in *AtmoStations* mit flächenhafter Interpolation konnte mit positiven Ergebnissen vollzogen werden, welche im Folgenden dargestellt werden.

Um die Disaggregationsroutine zu validieren wurde sowohl eine Validierung am Punkt, als auch eine Plausibilitätsprüfung in der Fläche vorgenommen.

Für die Punktvalidierung standen hochaufgelöste Datensätze (10 min) hauptsächlich des Agrarmeteorologischen Netzwerks Bayern des LfL zur Verfügung. Tab. 3 zeigt ausgewertete Ergebnisse von insgesamt über 10 Stationen mit jeweils zehnjährigen Messreihen. Während bei der Disaggregation auf 10 min die Intensitäten zu hoch eingeschätzt werden, spiegeln die auf eine Stunde reagregierten Ergebnisse die Realität relativ gut wider. Vor allem die Anzahl der stärkeren Niederschlagsintervalle ($n_o > P_{75}$ und $n_o > P_{90}$) werden gut abgebildet, was bei der Vergleichen mit der „herkömmlichen“ Disaggregationsroutine nicht der Fall war. Auch die Anzahl der Stunden mit Niederschlag, welche bisher deutlich überschätzt wurde, konnte mit dem Kaskadenmodell näher an die Messwerte gebracht werden.

Tab. 3: Gegenüberstellung der Disaggregation und Meßwerte für die Niederschlagsregimes Mittelgebirgsregionen (a), Voralpen und Flachland (b) und Alpen (c). (no > 0: Anzahl der Intervalle mit Niederschlag, mean: Mittelwert, σ : Standardabweichung, max: absolutes Maximum, no > P_{xx} : Anzahl der Intervalle über dem xx-ten Perzentil der Messdaten)

(a) Reaggregation of 10 min intervals to 1 hour									
Region	Data	no > 0	mean	σ	max	no > P_{25}	no > P_{50}	no > P_{75}	no > P_{90}
(a)	meas.	16819	0.72	1.26	39.10	11967	8160	4126	1650
	disagg.	19355	0.63	1.22	36.54	12818	8462	4261	1773
(b)	meas.	110011	0.81	1.32	39.90	81317	50424	24973	10702
	disagg.	120118	0.74	1.35	45.32	84703	50443	25668	12004
(c)	meas.	3022	1.03	1.91	31.20	2052	1395	753	293
	disagg.	2651	1.18	2.51	52.14	1780	1254	744	348
(b) 10 min intervals without reaggregation									
Region	Data	no > 0	mean	σ	max	no > P_{25}	no > P_{50}	no > P_{75}	no > P_{90}
(a)	meas.	49111	0.25	0.42	26.30	22502	22502	8112	3850
	disagg.	52345	0.23	0.52	25.35	23240	23240	10969	6274
(b)	meas.	340515	0.26	0.43	22.30	165343	165343	60892	29201
	disagg.	327422	0.27	0.58	33.34	160109	160109	80189	47665
(c)	meas.	9883	0.32	0.57	16.00	5430	3298	2209	911
	disagg.	7642	0.41	1.01	32.52	4353	3194	2464	1323

Abbildung 6 vergleicht die die konventionelle Disaggregationsmethode mit dem Kaskadenmodell über das gesamte Einzugsgebiet. Während die räumliche Verteilung der Niederschlagsmuster natürlich gleich bleibt, ist eine deutliche Steigerung der Maxima bei der Verwendung der kaskadenbasierten Disaggregationsroutine zu verzeichnen.

Es wird erwartet, dass die Änderung in der Niederschlagsintensität, vor Allem im Sommerhalbjahr die Ergebnisse der Erosionsmodellierung deutlich verbessern kann, da die Niederschlagsintensität im implementierten Modell einen der einflussreichsten Eingangsparameter darstellt.

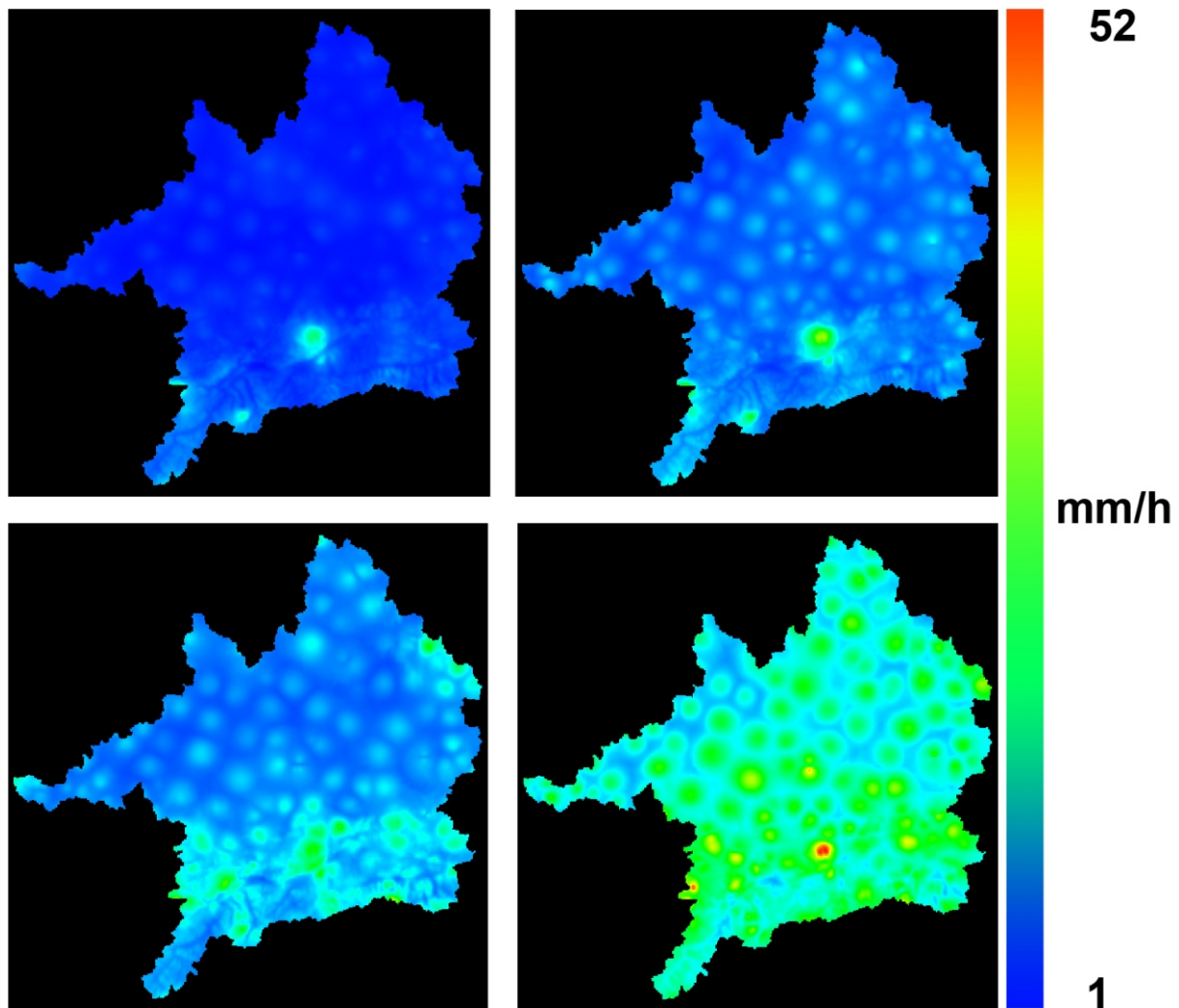


Abb. 6: Langjährige (1995-2005) mittlere Niederschlagsmaxima. (oben: „alte“ Disaggregationsmethode, unten: kaskadenbasierte Disaggregation, linke Spalte: hydrologisches Winterhalbjahr, rechte Spalte: hydrologisches Sommerhalbjahr)

11. Aktueller Stand der Verkehrsmodellierung

Das Tiefe-Akteurs-Modell *Traffic* beschreibt den Entscheidungsprozess der Skitouristen für die Ausführung von Tagesausflügen in eines der Skigebiete im Einzugsgebiet der Oberen Donau. Der Entscheidungsprozess wird in Abhängigkeit von der Schneehöhe, dem Wetter, der Fahrzeit und der Milieuzugehörigkeit der jeweiligen Akteure mit Hilfe von Discrete-Choice-Methoden innerhalb von DANUBIA modelliert. Die Modellentwicklung und Implementierung im Sinne des *DeepActor-Frameworks* wurde somit abgeschlossen.

Die bisherigen Ergebnisse haben gezeigt, dass eine Verschiebung der Höhengrenze der Schneesicherheit nach höheren Lagen, die Länge der Verkehrsstaus auf den Zufahrtsstrassen zu den verbliebenen Skigebieten um den Faktor zwei bis drei erhöht. Zu bestimmten Zeitpunkten ist die berechnete Fahrzeit in die Skigebiete deshalb um ein vielfaches höher als zum gegenwärtigen Zeitpunkt. Die Analyse des Tagesskitourismus auf Basis von Schneedaten aus Szenariensimulationen und die zugehörige Simulation der Verkehrsflüsse wird momentan noch durchgeführt. Die entsprechenden Ergebnisse der Szenarienauswertung werden mit Abschluss der Dissertation von Frau Tepfenhart im Berichtsjahr 2009 erwartet.

12. Literatur

- BERNHARDT M. (2008): Using wind fields from a high resolution atmospheric model for simulating snow dynamics in mountainous terrain, Dissertation der Fakultät für Geowissenschaften der LMU.
- CHRISTENSEN, J.H., HEWITSON, B., BUSUIOC, A., CHEN, A., GAO, X., HELD, I., JONES, R., KOLLI, R.K., KWON, W.-T., LAPRISE, R., MAGAZA RUEDA, V., MEARNNS, L., MENÉNDEZ, C.G., RÄISÄNEN, J., RINKE, A., SARR A. und WHETTON, P. (2007): Regional Climate Projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (SOLOMON, S., QIN, D., MANNING, M., CHEN, Z., MARQUIS, M., AVERYT, K.B., TIGNOR, M. and MILLER, H.L. (eds.)); Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- EEA (Hrsg.) (2004): CORINE 2000 Landcover - Mapping a decade of change. Brochure No. 4/2004, Kopenhagen.
- GRAY, D.M., TOTH, B., ZHAO, L., POMEROY, J.W. und GRANGER, R.J. (2001): Estimating areal snowmelt infiltration into frozen soils. Hydrological Processes, Volume 15, S. 3095-3111.
- GRELL, G.A., DUDHIA, J. und STAUFFER, D.R. (1995). A description of the fifth-generation PennState/NCAR Mesoscale Model (MM5). NCAR Technical Note NCAR/TN-398 + STR.
- JACOB, D. (2001): A note to the simulation of the Annual and Interannual Variability of the Water Budget over the Baltic Sea Drainage Basin. Meteorology and Atmospheric Physics, 77(1-4), S. 61-74.
- JACOB, D., GÖTTEL, H., KOTLARSKI, S., LORENZ, P. und SIECK, K. (2008): Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland - Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. UBA Research Report 204 41 138, 154 S.
- MARKE, T. (2008): Development and Application of a Model Interface to couple Land Surface Models with Regional Climate Models for Climate Change Risk Assessment in the Upper Danube Watershed, Dissertation der Fakultät für Geowissenschaften, Digitale Hochschulschriften der LMU München, 188, München.
- ROECKNER, E., BÄUML, G., BONAVENTURA, L., BROKOPF, R., ESCH, M., GIORGETTA, M., HAGEMANN, S., KIRCHNER, I., KORNBLUEH, L., MANZINI, E., RHODIN, A., SCHLESE, U., SCHULZWEIDA, U. und TOMKINS, A. (2003): The Atmospheric General Circulation Model ECHAM5. Part I: Model Description. MPI Report 349, Max-Planck-Institute for Meteorology, Hamburg.

Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung, Wasserversorgung, Human Capacity Building

Leiter: Dr. Roland Barthel
Ausführende Stelle: Institut für Wasserbau, Jungwissenschaftlergruppe
Grundwasserhydraulik und Grundwasserbewirtschaftung
Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 61, 70569 Stuttgart
Berichtersteller: Dr. R. Barthel

Die Arbeitsgruppe „Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung und Wasserversorgung“ am Institut für Wasserbau der Universität Stuttgart (IWS) erstellt Teilmodelle für die Beschreibung der Grundwasserströmung und den Transport von Stickstoff im Grundwasser (Komponente *Groundwater* mit den Objekten *GroundwaterFlow* und *GroundwaterTransport*) sowie für die Wasserversorgung im Einzugsgebiet der Oberen Donau (Objekt *WaterSupply*).

Im Bereich „Human Capacity Building“ werden einerseits hochqualifizierte Nachwuchswissenschaftler aus Drittländern mittels Stipendien gefördert und andererseits soll ein wissenschaftlicher Austausch zwischen den an GLOWA-Danube beteiligten Nachwuchswissenschaftlern, den GLOWA-Danube-Stipendiaten und den Studierenden des auslandsorientierten Studiengangs WAREM der Universität Stuttgart geschaffen werden.

1. Organisation

1.1 Übersicht

Der hier vorliegende Jahresbericht 2008 beschreibt die vom 01.01.2008 bis 15.03.2009 durchgeführten Arbeiten und deren Ergebnisse.

Die Schwerpunkte im Berichtszeitraum lagen im Bereich:

1. *Stakeholder*beteiligung
2. Szenariensimulationen (gekoppelt, teilgekoppelt, sektoral)
3. Modellanpassung und Fehlerkorrektur

Am DANUBIA-Objekt *WaterSupply* wurden im Berichtsjahr 2008 nur noch wenige Änderungen vorgenommen. Lediglich im Bereich der Ausgaben der Modellauswertung sowie der Modellhandhabung wurden wesentliche Neuerungen eingeführt. Das Modell erlaubt in unterschiedlichen Konfigurationen (Stand-alone, gekoppelt mit *GroundwaterFlow*, gekoppelt mit den Akteurskomponenten und *GroundwaterFlow*) die Durchführung von auswertbaren Szenariensimulationen (vgl. Tab. 3).

Das DANUBIA-Objekt *GroundwaterFlow* wurde inzwischen so eingerichtet, dass es in sämtlichen denkbaren Kopplungsvarianten verwendbar ist. Das Modell wurde so angepasst, dass es mit den vollständig geänderten Ausgaben der Komponente, die die Grundwasserneubildung berechnet, gerecht wird. Auch hier wurden Modellausgaben und das Auswertekonzept sehr stark verbessert. Leider steht eine gemeinsame Abstimmung der Grundwasserkomponente mit den für die Landoberfläche und die Oberflächengewässer zuständigen Modellkomponenten aus. Die Abstimmung erfolgte bisher einseitig, indem das Grundwassermodell den geänderten Ausgaben der Partnermodelle jeweils angepasst wurde.

Die Entwicklung des Stickstofftransportmoduls (Objekt *GroundwaterTransport*) lag weiterhin brach, da hier von den Partnermodellen nach wie vor keine Eingabedaten, die für das Testen des Modells erforderlich wären, bereitgestellt werden können. Es erscheint deshalb inzwischen sehr unwahrscheinlich bis unmöglich, dass die Modellkomponente bis zum Ende des Projekts ausreichend getestet und validiert werden kann. Dies ist unbefriedigend, da von den Ergebnissen dieser Komponente auch die Akteurskomponenten, insbesondere über den Grundwasserqualitätsindex *groundwaterQualityFlag* und *drinkingWaterQualityFlag* abhängen. Weiterhin wird die Grundwasserqualität von den *Stakeholdern* stark nachgefragt. Um diesem Dilemma zu entgehen, beschäftigt sich die Projektgruppe schon seit einiger Zeit (s. Jahresbericht 2007) intensiv mit den gemessenen Grundwasserqualitätsdaten aus der Vergangenheit. Es wird weiterhin versucht die Qualitätsindizes (s.o.) auf empirische Art und Weise zu generieren.

Zu allen Projektbereichen, mit Ausnahme von *GroundwaterTransport* (s.o.) wurden inzwischen Artikel in internationalen, peer-reviewten Fachzeitschriften veröffentlicht. Alle Konzepte wurden auf verschiedene internationalen Tagungen vorgestellt. Weiterhin waren die Arbeiten der Projektgruppe Gegenstand vieler Stakeholderaktivitäten, wo ein sehr großes Interesse an den Arbeiten zur Grundwasserbewirtschaftung und zur Wasserversorgung gezeigt wurde.

1.2 Personal

1.2.1 Wissenschaftler

Am 04.02.2008 trat Herr Dipl.-Ing. Thomas Hörhan in das Projekt ein, womit die letzte noch offene Projektstelle wieder besetzt war. Herr Thomas Hörhan hat leider zwischenzeitlich das Institut für Wasserbau wieder verlassen, um am Landwirtschaftsministerium in Wien Fragestellungen der Wasserrahmenrichtlinie zu bearbeiten. Herr Dr. Roland Barthel ist seit 01.10.2008 in Elternzeit und ist bis voraussichtlich 30.11.2009 in Teilzeit beschäftigt. Die durch die Elternzeit und den Weggang von Herrn Thomas Hörhan weggefallene Arbeitskraft konnte zwischenzeitlich durch die Einstellung von Herrn Dipl. Ing. Ralf Ziller und Frau Dipl. Geografin Anita Gundel zum 01.02.2009 ausgeglichen werden.

Damit besteht die Projektgruppe derzeit (März 2009) aus Herrn Dr. R. Barthel (seit 1.09.2001, Projektleiter), Herrn Dipl.-Hydrol. Jan van Heyden (01.06.2007, Bereich Grundwasser), Herrn Dipl.-Hydrol. Thorben Römer (10.12.2007, Bereich Grundwasser), Herrn Dipl.-Ing. Ralf Ziller (Bereich Wasserversorgung) und Frau Dipl. Geogr. Anita Gundel (Grundwasser).

Der Teilbereich Human Capacity Building (HCB) wird nach wie vor von Dr. Jürgen Braun (wissenschaftlicher Leiter der Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung - VEGAS) mit-betreut, der weiterhin auch von Professor Kobus unterstützt wird. Des Weiteren wird das Projekt auch vom Course Director Dr. M. Schneider sowie dem Sekretariat des auslandsorientierten Studiengangs WAREM begleitet. Somit werden die meisten Personalkosten des Teilprojekts aus der Grundausstattung der Universität Stuttgart bezahlt.

1.2.2 Studentische und wissenschaftliche Hilfskräfte

Die wissenschaftlichen Mitarbeiter wurden im Berichtszeitraum von studentischen und wissenschaftlichen Hilfskräften unterstützt. Die Aufgaben der Hilfskräfte lagen einerseits im Bereich Eingabe und Organisation der neu beschafften Daten, andererseits in der Auswertung der erheblichen Datenmengen, die durch die verschiedenen Test- und Szenarienläufe erzeugt werden. Studentische und wissenschaftliche Hilfskräfte unterstützen weiterhin auch den Teilbereich HCB.

1.2.3 Stipendien (Human Capacity Building)

Aufgrund von Umstrukturierungen im Studiengang WAREM, die im letzten Jahresbericht erläutert wurden, wurden in der Projektphase III im Jahr 2007 keine Stipendien vergeben. Um dies zu kompensieren, wurden im Jahr 2008 fünf Stipendien für Studienbeginner im Wintersemester 2008 bewilligt. Die Stipendien haben eine Laufzeit von vier Semestern. Die vier verbleibenden Stipendien werden an Studienbeginner des Jahrgangs 2009 vergeben. Diese werden dann bis September 2011 laufen, weswegen Rückstellungen von Projektmitteln erforderlich sind. Mittlerweile haben die fünf Studenten, an die die Stipendien im Jahr 2008 vergeben wurden, ihre Studien begonnen. beschreibt kurz Herkunft und Vorbildung der Stipendiaten und die Ausrichtung ihrer Studien in WAREM.

Da das erste Semester im Programm WAREM sehr umfangreiche Anforderungen an die Studenten stellt und gleichzeitig Deutschkurse zu absolvieren sind, wurden die Studenten bislang nicht direkt ins Projekt eingebunden. Dies wird - auch in Abhängigkeit der in den Examina des Wintersemesters 2008/2009 erzielten Leistungen (Prüfungsperiode: März 2009) - im Sommersemester 2009 intensiver geschehen.

Wie der Wahl der Studienschwerpunkte (vgl. Tab. 1) zu entnehmen ist, haben sich die meisten Studenten für die Schwerpunkte „Grundwasser“ und „River Basin Management“ entschieden, eine Studentin für den Wasserversorgungssektor. Vier der fünf Stipendiaten belegen die Module „Geohydrology“ und „Hydrogeological Investigations“ die von Dr. Barthel unterrichtet werden. Es ist geplant, dass die Studenten über Studienarbeiten (Independent Studies) und später Master's Theses weiter in das Projekt eingebunden werden. Hierzu, werden wie in der Vergangenheit, auch die GLOWA Projektpartner gebeten Themen und Betreuung bereitzustellen.

Tab. 1: Glowa-Danube HCB Stipendiaten des Jahrgangs 2008; *(Erläuterung siehe Tab. 2)

Stipendiat	Asya Ivanova Drenkova	Edom Melesse Moges	Tigstu Tsige Dullo	Elias Tedla Shiferaw	Jiaying Liang
Geburtsdatum	23. Juni 1981	04. April 1986	01. April 1985	01. Sep. 1982	21. Aug. 1985
Herkunftsland	Bulgarien	Äthiopien	Äthiopien	Äthiopien	China
Ausbildung	M.Sc. Civil Engineering (Water Supply, Sewerage and Water Treatment)	B.Sc. Irrigation Engineering, July 2007	B.Sc. Hydraulic Engineering	B.Sc. Agricultural Engineering and Mechanization; Diploma Surveying Technology	B.Eng. Hydrology and Water Resources Engineering
Heimat-Universität	University Sofia, Bulgaria	Arba Minch University, Ethiopia	Arba Minch University	Hawassa University, Addis Ababa technical School	Hohai University in Nanjing, China
Berufserfahrung	Design Engineer for 3.5 years in a Bulgarian company BORA Ltd	Irrigation Engineering Department in Arba Minch University	Assistant Lecturer	Hawassa University Assistant Lecturer	-
Ankunft in Stuttgart	September 2008	September 2008	September 2008	Oktober 2008	August 2008
Sprachkurs (Deutsch)	Grundstufe II / A2+), Grundstufe III / B1.2)	intensive Language Course	intensive Language Course	intensive Language Course	intensive Language Course
Sections*	S2, S3	S1, S2	S1, S2	S1, S2	S1, S2
Belegte Module (WS 2008/2009)	Environmental Fluid Mechanics; Hydraulic Structures; Water and Power Supply; Sanitary Engineering; Chemistry and Biology for Environmental Engineers; Inorganic Chemistry; Regional and Urban Planning I; -	Environmental Fluid Mechanics; Environmental Informatics; Hydraulic Structures; Power and Water Demand and Supply; Requirements of Professional Life and Engineering	Environmental Fluid Mechanics; Environmental Informatics; Hydraulic Structures; Power and Water Demand and Supply; Requirements of Professional Life and Engineering; Geo hydrology and Geoengineering	Environmental Fluid Mechanics; Environmental Informatics; Hydraulic Structures; Power and Water Demand and Supply; Requirements of Professional Life and Engineering; Geo hydrology and Geoengineering	Environmental Fluid Mechanics; Environmental Informatics; Hydraulic Structures; Power and Water Demand and Supply; Requirements of Professional Life and Engineering; Geo hydrology and Geoengineering
Additional activities:	Member of IAHR Student Chapter, Universität Stuttgart.				Member of IAHR Student Chapter, Universität Stuttgart.

Tab. 2: Übersicht über die in genannten thematischen Schwerpunkte im Studiengang WAREM

WAREM Section	Titel	Section- und Modul Beschreibungen
S1 S1	Groundwater Resources Management and Geohydrology	http://www.warem.uni-stuttgart.de/study/study.php#4
S2	Hydraulic Engineering and River Basin Management	http://www.warem.uni-stuttgart.de/study/study.php#5
S3	Sanitary Engineering and Water Quality Management	http://www.warem.uni-stuttgart.de/study/study.php#6

1.3 *Investitionen*

Da Mittel für Investitionen nicht beantragt werden konnten, wurden aus Projektmitteln auch keine entsprechenden Anschaffungen getätigt. Dennoch erscheint es wichtig darauf hinzuweisen, dass gerade jetzt, wo Simulationen und Szenarienrechnungen in großem Umfang durchgeführt werden müssen, leistungsstarke Rechner zur Verfügung stehen müssen. Solche konnten glücklicherweise mit Haushaltsmitteln erworben werden.

1.4 *Veranstaltungen*

1.4.1 *Konferenzen*

Die Mitglieder der Arbeitsgruppe waren im Berichtszeitraum mit insgesamt fünf Tagungsbeiträgen zu GLOWA-Danube auf einer nationalen und zwei internationalen Kongressen vertreten.

- EGU 2008, Wien (ein Poster).
- IAH 2008, Toyama, Japan (zwei Vorträge).
- Tagung der FH-DGG, Göttingen (ein Vortrag, ein Poster).

Für das Jahr 2009 wurden bislang zwei Tagungsbeiträge für eine nationale Tagung akzeptiert. Weitere drei Beiträge sind gegenwärtig eingereicht.

1.4.1.1 Vorträge der Projektgruppe in 2008

Besonders erwähnenswert ist die Einladung von Herrn Dr. Barthel zum Vortrag im Kolloquium der Universität Karlsruhe, Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften. Besondere Beachtung bei Fachkollegen aus verschiedenen Ländern fanden v.a. die Arbeiten zu Grundwasser-Indikatoren (Flaggenkonzept) und generell die Betrachtung der Auswirkung des Klimawandels auf differenzierte Grundwassersysteme.

- BARTHEL, R.: Integrative Bewertung und Prognose der verfügbaren Grundwassermenge auf der regionalen Skala unter Berücksichtigung des Globalen Wandels. - Tagung der FH-DGG, Grundwasserressourcen - Charakterisierung, Bewirtschaftung, Prognosen (Göttingen 21.05.-25.05.2008).
- BARTHEL, R.: Management von Grundwasserressourcen im Kontext von Klimawandel und europäischer Wasserrahmenrichtlinie - Wissenschaftliche Ansätze für integrierte Lösungen im Spannungsfeld Natur-Technik-Sozioökonomie (Karlsruhe 24. April 2008, Universität Karlsruhe, Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften).

- BARTHEL, R.: The impacts of climate change on the groundwater system of the upper Danube catchment derived from piezometric head and groundwater quality time series data. 28.10.2008 - XXXVI IAH congress (IAH 2008, Toyama, Japan 26.10.-01.11.2008).
- BARTHEL, R.: The use of groundwater indicators to detect climate change impacts and violation of sustainability rules. 28.10.2008 - XXXVI IAH congress (IAH 2008, Toyama, Japan 26.10.-01.11.2008).

1.4.1.2 Poster der Projektgruppe in 2008

- VAN HEYDEN J. und BARTHEL, R.: Untersuchung der Konsequenzen von Klima- und Landnutzungsänderungen auf die Entwicklung der Grundwasserstände im oberen Donaeinzugsgebiet. - Tagung der FH-DGG, Grundwasserressourcen - Charakterisierung, Bewirtschaftung, Prognosen (Göttingen 21.05.-25.05.2008)
- VAN HEYDEN J. und BARTHEL, R.: Analysis of the effects to Groundwater heads in the Upper Danube Catchment due to change in climate and land use. European Geosciences Union General Assembly 2008 (Vienna, Austria, 13-18 April 2008).

1.5 *Veröffentlichungen des Teilprojekts in 2008*

Im Jahr 2008 wurden vier Artikel der Arbeitsgruppe zum Thema GLOWA in internationalen Fachzeitschriften veröffentlicht. Weitere drei Artikel wurden eingereicht, zwei davon bereits in revidierter Form, einer befindet sich im Druck. Darüber hinaus wurden insgesamt drei Textbeiträge (Langfassungen) in Tagungsbänden veröffentlicht. Die entsprechenden Veröffentlichungen können - soweit rechtlich möglich - direkt eingesehen bzw. abgerufen werden^{1,2)}.

1.5.1 **Veröffentlichungen in Zeitschriften, Buchbeiträge**

BARTHEL, R., JANISCH, S., N. SCHWARZ, A. TRIFKOVIC, D. NICKEL, C. SCHULZ und MAUSER, W. (2008): An integrated modelling framework for simulating regional-scale actor responses to global change in the water domain. *Environmental Modelling and Software*, 23, S. 1095-1121 (doi:10.1016/j.envsoft.2008.02.004).

BARTHEL R., MAUSER W. und BRAUN, J. (2008): Integrated modelling of global change effects on the water cycle in the upper Danube catchment (Germany) - the groundwater management perspective. In: CARILLO, J.J. and ORTEGA, M.A. (Editors): *Groundwater flow understanding from local to regional scale*, International Association of Hydrogeologists, Selected Papers on Hydrogeology, Vol 12, S. 47-72.

GÖTZINGER, J., BARTHEL, R. und JAGELKE, J. und BÁRDOSSY, A. (2008): The role and the particularities of groundwater recharge and baseflow in integrated models. *Surface Water–Groundwater Interactions: Process Understanding, Conceptualization and Modelling*. IAHS Publ. 321, S. 103-109.

WOLF, J., BARTHEL, R. und BRAUN, J. (2008): Modeling ground water flow in alluvial mountainous catchments on a watershed scale. - *Ground Water* Vol. 46, No. 5; S. 695-705 (doi: 10.1111/j.1745-6584.2008.00456.x).

1.5.2 **Veröffentlichungen in Zeitschriften, Buchbeiträge eingereicht bzw. im Druck**

BARTHEL, R., JANISCH, S., NICKEL, D. und TRIFKOVIC, A.: Using the Multiactor-Approach in GLOWA-Danube to Simulate Decisions for the Water Supply Sector under Conditions of Global Climate Change. – *Water Resources Management* (revised version submitted).

¹⁾ www.glowa-danube.de.

²⁾ <http://www.iws.uni-stuttgart.de/publikationen/ausgabe.php?forschung=180&projekt=1>.

TRIFKOVIC, A., BARTHEL R., BARDOSSY, A. und ROTT, U.: A Modelling Framework for the Integration of Economic, Environmental and Socio Objectives in Planning of Water Supply Systems. - Submitted to Journal of Water Resources Planning and Management.

BARTHEL, R., WOLF, J., JAGELKE, J., ROJANSCHI, V., MAUSER, W., GAISER, T. und BRAUN, J.: Großskalige Grundwasserströmungsmodelle als Bestandteil integrierter Flussgebietsmanagementsysteme am Beispiel Neckar und Obere Donau. - Hydrogeologie und Umwelt Heft 33, 26 S., 12 Abb., 6 Tabellen, Würzburg (im Druck).

1.5.3 Dissertationen

NICKEL, D.: Faktoren der Wasserpreisbildung im Einzugsgebiet der Oberen Donau (abgegeben) (Prof. Bardossy, Prof. Rott).

1.5.4 Diplomarbeiten

Derzeit sind drei Diplomarbeiten in Planung bzw. in Bearbeitung:

ZHANG, J.: Evaluation of Transfer Function Models to predict groundwater levels from climate data (mit Prof. Freckmann, Hochschule Karlsruhe, Prof. Bardossy).

HAHN, R.: Ableitung und Regionalisierung von Wasserqualitäts- und Vulnerabilitätsindizes (mit Prof. Freckmann, Hochschule Karlsruhe, Prof. Bardossy).

EISENSCHMIDT, K: Integration von Transferfunktionen für die Grundwasserneubildung in das gekoppelte Modellsystem DANUBIA (in Zusammenarbeit mit der TU München).

1.5.5 Master's Theses und Independent Studies von Stipendiaten (HCB)

Durch den Wegfall des Studentenjahrgangs 2007 gab es im Jahr 2008 bislang keine abgeschlossenen Arbeiten.

2. Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurden Ergebnisse in vier unterschiedlichen Projektbereichen erarbeitet:

1. Modellierungsergebnisse (Validierung, Szenarien),
2. Auswertung historischer Messdaten,
3. Integration,
4. Ergebnisse in der Diskussion mit *Stakeholdern* und externen Projektpartnern.

Im Folgenden werden die jeweiligen Ergebnisse vorgestellt, wobei die bislang erfolgte Trennung nach sektoralen und integrativen Arbeiten nicht weiterverfolgt wird, da eine sinnvolle und übersichtliche Entflechtung nach dieser Struktur nicht mehr machbar ist. Stattdessen wird nur noch nach den fünf o.g. Punkten unterschieden.

2.1 Modellierungsergebnisse

Im Laufe des Jahres 2008 wurden mit den von der Projektgruppe entwickelten Objekten zahlreiche Modellläufe durchgeführt. Da Modellläufe mit dem Gesamtmodell DANUBIA derzeit nicht möglich sind, wurden diese Modellläufe sektoral bzw. in verschiedenen gekoppelten Konstellationen durchgeführt. Tabelle 3 zeigt die derzeit möglichen Kopplungsvarianten in einer Übersicht und erläutert kurz die wesentlichen Rahmendaten.

Tab. 3: Übersicht über die zur Erzeugung von Szenarien- und Validierungsergebnissen verfügbaren Modellkonstellationen

ID	Kopplungs-Variante	Beteiligte Modelle	Erläuterung	Verwendung	Rechenzeit
1	MODFLOW*-PROMET	Modflow, PROMET	Ohne Verwendung von DANUBIA, Rückkopplung nur über Grundwasserstände und Grundwasserneubildung möglich. Nachteil: eingeschränkte Rückkopplung; Vorteil: Ausgabe von Abflüssen (zusätzliche Validierungsgröße), unabhängig von externen Berechnungen	Zur Anpassung des Grundwasserströmungsmodells, zur Erzeugung von Eingabedaten für <i>Watersupply</i> (ID5) und IWS-Components (ID3) - aufgrund der längeren Rechenzeit wird auf ID1 meist zugunsten von ID2 verzichtet	Ca. 10 Tage/ 50 Jahre
2	Groundwater-Flow	GroundwaterFlow	In der Danubia-Umgebung, <i>RiverLevel</i> und <i>GroundwaterRecharge</i> werden aus Dateien gelesen die vorab durch PROMET erzeugt wurden - keine Rückkopplung	Zur Anpassung des Grundwasserströmungsmodells, zur Erzeugung von Eingabedaten für <i>Watersupply</i> (ID5) und IWS-Components (ID3)	Ca. 2 Tage/ 50 Jahre
3	IWS-Components	GroundwaterFlow, GroundwaterTransport, WaterSupply	Alle Komponenten, die am IWS entwickelt werden. Daten von PROMET/NE (siehe ID4) sowie den Akteursmodellen vorgefertigt.	Sehr gutes Instrument zur Darstellung der Abhängigkeiten <i>Watersupply</i> -Natur, allerdings ohne Rückkopplung mit den Akteursmodellen	Ca. 2,5 Tage/ 50 Jahre
4	IWS-Components/NE	GroundwaterFlow, PROMET	Wie ID3 allerdings gekoppelt mit PROMET, das als eingebettete Java-Komponente <i>NaturalEnvironment</i> vorliegt	Vorerst nur zu Test- und Demonstrationszwecken. Dieser Verbund kann mit ID6 in Zukunft zu einem größeren Gesamtverbund ausgebaut werden.	Ca. 12 Tage/ 50 Jahre
5	WaterSupply	WaterSupply	Nur <i>WaterSupply</i> , Daten von <i>GroundwaterFlow</i> , und PROMET sowie den Akteursmodellen; keine Rückkopplung	Sehr schnell; zur Berechnung vieler Szenario-Varianten geeignet; Produktion von Daten für andere Akteursmodelle	Ca. 30-60min/ 50 Jahre
6	Actors-Assembly	GroundwaterFlow, GroundwaterTransport, WaterSupply, Tourism, Economy, Demography, Household	Bislang größter Modellverbund der zentral in München läuft und durch die Gruppe Informatik betreut wird. Vorgefertigte Daten der Natur von PROMET wie ID3 und ID5 (siehe Kap. 2.4)	Gekoppelte Szenariosimulation mit Rückkopplungen Wasserangebot - Wasserverbrauch	Ca. 6-10 Tage/ 50 Jahre

2.2.1 Modellierungsergebnisse: Teilbereich Grundwasser - Übersicht

Für das Objekt *GroundwaterFlow* (basierend auf MODFLOW, McDONALD & HARBAUGH, 1988) wurde im Berichtszeitraum die Parametrisierung deutlich verbessert und an die geänderten Ausgaben der Partnermodelle angepasst. Dies war erforderlich, da die Grundwasserneubildung nun nicht mehr von der DANUBIA-Komponente *LandSurface*, sondern vom Modell PROMET stammt. Die Höhe der Neubildung aus der DANUBIA-Komponente und PROMET unterschieden sich beträchtlich. Leider erfolgt die Anpassung der Komponenten „Grundwasser“, „Oberflächengewässer“ und „Bodenwasserhaushalt“ seit einigen Jahren rein sektoral indem die Grundwasserkomponente den anderen Komponenten nachgeführt werden sobald diese sich ändern. Dies ist insofern unbefriedigend, als Strategien zur gemeinsamen Anpassung bereits in der Projektphase 1 und 2 konzipiert wurden, dann aber aufgrund der Umstellung von *LandSurface* auf PROMET und den Wegfall der Gruppe Willems/Kleeberg nicht mehr weiterverfolgt wurden. Es erscheint nicht mehr möglich, dass hier eine befriedigende integrative Kopplung innerhalb der Projektlaufzeit erzielt werden kann, da dies umfangreiche integrative Arbeiten erfordern würde. Es muss deshalb schon an dieser Stelle festgehalten werden, dass das Teilprojekt im Bereich der Grundwasserströmung wesentliche Ziele des Projekts nicht erreichen wird.

Für das Objekt *GroundwaterTransport* standen wie bisher keine Eingabedaten von anderen Projektgruppen zur Verfügung, so dass hier keine Ergebnisse gezeigt werden können. Wie bereits eingangs erwähnt, scheint es nicht mehr möglich im Bereich der Grundwasserqualität innerhalb der Projektlaufzeit integrierte Ergebnisse zu erzielen, da die maßgeblichen Komponenten bislang nicht getestet, viel weniger noch validiert werden können.

Es soll ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass die Modellierungsergebnisse des Objekts *GroundwaterFlow*, welches im Moment die einzige gekoppelt lauffähige Komponente des Objekts *Groundwater* darstellt, noch nicht in allen Bereichen zufriedenstellende Ergebnisse erzeugt, worauf in der Vorstellung der Validierungsergebnisse auch noch im Detail eingegangen wird. Hierzu werden gegenwärtig große Anstrengungen unternommen, die eine Anpassung der Modellparameter nach physikalischen Erkenntnissen basierend auf dem oben erläuterten Zonenkonzept beinhalten. Diese Anstrengungen werden v.a. auch gemeinsam mit den Landesbehörden unternommen, mit denen ein Erfahrungs- und Datenaustausch seit langem im Gange ist und in dieser Hinsicht auch konkretisiert wird (s. auch Bericht Teilprojekt Wasserwirtschaft LfU). Weiterhin gehen in die Anpassung und Validierung auch die Ergebnisse der Auswertung gemessener historischer Daten ein, die zu einem verbesserten Verständnis der physikalischen Zusammenhänge geführt haben (vgl. Kap. 2.3).

Insgesamt ist der Projektverlauf aus Sicht der Grundwasserkomponente unbefriedigend. Das Grundwassersystem ist im hydrologischen Kreislauf eine Komponente, die ein Endglied oder ein weit unten in der Kausalkette angesiedeltes Zwischenglied darstellt. Leider werden hierbei die langfristigen Speichereigenschaften der Grundwasserleiter (über Jahre, Jahrzehnte, Jahrtausende) häufig falsch eingeschätzt und unterbewertet. Das Grundwassersystem kann also nicht losgelöst von den hydrologischen Vorgängen der Atmosphäre, des Bodens, der ungesättigten Zone und der Oberflächengewässer sinnvoll betrachtet und modelliert werden. Strategiewechsel und Stand der Partnermodelle führten leider dazu, dass das Grundwasser innerhalb des Projekts GLOWA-Danube derzeit „in der Luft schwebt“ Gelungen ist dagegen die Anbindung der Komponenten *Groundwater* an die Akteursmodelle, was letztlich darauf zurückzuführen ist, dass das entscheidende Bindeglied, das Objekt *WaterSupply* im selben Hause erstellt wird.

2.2.2 Modellierungsergebnisse: Teilbereich Wasserversorgung - Übersicht

Die Arbeiten für den Teilbereich Wasserversorgung bzw. dem DANUBIA Objekt *WaterSupply* wurden im Abschlussbericht zur Phase II sehr ausführlich dargestellt. Im Jahr 2008

wurden die dort beschriebenen konzeptionellen Entwicklungen nur in engen Grenzen weitergeführt. Das Modell wird aus technischer Sicht als fertig gestellt betrachtet. Allerdings wurden zahlreiche strukturelle Anpassungen und Vereinfachungen der Steuerung der Abläufe vorgenommen, die die Bedienung und Anwendung des Modells enorm vereinfachen. Weiterhin werden die in der Projektphase 3 aufgenommenen Dialoge mit Stakeholdern dazu genutzt, die Modellannahmen weiter zu verbessern und die Möglichkeiten des Modells an die Anforderungen aus der Praxis anzupassen.

2.2.3 Validierung

Im Zusammenhang mit der Anpassung des Grundwasserströmungsmodells an PROMET, wurde das Konzept zur Modellauswertung und Validierung umgestellt. Es wird nunmehr grundsätzlich nur „zonenweise“ ausgewertet. Eine Zone ist ein im Mittel 200km² großer Bereich, der durch einen Abflusspegel und die Zugehörigkeit zu einem der vier maßgeblichen Grundwassersysteme definiert ist. 405 Zonen wurden für das EZG der Oberen Donau festgelegt. Eine ausführliche Beschreibung des zugrundeliegenden Konzeptes gibt der Abschlussbericht der Projektphase 2. Die folgende Beschreibung begründet das Prinzip von Auswertung und Validierung über Zonen und erläutert das Vorgehen:

- Die Validierung des Grundwasserströmungsmodells erfolgt über den Vergleich von gemessenen und gerechneten Grundwasserständen für die Referenzperiode 1960 bis 2006.
- Im Modellgebiet liegen ca. 2500 Grundwassermessstellen vor, die aber nicht immer den o.g. Zeitraum abdecken und teilweise extrem durch anthropogene Eingriffe beeinflusst sind.
- Die Validierung für einzelne Proxel (Modellzelle) und Grundwassermessstellen ist extrem zeitaufwändig und gleichzeitig methodisch schwierig, deshalb wird die Validierung über sogenannte „Zonen“ durchgeführt.
- Eine Zone ist ein Bereich von mehreren Proxeln (i.M. 200), die zum gleichen Oberflächeneinzugsgebiet und zum gleichen Aquifer gehören. Es werden 405 Zonen unterschieden.
- Für eine Zone wird ein einheitliches Verhalten gegenüber Änderungen der Randbedingungen angenommen.
- Die Bewertung und Weitergabe von Informationen an die Akteurmodelle erfolgt über diese Zonen.

Die beiden letztgenannten Punkte sind ein sehr schlagkräftiges Argument für die Betrachtung von Zonen gegenüber einer Betrachtung von einzelnen Proxeln. Auch zeigt sich, in Gesprächen mit Fachleuten und Stakeholdern, dass eine hohe Akzeptanz besteht und den Zonenwerten eine größere Vertrauenswürdigkeit zugemessen wird.

Abbildung 1 zeigt das Prinzip der Validierung über Zonen. Zunächst wird für jede Zone (wo möglich) eine repräsentative Zeitreihe aus den innerhalb der Zone gelegenen Messstellen berechnet. Hierzu müssen die Messwerte zunächst bearbeitet werden. Deutlich anthropogen beeinflusste Messstellen werden entfernt, Messstellen mit nicht einwandfrei zuordenbarer Entnahmetiefe (Aquifer) werden nicht verwendet. Dann wird aus den Messstellen, die nach der Filterung übrig bleiben, der Mittelwert und der Range gebildet. Bei der Validierung wird nun geprüft, ob der für die Zone berechnete Mittelwert aller Zellen dieser Zone:

- a) mit dem Mittelwert der gemessenen Werte übereinstimmt,
- b) sich die berechneten Werte in dem durch den Range definierten Bereich befinden.

Nicht für alle Zonen liegen Messwerte vor. Für solche Zonen werden nach einem abgestuften Verfahren Messstellen benachbarter oder ähnlicher Zonen herangezogen. Bei benachbarten Zonen gleichen Typs werden die Messwerte direkt übertragen. Liegen keine Messstellen in benachbarten Zonen vor bzw. sind diese alle anderen Typs, so werden über einen Clustering-Algorithmus eine oder mehrere sehr ähnliche Zonen ermittelt.

Legende

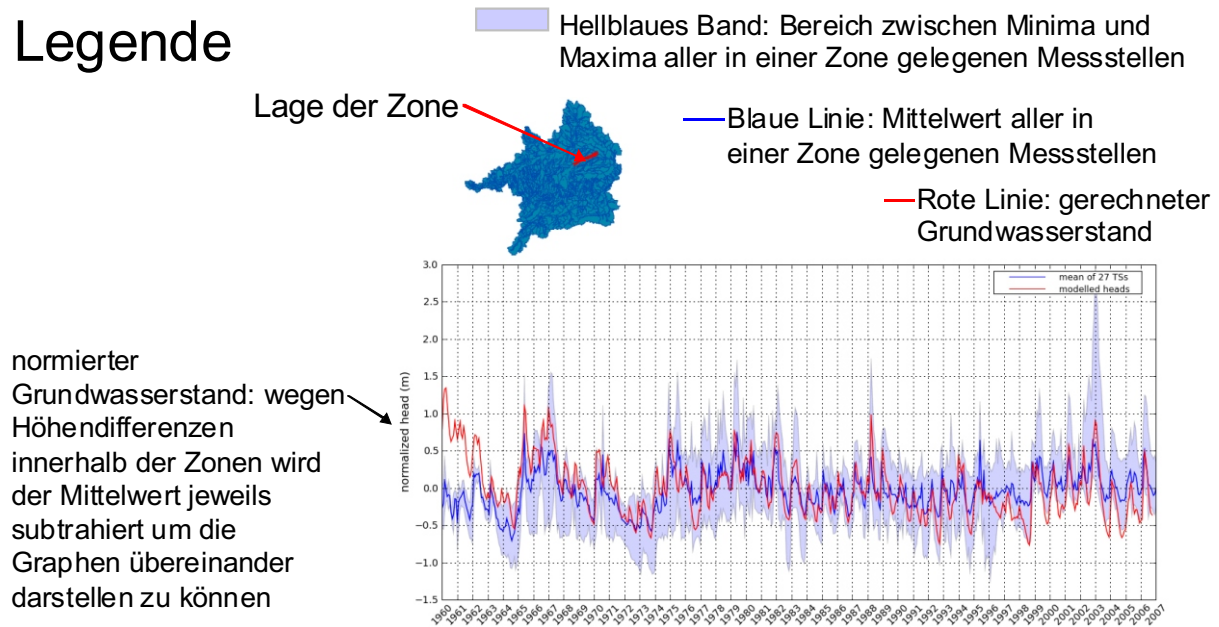


Abb. 1: Beispielhafte Darstellung und Erläuterung des Prinzips der Validierung über Zonen

Abbildung 2 und 3 zeigen Validierungsergebnisse für verschiedene Zonen, wobei in Abbildung 2 eine Auswahl sehr guter Ergebnisse in Abbildung 3 eine Auswahl extrem schlechter Ergebnisse, gezeigt ist. Gute Anpassungen befinden sich meist in quartären Aquiferen, während Schlechte im Tertiär und im Malmkarst gehäuft sind. Grundsätzlich sind Werte dann besonders schlecht, wenn langfristige Änderungen nicht korrekt erfasst werden (d), während Abweichungen in den Amplituden (Dynamik) bei gleichzeitig gut erfassten mittel- und längerwelligen Veränderungen als im Hinblick auf die Projektziele (regionaler Global Change) unbedenklich sind (Abb. 3d).



Abb. 2: Validierungsergebnisse für ausgewählte Zonen - gute Anpassungen

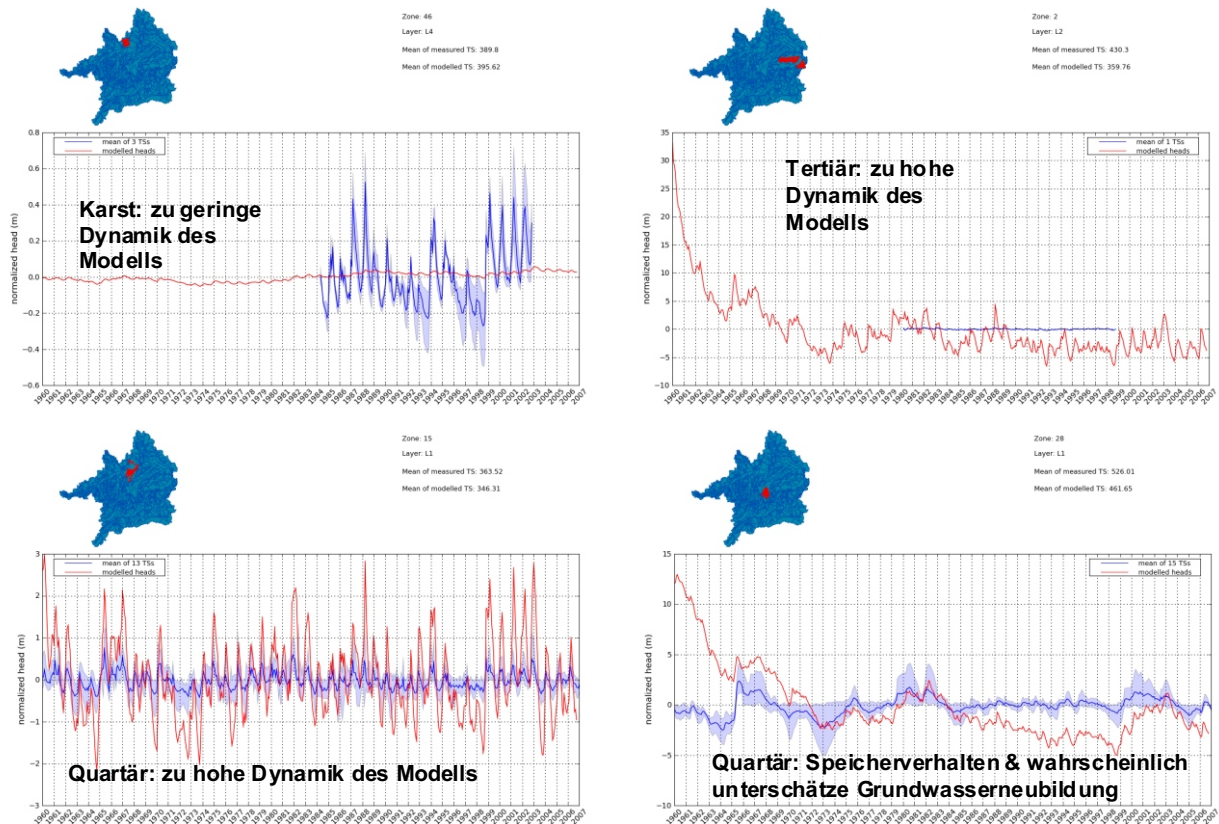


Abb. 3: Validierungsergebnisse für ausgewählte Zonen - schlechte Anpassungen mit Angaben zur möglichen Ursache - weitere Erläuterungen im Text

In Abbildung 4 werden Validierungsergebnisse für eine ausgewählte Zone (ID 45) vorgestellt, die an der Isar liegt und den quartären Anteil des Einzugsgebiets des Pegels Plattling umfasst (vgl. Abb. 5). Die Ergebnisse für diese Zone sind sehr gut im Sinne der oben erläuterten Ziele der Validierung. Die Zone wird im Weiteren auch verwendet, um die Ergebnisse von Szenariensimulationen vorzustellen.

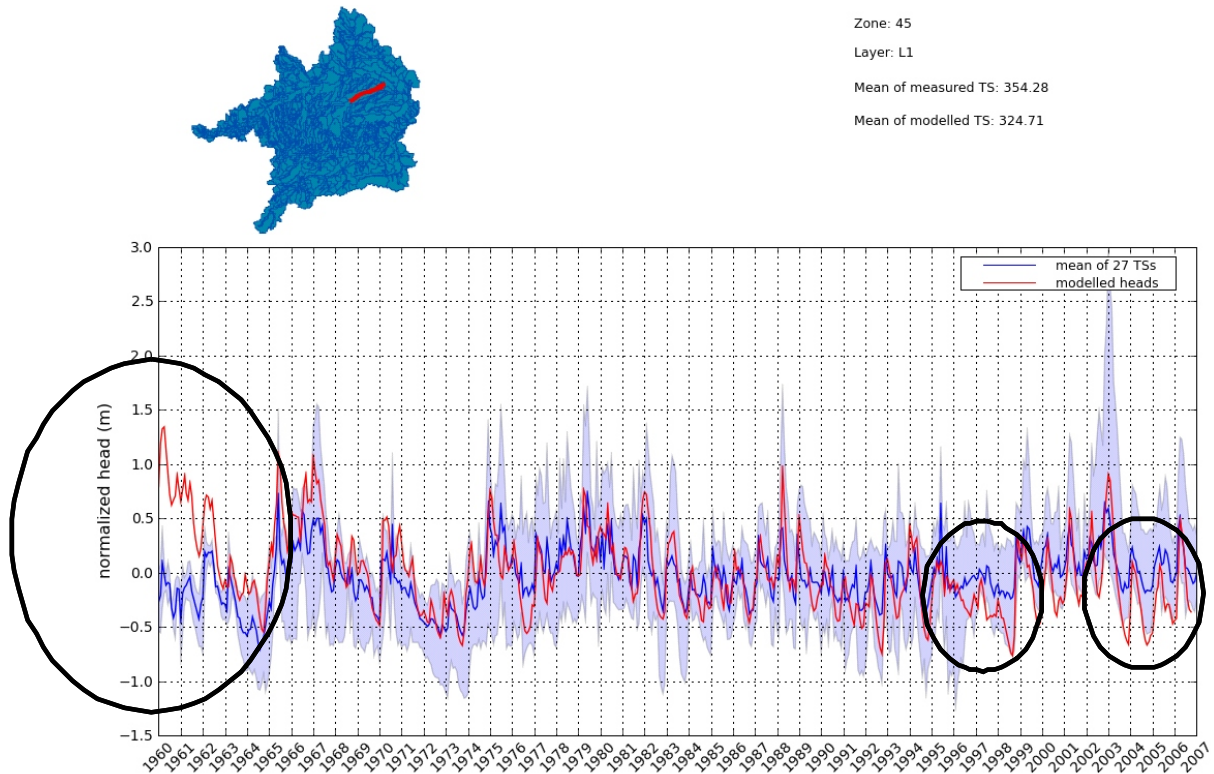


Abb. 4: Validierungsergebnisse für die Zone 45 für den Referenzzeitraum 1960 bis 2006. (Legende vgl. auch Abbildung 1. Bei weitgehend sehr guter Anpassung fallen auf: Einschwingphase des Modells in den ersten Jahren der Simulation, Unterschätzung der Grundwasserstände gegen Ende des Referenzzeitraums)

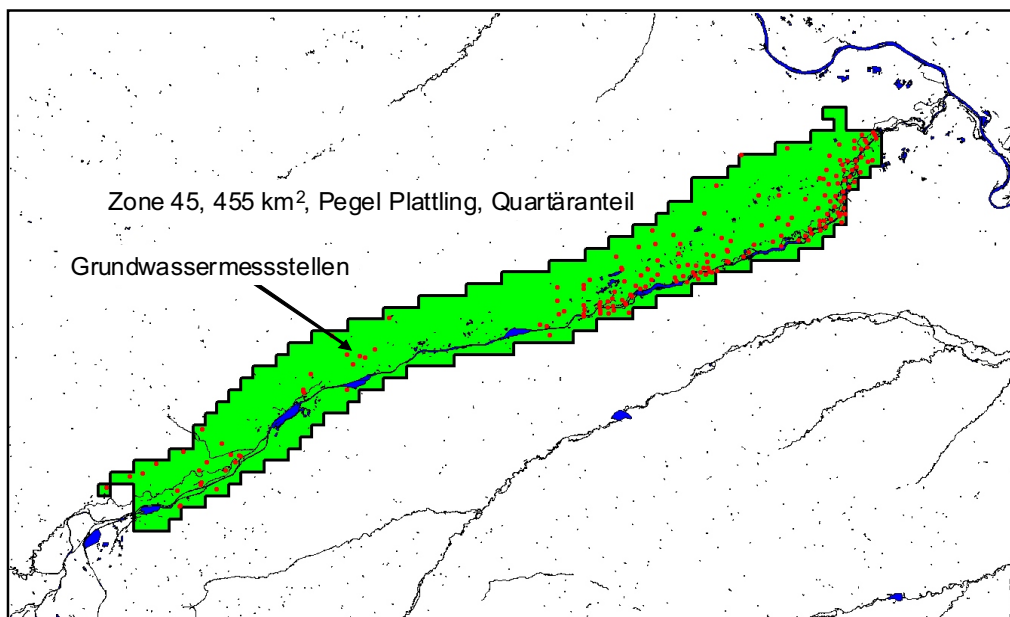


Abb. 5: Lage und Charakteristika der Zone 45 an der Isar, quartärer Anteil des Einzugsgebietes des Pegels Plattling. Die Zone umfasst eine sehr hohe Zahl von Grundwassermessstellen, die aber aufgrund der starken anthropogenen Einflüsse (Stauhaltungen, Kiesabbau) nur teilweise für die Validierung herangezogen werden können

2.2.4 Szenarien

Auf den GLOWA-Klausurtagungen im Jahr 2008 wurde eine intensive Diskussion über die im Projekt zu verwendenden Szenarien geführt, die letztlich ab Oktober 2008 zu einer klaren Festlegung führte und die so auch mit den Stakeholdern diskutiert wurde. Ein GLOWA-Danube-Szenario besteht damit aus einer Kombination von Klimaszenarien und Gesellschaftlichen Megatrends (GMT), wobei ein Klimaszenario durch einen Klimatrend (KT) und eine Klimavariante (KV) definiert ist. Die Klimaszenarien wurden federführend durch die Projektgruppe Hydrologie/Fernerkundung, die gesellschaftlichen Megatrends durch die Projektgruppe Umweltpsychologie (Ernst) erarbeitet. Eine Beschreibung erfolgt durch diese beiden Gruppen bzw. in bislang internen Veröffentlichungen sowie im GLOWA-Danuba Atlas.

Klima- und gesellschaftspolitische Szenarien wurden verwendet, um in verschiedensten Kopplungskonfigurationen Simulationen mit den durch die Projektgruppe erstellen Modellen durchzuführen (vgl. Tab. 3). Abbildung 6 zeigt zunächst eine Übersicht der wesentlichen Eingangsdaten Temperatur und Niederschlag, welche die Simulationen antreiben. Die Grafik zeigt die Bandbreite der Szenariendaten sowie auch den Verlauf der Vergangenheit. Alle Datensätze wurden von der Gruppe Hydrologie/Fernerkundung mit PROMET prozessiert und bereitgestellt.

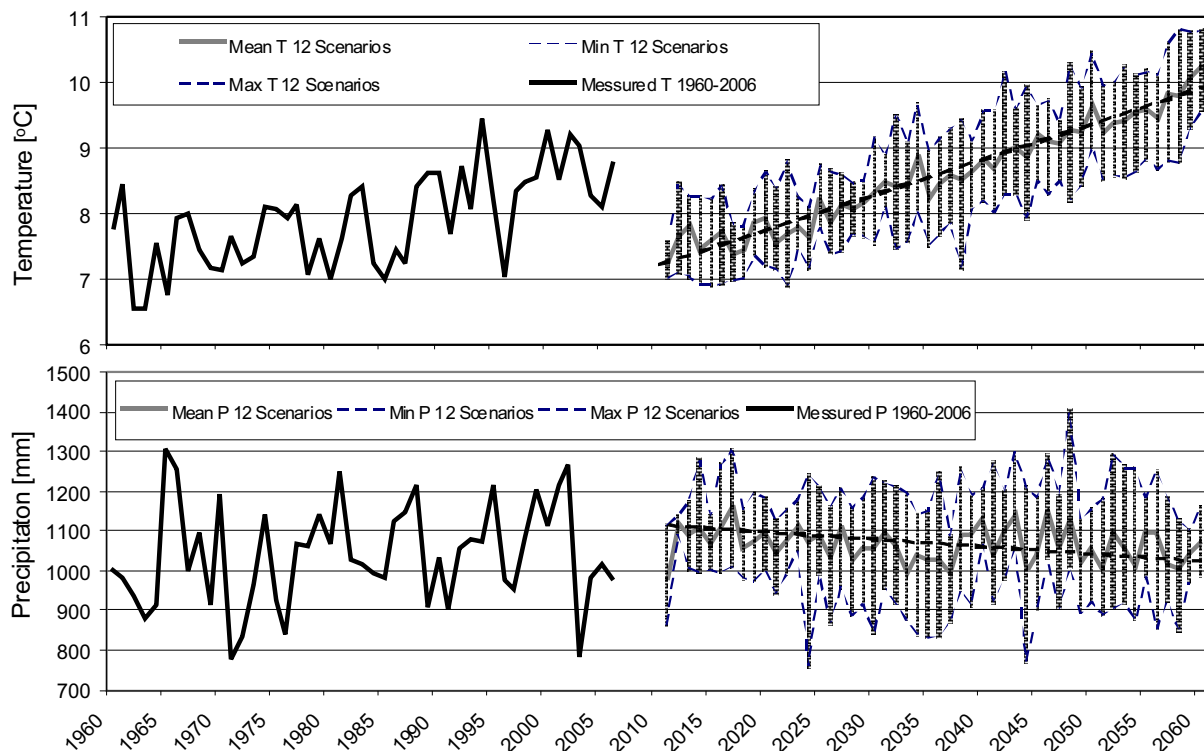


Abb. 6: Eingangsdaten (Klima) für die im Weiteren vorgestellten Szenarienrechnungen. Gezeigt werden Mittelwert und Range von 12 Klimaszenarien. Die hier gezeigten Ergebnisse beruhen auf Klimaszenarien, wie sie im Oktober 2008 durch die Projektgruppe Hydrologie/Fernerkundung bereitgestellt wurden und sind damit nicht als endgültig und aktuell anzusehen. Niederschlag - engl. Precipitation (P), Temperatur T

Abbildung 7 zeigt jeweils Mittelwert und Ranges der aus den Klimadaten (Abb. 6) erzeugten Grundwasserneubildungen (PROMET) und Grundwasserstände (*GroundwaterFlow*). Die trockenen und warmen Szenarien bedingen grundsätzlich eine Abnahme der Grundwasserneubildung und einen teilweise deutlichen Rückgang der Grundwasserstände.

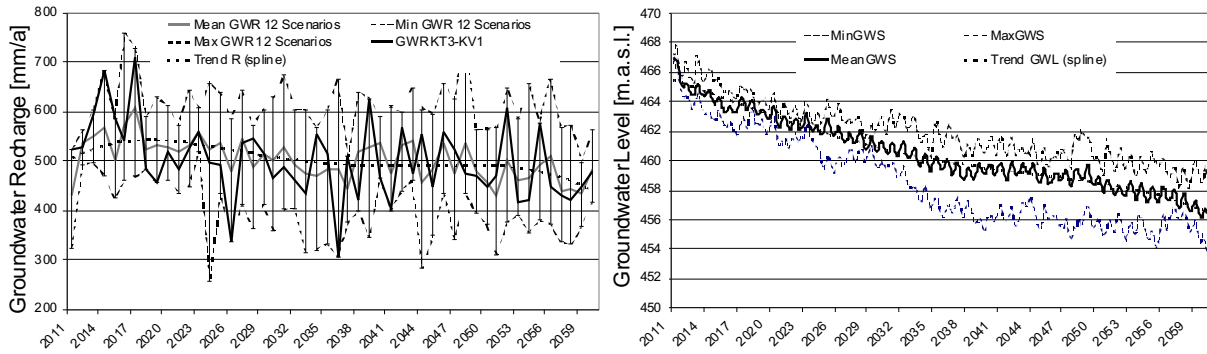


Abb. 7: Grundwassererneuerung und Grundwasserstände (jeweils Mittelwerte über das ganze Modellgebiete) für die im Weiteren vorgestellten Szenarienrechnungen. Gezeigt werden Mittelwert und Range von 12 Klimaszenarien

Abbildung 8 zeigt für die bereits erwähnte Zone 45 (vgl. Abb. 4 und 5) die Entwicklung der für die Bewertung des Grundwasserzustands wesentlichen Größen Grundwassererneuerung *InExfiltration* (Basisabfluss i.w.S.) und Grundwasserstände für vier verschiedene Klimaszenarien. Auffallend ist der durchwegs negative Trend maßgeblichen Größen, der zu einer Verschlechterung der Bewertung führt (s. Abb. 9).

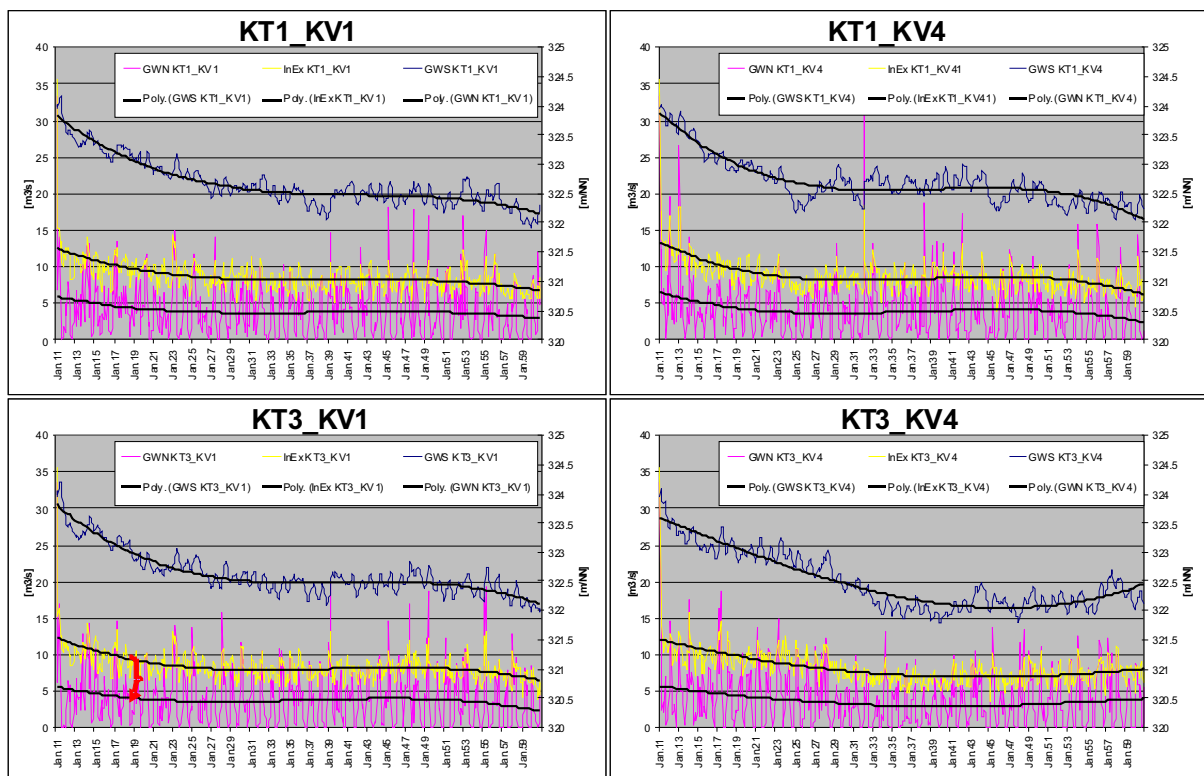


Abb. 8: Zone 45: Ergebnisse der Szenarienrechnungen, Übersicht der relevanten Größen Grundwassererneuerung (GWN), Grundwasserstand (GWS) und InExfiltration bzw. Basisabfluss (InEx). KT: Klimatrend, KV: Klimavariante

Abbildung 9 zeigt ausgewählte Szenarienergebnisse für die Zone 45 (vgl. Abb. 4 und 5) im oberen Teil die Grundwassererneuerung und die Grundwasserstände als Grundlagen für die Bewertung des Grundwasserzustands in dieser Zone sowie im unteren Teil die Abweichungen dieser Werte von dem langjährigen Mittel der Referenzperiode 1960-2006 und die daraus resultierende Bewertungszahl (*groundwaterQuantityFlag*). Diese Bewertungszahl wird an das Modell *WaterSupply* weitergegeben und dort für die Berechnung von Entnahmen und Festlegung der durchzuführenden Pläne verwendet.

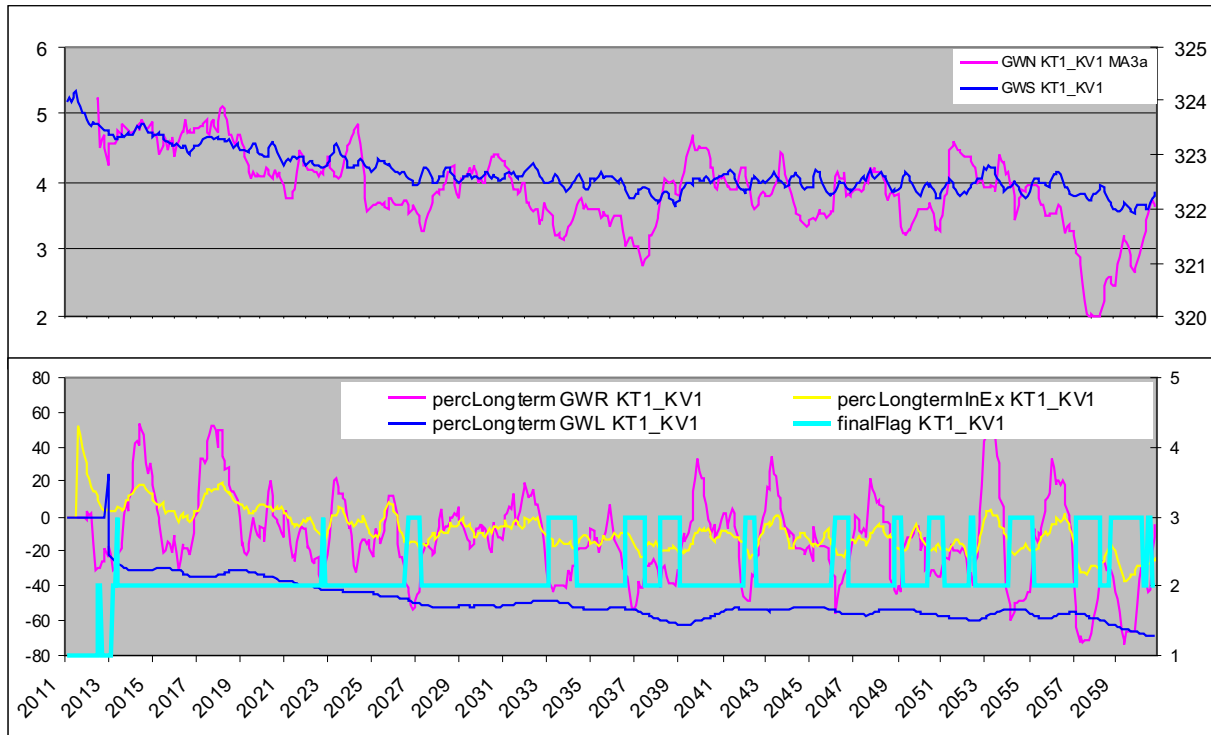


Abb. 9: Ausgewählte Szenarienergebnisse für die Zone 45 (vgl. Abb. 4 und 5). Einheiten: Obere Abbildung, linke Y-Achse = Grundwasserneubildung (GWN) [m³/s], rechte Y-Achse Grundwasserstand (GWS) [m/NN], untere Abbildung: linke Y-Achse Abweichung vom langjährigen Mittel [%], rechte Y-Achse: Flaggenwert []

Die in den Abbildungen 6 bis 9 gezeigten, durch die Klimaszenarien angetriebenen Entwicklungen zeigen deutliche Auswirkungen im Wasserversorgungsmodell und letztlich auch für die anderen angeschlossenen Akteursmodelle. Für die Akteursmodelle sind allerdings neben den Klimaszenarien (Trends und Varianten) auch die Annahmen der jeweiligen Gesellschaftlichen Megatrends (s.o. bzw. Bericht der Projektgruppe Umweltpsychologie) bedeutsam. Hier werden derzeit drei Trends unterschieden GMT1: „Baseline“, GMT2: „Liberalisierung“, GMT3: „Nachhaltigkeit“. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass GMT2 und 3 Extreme des Verhaltens darstellen, während „Baseline“ etwa in der Mitte liegt und ein Verhalten der Akteure kennzeichnet, wie es in der Gegenwart angenommen werden kann.

Abbildung 10 zeigt zunächst die Konsequenzen der unterschiedlichen gesellschaftspolitischen Annahmen für die Bewertung der eigenen Versorgungssituation (*drinkingWaterQuantityFlag*) der Wasserversorgungsakteure. Die *drinkingWaterQuantityFlags* werden von *WaterSupply* auf Basis der Zustandsbewertung der Grundwasserressourcen (*groundwaterQuantityFlags*) berechnet und an die Akteure des *Household-Modells* weitergegeben. Die Unterschiede zwischen den verschiedenen GMTs sind deutlich: im extremen GMT1 wird eine Verschlechterung der Ressourcen von den Wasserversorgungsakteuren weitgehend ignoriert und den Verbrauchern nicht mitgeteilt. Hingegen reagieren die Akteure im Nachhaltigkeitsszenario GMT3 sehr sensitiv auf die Verschlechterung der Ressourcen und geben diese Informationen in vollem Umfang an die Verbraucher weiter, wobei die Flaggenwerte >2 als Warnungen bzw. Restriktionen zu interpretieren sind.

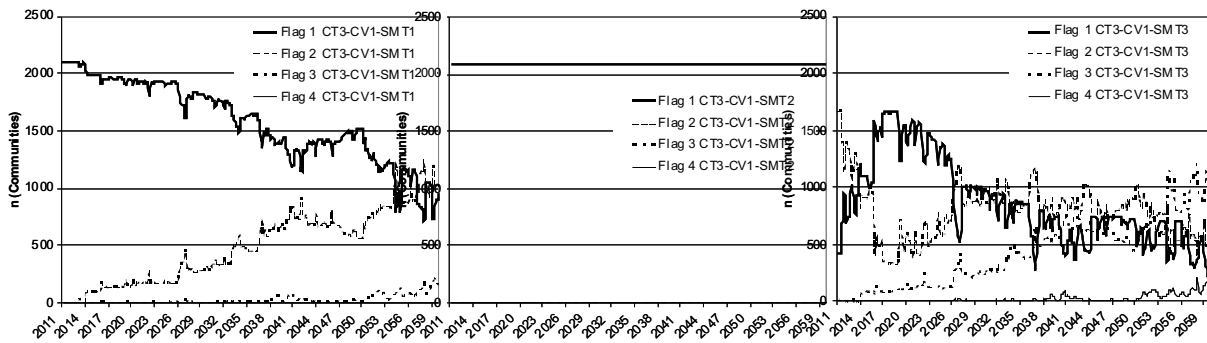


Abb. 10: *drinkingWaterQuantityFlags* die von *WaterSupply* berechnet und an das Household-Modell weitergegeben werden (C: engl. „Climate“ - CT=KT=Klima-Trend; CV=KV=Klima-Variante) und die beiden extremen gesellschaftlichen Megatrends (S: engl. „Social“ - SMT=GMT=Gesellschaftlicher Megatrend)

Abbildung 11 zeigt die Reaktionen der verbrauchenden Akteure auf diese Flaggenwerte anhand von zwei ausgewählten Szenarien. Es ist erkennbar, dass der Wasserbedarf und letztlich auch die Entnahmen im Liberalisierungsszenario weniger stark zurück gehen als im Nachhaltigkeitsszenario, wo generell ein bewussterer Umgang mit den Ressourcen angenommen wird.

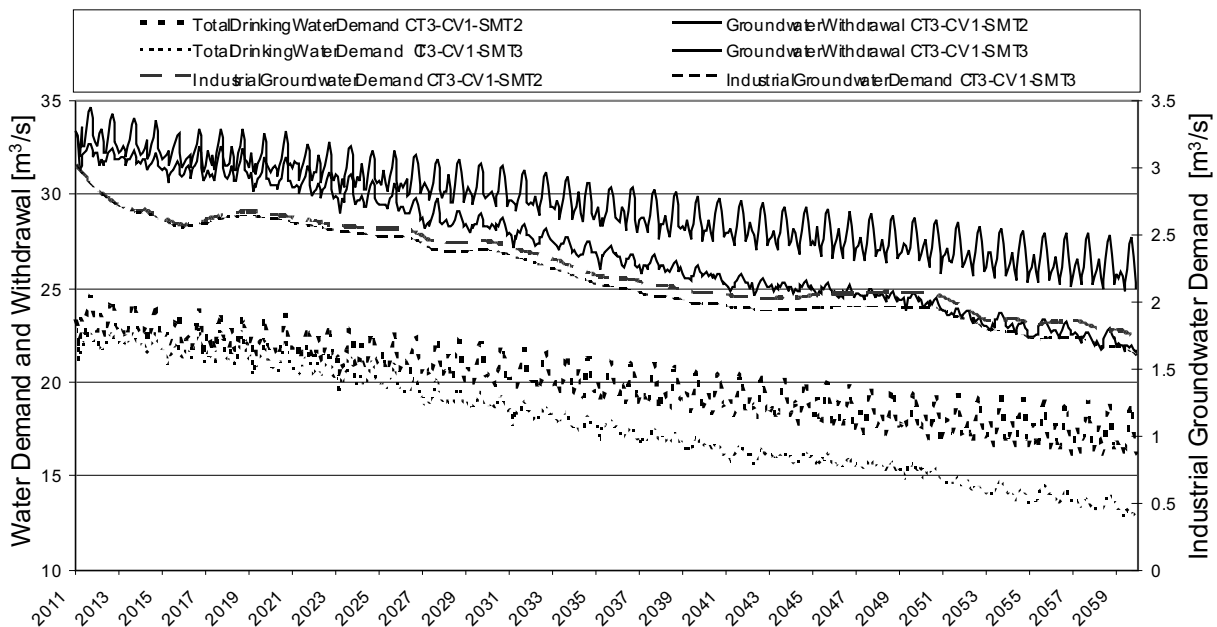


Abb. 11: Wasserbedarf und Entnahmen für ein Klimaszenario (Erläuterungen zur Legende s. Unterschrift Abb. 10)

Die in den vorausgegangenen Abbildungen gezeigten Ergebnisse sollten als Beispiel der Funktionalität, nicht aber als Endergebnisse aufgefasst werden. Zum Einen sind die Szenarien noch nicht abschließend definiert, zum Anderen besteht derzeit noch Anpassungs- und Abstimmungsbedarf innerhalb der Modelle und für ihre Interaktion.

2.2.5 Auswerte- und Visualisierungstools

Der enorme Umfang von Ergebnisdaten aus den langjährigen instationären Modellläufen (50 Jahre, bis 20 GB pro Lauf) erlaubt eine detaillierte Auswertung ausschließlich durch den Einsatz von sehr spezifischen, leistungsfähigen Auswertetools, die eine Aufbereitung, Gruppierung und Visualisierung der Ausgaben für die interessierenden Teilbereiche und Modellzellen erlaubt. Hierzu wurden die in den vergangenen Jahren bereits entwickelten Tools weiterentwickelt, angepasst und neue Funktionalitäten hinzugefügt, so dass eine umfassende Auswertung möglich wird.

Eine wesentliche Neuerung im Auswertekonzept ist die Umstellung der Betrachtung von Einzelproxeeln auf Zonen (s.o.), die auch in der Kopplungsstrategie und in der Validierung zum Einsatz kommt. Es ist nun möglich, Zonenergebnisse einfach und übersichtlich zu präsentieren und auszuwerten.

2.3 *Auswertung historischer Messdaten*

Die im Jahresbereich 2007 bereits erläuterte Auswertung der historischen Messdaten wurde inzwischen deutlich vorangetrieben, insbesondere im Hinblick auf die Vervollständigung und Homogenisierung der Datenbasis. Inzwischen liegen die Daten zu den Grundwassermessständen und zur Grundwasserqualität für Bayern und Baden-Württemberg sowie für Österreich komplett vor. Die Daten sind in eine Datenbank (Access) integriert und in ein GIS eingebunden. Parallel wurden Daten zum Klima sowie Mengen- und Qualitätsdaten aus Oberflächengewässer beschafft und in die DB integriert. Sekundärdaten (Böden, Landnutzung, Hydrogeologie...) wurden aufbereitet und stehen für die Analyse zur Verfügung.

Die Ergebnisse dieser Arbeiten werden derzeit, soweit sie bereits vorliegen, verwendet um die Modell-Parametrisierung des Grundwasserströmungsmodells weiter zu verbessern. Weiterhin werden, da die Modellierung der Wasserqualität im DANUBIA-Verbund nicht voran kommt, die Qualitätsindizes aus den gemessenen Daten erstellt und über empirische Annahmen in die Szenarienrechnungen eingespeist. Diese Arbeiten dauern aber an, so dass hier über Ergebnisse noch nicht berichtet werden kann.

2.4 *Integration*

Auf der Klausurtagung im Frühjahr 2008 wurde der Teilprojektleiter Dr. R. Barthel zum „Integrationsbeauftragten“ bestimmt, der die Arbeiten zur Zusammenführung der Modelle, der Durchführung integrativer Szenarienrechnungen und deren Be- und Auswertung koordinieren soll. De facto wurde diese Funktion von Herrn Dr. Barthel bereits früher, allerdings mit Schwerpunkt auf die Akteursgruppen wahrgenommen. Herr Dr. Barthel ist auch in der Projektleitungsgruppe für den Bereich Integration zuständig. Im Rahmen dieser Aufgabe wurden folgende Koordinationstätigkeiten durchgeführt:

- Aufstellung und Aktualisierung eines Integrationsfahrplans, der die zur Integration der Modellkomponenten erforderlichen Schritte beschreibt und ihren Fortschritt dokumentiert (vgl. Abb. 12 und 13).
- Kontrolle des Stands der Modellentwicklung: Der Integrationsplan erfordert die regelmäßige Abfrage des Standes der einzelnen Komponenten und auch die Aufforderung zu Anpassungen, bilateraler Kommunikation etc.
- Schnittstellenaktualisierung: Ein wesentlicher Aspekt der Kopplung der Modelle in DANUBIA sind die Austauschparameter, die über die Modellschnittstellen bereitgestellt und gelesen werden. Änderungen an den Modellen technischer und inhaltlicher Art führen zwangsläufig zu Schnittstellenänderungen, die häufig mehrere Teilprojekte und Modelle betreffen. Es hat sich gezeigt, dass einfache bilaterale Absprachen hier ohne zentrale Koordination zu Probleme führen.
- Konzeption, Planung von gemeinsamen Modellläufen (technisch, inhaltlich). Hier ist insbesondere die Kopplung innerhalb der so genannten *Actors-Assembly* zu nennen, die eine Kopplung der Komponenten *GroundwaterFlow*, *GroundwaterTransport*, *WaterSupply*, *Tourism*, *Household*, *Economy* und *Demography* bezeichnet (s. auch Tab. 3). Diese Modelle werden durch vorab erstellte Ausgaben von PROMET mit naturwissenschaftlichen Eingaben (Klima, Abfluss, Bodenfeuchte etc.) bedient.

- Erstellung von Dummies für die *Actors-Assembly*: Um die *Actors-Assembly* mit Daten zu bedienen, müssen die Schnittstellen über sogenannte Dummies der nicht beteiligten Komponenten (*LandSurface, RiverNetwork, Atmosphere, Farming*) bedient werden. Diese Dummies wurden durch die Projektgruppe konzipiert und erstellt.
- Anleitung der Technikgruppe: Die Modellläufe der *Actors-Assembly* werden durch die Mitglieder der Gruppe Informatik und Koordination technisch betreut und bedient. Da diese inhaltlich die Modellkomponenten nicht kennen und auch nicht im Einzelnen die Ziele der Simulationen, müssen hier Vorgaben bzgl. der Randbedingungen der Simulation und der zu verwendenden Daten gemacht werden. Hier sind auch technische Vorgaben zu nennen, z.B. die Benennung und Organisation von Szenariensimulationen und deren Ergebnisse.
- Betreuung der Komponente *Actor*: Anpassung und Pflege des *ActorControllers* (wie bereits in den Vorjahren beschrieben).

Lage	technisch und inhaltlich mit Partnern III getestet	fertig / eingeeckelt	technisch fertig, kleinere inhaltliche Probleme	machbar, mittlere Zeitaufwand	nicht fertig, schwerwiegend, zeitaufwändig	kein Status bekannt / keine Voraussetzung						
Grundvoraussetzungen für alle Varianten	0.1 Abgabesystem	0.1 Aufkopplung der Schnittstellen	0.3 Klimaszenarien (mit files 3*)	0.3 GLOWA-Danube-Szenarien	0.4 Doku / Report Klimaszenarien / Verifizierung							
1 Minimal	1.1.1 Deep Household 2.0	1.1.1 Deep WaterSupply 2.0	1.1.1 Deep Tourism 2.0	1.1.1 Deep Economy 2.0	1.1.1 Deep Demography 2.0	1.1.1 Antihab Promet RAS-files 3 Szenarien	1.1.1 Watersupply LieferFlags	1.1.2 RWQFlag	1.1.3 RFoodFlag	1.2.1 Koordination, Technik, Hardware		
2 Intermidiär	2.1.1 alle Bausteine Variante 1	2.1.1 Natural Environment 2.0	2.1.2 Groundwater 2.0	2.1.2 Groundwater Flow 2.0	2.2.1 Deep Farming 2.0	2.2.2 Bewässerung Farming-Promet	2.2.2 Bewässerung Groundwater	2.2.2 Bewässerung Watsupply	2.2.2 Promet Wald	2.2.2 Abstimmung Farming Promet	2.3.1 Biological 2.0 UND SNT 2.0	2.3.2 Biological 2.0 mit Wald
3 Maximal	3.1.1 Groundwater Transport 2.0	3.2.1 GW QualityFlag	3.2.1 DW QualityFlag	3.3.3 RiverWater Model	3.3.3 RW Quality Flags		3.x.x CLUSTER					
4 DANUBIA	4.1.1 Sol 2.0 (*1.1 Promet)	4.1.1 *RadiationBalance 2.0	4.1.1 *Surface 2.0	4.1.1 *Snow 2.0	*Technik							

Abb. 12: Integrationsplaner, Stand 16.03.2009

Variante	Grundsätzlich: Jede Variante bezieht alle Varianten mit niedrigerer Nummerierung mit ein; für einen umfassenden Szenarienworkshop (geplant: Oktober?) ist mindestens 2.3 anzustreben, einladen kann man wenn 2.2 durchgerechnet	Kommentare (02.06.2008)
Minimale Varianten "1.x.x"	Akteursmodelle außer Farming laufen unter Verwendung von Daten die von Promet/Groundwater (=NE) vorab berechnet wurden, kein Biological, kein SNT, kein GroundwaterTransport	
Minimale Varianten 1.1.x	jedes Akteursmodell läuft einzeln, offline	geht derzeit noch nicht: ras-files werden erst zum 15.07. vorliegen; Water supply kann flags noch nicht liefern (hängt ab von Groundwater)
Minimal 1.1.1	ohne RiverFoodFlag und ohne RiverWaterQuantityFlag	
Minimal 1.1.2	ohne RiverFoodFlag mit RiverWaterQuantityFlag	
Minimal 1.1.3	mit RiverFoodFlag und RiverWaterQuantityFlag	
Minimale Varianten 1.2.x	alle Akteursmodelle gekoppelt; erfordert technische Koordination & Betreuung und passende Hardware (abhängig von Anforderungen CPU, RAM)	
Minimal 1.2.1	keine weitere Aufschlüsselung	
Intermediäre Varianten "2.x.x"	NE-Environment läuft mit anderen Komponenten (mindestens Actors ohne Farming) gekoppelt; läuft aber ohne Verwendung der Qualitätsschiene: SNT, GroundwaterTransport, RiverQuality, QualityFlags; beinhaltet alles was unter Variante 1 maximal genannt wurde	
Intermediär 2.1.x	mit allen Actors außer Farming	
Intermediär 2.1.1	mit GroundwaterFlow gekoppelt mit Promet innerhalb von NE	
Intermediär 2.1.2	mit GroundwaterFlow als DANUBIA-Komponente außerhalb von NE	
Intermediär 2.2.x	mit allen Actors und Farming aber ohne Biological	nicht realisierbar nach Auskunft von Farming
Intermediär 2.2.1	ohne Bewässerung	wird verschoben nach 2.3.x
Intermediär 2.2.2	mit Bewässerung	wird verschoben nach 2.3.x
Intermediär 2.2.3	mit Wald von Promet	
Intermediär 2.3.x	mit allen Actors und Farming und Biological und SNT	
Intermediär 2.3.1	Biological ohne Wald	
Intermediär 2.3.2	Biological mit Wald	
Maximale Varianten "3.x.x"	Alle Modelle gekoppelt wie im Vorschlag des Technikteams vom 18.10.2007 vorgesehen	
Maximal 3.1.x	mit GroundwaterTransport	
Maximal 3.1.1	keine weitere Aufschlüsselung	
Maximal 3.2.x	mit GroundwaterQuality und DrinkingWaterQualityFlag	
Maximal 3.2.1	keine weitere Aufschlüsselung	
Maximal 3.3.x	mit RiverWaterQuality und RiverWaterQualityFlags	
Maximal 3.3.3	keine weitere Aufschlüsselung	
DANUBIA2.0 Variante 4.xx	Alle Komponenten in ihrer entsprechenden DANUBIA-Java Versionen (Landscape ...)	

Abb. 13: Erläuterung der Varianten im Integrationsplan (Abb. 12)

Die Durchführung der Aufgaben im Rahmen der Integration erfordert einen hohen Zeitaufwand. Leider sind die Ergebnisse bislang nicht durchweg befriedigend. Die *Actors-Assembly* ist technisch lauffähig und produziert technisch korrekte und inhaltlich weitgehend plausible Ergebnisse (vgl. Kap. 2.2.4). Leider konnten noch keine endgültigen Szenarienergebnisse erzielt werden, da zum Einen die Diskussion und Erstellung der erforderliche Klimaszenarien noch andauert, zum Anderen fehlt noch eine inhaltliche Abstimmung der Modelle aufeinander.

2.5 Stakeholderdiskurs

2.5.1 Stakeholderaktivitäten in Zusammenarbeit mit Koordination/IFOK

Der mit Beginn der Projektphase 3 durch die Beauftragung von IFOK mit der Organisation und Begleitung des Stakeholderdialogs erfreulich schnell und gewinnbringend in Gang gekommene Diskurs mit potentiellen Anwendern und Nutzern, war einer der wesentlichen Schwerpunkte im Berichtszeitraum. Die Projektgruppe war hier in vollem Umfang beteiligt, sowohl an den Rundgesprächen, den Szenarienworkshops selbst, als auch in der jeweiligen Vor- und Nachbereitung. Die Aktivitäten im Stakeholderprozess sind in vollem Umfang im Bericht des Teilprojekts Koordination dargestellt.

2.5.2 Kooperation mit dem bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU)

Seit dem Einstieg des LfU Bayern als Projektpartner, haben sich die schon immer intensiven Beziehungen zu dieser für das Projekt äußerst wichtigen Organisation weiterhin vertieft und verbessert. Bis dahin war das LfU vorwiegend als Datengeber beteiligt, inzwischen besteht darüber hinaus ein intensiver Dialog. Es ist allerdings auch zu erwähnen, dass auch die Datenbereitstellung seit dem Beitritt des LfU eine neue Qualität erreicht hat, ohne die viele Arbeiten im Bereich der Validierung (vgl. Kap. 2.2.3) und der Auswertung historischer Daten (vgl. Kap. 2.3) gar nicht möglich gewesen wären. Der Dialog mit der LfU ist dabei nicht unabhängig vom allgemeinen Stakeholderdiskurs zu sehen (vgl. Kap. 2.5.1). Vertreter des LfU waren bei allen Rundgespräche und Szenarienworkshops, die das Teilprojekt Grundwasser und Wasserversorgung betrafen, in großer Zahl beteiligt. Darüberhinaus war die Projektgruppe insgesamt dreimal in Hof vor Ort, um Modelle, Projektergebnisse vorzustellen und Diskussion über Modellannahmen zu führen. Übersichten über die Treffen mit Stakeholdern, an denen das Teilprojekt und Vertreter der LfU beteiligt waren, geben die Jahresberichte der Teilprojekte „Koordination“ und „Wasserwirtschaft/LfU“. Für die nächsten Monate ist ein direkter Austausch der Projektgruppe mit den relevanten Vertretern des LfU (i.w. Referate Klimawandel, Wasserversorgung, Grundwasser und Hydrologie) geplant. Zu diesem Zweck wurde dem LfU im März 2009 eine detaillierte Liste mit Fragen und Gesprächsthemen zugeleitet, die von Dr. Morscheid bereits den entsprechenden Ansprechpartnern vorgestellt wurden. Aus den bisherigen Gesprächen entsteht der Eindruck, dass beide Seiten, also das Teilprojekt Grundwasser und Wasserversorgung einerseits sowie die LfU andererseits, stark voneinander profitieren können und werden.

3. Gesamtausblick und weitere Vorgehensweise

Nach den personellen Schwierigkeiten im Jahr 2007, konnten im Jahr 2008 mit voller personeller Besetzung umfangreiche Arbeiten auf sektoraler und integrativer Ebene erfolgreich durchgeführt werden. Hier sind zunächst die Auswertungen der historischen Grundwasserdaten zu nennen, für die eine umfassende, sehr gut organisierte Datenbasis sowie geeignete Methoden zur Verfügung stehen. Diese Arbeiten werden im Jahr 2009 intensiviert und v.a. mit den Fachleuten der maßgeblichen Behörden (insbesondere LfU Bayern) diskutiert. Weiterhin werden im Jahr 2009 in großem Umfang Modellläufe zur Simulation von Szenarien

durchgeführt. Da die Diskussion und Entwicklung der Klima- und Gesellschaftspolitischen Szenarien inzwischen abgeschlossen ist, sind hier nun endlich auswertbare Szenarienergebnisse zu erwarten, die v.a. in der Stakeholderdiskussion wesentlich sind und in Veröffentlichungen eingehen können. Grundsätzlich werden Szenariensimulationen mit mehreren Varianten wohl nur mit einzelnen Modellen oder kleineren Modellverbänden zu realisieren sein. Bei einer Restlaufzeit von etwas mehr als einem Jahr erscheint es inzwischen als unwahrscheinlich, dass die für die Bereiche „(Grund-)wasserqualität“, „vollständig integrierte Modellierung (DANUBIA)“ und „gemeinsame Anpassung der Komponenten Grundwasser, Oberflächengewässer, Bodenwasserhaushalt“ gesetzten Ziele und Planungen wie geplant bearbeitet und zu den erwünschten Ergebnissen führen werden.

4. Literatur

McDONALD, M.G. und HARBAUGH, A.W. (1988): A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book 6, chap. A1, 586 S.

5. Danksagungen

Der Dank der Arbeitsgruppe für die Bereitstellung von Daten, einen intensiven Gedankenaustausch und andere Hilfestellungen gilt den Mitarbeitern folgender Firmen und Institutionen:

- Bayerische Vermessungsverwaltung
- Bayerisches Landesamt für Umwelt
- Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
- Bundesanstalt für Gewässerkunde
- Gewässerdirektion Donau/Bodensee, Bereich Ulm
- Ingenieurbüro Kobus und Partner (kup)
- Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Baden-Württemberg
- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
- Landesvermessungsamt Baden-Württemberg
- Landratsämter der Kreise Baden-Württembergs im Donaueinzugsgebiet
- Österreichisches Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft
- Österreichisches Umweltbundesamt
- ÖVGW - Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach.
- Schweizer Bundesamt für Wasser und Geologie
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg
- Zweckverband Landeswasserversorgung

Praxisrelevante Analyse der Modellierungen mit DANUBIA für die Wasserwirtschaft

Teilprojekt: Wasserwirtschaft
Leiter: Hr. LBD Hans Weber
Ausführende Stelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt
Ref. 81 Klimawandel, Klimafolgen und Wasserhaushalt
Hans Högn Str. 12, 95030 Hof

1. Organisation

1.1 Kurzbeschreibung des Teilprojektes

In der Projektphase III von GLOWA-Danube ist die Beteiligung von „*Stakeholdern*“ ein wichtiges Element. Durch die Einbeziehung relevanter Nutzer und Entscheidungsträger sollen praxisrelevante Szenarien für die ersten anwendungsbezogenen Modellläufe des Entscheidungs-Unterstützungssystems DANUBIA erarbeitet und das Einsatzspektrum und die Tauglichkeit des Systems für diverse Fragestellungen ausgelotet werden.

Das LfU stellt hierbei mit seinem breit gefächerten Fachpersonal einen wichtigen Kooperationspartner im Teilprojekt III dar. Dabei soll die Verwendbarkeit des Modellkomplexes, einzelner Modellierungen und Modellansätze oder der Ergebnisse der Szenarienrechnungen für die wasserwirtschaftliche Praxis eruiert werden. Zudem ist wasserwirtschaftliches Expertenwissen bei der Validierung und Bewertung von Modellteilen und Ergebnissen gefragt. Im Einzelnen werden folgende Erwartungen an die Projektbeteiligung des LfU geknüpft:

- Erhöhung von Praxisrelevanz und Akzeptanz des Gesamtprojekts
- Formulierung, Anreicherung und Bewertung der Szenarien aus Stakeholder-Sicht
- Diskussion und Absicherung der Modellannahmen und Ergebnisse des Projekts
- Prüfung und Bewertung der Anwendungsmöglichkeiten von DANUBIA in der Wasserwirtschaft
- Fachliche Wertung des Modellverbunds und der Ergebnisse (Akzeptanz und Belastbarkeit der Ergebnisse für die wasserwirtschaftliche Umsetzung)
- Herausfiltern und Einbinden potentiell betroffener Referate und Ansprechpartner und Vermittlung von Fachkontakten
- Auswertung verschiedener regionaler Klimaszenarien mit Fokus auf Extremereignisse (Niederschlagsextrema, Trockenperioden)
- Vergleich der Simulationsergebnisse verschiedener Szenarien zwischen DANUBIA und wasserwirtschaftlich genutzten Modellen (z.B. ASGi)

1.2 Personal

1.2.1 Wissenschaftler

Für die Durchführung des Projektvorhabens wurde die zugewiesene Personalstelle mit einem Wissenschaftler besetzt:

- Dr. Harald Morscheid; ab 01.10.2008, Wiss. Angest. TVL 13.

1.2.2 Wissenschaftliche Hilfskräfte

Entfällt

1.3 Anschaffungen

Zur Unterstützung der Gruppen- und *Stakeholder*arbeiten sowie zur Arbeitsflexibilisierung wurde ein Laptop angeschafft.

1.4 Veranstaltungen / Aktivitäten

Der Projektbearbeiter der Gruppe Wasserwirtschaft/LfU hat im Rahmen von GLOWA-Danube an folgenden Projekttreffen und Veranstaltungen teilgenommen:

- | | |
|-------------------|--|
| 01.-03.05.2008 | GLOWA-Danube-Klausurtagung Herrsching |
| • 29.05.2008 | Organisation und Durchführung einer Arbeitsgruppensitzung im Bereich Abflussmodellierung |
| • 05.06.2008 | <i>Stakeholder</i> veranstaltung im Bereich Wasserwirtschaft und Landwirtschaft in München |
| • 09.06.2008 | Organisation und Durchführung einer Arbeitsgruppensitzung im Bereich Grundwasser und Wasserversorgung |
| • 24.-25.06.2008 | DWA-Symposium Wasserwirtschaft und Klimawandel in Nürnberg |
| • 29.07.2008 | <i>Stakeholder</i> veranstaltung im Bereich Grundwasser und Wasserversorgung in Stuttgart |
| • 30.- 01.10.2008 | GLOWA-Danube-Klausurtagung in Hofgeismar |
| • 24.11.2008 | <i>Stakeholder</i> workshop zur Szenarienermittlung im Bereich Wasserwirtschaft und Energiewirtschaft in München |
| • 28.11.2008 | <i>Stakeholder</i> workshop zur Szenarienermittlung im Bereich Wasserversorgung und Tourismus in München |
| • 11.12.2008 | Veranstaltung „Klimawandel in Europa im 21. Jahrhundert - Freigabe der Ensemble-Klimasimulationen mit dem regionalen Klimamodell CLM“ in Cottbus |
| • 20.11.2008 | REKLIM-Workshop „Vergleich regionaler Klimamodellierungen“ in Dresden |
| • 03.12.2008 | Projektvorstellung bei Abteilungsveranstaltung des LfU |
| • 30.01.2009 | <i>Stakeholder</i> workshop zur Szenarienermittlung im Bereich Landwirtschaft in München |
| • 11.02.2009 | Organisation und Durchführung einer Infoveranstaltung „Ergebnisse der ersten gekoppelten Modellläufe“ im LfU in Hof |

- 17.-19.03.2009 1. Statuskonferenz KLIWAS - Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland“
- 23.-26.03.2009 GLOWA-Danube-Klausurtagung in Wildbad-Kreuth

2. Ergebnisse

2.1 Formulierte Ziele der Zweiten Förderphase

2.2 Stand der Koordinationsarbeit und Kooperation im LfU

In Anlehnung an den Statusbericht 4-2008 vollzieht sich die Projektarbeit im LfU in 4 Ebenen:

1. Projektinformation in der Ebene Abteilungsleiter, Stabsstellen, Amtsleitung.
2. Allgemeine Projektvorstellung, Ergebnisdarstellung und Information betroffener Referate und Fachpersonal im LfU zusammen mit GLOWA-D. Projektleitern .
3. Fachgespräche zur Szenarienentwicklung und Grundlagendiskussion/Beurteilung der Anwendbarkeit in den einzelnen Sachbereichen.
4. Vermittlung direkter bilateraler Kontakte zwischen den Experten/Sachbearbeitern zum Datenaustausch, Begutachtung von Teilmodellen, Ergebnisbewertung und Szenarienformulierung/-bewertung.

Die **Ebene 1** wurde in diesem Projektabschnitt in Form von weiterer Information und Einbeziehung der fachlich berührten Abteilungsleiter in die Aktivitäten der Ebenen II. und III. und Einbeziehung des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit abgedeckt. Als Ergebnis einer Umfrage im Anschluss an die interne Informationsveranstaltung im LfU am 06.03.2008 wurden in Abstimmung mit den Abteilungsleitern die entsprechenden geeigneten Fachreferate für eine weitere Einbindung und Information bestimmt.

Zur **Ebene 2** fand am 11.02.2009 eine Informationsveranstaltung zur Darstellung der Ergebnisse der ersten gekoppelten Klimaszenarien-Modellläufe statt. Anwesend waren 35 Personen aus 15 Referaten des LfU sowie zwei Vertreter des StMUGV. In Vorträgen von Prof. Mauser, Prof. Ernst, Dr. Barthel, Dr. Muerth und Herrn Apfelbeck wurden die Anwesenden über die wichtigsten Bausteine des Projektes, beispielhafte Ergebnisse und Auswertungen der Modellläufe und Aufgaben des LfU im Projekt informiert. Zur weiteren Entwicklung praxisrelevanter Szenarien und Fragestellungen wurde ein Fragebogen mit nachfolgend aufgeführten Fragen ausgelegt und im Rahmen der Nachbereitung eine Woche später zur Bearbeitung versendet:

1. Änderungs- und Ergänzungsvorschläge für eine weitere (anschließende?) Ergebnisveranstaltung (Themen, Ablauf, Zeitrahmen...).
2. Folgende vorgestellte Klimaszenarien bzw. Kombinationen sind (wären) für meinen Arbeitsbereich besonders von Bedeutung.
3. Für meinen Arbeitsbereich wären über die bereits bearbeiteten Szenarien hinaus (zusätzlich) folgende Klimavarianten oder Handlungsszenarien wichtig.
4. Ich wünsche mir für meinen Arbeitsbereich/die Umweltverwaltung von GLOWA-Danube die Berücksichtigung folgender Fragestellungen, Auswertungen oder Darstellungen.
5. Weitere Wünsche und Anregungen zur Kooperation mit GLOWA-Danube.

Die Ergebnisse bilden die Grundlage für die weitere zielgerichtete Einbindung des LfU und der Erarbeitung praxisrelevanter Ergebnisse im Projekt GLOWA-Danube und werden in der Folgezeit ausgewertet

Im Bereich der Fachgespräche in kleineren Gruppen (Ebene III.) wurden 2008 zwei Arbeitstreffen zusammen mit den entsprechenden GLOWA-Projektgruppenleitern im LfU durchgeführt: Am 29.05.2008 im Bereich Abflussmodellierung und 09.06.2008 im Bereich Grundwasser und Wasserversorgung. Ziel der Treffen war eine detailliertere Modellvorstellung und -bewertung sowie Festlegung weiterer Schritte zur direkten Einbindung des LfU in die Modellbegutachtung (Modellvergleiche) sowie zum weiteren Datenaustausch. Die Ergebnisse wurden in Form von abgestimmten Vermerken festgehalten und allgemein zugänglich gemacht. Weitere Treffen dieser Art sind für 2009 vor allem im Bereich Grundwasser und Wasserversorgung geplant.

Ein direkter (bilateraler) Austausch (**Ebene 4**) fand vor allem zum Modellvergleich (s. 2.4.) sowie zur Entwicklung von Klimaszenarien zwischen Ref. 81 und der Arbeitsgruppe Mauser, sowie zur weiteren Datenbereitstellung durch das LfU statt. Unter Mitwirkung des LfU wurden die GLOWA-Klimaszenarien nochmals überarbeitet und den Erfordernissen des Vollzugs angepasst.

Folgende Datensätze wurden bereits bzw. werden in der nächsten Zeit durch das LfU an das Projekt GLOWA-Danube vermittelt:

- Qualitative und quantitative Daten von Grundwassermessstellen im Donau-EZG
- Abfluss-Pegeldaten, Temperaturdaten Oberflächengewässer
- Schwebstoff-Messdaten in Fließgewässern

2.3 Integration in die Öffentlichkeits- und Stakeholderarbeit des Projektes

Das LfU hat durch sein umfassendes Aufgabenfeld weitgreifende Vernetzungen in nahezu alle Bereiche von GLOWA-Danube. Daher wurde die im Zwischenbericht 2008 festgelegte erweiterte Beteiligung in der allgemeinen Öffentlichkeits- und Stakeholderarbeit des Projektes im Berichtszeitraum 2008/2009 umgesetzt. Daraus ergaben sich im Einzelnen folgende Aktivitäten:

- Mitarbeit in der projektinternen AG *Stakeholder*
- Review und Durchsicht neuer Atlas-Beiträge und des Atlas-Glossar
- Vervollständigung der Modelldatenblätter und Verteilung im LfU
- Erarbeitung und Abstimmung eines „Leistungsabgleiches“ zur Abstimmung der Wünsche des LfU an das Projekt und dessen Erfüllbarkeit
- Beteiligung bei allen Stakeholder-Veranstaltungen des Projektes und Einbeziehung des jew. LfU-Fachpersonals sowie von Sachbearbeitern des StMUGV
- Pflege und Aktualisierung des GLOWA-Danube Informations- und Austauschverzeichnisses auf dem internen LfU-Server

2.4 Vergleich der Abfluss-Modellierungen des LfU (ASGi/WaSiM-ETH) mit Ergebnissen aus DANUBIA

Im Rahmen des Kooperationsprojektes KLIWA zwischen den Ländern Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland Pfalz und dem DWD werden flächendeckend Wasserhaushaltsmodelle für alle bayerischen Flussgebiete aufgestellt und mit Eingangsdaten verschiedener regionaler Klimamodelle verknüpft, um aussagefähige regionale Klimawandel-Szenarien zu bekommen. In diesem Zusammenhang bieten sich Vergleiche zu den Szenarienrechnun-

gen mit DANUBIA an. Dies ermöglicht eine bessere Bewertung und Einordnung beider Modellierungsergebnisse und trägt dazu bei, die Unsicherheiten im Bereich von Klima- und Wasserhaushaltsszenarien durch Ensemble-Betrachtungen einzugrenzen. Hierzu wurde ein detailliertes Konzept zum Vergleich der Flussgebiete Naab und Regen aufgestellt, das im weiteren Verlauf des Jahres 2009 in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Mauser zu einem Modellvergleich ausgebaut werden soll.

3. Ausblick: Geplante Aktivitäten des nächsten Förderjahres

Entsprechend den dargestellten Aktivitätsschwerpunkten gliedern sich die zukünftigen Arbeiten in folgende Bereiche:

1. Weitere intensive Beteiligung an der Stakeholderarbeit des Projektes zusammen mit der Fa. IFOK unter Einbeziehung entsprechenden Fachpersonals des LfU und Information des StMUG.
2. Fortführung der Arbeit in den fachbezogenen Arbeitsgruppen im LfU, v.a. im Bereich Abfluss, Grundwasser, Wasserversorgung und Bewässerung, ggf. Einbeziehung weiterer Stellen der Wasserwirtschaft.
3. Komplettierung des Datenaustausches.
4. Durchführung des Modell- und Ergebnisvergleiches (GLOWA / KLIWA) im Bereich der Abflussmodellierung am Beispiel der Flussgebiete Naab und Regen.
5. Verstärkte Filterung, Wertung und zur Verfügungstellung der Projektergebnisse für den Vollzug.

Veränderung der Schneebedeckung und der Gletscher bei unterschiedlichen Szenarien eines Klimawandels im GLOWA-Danube-Einzugsgebiet und die sich daraus ergebenden Folgen

Teilprojekt:	Glaziologie
Leiter:	Prof. Dr. Michael Kuhn, Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck
Ausführende Stelle:	Institut für Meteorologie und Geophysik. der Univ. Innsbruck, Innrain 52, A-6020 Innsbruck und Kommission für Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, München, Alfons-Goppel-Str. 11, 80539 München
Verfasser:	M. Weber, M. Kuhn

1. Organisation

1.1 Kurzbeschreibung der Arbeiten im Teilprojekt

Der Schwerpunkt der Aktivitäten der Arbeitsgruppe Glaziologie bestand im Berichtszeitraum 2008/09 primär

- in der Durchführung von Modellläufen zur Modellierung der Schneedecke auf der 1x1km²-Skala und der Entwicklung der Gletscher im gesamten Einzugsgebiet der Donau unter gemeinsam in der Gruppe erarbeiteten (Klima-)Szenarien,
- der Überprüfung dieser Modellergebnisse auf formale Fehler und Plausibilität (Validierung)
- und der Darstellung von Ergebnissen und deren Interpretation.

Das Gletschermodell *Surges* (**S**ubscale **R**egional **G**lacier **E**xtension **S**imulator) und das Schneemodell *Snow* wurde in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Hydrologie und Fernerkundung der LMU München (M. Prasch) in der Umgebung DANUBIA/PROMET (*DANUBIA-Light*) betrieben und weiterentwickelt. Die Rechenläufe können für besondere Tests und Untersuchungen zusätzlich sowohl am Punkt als auch auf der Fläche lokal auf dem PC durchgeführt werden, ohne das DANUBIA-System zu belasten.

Die Modellergebnisse wurden für den Bereich des Vernagtferners im Ötztal und der Zugspitze einer lokalen Validierung anhand der dort gewonnenen Messdaten der Kommission für Glaziologie unterzogen, die Modelle entsprechend korrigiert bzw. erweitert. Auf der Basis der Stundenwerte von Lufttemperatur, Niederschlag, Strahlung, Wind und Feuchte von 2011-2060, erzeugt mit dem stochastischen Klimagenerator (MAUSER et al. 2007) anhand Stationsdaten der Vergangenheit nach den Vorgaben einer Reihe von ausgewählten Szenarien, wurden eine Reihe sogenannter Szenarienzüge durchgeführt und die Ergebnisse hinsichtlich der Auswirkungen auf die Gletscher und die Hydrologie des Einzugsgebietes entsprechend der wissenschaftlichen Fragestellungen des Forschungsvorhabens in der dritten Phase untersucht. Die Szenarien wurden in der gesamten GLOWA-DANUBE-Gemeinschaft erarbeitet.

Die ersten Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden für die *Stakeholder* aufbereitet und in den jeweiligen Veranstaltungen und diversen wissenschaftlichen Tagungen präsentiert. Sie wurden ferner für den Global Change Atlas Obere Donau in Gestalt neuer Karten und Beiträge aufbereitet.

1.2 Personal

1.2.1 Wissenschaftler

- 01.05.2008 bis 30.04.2009: Dr. Markus Weber E13UE / 4+

1.2.2 Diplomanten

- Karin Marovskya ab März 2009

1.3 Veranstaltungen

1.3.1 Interne Projekttreffen

Die Arbeitsgruppe Glaziologie hat im Jahr 2007 an den folgenden internen Veranstaltungen teilgenommen:

- 02.-03.05.2008 Klausurtagung Herrsching (M. Kuhn, M. Weber)
- 15.07.2008 Projektleitertreffen in München (M. Weber)
- 30.09.-01.10.2008 Klausurtagung Hofgeismar (M. Weber)
- 23.-26.03.2009 Klausurtagung Wildbad-Kreuth (M. Kuhn, M. Weber)

1.3.2 Stakeholder-Rundgespräche und Workshops

- 30.07.2008 Rundgespräch „Energie“ in München mit Vortrag (M. Weber)
- 24.11.2008 Workshop „Wasserwirtschaft, Energie, Infrastruktur“ in München (M. Weber)
- 28.11.2008 Workshop „Wasserwirtschaft, Wasserversorgung und Tourismus“ in München (M. Weber)

1.3.3 Konferenzen

- 26.-27.2.2009 Alpine Glaciology Meeting, Innsbruck (M. Prasch, M. Weber, M. Kuhn)

1.4 Veröffentlichungen

ESCHER-VETTER, H., KUHN, M. und WEBER, M. (2009): „Four decades of winter mass balance of Vernagtferner and Hintereisferner, Austria: methodology and results“, *Annals of Glaciology*, Vol. 50, S. 87-95.

HAGG, W., WEBER, M., MAYER, CH. und STRASSER, U. (2009): „The future of glaciation on Zugspitzplatt, Germany (in Vorbereitung).“

HOYER, M. (2008): „Untersuchung der Eisdickenentwicklung des Vernagtferners basierend auf Georadardaten sowie der zeitlichen Entwicklung“, Diplomarbeit, Fachhochschule Würzburg.

PRASCH, M., WEBER, M., MAUSER, W. und STRASSER, U. (2008): „Ein Ansatz zur integrierten subskaligen Schnee- und Gletschermodellierung im Einzugsgebiet der oberen Donau“ 12. Workshop „Großskalige hydrologische Modellierung“, Kiel, Abstract, published.

- PRASCH, M., BERNHARDT, M., WEBER, M., STRASSER, U. und MAUSER, W. (2008): "Physically based modelling of snow cover dynamics in Alpine regions", In: BORSDORF, A., STÖTTER, J. and VEULLIET, E. (eds.): Managing Alpine Future. Proceedings of the Innsbruck Conference October 15-17, 2007, IGF Forschungsberichte, Band 2, Innsbruck, Austria, Proceeding, published.
- PRASCH, M., WEBER, M., STRASSER, U. und MAUSER, W. (2009): "Distributed Modelling of Glacier Dynamics under Climate Change Conditions from 2000 to 2060", Presentation at the Alpine Glaciological Meeting, February 2009, Innsbruck, Austria, Abstract, published.
- STRASSER, U., BERNHARDT, M., WEBER, M., LISTON, G.E. und MAUSER, W. (2008): "Is snow sublimation important in the alpine water balance?", *The Cryosphere*, 2, S. 53-66.
- PRASCH, M., WEBER, M., MAUSER, W. und STRASSER, U. (2009): „Integrierte subskalige Schnee- und Gletschermodellierung im Einzugsgebiet der oberen Donau“, Tag der Hydrologie 2009: Hydrologische Systeme im Wandel, Kiel, Abstract.
- WEBER, M. (2008): „Neue Erkenntnisse zur Gletscherschmelze – Höhere Mathematik hilft bei der Schnee- und Gletschermodellierung“, *Akademie aktuell*, 03/2008, S. 40-47.
- WEBER, M., PRASCH, M., KUHN, M., LAMBRECHT, A. und HAGG, W. (2008): „Eisreserve - Teilprojekt Glaziologie, Kapitel 1.8“, GLOWA-Danube-Projekt, LMU München (Hrsg.): *Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau*, München.
- Weber, M. (2009a): „Gletscher – Bedeutung im Wasserkreislauf und Wasserspende“, in MÜLLER, TROGE und TÖPFER (Hrsg) „Klimareport Alpen“, Verlag C.H. Beck München, ISBN 3406573711, 272 S.

2. Ergebnisse

2.1 Formulierte Ziele der 3. Förderphase

Die integrativen Hauptziele der Arbeitsgruppe Glaziologie in der dritten Förderphase lauten

- Modellierung der Reaktion der Schneedecke und der Gletscher auf Klimaänderungen im Rahmen von Klimaszenarien unter dem Gesamtkontext von GLOWA-Danube.
- Untersuchung der Bedeutung der Schnee- und Eisbedeckung auf den Anstieg der bodennahen Lufttemperatur in den Alpen.
- Anpassung und Dokumentation der Modellkomponente Snow und *Surges* zur gemeinsamen Überführung in ein Open Source- Projekt, welches den Fortbestand und die Option zur Weiterentwicklung nach Abschluss des Projektes sichert.

2.2 Sektorale Arbeiten

Im Berichtsjahr 2008/09 stand der operationelle Betrieb der physikalischen Teilmodelle *Surges* und *Snow*, sowie die Durchführung von Langzeitläufen zur Berechnung der Veränderungen der Gletscherflächen im Einzugsgebiet und im Mittelpunkt. Diese Arbeiten wurden in enger Zusammenarbeit mit Projekten des Lehrstuhl für Geografie und geografische Fernerkundung (LMU, M. Prash und Uli Strasser) in der Umgebung DANUBIA/PROMET durchgeführt. Die Auswertung und Prüfung der Modellergebnisse ermöglichte gleichzeitig die formale Validierung des Modells und die Korrektur vereinzelter Übertragungsfehler im Initialisierungsdatensatz. Als Treiberdaten für die Rechnungen in die Zukunft dienten die auf

das Proxelraster skalierten meteorologischen Grundgrößen im Stundentakt, erzeugt vom Klimagenerator auf der Basis von Terminwerten Stationsdaten. Die Algorithmen des *subskaligen* Gletschermodells und des Schneemodells auf der Proxelskala wurden für diese Anwendung optimiert.

Nach der Koppelung von *Surges* an das Abflussmodell konnten die Auswirkungen der Gletscherschmelze auf der Ebene beliebiger Teileinzugsgebiete studiert und damit eine der im Antrag formulierten wissenschaftlichen Fragestellungen untersucht werden (s. Kap. 2.3.3). Weiterhin wurden der Einfluss der Modellierung auf der Subskala den Ergebnissen auf der 1km-Proxelskala gegenübergestellt (PRASCH et al. 2008). Beim Gletschermodell stellt sie sich als unverzichtbar heraus, denn nur auf diese Weise kann mit der notwendigen Genauigkeit zwischen den Arealen mit hocheffizienter Eisschmelze und denen mit Schneeschmelze unterschieden werden.

Vor diesem Hintergrund gab es parallel zu diesen Arbeiten auch Bestrebungen, das Schneemodell für die nicht vergletscherten Gebiete auf dem Proxelraster analog zu *Surges* durch eine *subskalige* Betrachtungsweise maßgeblich zu verbessern. Der zunächst gewählte „pseudosubskalige“ Ansatz, der ausschließlich die Geländeinformation auf dem 1x1km-Raster linear in weitere Stufen unterteilt, brachte zumindest auf der Ebene des Abflussgeschehens noch nicht die erhofften Verbesserungen. Die Schneedeckendauer dagegen kann bereits in dieser Weise realitätsnaher berechnet werden. Die der nichtlinearen Abhängigkeiten erfordern die Erstellung eines *subskaligen* Initialisierungsdatensatzes auf der Basis engmaschiger Geländedaten. Dieser steht voraussichtlich erst nach Ende des Berichtszeitraums zur Verfügung.

2.2.1 Datenaufbereitung

Als Datenbasis für die Entwicklung und Tests von Schnee- und Gletschermodells dienten die speziell aufbereiteten

- Stundenmittel der von der Kommission für Glaziologie (KfG) der Bayerischen Akademie der Wissenschaften im Vorfeld des Vernagtferners in den Ötztaler Alpen auf 2640 m kontinuierlich betriebenen Klima- und Abflussmessstation Vernagtbach (BRAUN et al. 2004) seit 1996.
- Tagesmittelwerte und -Summen von Temperatur, Niederschlag, Feuchte, Wind, Globalstrahlung, Schneehöhe und Albedo an Klimastation Vernagtbach seit 1974, welche homogenisiert und im Fall von Lücken vervollständigt werden.
- kontinuierliche Messungen der Schneehöhe und der Eisablation mittels Ultraschallabstandsmessung und der Luft- und Schneetemperatur auf dem Vernagtferner in 2995m NN in den Jahren 2005 und 2006.
- neue Messungen der Eisdickenverteilung in den Jahren 2007 und 2008 am Vernagtferner (HOYER 2008) und Guslarferner (A. Heilig).
- digitale Geländemodelle und daraus abgeleitete Schichtlinienpläne, bereitgestellt über das neue Österreichischen Gletscherinventar nach Luftaufnahmen von 1996-2002 (A. Lambrecht und M. Kuhn).
- Aktuelle Gelände- und Eisdickendaten der Bayerischen Gletscher an der Zugspitze, Watzmann und Hochkalter (Blaueis), bereitgestellt durch das DFG-Projekt „Bayerische Gletscher“ (W. Hagg) und eine Diplomarbeit (K. Marovsky).

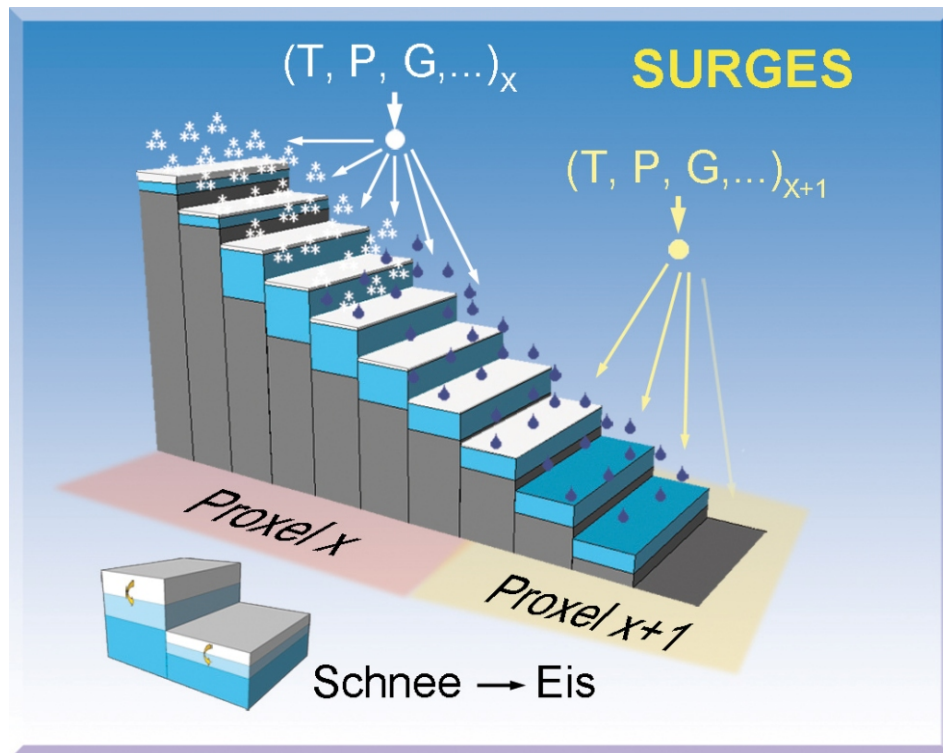


Abb. 1: Schema der Architektur des *subskaligen* Gletschermodell *Surges* mit den berücksichtigten Oberflächenprozessen und seine Einbettung in das Danubia-Proxelraster. (aus G-C-Atlas Karte 2.4.2)

2.2.2 Modellentwicklung

Eine detaillierte Beschreibung der Funktionen des Gletschermodell *Surges* (**S**ubscale **R**egional **G**lacier **E**xtension **S**imulator) findet sich bereits im Jahresbericht 2007/2008. Dazu sei hier lediglich auf die Abbildung 1 hingewiesen, welche die Modellarchitektur und die wichtigsten berücksichtigten Prozesse veranschaulicht. Die zur Berechnung der Akkumulation und Ablation an der Oberfläche erforderlichen meteorologischen Basisdaten bodennahe Lufttemperatur (T), Niederschlag (P), Globalstrahlung (G), Wind und Feuchte werden als Stundenmittelwerte auf der Proxelskala durch die PROMET/DANUBIA-Umgebung zur Verfügung gestellt. Eine wichtige Komponente von *Surges* leistet dabei die lokale Extrapolation dieser Größen auf die Höhenlage der *subskaligen* Teilflächen. Sie verwendet dazu spezielle, auf die Bedingungen über vergletscherten Oberflächen angepasste Algorithmen und Korrekturen, basierend auf den Untersuchungen von WEBER 2007 und 2009b. Weitere Einzelheiten finden sich auch in einem neuen Beitrag zum GC-Atlas (Lieferung III).

Sowohl das Schnee- als auch das Gletschermodell sind der Umgebung PROMET/DANUBIA-*light* voll integriert. Sie laufen numerisch stabil und liefern in Abhängigkeit von den Treiberdaten nach der Implementation der im nachfolgenden Abschnitt beschriebenen Erweiterung unter dem gegenwärtigen Entwicklungsstand realistische Ergebnisse.

2.2.2.1 Korrektur der Lufttemperatur über schmelzenden Oberflächen

Der Vergleich der sich auf der Basis von Terminwerten ab Klimastationen in der näheren Umgebung auf die Höhenlage des Gletschers extrapolierten bodennahen Lufttemperatur mit lokalen Messungen (Abb. 2a) zeigt in den Wintermonaten in der Regel hervorragende Übereinstimmung und damit eine ausgezeichnete Grundlage für die lokale Prozessmodellierung.

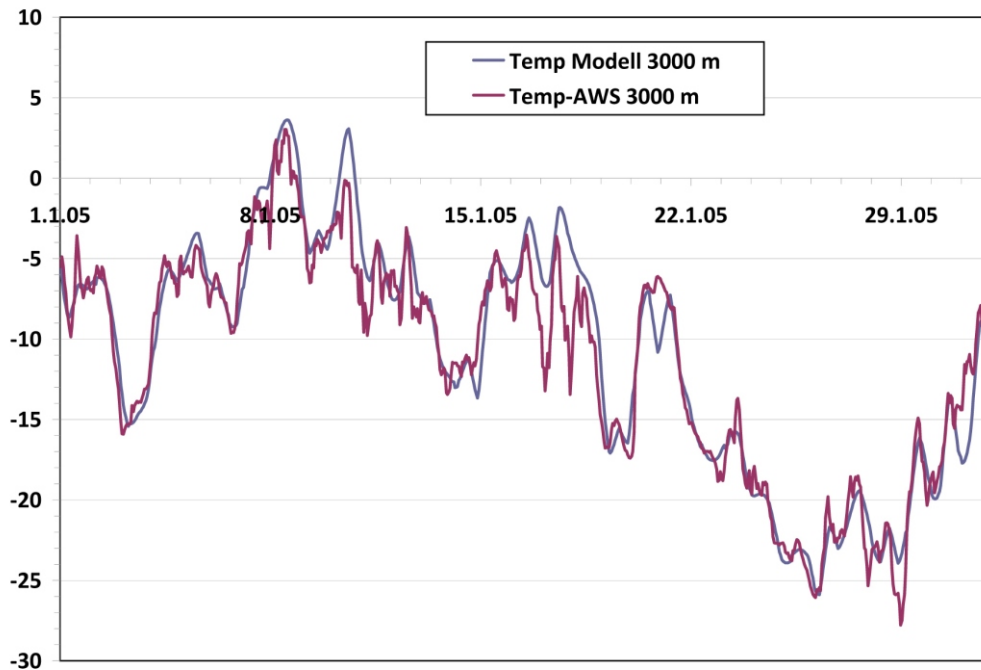


Abb. 2a: Vergleich der Stundenmittel der durch PROMET/*Atmostations* auf die mittlere Höhenlage des Proxels und anschließend vom Gletschermodell *Surges* auf den Vernagtferner auf 3000m NN extrapolierte bodennahe Temperatur mit der dort tatsächlich an einer automatischen Wetterstation (AWS) gemessenen im Januar 2005

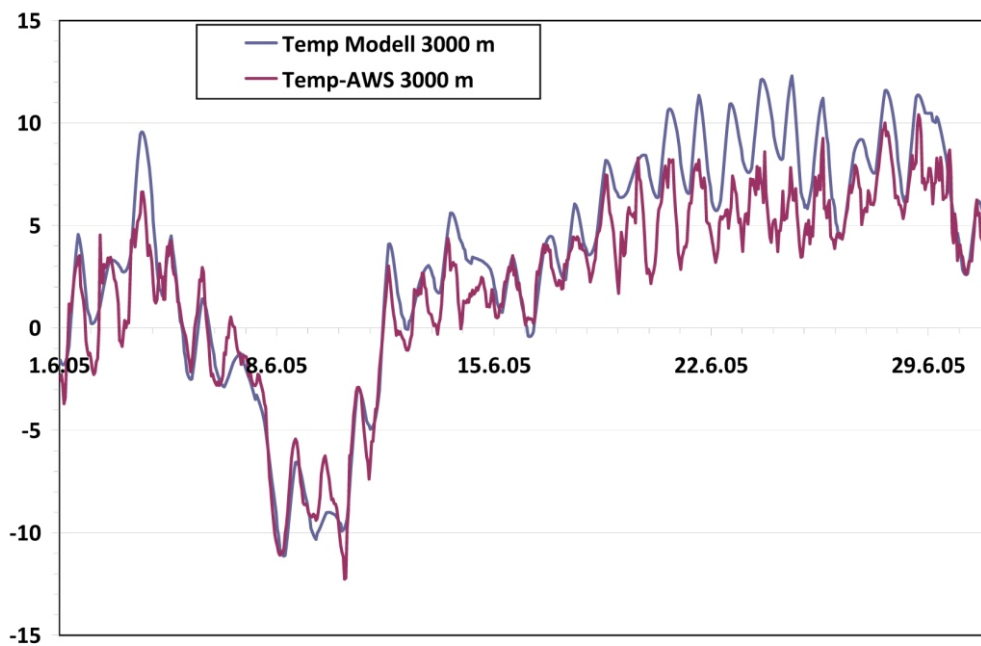


Abb. 2b: Wie Abbildung 2a, jedoch im Juni 2005

Sobald jedoch auf den Schnee- und Gletscherflächen Schmelze auftritt, an den Stützstellen der Extrapolation aber nicht, wird die Lufttemperatur um einige Kelvin überschätzt. Dies wird beispielsweise im Juni 2005 ersichtlich. Zwar spielt der absolute Wert der Temperatur nur eine untergeordnete Rolle bei der Berechnung der verfügbaren Schmelzenergie anhand der Energiebilanz, er kontrolliert aber im Modell sowohl die Zeiträume, in denen Schmelze berechnet wird. Außerdem bestimmt er die Phase des Niederschlags bei der Akkumulation.

Die Untersuchung der Temperaturabweichung zwischen dem Modellergebnis und kontinuierlichen Messungen an einer Station in 3000m NN auf dem Vernagtferner beispielsweise in den Jahren 2003-2006 zeigt, dass über schmelzenden Schnee- und Gletscherflächen sys-

tematisch eine um einige Kelvin überhöhte Temperatur berechnet wird, welche zur Gewährleistung der Berechnung von realistischen Schmelzraten unbedingt korrigiert werden muss. Bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt (Akkumulationsbedingungen) finden sich zwar gelegentlich auch Abweichungen nach unten, diese beeinflussen jedoch kaum den Akkumulationsvorgang und können daher vernachlässigt werden (z.B. Abb. 2b und 3a).

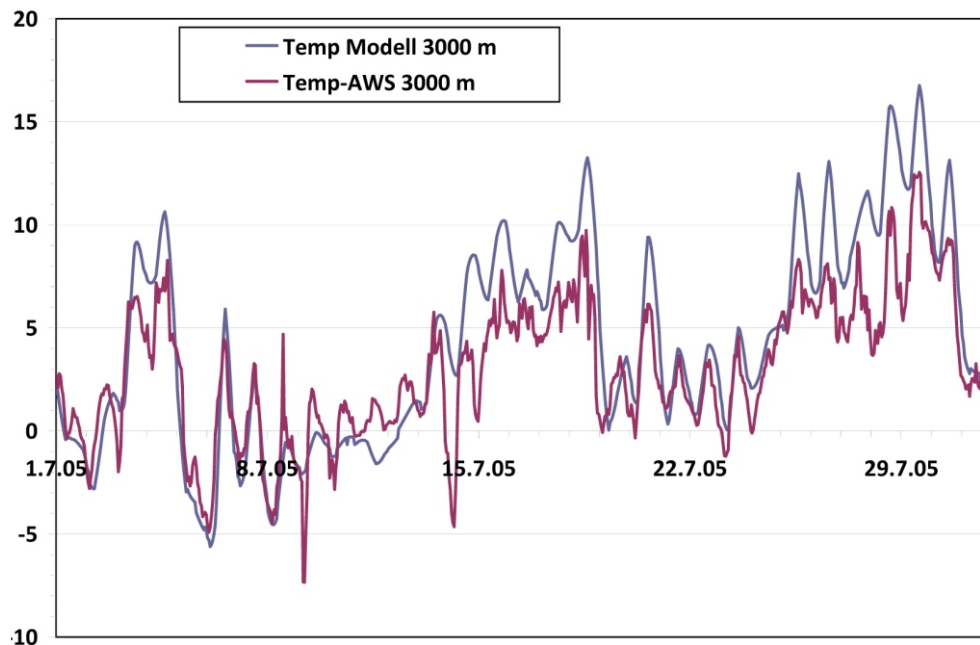


Abb. 3a: Vergleich der Stundenmittel der durch Promet/Atmostations auf die mittlere Höhenlage des Proxels und anschließend durch das Gletschermodell Surges auf den Vernagtferner extrapolierte bodennahe Temperatur [°C] mit der dort im Juli 2005 tatsächlich gemessenen

Bei WEBER (2009b) und WEBER (2007) wird anhand experimenteller Untersuchungen gezeigt, dass unter Schmelzbedingungen ein enger Zusammenhang zwischen der verbrauchten Schmelzenergie und der Differenz zwischen der extrapolierten und der gemessenen bodennahen Lufttemperatur besteht. Auf dieser Erkenntnis beruht nicht zuletzt auch die weit verbreitete Anwendung von sehr einfachen Parametrisierungen der Schmelze über einen empirisch bestimmten Temperaturindex. Da die Lufttemperatur wiederum selbst bei der Berechnung der Komponenten der Oberflächenenergiebilanz eingeht, ist ein Korrekturalgorithmus entweder numerisch sehr aufwendig (iterativ) oder auf der Basis der Temperaturindexmethode lediglich näherungsweise möglich.

Als praktikabel erwies sich vor diesem Hintergrund die Neuskalierung der Differenz $T_m - T_0$ (wobei T_m : Vom Modell extrapolierte Lufttemperatur, T_0 : Oberflächentemperatur) durch einen Faktor f , wobei $f = C / (1 - a)G$ (a : Albedo, G : Globalstrahlung [Wm^{-2}]) für positive Temperaturen. Die Konstante C stellt eine empirische Skalierungsgröße dar, die im August 2000 in WEBER (2009b) zu $600 [Wm^{-2}]$ bestimmt wurde. Sie kann als das durchschnittliche maximale Energieangebot zur Schmelze interpretiert werden. Dieses variiert jahreszeitlich eigentlich mit dem Sonnenstand, weshalb C keine universelle Konstante im engeren Sinn darstellt. Zu dieser Problematik fehlen gegenwärtig noch gesicherte empirische Erkenntnisse vor, deren Erlangung eine grundsätzliche Forschungsfrage für die Zukunft darstellt.

Die Abbildung 3b zeigt den Vergleich der Modelltemperatur mit den Messungen nach erfolgter Anwendung der beschriebenen Korrektur. Diese ist in diesem Beispiel nicht immer ausreichend, da mit der absorbierten kurzwelligen Strahlung nur eine Komponente der Energiebilanz berücksichtigt wird. Desweiteren nimmt die Skalierungsgröße C im Juli theoretisch größere Werte an als der im August bestimmte empirische Wert. Dennoch verhilft die Korrektur im ge-

samten Zeitraum zu realistischeren Schmelzraten. Zu beachten jedoch ist die Einschränkung der Korrektur auf extrapolierte Temperaturen aus Stationsdaten, und hier auch nur auf Fälle, in denen im Bereich der Station kein Schnee liegt, am Ort der Extrapolation jedoch Schmelze stattfindet. Die Klimamodelle dagegen sollten diese Effekte bereits intern berücksichtigen, was aber in der Regel an der groben räumlichen Auflösung nur ungenügend wiedergegeben wird. Entsprechende Analysen liegen im Augenblick noch nicht vor und werden mit Spannung erwartet.

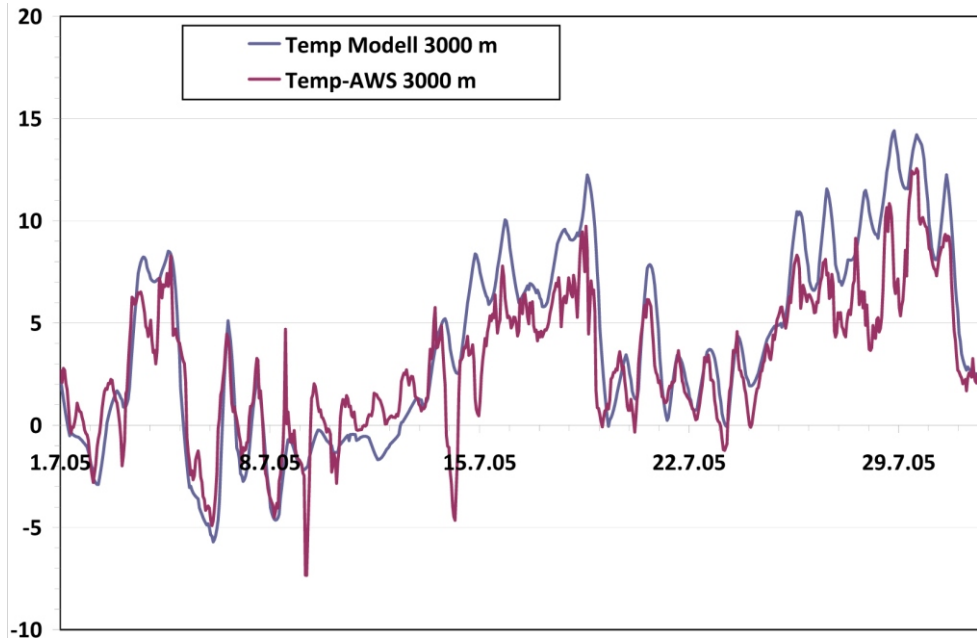


Abb. 3b: Wie Abbildung 3a, jedoch nach Anwendung der im Text beschriebenen Korrekturildung

2.3 Integrative Arbeiten

Im Mittelpunkt der Integrativen Arbeiten des Teilprojektes Glaziologie standen im Berichtsjahr 2008/09 neben der notwendigen Aktualisierung der Initialisierungsdaten und Untersuchungen zur Validierung des Modells in Testläufen die Auswertung und Bewertung der ersten operationellen Langzeitrechnungen auf der Basis der im Rahmen des *Stakeholder*prozesses entwickelten Szenarien. Auch die integrativen Arbeiten erfolgten in enger Zusammenarbeit und Unterstützung des Lehrstuhls für Geografie und geografische Fernerkundung der LMU München, namentlich von Monika Prasch. Sie betreibt in ihrer Dissertation zusätzlich zu den Modellierungen im Donaeinzugsgebiet die Neuimplementierung des Modells auf ein Teileinzugsgebiet des oberen Brahmaputra in Bhutan, einer gegenüber dem Donauraum völlig anders charakterisierten Region. Dadurch ergeben sich für beide Projekte Synergien zur Qualitätssteigerung der Modelle. Gleichzeitig konnten zusätzliche Untersuchungen zu den subskaligen Modellansätzen realisiert werden, die auch bei dem Schneemodell zu einer deutlich realistischeren Wiedergabe der Schneedecke im alpinen Bereich führt. Ein *subskalig* aufgelöstes Schneemodell für das Gesamtgebiet war ursprünglich im Rahmen von GLOWA-Danube nicht vorgesehen.

2.3.1 Detaillierte Visualisierung der Modellergebnisse auf der Subskala

Prinzipiell erlaubt das Konzept von *Surges* eine deutlich detailliertere Wiedergabe der Veränderungen der Gletscherflächen im Ablauf der Szenarien als es die mittleren Resultate auf der Proxelebene zu vermitteln vermögen.

Anhand eines Schichtlinienplanes mit 50-m- Höhenstufen lassen sich die ungefähren Gletschergrenzen während des Simulationslaufes zu unterschiedlichen Terminen kartieren. Die Abbildung 4 zeigt ein Beispiel anhand eines Ausschnittes des hinteren Ötztals, der als Grundlage für eine Kartenabbildung im GLOWA-Atlas und im Hydrologischen Atlas Österreicherlands dient.

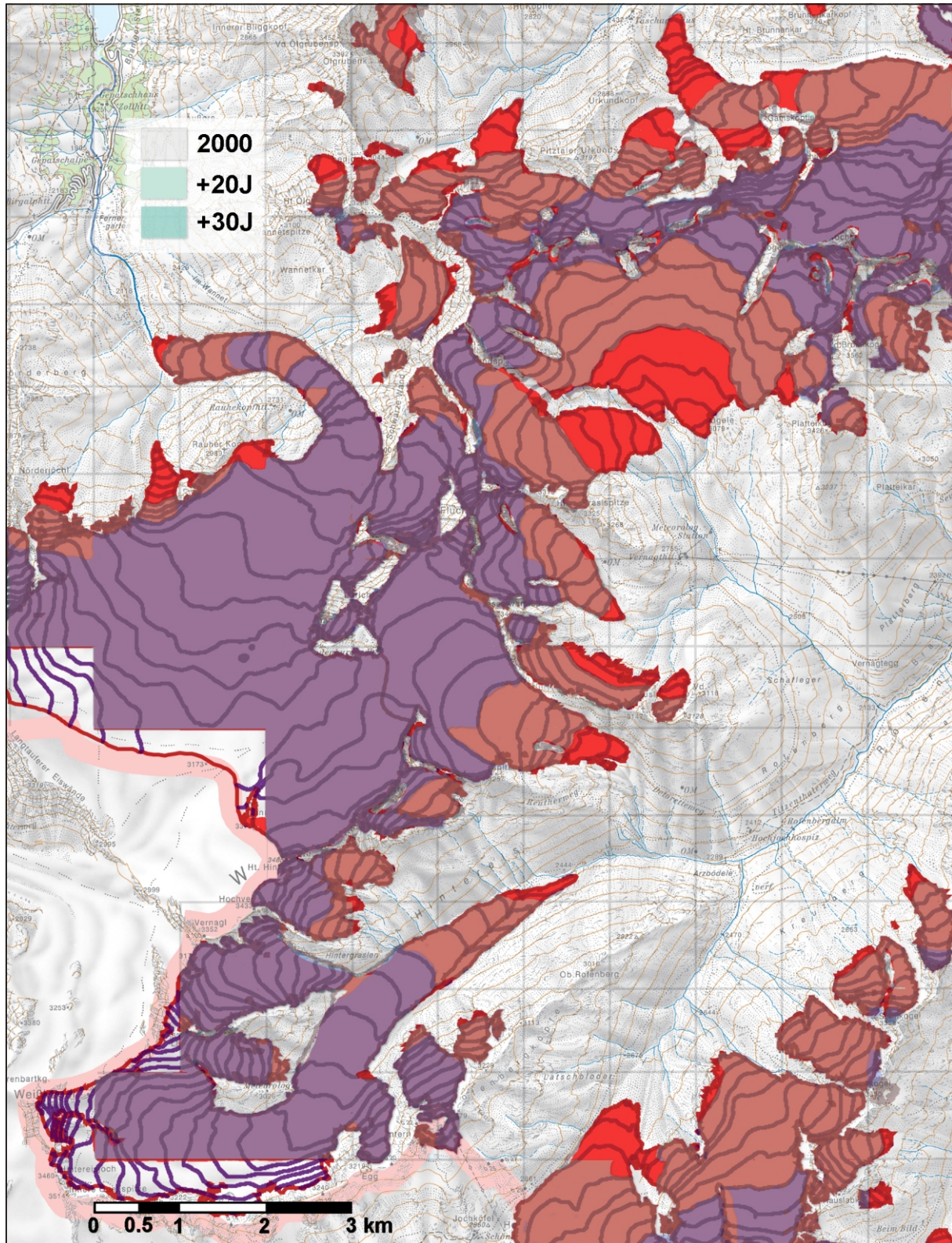


Abb. 4: Veränderung der Gletscherflächen unter der Bedingungen des Baseline-Szenario auf der Basis eines 50-Höhenmeter-Schichtlinienplan des hinteren Ötztals

Der Schichtlinienplan wurde anhand der Daten des Österreichischen Gletscherkatasters erstellt. Die Abbildung 4 wurde um das 1x1-km-Raster von DANUBIA und die Modellgrenzen ergänzt. Letzere stimmen an den Modellrändern ihrem groben Verlauf entsprechend nur ungenau mit den realen *subskaligen* Gletschergrenzen überein. Bedauerlicherweise kann DANUBIA nur innerhalb der durch die Proxel definierten Modellgrenzen rechnen. Dadurch werden die Gletscher direkt auf der Einzugsgebietsgrenze um Teile ihres Akkumulationsgebietes „amputiert“. Die vergletscherte Fläche wird dadurch insgesamt zu klein bemessen und wegen fehlender Akkumulation schmelzen diese Gletscher zu schnell ab.

Die zu den Terminen 2000, 2020 und 2030 unter den Randbedingungen des Baseline-Szenario noch vorhandenen *subskaligen* Gletscherflächen sind unterschiedlich eingefärbt, so dass die Veränderung der Gletscherumrisse sichtbar werden. Diese Visualisierung suggeriert den Eindruck einer Prognose des zukünftigen Gletscherstandes. Diese kann das Modell nicht wirklich leisten, denn dafür ist einerseits der Modellmaßstab gegenwärtig noch zu grob, andererseits darf der Ablauf in meteorologischen Treiberdaten nicht im Sinne einer kontinuierlichen stetigen Prognose verstanden werden. Vielmehr handelt es sich bei dem Beispiel um eine klassische Sensitivitätsanalyse, die aber durchaus die Zusammenhänge des Gletscherschwundes und die momentanen Möglichkeiten von *Surges* in Danubia aufzeigt. Diese Darstellung erlaubt auch den direkten Vergleich der Ergebnisse mit anderen Untersuchungen, wie beispielsweise in KUHN und OLEFS 2007 oder OERLEMANS (2001).

2.3.2 Bestimmung von Datensätzen zur Änderung des Eisvolumens ausgewählter Gletscher im Einzugsgebiet zu Validierungszwecken

Der im Arbeitsbericht 2007/2008 beschriebene Initialisierungsdatensatz der *subskaligen* Flächen-Höhen- Eisdickenverteilung der Gletscher im Untersuchungsgebiet ist auf das Jahr 2000 referenziert. Er bildet damit die Basis für alle Rechnungen in die Zukunft, ist aber für Validierung der Modellrechnungen in die Vergangenheit nicht geeignet, da sämtliche verfügbaren Flächen-Höhen-Verteilungen auf die jeweils aktuelle Gletscheroberfläche bezogen und damit die zugehörigen Eisdicken untereinander nicht in einfacher Weise vergleichbar sind.

Das Gletschermodell *Surges* dagegen berechnet die Eismächtigkeit auf Höhenstufen des Gletscherbetts, deren Flächen sich gegenwärtig nach Flächen-Höhenverteilung der Oberfläche um 2000 und den zugehörigen Eisdicken ergibt. Entsprechende referenzierte Datensätze für Termine in der Vergangenheit sind allein auf der Basis der momentan verfügbaren Auswertungen der damaligen Vermessungen nur sehr ungenau zu erstellen.

Zur Lösung des Problems werden im Rahmen einer Diplomarbeit auf der Basis der verfügbaren digitalen Geländemodelle der Gletscheroberfläche, des Gletschervorfelds und des aus Radarmessungen abgeleiteten Gletscherbetts für mehrere Termine bis zurück in die 1960er Jahre Flächen-Höhen-Eisdickenverteilungen erstellt, die sich auf eine definierte Referenzverteilung auf dem DANUBIA-Proxelraster beziehen. Damit können zumindest für ausgewählten Gletscher Validierungsrechnungen über 3 bis 4 Jahrzehnte in die Vergangenheit durchgeführt werden. Bisher konnte die Qualität der Wiedergabe von Prozessen nur im Zeitraum 2000-2006 untersucht werden, zu kurz für eine Validierung der Änderung der Gletscherflächen.

In der noch in den Berichtszeitraum fallenden Phase der Diplomarbeit wurden zunächst die Datensätze für die Bayerischen Gletscher (mit Ausnahme des Höllentalferners) in Zusammenarbeit mit W. Hagg und für den Guslarferner (mit A. Heilig) erstellt. Es folgt anschließend der Vernagtferner im Ötztal als Beispiel eines größeren Gletschers.

2.3.3 Beitrag der Gletscherschmelze zum Abfluss

Das Konzept von *Surges* erlaubt die Untersuchung des Beitrages der Gletscher zum Abfluss in beliebigen Teileinzugsgebieten ($>100\text{km}^2$) durch Vergleich zweier jeweils mit und ohne Gletschereis initialisierten Läufe. Der erste Lauf berechnet den Beitrag zum Abfluss durch Regen, Schneeschmelze und speziell die Eisschmelze von den Gletscherflächen. Der zweite berechnet auch auf den Gletscherflächen nur Regen- und Schneeschmelzabfluss.

In der Abbildung 5 wird das Resultat einer solchen Untersuchung am Beispiel des 517 km^2 großen zu 17% vergletscherten Einzugsgebietes der Öztaler Ache am Pegel Huben wiedergegeben. Es zeigt, dass ohne die Gletscherschmelze der gemessene Abfluss nicht reproduzierbar ist. In einem Einzugsgebiet mit einem Vergletscherungsgrad von über 10% spielt die sommerliche Gletscherspende eine deutliche Rolle bei der Abflussgenese, die aber innerhalb von DANUBIA durch *Surges* berechnet wird.

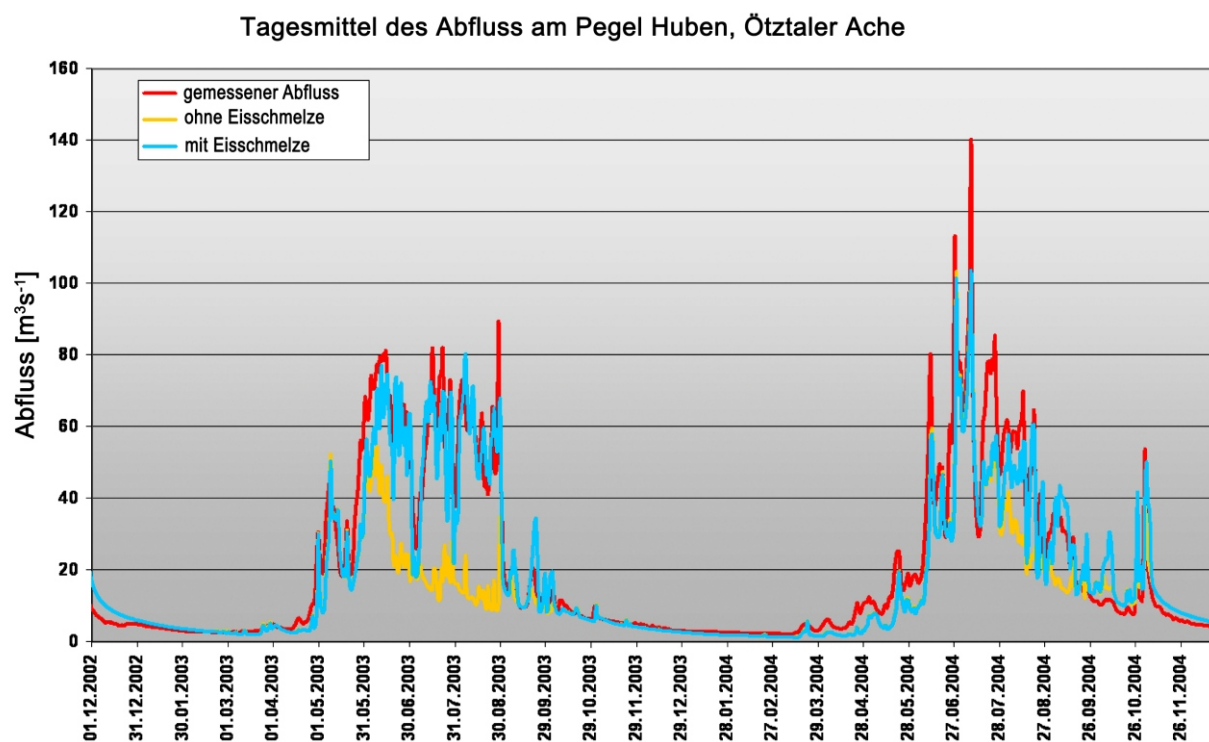


Abb. 5: Vergleich des am Pegel Huben gemessenen Abfluss (Tagesmittelwerte) der Öztaler Ache mit dem von *Surges* jeweils mit und ohne Eisschmelze berechneten über die Jahre 2003 und 2004. (nach PRASCH et al. 2009)

Eine Besondere Eigenschaft der sommerlichen Eisschmelze besteht darin, dass sie nahezu verzögerungsfrei dem Abfluss im Gerinne zugeführt wird und daher - anders als die Schneeschmelze - kaum irgendwelchen temporär wirksamen Speichermechanismen unterliegt. Deshalb wird ihr Beitrag in den Abflusshydrographen der Kopfeinzugsgebiete mit hohem Vergletscherungsanteil besonders deutlich sichtbar. Mit zunehmendem Abstand von der Quelle und wachsender Einzugsgebietsfläche nimmt die Bedeutung der Gletscherschmelze für das saisonale Abflussgeschehen immer weiter ab. Dieser Umstand wird sowohl in der Abbildung 6 deutlich, in welcher die Veränderung des mittleren monatlichen Anteil der Gletscherschmelze am Abfluss eines stark vergletscherten Kopfeinzugsgebietes mit der des Inns bei Innsbruck verglichen wird, als auch speziell in der Abbildung 7, in der anhand des Anteils der Gletscherschmelze am mittleren Maximalabfluss der Einfluss für ausgewählte wachsende Teileinzugsgebiete bis zum gesamten Untersuchungsgebiet gegenübergestellt sind.

Anteil der Gletscherschmelze am mittleren Monatsabfluss [%]

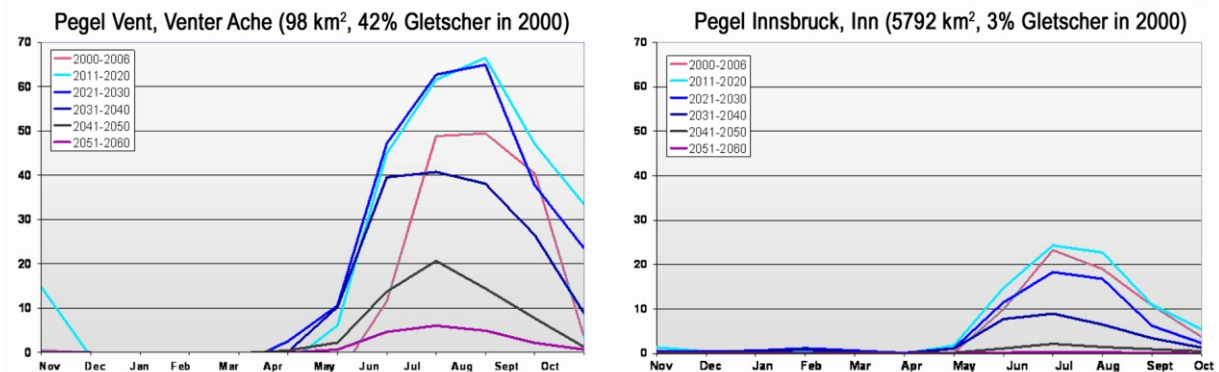
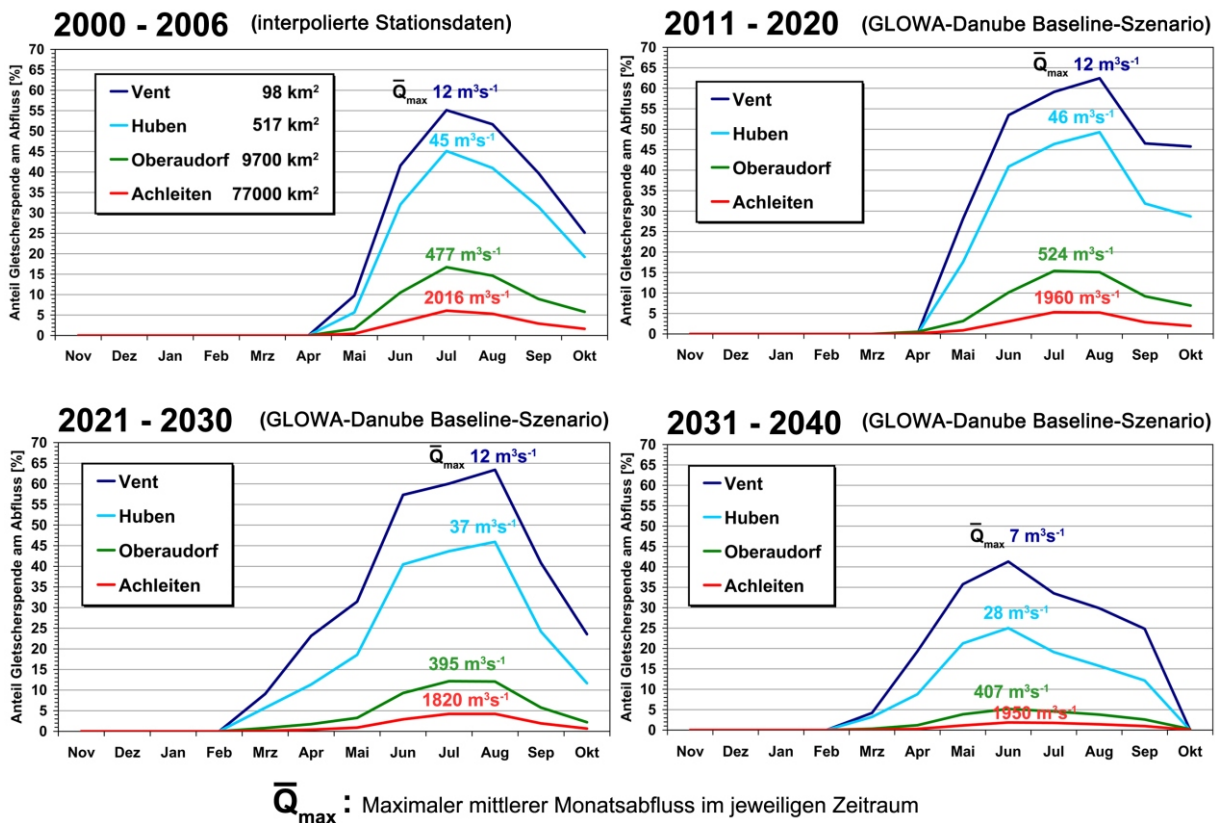


Abb. 6: Veränderung des Anteils der Gletscherschmelze am mittleren monatlichen Abfluss für ein Kopfeinzugsgebiet (Vent) und ein großes Teileinzugsgebiet (Inn) der Donau innerhalb von 5 Dekaden unter der Randbedingung des GLOWA-Danube-IPCC-regional-Szenario (nach PRASCH et al. 2009)

Mittlerer Anteil der Gletscherspende am Abfluss für Teileinzugsgebiete der oberen Donau



\bar{Q}_{\max} : Maximaler mittlerer Monatsabfluss im jeweiligen Zeitraum

Abb. 7: Veränderung des mittleren monatlichen Anteils der Gletscherschmelze am maximalen Abfluss Q_{\max} für unterschiedlich große Teileinzugsgebiete im Donaeinzugsgebiet unter den Bedingungen des IPCC-regional-Szenarios (baseline), erzeugt über den Klimagenerator (MAUSER et al. 2007)

Der Hauptbeitrag am Abfluss liefern die Gletscher in den Monaten Juli und August, wenn große Areale aper und daher die absorbierte kurzweilige Einstrahlung maximale Werte annimmt. Während in den Kopfeinzugsgebieten der Beitrag deutlich über 50% des Gebietsabflusses erreicht, ist der Anteil beispielsweise im Inn bei Innsbruck maximal noch um die 20%. Mit wachsendem Abstand von den Alpen sinkt er bis auf maximal 5% am Pegel Achleiten. Eine kompensatorische Wirkung des Gletscherabflusses in Trockenzeiten ist somit im Einzugsgebiet der oberen Donau auf die inneralpinen Bereiche beschränkt.

Unter der Bedingung eines wärmeren Klimaszenarios nimmt die Bedeutung der Gletscher für den Wasserhaushalt über die beiden ersten Dekaden bis etwa 2030 sogar noch zu. Dies liegt an der zunächst weiter gesteigerten Gletscherschmelze, die im Modell mit einer deutlich längeren Ablationsperiode und der Erstreckung des Eisgebietes auf den Gesamtgletscher erklärt wird. Mit dem Verbrauch der Eisreserven ist jedoch eine drastische Flächenabnahme verbunden (Kap. 2.3.1), so dass der Beitrag am Abfluss in Zukunft deutlich abnimmt. In der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts wird er selbst am Pegel Innsbruck maximal im einstelligen Prozentbereich liegen und somit in Trockenzeiten eine nur unwesentliche kompensatorische Wirkung zeigen.

Die Darstellung der Ergebnisse der Szenarienrechnung in Abbildung 7 zeigt aber außerdem, dass die maximalen mittleren Sommerabflüsse außerhalb oder direkt an den Alpen angesichts der abnehmenden Gletscherspende nur unwesentlich kleiner werden, sich inneralpin aber durchaus halbieren werden, was erheblichen Einfluss auf die natürlichen Speicherezuflüsse hat.

2.3.4 Szenarioläufe und Validierung

Im Rahmen von Testläufen auf der Fläche wurden die Modellergebnisse intensiv auf potentielle Fehler im Programmcode als auch als auch der Beschreibung der Prozesse überprüft und lokalisierte Fehler beseitigt. Wie bereits erwähnt scheitert die umfassende Validierung des Gletschermodells jedoch an der Verfügbarkeit von flächendeckendem Datenmaterial. Dies wird erst mit der Bereitstellung der notwendigen Datensätze (s. Kap. 2.3.2) exemplarisch für einige Gletscher möglich.

Ohne eine umfassende Validierung sind jedoch die Ergebnisse der Szenarienrechnungen nicht abschließend bewertbar. Bereits das eigentlich als gemäßigt eingeschätzte IPCC-A1B-regional-Szenario (+3.3K, +7% Winter, -14% Sommer, „baseline“) führt in den formal fehlerfrei abgearbeiteten Modelrechnungen zu einem fortschreitenden Gletscherrückgang mit einer Geschwindigkeit, wie sie außer dem Ausnahmejahr 2003 noch nie beobachtet wurde (Abb. 8). Die damals gemessenen jährlichen Schmelzraten werden zur Regel, bzw. gegen Ende des Simulationszeitraums noch übertroffen. Dies hat zur Folge, dass bis auf wenige Ausnahmen nahe der höchsten Gipfel am Alpenhauptkamm sämtliche Gletscher im Einzugsgebiet der Donau in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts verschwunden wären. Den Modellresultaten kann entnommen werden, dass diese Verhältnisse durch eine drastische Verlängerung der Ablationsperiode bei gleichzeitiger Abnahme des Schneanteils am Niederschlag bis in die Gipfellagen verursacht werden (Abb. 9). Dabei werden die jährlichen Eisverluste das Doppelte bis Dreifache der gegenwärtig beobachteten Raten betragen. Solche Ergebnisse sind jedoch nur dann vertrauenswürdig, wenn die gegenwärtigen Verhältnisse an den Gletscheroberflächen durch das Modell realistisch beschrieben werden.

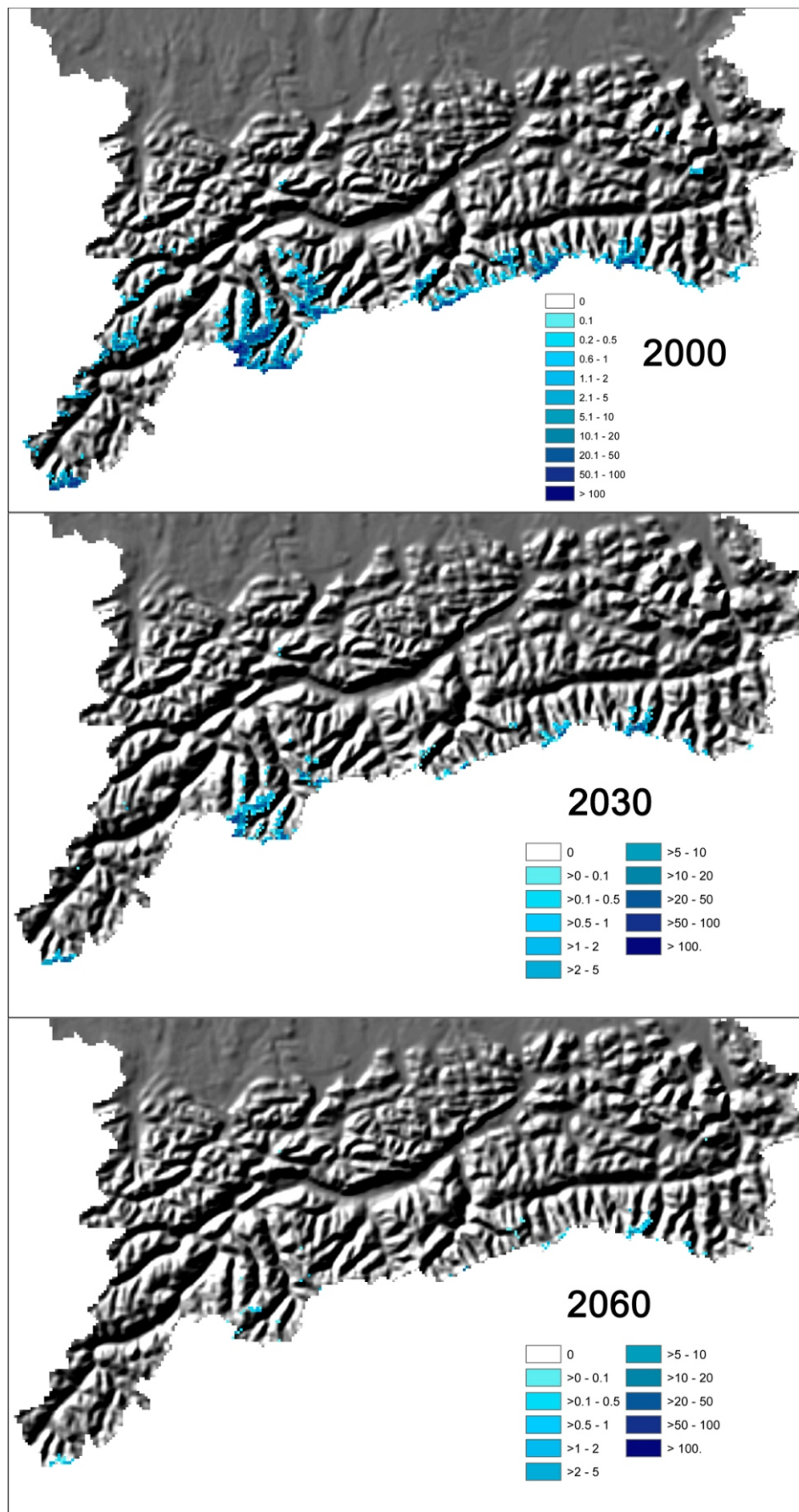


Abb. 8: Veränderung der Eisreserve auf dem km^2 in m w.e. im Einzugsgebiet der oberen Donau auf der Basis einer Modellierung der Entwicklung unter dem DANU-BIA-IPCC-regional-Szenario

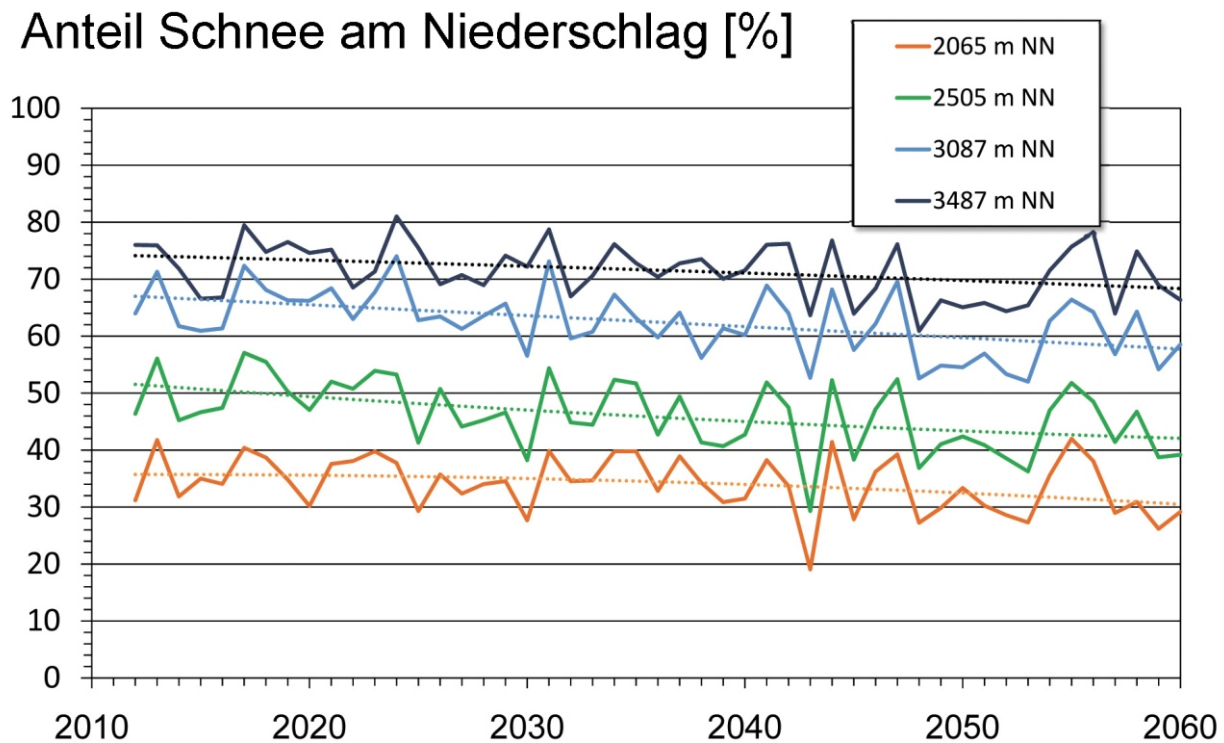


Abb. 9: Resultate zum jährlichen prozentualen Anteil des Schneefalls am Niederschlag auf der Höhenlage von 4 subskaligen Teilflächen, basierend auf einer Modellrechnung mit *Surges* unter den klimatischen Randbedingungen des IPCC-regional-Szenario (aus GLOBAL CHANGE ATLAS, Karte 3.4.1)

2.3.4.1 Lokale Validierung der Eingangsgrößen

Konzeptionell berechnen sowohl das Schnee- und Gletschermodell die Veränderung an der Kryosphäre anhand eines stündlich aktualisierten Satzes von meteorologischen Eingangsdaten, die äquivalent zu lokalen Messwerten sind. Auf jedem 1x1-km²-Proxel werden diese durch die Rahmenprogramme PROMET/DANUBIA-*light* entweder durch verdichtende Interpolation aus Stationswerten oder durch die Klimamodelle MM5 bzw. REMO zur bereit gestellt. Sowohl für die Referenzrechnungen für die Jahre 1999-2006 als auch die durchgeführten Szenarioläufe wurden bislang ausschließlich interpolierte Messdaten bzw. der Klimagenerator (MAUSER et al. 2007) verwendet.

Letztere führen neben der räumlichen Verdichtung der Grundgrößen auch eine zeitliche Extrapolation des Tagesganges auf der Basis der Mannheimer Stunden durch (MAUSER und BACH 2008). Da die Dichte an verfügbaren Messungen in den Alpen außerordentlich dünn ist und zudem auf die Höhenlage unterhalb 3000m beschränkt sind, ist eine Validierung des Verfahrens nur sehr eingeschränkt möglich.

Die im Ötztal auf 2640 m NN betriebene Klimastation Vernagtbach registriert glücklicherweise alle benötigten Eingangsgrößen kontinuierlich und mit hoher zeitlicher Auflösung (BRAUN et al. 2004). Außerdem stimmt ihre Lage und Exposition optimal mit dem DANUBIA-Proxel PID 155755 überein. Da diese Datenreihen nicht in die Aufbereitung für das Modell verwandt werden, sind sie für Validierungszwecke ideal geeignet.

In der Abbildung 10 ist exemplarisch ein Vergleich der Zeitreihen der Stundenwerte der wichtigsten Eingangsgrößen für den Juli 2003 wiedergegeben. Anbetracht der Problematik der Werteverdichtung aus nur 3 Terminwerten ist die Übereinstimmung auch der Tagesgänge für nahezu alle Größen erstaunlich gut. Die gilt speziell für die elementaren Basisgrößen Temperatur und Globalstrahlung, die bei der Berechnung der Oberflächenenergiebilanz die wichtigste Größe darstellen. Erwartungsgemäß weniger gut wird die horizontale Windge-

schwindigkeit wiedergegeben, da diese zumindest in der Umgebung von Gletschern doch extrem durch lokale Effekte geprägt ist. Die Windgeschwindigkeit ist eine wichtige Größe bei der Parametrisierung des turbulenten Austauschs, ist aber gegenüber der Temperatur von etwas geringerer Ordnung. Um aber doch über Gletschern und Schneeflächen optimale Ergebnisse zu erhalten, werden in den Modellen Algorithmen zur Anpassung der Windgeschwindigkeit an die lokalen Verhältnisse verwendet.

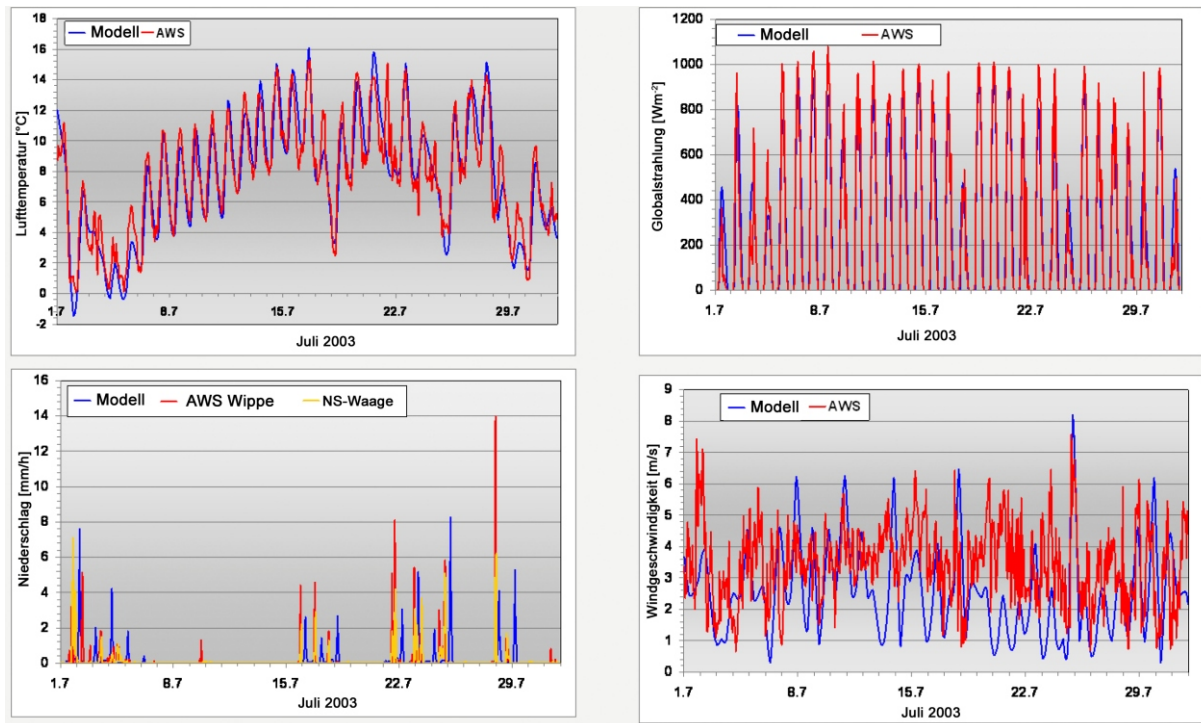


Abb. 10: Vergleich der Stundenmittelwerte der Lufttemperatur, der Globalstrahlung, des Niederschlags und der horizontalen Windgeschwindigkeit, jeweils bereitgestellt von PROMET/DANUBIA (blau) mit Messwerten der Automatischen Wetterstation (AWS) an der Pegelstation Vernagtbach (rot, bzw. gelb) (nach PRASCH et al. 2009)

Problematisch bleibt der Niederschlag, der im Gebirge sehr heterogen verteilt ist. Auch hier ist die PROMET/DANUBIA-Lösung qualitativ erstaunlich nahe an der Messung, wenn auch die genaue zeitliche Zuordnung der Niederschlagsereignisse nicht immer gelingt. Dies kann vor allem im Frühjahr und Herbst zu Fehlern bei der Bestimmung der Schneeakkumulation führen, falls Niederschlag zu warmen oder zu kalten Zeiträumen zugeordnet wird.

2.3.4.2 Validierung von Prozessen an der Schnee-/Eisoberfläche

Die tatsächliche Validierung der Modellfunktionen kann nur in Einzelfällen erfolgen, da geeignete Messungen in exponierten Lagen sehr selten verfügbar sind. Neben den bereits erwähnten Messungen an der Pegelstation Vernagtbach werden gegenwärtig im Untersuchungsgebiet noch weitere kontinuierliche Messungen der Lufttemperatur und der Änderung der Höhe der Oberfläche mit stündlicher Auflösung in 3000m auf dem Vernagtferner durchgeführt. Ähnliche Messungen direkt auf Gletschern sind noch vom Morteratschgletscher (OERLEMANS 2001) bekannt, für einzelne Experimente über kürzere Zeiträume auch an anderen Orten.

Solche Messungen erlauben die Validierung der Prozesse. Ein solcher ist beispielsweise die Änderung der kurzwelligen Albedo der Gletscheroberfläche, die sich nicht nur auf Grund von Schneeaufgabe ändert, sondern auch durch das Altern der Schneedecke. Die korrekte Angabe des Absorptionsvermögens für die solare Einstrahlung ist für eine realistische Be-

rechnung der Schmelzraten essentiell. Die Abbildung 11 zeigt, dass das Modell durchaus in der Lage ist, auch komplexere Änderungen der Albedo naturnah zu beschreiben. Abweichungen gibt es im Detail durch die fehlerhafte zeitliche Zuordnung von Niederschlagsereignissen.

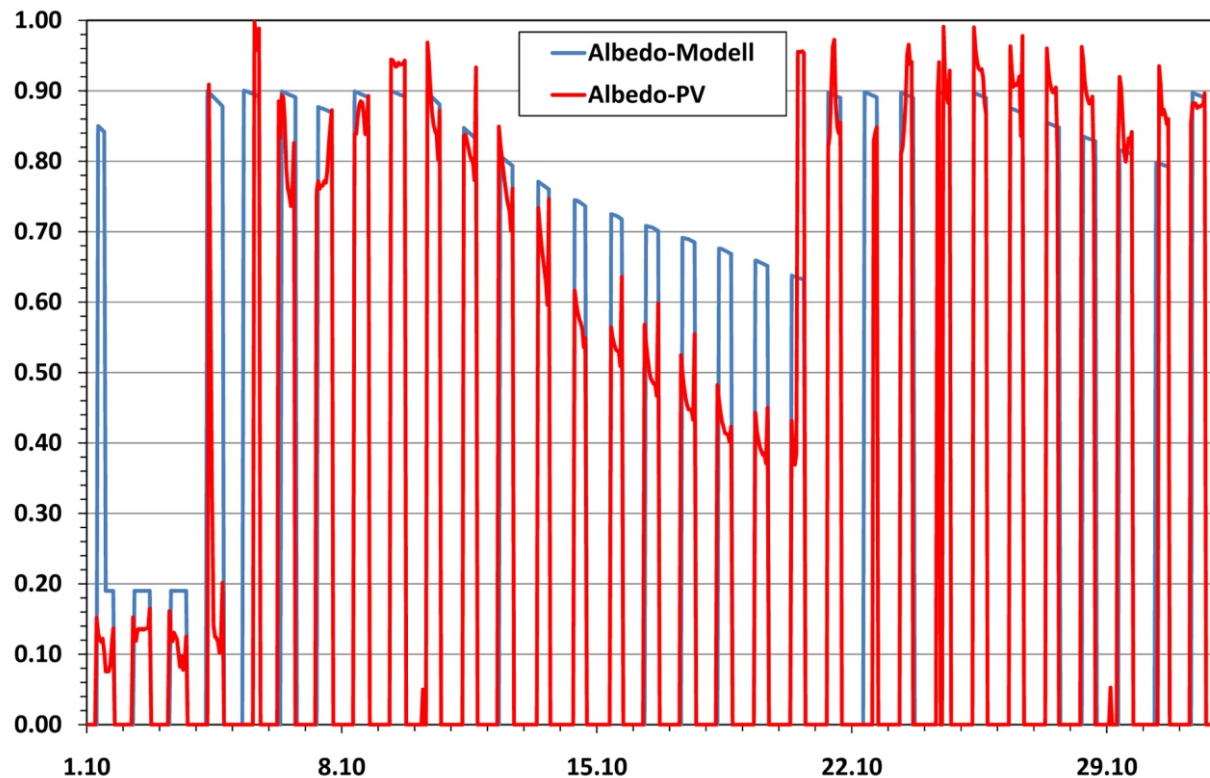


Abb. 11: Vergleich der Stundenmittelwerte der an der Pegelstation gemessenen (rot) und der in diesem Bereich modellierten (blau) Stundenwerte der Albedo im Oktober 2003

Als Gesamtschau für die Qualität der Prozessmodellierung eignet sich die lokale Validierung der Akkumulations- und Ablationsprozesse anhand der beobachteten Schneehöhe. An deren zeitlicher Entwicklung sind aber neben der Akkumulation und der Ablation noch weitere Prozesse beteiligt wie beispielsweise die Setzung und Umlagerungen durch den Wind, welche im Modell nicht berücksichtigt werden. Ein Beispiel zeigt die Abbildung 12 anhand des ersten Halbjahrs 2005, in der die Stundenmittelwerte des mit *Surges* modellierten Wasseräquivalents der Schneedecke auf 3000 m am Vernagtferner mit einer kontinuierlichen Messung der Schneehöhe an einer automatischen Station (BRAUN et al. 2004) verglichen wird. Die Dynamik des Schneedeckenauf- und -abbau wird demnach in dieser Region auch oberhalb der „Datengrenze“ (oberhalb der Höhe, in der operationelle Stationen verfügbar sind) qualitativ gut wiedergegeben wird. Eine quantitative Bewertung ist jedoch mangels der Erhebung von lokalen Profilen der Schneedichte zur Bestimmung des Wasseräquivalents nur mit großer Unsicherheit möglich. Für das Beispiel in Abbildung 12 ergäbe die Annahme einer mittleren Dichte der Schneedecke von 333 kgm^{-3} im Mai ein maximales Wasseräquivalent von 533mm, dagegen ergibt das Modell bei nur etwa 300mm. Dies spricht für eine Unterschätzung des Schneeeintrags mit der Folge beispielsweise eines zu frühzeitigen Ausaperns des Gletschers im Modell.

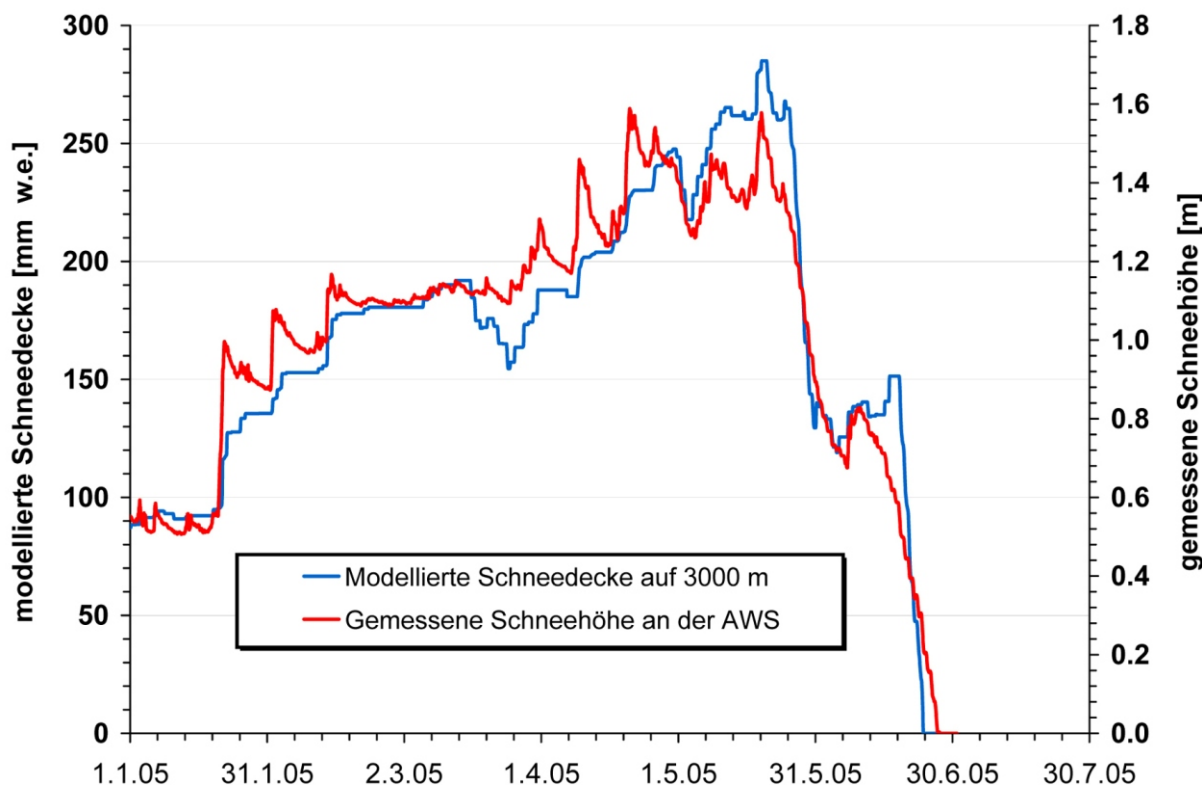


Abb. 12: Vergleich der Stundenmittelwerte der gemessenen (rot) Schneehöhe und dem modellierten Wasseräquivalent der Schneedecke in 3000m Höhe auf dem Vernagtferner

Noch schwieriger wird die Bewertung der Akkumulationsbeträge in Höhenlagen, in denen überhaupt keine kontinuierlichen Messungen verfügbar sind. Die im Rahmen von Massenbilanzuntersuchungen bestimmte Höhenverteilung der Rücklagen ergibt über den Gletschern auf engem Raum eine deutliche Zunahme der Niederschlagsmenge mit der Höhe. Konzeptionelle integrale Massenbilanzmodelle beaufschlagen daher den gemessenen Niederschlag mit Korrekturen, die durch Kalibrierung des Modells ermittelt werden (z.B. KUHN und OLEFS 2007). Die Fortschreibung dieser Korrekturen in die Zukunft ist aber für CC-Fragestellungen ein Problem. Daher lässt das strenge Konzept der Massenerhaltung innerhalb DANUBIA auf der Ebene der *Subskala* lediglich eine interne Umverteilung zu, mit der aber keinesfalls die auf großen Gletschern beobachtete Zunahme des Niederschlags von mehreren mm pro Höhenmeter (ESCHER-VETTER et al. 2009) realisierbar wäre.

2.3.4.3 Modellierungen der Schneedecke in der Zukunft

Neben der Gletschermodellierung wurden auch die Veränderungen der Schneedecke im Untersuchungsgebiet unter den Randbedingungen der Klimaszenarien detailliert untersucht. Die Ergebnisse der Schneemodellierung dienen den im System abgebildeten Akteuren z.B. in den Skigebieten (Öffnungszeiten, Kunstschnee) als Entscheidungsgrundlage. Analysiert wurde z.B. die Änderung der Anzahl der Tage mit Schneebedeckung in unterschiedlichen Höhenlagen und Regionen des Einzugsgebietes, aber auch die Abnahme des Schneeanteils am Gesamtniederschlag. Letztere ist eine wesentliche Ursache für den fortschreitenden Gletscherschwund. Andererseits wird es in den höheren Lagen in den Wintermonaten auch in Zukunft immer Schnee geben, dessen Schmelze eine wichtige Rolle im Abflussregime spielt. Ergebnisse wurden in Form weiterer Beiträge zum Global Change Atlas für das Donaugebiet aufbereitet, wo der erste Beitrag mit der dritten Lieferung erscheint.

3. Fazit und Ausblick

Nachdem die Entwicklung der Schneedecke und der Gletscher anhand von Szenarien über 50 Jahre in die Zukunft gerechnet wurden und die Ergebnisse analysiert wurden, erweisen sich sowohl das subskalige Gletschermodell als auch das Schneemodell als probates Werkzeug zur Untersuchung der Global-Change-Fragestellungen im Projekt GLOWA-Danube. Wenn auch die Validierung anhand der Modellierung der Gletscherveränderungen über längere zusammenhängende Zeiträume in der Vergangenheit (mit Ausnahme des Schneeferrers am Nordrand der Alpen) noch aussteht, erscheinen die Ergebnisse des Gletschermodells *Surges* plausibel. Demnach wird sich der Gletscherschwund auch unter den Bedingungen des gemäßigten Baselineszenario (IPCC A1B, regionaler Temperaturanstieg 3.3K/100 Jahre) dramatisch beschleunigen. Hauptursache dafür ist die wegen der Temperaturerhöhung weiter reduzierte Schneeakkumulation im Winter und die auf mehrere Monate verlängerte Ablationsperiode Sommer, vergleichbar mit der Situation im Sommer 2003. Das Eisgebiet umfasst regelmäßig nahezu die gesamte Gletscherfläche, mit der Folge einer in den ersten Dekaden gegenüber heute gesteigerten Gletscherschmelze. In deren Folge werden die Gletscher im Untersuchungsgebiet nach 60 Jahren nahezu vollständig verschwunden sein, was aber nur in den inneralpinen Einzugsgebieten den Wasserhaushalt deutlich beeinflusst.

Bei der Bewertung dieser Ergebnisse gilt es zu bedenken, dass es zu den in den Szenarien vorgegebenen klimatischen Randbedingungen bislang außer dem Sommer 2003 keine vergleichbaren Beobachtungen gibt. Wenn auch bezüglich der lokalen Akkumulationsraten immer noch erhebliche Unsicherheiten bestehen, so sind diese doch kleiner als die unter diesen Vorgaben aus dem Modell resultierenden Trends. Die verwendeten Szenarien wurden im Rahmen des *Stakeholder*prozess diskutiert und als realistisch beurteilt, somit ist auch die durch das Modell beschriebene Entwicklung den *Stakeholdern* vermittelbar. Will man jedoch die Ergebnisse als Prognose des Zeitpunkts des Verschwindens einzelner Gletscher interpretieren, sollte man erhebliche Vorsicht walten lassen: Für die durch das Modell *Surges* beschriebene Veränderung der Gletscher ist der Witterungsverlauf evident, der sich in den Realisierungen der Szenarien weitgehend zufällig ergibt. Über den Ablauf des Temperaturanstiegs selbst bestehen noch erhebliche Unsicherheiten. In der Vergangenheit wurden temporäre Pausen im Erwärmungstrend beobachtet, durch die der Gletscherrückgang immer wieder verzögert wurde. Diese sind in der vorliegenden Modellierung nicht enthalten.

Entgegen dem hohen Entwicklungsstand sind im Modell selbst noch Defizite enthalten, die teilweise aus Wissenslücken, teilweise auch aus notwendigen Vereinfachungen folgern: Potentielle Fehler bei der Einschätzung der lokalen Niederschlagsmengen beispielsweise summieren sich über die langen Modellierungsperioden zu Fehlbeträgen, die einer Eisdicke von mehreren Dekametern entsprechen, was bei vielen Gletschern die gegenwärtige Eisreserve übersteigt. Ferner werden auf einige wichtige auf der kleinen Skala wirksame Prozesse im Modell nur sehr rudimentär abgebildet. Dazu gehören insbesondere auch der Einfluss der Exposition der Gletscherflächen und die dort wirksame kleinräumige Abschattung, die lediglich auf der Proxelskala berücksichtigt werden. Dies hat beispielsweise im Ötztal zur Folge, dass für den in der *Subskala* nach Norden exponierten Guslarferner auf der Proxelskala ähnliche Schmelzraten wie für den großräumig nach Süden ausgerichteten Vernagtferner berechnet werden, obwohl diese nach der Beobachtung gerade 25% davon betragen. Ein zusätzlicher subskaliger Parameter, bestimmt aus hochaufgelösten DGMs könnte hier die Qualität weiter verbessern. Dasselbe gilt für die Anwendung eines subskaligen Schneemodells (PRASCH et al. 2009).

4. Literatur

- BRAUN, L.N., ESCHER-VETTER, H., HEUCKE, E., SIEBERS, M. und WEBER, M. (2004): „Experiences with the new 'Vernagtbach' hydro-meteorological station“. In: OERLEMANS and TIJM-REIJMER: Book of extended abstracts of presentation at the Workshop „Automatic Weather Stations on Glaciers“, Pontresina, 28 to 31 March 2004, IMAU, pp. 38-44. Im Internet auch unter http://www.glaziologie.de/download/aws_abstracts_v2.pdf herunterladbar.
- KUHN, M. und OLEFS, M. (2007): „Auswirkungen von Klimaänderungen auf das Abflussverhalten von vergletscherten Einzugsgebieten in Hinblick auf Speicherkraftwerke“, Bericht StartClim2007.E, IMG1, 49 S.
- MAUSER, W., PRASCH, M. und STRASSER, U. (2007): „Physically based Modelling of Climate Change Impact on Snow Cover Dynamics in Alpine Regions using a Stochastic Weather Generator“. In: OXLEY, L. and KULASIRI, D. (eds): MODSIM 2007 International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, December 2007, pp. 2138-2145, Proceeding, published.
- MAUSER, W. und BACH, H. (2008): „PROMET - a Physical Hydrological Model to Study the Impact of Climate Change on the Water Flows of Medium Sized, Mountain Watersheds“, Submitted to Journal of Hydrology.
- OERLEMANS, J. (2001): „Glaciers and Climate Change“, A.A. Balkema Publishers, Lisse/Abingdon/ Exton/ Tokyo, ISBN 90 265 1813 7, 148 S.
- WEBER, M. (2007): „A parameterization for the turbulent fluxes over melting surfaces derived from eddy correlation measurements“. In: STRASSER, U. and VOGEL, M. (Eds.): Proceedings of the Alpine*Snow*Workshop (www.alpinesnowworkshop.org), Munich, October 5-6, 2006, Germany. Berchtesgaden National Park research report, Nr. 52.
- WEBER, M. und KUHN, M. (2008): Jahresbericht Teilprojekt Glaziologie 2007/8.
- WEBER, M. (2009b): „Gletscher - Mikrometeorologische Prozesse bei der Ablation eines Alpengletschers“. Abhandlungen der Math.-Naturwissenschaftl. Klasse, 40 Tafeln. XL, Verlag C.H.Beck, München, ISBN 978-3-7696-2564-6, 258 S.

Entwicklung und Bereitstellung von REMO-Szenarien zum Klimawandel des Wasserkreislaufs im Einzugsgebiet der Oberen Donau

Teilprojekt: Regionale Klimamodellierung
 Leiter: Dr. Daniela Jacob
 Ausführende Stelle: Max-Planck-Institut für Meteorologie
 Atmosphäre im Erdsystem
 Bundesstr. 53; 20146 Hamburg
 Berichtersteller: S. Preuschmann, J.-P. Pietikäinen, D. Jacob

1. Allgemein

1.1 Organisation

Am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg wird seit 1993 das regionale atmosphärische Klimamodell REMO entwickelt und betrieben. Es kann an verschiedene hydrologische Modelle, sowie Ozean/Seeeis Modelle gekoppelt werden, zudem kann ein Modul zur Troposphärenchemie eingebettet werden.

Für die Parametrisierung von subskaligen Prozessen wird das Parametrisierungsschema des Hamburger Globalmodells (ECHAM4) verwendet, in dem grundlegende klimawirksame Prozesse beschrieben werden.

Im Rahmen des GLOWA-Danube Projektes Phase III sollen die meteorologischen Ausgabeparameter von REMO der Simulationsläufe im Auftrag vom Umweltbundesamt genutzt werden, um den Klima Input für das Decision-Support-System DANUBIA zu referenzieren.

Im Zuge der Projektarbeit wird REMO auf mögliche Verbesserungen hinsichtlich der Beschreibung der in REMO eingehenden Landnutzung sowie einer Verbesserung der Niederschlagsparameterisierung untersucht.

1.2 Personelles

Keine Veränderung zum vorhergehenden Berichtszeitraum

- Eine Doktoranden Stelle ist seit dem 15. Mai 2007 durch Frau Swantje Preuschmann besetzt, zum Thema: Analyse über den Einfluss der Landnutzung in regionaler und lokaler Größenordnung auf das Klimasignal im Regionalem Klimamodell REMO anhand eines Vergleiches zur Landnutzung im Decision-Support-System DANUBIA.
- Die zweite Doktoranden Stelle ist seit dem 1. März 2008 durch Herrn Joni-Pekka Pietikäinen besetzt, zum Thema: Einfluss der Aerosole auf die Niederschlagsbildung im Einzugsgebiet der Oberen Donau.

1.3 Meetings im Berichtszeitraum

- 02.05.-03.05.2008 Klausurtagung, Herrsching (Preuschmann)
- 29.09.-01.10.2008 Klausurtagung, Hofgeismar (Jacob, Pietikäinen, Preuschmann)

1.4 Veröffentlichungen, Vorträge und Posterpräsentationen

PREUSCHMANN, S. und JACOB, D. (2008): Small changes in the LAI-distribution for middle Europe: is the regional climate changing?; Posterbeitrag zur MPI-M Begutachtung durch den wissenschaftlichen Fachbeirat, November 2008, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg.

PIETIKÄINEN, J.-P., PFEIFER, S., KAZIL, J., TEICHMANN, C., LAAKSONEN, A., FEICHTER J. und JACOB, D. (2008): Implementation of the HAM-M7 Aerosol Module and ECHAM5 Cloud Physics in the Regional Model REMO; Posterbeitrag zur MPI-M Begutachtung durch den wissenschaftlichen Fachbeirat, November 2008, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg.

2. REMO Datenauswertung und Vergleich

2.1 Analyse hydrologischer Faktoren in REMO

Für den Vergleich mit den MM5 Ergebnissen der Arbeitsgruppe Meteorologie/MM5 der Ludwig Maximilian Universität München sowie den auf 1km Auflösung statistisch skalierten Daten (SCALMET) der AG Hydrologie und Fernerkundung der Ludwig Maximilian Universität wurden Temperatur- und Niederschlagsdaten der REMO-UBA Simulationen (JACOB et al. 2008) auf dem Oberen Donau Einzugsgebiet untersucht.

Die UBA-Simulationen liegen für den Zeitraum 1950 bis 2100 vor, wobei 1950-2000 Ergebnisse des Kontrolllaufes sind, und ab 2001 die Simulationsläufe unter Berücksichtigung der vom Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) vorgeschlagenen Emissionsszenarien eingehen. Innerhalb des Projektes GLOWA-Danube einigte man sich für die Zukunftsläufe ausschließlich das A1B-Szenario zu nutzen und zu betrachten. Angetrieben wurde REMO für die Simulationen im Auftrag des Umweltbundesamtes mit dem dritten Member der ECHAM5-MPIOM Simulationen, was, identisch zu den MM5-Antriebsdaten für GLOWA-Danube der Münchener Meteorologie-Gruppe.

Hinsichtlich der Auswertungen im vergangenen Jahr änderte sich der Referenzzeitraum: Zur Berechnung der Änderungssignale wurden im vergangenen Jahr (sowie allgemein zur Auswertung der für das Umweltbundesamt durchgeführten Simulationen) REMO-Daten auf den Bezugszeitraum der dritten KLIMA-NORMAL-Periode von 1961-1990 bezogen. Da MM5 Simulationen mit dem Simulationsjahr 1971 beginnen, wurde für die vergleichenden Auswertungen der Referenzzeitraum auf die Referenzperiode 1971/2000 angepasst. Die Berechnung des Änderungssignal im letzten Bericht wurde speziell auf die Zukunftsperiode 2035/2064 bezogen und in diesem Berichtsjahr auf zwei Zukunftszeitperioden 2031/2060 und 2071/2100. Um aber die Ergebnisabweichung zu bisherigen Auswertungen abschätzen zu können, wurde hinsichtlich des Änderungssignals die Ergebnisse von Temperatur- und Niederschlagsdaten der REMO-Simulationen auf dem Oberen Donau Einzugsgebiet für die Zeiträume 1961/1990, 1971/2000, 2031/2060, 2035/2064 und 2071/2100 verglichen. Von zusätzlichem Interesse ist eine saisonale Aufteilung der Daten. Den Analysen liegen Datenreihen monatlicher Mittel zugrunde, die einerseits saisonal gemittelt, andererseits als Jahresmittel betrachtet werden. Dabei kommt es zu geringen Abweichungen bei dem Vergleich der saisonalen Ergebnisse zu den Ergebnissen der Jahresmittel. Bei der Auswertung der saisonalen Mittel werden die Saisonmittel vor der Auswahl der Zeitperioden erstellt werden, im Jahresmittel, aber erst die Zeitperiode gewählt wird. Es verschieben sich somit die Ergebnisse um eine Differenz von einem Monatsmittel.

Alle Darstellungen und Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf das Untersuchungsgebiet des Oberen Donau Einzugsgebietes.

2.1.1 Temperatur

Die mittleren Temperaturen über die oben gewählten 30-jährigen Zeitperioden für die Jahreszeiten Winter (DJF), Frühling (MAM), Sommer (JJA), Herbst (SON) sowie das entsprechende Jahresmittel (Tab. 1) zeigen, dass REMO prinzipiell eine zu erwartende Erwärmung im Oberen Donau Einzugsgebiet simuliert.

Tab. 1: Saisonale- und Jahresmitteltemperatur für verschiedene Zeiträume im Oberen Donau Einzugsgebiet

Periode	DJF	MAM	JJA	SON	Jahr
1961/1990	-1.26	7.48	15.05	7.82	7.27
1971/2000	-1.59	7.52	15.38	8.01	7.33
2031/2060	0.42	8.43	16.61	9.66	8.78
2035/2064	0.68	8.75	17.17	10.02	9.16
2071/2100	3.05	9.73	19.22	11.93	10.98

Im Vergleich liegen die absoluten Abweichungen der Klima-Normal-Periode zur Referenzperiode zwischen 0.03°C und 0.33°C und sind in Tabelle 2 saisonal aufgeschlüsselt sowie für das Jahresmittel dargestellt. In Tabelle 2 sind außerdem die Abweichungen der Beobachtungsperioden untereinander eingetragen. Es ist zu bemerken ist, dass die Differenz der mittleren Temperaturen zwischen den Perioden 2071/2100 im Vergleich zu den Perioden 2031/2060 und 2035/2064 verhältnismäßig stark differiert, trotz einer ausgeprägten Überschneidung der Perioden 2031/2060 und 2035/2064. REMO simuliert gerade für den nicht überschneidenden Zeitraum einen im Vergleich zum Durchschnitt besonders kühlen Abschnitt mit einem extrem minimalen Jahresmittel von nur 6°C . Somit ist die Erwärmung im Vergleich zur früheren Periode 2031/2060 deutlich größer als zur späteren Periode 2035/2064, was in Abbildung 1 nachvollzogen werden kann. Die Differenz der mittleren Temperatur der beiden Perioden zueinander liegt bei 0.3°C und in der Sommersaison bei 0.56°C .

Tab. 2: Absoluten Differenzen in $^{\circ}\text{C}$ der Saisonalen- und Jahresmitteltemperatur verschiedener Perioden zueinander

Temperatur Mittel	DJF	MAM	JJA	SON	Jahr
refp-knp	-0.33	0.03	0.33	0.19	0.06
2035/2064 - 2031/2060	0.25	0.31	0.56	0.35	0.37
2071/2100 - 2035/2064	2.37	0.98	2.04	1.91	1.82
2071/2100 - 2031/2060	2.63	1.29	2.61	2.26	2.20

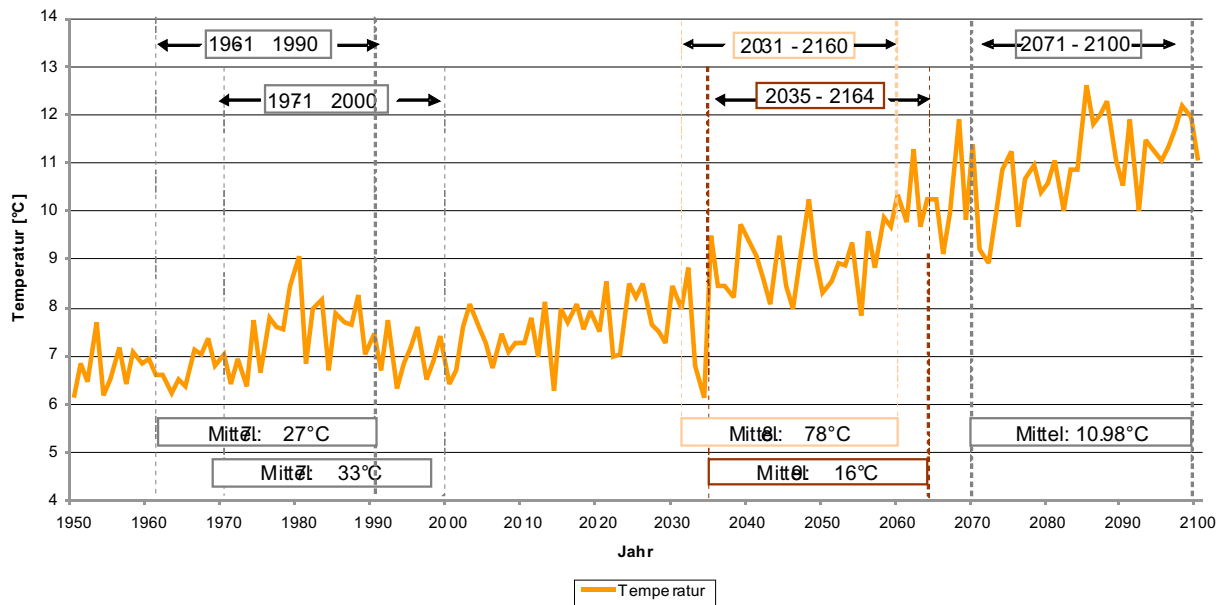


Abb. 1: vorläufig - Absolute Jahresmittel Temperatur im Einzugsgebiet der Oberen Donau für den Zeitraum 1950-2100 (Kontrolllauf und A1B Szenario)

Auch sind in Abbildung 1 die entsprechenden Zeitperioden mit ihren mittleren Jahresmitteltemperaturen eingetragen. Das Änderungssignal berechnet sich dabei als Differenz des Mittels einer Zukunftsperiode zum Mittel einer Referenzperiode. Für die verschiedenen 30-Jährigen Perioden, jeweils im Bezug auf die Klima-Normal-Periode 1961/1990 und die Referenzperiode 1971/2000, sowie saisonal aufgeschlüsselt und für das Jahresmittel sind die Ergebnisse in Tabelle 3 dargestellt.

Vergleicht man die Änderungssignale jeweils bezogen auf die verschiedenen Perioden der Klima-Normal-Periode 1961/1990 sowie der Referenzperiode 1971/2000 ist die Differenz der Bezugsperioden stets die Differenz der Änderungssignale (Tab. 4) was aus dem linear charakterisiertem Verlauf der Temperaturkurve folgt.

Tab. 3: Änderungssignal der Saisonalen- und Jahresmitteltemperatur verschiedener Perioden jeweils im Vergleich zur Klima-Normal-Periode 1961/1990 (knp) und zur Referenzperiode 1971/2000 (refp)

Periode	Bezug	Änderungssignal in °C				
		DJF	MAM	JJA	SON	Jahr
2031/2060	knp	1.69	0.95	1.57	1.85	1.52
2031/2060	refp	2.01	0.92	1.24	1.65	1.46
2035/2064	knp	1.94	1.26	2.13	2.20	1.89
2035/2064	refp	2.26	1.23	1.80	2.01	1.83
2071/2100	knp	4.31	2.24	4.17	4.11	3.72
2071/2100	refp	4.64	2.21	3.84	3.91	3.66

Tab. 4: Differenzen der Änderungssignale bezogen auf die Klima-Normal-Periode 1961/1990 zum Änderungssignal bezogen auf die Referenzperiode 1971/2000

Änderungssignal	Änderungssignal der Periode 2031/2060: refp-knp				
Temperatur	0.33	-0.03	-0.33	-0.19	-0.06
	Änderungssignal der Periode 2035/2064: refp-knp				
	0.33	-0.03	-0.33	-0.19	-0.06
	Änderungssignal der Periode 2071/2100: refp-knp				
	0.33	-0.03	-0.33	-0.19	-0.06

Lineare Trendberechnungen hängen direkt von der Wahl der Zeitspanne ab, vor allem aber, ob sich zu Beginn oder Ende der Zeitspanne Ausreißer befinden. Der lineare Trend ist dem Änderungssignal ähnlich, ist aber nicht vergleichbar oder überführbar zum Änderungssignal. Beim linearen Trend handelt es sich um die Steigung einer Ausgleichsgrade und somit um den Quotient:

$$m = \frac{f(z_2) - f(z_1)}{z_2 - z_1}$$

Wobei $f(z_1)$ und $f(z_2)$ die Funktionswerte der zugehörigen Regressionsgeraden über die Zeitreihe der Temperaturwerte ist, hingegen das Änderungssignal die Differenz der direkten Mittel von Zeitausschnitten der Zeitreihe über die Temperaturwerte, also:

$$aend = \frac{z_m + z_m + \dots z_i}{\# z_{m..i}} - \frac{z_a + z_b + \dots z_j}{\# z_{a..j}}$$

Da die Temperaturkurve über die Jahre 1950-2100 im Mittel stetig ansteigt, (eine Regression an ein Polynom 2.Grades ergibt einen Koeffizienten von 0.00003 für das quadratische Glied - (nicht gezeigt), kann ein linearer Trend angenommen werden.

Für verschiedene Zeitperioden ergibt sich im Jahresmittel stets ein positiver Temperaturtrend (Tab. 5). Saisonal aufgeschlüsselt zeigt sich aber z.B. für die Periode 1951/2000 (und auch 1951/2010) allein für die Wintersaison ein negativer Trend. Unterteilt man die Betrachtungen in drei 50-Jährige Abschnitte ab 1991 zeigt sich, dass die Steigung der Trendgraden für den Zeitraum 1951/2000 mit 0.013 deutlich schwächer ist, als für die Zeiträume 2001/2050 mit 0.038 und mit 0.056 für den Zeitraum 2051/2100.

Für das A1B Szenario simuliert REMO also für die zweite Hälfte des 21. Jahrhunderts einen zunehmenden Temperaturtrend von 2.82°C, was im Vergleich zur Simulation innerhalb des Kontrollzeitraums 1951/2000 um das vierfache höher ist. Insgesamt steigt in der REMO-Simulation des A1B-Szenarios für den Zeitraum 1990-2100 die mittlere Jahrestemperatur im Oberen Donau Einzugsgebiet um über 5°C.

Tab. 5: Temperaturtrend in °C für verschiedene Zeitperioden sowie ihre saisonale Aufschlüsselung (m=Steigung der Trendgeraden, ntime=Anzahl der Zeitschritte, m*ntime entspricht dem Trend über die Zeitperiode)

Temperaturtrend			
Intervall	m	ntime	m*ntime
1990/2100	0.047	111	5.21
DJF	0.061	111	6.76
MAM	0.034	111	3.74
JJA	0.048	111	5.31
SON	0.046	111	5.07
1951/2000	0.013	50	0.64
DJF	-0.021	50	-1.07
MAM	0.024	50	1.19
JJA	0.022	50	1.12
SON	0.024	50	1.20
2001/2050	0.038	50	1.91
DJF	0.054	50	2.71
MAM	0.029	50	1.44
JJA	0.034	50	1.71
SON	0.036	50	1.79
2051/2100	0.056	50	2.82
DJF	0.081	50	4.07
MAM	0.030	50	1.49
JJA	0.064	50	3.20
SON	0.052	50	2.60
1951/2010	0.010	60	0.60
DJF	-0.016	60	-0.98
MAM	0.021	60	1.28
JJA	0.016	60	0.94
SON	0.019	60	1.11

2.2.2 Niederschlag

Anders hingegen sieht der Verlauf der absoluten Niederschlagswerte für das Obere Donau Einzugsgebiet aus. Im gleitenden 10-Jährigen Mittel für die Niederschlagsdaten ist ein glockenkurviger Verlauf erkennbar. Das quadratische Glied bei einer Regression an ein Polynom 2. Grades geht nicht gegen Null, sondern ergibt einen Koeffizienten von 0.018 (siehe Abbildung 2). Eine lineare Betrachtung der Ergebnisse über längere Zeitperioden kann somit gegensätzliche Tendenzen zum tatsächlichen Verlauf der Ergebnisse

aufweisen. Wie in Abbildung 2 und 3 beispielhaft dargestellt, verläuft der Trend entgegengesetzt, für einen verkürzten Zeitraum 1950-2010 (Abb. 3) als für den gesamten Zeitraum 1950-2100 (Abb. 2).

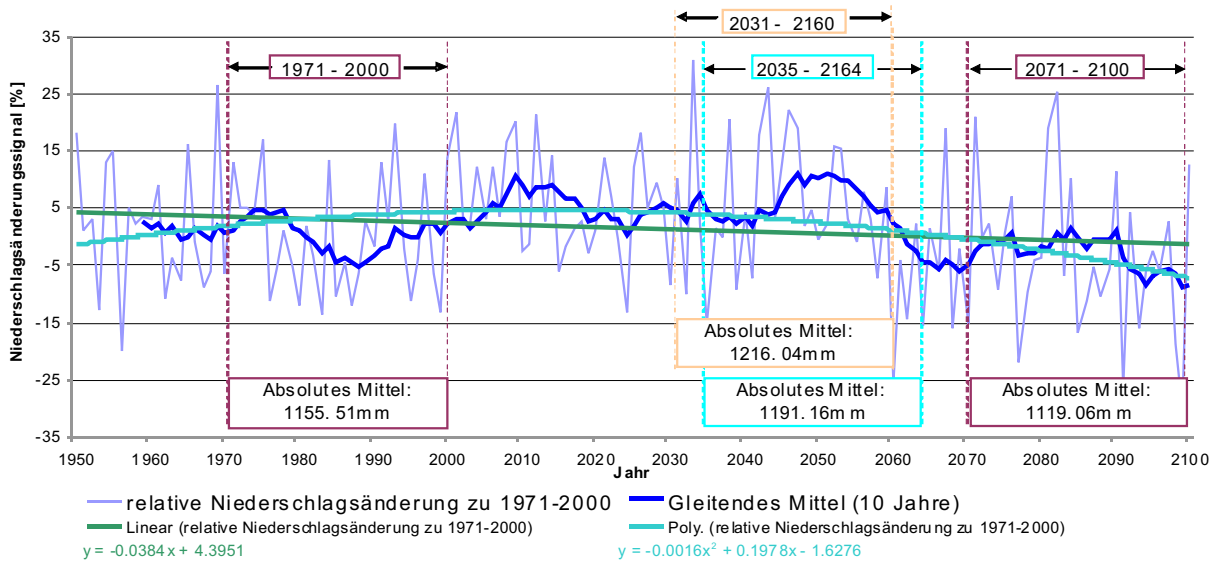


Abb. 2: Relatives Niederschlagsänderungssignal bezogen auf die Referenzperiode 1971/2000 mit 10-jährigem gleitendem Mittel, Trendgeraden für den Zeitraum 1950-2100 und Regressionskurve 2.Grades sowie eingetragenen Periodenabschnitten mit zugehörigem absoluten Niederschlagsmitteln

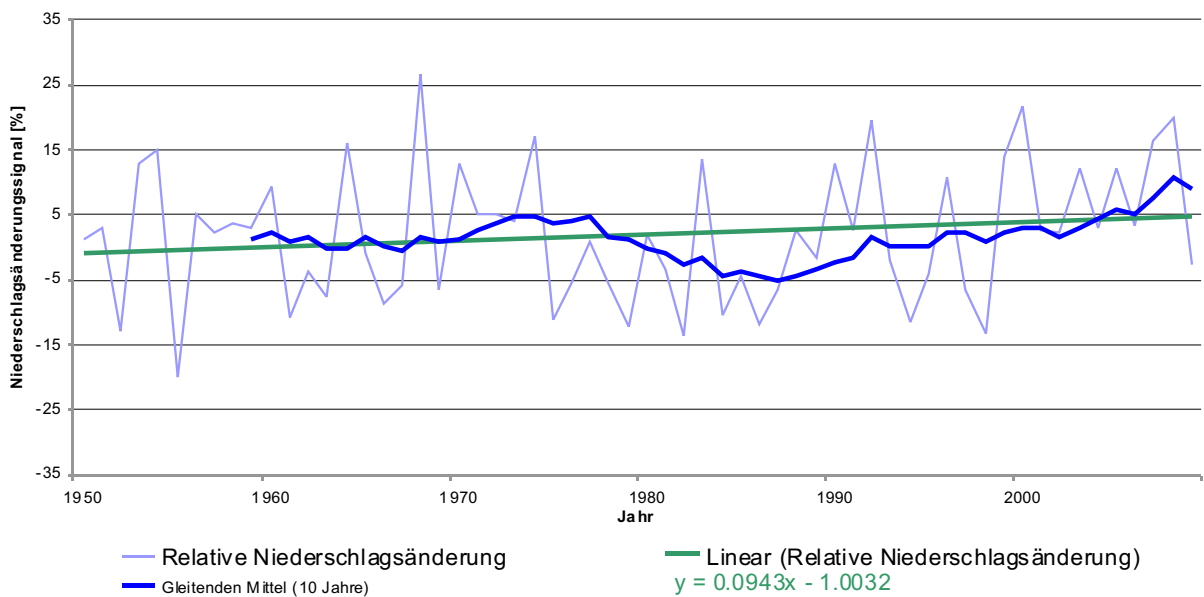


Abb.3: Relatives Niederschlagsänderungssignal bezogen auf die Referenzperiode 1971/2000 mit 10-jährigem gleitendem Mittel und Trendgeraden für den Zeitraum 1951-2010

Markant ist hier auch der Unterschied der beiden Perioden 1951/2000 zur Periode 1951/2010: Die Hinzunahmen von zehn Jahren ergibt eine gegensätzliche Entwicklung. Während der Trend der kürzeren Periode mit -0.25% eine negative Entwicklung aufweist, verläuft der Trend für den Zeitraum 1951/2010 mit +5.66% in eine positive Richtung weist also eine Niederschlagszunahme auf. Im Gegensatz zur Temperatur kann man bei Betrachtung der 50-Jährigen Zeitabschnitte wiederum den bauchigen Charakter der Kurve nachvollziehen. Das mittlere Drittel der Zeitreihe weist die schwächste Niederschlagsabnahme auf.

Tab. 6: Niederschlagstrend über das relative Änderungssignal bezogen auf die Referenzperiode 1971/2000 für verschiedene Zeiträume sowie die zugehörige saisonale Aufschlüsselung

Niederschlagstrend			
Intervall	m	ntime	m*ntime
1990/2100	-0.114	111	-12.64
DJF	-0.045	111	-4.94
MAM	0.082	111	9.08
JJA	-0.283	111	-31.40
SON	-0.131	111	-14.51
1951/2000	-0.044	50	-2.18
DJF	0.255	50	12.74
MAM	-0.027	50	-1.36
JJA	-0.119	50	-5.93
SON	-0.286	50	-14.29
2001/2050	-0.005	50	-0.25
DJF	-0.198	50	-9.90
MAM	0.147	50	7.33
JJA	-0.137	50	-6.87
SON	0.168	50	8.38
2051/2100	-0.198	50	-9.91
DJF	0.160	50	7.98
MAM	-0.019	50	-0.96
JJA	-0.301	50	-15.07
SON	-0.616	50	-30.82
1951/2010	0.094	60	5.66
DJF	0.424	60	25.41
MAM	0.047	60	2.85
JJA	-0.071	60	-4.24
SON	0.078	60	4.69

Absolut betrachtet (Tab. 7) liegen die mittleren Niederschlagswerte in mm für alle Jahreszeiten durchgehend über 230mm und überschreiten nicht 380mm. Die mittleren Jahresniederschläge für das obere Donau Einzugsgebiet liegen absolut zwischen 1110mm und ungefähr 1200mm.

Tab. 7: Gemittelter Saisonal- und Jahresniederschlag in mm für verschiedene Zeiträume im Oberen Donau Einzugsgebiet

Periode	DJF	MAM	JJA	SON	Jahr
1961/1990	262.17	257.41	379.92	247.16	1149.60
1971/2000	268.99	263.79	376.10	245.32	1155.51
2031/2060	277.31	291.28	363.11	284.88	1216.04
2035/2064	274.07	293.33	341.37	284.02	1191.16
2071/2100	295.48	289.92	297.23	237.11	1119.06

Die relativen Änderungen wurden entsprechend jeweils für die Klima-Normal-Periode sowie die Referenzperiode saisonal aufgeschlüsselt berechnet (Tab. 8), und zeigen deutlich unterschiedliche Entwicklungen bezogen auf die verschiedenen Bezugsperioden. So ist z.B. die Differenz der mittleren Änderungen für den Sommer der Perioden 2031/2060 und 2035/2064 mit einer Abweichung von 20% maßgebend für die gesamte Differenz der Änderungssignale der beiden Perioden zueinander (Tab. 9). Die Differenz des Änderungssignal bezogen auf die beiden gegebenen Referenzperioden unterscheidet sich hingegen um maximal 2.7% und liegt für die Jahrmittel jeweils bei 0.5% (Tab. 10).

Tab. 8: Relatives der Saisonalen- und Jahresmitteltemperatur verschiedener Perioden jeweils im Vergleich zur Klima-Normal-Periode 1961/1990 (knp) und zur Referenzperiode 1971/2000 (refp)

		Relatives Änderungssignal in %				
Periode	Bezug	DJF	MAM	JJA	SON	Jahr
2031/2060	knp	5.77	13.16	-4.42	15.26	5.78
2031/2060	refp	3.09	10.42	-3.45	16.13	5.24
2035/2064	knp	4.54	13.95	-10.15	14.91	3.62
2035/2064	refp	1.89	11.20	-9.23	15.78	3.09
2071/2100	knp	12.70	12.63	-21.76	-4.07	-2.66
2071/2100	refp	9.85	9.90	-20.97	-3.35	-3.15

Tab. 9: Differenzen der relativen Niederschlagsänderungssignale bezogen auf die Klima-Normal-Periode 1961/1990 zum Änderungssignal bezogen auf die Referenzperiode 1971/2000

Niederschlag Mittel	DJF	MAM	JJA	SON	Jahr
refp-knp	6.82	6.38	-3.81	-1.84	5.91
2035/2064 - 2031/2060	-3.24	2.05	-21.74	-0.86	-24.88
2071/2100 - 2035/2064	21.41	-3.41	-44.14	-46.91	-72.10
2071/2100 - 2031/2060	18.17	-1.36	-65.88	-47.77	-96.98

Tab. 10: Differenzen der relativen Niederschlagsänderungssignale zwischen den beiden Bezugsperioden Klima-Normal-Periode 1961/1990 und Referenzperiode 1971/2000

Änderungssignal der Periode 2031/2060: refp-knp				
-2.68	-2.74	0.97	0.87	-0.54
Änderungssignal der Periode 2035/2064: refp-knp				
-2.65	-2.76	0.91	0.86	-0.53
Änderungssignal der Periode 2071/2100: refp-knp				
-2.86	-2.72	0.79	0.72	-0.50

Die Wahl der Bezugsperioden Klima-Normal-Periode/Referenzperiode ist für die Berechnung des relativen Änderungssignals kein ausschlaggebender Veränderungsfaktor. Die Differenz liegt im jährlichen Mittel bei einem halben Prozent. Hingegen ist aber die Wahl des Zeitabschnittes für die Berechnung des Änderungssignals und auch für die Trendberechnung bedeutsam. Je nach dem welcher Zeitausschnitt gewählt wird, können gegensätzliche Entwicklungen dargestellt werden.

2.3 Erstellung einer REMO kompartiblen DANUBIA *Landsurface* und Weiterentwicklung

Bei den Überlegungen eine REMO-Kompartiblen DANUBIA *Landsurface* zu erstellen, stoßen wir auf eine grundsätzliche Diskrepanz zur Beschreibung der Landoberflächeneigenschaften.

Während für REMO davon ausgegangen wird, dass für den Untersuchungsraum der Jahresgang der Albedo dem einer Glockenkurve ähnelt, verläuft der vorgegebene Jahresgang der Albedo der DANUBIA-*Landsurface* im Wesentlichen einer U-Kurvenform.

In REMO wird der Ansatz verfolgt, dass die Albedo ohne den Einfluss einer Schneeralbedo im Winter niedrige Werte erreicht, zu dem Zeitpunkt inaktiver Pflanzen bzw. die im Verwitterungsprozess befindlichen Pflanzenreste, tendenziell eher feuchte, nicht phänologisch aktive Bodenflächen sichtbar sind. Zur aktiven Phase hin erhöht sich die Albedo im Einzugsgebiet der oberen Donau, aufgrund einer angenommenen höheren Albedo aktiver Pflanzen gegenüber dem Untergrund.

Abbildung 4 ist eine grobe Zusammenstellung einiger interessanter Aspekte. Die U-förmigen beiden blauen Kurven sind der mittlere Albedojahresgang auf dem Oberen Donau Einzugsgebiet direkt als Mittel aus den 1km Daten sowie leicht versetzt das Mittel über den Albedojahresgang der auf 10km Auflösung umskalierten Daten.

Die orange- und cyanfarbene Kurve präsentieren den Jahresgang der für die UBA-Simulationen zugrunde liegenden Albedo im Einzugsgebiet. Hier entstand der kleine Unterschied durch eine Umprojektion (magenta) des rotierten Gebietes auf die Koordinaten des für DANUBIA genutzten Koordinatensystems. Ein Aufgabenfeld, was derzeit noch nicht vollständig zufriedenstellend gelöst ist, ist dabei eine informations erhaltende Umprojektion.

Nichts desto trotz ist der grundsätzlich entgegengesetzte Charakter beider Annahmen deutlich erkennbar. Deutlich ist aber auch eine prinzipiell viel höhere Albedo des Modell DANUBIAS, als sie im Modell REMO angenommen wird.

Für einen sehr groben Vergleich, wurden Albedomap-Daten (FISCHER et al. 2007) aus 14d Mitteln über dem Gebiet bei Grafing (zwischen 47.83°-48.13° N, 12.1°-12.45°E) innerhalb der Monate März, Mai, Juli, November für die Jahre 2003 und 2004 herangezogen. Mit einem Mittelungsverfahren wurde zur Veranschaulichung die fehlenden Monate ergänzt, so

dass in der Abbildung 4 die lila Kurve lediglich einen ungefähren Verlauf der Albedo aus Meris-Satellitendaten repräsentiert. Dabei wurde ausschließlich die White-Sky Breitband Albedo der kurzwelligen Strahlung herangezogen. Diese entspricht im Wesentlichen der kurzwelligen Albedo in REMO. Die gelbe Kurve präsentiert, unter der Voraussetzung, dass die Umprojektion der UBA-Daten auf das GLOWA-Gebiet sich nicht drastisch unterscheidet, ungefähr den Verlauf eines kleinen gemittelten Ausschnittes diesen Gebietes. Eine Interpretation dieses Ergebnisses entbehrt jeder Grundlage, ist aber Anlass für weitere Untersuchungen. Es kann vermutet werden, dass REMO prinzipiell einem Verlauf des tatsächlichen Albedojahresganges im Untersuchungsgebiet ähnlich ist, was als direkte Konse-

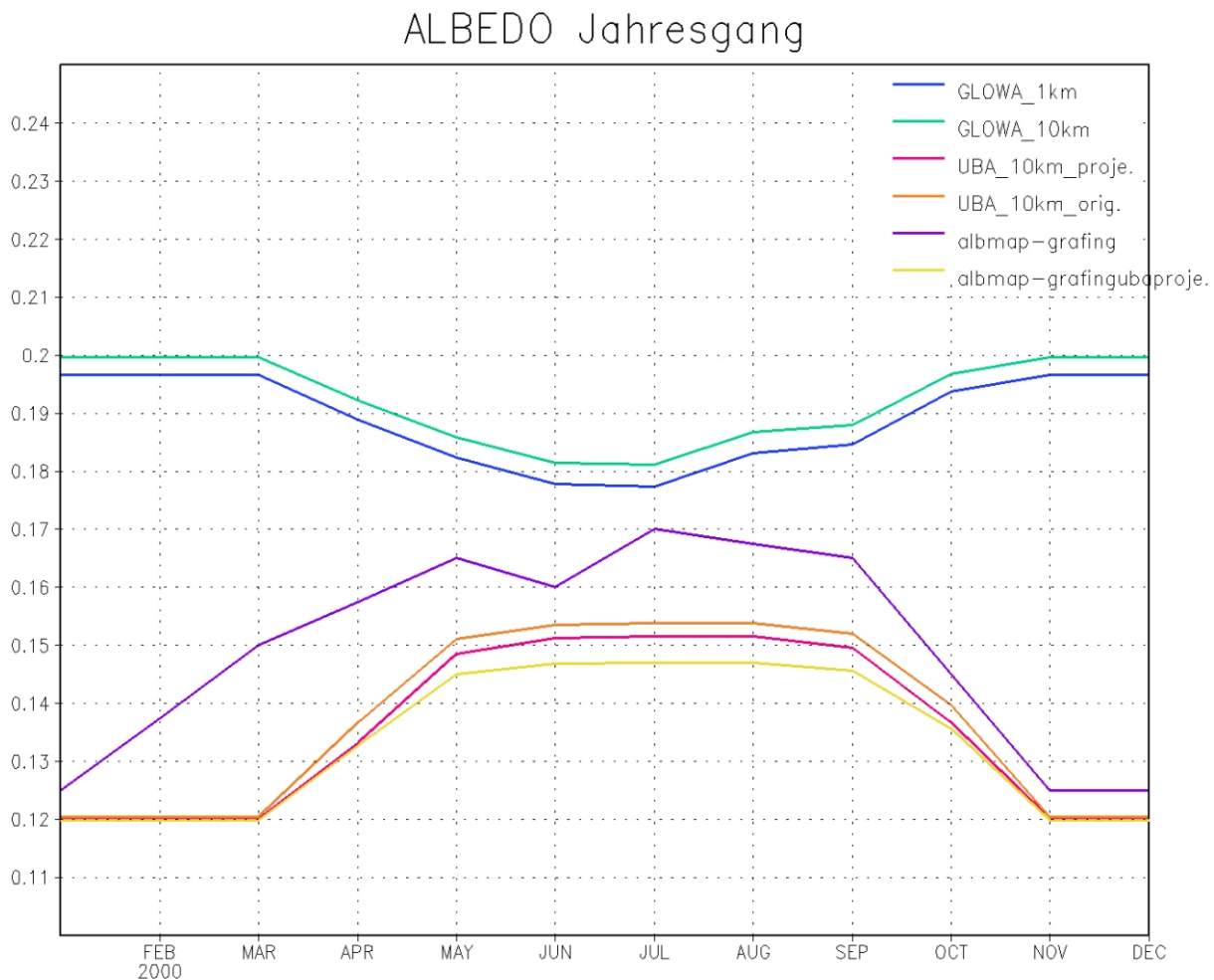


Abb.4: ALBEDO-Jahresgänge über dem Oberen Donau Einzugsgebiet aus GLOWA-Danube Daten, REMO-UBA Daten, sowie ein punktueller Ausschnitt aus Albedomap-Daten für das Gebiet um Grafing

quenz die Einarbeitung einer DANUBIA-Landsurface in REMO in Frage stellt.

Literatur (zum Teil 2)

JACOB, D., GÖTTEL, H., KOTLARSKI, S., LORENZ, PH. und SIECK, K. (2008): Klima Auswirkungen und Anpassung in Deutschland - Phase1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland; Abschlussbericht zum UFOPLAN-Vorhaben 204 41 138, im Auftrag des Umweltbundesamtes; Climate Change 11/08 (Online-Publikation: <http://www.umweltbundesamt.de>), Dessau-Roßlau.

FISCHER, J., PREUSKER, R., MULLER, J.-P. und ZÜHLKE, M. (2007): ALBEDOMAP -Validation Report - ESA AO/1-4559/04/I-LG, Online-Publikation: <http://www.brockmann-consult.de/albedomap/pdf/MERIS-AlbedoMap-Validation-1.0.pdf>.

3. Background to investigations on aerosols-modelling

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) has reported that the most uncertain factor among all radiative forcings in climate models is the anthropogenic influence on clouds (IPCC 2007).

Anthropogenic influence is due to aerosol particles which act as cloud condensation nuclei (CCN) for cloud droplets. The increase in the number concentration of aerosol particles usually leads into the increase of CCN number concentration in the atmosphere, and thus it affects cloud properties (TWOMEY 1974). As the number of cloud droplets increases (due to increase of CCN), the mean size of cloud droplets decreases as the amount of liquid water is not dependent on the amount of cloud droplets in a non-raining cloud. Increased cloud droplet concentration increases clouds reflectance (cloud albedo) and this will cool the atmosphere as more incoming solar radiation will be reflected back to the space. This is called the first indirect effect of aerosol impact on the climate and the estimates of the global annual mean cloud albedo enhancement from this range between -0.3 to -1.8 Wm⁻² (FORSTER 2007). If a cloud has the same liquid water content but higher droplet concentration, the lifetime of a cloud increases (ALBRECHT 1989). This happens because the formation of drizzle and rain takes on average longer time in clouds with smaller droplets. Increase in a lifetime is termed as the second indirect effect of aerosols. The estimates for the global annual mean cloud albedo enhancement ranges between -0.3 and -1.4 Wm⁻² for the prolongation of cloud lifetime due to the reduction of drizzle production of the smaller cloud droplets (LOHMANN and FEICHTER 2005). As can be seen, there is still large uncertainty related to these effects on a global scale and if we look on this at regional scales, the magnitude of uncertainty only increases.

Aerosol particles originate both from natural and anthropogenic sources (SEINFELD and PANDIS 1998). Besides working as CCN, aerosol particles influence to the climate directly by scattering the incoming solar radiation. Tropospheric aerosol particles are either formed from the gas phase through nucleation, or directly emitted from the surface of Earth. There is also some transport of aerosol particles from stratosphere but this has only minor contribution to the tropospheric aerosols (KAZIL 2008). If we consider aerosols emitted from the Earth's surface, major sources are oceans, arid and semi-arid regions, volcanoes, wildfires and combustion of fossil and biomass fuels. As all of the previous occur on a global scale, the regional effects play very significant role to the climate. The formation of aerosol particles from gas phase, nucleation, has also effects on a global and regional scale. In order to have nucleation, the air needs to have sufficiently high concentration of gas phase molecules with low saturation vapor pressure. The concentrations of gas phase molecules and the composition of air, in other words the incidence of nucleation events, can vary very much on a regional scale and this is quite problematic on a global scale models. Moreover, KULMALA et al. (2004) have found that nucleation from the gas phase may significantly increase the concentration of tropospheric CCN and as described above, this has major effect on clouds.

The aerosol effects on warm clouds have been considered in climate models for years (JONES 1994). The first climate models used sulfate aerosols as a surrogate for all anthropogenic aerosols. During the development of the climate models also the major global aerosol components (such as sulfate, particulate organic matter, black carbon, sea salt and mineral dust) has been included (STIER et al. 2005; LOHMANN et al. 2007). Recently, climate models have more and more detailed descriptions of aerosol particles. Max Planck Institute's General Circulation Model ECHAM5 is a very sophisticated climate model and

it includes complex aerosol microphysics model (for details, see STIER et al. 2005). With models like ECHAM5-HAM (-HAM denotes the use of aerosol microphysics packages) it is possible to study the effects of aerosols to our climate present day and in the future.

In global models, the used horizontal grid size varies usually from 50km to 500km. The used grid size effects the simulation time and thus computing resources are the limiting factor for increasing spatial resolution in the models. One possibility to study climate processes or smaller areas in more details is to use regional climate models. With regional models the horizontal grid size usually varies from hundreds of meters to tens of kilometers (CHRISTENSEN et al. 1997). Regardless of the higher resolution, the calculation time of regional models stays within reasonable limits. Because the models only have certain area to simulate, they need driving forces outside (JACOB and PODZUN 1996). This can be obtained using, for example, global model data or measured data. Regional models have been useful tools to study the climate and climate related processes. Heavy precipitation events are one of the things that has been studied with regional models (e.g KUNKEL et al. 2002). In this and similar kind of studies, it has been shown that individual heavy precipitation events are usually highly localized both in time and space. This means that the resolution of global models is often too coarse to resolve this kind of climate phenomena. This is an example of a meteorological process which can be simulated more accurately with regional climate model. However, the high spatial resolution is not the only thing needed for a more detailed simulation of heavy precipitation. If we want to get the full benefit of the high resolution, the aerosols and clouds have to be also introduced to the model with detailed microphysics.

3.1 REMO regional model - technical aspects for aerosol modelling

The regional model REMO is a hydrostatic, three-dimensional atmospheric model, that has been developed at the Max-Planck-Institute for Meteorology in Hamburg. It is based on the Europa Model, the former numerical weather prediction model of the German Weather Service (for more details, see JACOB and PODZUN 1996; JACOB et al. 2001). REMO uses the physical package of the global circulation model ECHAM4 (ROECKNER 1996). Prognostic variables are the horizontal wind components, surface pressure, temperature, specific humidity, cloud liquid water and ice. The vertical levels in REMO are represented in a hybrid coordinate system. Hybrid coordinates follow the surface orography in the lower levels and become independent from surface orography in higher atmospheric model levels. REMO uses one-moment cloud scheme and this means that it can provide information only about masses and mixing ratios of the considered hydrometeor species but is missing all information about number concentrations. In this work, the new two-moment cloud microphysics scheme (see LOHMANN et al. 2007) will be implemented to REMO. The two-moment scheme increases the prognostic equations by two: the number concentrations of cloud droplets and ice crystals will be also available. Due to the coupling of aerosols physics and cloud physics inside the model, information about number concentrations inside the cloud is needed. Also, the information about number concentration is naturally important part when comparing the model results against measurement data.

3.1.1 Aerosol physics and chemistry

The REMO models has no detailed aerosol module included. Only the background aerosols are treated and the information is used for example in the current cloud scheme. In order to use the two-moment cloud scheme, we have to implement a better aerosol treatment in REMO. We will implement HAM-M7 aerosol module (see VIGNATI et al. 2004; STIER et al. 2005). HAM-M7 predicts the evolution of an ensemble of microphysically interacting internally- and externally-mixed aerosol population as well as their size-distribution and composition. The size-distribution is represented by a superpositioning of log-normal modes. HAM as a module includes the following processes for aerosol particles: gas- and liquid

phase sulfur chemistry, dry deposition, sedimentation and wet deposition (also some other properties which are not implemented to REMO). The M7 microphysical core includes the following processes: coagulation, condensation, nucleation, thermodynamical equilibrium with water vapour and the inter modal transfer. Implementing HAM-M7 will improve REMO's aerosol treatment substantially and opens doors for further development of the model (for example new radiation scheme and implementation of SALSA, a Sectional Aerosol module for Large Scale Applications (KOKKOLA et al. 2008).

3.2 The progress of the work

The implementation has been started in March, 2008. Since that, all the needed part has been implemented and the testing process of the model is ongoing. The new aerosol module and cloud microphysics has been implemented in a parallel version of the REMO model. During the coding process, all new parts has been also parallelized in order to run the model with supercomputers.

Some chosen important technical details:

- REMO model written in FORTRAN77 format, almost all new parts if Fortran 90 format
 - New F77 files: 14
 - New F90 files: 34
 - New F90 modules: 19
- Preprocessing scripts for tracer boundary values and emission files
- The number of tracers is not fixed, new tracers are easily introduced and accessed
- Transport of tracerfields (horizontal and vertical advection) by Smolarkiewitz (1983).
- Boundary update frequency can be chosen for each tracer
- Writing out can be chosen for each tracer
- Aerosol emission from AEROCOM, except seasalt which is calculated in the model
 - Update frequency once per month

The model is not ready yet. There are some problems with the model output and reliability.

3.3 Future plans

The model needs some more testing. At this moment it can be run but it is too unstable. After the bugs have been found and fixed, validation runs will be performed. After this, the model is ready for real simulations and it will be used for GLOWA-Danube project simulations. We will study the effects of aerosols on clouds and take a closer look of heavy precipitation events. Used resolution will be 0.08o horizontally and vertically we will use 31 layers.

In the near future REMO including aerosol module and two-moment cloud scheme will be combined with detailed gas phase chemistry. This allows us to use the model with more reliable physics and chemistry. Also, the non-hydrostatic extension will be implemented to the version with aerosol and gas phase chemistry package. This allows us to run the model with higher resolution.

Literature (for part 3)

- ALBRECHT, B.A.(1989): Aerosols, cloud microphysics, and fractional cloudiness. *Science*, 245(1229): pp. 1227-1230.
- CHRISTENSEN, J., MACHENHAUER, B., JONES, R., SCHÄR, C., RUTI, P., CASTRO, M. and VISCONTI, G.(1997): Validation of present-day regional climate simulations over Europe: LAM simulations with observed boundary conditions. *Climate Dynamics*, 13, pp. 489- 506.
- FORSTER, P., RAMASWAMY, V., ARTAXO, P., BERNTSEN, T., BETTS, R., FAHEY, D., HAYWOOD, J., LEAN, J., LOWE, D., MYHRE, G., NGANGA, J., PRINN, R., RAGA, G., SCHULZ, M. and VAN DORLAND, R. (2007): Radiative Forcing of Climate Change, in: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by: SOLOMON, S., QIN, D., MANNING, M., CHEN, Z., MARQUIS, M., AVERYT, K. B., TIGNOR, M., and MILLER, H. Cambridge Univ. Press, New York, pp. 129-234.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Cambridge Univ. Press.
- JACOB, D. and PODZUN, R. (1996): Sensitivity Studies with the Regional Climate Model REMO. *Meteorol. Amtos. Phys.*, 63, pp. 119-129.
- JACOB, D. (2001): A note to the simulation of the annual and inter-annual variability of the water budget over the Baltic Sea drainage basin. *Meteorol. Amtos. Phys.*, 77, pp. 61-73.
- JONES, A., ROBERTS, D.L. and SLINGO, A. (1994): A climate model study of indirect radiative forcing by anthropogenic sulphate aerosols. *Nature*, 370, pp. 450-453.
- KAZIL, J., HARRISON, R.G. and LOVEJOY, E.R. (2008): Tropospheric new particle formation and the role of ions. *Space. Sci. Rev.*, 137, pp. 241-255.
- KOKKOLA, H., KORHONEN, H., LEHTINEN, K. E. J., MAKKONEN, R., ASMI, A., JÄRVENOJA, S., ANTTILA, T., PARTANEN, A.-I., KULMALA, M., JÄRVINEN, H., LAAKSONEN, A. and KERMINEN, V.-M. (2008): SALSA - a Sectional Aerosol module for Large Scale Applications. *Atmos. Chem. Phys.*, 8, pp. 2469-2483.
- KUNKEL, K.E., ANDSAGER, K., LIANG, X.-Z., ARRITT, D.W., TAKLE, E.S., GUTOWSKI J.R., W.J. and PAN, Z. (2002): Observations and Regional Climate Model Simulations of Heavy Precipitation Events and Seasonal Anomalies: A Comparison. *Journal of Hydrometeorology*, 3, pp. 322-334.
- KULMALA, M., VEHKAMÄKI, H., PETÄJÄ, T., DAL MASO, M., LAURI, A., KERMINEN, V.-M., BIRMILI, W. and McMURRY, P.H. 2004(): Formation and growth rates of ultrafine atmospheric particles: A review of observations. *J. Aer. Sci.*, 35, pp. 143-176.
- LOHMANN, U. and FEICHTER, J. (2005): Global indirect aerosol effects: A review. *Atmos. Chem. Phys.*, 5, pp. 715-737.
- ROECKNER, E., ARPE, K., BENGTSSON, L., CHRISTOPH, M., CLAUSSEN, M., DUMENIL, L., ESCH, M., SCHLESE, U. and SCHULZWEIDA, U. (1996): The atmospheric general circulation model ECHAM4: Model description and simulation of present-day climate. Max Planck Institute for Meteorology report series, Report No. 218.
- SEINFELD, J. and PANDIS, S. (1998): *Atmospheric Chemistry and Physics*. John Wiley & Sons inc.

- SMOLARKIEWITZ, P.K. (1983): A simple positive definite advection scheme with small implicit diffusion. *Mon. Weather Rev.*, 111, pp. 479-486.
- STIER, P., FEICHTER, J., KINNE, S., KLOSTER, S., VIGNATI, E., WILSON, J., GANZEVELD, L., TEGEN, I., WERNER, M., BALKANSKI, Y., SCHULZ, M., BOUCHER, O., MINIKIN, A. and PETZOLD, A. (2005): The aerosol-climate model ECHAM5-HAM. *Atmos. Chem. Phys.*, 5, pp. 1125-1156.
- TWOMEY, S. (1974): Pollution and the planetary albedo. *Atmos. Environ.*, 8: pp. 1251-1256.
- VIGNATI, E., WILSON, J. and STIER, P. (2004): M7: An efficient size-resolved aerosol microphysics module for large-scale aerosol transport models. *J. Geophys. Res.*, 109, D22202, doi: 10.1029/2003JD004485.

Mesoskalige Modellierung der Atmosphäre

Teilprojekt:	Meteorologie
Leiter:	PD Dr. G. Zängl
Ausführende Stelle:	Lehrstuhl für Theoretische Meteorologie, Ludwig-Maximilians-Universität München Theresienstr. 37, 80333 München
Verfasser:	A. Pfeiffer, C. Wastl, G. Zängl

1. Überblick

Die zentrale Aufgabe der Gruppe Meteorologie/MM5 in GLOWA-Danube ist das Bereitstellen und Betreiben des mesoskaligen Atmosphärenmodells MM5, dessen Integration in das übergeordnete Modell DANUBIA und die Erstellung regionaler Klimaszenarien, angebunden an globale Klimasimulationen gemäß den Vorgaben des IPCC, für die weitere Verwendung durch die Projektpartner.

Arbeitsschwerpunkte im Berichtszeitraum:

- Gekoppelte Simulationen mit dem hydrologischen Modell der Gruppe HydFern
- Interaktive Kopplung von MM5 mit PROMET
- Qualitätssicherung: Analyse von mit MM5 simulierten Statistiken der täglichen Niederschlagsmenge
- Kooperation mit LfU: Bereitstellung von Simulationsdaten für verschiedene Flusseinzugsgebiete
- Mitarbeit am Beitrag „Klimaszenarien der regionalen Klimamodelle“ für den Global Change Atlas
- Mitarbeit am *Stakeholder*-Dialog

2. Organisation

2.1 Personal

2.1.1 Wissenschaftler

Für das Teilprojekt Meteorologie-Modellierung (Zängl) sind in Phase III Mittel für 1,5 Wissenschaftler-Stellen bewilligt. Eine Stelle hiervon ist seit Projektbeginn von Herrn Andreas Pfeiffer besetzt. In Absprache mit der Projektkoordination und dem Projektträger wurde die halbe Stelle kostenneutral in eine ganze Stelle für einen Zeitraum von 1,5 Jahren umgewandelt und seit 1. Oktober 2008 mit Herrn Clemens Wastl besetzt.

2.1.2 Wissenschaftliche Hilfskräfte

In der Gruppe Zängl wurden im Berichtszeitraum keine wissenschaftlichen Hilfskräfte beschäftigt.

2.2 Anschaffungen

Im Berichtszeitraum wurde zusätzlicher Speicherplatz in Form von Computerfestplatten beschafft, um die umfangreichen und noch weiter zunehmenden Datenmengen, die im Rahmen weiterer Klimasimulationen anfallen, bewältigen zu können. Hierfür wurden die ursprünglich laut Antrag veranschlagten Mittel von 3000,- Euro um weitere 1.100,- Euro aus dem Posten ‚Verbrauchsmaterial‘ kostenneutral umgewidmet.

2.3 Veranstaltungen

An den folgenden Veranstaltungen waren Vertreter des Teilprojekts Meteorologie/München beteiligt.

- 02.-03.05.2008 GLOWA-Danube, Projekt-Klausur, Herrsching (Pfeiffer, Zängl)
- 15.07.2008 GLOWA-Danube, Projektleiter-Treffen, München (Pfeiffer)
- 29.09.-01.10.2008 GLOWA-Danube, Projekt-Klausur, Hofgeismar (Pfeiffer, Wastl, Zängl)
- 18.10.2008 Münchner Wissenschaftstage, München (Pfeiffer)
- 24.11.2008 GLOWA-Danube Szenario-Veranstaltung Energie u. Infrastruktur, München (Pfeiffer)
- GLOWA-Danube, div. bilaterale Treffen mit der Gruppe Hyd-Fern (Pfeiffer, Wastl, Zängl)
- 23.-26.03.2009 GLOWA-Danube, Projekt-Klausur, Wildbad Kreuth (Pfeiffer, Wastl, Zängl)

2.4 Veröffentlichungen

SCHIPPER, J.W., FRÜH, B., PFEIFFER, A. und ZÄNGL, G. (2008): wind dependent downscaling method for precipitation fields (in Überarbeitung).

PFEIFFER, A. und ZÄNGL, G. (2008): Validation of climate-mode simulations with MM5 for the European Alpine region, eingereicht bei Theoretical and Applied Climatology.

WASTL, C. und ZÄNGL, G. (2008): Analysis of mountain valley precipitation differences in the Alps. Meteorol. Zeitschrift, 17, S. 311-321.

ZÄNGL, G., AULEHNER, D., WASTL, C. und PFEIFFER, A. (2008): Small-scale precipitation variability in the Alps: Climatology in comparison with semi-idealized numerical simulations. Quart. J. Roy. Met. Soc., 134, S. 1865-1880.

3. Ergebnisse

3.1 Integrative Arbeiten / AtmoMM5 in DANUBIA

An der Einbindung von MM5 (GRELL et al. 1994; DUDHIA 1993) und dem zugehörigen, in Zusammenarbeit mit der Gruppe Meteorologie/Mainz entwickelten *Downscalingalgorithmus* (FRÜH et al. 2006; SCHIPPER 2005), in das Gesamtmodell DANUBIA über einen JAVA-wrapper‘ haben sich im Berichtszeitraum keine wesentlichen Änderungen ergeben. Das entsprechend als AtmoMM5 bezeichnete Objekt ist Teil des *Atmosphere*-Pakets, in dem die Ansteuerung von *AtmoMM5* und seiner Schnittstellen zu den anderen Objekten über den *AtmosphereController* innerhalb des Gesamtmodells DANUBIA implementiert ist. Die genaue Struktur und eine Darstellung mittels eines UML-Diagramms ist z.B. dem Jahresbericht 2005

der Gruppe Bendix zu entnehmen. Änderungen am JAVA-Wrapper zur Anpassung an ein gegebenenfalls aktualisiertes *DANUBIA-Framework* werden bei Bedarf durchgeführt werden, sollten aber unkritisch sein, da die wesentliche Funktionalität des AtmoMM5 nach wie vor über FORTRAN realisiert wird. Unmittelbar über FORTRAN findet auch die Anbindung von MM5 an die Landoberflächensimulation (Boden, Vegetation, Schnee, etc.) der Gruppe HydFern innerhalb der Entwicklungsplattform *DANUBIALight* bzw. PROMET statt. Auf dieser Ebene liegt, nicht zuletzt auch aus Performance-Gründen, der Schwerpunkt der integrativen Arbeiten. Ziel ist hierbei die vollständig interaktive Kopplung zwischen der Atmosphärenmodellierung des MM5 und der Landoberflächensimulation im *DanubiaLight*/PROMET (s. Abschnitt 3.2). Im Ein-Wege-Modus liegen bereits umfangreiche Ergebnisdatensätze des *DanubiaLight* vor. Hierzu wurden Langzeitsimulationen des MM5, angetrieben von ERA40 (SIMMONS und GIBSON 2000) oder ECHAM5-Datensätzen (RÖCKNER et al. 2006), vorab durchgeführt. Die entsprechenden MM5-Ergebnisdatensätze wurden dann mit dem von den Gruppen Meteorologie/Mainz und Meteorologie/München entwickelten *Downscaling*-Algorithmen weiter prozessiert und in das *DANUBIALight* eingespeist.

Um eine bessere Konsistenz und Vergleichbarkeit zwischen Beobachtungsdatensatz und den verschiedenen skalierten Simulationsdaten herzustellen, wurde der von der Gruppe Meteorologie/Mainz erstellte Beobachtungsdatensatz mittlerweile komplett von dem bei der Gruppe HydFern vorliegenden *AtmoStations*-Datensatz abgelöst. Dieser Datensatz verschmilzt Daten von Messstationen mit hochaufgelösten klimatologischen Feldern und greift hierbei auf die hierzu auch von der Gruppe Meteorologie/Mainz entwickelten Algorithmen zurück. Der neue Datensatz wird dann im weiteren Verlauf des Projekts die Grundlage für Validierung, *Downscaling* sowohl von MM5 als auch REMO bilden. Des Weiteren dient er auch unmittelbar als Antrieb des *DANUBIA(light)* mit Beobachtungsdaten.

Der zusätzliche Gewinn des *Downscalings* der simulierten meteorologischen Felder aus Sicht der Hydrologie wurde mit einer gestaffelten *Downscaling*-Strategie untersucht. Hierzu wurden die auf einer Auflösung von 45km vorliegenden meteorologischen Simulationsdaten in der einfachsten Stufe des *Downscalings* lediglich bilinear auf die Zielauflösung von 1 km interpoliert und dann in das hydrologische Modell eingespeist. Die nächste, komplexere Stufe des *Downscalings* besteht darin, den simulierten Feldern die *subskalige*, beobachtete Variabilität der hohen Auflösung aufzuprägen, so wie sie aus beobachteten klimatologischen Feldern gewonnen werden konnte. Die höchste Stufe des im Rahmen von GLOWA-Danube entwickelten *Downscalings* ergänzt das Aufprägen der subskaligen Variabilität noch mit einer ebenfalls auf klimatologischen Feldern basierenden Bias-Korrektur. In Abbildung 1 sind entsprechend Jahresgänge des simulierten (MM5 mit ECHAM5-Antrieb) und beobachteten Abflusses am Pegel Achleiten für die einfachste und die komplexeste Variante des *Downscalings* gegenübergestellt. Zusätzlich zu MM5 wurde das hydrologische Modell (PROMET MAUSER und SCHÄDLICH 1998) in einer weiteren Simulationen auch noch mit meteorologischen Beobachtungsdaten angetrieben. Der Nutzen des zusätzlichen Aufwands innerhalb des *Downscalings* wird auf diese Weise nochmals deutlich unterstrichen. Dieselbe Strategie eine gestaffelten *Downscalings* wird auch auf Simulationen des REMO übertragen.

Um die Güte der regionalen Simulationen allein nochmals zu überprüfen, werden mit ERA40 getriebene Läufe des MM5 und des REMO im weiteren Verlauf analysiert werden, wobei auch hier Schritt für Schritt der Nutzen der aufeinander aufbauenden *Downscaling*-Schritte mit in die Untersuchungen mit einbezogen wird. Da MM5 bereits recht realitätsnahe Simulationen des Niederschlags leistet, erwarten wir z.B., dass die Bias-Korrektur (bei ERA-Antrieb) hier möglicherweise weitestgehend entfallen kann. Da der ECHAM5-Antrieb jedoch bereits seinerseits eine relativ deutliche Überschätzung insbesondere des winterlichen, von MM5 simulierten Niederschlags mit sich bringt, erweist sich für die Szenarienrechnungen die Bias-Korrektur als unverzichtbar.

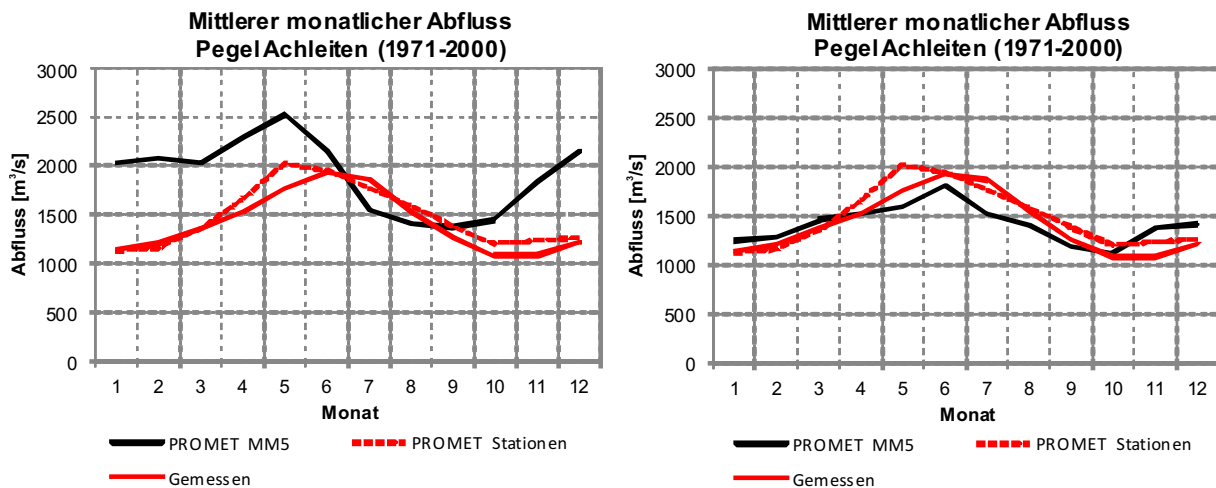


Abb. 1: Jahresgang des Abflusses am Pegel Achleiten, jeweils simuliert mit PROMET (angetrieben von ECHAM5-MM5 oder Beobachtungen) und gemessen. Links: MM5-Simulationen nur bilinear interpoliert, rechts: MM5 + subskalige Variabilität + Bias-Korrektur

Insgesamt kann wiederum konstatiert werden, dass die Verwendung von MM5-Simulationsergebnissen im *DanubiaLight* bzw. PROMET realitätsnahe Ergebnisse in Langzeitklimasimulationen insbesondere auch im Zusammenhang mit der Hydrologie liefert.

3.2 Interaktive Kopplung MM5/PROMET

Ein Schwerpunkt der Gruppe Meteorologie/MM5 in GLOWA-Danube liegt in einer interaktiven Anbindung des mesoskaligen Atmosphärenmodells MM5 über FORTRAN an das Landoberflächenmodell PROMET (*DANUBIALight*) der Gruppe HydFern. Wie bereits weiter oben und im Jahresbericht 2007 erwähnt, konnten mit der Kopplung im Ein-Wege-Modus bereits sehr gute Ergebnisse erzielt werden. Dabei wurden MM5-Ergebnisdatensätze in die Landoberflächensimulationen von PROMET eingespeist. Durch Testsimulationen mit einer Umkehrung der Ein-Wege-Kopplung konnte eine prinzipiell stabile Kopplung der beiden Teilsysteme Atmosphäre und Landoberfläche in beide Richtungen erreicht werden. Im Berichtszeitraum 2008 wurde die interaktive Koppelung zwischen den beiden Modellen stark vorangetrieben. Dabei werden die Werte von 10 meteorologischen Variablen in ein gemeinsames Austauschverzeichnis geschrieben, in das PROMET zugreift und die entsprechenden Flüsse daraus berechnet. Diese PROMET-Flüsse werden wiederum über das Austauschverzeichnis vom MM5 eingelesen und zur Berechnung der meteorologischen Entwicklung herangezogen. Anschließend wiederholt sich der Austauschprozess neuerlich. Durch die unterschiedliche räumliche Auflösung der zwei in FORTRAN geschriebenen Modelle (PROMET 1km, MM5 45km) muss der jeweilige Output mit Hilfe der Modellschnittstelle SCALMET (MARKE 2008) skaliert werden. Das Austauschintervall wurde für Testzwecke zu Beginn auf ein Zeitintervall von 1h gesetzt, wird bei erfolgreichen Simulationen dann jedoch auf 10 Minuten herabgesetzt werden. Nach Behebung anfänglicher technischer Probleme auf Grund der unterschiedlichen Betriebssysteme (MM5 - LINUX, PROMET - WINDOWS) läuft dieser Austauschprozess mittlerweile problemlos. Die interaktive Kopplung wurde vorerst für verschiedene ausgewählte Monate der Referenzperiode 1991-2000 getestet. Die Ergebnisse wurden dann mit MM5-Simulationen ohne Übernahme der Flüsse vom PROMET verglichen. Dabei stellte sich jedoch heraus, dass der gekoppelte Lauf bereits nach einigen Tagen sehr stark vom ungekoppelten Lauf abweicht und mit der Zeit keine meteorologisch sinnvollen Ergebnisse mehr liefert.

Daraufhin wurden zahlreiche Änderungen in den Feinabstimmungen der beiden Modelle vorgenommen. So wurde zum Beispiel im PROMET ein dynamisches Vegetationsmodul (FARQUAHR 1980) eingebaut und für Analysezwecke aus der langwelligen Ausstrahlung des PROMET auf eine ‚effektive‘ Bodentemperatur zurückgerechnet. Diese Abstimmung

gen führten zu einer gewissen Verbesserung der gekoppelten Simulationsläufe, allerdings sind die Ergebnisse immer noch nicht zufrieden stellend. Dies kann sicherlich auf die Komplexität der einzelnen Teilmodelle zurückgeführt werden. In Abbildung 2 ist eine zeitliche Entwicklung der fühlbaren und latenten Wärmeflüsse für einen ausgewählten Zeitraum im Juni 1999 dargestellt. Die Bezeichnungen „hfx“ und „qfx“ stehen dabei für den fühlbaren bzw. latenten Wärmefluss, welche über einen Bereich von 10x10 Gitterpunkten im bayerischen Alpenvorland gemittelt wurden. In Abbildung 2b zeigt sich, dass die latenten Wärmeflüsse im PROMET (gestrichelte Linie) nach einer gewissen Zeit viel größer sind als bei MM5 (durchgezogene). Da die Energiebilanz geschlossen sein muss, hat dies zur Folge, dass der fühlbare Wärmestrom in PROMET (hfxPROMET) deutlich niedriger ist als im MM5 (hfxMM5), da sehr viel Energie zum Verdunsten benötigt wird. Auf Grund der unterschiedlichen Landoberflächenparametrisierung verdunstet also in PROMET wesentlich mehr als in MM5, was sich natürlich auch auf die Bodentemperaturen auswirkt. Um dies zu illustrieren, ist in Abbildung 3 die 2m-Temperatur in Europa 60 Stunden nach Simulationsbeginn dargestellt (12 UTC 3.JUN 1999). Das Kopplungsgebiet von ca. 1200x1200km zentriert über der oberen Donau ist sehr gut am tieferen Temperaturniveau zu erkennen. Außerhalb dieses Gebietes läuft die MM5 Simulation ohne Einlesen der PROMET Flüsse, wodurch sich die starken Unterschiede am Rande des Gebietes ergeben. Wie man an Hand der Abbildungen erkennen kann, sind die Ergebnisse der gekoppelten Läufe bei weitem noch nicht zufrieden stellend und verlangen noch nach weiteren Feinabstimmungen der beiden Modelle. Es wird zum Beispiel in Erwägung gezogen, vergleichende MM5-Simulationen mit dem komplexeren NOAH Landoberflächenschema (CHEN und DUDHIA 2001) durchzuführen. Aus diesen Simulationsergebnissen könnten dann Schlüsse gezogen werden, welche von Seiten der Gruppe HydFern zu einer weiteren Verbesserung von PROMET führen. Ziel dieses Teilprojekts ist es schließlich einen Gewinn aus der interaktiven Kopplung zu erzielen und durch die Integration des MM5 in das übergeordnete Modell DANUBIA folglich auch die regionalen Klimaprognosen weiter zu verbessern.

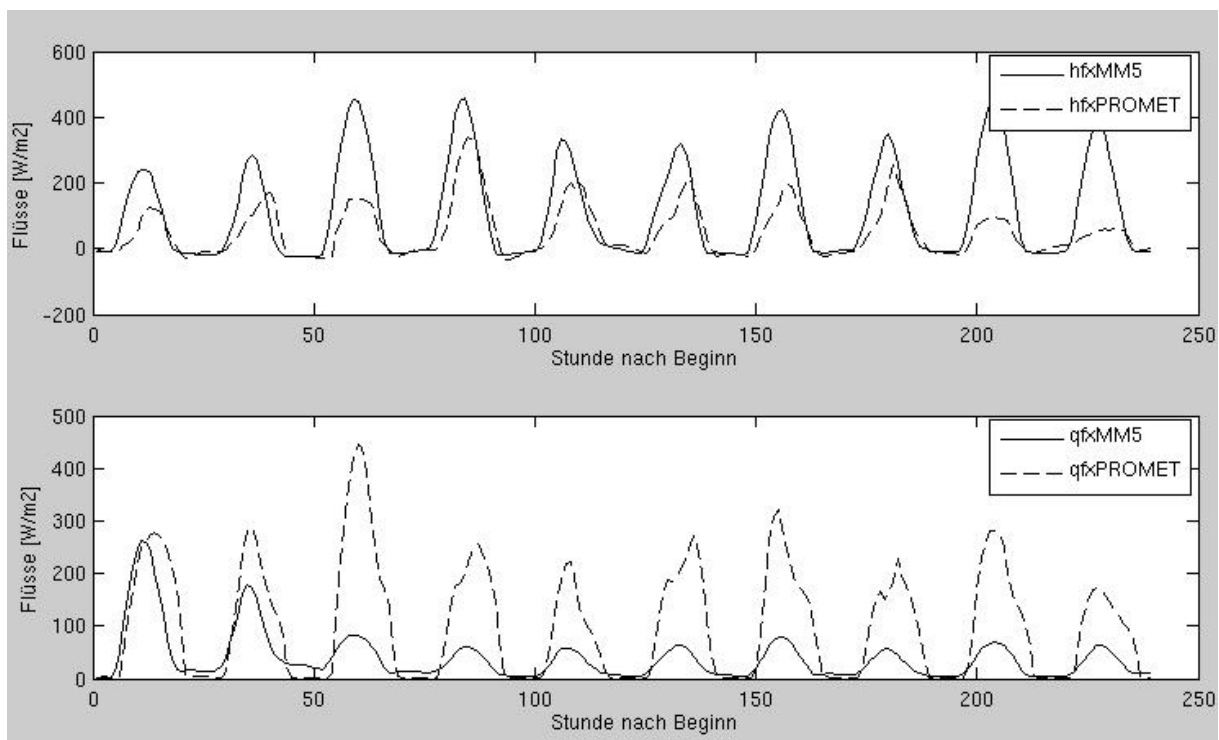


Abb. 2: Vergleich der fühlbaren (hfx) und latenten (qfx) Wärmeflüsse von MM5 (ungekoppelt) und PROMET für einen ausgewählten Zeitraum ab dem 1. Juni 1999

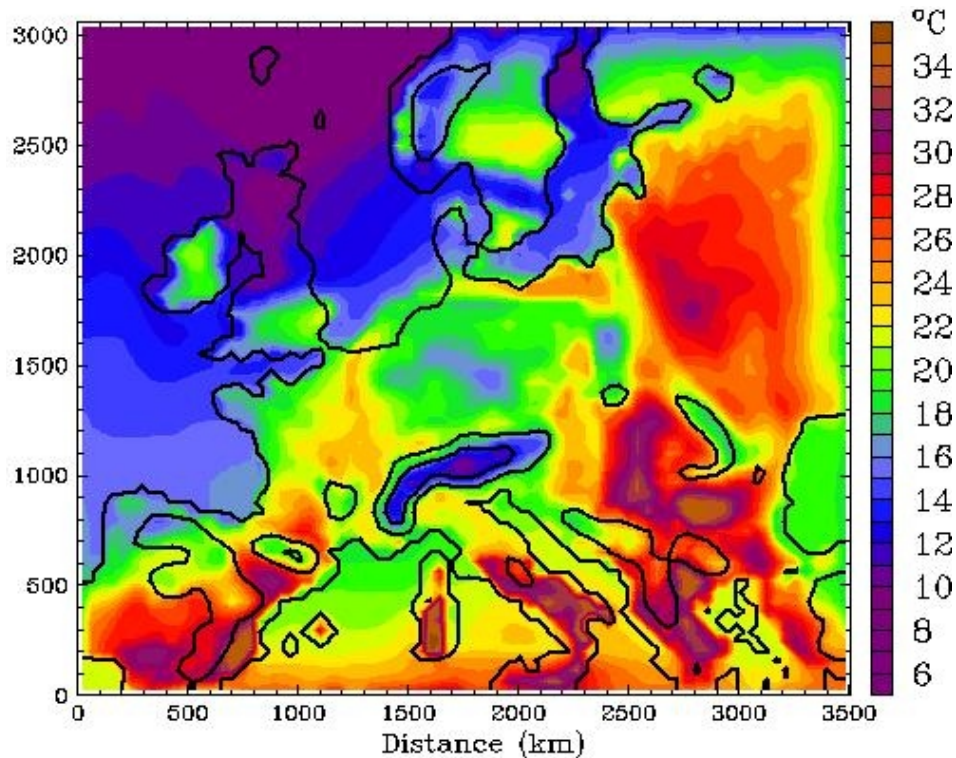


Abb. 3: 2m-Temperatur des gekoppelten Laufs 60 Stunden nach Simulationsbeginn

4. Sektorale Arbeiten

Der zentrale Schwerpunkt der sektoralen Arbeiten ist die Analyse, Absicherung und Dokumentation der erzielten Fortschritte der meteorologischen Simulationen.

4.1 Qualitätssicherung der simulierten Niederschläge

Im Jahresbericht 2007 wurde ausführlich die erzielte Verbesserung im Bereich der simulierten Niederschläge dargelegt, wie es in Abbildung 4a hier nochmals exemplarisch dargestellt ist. Des Weiteren konnten anhand von Sensitivitätsstudien wesentliche Einflüsse der numerischen Diffusion und der Konvektionsparametrisierung auf die Niederschlagssimulation aufgedeckt werden. Die in diesem Zusammenhang erzielten Erkenntnisse wurden mittlerweile umfangreich aufbereitet und zur Publikation in ‚Theoretical and Applied Meteorology‘ eingereicht.

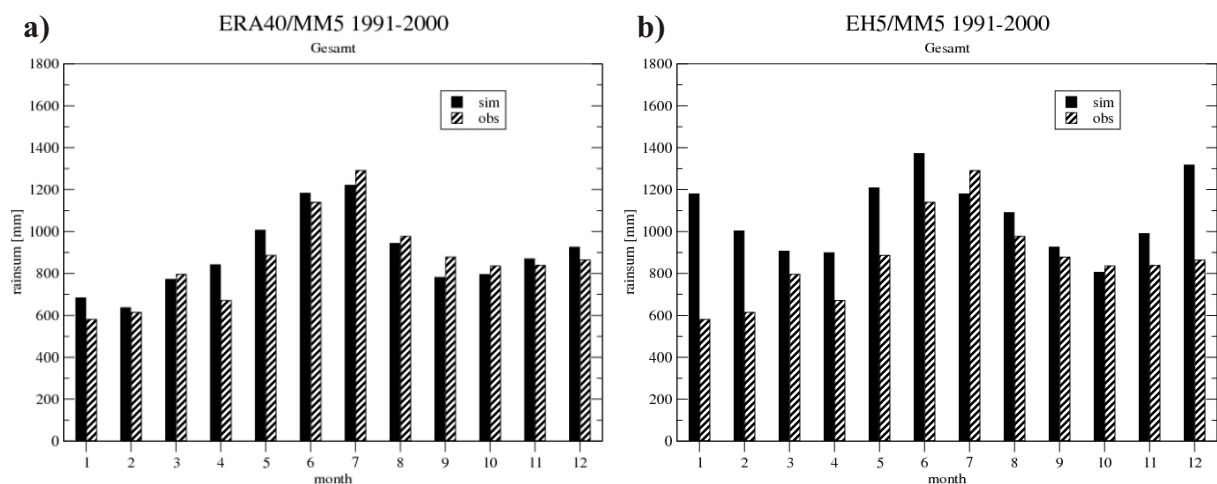


Abb. 4: Mittlere monatliche Niederschläge des Zeitraums 1991-2000, simuliert mit MM5, angetrieben von globalen Analysen des ECMWF (ERA40) (a) bzw. mit ECHAM5-Daten (b)

Neben dem klimatologischen Jahresgang der monatlichen Niederschlagssummen, der für die meisten Anwendungszwecke der Klimafolgenforschung innerhalb GLOWA-Danube einer der wichtigsten Parameter ist, wurde im Berichtszeitraum auch die Statistik der täglichen Niederschlagssummen eingehender untersucht. Abbildung 5 zeigt die beobachteten und simulierten relativen Häufigkeiten der täglichen Niederschlagsereignisse im gesamten Untersuchungsgebiet für verschiedene Klassen der täglichen Niederschlagssummen und die entsprechenden relativen Anteile am Gesamtniederschlag. Dargestellt sind Ergebnisse des MM5 sowohl mit ERA40- als auch mit ECHAM5-Antrieb. Es fällt auf, dass die Tage mit geringfügigem Niederschlag ($0 \text{ mm/Tag} < \text{Niederschlag} < 1 \text{ mm/Tag}$) vom Modell deutlich unterschätzt werden. Die mittleren Niederschläge bis zu 15 mm/Tag werden demgegenüber merklich überschätzt, und zwar etwas deutlicher mit ECHAM5-Antrieb. Diese Überschätzung steht auch in Einklang mit den zu hoch ausfallenden monatlichen Niederschlägen aus Abbildung 4 (rechts), wobei zu beachten ist, dass in Abbildung 5 nur die relativen Anteile des Niederschlags zu entnehmen sind. Dennoch würde die Überschätzung der moderaten täglichen Niederschläge auf zu häufig in der Simulation auftretende großskalige Niederschlagsprozesse, also auf zu häufige Tiefdruckgebiete, hinweisen, was wiederum konsistent zur Überschätzung der monatlichen Niederschläge in den Wintermonaten in Abbildung 4 (rechts) wäre.

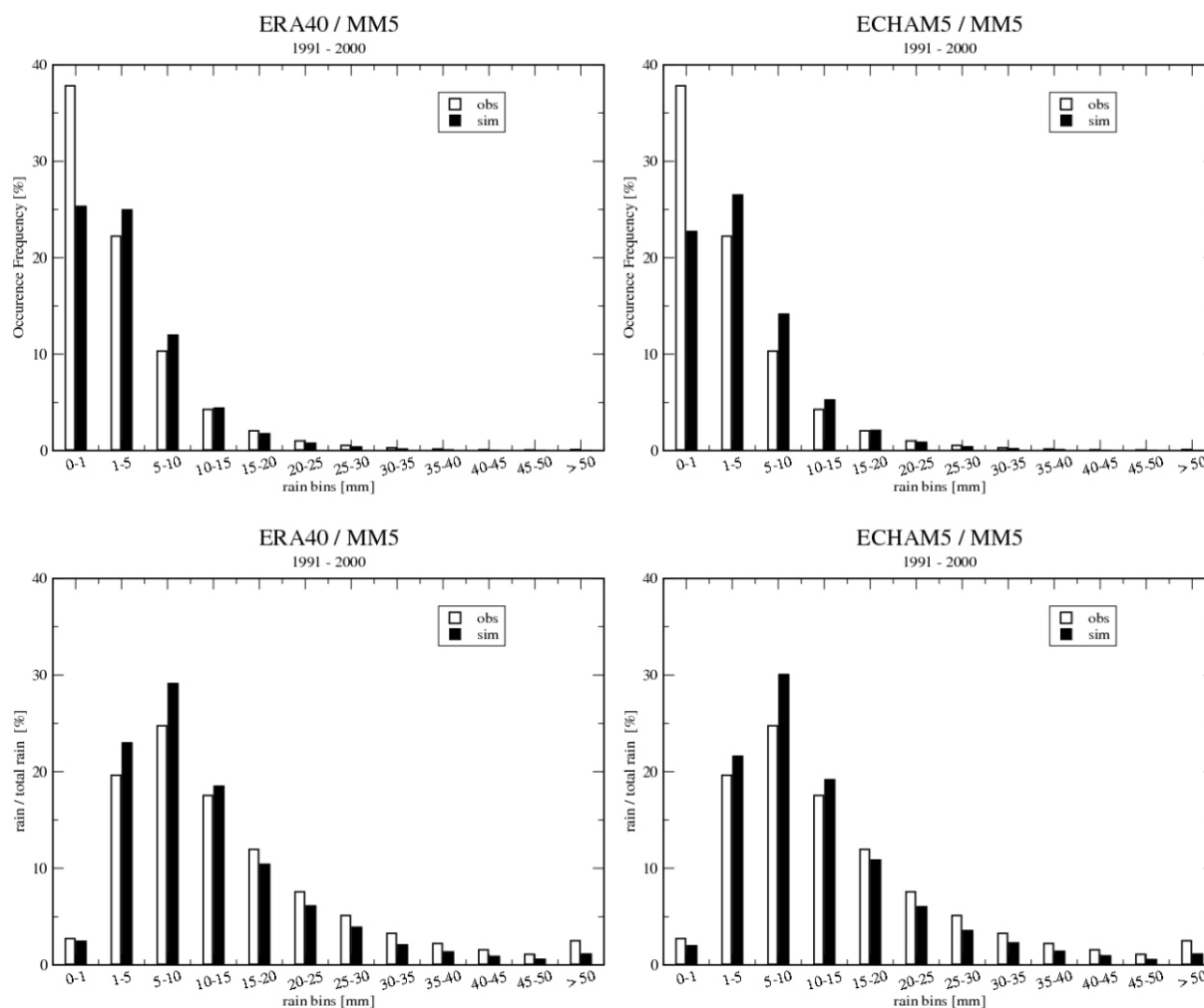


Abb. 5: Oben: relative Häufigkeit der täglichen Niederschlagsereignisse im gesamten Untersuchungsgebiet eingeteilt nach Niederschlagsmenge, beobachtet und simuliert. Links MM5 mit ERA40-Antrieb, rechts mit ECHAM5. Unten: relativer Anteil der Niederschlagsklassen am Gesamt-Niederschlag

Für die höheren Niederschlagsklassen (Abb. 6) dreht sich das Bild hin zu einer simulierten Unterschätzung der Anzahl der Ereignisse. Auch in diesem Bereich finden sich für ECHAM5-Antrieb wieder höhere Werte als für ERA40-Antrieb. Für den Gesamtniederschlag sind die erzielten Summen jedoch naturgemäß unerheblich.

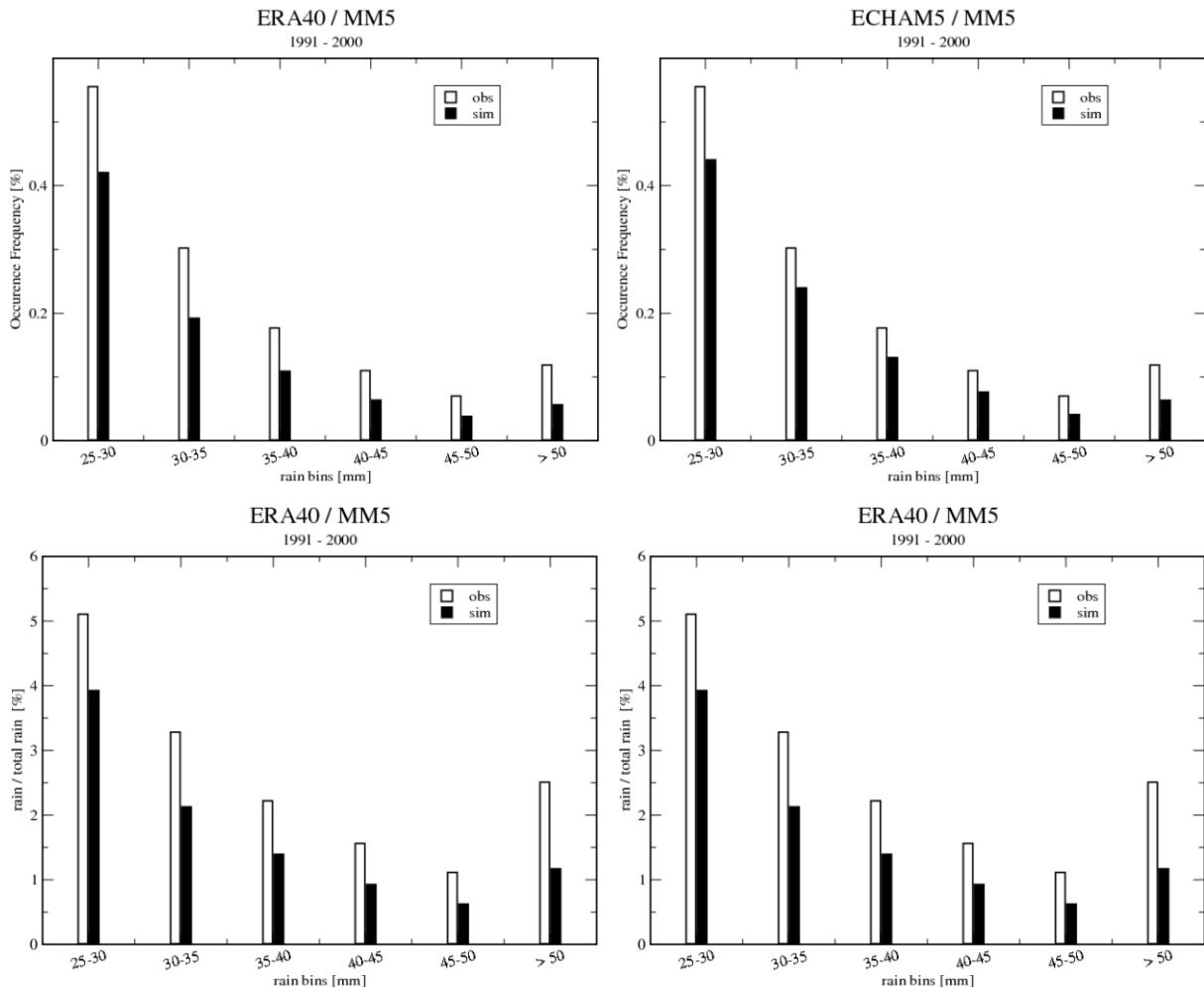


Abb. 6: wie Abb. 5, jedoch nur Ausschnitt für Starkniederschlagsklassen

Abgesehen vom Bereich der trockenen Tage wird die Niederschlagsstatistik vom Modell weitestgehend realistisch abgebildet. Auch Starkniederschlagsereignisse, die für manche Stakeholder durchaus von besonderem Interesse sind, werden prinzipiell erfasst. Für Szenarien, die gegebenenfalls veränderte Statistiken der Starkniederschlagsereignisse in der Zukunft als Eingabe benötigen, wären unsere Simulationen evtl. als Grundlage für belastbare Abschätzungen verwendbar.

5. Kooperationen

Im Rahmen des Projekt KLIWA, an dem das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) maßgeblich beteiligt ist, werden hydrologische Simulationen mit dem Modell WaSiM-ETH für verschiedene Einzugsgebiete, die von den Simulationen der Gruppe Meteorologie/MM5 abgedeckt werden, durchgeführt. Abbildung 7 zeigt exemplarisch das Einzugsgebiet der Isar innerhalb des Untersuchungsgebiets von GLOWA-Danube. Genutzt bzw. untersucht werden soll hier die gesamte Modellhierarchie vom globalen Zirkulationsmodell (ERA40 bzw. ECHAM5), über das regionale Modell MM5 (Auflösung 45km) bis hin zum feinskaligen *At-*

moMM5 (1km) als Antrieb für die hydrologische Modellierung. Für das Jetztzeitklima werden hier die Jahre 1971-2000 sowohl von ERA40 als auch von ECHAM5 herangezogen - einerseits als direkter Antrieb für WaSiM, andererseits als Antrieb für MM5. Für den Zeitraum 2001-2100 steht naturgemäß nur ECHAM5 als Antrieb zu Verfügung. Die Daten der meteorologischen Modelle mussten in ein vom LfU benötigtes Format gebracht werden. Zusätzlich wurden zur Bereitstellung der *AtmoMM5*-Datensätze alle gewünschten MM5-Simulationsergebnisse dem *Downscaling* auf 1km unterworfen. Die Daten von ERA40 und ECHAM5 lagen der Gruppe Meteorologie/MM5 teilweise schon als Antrieb vor; teilweise mussten sie aber auch neu beschafft bzw. neu berechnet werden. Die angeforderten Datensätze sind mittlerweile vollständig prozessiert und stehen dem LfU zur Nutzung bereit.

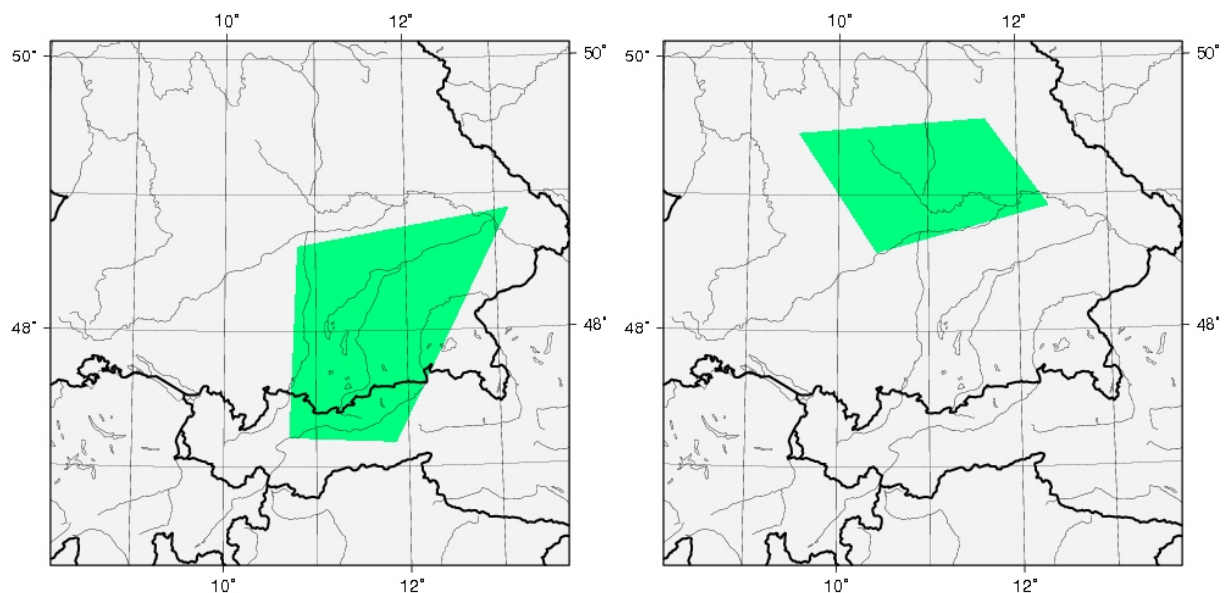


Abb. 7: Untersuchungsgebiet von GLOWA-Danube mit Einzugsgebiet der Isar (links) und der Altmühl (rechts)

6. Atlas

In Phase II wurde von den Gruppe Meteorologie/MM5 und Meteorologie/Mainz im Global Change Atlas von GLOWA-Danube im Kapitel 2 „Simulationsmodelle“ das Modell bzw. DANUBIA-Objekt *AtmoMM5* und insbesondere der hierfür entwickelte *Downscaling*-Algorithmus präsentiert. Im Berichtszeitraum beteiligte sich die Gruppe Meteorologie/MM5 an der Erstellung des Beitrags „Klimaszenarien der regionalen Klimamodelle“ im Kapitel 3 „Szenarien und Ergebnisse“. Hier werden die von den Regionalmodellen MM5 und REMO simulierten klimatischen Bedingungen im Bereich der oberen Donau bzgl. Temperatur und Niederschlag für das Jetztzeitklima (Jahre 1971 bis 2000) mit Simulationen für die Jahre 2031 bis 2060 verglichen. Als antreibendes globales Modell diente jeweils ECHAM5, wobei für die zukünftige Entwicklung des globalen Klimas das A1B-Szenario gemäß den Vorgaben des IPCC zu Grunde gelegt wurde. Abbildung 8 zeigt die entsprechenden Jahresgänge der monatlichen klimatologischen Werte von Temperatur und Niederschlag im Untersuchungsgebiet. Nach den Ergebnissen der Szenarienrechnungen ist im Gebietsmittel mit einer Temperaturzunahme von bis zu etwa 2°C zu rechnen. Die Tendenz im Niederschlagssignal ergibt im Gebietsmittel eine Erhöhung im Frühling und Herbst und eine moderate Abnahme im Sommer bei praktisch gleich bleibenden Werten im Winter. Die Ergebnisse des MM5 vergleichen sich im betrachteten Zeitraum weitestgehend gut mit denen des REMO. Für eine detaillierte regionale und saisonale Darstellung sei hier auf den ausführlichen Artikel im Atlas verwiesen. Die Szenarienrechnungen beider Modelle werden

im Laufe der dritten Phase von GLOWA-Danube im Gesamtmodell bzw. *DecisionSupport*-System DANUBIA als meteorologischer Antrieb eingesetzt werden.

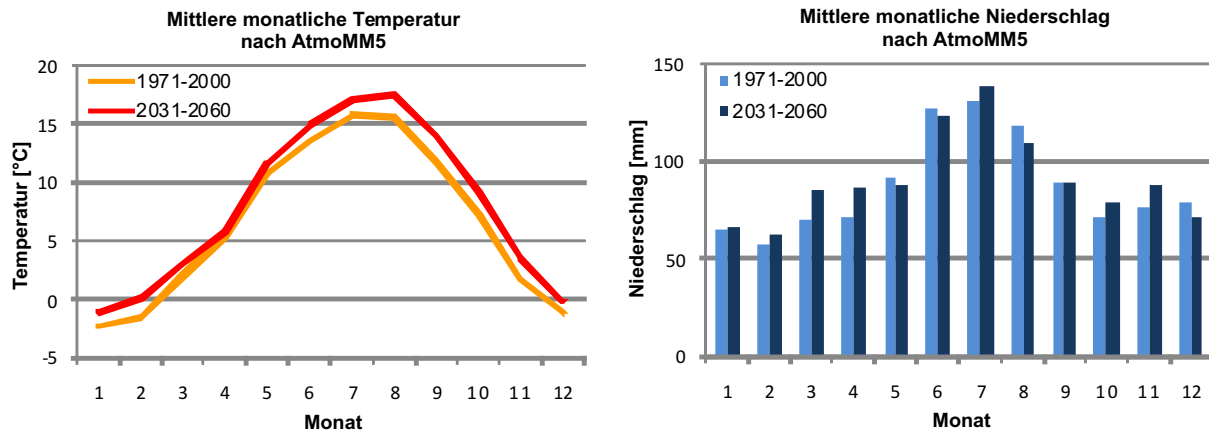


Abb. 8: Mittlerer Jahresgang der monatlichen Temperatur und des Niederschlags im Einzugsgebiet der oberen Donau im Referenzzeitraum (1971-2000) und im Szenariozeitraum (2031-2060)

7. Stakeholder

Die Gruppe Meteorologie/MM5 hat sich auch im Berichtszeitraum wieder aktiv in den *Stakeholder-Dialog* eingebracht und dabei insbesondere den Katalog der Kernbotschaften von GLOWA-Danube aus Sicht der meteorologischen Modellierung ergänzt, was dazu dienen dürfte, die wertvollen Möglichkeiten und das tatsächlich im Projekt GLOWA-Danube Machbare zu verdeutlichen. So galt es z.B. die zuweilen anzutreffende und teilweise bei manchen Stakeholdern aufscheinende Vorstellung, das Modell könnte eine Art ‚Wettervorhersage‘ für einen konkreten Tag z.B. im Jahr 2030 liefern, zurechtzurücken.

8. Zusammenfassung und Ausblick

Im bisherigen Verlauf des Projekts wurde das MM5 an die gestellten Erfordernisse angepasst und die realitätsnahe Simulation des Jetztzeitklimas unter ERA40-Antrieb insbesondere in Bezug auf Niederschlag sichergestellt. Bei der Umstellung auf ECHAM5-Antrieb wird der vom globalen Modell verursachte Bias im Niederschlag durch eine innerhalb des *Downscaling*verfahrens implementierte Korrektur abgefangen. Gekoppelte Simulationen mit dem hydrologischen Modell der Gruppe HydFern zeigen dann in der Folge unter Verwendung der Bias-Korrektur wiederum realistische Ergebnisse z.B. im Jahresgang des Abflusses verschiedener Pegel. Ausgehend von diesen Ergebnissen wird im Weiteren die vergleichende Betrachtung von MM5 und REMO und der verwendeten *Downscaling*verfahren in Bezug auf die hydrologische Modellierung noch deutlich intensiviert und für die Veröffentlichung in einer einschlägigen Fachzeitschrift (z.B. *Journal of Hydrometeorology*) aufbereitet werden.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der interaktiven Kopplung des MM5 und der Landoberflächen-Modellierung der Gruppe HydFern im Kontext des durchgehend in FORTRAN codierten PROMET. Hier gestaltet sich nach der technischen Kopplung der Modelle die physikalische Anpassung noch schwierig. Um die bestehenden Probleme weiter einzugrenzen, werden gegenwärtig weitere MM5-Simulationen mit dem MM5-eigenen Landoberflächen-Modul (CHEN und DUDHIA 2001a,b) erstellt, bei denen auch die nötigen Daten zur Aufstellung der hydrologischen jährlichen Wasserbilanz (insbesondere die akkumulierte Evapotranspiration) erfasst werden, die wiederum unmittelbar mit den betreffenden Werten des PROMET verglichen werden können.

Nachdem bisher primär der klimatologische Jahresgang der monatlichen Niederschläge zur Qualitätskontrolle der regionalen Simulationen herangezogen wurde, wurde im Berichtszeitraum auch die Niederschlagsstatistik sowohl mit ERA40- als auch mit ECHAM5-Antrieb eingehender untersucht. Generell wird die Häufigkeitsverteilung der täglichen Niederschlagsereignisse soweit realistisch wiedergegeben. Grundsätzlich sollten die Simulationsergebnisse auch eine Basis zur Abschätzung von gegebenenfalls zu erwartenden zukünftigen Änderungen in der Statistik von Starkniederschlagsereignissen bilden. Demgemäß werden im Weiteren auch die regionalen Simulationen des A1B-Szenarios in Hinblick auf die Niederschlagsstatistik analysiert werden.

Das bayerische Landesamt für Umwelt führt im Rahmen des Projekts KLIWA hydrologische Simulationen mit dem Modell WaSim-ETH durch. Die hier betrachteten Flusseinzugsgebiete fallen auch in das Gebiet, das von (Atmo-)MM5 abgedeckt wird. Für vergleichende Studien wurden demgemäß von der Gruppe Meteorologie/MM5 Simulationsergebnisse des MM5 und meteorologische Eingangsdatensätze (ERA40, ECHAM5) für das Jetztzeitklima und eine Realisierung des A1B-Szenarios nach Vorgaben des LfU aufbereitet und bereitgestellt.

Aufbauend auf dem in Phase II für das Kapitel „Simulationsmodelle“ des Global Change Atlas zum DANUBIA-Objekt AtmoMM5 erstellten Artikel wurde im Berichtszeitraum zusammen mit den Gruppen HydFern und Meteorologie/Hamburg der Beitrag „Klimaszenarien der regionalen Klimamodelle“ erstellt. In den betrachteten Zeiträumen vergleichen sich hier die Ergebnisse des MM5 generell gut mit denen des REMO. Ein weiterer Beitrag für den Atlas, der Simulationen der hydrologischen Modellierung der Gruppe HydFern (angetrieben von (Atmo-)MM5 und REMO) darstellen wird, ist gegenwärtig in Vorbereitung.

Die Simulationsergebnisse des AtmoMM5 und des REMO werden bis zur Abschlusskonferenz von GLOWA-Danube neben den Datensätzen des Klimagenerators der Gruppe HydFern als meteorologischer Antrieb für Simulationen des DANUBIA-Gesamtsystems eingesetzt werden und somit den direkten modell-technischen, physikalisch-dynamischen Anschluss an die gemäß den Vorgaben des IPCC erstellten globalen Simulationen (ECHAM5, A1B) herstellen.

Im Rahmen des Stakeholder-Dialogs hat die Gruppe Meteorologie/MM5 z.B. den Katalog der Kernbotschaften und die Produktdatenblätter mit Aussagen in Bezug auf Möglichkeiten und Grenzen des Projekts GLOWA-Danube aus Sicht der regionalen meteorologischen Modellierung ergänzt.

9. Literatur

- CHEN, F. und DUDHIA, J. (2001a): Coupling an advanced land-surface/hydrology model with the Penn State/NCAR MM5 modeling system. Part I: Model implementation and sensitivity. *Mon. Wea. Rev.*, 129, S. 569-585.
- CHEN, F. und DUDHIA, J. (2001b): Coupling an advanced land-surface/hydrology model with the Penn State/NCAR MM5 modeling system. Part II: Preliminary Model validation. *Mon. Wea. Rev.*, 129, 587-604.
- DUDHIA, J. (1993): A nonhydrostatic version of the Penn State/NCAR mesoscale model: Validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front. *Mon. Wea. Rev.*, 121, S. 1493-1513.
- FRÜH, B., SCHIPPER, J.W., PFEIFFER, A. und WIRTH, V. (2006): A pragmatic approach for downscaling precipitation in alpine-scale complex terrain, *Meteorol. Zeitschrift*, 15, S. 631-646.

- GRELL, G. (1993): Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. *Mon. Wea. Rev.*, 121, S. 764-787.
- GRELL, G.A., DUDHIA, J. und STAUFFER, D.R. (1994): A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). NCAR/TN-398+STR (1994), 138 S.
- MARKE, T. (2008): Development and application of a model interface to couple regional climate models with land surface models for climate change risk assessment in the Upper Danube watershed. Dissertation der Fakultät für Geowissenschaften, Digitale Hochschulschriften der LMU München, 188, München.
- MAUSER, W. und SCHÄDLICH, S. (1998): Modelling the spatial distribution of evapotranspiration on different scales using remote sensing data, *J. of Hydrology*, S. 212-213, S. 250-267.
- SCHIPPER, J.W. (2005): Downscaling of Precipitation in the Upper Danube Catchment Area, Dissertation, LMU München: Fakultät für Physik.
- RÖCKNER, E., BROKOPF, R., ESCH, M., GIORGETTA, M., HAGEMANN, S., KORNBLUEH, L., MANZINI, E., SCHLESE, U. und SCHULZWEIDA, U. (2006): Sensitivity of Simulated Climate to Horizontal and Vertical Resolution in the ECHAM5 Atmosphere Model, *Journal of Climate*, 19, S. 3771-3791.
- SIMMONS, A.J. und GIBSON, J.K. (2000): The ERA-40 project plan. ERA-40 Project Report Series, No.1, ECMWF.

Modellierung der Auswirkungen des Globalen Wandels auf die Wasser-, Nährstoff- und Kohlenstoffflüsse im System Boden-Pflanze

Teilprojekt: Ökosysteme
 Leiter: Prof. Dr. Karl Schneider
 Ausführende Stelle: Geographisches Institut der Universität zu Köln
 Lehrstuhl für Hydro- und Klimageographie,
 Universität zu Köln
 Albertus-Magnus-Platz, 50923 Köln
 Berichtersteller: C. Klar, Dr. V. Lenz-Wiedemann, T. Reichenau, M. Schmidt,
 Prof. Dr. K. Schneider

1. Organisation

1.1 Kurzbeschreibung der Aufgabe des Teilprojektes

Zentrale sektorale Aufgaben des Teilprojekts „Ökosysteme“ sind die Modellierung des Pflanzenwachstums innerhalb des *Biological*-Modells sowie die Modellierung der Stickstoffumsatzprozesse innerhalb des SNT-Modells. Beide Modellkomponenten bilden die Grundlage zur Abschätzung der Auswirkungen des Klimawandels sowie landwirtschaftlicher Nutzungsänderungen auf Wasser-, Stickstoff- und Kohlenstoffflüsse. Gegenstand der laufenden Bewilligungsphase ist neben der Weiterentwicklung des Pflanzenwachstums- und Stickstoffumsatzmodells insbesondere die prozessbasierte Validierung sowie die Untersuchung des Skalenverhaltens der Modellparameter. Integrative Aufgaben liegen vor allem im Bereich der Modellierung des Wasserverbrauchs landwirtschaftlicher Nutzpflanzen und natürlicher Ökosysteme sowie der Stickstoffdynamik im System Boden-Pflanze. In Kooperation mit den Projektpartnern ist die Entwicklung entsprechender Schnittstellen insbesondere zu der Modellkomponente *Farming* von zentraler Bedeutung.

Aus der räumlich und zeitlich unterschiedlichen Entwicklung der landwirtschaftlichen Erträge wird in der Modellkomponente *Farming* über Bewirtschaftungsalternativen entschieden (*FarmingDecider*). Die Stickstoffumsatzmodellierung ermöglicht die flächenverteilte Abschätzung des Stickstoffaustrags in das Grundwasser. Dies ist eine wichtige Eingangsgröße für die Modellierung der zukünftigen Wasserqualitätsentwicklung in der Modellkomponente *Groundwater*.

1.2 Personal

1.2.1 Wissenschaftler

Die dem Projekt bewilligten Personalmittel wurden entsprechend des Antrags im Berichtszeitraum für folgendes wissenschaftliches Personal eingesetzt:

- Herr Dipl.-Geogr. Christian Klar (0,5 x 13 TV-L, Doktorand). Herr Klar beschäftigte sich im Projektteil „Stickstoffumsatz“ mit der Entwicklung einer Modellkomponente zur mesoskaligen, prozessorientierten Modellierung der Stickstoffumsatzprozesse im Boden. Er entwickelte und integrierte ein prozessbasiertes Stickstoffumsatz- und Stickstofftransportmodell in das DANUBIA DSS, untersucht die Skalierungseigenschaften des Modells und führte Geländemessungen für die Modellvalidierung durch.

- Frau Dr. Victoria Lenz-Wiedemann (0,5 x 13 TV-L, wiss. Mitarbeiterin, 01.03.2009-30.04.2009). Frau Lenz-Wiedemann beschäftigte sich im Projektteil „Pflanzenwachstum“ mit der prozessbasierten Wachstumsmodellierung landwirtschaftlicher Nutzpflanzen und der Analyse der Auswirkungen des globalen Wandels auf das Pflanzenwachstum. Für die Erweiterung und Validierung des Pflanzenwachstumsmodells koordinierte sie die Geländemesskampagnen in der Vegetationsperiode 2007/2008.
- Herr Dipl.-Geogr. Marius Schmidt (0,5 x 13 TV-L, Doktorand). Herr Schmidt führte die Arbeiten zu Betrieb und Wartung der Eddy-Kovarianz-Station und der zugehörigen mikrometeorologischen Messungen fort. Insbesondere überarbeitete und vervollständigte Herr Schmidt die Auswertung der Eddy-Kovarianz Messungen zur Berechnung von Kohlenstoff- und Wasserflüssen. Die Daten werden zur Validierung der Pflanzenwachstumsmodelle auf der Feldskala eingesetzt und beziehen sich auf die im Antrag unter 2.2. aufgeführten Validierungsmessungen.
- Herr Dipl.-Biol. Tim Reichenau (1 x 13 TV-L, wiss. Mitarbeiter). Herr Reichenau koordinierte die Arbeiten im Rahmen des Teilprojektes Ökosysteme. Er beschäftigte sich mit der inhaltlichen Abstimmung der Komponenten innerhalb von DANUBIA *Light 2*, der Erstellung und Parametrisierung von Laufzeitumgebungen und der Durchführung und Auswertung von Simulationsläufen.

Darüber hinaus wurden die Arbeiten des Teilprojektes aus Mitteln der Grundausstattung durch Dr. P. Fiener und Prof. Dr. K. Schneider in der wissenschaftlichen Betreuung und Projektkoordination sowie durch Dr. Victoria Lenz-Wiedemann im Bereich der Pflanzenwachstumsmodellierung unterstützt.

1.2.2 Studentische Hilfskräfte

Folgende studentische Hilfskräfte wurden aus Projektmitteln finanziert:

JAVA-Programmierung, Administration der Testumgebung, Systemadministration:

- Markus Kreye (01.05.2008-30.04.2009)
- Norman Barth (01.05.2008-30.04.2009)

Durchführung von Pflanzen- und Bodenmessungen im Gelände sowie Laboranalysen:

- Julia Dierl (01.05.2008-31.12.2008)
- Jörn Kilzer (01.05.2008-28.02.2009)
- Nils-Peter Neubauer (01.05.2008-30.9.2008)
- Eva Wieners (01.05.2008-30.04.2009)

1.3 Veranstaltungen

1.3.1 GLOWA-Danube (intern)

Bilaterale Gespräche zur Modellkopplung wurden insbesondere mit den Teilprojekten „Agrarökonomie“, „Hydrologie/Fernerkundung“ und „Informatik“ durchgeführt.

- 30.01.2009 GLOWA-Danube *Stakeholder* Workshop Wasserwirtschaft, Land- und Forstwirtschaft

1.3.2 Andere Veranstaltungen

- 30. 10.- 02. 11.2008 IALE-D Jahrestagung - Global Change and Landscape Response, Bonn (K. Schneider).
- 12.-14.11.2008 12. Workshop Großskalige Hydrologische Modellierung, Kiel (T.G. Reichenau).
- 26.-27.03.2009 Tag der Hydrologie 2009 - Hydrologische Systeme im Wandel, Kiel (K. Schneider).
- 20.-23.04.2009 2nd International Multidisciplinary Conference on Hydrology and Ecology, Wien (C.W. Klar)

1.4 Veröffentlichungen und Berichte

1.4.1 Publikationen

KLAR, C.W., LENZ-WIEDEMANN, V.I.S., REICHENAU, T.G. und SCHNEIDER, K. (2009): Nitratauswaschung. In: GLOWA-Danube-Projekt, Universität München (LMU) (Hrsg.). Global Change Atlas, Einzugsgebiet Obere Donau. Eigenverlag LMU München (im Druck).

KLAR, C.W. und SCHNEIDER, K. (2009): Organischer Kohlenstoffanteil im Oberboden. In: GLOWA-Danube-Projekt, Universität München (LMU) (Hrsg.). Global Change Atlas, Einzugsgebiet Obere Donau. Eigenverlag LMU München (im Druck).

KLAR, C.W., FIENER, P., NEUHAUS, P., LENZ-WIEDEMANN, V.I.S. und SCHNEIDER, K. (2008): Modelling of soil nitrogen dynamics within the decision support system DANUBIA. *Ecological Modelling*, 217, S. 181-196.

LENZ-WIEDEMANN, V.I.S., KLAR, C.W. und SCHNEIDER, K. (2008): Assessing ecohydrological impacts of crops in a catchment area. In: BRECKLING, B., REUTER, H. und VERHOEVEN, R. (2008): Implications of GM-Crop Cultivation at Large Spatial Scales. *Theorie in der Ökologie* 14, Frankfurt, S. 71-75.

1.4.2 Poster und Präsentationen

SCHNEIDER, K., REICHENAU, T.G., LENZ-WIEDEMANN, V.I.S., KLAR, C.W., SCHMIDT, M. und FIENER, P. (2008): Plant growth, water and nitrogen use under climate change conditions. IALE-D Jahrestagung - Global Change and Landscape Response, 30.Oktober -2.November 2008, Bonn (Vortrag).

REICHENAU, T.G., LENZ-WIEDEMANN, V.I.S., SCHMIDT, M., KLAR, C.W. und SCHNEIDER, K. (2008): Modellierung der Auswirkung landwirtschaftlicher Anbauentscheidungen auf die Transpiration mit dem Entscheidungsunterstützungssystem DANUBIA. 12. Workshop Großskalige Hydrologische Modellierung, 12.-14.November 2008, Kiel (Poster).

SCHNEIDER, K., FIENER, P., KLAR, C.W., LENZ-WIEDEMANN, V.I.S., REICHENAU, T.G. und SCHMIDT, M. (2009): Analyse der vegetationsgesteuerten Wasser- und Stoffflüsse unter Bedingungen des globalen Klimawandels. Tag der Hydrologie 2009 - Hydrologische Systeme im Wandel, 26.-27.März 2009, Kiel (Vortrag).

KLAR, C.W., REICHENAU, T.G., LENZ-WIEDEMANN, V.I.S. und SCHNEIDER, K. (2009): Modelling of climate change impacts on nitrate leaching in the Upper Danube watershed. 2nd International Multidisciplinary Conference on Hydrology and Ecology, 20.-23. April 2009, Wien (Poster).

2. Sektorale Arbeiten

2.1 Ziele für den Berichtszeitraum

Zur Abschätzung des gegenwärtigen und zukünftigen Wasserumsatzes im Einzugsgebiet der Oberen Donau ist eine Modellierung des Pflanzenwachstums unterschiedlicher Ökosysteme und der damit in Zusammenhang stehenden Wasser-, Nährstoff- und Kohlenstoffflüsse von zentraler Bedeutung.

Folgende sektorale Ziele wurden im Berichtszeitraum angestrebt:

Zur verbesserten Abbildung der Wachstumsprozesse zusätzlicher landwirtschaftlicher Kulturen sollte der Ersatz von Regressionsmodellen landwirtschaftlicher Nutzpflanzen vorangetrieben werden. Für die Validierung der Modellergebnisse in der Fläche sollten modellierte landwirtschaftliche Erträge auf Landkreisebene mit den Ertragsstatistiken der Länder Bayern und Baden-Württemberg verglichen werden. Die Grundlagen einer Punktvalidierung auf Intensiv-Untersuchungsflächen der Arbeitsgruppe sollten gelegt werden. Dies umfasst die weitere Aufnahme von Messdaten im Bereich Phänologie, Biomasse, Stickstoffgehalt in Pflanze und Boden, Bodenfeuchte; Bodenatmung und Wasser- sowie Kohlenstoffflüsse über der Untersuchungsfläche. Die technischen Grundlagen zur Durchführung entsprechender Modellläufe sollte gelegt werden.

Auf dem Gebiet der Analyse des Stickstoffhaushalts sollten Szenarioanalysen zur Abschätzung der möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf den Bodenstickstoffhaushalt durchgeführt werden. Räumliche Muster und deren Ursachen sollten analysiert werden.

Integrative Ziele im Berichtszeitraum:

Im Berichtszeitraum sollte die Koppelung der Komponenten *Biological*, *SNT*, *Farming* und *NaturalEnvironment* technisch fehlerfrei realisiert und inhaltlich plausibel fertig gestellt werden.

2.2 Material und Methoden

2.2.1 Erweiterung des Modells

Rückführung von Ernterückständen in den Boden

Nach der Ernte bleiben Ernterückstände auf dem Feld zurück. Im Modell *Biological* wurden Kohlenstoff- und Stickstoffflüsse ergänzt, die den in den Ernterückständen enthaltenen Kohlenstoff und Stickstoff dem Boden zuführen. Entsprechende Schnittstellen wurden zwischen den Modellen *Biological* und dem Modell für die Transformationsprozesse des Bodenstickstoffs (*SNT*) eingerichtet. Über diese Schnittstellen wird auch der als Bestandesabfall im Laufe der Vegetationsperiode anfallende Kohlenstoff und Stickstoff den Bodenpools zugeführt.

Entwicklung „*FarmingDummy*“

Um auch ohne die Komponente *Farming* umfangreiche Testläufe durchführen zu können, wurde *FarmingDummy* entwickelt. *FarmingDummy* führt anstelle von *Farming* die landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsprozesse aus (Säen, Düngen, Ernten, Schneiden).

Ersatz von Regressionsmodellen landwirtschaftlicher Nutzpflanzen

Die Reihe der Vegetationsklassen in *Biological*, die prozessbasiert modelliert werden, ist um Leguminosen erweitert worden. Bisher diente bei der Pflanzenwachstumsmodellierung

Sommergerste als Stellvertreter für Leguminosen. Der Ertrag für Leguminosen wurde anhand eines Regressionsmodells, welches auf Ertragsstatistik-Daten basiert, von dem der Sommergerste abgeleitet. Unberücksichtigt blieb dabei jedoch die Eigenschaft der Leguminosen, Stickstoff aus der Atmosphäre zu fixieren, welches durch eine Symbiose mit Bakterien (Rhizobia) in den Wurzelknöllchen ermöglicht wird. Aufgrund dieser Stickstofffixierung wird nur ein Teil des Stickstoffbedarfs aus dem Boden gedeckt.

Um das Wachstum der Leguminosen prozessbasiert zu modellieren, ist in *Biological* der Prozess der Stickstofffixierung entsprechend dem Modell GECROS (YIN und VAN LAAR 2005) implementiert worden. Alle pflanzenartspezifischen Parameter für Leguminosen sind aus GECROS übernommen worden. Da sich unter veränderten Klimabedingungen auch der Stickstoffbedarf und die Stickstoffumsätze im Boden ändern, ist es von großer Wichtigkeit, die Stickstofffixierung bei der Modellierung zu berücksichtigen. Diese Modellexerweiterung lässt es zu, genauere Aussagen über den landwirtschaftlichen Ertrag von Leguminosen sowie die Wasser-, Kohlenstoff- und Stickstoffflüsse in der Zukunft zu treffen.

2.3 Ergebnisse

2.3.1 Szenariorechnungen

Änderung der Biomasseproduktion

Um ein erstes Bild des Einflusses der Klimaveränderung auf die landwirtschaftlichen Erträge im Einzugsgebiet der Oberen Donau zu erhalten, wurde DANUBIA *Light2* für zwei Sechsjahresperioden gerechnet. Der Referenzlauf für die Jahre 1995 bis 2000 wurde mit auf Messungen basierenden meteorologischen Daten angetrieben. Der Szenariolauf, der für die Jahre 2041 bis 2046 durchgeführt wurde, wurde mit meteorologischen Daten, die durch den statistischen Klimagenerator des Teilprojektes Hydrologie und Fernerkundung erzeugt wurden, angetrieben. Es wurde das von dieser Gruppe zur Verfügung gestellte Szenario KT3_KV1 verwendet. Es handelt sich dabei um eine mittlere Ausprägung eines Szenarios, dessen Temperaturtrend auf der Modellierung mit REMO (JACOB 2008).

In DANUBIA *Light2* wurden die Komponenten *Biological*, *SNT* und *NaturalEnvironment* voll dynamisch gekoppelt. Die Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen erfolgte mit *FarmingDummy*. Die Bewirtschaftung wurde dabei nicht an die geänderten Umweltbedingungen angepasst. Die sich ergebenden Biomassen für vier direkt modellierte Feldfrüchte sind in Abbildung 1 dargestellt.

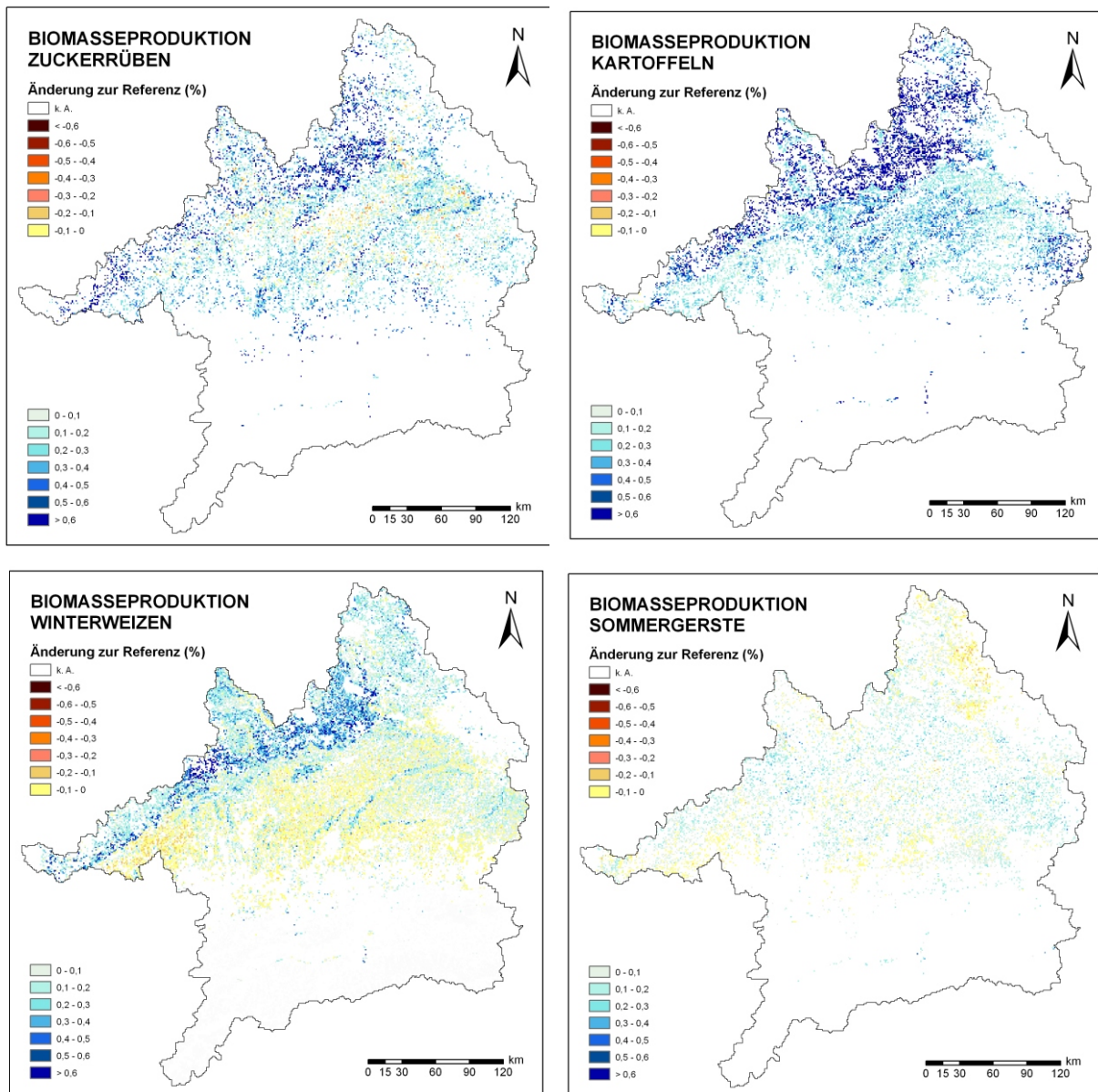


Abb. 1: Relative Änderung der modellierten Biomasse im Einzugsgebiet der Oberen Donau im Vergleich zwischen Szenario- (2041-2046) und Referenzperiode (199-2000). Die Daten sind Mittelwerte über die angegebenen Zeiträume

Es ergeben sich überwiegend leichte bis deutliche Erhöhungen der Biomassen. Dabei ähneln sich die räumlichen Muster der betrachteten Feldfrüchte. In Abbildung 2 ist die Verteilung der relativen Änderungen als Boxplot dargestellt. Die mittlere Biomasseänderung liegt für Kartoffeln bei 44%, für Zuckerrüben bei 28%, für Sommergerste bei 7% und für Winterweizen bei 11%.

Die im Szenario angenommenen Änderungen der meteorologischen Bedingungen führen demnach auch unter heutigen Bewirtschaftungsstandards zu einer moderat erhöhten Biomasseproduktion.

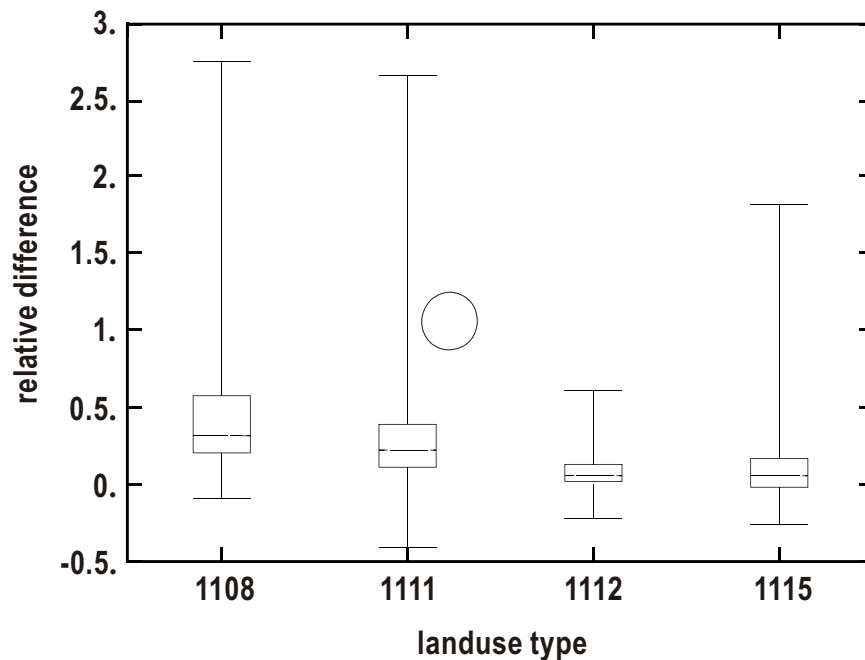


Abb. 2: Relative Änderung der modellierten Biomasse im Einzugsgebiet der Oberen Donau im Vergleich zwischen Szenario- (2041-2046) und Referenzperiode (1995-2000). Dargestellt sind Minimum, Maximum, erstes und drittes Quartil (Box) und drittes Quartil (gestrichelte Linien). Landnutzungstypen: 1108-Kartoffel, 1111-Zuckerrübe, 1112 Sommergerste, 1115-Winterweizen. Die Daten sind Mittelwerte über die angegebenen Zeiträume

Biomasse und Transpiration: Änderung der Wassernutzungseffizienz

Am Beispiel des Landkreises Günzburg wurden Änderungen der Biomasseentwicklung unter Szenariobedingungen mit dem Wasserverbrauch in Zusammenhang gesetzt (Abb. 3). Neben den Biomassen steigt bei allen betrachteten Feldfrüchten auch die Wassernutzungseffizienz, also die Wasseraufnahme pro gebildeter Biomasse. Kartoffel und Zuckerrübe haben dabei im Szenariofall eine gegenüber der Referenzperiode erhöhte Transpiration. Die Getreide können die höhere Biomasse bei geringerem Wasserverbrauch bilden.

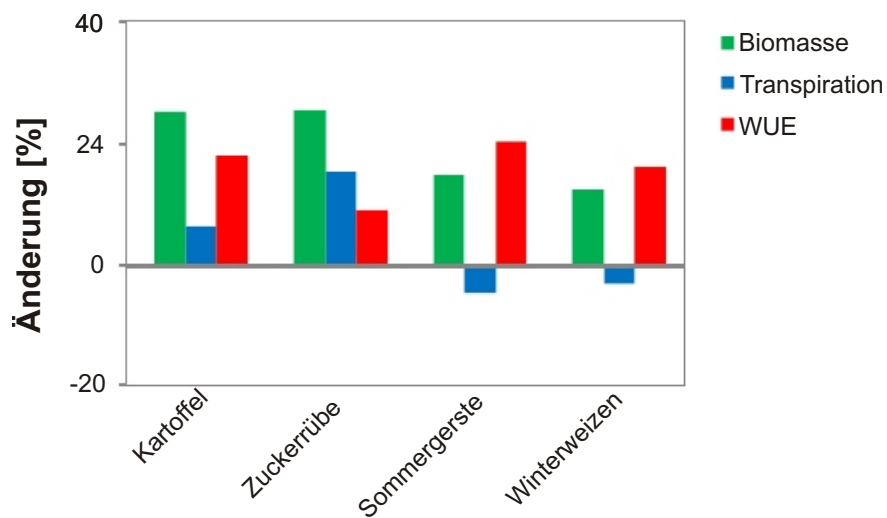


Abb. 3: Relative Änderung von Biomasse, Transpiration und Wassernutzungseffizienz für vier direkt modellierte Feldfrüchte im Landkreis Günzburg. Die Daten sind Mittelwerte der relativen Änderung zwischen den Zeiträumen 1995-2001 (Referenz) und 2040-2046 (Szenario)

2.3.2 Vergleich modellierter Erträge mit Ertragsstatistiken

Um die Interaktion des Pflanzenwachstumsmodells *Biological* mit dem agrarökonomischen Modell *Farming* zu verbessern, ist es notwendig, dass die modellierten landwirtschaftlichen Erträge keine zu großen Abweichungen von den in der Realität aufgetretenen Erträgen zeigen. Als Referenz wird hier die von den Bundesländern Bayern und Baden-Württemberg erhobene Ertragsstatistik verwendet.

Abweichungen der für einen Landkreis mittleren modellierten Erträge von den Statistikdaten haben ihre Ursache in den im Modell vorgenommenen Generalisierungen. Auf einem Proxel wird in DANUBIA ein einheitlicher Boden angenommen, wodurch sich von der Realität abweichende Verteilungen der Landnutzungs-Boden-Kombinationen ergeben.

Außerdem wirkt sich die landwirtschaftliche Bewirtschaftung stark auf die modellierten Erträge aus. Die Bewirtschaftung wird von *Farming* anhand üblicher landwirtschaftlicher Vorgehensweisen vorgenommen. Da sich reale Landwirte nicht zwingend nach diesen Vorgaben verhalten haben, sind Abweichungen zu erwarten.

Schließlich weicht auch der auf Basis von Stationsmessungen interpolierte meteorologische Antrieb vom realen Wetter ab. Das hierdurch anders als in der Realität beeinflusste Pflanzenwachstum trägt ebenfalls zu den Abweichungen bei.

Obwohl also *Biological* auf der Feldskala in der Lage ist, die gemessenen Erträge gut zu reproduzieren (LENZ 2007), lässt sich diese Fähigkeit nicht ohne Anpassungen auf die gröbere Skala der Landkreise übertragen.

Auf Basis der gegebenen Unterschiede wurde eine Abweichung zwischen modelliertem und der Statistik entnommenen Ertrag von 20% als akzeptabelfestgelegt. Um die Abweichungen zu untersuchen, wurden für Landkreise mit einem hohen Anteil landwirtschaftlicher Nutzfläche für die Jahre 1995 bis 1999 auf *subskaliger* Basis die landwirtschaftlichen Erträge modelliert (Tab. 1). Die auftretenden Abweichungen sind bei den einzelnen Feldfrüchten sehr unterschiedlich. Die stärkste negative Abweichung ergibt sich mit -55,3% für Silomais im Landkreis Mühldorf, die stärkste positive mit +71% bei Kartoffeln im Landkreis Unterallgäu. Im Mittel über die untersuchten Landkreise ergeben sich negative Abweichungen außerhalb der 20%-Grenze. Die Mittelwerte der Abweichungen über alle Feldfrüchte innerhalb eines Landkreises liegen durchgängig unter 20%.

Auf Basis dieser Ergebnisse wurde festgelegt für den Skalenübergang von der Feldskala auf den Landkreis Skalenübergangsfaktoren zu ermitteln und für die Interaktion zwischen *Biological* und *Farming* einzusetzen.

Tab. 1: Relative Abweichung (%) der modellierten Erträge von der Ertragsstatistik für ausgewählte Landkreise mit hohem Anteil landwirtschaftlicher Nutzfläche aus dem Einzugsgebiet der Oberen Donau. Ausgewertet wurden die Jahre 1995 bis 1999

	Silomais	Leguminosen	Körnermais	Hafer	Raps	Kartoffel	Roggen	Zuckerrübe	Sommergerste	Sommerweizen	Wintergerste	Winterweizen	Mittelwert
Dachau	-10,2	-24,2	-16,0	-2,1	4,7	51,4	-25,7	-25,5	6,6	17,7	-9,3	-1,6	-2,8
Erding	-43,1	-17,6	-20,4	-3,1	4,3	45,3	-4,3	-38,9	0,6	14,0	-6,9	-2,9	-6,1
Freising	-17,3	-18,3	-16,3	2,6	4,4	58,0	-10,0	-19,6	8,9	23,2	-4,7	2,7	1,1
Mühldorf	-55,3	-18,9	-30,7	-2,6	1,6	59,2	-12,4	-36,3	6,3	16,4	-8,9	-1,3	-6,9
Neuburg-Schrobenhausen	-29,6	-13,1	-19,7	10,2	11,3	50,3	2,1	-25,7	10,0	16,0	5,1	11,2	2,3
Landshut	-39,2	-20,0	-22,0	-5,3	0,9	52,8	-21,7	-26,9	3,0	12,0	-10,5	-5,7	-6,9
Rottal-Inn	-42,4	-20,2	-28,1	-5,5	2,2	54,5	-21,3	-22,7	5,7	15,3	-6,8	-1,3	-5,9
Straubing Bogen	-36,0	-24,0	-29,3	-2,5	-1,2	37,7	-19,7	-37,0	7,4	10,0	-11,2	-10,0	-9,6
Dingolfing	-29,9	-20,9	-26,3	-3,3	-0,6	55,5	-17,3	-27,4	8,0	12,7	-7,8	-1,6	-4,9
Ansbach-Land	-42,8	-24,6	-20,4	3,9	-0,9	34,6	-24,2	-22,1	3,9	18,2	-9,3	0,3	-7,0
Aichach-Friedberg	-27,5	-21,7	-21,3	0,0	0,4	44,1	-15,7	-34,2	7,9	15,4	-9,3	-0,7	-5,2
Dillingen	-29,9	-20,5	-23,1	1,8	4,2	33,5	-8,3	-24,4	8,4	17,1	-3,2	7,6	-3,1
Günzburg	-21,8	-15,1	-4,0	5,4	6,7	64,3	-11,3	-16,8	17,1	17,5	-4,0	9,5	4,0
Unterallgäu	-38,3	-25,5	-10,6	-4,7	2,0	71,0	-16,4	-30,0	6,8	19,9	-8,4	-1,2	-2,9
Donau-Ries	-50,8	-22,1	-22,5	0,3	3,9	19,9	-16,3	-43,6	9,1	8,7	-5,9	0,4	-9,9
Mittelwert	-34,3	-20,4	-20,7	-0,3	2,9	48,8	-14,8	-28,7	7,3	15,6	-6,7	0,4	-4,3

2.3.3 Stickstoffumsätze und -flüsse

Im Berichtszeitraum wurden Szenarioanalysen zur Abschätzung der möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf den Bodenstickstoffhaushalt im Einzugsgebiet der Oberen Donau durchgeführt. Dazu wurden Modellergebnisse aus der lokalen Laufzeitumgebung zwischen der modellierten aktuellen Situation und der Szenariosituation verglichen und die Abweichungen quantifiziert.

Die Modellierung für das Einzugsgebiet der Oberen Donau erfolgte auf Basis der *subskaligen* Modellierung mit Geokomplexen. Wegen der begrenzten lokal verfügbaren Rechenkapazitäten konnte der gesamte Zeitraum (1960-2060) nicht durchgehend modelliert werden. Daher wurden zwei Zeitscheiben für die Abschätzung der Klimaeffekte auf die N-Konzentration im Sickerwasser bestimmt. Die über einen Zeitraum von 1996 bis 2000 modellierten Mittelwerte dienten als Referenzwerte (REFERENZ) und lieferten den Ist-Zustand des Bodenstickstoffhaushalts im Untersuchungsraum. Als Szenariozeitraum (A1B) diente die Periode 2051 bis 2055, für die im Klimaszenario eine besonders große Temperaturerhöhung berechnet wurde. Die meteorologischen Antriebsdaten für den Szenariozeitraum stammen vom Teilprojekt Hydrologie und Fernerkundung und wurden mit dem dort entwickelten stochastischen Wettergenerator erzeugt. Die Antriebsdaten für den Referenzzeitraum basieren auf Stationsmessungen.

Um die klimatischen Effekte auf den Bodenstickstoffhaushalt im Einzugsgebiet der Oberen Donau zu isolieren, wurden die Randbedingungen für die N-Modellierung konstant gehalten. Dafür wurden sowohl die Bewirtschaftungsangaben (Saat-, Düngungs-, Erntetermine,

Düngungsmengen) aus der Referenzsituation als auch die Landnutzungsverteilung ohne Anpassungen an die zu erwartenden Szenariobedingungen übernommen.

Die Dynamik der organischen Kohlenstoff- bzw. Stickstoffvorräte im Boden konnte zwischen 2001 und 2050 nicht abgebildet werden. Daher erfolgte die Initialisierung auf Basis der Daten für den Referenzzeitraum.

Im Vergleich zur Referenzperiode zeigen die generierten meteorologischen Daten bei der Temperatur deutliche Änderungen für den Szenariozeitraum (Tab. 2). Die Jahresmitteltemperatur nahm im Untersuchungsraum durchschnittlich um 3,2 °C zu.

Tab. 2: Lufttemperatur (LT_{OD}), Gesamtniederschlag (NS_{OD}), Sommerniederschlag (NS_{SOM-OD}), Winterniederschlag (NS_{WIN-OD}), Niederschlagsindex (NS_{index}) und CO_2 -Konzentration der Atmosphäre (CO_2) im Einzugsgebiet der Oberen Donau für den Referenz- (REF) und den Szenariozeitraum (A1B)

Zeitraum	LT_{OD}	NS_{OD}	NS_{SOM-OD}	NS_{WIN-OD}	NS_{index}^*	CO_2
REF	6,3	972	611	361	0,6	365
Änderung	+3,2	+ 7	-165	+172	-	+155
A1B	9,5	979	446	533	1,2	520

* Verhältnis Winter- (1.11.-30.04.) zu Sommerniederschlag (1.5.-31.10.)

Die modellierte Entwicklung der jährlichen Niederschlagssumme zeigte keine eindeutige Tendenz (Abb. 4). Insgesamt betrug der Unterschied beim Jahresniederschlag zwischen dem Referenz- und dem Szenariozeitraum 7 mm. Für das Szenario wurde eine erhebliche Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter berechnet. Während im Sommer der Niederschlag um fast 30% zurückging, kam es im Winterhalbjahr zu einer Zunahme um nahezu 50%.

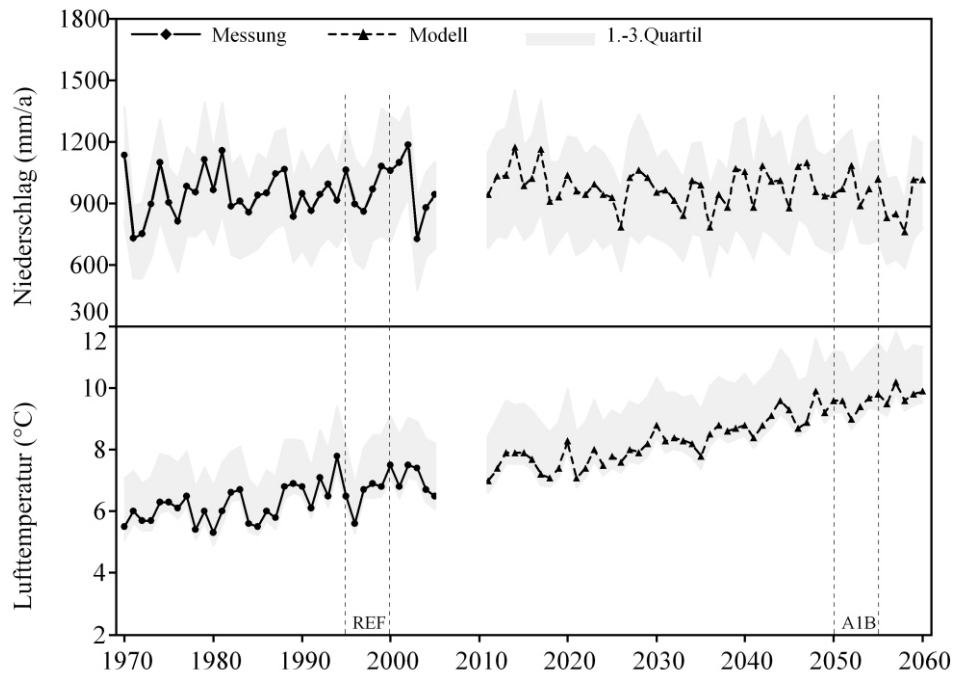


Abb. 4: Entwicklung der jährlichen Niederschlagssummen (oben) und der Jahresmitteltemperatur (unten) im Einzugsgebiet der Oberen Donau bis zum Jahr 2060. Die Modellergebnisse basieren auf Messungen (1970-2005) und dem regional angepassten IPCC A1B-Emissionsszenario (2011-2060). REF kennzeichnet den Referenz- und A1B den Szenariozeitraum

In der sektoralen Modellkonfiguration wurden die projizierten Angaben für das A1B-Szenario aus dem IPCC-Bericht flächendeckend für das gesamte Einzugsgebiet der Oberen Donau übernommen. Für den Referenzzeitraum wurde ein CO_2 -Gehalt von 365 ppm vorausgesetzt, während unter Szenariobedingungen eine Konzentration von 520 ppm unterstellt wurde.

Die Karte (Abb. 5) zeigt die mittlere Nitratkonzentration (mg/l) im Sickerwasser aus der tiefsten Bodenschicht für den Zeitraum 1996 bis 2000. Die Bewirtschaftungsangaben wurden aus Literaturangaben (KTBL, 2000/01) und der Agrarstatistik Bayerns 1995 landkreis- und nutzungsspezifisch abgeleitet. Siedlungs-, Fels- und Wasserflächen werden nicht modelliert und sind in der Karte weiß maskiert.

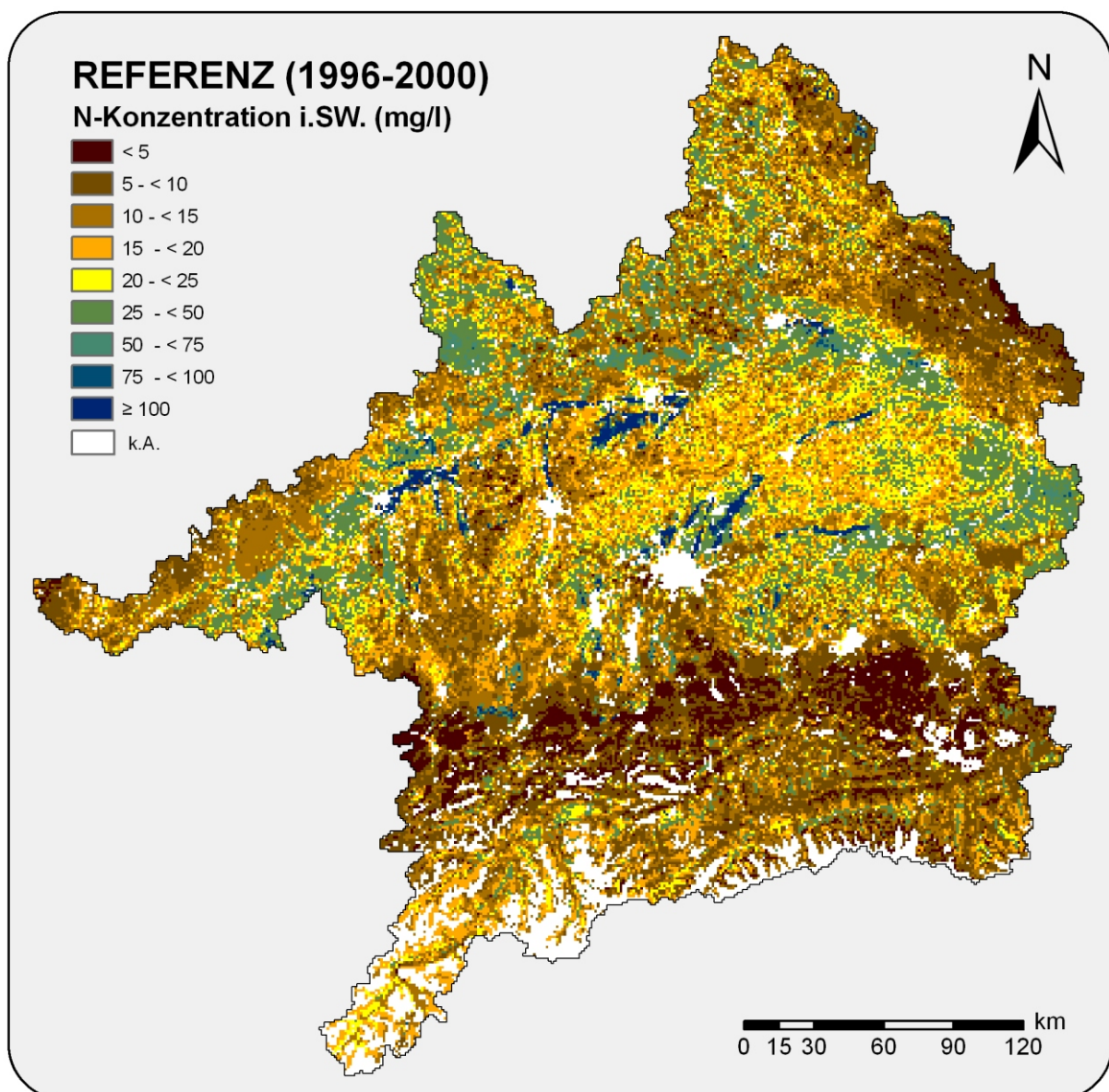


Abb. 5: Räumliche Verteilung der N-Konzentration im Sickerwasser im Einzugsgebiet der Oberen Donau in der Referenzsituation

Insgesamt überwiegen Konzentrationswerte unter dem Grenzwert der deutschen Trinkwasserverordnung von 50 mg/l mit einem Anteil von mehr als 95%. Höhere Konzentrationen korrespondieren einerseits mit Regionen, die durch landwirtschaftliche Nutzung charakterisiert sind (z.B. Landkreis Passau, Dugau). Andererseits werden besonders hohe Sticks-

stoffkonzentrationen unter (ehemaligen) Moorstandorten (z.B. Donaumoos, Erdinger Moos) modelliert, wobei Spitzenwerte von bis zu 440 mg/l berechnet wurden. Messreihen im Donaunried belegen, dass solch hohe Stickstoffkonzentrationen unter Moorstandorten durchaus realistisch sind (vgl. BRIEMLE und LEHLE 1991).

Wälder und Regionen mit nur geringer ackerbaulichen Nutzung, wie der Bayerische Wald und die Nordalpen, weisen hingegen die geringsten Nitratkonzentrationen auf.

Trotz der konzeptionellen Unsicherheiten (u.a. Denitrifizierungsprozesse während der Untergrundpassage) wurde ein Vergleich der modellierten Nitratkonzentration mit Messdaten durchgeführt, um die Plausibilität der Modellergebnisse zu unterstützen. Für den Regierungsbezirk Oberbayern zeigt sich eine hohe Übereinstimmung zwischen den berechneten Flächenanteilen und den Angaben aus dem Nitratbericht (Abb. 6).

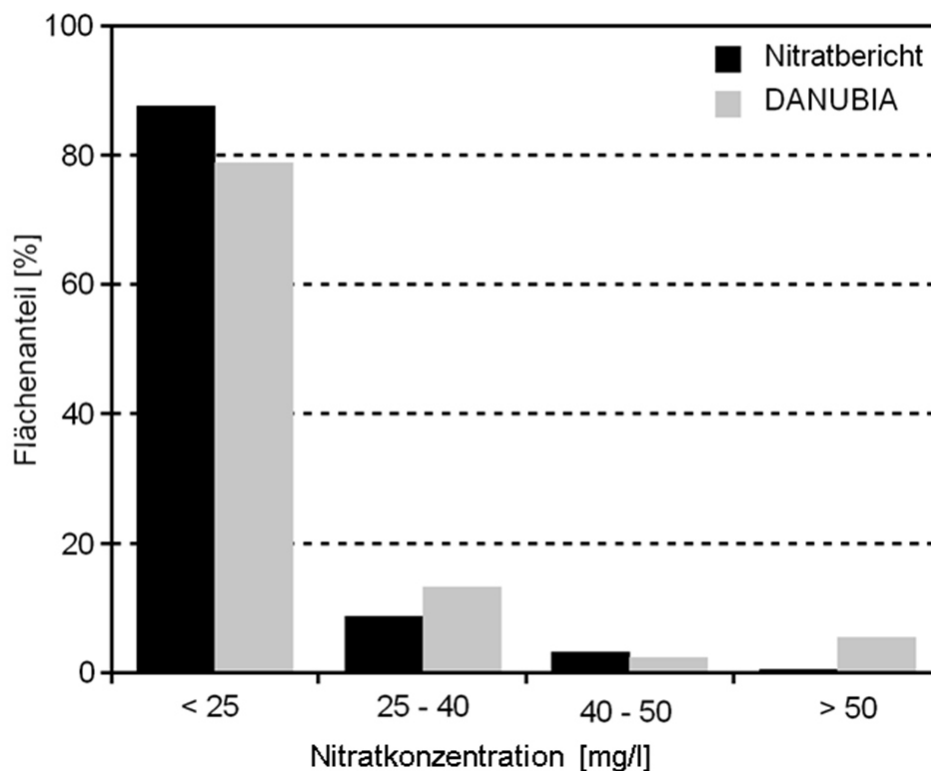


Abb. 6: Gegenüberstellung der modellierten Flächenanteile der Nitratbelastungsklassen und den Angaben aus dem Nitratbericht (LfU, 2008) für den Regierungsbezirk Oberbayern im Jahr 2000

Insgesamt geben die Modellergebnisse eine sehr plausible räumliche Verteilung der N-Konzentration im Sickerwasser wieder.

Unter Szenariobedingungen nimmt die modellierte Variabilität auf der Karte der N-Konzentration im Sickerwasser etwas zu (Abb. 7). Die Flächen mit höheren N-Konzentrationen dehnen sich aus. Das Muster der räumlichen Verteilung aus der Referenzsituation bleibt im Wesentlichen unverändert. Dafür offenbart die räumliche Verteilung der Änderungen starke regionale Diskrepanzen.

Für große Teile der Alpen wird eine moderate Zunahme der N-Konzentration im Sickerwasser um 20% berechnet (Abb. 7). Dort sorgen wahrscheinlich die bessere N-Verfügbarkeit und die Abnahme der Niederschläge für die höhere N-Konzentration im Sickerwasser. Im süd-westlichen Bereich der Alpen ergibt die Modellierung einen Rückgang der N-Belastung zwischen 10 und 30%.

Die Moränenlandschaften sind überwiegend durch eine Erhöhung der N-Konzentration im Sickerwasser gekennzeichnet (Abb. 7).

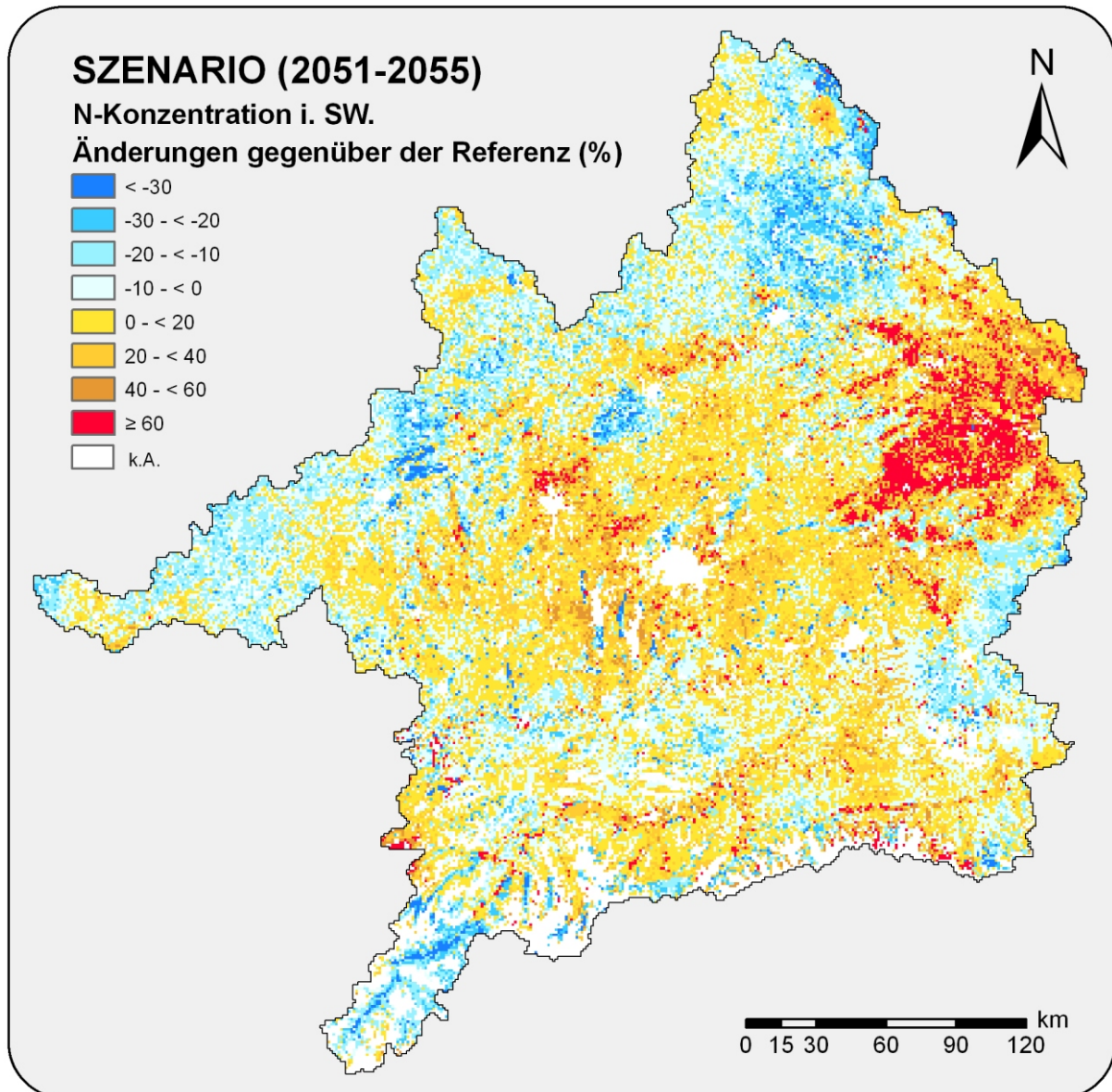


Abb. 7: Relative Änderungen der N-Konzentration im Sickerwasser unter Szenariobedingungen im Vergleich zur Referenzsituation

Ein ähnliches Muster ergibt sich für die nördlich anschließenden Gebiete. Auch hier zeigen die Moorstandorte eine rückläufige Tendenz der N-Konzentration in der Größenordnung um 20 bis 30% im Szenario. Die stärksten Abweichungen werden für die Intensivackerbaugebiete im östlichen Tertiärhügelland modelliert. Dort treten flächendeckend und für alle Landnutzungen die größten Steigerungen der N-Konzentration auf (> 60%), was durch die bessere N-Verfügbarkeit im Boden verursacht wird.

Für den Bayerischen und den Böhmerwald werden im Szenario steigende N-Konzentrationen berechnet. Die im Norden anschließende Region ist durch eine Erhöhung der Jahresniederschläge um bis zu 100mm geprägt, weshalb die N-Belastung des Sickerwassers dort zurückging. Die Albhochflächen reagieren regional sehr unterschiedlich auf die klimatischen Änderungen. Dort traten Änderungen zwischen -30 und 40% auf.

Die Szenarioergebnisse weisen auf eine Intensivierung des Bodenstickstoffhaushalts hin. Die Temperaturerhöhung führt flächendeckend zu einer Erhöhung der biogeochemischen Bodenprozesse. In ackerbaulich intensiv genutzten Regionen kann es zu einer steigenden N-Belastung des Grundwassers kommen. Die Niederschlagsänderungen sind räumlich sehr variabel und wirken sich über das Wechselspiel mit den Pflanzen sehr unterschiedlich auf den Bodenstickstoffhaushalt aus. Es zeigt sich die Notwendigkeit des ökohydrologischen Modellansatzes von DANUBIA zur Abbildung der N-Konzentration im Sickerwasser sowie die Notwendigkeit, angepasste Handlungsoptionen für ein nachhaltiges N-Management abzuleiten, um die konkurrierenden Ziele der Landwirtschaft sowie der Wasserversorgung zu vereinbaren.

2.3.4 Messung von flächenhaften Kohlenstoff- und Wasserflüssen

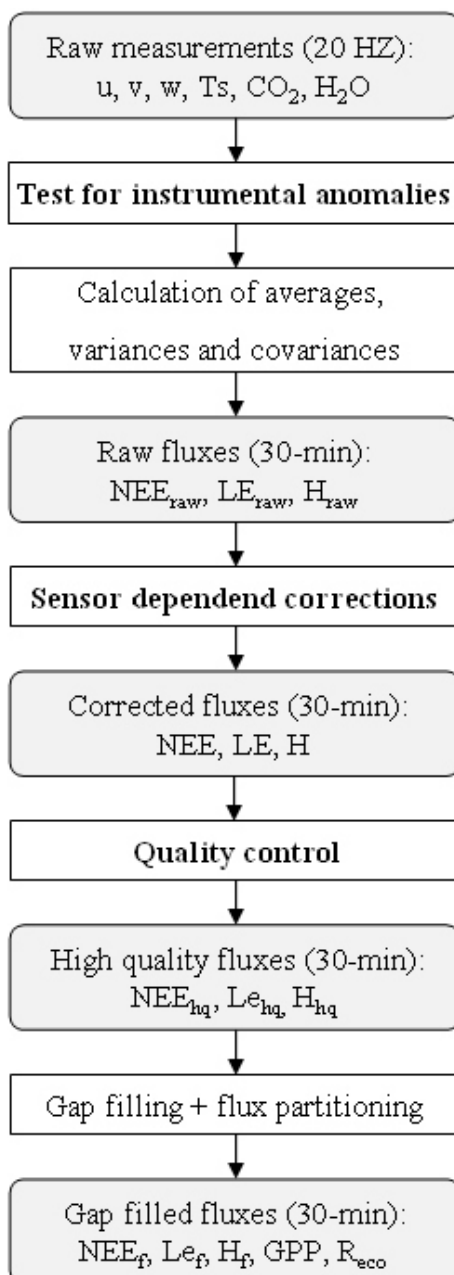


Abb. 8: Bearbeitungsschema der Eddy Kovarianz Messungen. Gezeigt sind die jeweiligen Bearbeitungsschritte und Qualitätskontrollen sowie die daraus hervorgehenden Flüsse

Die kontinuierlichen Messungen meteorologischer und bodenspezifischer Parameter sowie die Messungen der Kohlenstoff- und Energieflüsse mittels der Eddy Kovarianz Methode (siehe Jahresbericht 2007-2008) auf dem Untersuchungsfeld in Selhausen bei Jülich wurden fortgeführt. Als Ergänzung zu den Kohlenstoff-Fluss-Messungen an der Eddy Kovarianz-Station wurde Ende März 2007 eine Bodenatmungskammer (LI8100, Licor) zur kontinuierlichen Bestimmung der Bodenrespiration installiert.

Um ein möglichst umfassendes Bild von den Prozessen auf dem Untersuchungsfeld zu erlangen, wurden im zweiwöchigen Abstand Pflanzen-Messkampagnen durchgeführt. Dabei wurde der Entwicklungsstand der Pflanzen anhand der BBCH-Skala erfasst, die Pflanzenhöhe- und -dicke bestimmt, sowie anschließend anhand von Proben im Labor die Frisch- und Trockenbiomasse, der Kohlenstoff-Gehalt und der Blattflächenindex bestimmt. Zu bestimmten Terminen, z.B. kurz vor Aussaat wurden in gesonderten Messkampagnen Bodenanalysen durchgeführt. In diesem Zusammenhang wurden Korngrößenanalysen, das Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis und das Nitrat-Ammonium-Verhältnis bestimmt.

Die Messungen auf dem Untersuchungsfeld in Selhausen wurden im Mai 2007 begonnen und umfassen annähernd drei Vegetationsperioden. Im Jahr 2007 wurde das Feld mit Zuckerrüben bestellt; von November 2007 bis August 2008 mit Winterweizen; und von Mitte September bis voraussichtlich August 2009 erneut mit Winterweizen.

Das im Jahresbericht 2007-2008 vorgestellte Auswertungsschema zur Prozessierung, Korrektur und Qualitätssicherung der über die Eddy Kovarianz Methode ermittelten Stoff- und Energieflüsse wurde überarbeitet und vervollständigt. Abbildung 8 zeigt das aktuelle Bearbeitungsschema der Eddy Kovarianz Messungen.

Die an der Station aufgezeichneten 20 Hz Messungen der Windkomponenten (u , v , w), der Schalltemperatur

(Ts), des Kohlenstoff- (CO_2) und des Wasserdampfgehaltes (H_2O) der Luft werden zunächst einer Serie von Plausibilitätstest unterzogen. Hierbei werden die Daten auf fehlerhafte Messungen hin untersucht, welche in aller Regel durch Fehler der Messgeräte (z.B. während Niederschlagsereignissen) und der Datenübertragung zurückzuführen sind. Aus den auf diese Weise bereinigten Messungen werden im nächsten Schritt die Rohflüsse des Netto- CO_2 -Flusses (NEE_{raw}), des latenten Wärmeflusses (LE_{raw}) und des sensiblen Wärmeflusses (H_{raw}) berechnet. Es folgt eine Serie spezifischer Korrekturverfahren (Koordinatentransformation, (WILCZAK 2001); Konversion der Schalltemperaturfluktuationen, (SCHOTANUS 1983); Korrektur der Dichtefluktuationen, (WEBB 1980); Korrektur spektraler Verluste, (MOORE 1986), welche sich zusammenfassend auf sensorabhängige technische Einschränkungen bei der Messung nach der Eddy Kovarianz Methode beziehen. Aus diesem Bearbeitungsschritt gehen nun die korrigierten Flüsse (NEE, LE, H) hervor. Auf die korrigierten Flüsse wird anschließend ein zweistufiger Qualitätstest angewendet. Zunächst werden die Messungen auf die Erfüllung der theoretischen Voraussetzungen zur Anwendung der Methode überprüft (Test auf Stationarität, Test auf integrale Turbulenzcharakteristika, (FOKEN 1996) und gemäß den Testergebnissen als Daten hoher, moderater oder niederer Qualität kategorisiert. Für die weitere Analyse werden nun ausschließlich Daten hoher Qualität verwendet.

Anschließend wird über ein Footprint-Modell (NEFTEL 2008) das Quellgebiet der gemessenen Flüsse abgeschätzt. Es wird der kumulative Beitrag des untersuchten Winterweizenfeldes zu jeder einzelnen erfassten 30-minütigen Flussmessung berechnet. Da bei kleineren Untersuchungsfeldern von wenigen Hektar der Footprint einer Messung sich nie zu 100% innerhalb der Grenzen des Untersuchungsfeldes befinden wird, müssen Grenzwerte für die Akzeptanz bzw. Ablehnung einer Flussmessung geschaffen werden. Diese können nach Situation (tags oder nachts,...) und Fragestellung variieren. Sobald solche Grenzwerte festgelegt sind können sie als Filterkriterium eingesetzt werden.

Die aus den Qualitätstests hervorgehenden Daten bilden die sogenannten „high quality fluxes“. Da diese Daten allerdings zahlreiche Datenlücken aufweisen, welche auf Systemausfälle und die oben beschriebenen Tests und Qualitätskontrollen zurückzuführen sind, wird abschließend ein sogenanntes „Gap filling“ (REICHSTEIN 2005) durchgeführt. Hierdurch erhält man vollständige Datenreihen, welche für die Bestimmung von monatlichen und jährlichen Kohlenstoff- und Wasserbilanzen notwendig sind.

Über das sogenannte „Flux partitioning“ (REICHSTEIN 2005) lässt sich über dies hinaus der mit der Eddy Kovarianz Methode bestimmte Netto- CO_2 -Fluss auf statistischem Wege in seine Einzelkomponenten zerlegen: die Assimilation eines Pflanzenbestandes (gross primary productivity, GPP) und die Ökosystematmung (ecosystem respiration, R_{eco}). Auf diese Weise lassen sich die Pfade des Kohlenstoffs nun differenziert analysieren und separate Kohlenstoffbilanzen erstellen.

In Abbildung 9a und 9b werden beispielhaft die aus dem erläuterten Bearbeitungsschema hervorgegangenen Flüsse der Assimilation (GPP) und Ökosystematmung (R_{eco}) in Form von monatlichen Bilanzen sowie als Gesamtbilanz über den kompletten Anbauzeitraum von Winterweizen im Anbaujahr 2007-2008 dargestellt. Die Angaben beziehen sich hier auf die Menge Kohlenstoff, die bei den Prozessen ausgetauscht wird. Die Vorzeichen werden entsprechend der mikrometeorologischen Konvention verwendet, d.h. Flüsse die von der Atmosphäre zur Erdoberfläche gerichtet sind gelten als negativ und umgekehrt.

In Abbildung 9a ist deutlich der strahlungsabhängige Tagesgang des assimilatorischen Flusses zu erkennen mit einem Maximum um die Mittagszeit bei Sonnenhöchststand. In der Nacht ist erwartungsgemäß keine Kohlenstoffaufnahme zu beobachten. Des Weiteren lässt sich aus der Abbildung entnehmen, dass eine verstärkte Kohlenstoffaufnahme erst im Februar begonnen hat. In den Monaten Mai und Juni sind die höchsten Assimilationsraten gemessen worden mit annähernd $1,4 \text{ gC m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Bereits im Juli nimmt die Assimilationsrate

wieder stark ab. Im Erntemonat August ist die Assimilation fast vollständig zum Erliegen gekommen.

Abbildung 9b zeigt den mittleren täglichen Verlauf der Ökosystematmung (R_{eco}). Hier ist ein deutlicher temperaturabhängiger Tagesverlauf zu erkennen. Die höchsten Atmungsraten sind dabei am Nachmittag zu beobachten und fallen mit den Tageshöchstwerten der Luft- und Bodentemperatur zusammen. Die Temperaturabhängigkeit zeigt sich auch im jahreszeitlichen Verlauf. Die ersten höheren Atmungsraten treten im April auf. Maximale Atmungsraten von knapp $0.3 \text{ g C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ werden im Juni erreicht. Auch im Juli und August werden noch hohe Atmungsraten erreicht, während dem gegenüber die Assimilationsraten schon stark rückläufig sind. Das längere Anhalten der Ökosystematmung ist auf die weiterhin hohen Temperaturen in den Sommermonaten zurückzuführen.

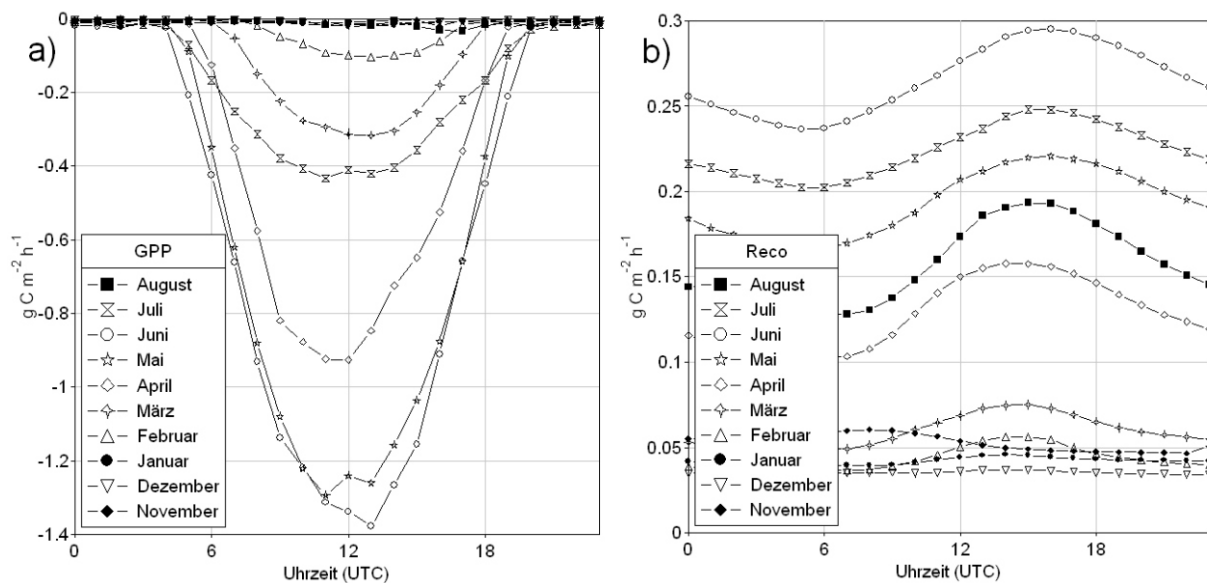


Abb. 9: Mittlerer täglicher Verlauf der a) Brutto-Primärproduktion (GPP) und b) Ökosystematmung (Reco) eines Winterweizenfelds separat für die Monate November 2007 bis August 2008, d.h. für den Zeitraum zwischen Saat und Ernte des Winterweizens

In der Abbildung 10 ist der zeitliche Verlauf des täglichen Netto-Kohlenstoff-Flusses, der Brutto-Primärproduktion und der Ökosystematmung über den gesamten Zeitraum zwischen Saat und Ernte des Winterweizens dargestellt. Es zeigt sich das in den Wintermonaten bei generell kleinen Flüssen die Ökosystematmung den Kohlenstoffaustausch dominiert. Erst ab Mitte Februar und deutlicher ab Mitte März erfolgt der Hauptumsatz an Kohlenstoff über die Assimilation des Winterweizenbestandes. Auch die Ökosystematmung steigt deutlich an, wobei immer wieder Kälteeinbrüche für kurzzeitig niedrigere Atmungsraten sorgen. Die maximalen Umsatzraten für Assimilation und Atmung liegen Anfang Juni bei $18 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ für die Assimilation und bei $8 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ für die Ökosystematmung. Etwa im letzten Julidrittel kommt die Assimilation zum Erliegen und die Ökosystematmung bestimmt wieder den Kohlenstoffaustausch. Anders ausgedrückt, das Winterweizenfeld wandelt sich von einer Kohlenstoffsénke in eine Kohlenstoffquelle.

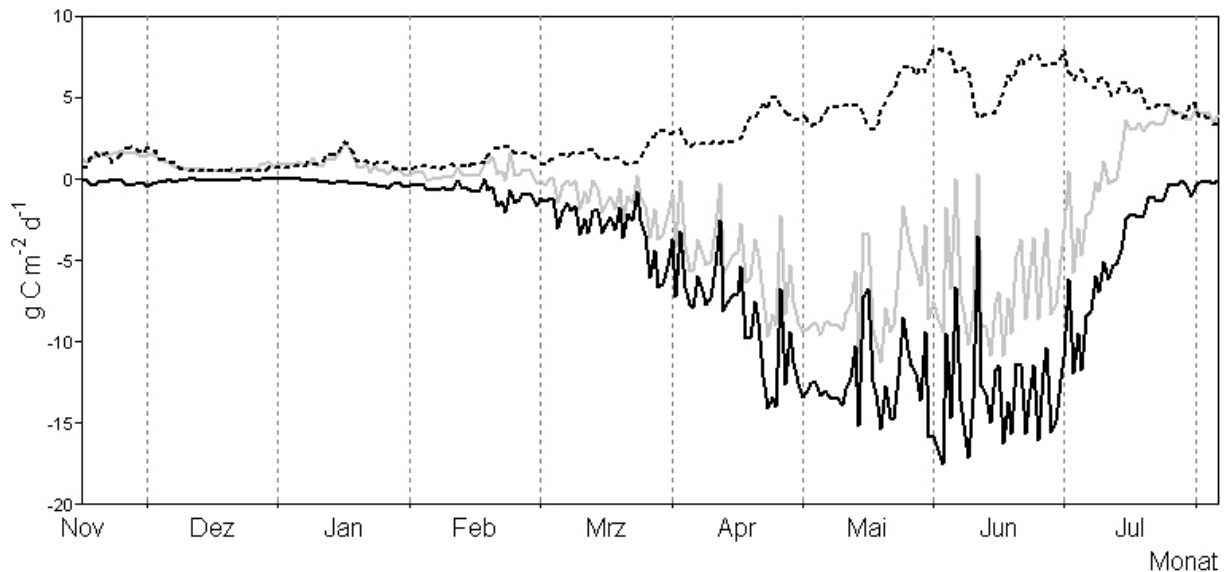


Abb. 10: Zeitlicher Verlauf des täglichen Netto-Kohlenstoff-Flusses (graue Linie), der Brutto-Primärproduktion (schwarze Linie) und der Ökosystematmung (gestrichelte Linie) über den Zeitraum zwischen Saat und Ernte des Winterweizens für die Zeit von November 2007 bis August 2008

Die umfangreichen Messungen auf dem Untersuchungsfeld in Selhausen bieten für die anstehende Projektphase optimale Voraussetzungen für eine detaillierte Validierung des Pflanzenwachstumsmodells. Die an der Eddy Kovarianz Station gemessenen meteorologischen und bodenspezifischen Parameter werden dabei als Modellantrieb dienen. Die in Messkampagnen erfassten Bodenkennwerte werden ebenfalls als Eingabegrößen verwendet. Die Ergebnisse aus den Pflanzenmessungen können für die Interpretation der Eddy Kovarianz Flüsse und zum Vergleich mit dem modellierten Pflanzenwachstum verwendet werden.

3. Zusammenfassung und Ausblick

Die Arbeiten im Berichtszeitraum haben die Anwendbarkeit des Modellansatzes zur Modellierung des Pflanzenwachstums und der Stickstoffflüsse unter Global Change Bedingungen belegt. Die Modellergebnisse zeigen eine deutliche Reaktion des Pflanzenwachstums insbesondere von C3 Pflanzen auf die geänderten Wachstumsbedingungen. Die Wassernutzungseffizienz der C3 Pflanzen steigt deutlich an. Das bedeutet bei etwa gleichbleibendem Wasserverbrauch eine höhere Biomasseproduktion, die pflanzenspezifisch allerdings unterschiedlich ausfällt. Die höheren Temperaturen führen zu einer höheren Abbaurates organischer gebundener Stickstoffs im Boden und aufgrund dieser höheren Mineralisationsrate steigt bei dem angenommenen gleichbleibenden Düngeregime der Stickstoffauftrag. Der Vergleich der Modellergebnisse für die aktuelle Klimasituation mit Flussmessungen, als auch mit Biomassemessungen und Stickstoffmessungen unterschiedlicher räumlicher Aggregation von der Feld bis zur Regionalskala belegt die Reaktivität des Modellansatzes hinsichtlich von Effekten des globalen Klimawandels und Änderungen im Landnutzungsmanagement. Unterschiede zwischen den auf der Feldskala modellier- und validierbaren Prozessen und den auf dieser Skala validierten landwirtschaftlichen Erträgen der verschiedenen Nutzungen und der für die agrarökonomische Modellierung relevanten Daten der Agrarstatistik werden mit empirisch bestimmten Skalenübergangsfaktoren kompensiert.

Die Arbeit der nächsten Monate widmet sich der Modellierung der Biomasseproduktion, Transpiration und des Stickstoffumsatzes unter Bedingungen des Globalen Wandels und der Untersuchung der Wechselwirkung zwischen Landnutzungsakteuren und dem Umweltsystem hinsichtlich der o.g. Flüsse. Die etablierten und getesteten Schnittstellen zwischen *Biological* bzw. *SNT* und dem Akteursmodell *Farming* bieten die Grundlage zur Analyse und Bewer-

tung von Anpassungsstrategien und Maßnahmen. Wir werden uns dabei insbesondere der Wirkung geänderter Anbaumaßnahmen sowie einer geänderten Landnutzung auf die Kohlenstoff-, Stickstoff- und Wasserflüsse widmen. Diese Untersuchungen werden aus Gründen der Optimierung der Rechenzeit auf 3 bis 4 unterschiedlichen Landkreisen durchgeführt, die verschiedene Landnutzungssysteme repräsentieren. Das Grünland dominierte Landnutzungssystem wird durch den Landkreis Ostallgäu, das durch Ackerbau dominierte System wird durch den Landkreis Dingolfing repräsentiert, der Landkreis Landberg repräsentiert mit aktuell 26% Ackerfläche und 24% Grünlandfläche eine Übergangszone. Zusätzlich soll der Landkreis Günzburg aufgrund seiner besonders guten Datengrundlage modelliert werden.

4. Literatur

- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK und DATENVERARBEITUNG (2005): Ernte- und Betriebsberichterstattung, Durchschnittliche Hektarerträge (dt) in 2004, München.
- BRIEMLE, G. und LEHLE, M. (1991): Einfluss von Bewirtschaftung und Standort auf den Stickstoffhaushalt von Moorböden. - Gemeinsamer Versuchsbericht der LVVG Aulendorf und der Universität Hohenheim, Aulendorf, 98 S.
- FOKEN, T. und WICHURA, B. (1996): Tools for quality assessment of surface-based flux measurements. *Agricultural and Forest Meteorology* 78, S. 83-105.
- JACOB, D., GÖTTEL, H., KOTLARSKI, S., LORENZ, P. und SIECK, K. (2008): REMO-UBA: Simulationsläufe mit dem regionalen Klimamodell REMO (MPI-Meteorologie) im Auftrag des Umweltbundesamtes Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland - Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. In: UBA Research Report 204 41 138, S. 154.
- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (2000/01): Taschenbuch Landwirtschaft 2000/01. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, 279 S.
- LENZ, V.I.S. (2007): A process-based crop growth model for assessing Global Change effects on biomass production and water demand - A component of the integrative Global Change decision support system DANUBIA - . Dissertation, University of Cologne, 180 S.
- LfU (Bayerisches Landesamt für Umwelt) (Hrsg.) (2008): Nitratbericht Bayern. Berichtsjahre 2000-2004. LfU, Augsburg, 19 S.
- MOORE, C.J. (1986): Frequency-Response Corrections for Eddy-Correlation Systems. *Boundary-Layer Meteorology* 37, S. 17-35.
- NEFTEL, A., SPIRIG, C. und AMMANN, C. (2008): Application and test of a simple tool for operational footprint evaluations. *Environmental Pollution* 152, S. 644-652.
- REICHSTEIN, M., FALGE, E., BALDOCCHI, D., PAPALE, D., AUBINET, M., BERBIGIER, P., BERNHOFER, C., BUCHMANN, N., GILMANOV, T., GRANIER, A., GRUNWALD, T., HAVRANKOVA, K., ILVESNIEMI, H., JANOUS, D., KNOHL, A., LAURILA, T., LOHILA, A., LOUSTAU, D., MATTEUCCI, G., MEYERS, T., MIGLIETTA, F., OURCIVAL, J.M., PUMPANEN, J., RAMBAL, S., ROTENBERG, E., SANZ, M., TENHUNEN, J., SEUFERT, G., VACCARI, F., VESALA, T., YAKIR D. und VALENTINI, R. (2005): On the separation of net ecosystem exchange into assimilation and ecosystem respiration: review and improved algorithm. *Global Change Biology* 11, S. 1424-1439.
- SCHOTANUS, P., NIEUWSTADT, F.T.M und. DEBRUIN, H.A.R (1983): Temperature-Measurement with A Sonic Anemometer and Its Application to Heat and Moisture Fluxes. *Boundary-Layer Meteorology* 26, 81-93.

- STATISTISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (2005): Hektarerträge der Feldfrüchte von 1970 bis 2004, Stuttgart.
- WEBB, E.K., PEARMAN, G.I. und LEUNING, R. (1980): Correction of Flux Measurements for Density Effects Due to Heat and Water-Vapor Transfer. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 106, S. 85-100.
- WILCZAK, J.M., S.P. ONCLEY und STAGE, S.A. (2001): Sonic anemometer tilt correction algorithms. *Boundary-Layer Meteorology* 99, S. 127-150.
- YIN, X. und VAN LAAR, H.H. (2005): Crop systems dynamics: An ecophysiological model of genotype-by-environment interactions (GECROS). Wageningen, Wageningen Academic Publishers.

Sozioökonomische Analyse und Modellierung von Wassernutzung und Landnutzung durch Landwirtschaft

Leiter: Prof. Dr. Stephan Dabbert
 Ausführende Stelle: Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre (410A),
 Universität Hohenheim, Schloss Osthof-Süd, 70593 Stuttgart

1. Organisatorisches

1.1 Stellenbesetzung

Zur Erledigung der Arbeiten waren im Berichtszeitraum folgende Stellen besetzt:

- Dr. Tatjana Krimly: Projektverwaltung, *DeepFarming* Konzept, (5/2008- 4/2009)
- Dipl. Ing. agr. Josef Apfelbeck: Akteur-Modellierung, Ökonomische Modellierung (5/2008-04/2009)
- M.Sc. Marco Huigen: Programmierung und Implementierung *DeepFarming* Konzept (5/2008-4/2009)
- M.Sc. Alebel Weldesilassie: Auswertung und Analyse der Testläufe, Datenbank (10/2008-12/2008)
- M.Sc. Tatjana Schulz: Auswertung und Analyse der Testläufe, Datenbank (1/2009-2/2009)
- M.Sc. Christian Eichert: Auswertung und Analyse der Testläufe, Datenbank (3/2009-4/2009)

1.2 Anschaffungen

Es wurde Software (GAMS-Lizenz) für das regionale Agrarsektormodell beschafft.

1.3 Veröffentlichungen, Vorträge

1.3.1 Vorträge, Konferenzen

- 26.-29.08.2008 Management decisions on farm-level and their link to weather requirements: a case study for the upper Danube river basin. Poster presentation on the XIIth Congress of the European Association of Agricultural Economists (EAAE), Gent, Belgium (Apfelbeck, J., M. Huigen, T. Krimly and Calberto Sánchez, G.).
- 11.-12.09.2008 Teilnahme im Plenum 6 "Daseinsvorsorge in Flussgebieten". 3. Flussgebietskonferenz der Bundesregierung, Berlin.
- 24.-26.09.2008 Bewirtschaftungsentscheidungen auf einzelbetrieblicher Ebene und deren Abhängigkeit von Wettereinflüssen: Ein Fallbeispiel aus dem oberen Donaeinzugsgebiet. Posterpräsentation auf der 48. Jahrestagung der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus e.V., Bonn (Apfelbeck, J., M. Huigen, T. Krimly, S. Dabbert und Calberto Sánchez, G.).

- 02.-03.10.2008 Vortrag und Posterpräsentation auf der German-US Joint Conference „Tough Choices: Land Use Under a Changing Climate“ vom 2-3 Oktober 2008 in Berlin.
- 11.02.2008 Vortrag zum Teilprojekt Agrarökonomie am Landesamt für Umwelt (LfU) in Hof.

1.3.2 Teilnahme an Projektinternen Treffen

- 02.-03.05.2008 Klausurtagung des Projekts in Herrsching
- 06.06.2008 Stakeholdertreffen „Landwirtschaft“ in München
- 15.07.2008 Projektleitertreffen in München
- 29.07.2008 Stakeholdertreffen „Wasserwirtschaft“ in Stuttgart
- 30.09-01.10.2008 Klausurtagung des Projekts in Hofgeismar
- 30.01.2009 Stakeholderworkshop „Landwirtschaft/Wasserwirtschaft“ in München
- 23.-26.03.2009 Klausurtagung des Projekts in Wildbad Kreuth

1.3.3 Veröffentlichungen

- HENSELER, M., WIRSIG, A., KRIMLY, T. und DABBERT, S. (2008): The influence of climate change, technological progress and political change on agricultural land use: Calculated scenarios for the Upper Danube Catchment area. *German Journal of Agricultural Economics (Agrarwirtschaft)* 57 (2008), Heft3/4, S. 207-219.
- HENSELER, M., WIRSIG, A., HERRMANN, S., KRIMLY, T. und DABBERT, S. (2009): Modeling the impact of global change on regional agricultural land use through an activity based non-linear programming approach. *Agricultural Systems*, 2009, doi: 10.1016/j.agsy.2008.12.002.
- KRIMLY, T., APFELBECK, J., HUIGEN, M. und DABBERT, S. (2008): Das DeepActor-Modell *DeepFarming* - TP Agrarökonomie. In: GLOWA-Danube Projekt, Universität München (LMU) (Hrsg.): *Global Change Atlas, Einzugsgebiet Obere Donau*. GLOWA-Danube Projekt, Universität München.
- LIPPERT, C., KRIMLY, T. und AURBACHER, J. (2008): A Ricardian Analysis of the Impact of Climate Change on Agriculture in Germany. *Journal of Climatic Change*, (submitted).
- KUHN, S., BARTHEL, R., JANISCH, S., ERNST, A., KRIMLY, T., SAX, M. und ZIMMER, M. (2008): DeepActor-Modelle in DANUBIA. In: GLOWA-Danube Projekt, Universität München (LMU) (Hrsg.): *Global Change Atlas, Einzugsgebiet Obere Donau*. GLOWA-Danube Projekt, Universität München.
- WIRSIG, A., HENSELER, M., KRIMLY, T. und DABBERT, S. (2008): Auswirkungen des globalen Wandels auf die landwirtschaftliche Produktion im Donaeinzugsgebiet - Szenarienrechnungen mit einem Regionalmodell. *Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus e.V.*, Band 43, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, S. 597-598.

1.3.4 Laufende Doktorarbeiten

- Alexander Wirsig Impacts of Global Change on Regional Agricultural Land Use in the Upper Danube catchment. Universität Hohenheim (laufend).

- Josef Apfelbeck Simulating the effects of climatic change and agro-political change on district and farm-level decision making in the Danube catchment area. (laufend).

2. **GLOWA Atlas**

Zur Erstellung des Glossars für den GLOWA-Danube Atlas wurden wesentliche Fachbegriffe, die in den Beiträgen des agrarökonomischen Teilprojektes verwendet werden näher erklärt. Zudem wurden Beiträge anderer Teilprojekte reviewt und zu erklärende Fachbegriffe identifiziert.

3. ***Stakeholder***

Vertreter des Teilprojekts nahmen an den *Stakeholdertreffen* und dem *Stakeholder-Workshop* in den Bereichen Landwirtschaft /Wasserwirtschaft teil. Hierbei wurden die Funktionsweise des Modells *DeepFarming* sowie erste Ergebnisse vorgestellt und mit den *Stakeholdern* über mögliche Szenarien sowie aus ihrer Sicht interessante Fragestellungen diskutiert. Auch an der LfU (Landesamt für Umwelt) wurde der agrarökonomische Ansatz vorgestellt und mit den anwesenden Vertretern der unterschiedlichen Fachbereiche der Behörde diskutiert.

4. **Szenarien**

Für das von den Akteure modellierenden Arbeitsgruppen, dem Zentralprojekt, der LfU und der Informatik erstellte interne Arbeitspapier „GLOWA-Danube Szenarien“, das gesellschaftliche Szenarien und deren Ausprägung für die unterschiedlichen Akteurmodelle im Projekt beschreibt, wurden Szenariobeschreibungen für die landwirtschaftlichen Akteure erstellt. Dies umfasst die Szenarien Baseline, Liberalisierung und Nachhaltigkeitsorientierung.

Da die Ausrichtung der Gemeinsamen Europäischen Agrarpolitik (GAP) ein wesentlicher Treiber für Veränderungen in der Landwirtschaft und damit der agrarischen Landnutzung ist und um die Konsequenzen der beiden gesellschaftlichen Zukunftsszenarien für die agrarpolitische Ausrichtung verständlich zu machen, soll im Folgenden zunächst eine kurze Überblick über die wesentlichen Elemente und Entwicklungen in der GAP seit Anfang der 90iger Jahre gegeben werden. Mit Einführung der Agrarreform 1992 wurden die Stützpreise für pflanzliche Produkte und Rindfleisch auf annähernd Weltmarktniveau gesenkt, bei gleichzeitiger Einführung von an die Produktion gekoppelten Flächen- bzw. Tierprämien zum Ausgleich der Erlöseinbußen (1. Säule der GAP). Die Flächenprämien wurden hierbei an eine quasi-obligatorische Flächenstilllegung gebunden. Neben den marktbezogenen Maßnahmen wurde im Rahmen der 2. Säule der GAP erstmals die finanzielle Honorierung freiwilliger Agrarumweltmaßnahmen angeboten. Die Folgereform Agenda 2000 führt diesen Kurs durch eine weitere Absenkung der Stützpreise verbunden mit einer Erhöhung der Prämienzahlungen fort. Der Stilllegungssatz wurde etwas abgesenkt.

Mit der aktuell geltenden GAP Reform 2003, die bis zum Jahr 2013 geregelt ist, wurden gegenüber den früheren Reformen deutliche Änderungen vorgenommen. Diese bestehen im Wesentlichen in der Entkopplung der Prämienzahlungen von der Produktion und der Einführung von obligatorischen Umweltmaßnahmen (Cross Compliance), deren Einhaltung für den Erhalt der entkoppelten Flächenprämien verpflichtend ist. Generell lassen die aufgezeigten Entwicklungen der GAP eine deutliche Tendenz zur Liberalisierung erkennen.

Farming in Szenario 1 - Baseline:

Das Baseline-Szenario in *DeepFarming* beschreibt die aktuell vorhandenen Verhältnisse der Landwirtschaft im Einzugsgebiet. Insgesamt spiegelt das Baseline Szenario die zum heutigen Zeitpunkt bekannten agrarpolitischen Vorgaben und Bedingungen in der Landwirtschaft wider. Die letzte Agrarreform von 2003, trat 2005 in Kraft und erreicht in 2013 ihre Endstufe. Da auf der Grundlage des Health Check noch keine definitiven Vorgaben für die Zeit nach 2013 getroffen wurden, werden die geltenden agrarpolitischen Vorgaben, die in 2013 ihre Endstufe erreichen, im Baseline-Szenario in der Zukunft beibehalten.

Farming in Szenario 2 - Liberalisierung:

In Szenario 2, in dem der Gedanke des freien Marktes vorherrscht, führt der weitgehende Rückzug des Staates aus seiner Verantwortung dazu, dass sich die landwirtschaftlichen Unternehmen ohne staatliche Unterstützung am Weltmarkt zu Recht finden müssen. Staatliche Interventionen werden ausgesetzt und die damit verbundenen Erlöseinbußen werden nicht mehr über Prämienzahlungen ausgeglichen. Aspekte des Umweltschutzes sollen sich allein über Marktaktivitäten regeln, was zur Folge hat, dass sowohl die obligatorischen Umweltleistungen als auch die finanzielle Honorierung freiwilliger Agrarumweltmaßnahmen sowie die obligatorische Flächenstilllegung abgeschafft werden (Tab. 1). Von politischer Seite wird also nach Ablauf der Agrarreform 2003 im Jahr 2013 eine vollständige Liberalisierung eingeleitet. Dies wird zu Einkommenseinbußen in der Landwirtschaft und zu Änderungen der Landnutzung führen, die regional unterschiedlich stark ausgeprägt sein werden. Eine Bewässerung der agrarisch genutzten Flächen wird solange durchgeführt, bis eine natürliche Beschränkung (Wassermangel) auftritt.

Farming in Szenario 3 - Nachhaltigkeitsorientierung

Im nachhaltigkeitsorientierten Szenario 3 ist es ein Anliegen des Staates das Einkommen der landwirtschaftlichen Betriebe zu sichern, die Kulturlandschaft zu erhalten und umweltgerechte Produktionsverfahren zu unterstützen. Er übernimmt sowohl soziale Verantwortung als auch Verantwortung für die Umwelt. Ziel ist ein qualitatives und nicht wie in Szenario 2 ein rein quantitatives Wachstum. Insgesamt bedeutet dies für den Agrarsektor, dass der bisherige agrarpolitische Kurs vom Grundsatz her beibehalten wird. Die Flächenprämien werden moderat gekürzt, die finanzielle Honorierung der freiwilligen Agrarumweltleistungen angehoben und die Cross Compliance bleibt erhalten (Tab. 1). Die obligatorische Flächenstilllegung wird auch in diesem Szenario abgeschafft, da ihre Aussetzung bereits in der aktuell geführten Health Check Diskussion befürwortet wird. Es ist davon auszugehen, dass diese Entwicklungen zu regional unterschiedlichen Entwicklungen im Bereich des Einkommens als auch der agrarischen Landnutzung führen werden. Die Bewässerung der agrarwirtschaftlich genutzten Flächen muss bereits vor Eintritt einer natürlichen Beschränkung eingestellt werden.

Tab. 1: Liste der veränderten Faktoren im Modell *DeepFarming*Model in den Szenarien „Liberalisierung“ und „Nachhaltigkeitsorientierung“

Faktor	Ausprägung in Story 2 (Liberalisierung)	Ausprägung in Story 3 (Nachhaltigkeitsorientierung)
Flächenprämie (1. Säule)	abgeschafft	Moderate Kürzung (50%)
Prämien Agrarumwelt (2. Säule)	abgeschafft	Nimmt zu (20%)
Cross-Compliance	abgeschafft	Weiter so
Obligatorische Flächens-tilllegung	abgeschafft	abgeschafft
Produktpreise	Noch unklar	Noch unklar
Bewässerung	Bewässerung bis zur natürlichen Be-schränkung	Bewässerung wird eingestellt deutlich vor natürlicher Beschränkung

5. Validierung des regionalen Agrarsektormodells ACRE

Da sich die agrarpolitische Bedingungen seit dem Jahr 1995, auf das das Agrarsektormodell ACRE kalibriert wurde, deutlich geändert haben, wurde das Modell für das Jahr 2007 validiert. Hierbei wurde neben den Änderungen aufgrund der Agrarreform von 2003 auch das Preis- sowie das Ertragsniveau der einzelnen Kulturen im Jahr 2007 berücksichtigt. Die relativen Anteile der modellierten Landnutzungen an der LF wurden mit der in der Agrarstatistik für die einzelnen Landkreise ausgewiesenen Flächenanteile der einzelnen Landnutzungen in Bayern verglichen. Für den gesamten bayrischen Teil des Einzugsgebiets ergibt sich ein Bestimmtheitsmaß von $R^2=0.99$ (Abb. 1). Dieses zeigt, dass die modellierte Landnutzung sehr gut mit den Werten aus der Statistik übereinstimmt.

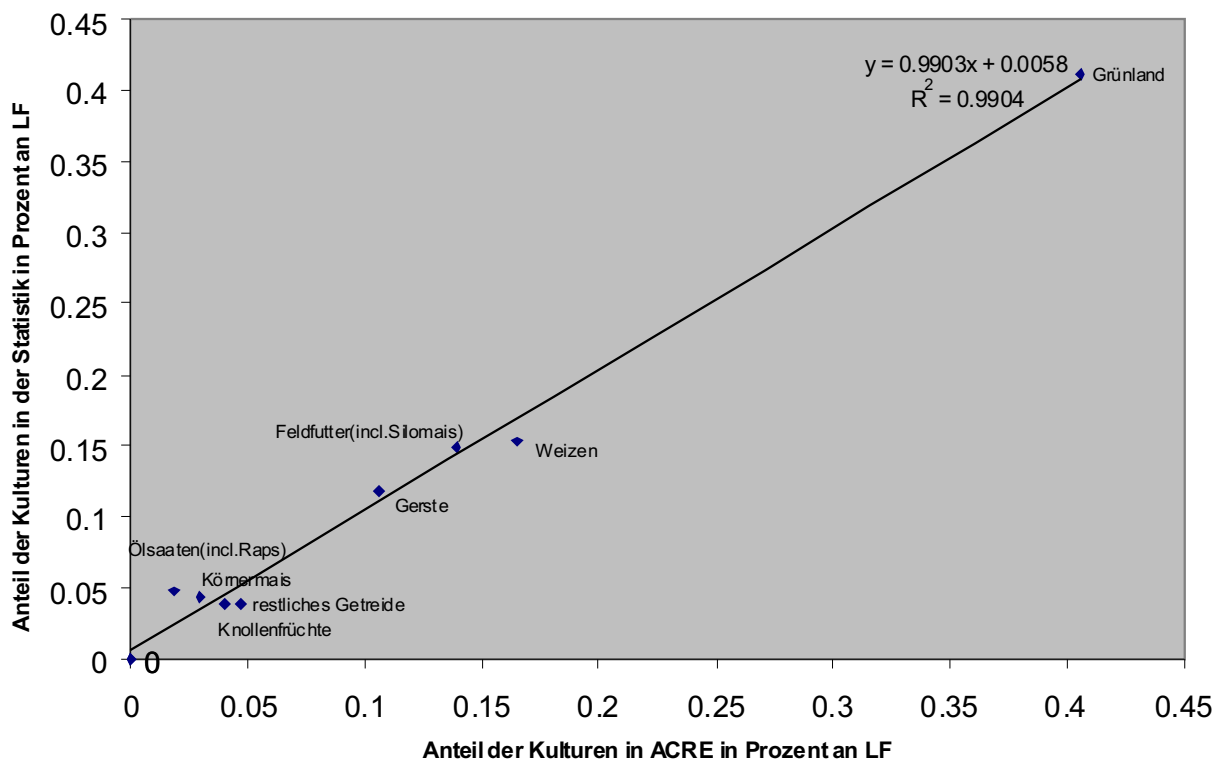


Abb. 1: Regressionsergebnisse: von ACRE kalkulierte Landnutzung für Bayern in 2007 verglichen mit den agrarstatistischen Aufzeichnungen

Auch die Analysen für die einzelnen Landkreise zeigen zufriedenstellende Ergebnisse, wobei hier nur die Anteile der einzelnen Ackerkulturen an der LF eines Landkreises einbezogen wurden. Die Landkreise, die hier näher betrachtet werden zeigt Tabelle 2. Insgesamt ist anzumerken, dass die Verwendung von relativen Werten dazu führt, dass es in Landkreisen mit einer geringen landwirtschaftlichen Nutzfläche bei gleicher absoluter Veränderung wie in einem Landkreis mit einer größeren landwirtschaftlichen Nutzfläche, zu einer größeren relativen Veränderung kommt. So handelt es sich beispielsweise bei München um einen Landkreis mit einer verhältnismäßig geringen Ausstattung an landwirtschaftlicher Nutzfläche. Wie sich im Folgenden noch zeigt, weisen solche Landkreise in der Regel einen schwächeren Zusammenhang auf (Abb. 2) wie Landkreise mit einer größeren landwirtschaftlichen Nutzfläche (z.B. Donauries, Abb. 3).

Tab. 2: Anteile von Ackerfläche und Grünland an der LF in den betrachteten Landkreisen

Landkreis	Ackerland % an LF	Grünland % an LF
München	82,8	17,2
Donauries	77,7	22,3
Roth	71,7	28,3
Weißenburg-Gunzenhausen	68,1	31,9
Günzburg	61,0	39,0
Oberallgäu	0,1	99,9

In der Tendenz ist in Landkreisen mit einem sehr hohen Ackerlandanteil (über 70%) und vielen Ackerbaubetrieben (z.B. München, Roth) ein schwächeres Bestimmtheitsmaß anzutreffen (Abb. 2 und 4). Dies hängt mit einer höheren Flexibilität bei den Anbauentscheidungen in Ackerbaubetrieben zusammen, da sie nicht an die Futterproduktion für die Tierhaltung gebunden sind.

In Landkreisen mit einem hohen Anteil an Viehhaltenden Betrieben nimmt Ackerfutter, Gerste oder allgemein Getreide einen hohen Flächenanteil ein. Diese Betriebe sind wiederum weniger flexibel in ihrer Anbauplanung, da sie die Futtergrundlage für ihre Tiere gewährleisten müssen. Solche Landkreise weisen sehr hohe Bestimmtheitsmaße auf (Günzburg, Weißenburg-Gunzenhausen, Donauries; Abb. 3, 5, 6).

In überwiegend von Grünland geprägten Landkreisen wie z.B. dem Oberallgäu, die über eine sehr geringe Ausstattung an Ackerflächen verfügen, sind die Produktionsalternativen auf den wenigen Ackerflächen sehr begrenzt und dadurch gibt es kaum Verschiebungen zwischen den einzelnen Kulturen auf der Ackerfläche (Abb. 7).

Landkreis München

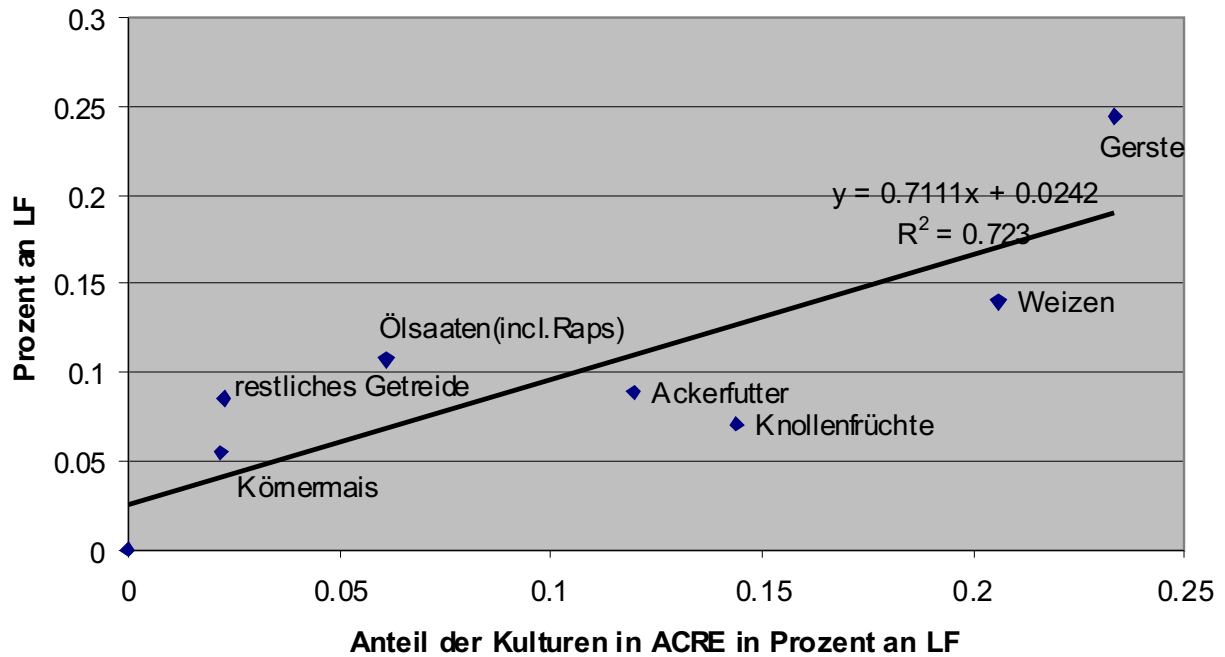


Abb. 2: Regressionsergebnisse: von ACRE kalkulierte Ackernutzung für den Landkreis München in 2007 verglichen mit den agrarstatistischen Aufzeichnungen

Landkreis Donau-Ries

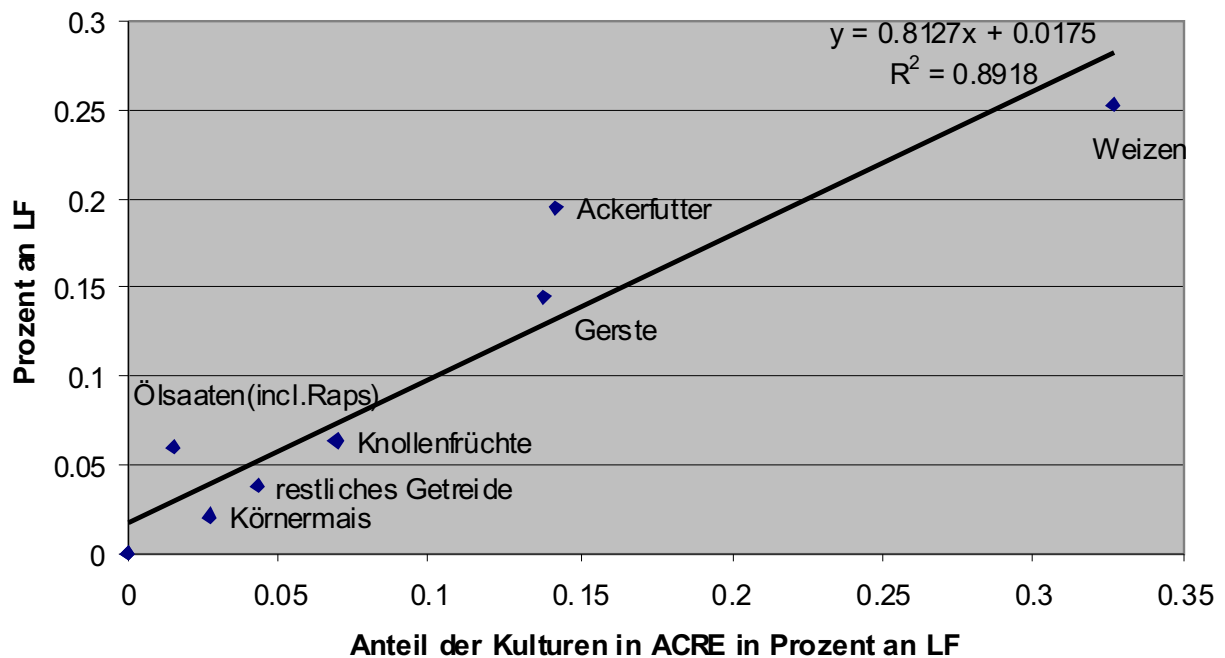


Abb. 3: Regressionsergebnisse: von ACRE kalkulierte Ackernutzung für den Landkreis Donau-Ries in 2007 verglichen mit den agrarstatistischen Aufzeichnungen

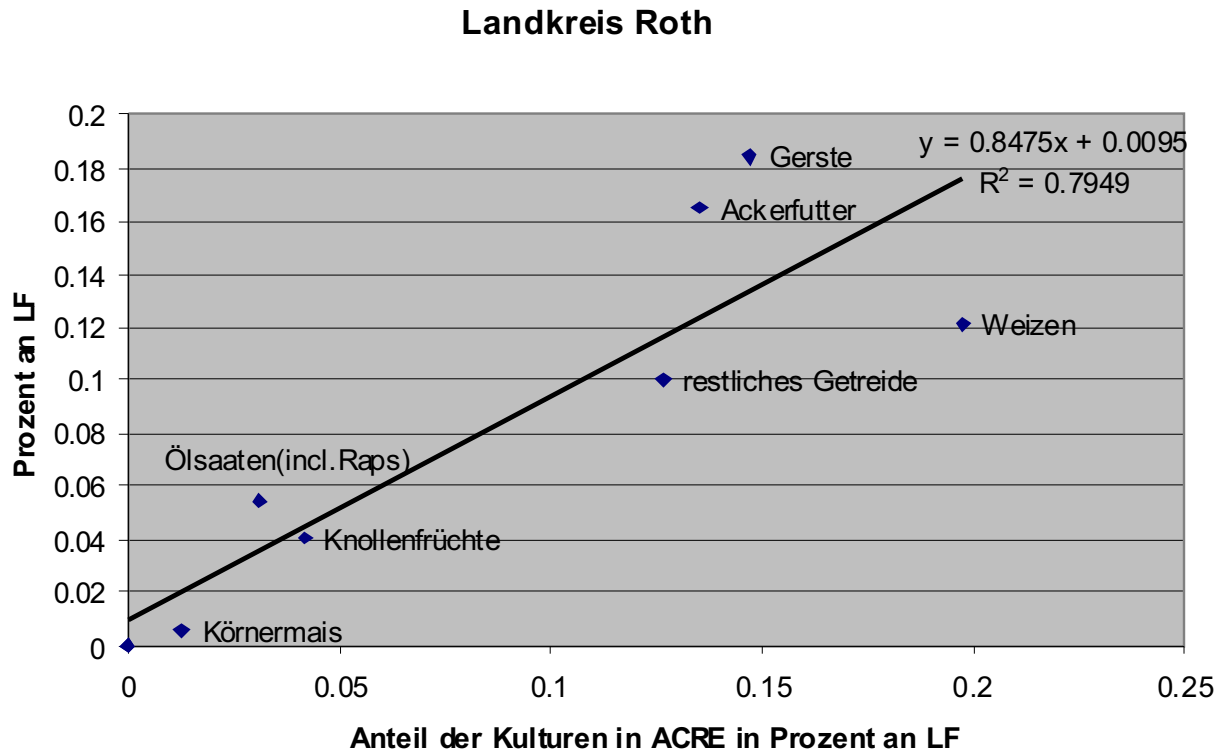


Abb. 4: Regressionsergebnisse: von ACRE kalkulierte Ackernutzung für den Landkreis Roth in 2007 verglichen mit den agrarstatistischen Aufzeichnungen

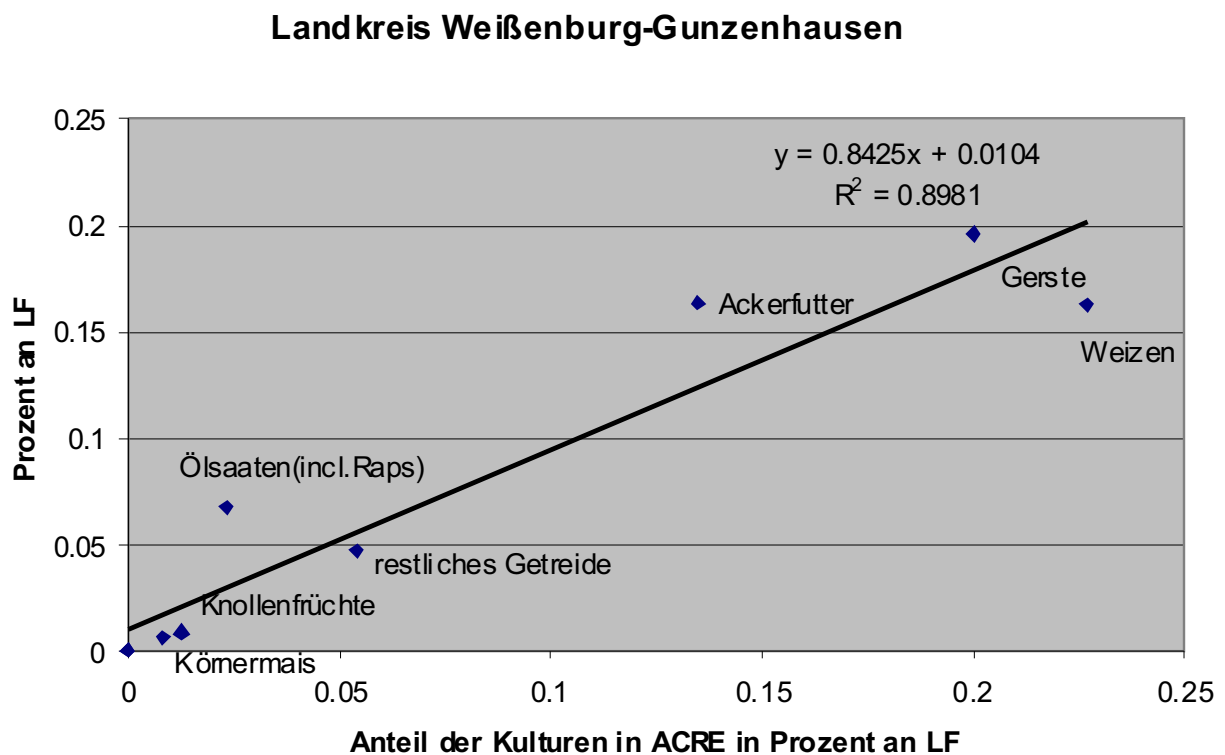


Abb. 5: Regressionsergebnisse: von ACRE kalkulierte Ackernutzung für den Landkreis Weißenburg-Gunzenhausen in 2007 verglichen mit den agrarstatistischen Aufzeichnungen

Landkreis Günzburg

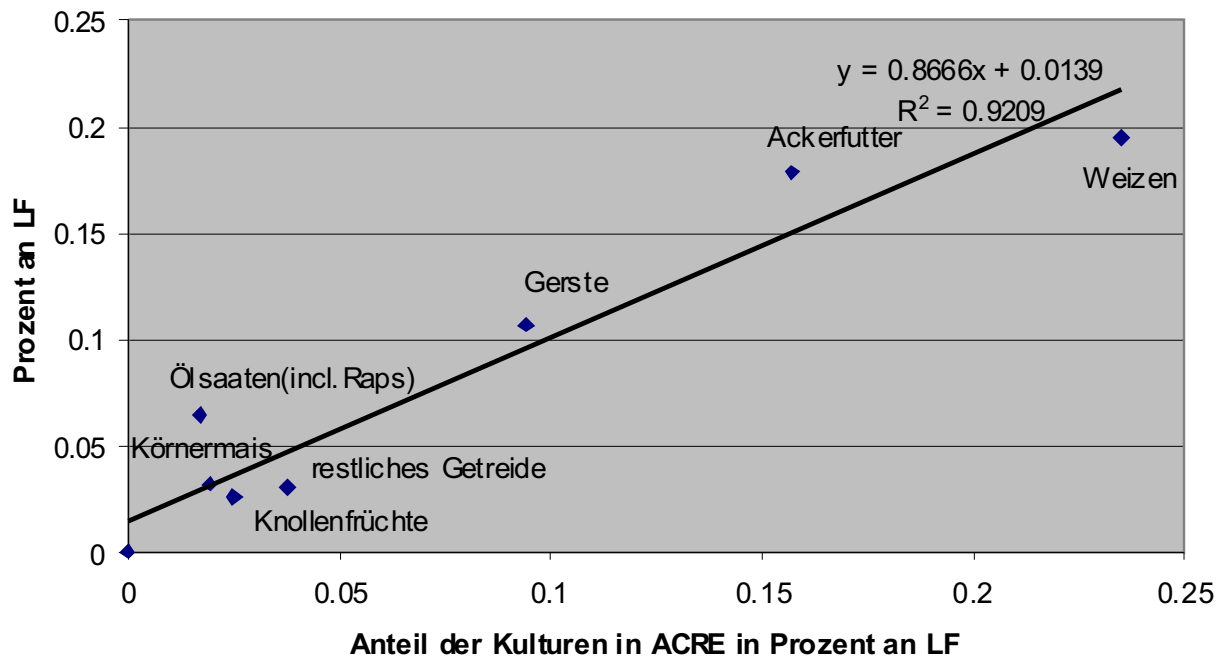


Abb. 6: Regressionsergebnisse: von ACRE kalkulierte Ackernutzung im Landkreis Günzburg in 2007 verglichen mit den agrarstatistischen Aufzeichnungen

Landkreis Oberallgäu

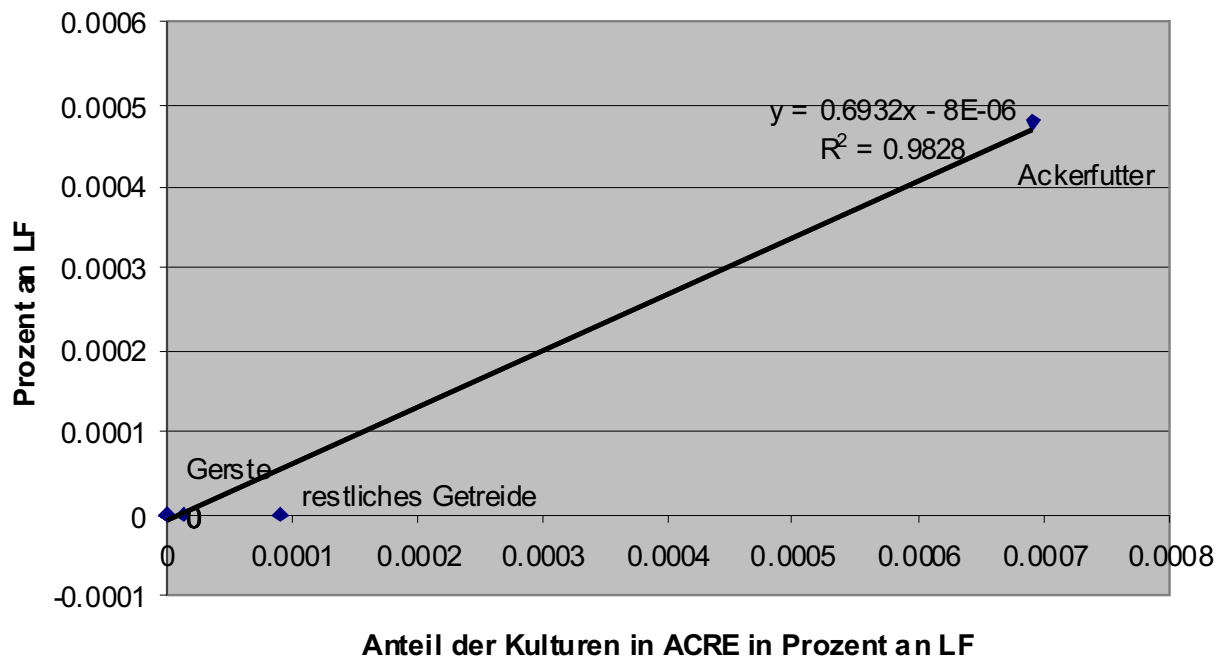


Abb. 7: Regressionsergebnisse: von ACRE kalkulierte Ackernutzung im Landkreis Günzburg in 2007 verglichen mit den agrarstatistischen Aufzeichnungen

6. Einbindung des Teilprojekts in das Gesamtvorhaben

Im Berichtszeitraum wurden umfangreiche technische und inhaltliche Testläufe zur Kopplung der Modelle SNT, *Biological*, PROMET und *DeepFarming* in DANUBIA Light 2.0 durchgeführt. Aufgrund der äußerst komplexen Abhängigkeiten und Interdependenzen insbesondere zwischen den Modellen *Biological* und *DeepFarming* gestalteten sich diese Arbeiten als sehr arbeitsaufwändig.

Aus technischer Sicht konnten alle Schwierigkeiten bei der Übertragung von Daten zwischen den *Interfaces* behoben werden (Tab. 3). Sehr langwierig gestaltete sich dieser Prozess bei dem *Interface getYield*, das die vom *Biological* modellierten Erträge an *DeepFarming* transferiert. Dies konnte jedoch nach mehreren umfangreichen Tests von der Arbeitsgruppe des Modells *Biological* gelöst werden.

Tab. 3: Technische und inhaltliche Funktion der *Interfaces* zwischen den Modellen *Biological*, PROMET, SNT und *DeepFarming*

Interface	Im/Export - Modell		
		Technisch	Inhalt
getAirTemperatureDailyMean	Import von Atmosphere (PROMET)	Grün	Grün
getDailySoilTempLay1	Import von Soil (PROMET)	Grün	Grün
getPrecipitationSumFourToEight	Import von Atmosphere (PROMET)	Grün	Grün
getSoilSaturationFlagCollection	Import von Soil (PROMET)	Grün	Grün
getFertNMinCollection	Export von Farming	Grün	Grün
getFertNOrgCollection	Export von Farming	Grün	Grün
getCuttingCollection	Export von Farming	Grün	Grün
getAboveGroundBiomassCollection	Import von Biological	Grün	Orange
getYield	Import von Biological	Grün	Orange
getCropStageCollection	Import von Biological	Grün	Orange

Grün: technisch funktionsfähig bzw. inhaltlich plausibel

Orange: technisch nicht funktionsfähig bzw. inhaltlich nicht plausibel

Von der inhaltlichen Seite her sind noch nicht alle Schwierigkeiten ausgeräumt (Tab. 3). Während die von *Biological* modellierten Erträge in ihrer Größenordnung für den überwiegenden Teil der Kulturen den in der Agrarstatistik ausgewiesenen Ertragswerten entsprechen, trifft dies für einige Kulturen noch nicht zu. Die größten Schwierigkeiten bestehen allerdings bei den Biomasseerträgen des Grünlands. Wie aus Abbildung 8 ersichtlich, fallen die Erträge im Verlauf von etwa 3 Jahren drastisch ab, bis die Erträge sich auf extrem niedrigem Niveau einpendeln. Dies hat natürlich enorme Auswirkungen auf das Farming Modell, da die wesentliche Futtergrundlage in der Rinderhaltung quasi entfällt und dadurch die Rinderhaltung enorm eingeschränkt würde, was zu unrealistischen Ergebnissen führt.

1202

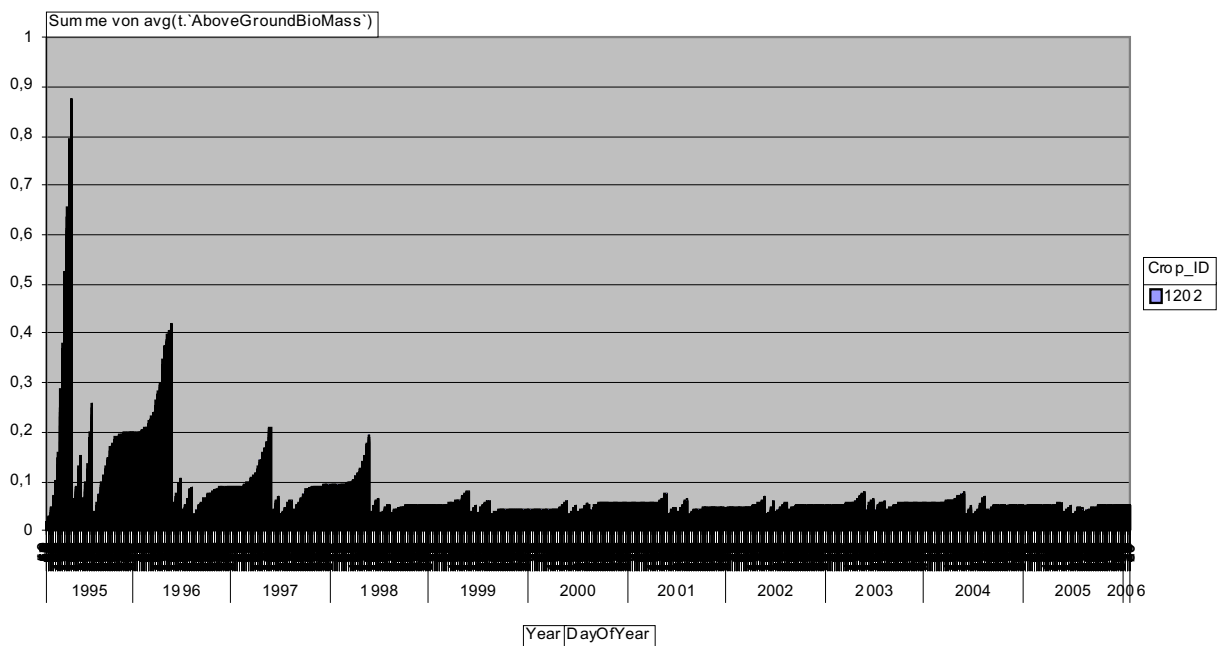


Abb. 8: Entwicklung der modellierten Biomasseerträge von intensiv genutztem Grünland (3 Schnitte) im Landkreis Günzburg von 1995-2005

7. Erste Szenarioergebnisse

Um eine erste Einschätzung zu erhalten, wie sich die von *Biological* unter sich ändernden klimatischen Bedingungen modellierten Erträge auf die regionale Landnutzung im Einzugsgebiet auswirken, wurden Szenarienrechnungen durchgeführt und analysiert.

7.1 Szenariogrundlagen

a) Annahmen zu den klimatischen Bedingungen:

Innerhalb der in GLOWA-Danube aufgestellten Klimaszenarien wurde für den allgemeinen Trend von Temperatur und Niederschlag als Basis das Emissionsszenario IPPC-A1B gewählt. Der Klimatrend 2 innerhalb des allgemeinen Trends entspricht Ergebnissen aus REMO-UBA, wobei REMO für das Einzugsgebiet der Oberen Donau eine Temperaturänderung von +4,5°C und eine Änderung des Winterniederschlags von +9,8% sowie des Sommerniederschlags von -26% prognostiziert. Die gewählte Klimavariante 1 entspricht dem durchschnittlichsten Temperaturanstieg von 2011 bis 2035.

Auf der Basis dieser klimatischen Bedingungen wurden vom Modell *Biological* die relativen Ertragsänderungen der einzelnen Kulturen in 2041-2046 gegenüber 1995-1999 bei konstantem pflanzenbaulichen Management berechnet, die als durchschnittliche relative Änderung (2041-2046) in das regionale Agrarsektormodell eingehen (Tab. 4). Der überwiegende Teil der Kulturen hat infolge der veränderten klimatischen Bedingungen Ertragszuwächse zu verzeichnen, im Besonderen Kartoffeln, Ackerfutter und extensiv genutztes Grünland. Deutliche Ertragseinbußen zeigen sich hingegen bei Mais.

Tab. 4: Veränderung der Durchschnittserträge in 2041-2046 gegenüber 1995-1999 im Durchschnitt über das Gesamtgebiet

Kultur/Landnutzung	Ertragsänderung in %	Kultur/Landnutzung	Ertragsänderung in %
Winterweizen	+ 15	Zuckerrübe	+ 11
Wintergerste	+ 24	Kartoffel	+ 40
Roggen	+ 12	Leguminosen	- 12
Hafer	+ 14	Sonderkulturen	- 13
Sommerweizen	+ 9	Silomais	- 24
Sommergerste	+ 11	Ackerfutter	+ 34
Körnermais	- 33	Intensives Grünland	+ 24
Raps	+ 22	Extensives Grünland	+ 67

Quelle: Ergebnisse des Modells *Biological*

b) Annahmen zur agrarpolitischen Ausrichtung:

Gerechnet wurden das Baseline-Szenario mit der Endstufe der CAP Reform 2003 sowie Szenario 1 Liberalisierung (s. Tab. 1). Für beide Szenarien wurde ein hohes Preisniveau angenommen (Durchschnitt aus den Jahren 2006 und 2007). Verglichen wurden diese beiden Szenarien mit dem Referenzszenario (Ausgangssituation), das auf durchschnittlichen Erträgen aus den Jahren 1995-1999 basiert und dem, wie auch dem Baseline-Szenario, die agrarpolitische Situation der Endstufe der CAP-Reform 2003 zugrunde liegt. Diese agrarpolitische Ausrichtung im Referenzszenario wurde gewählt, um beim Vergleich mit dem Baseline-Szenario die klimatischen Auswirkungen isoliert betrachten zu können.

Die relativen Änderungen des Einkommens und der Landnutzung im Baseline-Szenario gegenüber dem Referenzszenario sind also auf die klimatischen Änderungen in 2041-2046 zurückzuführen, während im Szenario Liberalisierung der zusätzliche Effekt einer veränderten Agrarpolitik dargestellt werden kann.

7.2 Ergebnisse

7.2.1 Gesamtes Einzugsgebiet

Bei Betrachtung des gesamten Einzugsgebietes zeigt sich, dass sich die Flächenanteile der einzelnen Kulturen an der LF (landwirtschaftlich genutzten Fläche) nur in geringem Maße verändern (Tabelle 5). Die deutlichsten Rückgänge sind bei den Futterpflanzen und beim intensiv genutzten Grünland zu sehen, während der Anteil an extensiv genutztem Grünland zunimmt. Im Szenario Liberalisierung steigt zudem der Anteil an nicht genutzten Flächen um ca. 4% gegenüber der Ausgangssituation.

Tab. 5: Flächenanteile der Kulturen an der LF in % im gesamten Einzugsgebiet

Kultur	Ausgangssituation	Baseline	Volle Liberalisierung
Weizen	11.59	12.81	11.74
Gerste	10.88	12.61	11.72
restliches Getreide	5.16	5.62	5.03
Körnermais	2.31	1.53	1.41
Futterpflanzen	12.66	10.00	9.60
Ölsaaten	1.33	1.80	1.03
Wurzel- und Knollenfrüchte	2.68	2.31	2.31
extensives Grünland	33.5	37.9	37.76
intensives Grünland	18.35	13.95	14.09
nicht genutzte Fläche	0.3	0.27	4.18

7.2.2 Ergebnisse auf Landkreisebene

Die regionale Betrachtung der Einkommensänderungen zeigt, dass die veränderten klimatischen Bedingungen im Baseline-Szenario im überwiegenden Teil der Landkreise zu einer Steigerung des Einkommens bzw. zu unwesentlichen Änderungen führen (Abb. 9). Nur einige wenige Landkreise haben Einkommenseinbußen zu verzeichnen. Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, dass einige Landkreise nur über einen sehr geringen Anteil an Ackerfläche verfügen und zum anderen darauf, dass die relativen Ertragsänderungen einzelner Landkreise z.T. deutlich geringer sind als der Durchschnitt im Gesamtgebiet. So haben beispielsweise die Landkreise Tirschenreuth und Cham im Norden des Einzugsgebietes im Durchschnitt über alle Kulturen deutliche Ertragseinbußen und verzeichnen dadurch auch größere Einkommenseinbußen. Zell am See ist ein österreichischer Landkreis, dessen LF hauptsächlich als extensives Grünland genutzt wird. Da in Zell am See der Ertrag für extensives Grünland deutlich zurückgeht, sind hohe Einkommenseinbußen die Folge. In Weilheim-Schongau im Südwesten des Einzugsgebietes kommt es bei den meisten Ackerkulturen zu Ertragseinbußen, was sich negativ auf den Gesamtdeckungsbeitrag in diesem Landkreis auswirkt.

Der Wegfall der Prämien im Szenario Liberalisierung führt hingegen zu deutlichen Rückgängen des Einkommens im deutschen Teil des Einzugsgebietes. Das Einkommen sinkt im überwiegenden Teil der Landkreise um mehr als 25%. Im österreichischen Teil hingegen hat die Liberalisierung kaum Einfluss. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Höhe der Prämien und ihr Anteil am Einkommen in Österreich aufgrund der unterschiedlichen nationalen Umsetzung der Prämienberechnung (Deutschland: Kombinationsmodell, Österreich: Betriebsmodell) deutlich geringer ist als in Deutschland.

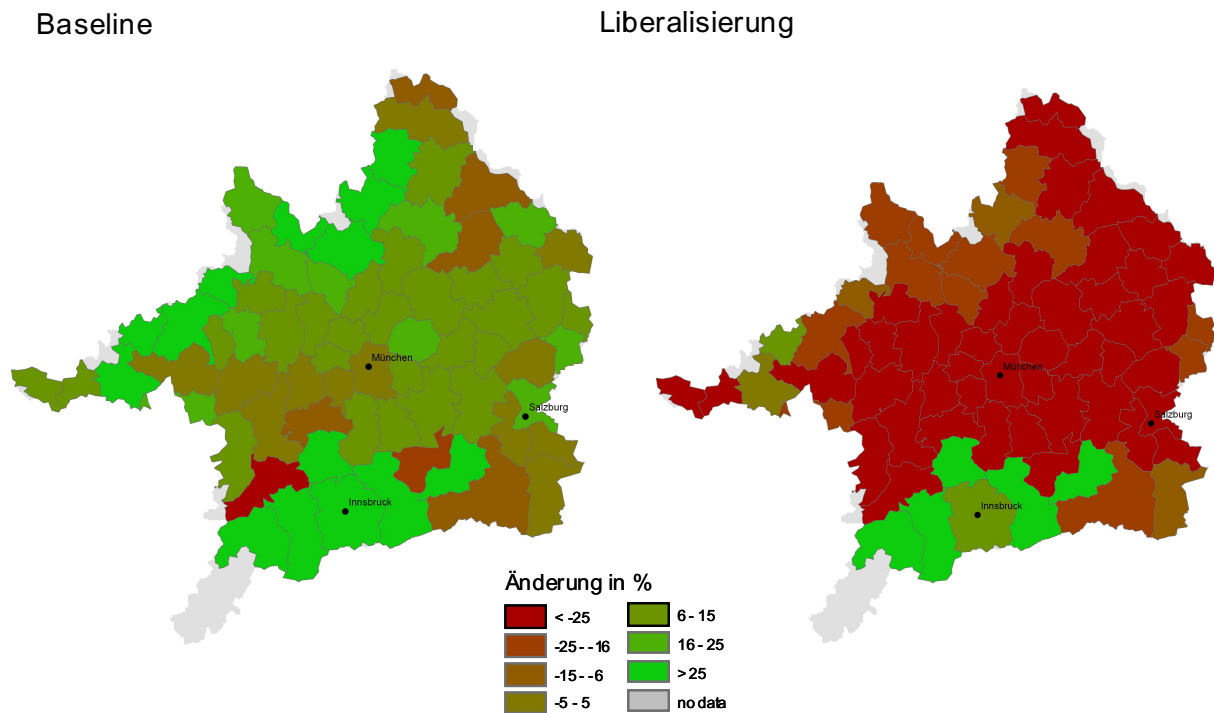


Abb. 9: Entwicklung des Einkommens in 2041-2046 im Vergleich zur Referenz

In Landkreisen in denen die relativen Ertragsänderungen bei Getreide nur gering sind (z.B. Tirschenreuth, Neustadt an der Waldnaab, Reutlingen, Alb-Donau-Kreis, Miesbach, Salzburg, Braunau), verändert sich der Anbau im Baseline-Szenario kaum (Abb. 10). Zu deutlichen relativen Änderungen beim Anbau von Getreide kommt es in einigen österreichischen Landkreisen und Landkreisen mit im Vergleich höheren Ertragsrückgängen. In diesen Landkreisen war die Anbaufläche von Getreide in absoluten Werten betrachtet in der Ausgangssituation sehr gering und dadurch kommt es zum Teil zu sehr großen relativen Änderungen der Anbaufläche. Infolge der Liberalisierung geht der Getreideanbau in vielen Landkreisen weiter zurück. Dies ist möglicherweise auch mit durch den Wegfall der Cross Compliance begründet, da hier in der Regelung zum Erosionsschutz auch Wintergetreideanbau zugelassen ist.

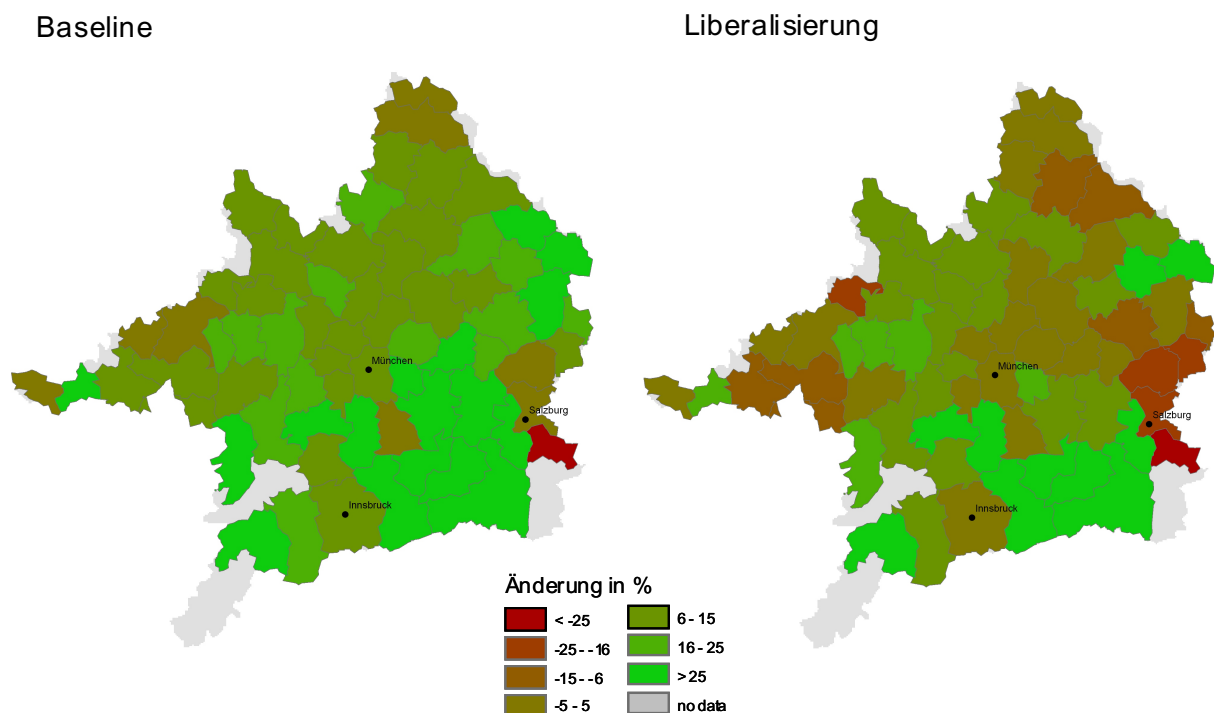


Abb. 10: Entwicklung der Getreidefläche in 2041-2046 im Vergleich zur Referenz

Im überwiegenden Teil der Landkreise geht der Anbau von Körnermais infolge hoher Ertragseinbußen im Baseline-Szenario zurück (Abb. 11). In Landkreisen in denen sich der Körnermaisertrag nur unwesentlich verändert hat (z.B. St. Johann, Garmisch-Partenkirchen, Miesbach, Neuburg-Schrobenhausen) sowie in Landkreisen mit einem hohen Grünlandanteil (z.B. Schwaz, Ostallgäu), in denen auch in der Ausgangssituation nur sehr wenig Mais angebaut wurde, bleibt die Fläche an Körnermais annähernd unverändert. Durch die Liberalisierung verändert sich das Bild nur unwesentlich.

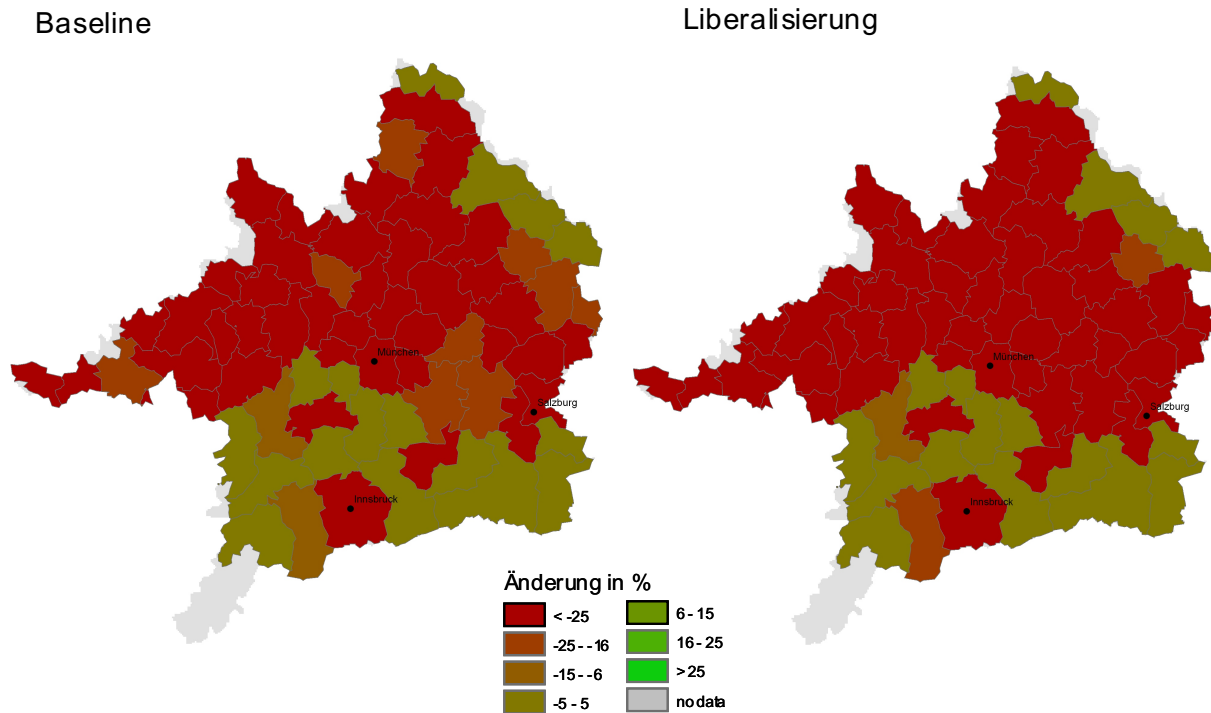


Abb. 11: Entwicklung der Körnermaisfläche in 2041-2046 im Vergleich zur Referenz

Die Ertragssteigerungen bei extensiv genutztem Grünland führen im überwiegenden Teil der Landkreise zu einer Ausweitung dieser Flächen (Abb. 12), bei gleichzeitiger Einschränkung von intensiv genutztem Grünland. Allerdings gibt es auch hier regionale Unterschiede. So geht beispielsweise im Landkreis Donauries der Ertrag von extensiv genutztem Grünland zurück, was in diesem Landkreis mit einem Rückgang der extensiv genutzten Flächen verbunden ist. Im Szenario Liberalisierung geht infolge des Wegfalls der Prämien der Anteil an extensiv genutztem Grünland insgesamt etwas zurück. Sehr deutlich zeigt sich dies insbesondere in Landkreisen, in denen das intensiv genutzte Grünland vergleichsweise hohe Ertragssteigerungen zu verzeichnen hat, wie beispielsweise in Hallein, im Oberallgäu, im Ostallgäu, in Garmisch-Partenkirchen, im Alb-Donau-Kreis und in Reutlingen.

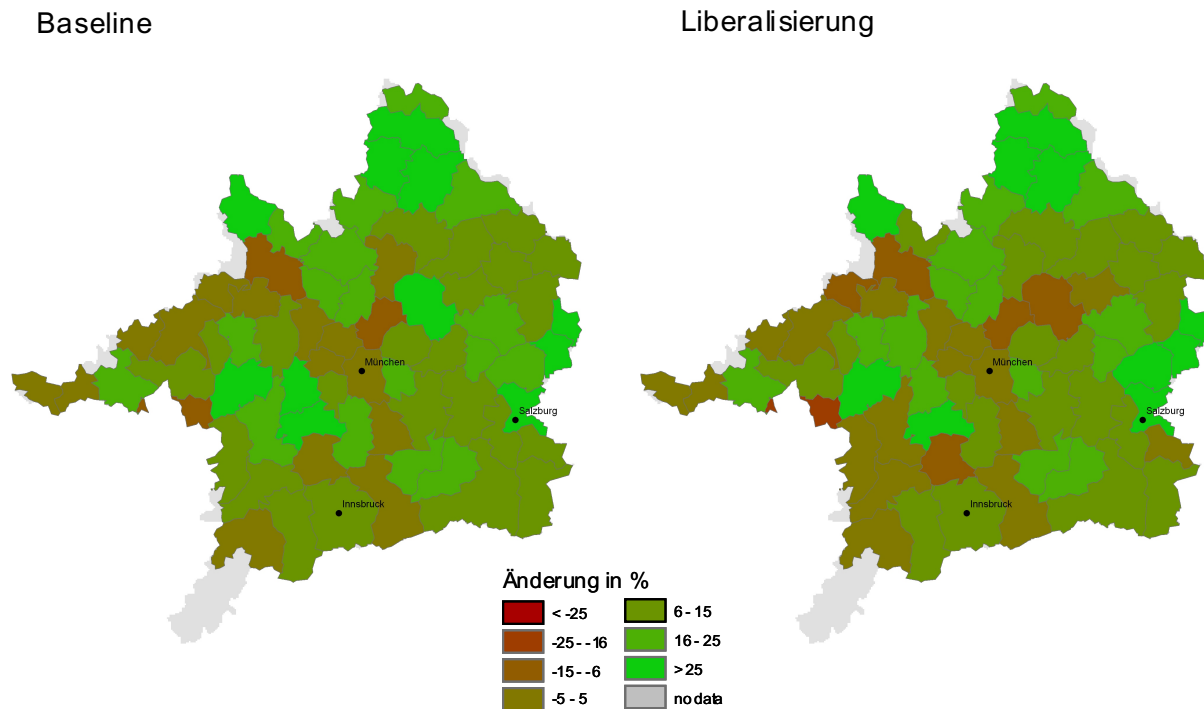


Abb. 12: Entwicklung der extensiv genutzten Grünlandfläche in 2041-2046 im Vergleich zur Referenz

8. Nächste Schritte

Sobald die inhaltlichen Schwierigkeiten seitens *Biological* gelöst sind, sollen Szenario-rechnungen durchgeführt werden. Hierbei sollen dann auch die Lernprozesse der landwirtschaftlichen Akteure näher analysiert werden. Zum einen ist es eine interessante Fragestellung, wie sich unterschiedliche Zeiträume für die Entscheidung der Akteure bezüglich einer Änderung ihrer Ertrags Erwartungen aufgrund veränderter klimatischer Bedingungen auf die Landnutzung auswirken. Diese Zeiträume können flexibel gewählt werden. So können einerseits sehr sensible Akteure abgebildet werden, die schon nach sehr kurzer Zeit (z.B. 2 Jahre) auf veränderte Erträge reagieren, aber auch eher konservative Akteure, die erst über längere Zeiträume ihre Ertrags Erwartungen ändern. Weiterhin ist das dynamische pflanzenbauliche Management von Interesse, also inwieweit sich beispielsweise Saat- oder Erntezeitpunkte infolge klimatischer Veränderungen verschieben könnten.

Modellierung typischer Wassernutzer im Einzugsgebiet der Donau

Teilprojekt:	Umweltpsychologie
Leiter:	Prof. Dr. Andreas Ernst
Ausführende Stelle:	Center for Environmental Systems Research (CESR) Universität Kassel, Kurt-Wolters-Strasse 3, 34109 Kassel

Einleitung

Dieser Bericht umfasst die innerhalb des GLOWA-Danube-Verbundprojektes vom Teilprojekt Umweltpsychologie durchgeführten Arbeiten im Zeitraum vom 01.05. 2008 bis 30.04. 2009.

Übergeordnete Aufgaben des Teilprojektes in der dritten Förderphase von GLOWA-Danube sind die Abschätzung von Auswirkungen potentieller Veränderungen des Wasserkreislaufs auf Wassernutzung, wasserbezogene Risikowahrnehmung und Zufriedenheit und ihre Wechselwirkungen sowie mögliche Auswirkungen von zielgerichteten Interventions- und Anpassungsmaßnahmen.

Neben der Weiterentwicklung des agentenbasierten Modells *DeepHousehold* in inhaltlicher und technischer Sicht, lag ein weiterer Schwerpunkt bei der Handhabung und Ergebnisaufbereitung des vom Teilprojekt entwickelten Modells. Hierzu gehörten die Möglichkeit der Berechnung individueller Fragestellungen unter Berücksichtigung verschiedener Szenariokombinationen und Aufbereitung der Ergebnisse für fachfremdes Publikum (Ergebnisvisualisierung).

Die Kasseler Arbeitsgruppe bestand zum Berichtszeitraum aus zwei Psychologen sowie einem Kognitionswissenschaftler. Die hier referierten Arbeiten spiegeln auch den fortgeschrittenen Stand dieser Qualifikationen wider.

In Abschnitt 1 werden die im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten kurz und überblicksartig zusammengefasst. Abschnitt 2 widmet sich den organisatorischen Angaben des Teilprojektes im Berichtszeitraum. In Abschnitt 3 werden die Arbeiten und die damit verbundenen erzielten Ergebnisse detailliert dargestellt, bevor in Abschnitt 4 einige wichtige, ausgewählte Modellergebnisse von *DeepHousehold* beschrieben werden.

Eine Bewertung des erreichten Standes der Arbeiten sowie ein Ausblick finden sich in Abschnitt 5.

1. Zusammenfassung der Arbeiten im Berichtszeitraum

Arbeitsschwerpunkte im Berichtszeitraum waren einerseits die Ausarbeitung der Modellkomponenten von inhaltlicher und technischer Seite. Das betraf insbesondere die Modellkomponente der psychosozialen Nachhaltigkeit und die Weiterentwicklung der gesellschaftlichen Szenarien, die weiterhin in Zusammenarbeit mit SinusSociovision durchgeführt wurde. Des Weiteren fanden technische Umbauten und Verbesserungen am Modell statt, die die Überprüfung des Modells erleichtern und neuartige Formen der Ergebnisabfrage erlauben.

Ein weiterer großer Arbeitsschwerpunkt waren die Durchführung und Auswertung von Modellläufen, die sowohl lokal, als auch in Verbund mit anderen DANUBIA-Modellen, stattfanden.

2. Organisation

2.1 Personal

2.1.1 Wissenschaftler

Michael Elbers (M. Sc. in Cognitive Science), Silke Kuhn (Dipl.-Psych.) und Roman Seidl (Dipl.-Psych.) waren während des gesamten Berichtszeitraums (Mai 2008-April 2009) im Projekt angestellt.

2.1.2 Hilfskräfte

- Cand.-Inf. Daniel Klemm war während des gesamten Berichtszeitraums als Hilfskraft im Projekt beschäftigt.

2.2 Anschaffungen

Im Berichtszeitraum wurden keine Anschaffungen getätigt.

2.3 Veranstaltungen

2.3.1 Interne Projekttreffen

Während des Berichtszeitraums nahmen alle Mitglieder des umweltpsychologischen Teilprojekts teil:

- 29.09.-01.10.2008 GLOWA-Danube-Treffen in Hofgeismar (Elbers, Ernst, Klemm, Kuhn, Seidl)
- 14.11.2008 Arbeitsgruppeninternes Treffen (Elbers, Ernst, Klemm, Kuhn, Seidl)
- 23.03.-26.03.2009 Klasurtagung Wildbad Kreuth (Elbers, Ernst, Klemm, Kuhn, Seidl)

2.3.2 Konferenzen

Neben den oben genannten internen Veranstaltungen hat das Teilprojekt an den nachfolgend aufgeführten Tagungen und Konferenzen teilgenommen und dort den Forschungsansatz von GLOWA-Danube vorgestellt:

- 07.2008 Perception of climate change risks: A multi-agent simulation. XXIX International Congress of Psychology, Berlin (R. Seidl, R. und A. Ernst).
- 01.2009 Using psychological theories for agent-based models of public reactions to policies. Workshop on Rich Cognitive Models for Policy Design and Simulation, Leiden, The Netherlands (A. Ernst).

2.3.3 Gast- und Kolloquiumsvorträge

Das psychologische Teilprojekt wurde in folgenden Gast- und Kolloquiumsvorträgen vorgestellt:

- 04.2008 Agentenbasierte Modellierung von Landnutzungsentscheidungen: Bindeglied zwischen ökonomischen, sozialen und naturwissenschaftlichen Aspekten. 4. Nationales Kolloquium Umgang mit dem Klimawandel, Bad Honnef (A. Ernst).
- 06.2008 Die Herausforderungen und die Chancen der Komplexität. Auftaktveranstaltung der UN-Dekade Bildung für nachhaltige Entwicklung in Schleswig-Holstein, Nordkolleg Rendsburg (A. Ernst).
- 10.2008 Denn sie tun nicht was sie wissen: Verhalten und Klimaschutz Symposium zur Eröffnung des Graduiertenzentrums für Umweltforschung und -lehre der Universität Kassel (A. Ernst).
- 11.2008 Akteure: Das Handeln des Menschen in GLOWA-Danube. *Stakeholderworkshop* Wasserwirtschaft, Wasserversorgung und Tourismus, München (A. Ernst).
- 11.2008 Von der sozialen Modellierung zur *Stakeholder*-Schnittstelle. Kolloquium des Zentrums für Umweltsystemforschung, Universität Osnabrück (A. Ernst).
- 11.2008 Modellentwicklung und Forschen im gekoppelten Verbund - Das Beispiel GLOWA-Danube. Kolloquium des Instituts für Technikfolgenabschätzung (ITAS), Forschungszentrum Karlsruhe (A. Ernst).
- 02.2009 Ergebnisse des Haushalts-Modells in GLOWA-Danube. *Stakeholderworkshop* Wasserwirtschaft, Wasserversorgung und Tourismus, Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Hof (A. Ernst).

2.3.4 Veröffentlichungen

- BARTHEL, R., JANISCH, S., SCHWARZ, N., TRIFCOVIC, A., NICKEL, D., SCHULZ, C. und MAUSER, W. (2008): An integrated modelling framework for simulating regional-scale actor responses to global change in the water domain. *Environmental Modelling & Software* 23, S. 1095-1121.
- ERNST, A. (2008): Interaktion, Dynamik, Raum - Komplexe agentenbasierte Modelle in der Umweltpsychologie. *Umweltpsychologie* (in Druck).
- ERNST, A. (2008): Psychologische Aspekte der Wassernutzung. In: Tagungsband zur Konferenz „Wasser - Konfliktstoff des 21. Jahrhunderts?“. Heidelberg: Winter Verlag (in Druck).
- ERNST, A. (2008): Zwischen Risikowahrnehmung und Komplexität. Über die Schwierigkeiten und Möglichkeiten kompetenten Handelns im Umweltbereich. In: BORMANN, I. und DE HAAN, G. (Hrsg.): *Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung. Operationalisierung, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde*. Wiesbaden: VS Verlag, S. 45-59.
- ERNST, A., SCHULZ, C., SCHWARZ, N. und JANISCH, S. (2008): Modelling of water use decisions in a large, spatially explicit, coupled simulation system. In: EDMONDS, B., C.
- HERNÁNDEZ und TROITZSCH, K.G. (eds.) (2008): *Social Simulation: Technologies, Advances and New Discoveries*. Hershey, NY: Information Science Reference, S. 138-149.

SCHWARZ, N. und ERNST, A. (2008): Die Adoption von technischen Umweltinnovationen: das Beispiel Trinkwasser. *Umweltpsychologie*.

SCHWARZ, N. und ERNST, A. (2008): Agent-based modelling of the diffusion of environmental innovations - An empirical approach. *Technological Forecasting and Social Change*.

Poster

- KUHN, S., ELBERS, M., ERNST, A. und SEIDL, R. (08.2008): An agent-based model of the domestic water use in the Upper Danube region - *DeepHousehold*. International Conference Global Change and Water Resources in West Africa. The German-African GLOWA Projects in Ouagadougou, Burkina Faso, 25.-28.10.2008.
- ERNST, A., BERNEDO SCHNEIDER, G., ELBERS, M., HOLZHAUER, S., KLEMM, D., KREBS, F., KUHN, S. und SEIDL, R. (01.2009): Socio-Environmental Systems Analysis and Modelling - SESAM. Workshop on Rich Cognitive Models for Policy Design and Simulation, Leiden, The Netherlands.

3. Ergebnisse

3.1 Formulierte Ziele der 3. Förderphase

Der Antrag der dritten Förderphase nennt fünf Ziele.

- | | |
|---------|---|
| Ziel 1: | Weiterentwicklung psychologisch-sozialer Indikatoren der Zufriedenheit und der Risikowahrnehmung sowie deren Einsatz zur Entscheidungsunterstützung |
| Ziel 2: | Szenarienbildung und Analyse hinsichtlich psychologisch-sozialer Indikatoren |
| Ziel 3: | Weiterführende Validierung und Qualitätssicherung des Teilmodells und seiner Interaktionen in DANUBIA |
| Ziel 4: | Integrative Arbeiten an einer optimalen Realisierung von <i>Stakeholder</i> -angepasster Entscheidungsunterstützung |
| Ziel 5: | Bereitstellung der wissenschaftlichen Erkenntnisse des Projekts |

Auf die Weiterentwicklung psychologisch-sozialer Indikatoren (Ziel 1) geht Kapitel 3.2.1 ein; die Szenarienbildung und Analyse (Ziel 2) werden ebenfalls in Kapitel 3.2.1 sowie in Kapitel 3.2.2 besprochen. Die weiterführende Validierung und Qualitätssicherung des Teilmodells und seiner Interaktionen in DANUBIA (Ziel 3) fanden zum einen in Form von *Stakeholder*-Workshops (Kap. 3.2.3.3), zum anderen in Form von technischen Verbesserungen zur Qualitätssicherung (Kap. 3.2.4 und 3.2.6) und Verfeinerungen bei der Ergebnisdarstellung (3.2.7) statt. Bei Ziel 4 (Optimale Realisierung von *Stakeholder*-angepasster Entscheidungsunterstützung) sind erste Schritte einer verbesserten Ergebnisvisualisierung (Kap. 3.2.7) sowie die integrativen Arbeiten in Form der Atlas-Beiträge (Kap. 3.2.3.1) und die weitere Teilnahme am *Stakeholder*-Prozess (Kap. 3.2.3.2) zu nennen. Die Bereitstellung der wissenschaftlichen Ergebnisse (Ziel 5) hat bislang in Form von Fachartikel und Konferenzbeiträgen stattgefunden, die in Kapitel Kapitel 2.3.4 aufgelistet sind. Darüber hinaus wurde die Code-Pflege als Qualitätssicherung weiterbetrieben (Kap. 3.2.6) und als erste Schritte auf die Umwandlung in *OpenSource*-Software hingearbeitet.

3.2 Inhaltliche und technische Neuerungen in *DeepHousehold*

Die inhaltlichen Neuerungen umfassten zum einen die Entwicklung von psychologisch-sozialen Indikatoren (Kap. 3.2.1) sowie von Szenarien, den sog. Gesellschaftliche Megatrends (Kap. 3.2.2) und zum anderen die kontinuierliche Weiterführung der lokalen Läufe sowie der Clusterläufe (Kap. 4). Technische Neuerungen umfassten neben der Sicherung von Qualität und Performance (Kap. 3.2.4 und 3.2.5) die Code-Dokumentation (Kap. 3.2.6), eine Weiterentwicklung bei der Ergebnisaufbereitung (Kap. 3.2.7) sowie eine Ergebnisdatenbankabfrage (Kap. 3.2.8).

3.2.1 Psychologisch-soziale Indikatoren in *DeepHousehold*

Als ein Konzept der Nachhaltigkeit wurden die Orientoren nach BOSSEL (1998) gesucht. Ausgehend von den fundamentalen 'Umwelteigenschaften' identifiziert Bossel Leitwerte (Orientoren), die ein System befriedigen muss, um erfolgreich in seiner Umwelt zu überleben.

Die Orientorentheorie sowie die Konzeption der Indikatoren und Leitwerte in *DeepHousehold* wurden ausführlich im Jahresbericht 2008 beschrieben. Mittels der psychologisch-sozialen Indikatoren ist es möglich, eine Erreichung der gebildeten Nachhaltigkeitsleitwerte durch gezielte Interventionen (im Sinne modellierter politisch-administrativer Maßnahmen) zu prüfen, bzw. deren Voraussetzungen zu identifizieren. Tabelle 1 zeigt die Gegenüberstellung von Umwelteigenschaften und dem korrespondierenden Leitwert in der Orientorentheorie in Bezug auf *DeepHousehold*.

Tab. 1: Umwelteigenschaften und entsprechende Leitwerte nach der Orientorentheorie nach Bossel bezogen auf die Anwendung in *DeepHousehold*

Umwelteigenschaften	Entsprechender Leitwert
Ressourcenknappheit Ressourcen sind begrenzt und ungleich verteilt	Ressourceneffizienz (Effectiveness) Hat der Haushalt die Fähigkeit, effizient mit den Ressourcen umzugehen?
Umweltvielfalt Umwelt stellt eine unabsehbare Vielfalt an Anforderungen	Handlungsfreiheit (Freedom) Sind die Freiheitsgrade des Haushalts von den zukünftigen Entwicklungen betroffen?
Umweltunsicherheit Schwankungen um den Normalzustand	Sicherheit (Security) Hat der Haushalt genug Reserven, um mit den normalen Schwankungen der Umwelt fertig zu werden?
Umweltwandel Allmähliche oder plötzliche Änderung des Normalzustands	Wandlungsfähigkeit (Adaptability) Kann sich der Haushalt an eine veränderte Umweltsituation anpassen?

Im Modell DHH werden die Leitwerte durch bestimmte Umweltereignisse (Trinkwasserknappheit, Hochwasser) beeinträchtigt. Dies geschieht direkt durch unmittelbare Erfahrung (persönliche Betroffenheit). Eine Wasserknappheit z.B. wirkt auf den Leitwert Handlungsfreiheit (*Freedom*) ein, da durch sie alltägliche Handlungen wie Duschen eingeschränkt werden. Andererseits wird der Leitwert Sicherheit (*Security*) von Hochwasserereignissen beeinträchtigt. Liegen keine Umweltereignisse vor, erholen sich die Leitwerte wieder. Diese Erholung wiederum ist von psychologischen Variablen Vergessen oder Verdrängen abhängig.

Die Unterschiede zwischen den Milieus ergeben sich aus einer milieudifferenzierten Wahrnehmung und Verarbeitung der Information. Die Unterfütterung der Milieu-Properties für die Leitwerte erfolgte in enger Zusammenarbeit mit der Firma SinusSociovision (s. auch Kap. 3.2.2).

Entgegen der ersten Konzeption, besteht der Leitwertstern aus vier Leitwerten (vgl. Abb. 1). Während zunächst geplant war, neben den Leitwerten Wirksamkeit (jetzt Ressourceneffizienz), Handlungsfreiheit, Sicherheit und Wandlungsfähigkeit, die Existenz als Produkt der genannten Leitwerte zu betrachten, wurde nun als finaler Ausgabeparameter des Modells die Aktiviertheit gewählt. Die Aktiviertheit kann als „Leidensdruck“ oder Besorgnis verstanden werden. Je nach Milieu hat dies andere Ausdrucksformen und kann z.B. als Verstärkung des politischen Ausdruckswillens interpretiert werden.

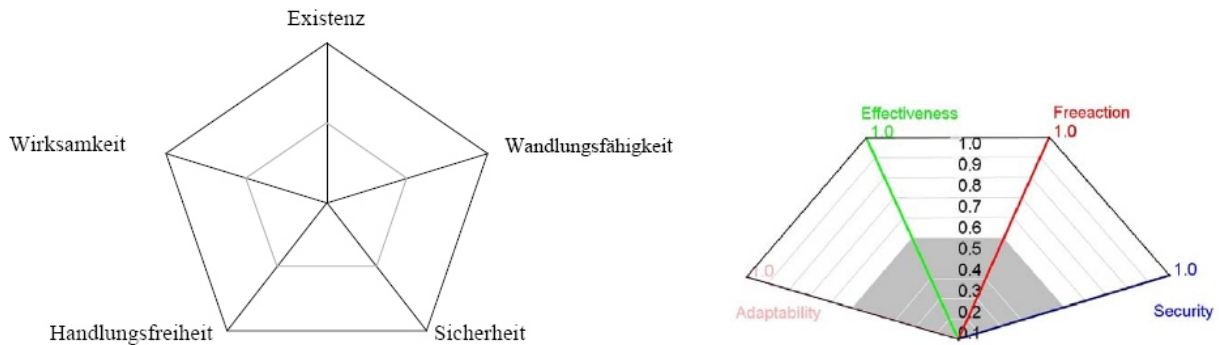


Abb. 1: Alte (links) und neue (rechts) Konzeption der Darstellung des Leitwertsterns in *DeepHousehold*. Während die alte Version fünf Leitwerte enthält, fehlt bei der neuen Version der Leitwert Existenz; finaler Ausgabeparameter des Modells ist die Aktiviertheit

Abbildung 2 zeigt im Überblick die Konzeption des Indikatorenmodells in *DeepHousehold*. Bestimmte Umweltereignisse (1) werden direkt durch die Akteure (2) wahrgenommen und erfahren. Diese Betroffenheit von negativen Ereignissen beeinträchtigt die Leitwertdimensionen (3) auf je spezifische Weise. Vermittelt durch die Variablen Zukunftsorientiertheit und Psychohygiene (Verdrängen) (4) ergibt sich die Aktiviertheit (6). Durch außerordentliche Medienaktivität und durch Einfluss aus dem sozialen Netzwerk kann die Aktiviertheit erhöht oder vermindert werden (5).

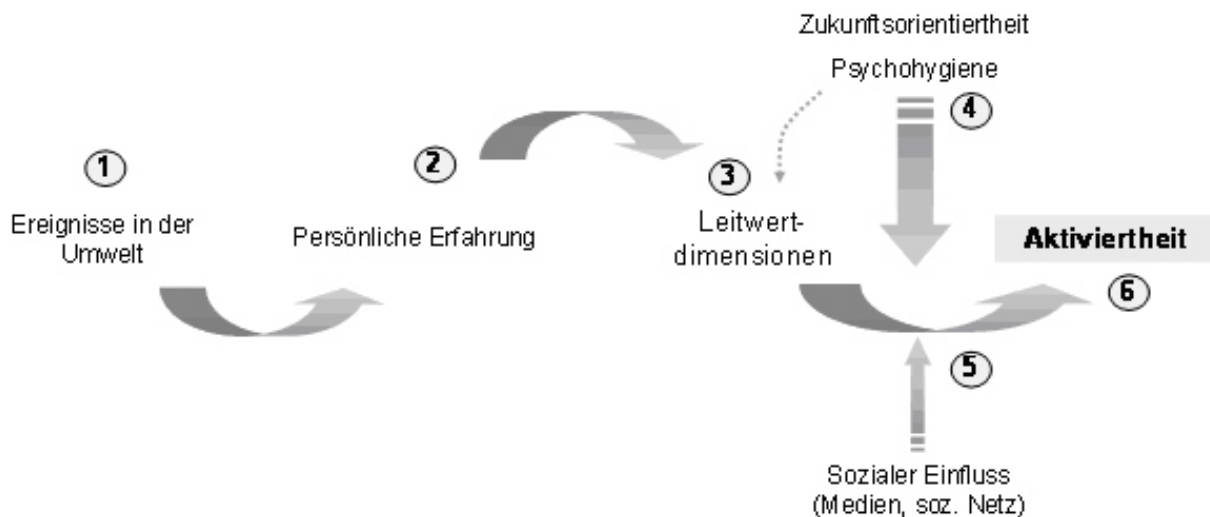


Abb. 2: Schematische Darstellung des Indikatorenmodells in *DeepHousehold*. Ereignisse in der Umwelt (Trinkwasserknappheit, Überschwemmung) wirken sich durch Leitwertminderungen bei betroffenen Akteuren aus. Moderiert durch psychologische Variablen und erhöht bzw. vermindert durch den Einfluss von Medienberichten und über das soziale Netzwerk resultiert die Aktiviertheit

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass das neu entwickelte Modell psychologisch-sozialer Indikatoren eine wesentliche Erweiterung von *DeepHousehold* darstellt und einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung des Ziels 1 (Weiterentwicklung psychologisch-sozialer Indikatoren der Zufriedenheit und der Risikowahrnehmung sowie deren Einsatz zur Entscheidungsunterstützung) leistet. Ergebnisse des Modells unter unterschiedlichen Szenarien werden in Kapitel 4 vorgestellt.

3.2.2 Szenarienbildung und Analyse

Für die Szenarienbildung und Analyse wurde die Kooperation mit der Firma SinusSociovision im Berichtszeitraum erfolgreich fortgesetzt. Die in entwickelten gesellschaftlichen Szenarien wurden im letzten Jahresbericht 2008 skizziert.

Sowohl die weitere Szenarienformulierung, als auch die Auswertung und Interpretation geschahen u.a. in zwei Workshops (17. April und 10. November 2008) mit SinusSociovision (Teilnehmer: Perry, de Vries [SinusSociovision], Ernst, Kuhn, Seidl [GLOWA-Danube]). Zu den Themen zählten u.a. der milieuspezifische Umgang und die Wahrnehmung von potentiellen Risiken, die Wahrnehmung von Wasser als Ware und Marktinstrument, bzw. natürliche Ressource oder menschliches Gut, Investitionsbereitschaft, Erwartungen an die Wasserversorger sowie die Aufgabe und Verantwortung der Privatindustrie, bzw. der öffentlichen Hand. Es folgt eine kurze Beschreibung der Szenarien auf das Modell *DeepHousehold*.

3.2.2.1 *Household* in Szenario 1 - Baseline

Das Baseline-Szenario in *DeepHousehold* beschreibt die aktuell vorhandenen Verhältnisse hinsichtlich der Milieuverteilung (Werte microm) und den Milieueigenschaften. Dabei stammen die Werte der aktuellen Milieueigenschaften sowohl aus den eigenen empirischen Untersuchungen (z.B. Umweltbewusstsein, Psychohygiene), als auch aus Expertenratings von SinusSociovision (z.B. Preissensitivität). Man kann sagen, dass das Baseline-Szenario eine Widerspiegelung der aktuellen Lage, wie wir sie kennen, ist.

3.2.2.2 *Household* in Szenario 2 - Liberalisierung

Neben einer veränderten Zusammenstellung der Milieus in beiden Szenarien, gilt für das Szenario Liberalisierung, dass starke Veränderungen bei den Traditionellen Milieus sowie den Hedonistischen Milieus zu verzeichnen sind. Eine Liberalisierung der Gesellschaft hat vielfältige direkte und indirekte Auswirkungen auf die Haushalte. Wasser wird ein Produkt, für das die Leute bezahlen müssen. Das wird insbesondere von den Milieus, die sich in dem Szenario wohlfühlen, befürwortet, bzw. von den anderen abgelehnt. Wasser wird in dem Maße nicht mehr als schützenswertes Naturgut angesehen. Es wird erwartet, dass das Produkt, für den ein bestimmter Preis gezahlt wird, jederzeit bereit zu stehen hat. Krisen in Wasserversorgung sind somit inakzeptabel (Leitmilieus). Auf der anderen Seite wächst das Misstrauen gegenüber den Wasserversorgern im Falle einer unzuverlässigen Wasserversorgung (Mainstream-Milieus). Da sich der Staat weitgehend zurückgezogen hat, sind die Haushalte für ihre Absicherung und ihre Versicherungen selbst verantwortlich. Das heißt für Risikogebiete, sie bedeuten hohe Versicherungstarife und niedrige Immobilienpreise. Die Haushalte, die sich die Versicherung leisten können, sind nach wie vor geschützt. Diejenigen, die dazu nicht imstande sind, fühlen sich unsicher. Das wirkt sich auf verschiedene Weise auf die Zufriedenheit der Milieu-Gruppen aus.

3.2.2.3 *Household* in Szenario 3 - Nachhaltigkeit

In Szenario 3 gilt für die Milieuzusammensetzung, dass es leichte Milieuvverschiebungen gibt, die insgesamt nicht so stark ausgeprägt sind wie in Szenario 2. Anders als im vorangegangenen Szenario Liberalisierung wird Wasser im nachhaltigkeitsorientierten Szenario 3 als ein lebenswichtiges Gut, unverzichtbarer Rohstoff angesehen. Die Menschen handeln danach, dass Wasser nicht verschwendet werden sollte, ein nachhaltiger Umgang mit der Ressource ist gefragt. Die Behörden sind für sichere Wasserversorgung und Hochwasserschutz verantwortlich. Entsprechend sollte der Staat überschwemmungsgefährdete Regionen nicht bebauen lassen, bzw. dort notwendige Investitionen tätigen, um Bürger zu schützen. Auch ohne teure Absicherung (Versicherungstarife) kann sich der Bürger sicher fühlen, im Fall einer Überschwemmung gibt es staatliche Interventionen (Ausgleichszahlungen o.ä.). Es gibt behördliche Regelungen für Innovationen. Entweder werden wassersparende Technologien durch Informationskampagnen, Subventionen oder gesetzliche Regelungen unterstützt. Bei

(drohender) Wasserknappheit werden wasserintensive Nutzungsarten gegebenenfalls eingeschränkt, es werden intensive Kampagnen veranlasst.

Daneben bleibt die große Bedeutung der *drinkingwaterQuantityFlags* des Teilprojekts *WaterSupply* als Treiber für *DeepHousehold* bestehen. Je nach Klimaszenario ergeben sich andere Flaggen-Berechnungen. Darüber hinaus existieren abhängig vom Gesellschaftsszenario unterschiedlich sensitive Flaggen-Berechnungen.

3.2.2.4 Übertragung der Gesellschaftsszenarien auf andere Actors-Teilprojekte

Die zunächst nur auf das umweltpsychologische Teilmodell zugeschnittenen gesellschaftlichen Szenarien wurden auf dem GLOWA-Gesamttreffen im Mai 2008 (Herrsching) vorgestellt. Im Anschluss daran wurde beschlossen, diese Szenarien auch auf die anderen *Actors*-Teilmodelle (*Economy, Farming, Tourism, WaterSupply*) zu übertragen und so eine einheitliche Basis für die Szenarien der *Actors*-Teilmodelle zu besitzen. Hierbei übernahm das Teilprojekt eine tragende Rolle. Zum Zweck der Übertragung auf die anderen *Actors*-Teilmodelle wurde eine Arbeitsgruppe gebildet (Kuhn, Schmude, Hennicker) und eine Methodik entwickelt, mit deren Hilfe die Übertragung bewerkstelligt wurde. Begleitend wurde ein internes Arbeitspapier erstellt, das fortlaufend überarbeitet und angepasst wird.

Im ersten Schritt wurde zunächst die generelle Eignung der Gesellschaftlichen Megatrends von SinusSociovision überprüft. Voraussetzung dafür war, dass in jedem Modell ein Faktor vorhanden war, der je nach Szenario plausible, unterschiedliche Ausprägungen hatte. Für GLOWA-Danube wurden zwei Szenarien ausgewählt: Liberalisierung und Nachhaltigkeit. Darüber hinaus wurde ein Baseline-Szenario beschlossen, so dass sich drei Gesellschaftsszenarien ergeben:

Szenario 1: Baseline

Szenario 2: Liberalisierung

Szenario 3: Nachhaltigkeit

Da die Umsetzung der Megatrends in den jeweiligen Teilprojekten eine genaue Kenntnis der Szenarien erforderte, bestand der zweite Schritt in einer detaillierten Beschreibung der beiden ausgewählten Szenarien. Im darauffolgenden dritten Schritt wurden die allgemeinen gesellschaftlichen Aspekte der Szenarien in den Teilprojekten auf die jeweilige Domäne übertragen. Dies geschah zunächst in Form kleiner Geschichten, sog. Storylines, bevor im letzten, vierten Schritt die Auswirkungen der Szenarien auf die konkreten Modellparameter angepasst wurden.

3.2.2.5 Die Gesellschaftsszenarien als Teil der GLOWA-Danube-Szenarien

Durch die Kombination von naturwissenschaftlich getriebenen Klimaszenarien (s. Abb. 3 und Berichte der jeweiligen Teilprojekte) mit den akteursgetriebenen Gesellschaftsszenarien in DANUBIA ist eine je nach Fragestellung spezifisch abgestimmte Auswahl eines GLOWA-Danube-Szenarios möglich. Auf diese Weise ist eine gezielte Überprüfung der einzelnen Einflussfaktoren sowie deren Summe, bzw. Wechselspiel möglich.

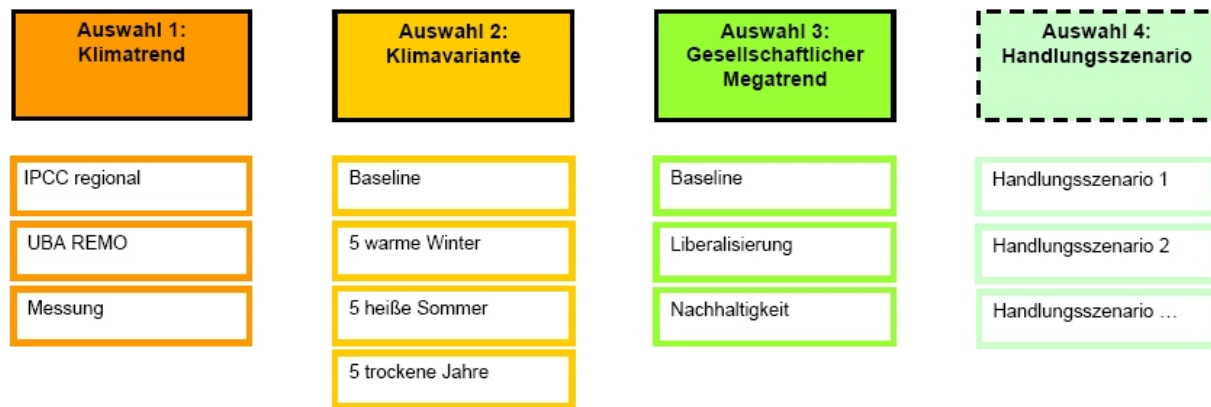


Abb. 3: Auswahlmöglichkeiten bei einem GLOWA-Danube-Szenario - Ein komplettes Szenario beinhaltet einen Pfad von links nach rechts: eine Auswahl 1 + eine Auswahl 2 + eine Auswahl 3; Auswahl 4 ist optional

3.2.3 Öffentlichkeitsarbeit

Neben den unter Punkt 2.3.3ff. aufgezählten Vorträgen und Veröffentlichungen, umfasste die Öffentlichkeitsarbeit im Berichtszeitraum auch weiterhin das Verfassen von Atlas-Beiträgen (Global Change Atlas Oberes Donau Einzugsgebiet) und die Teilnahme am *Stakeholder*-Prozess. Darüber hinaus beteiligt sich das Teilprojekt mit einem Artikel am GLOWA-Danube Special Issue des Journal Hydrological Processes (Ernst, Seidl, Kuhn, Elbers Kundlemm: Domestic water use and public response to water problems).

3.2.3.1 Atlas

In Zusammenarbeit mit dem Zentralprojekt, bzw. dem Team der Szenarien-Gruppe entstanden im Berichtszeitraum zwei Atlas-Beiträge. Der eine Beitrag mit dem Titel GLOWA-Danube-Szenarien beschreibt die generelle Logik und Struktur der GLOWA-Danube-Szenarien (Kap. 3.3.2.5).

Der zweite Beitrag (GLOWA-Danube-Szenarien - Gesellschaftliche Szenarien) befasst sich gezielt mit den Gesellschaftsszenarien innerhalb des Projektes: ihrer Herkunft, Beschreibung sowie der angewandten Methodik (Kap. 3.3.2.4). Die Beiträge befinden sich derzeit im Review-Prozess.

Weitere teilprojektspezifische Beiträge zu den gesellschaftlichen Szenarien sowie zum neu entwickelten Submodul psychosoziale Indikatoren sind in Planung.

3.2.3.2 Stakeholder-Prozess

Das Teilprojekt Umweltpsychologie hat im Berichtszeitraum die Mitarbeit am *Stakeholder*-Prozess fortgesetzt. Dazu gehörte die Teilnahme (Ernst) an *Stakeholder*-Workshops (November 2008 in München und Februar 2009 in Hof) mit entsprechenden Vorträgen. Des Weiteren beteiligt sich das Teilprojekt an der Mitarbeit am LfU Bewirtschaftungsplan Wasser.

Die folgenden Kapitel widmen sich den technischen Neuerungen in *DeepHousehold*.

3.2.4 Qualitätsicherung

Ein Ziel des Refactorings auf *DeepHousehold* 2.0 war die Verbesserung der Testbarkeit, insbesondere neuer Module. Die Entwicklung des *RiskPerception*-Moduls konnte so performanceeffizient in einer Sandbox durchgeführt werden. Während der Entwicklung wurde das Modul mit JUnit getestet sowie Sensitivitätsanalysen auf die Berechnungen durchge-

führt. Dies ermöglichte eine unkomplizierte Integration in das bestehende Modell. Im Rahmen der Qualitätssicherung wurde kontinuierlich an der Verbesserung der Lesbarkeit des Codes, der Programmstruktur und der Testbarkeit gearbeitet. Durch die durchgeführten Performanceoptimierungen sowie die Erstellung von Test-Konfigurationen (reduzierte Anzahl von *Actors*, einige ausgewählte Milieus, etc.) konnten die Durchführung von zeitintensiven Testläufe deutlich beschleunigt werden.

3.2.5 Performance

Im Zuge des Refactorings auf *DeepHousehold* 2.0 konnte der Code verschlankt und teilweise weiter performanceoptimiert werden. Mit dem Refactoring der Ergebnisausgabe wurde eine verbesserte Parallelisierbarkeit erreicht, welche sich durch eine geringere benötigte Rechenzeit positiv bemerkbar macht. Zudem wurde - soweit möglich - dahingehend optimiert, dass Ergebnisdaten, welche im aktuellen Lauf nicht ausgegeben werden sollen, auch nicht berechnet werden.

3.2.6 Dokumentation

Die Dokumentation des Modells wurde kontinuierlich weiter verbessert. Hierbei wurde die Code-Dokumentation (javadoc) stetig im Umfang erweitert und verbessert. Parallel dazu wurde mit der Erstellung einer Dokumentation im HTML-Format begonnen, welche eine Übersicht über die Struktur des Modells und allgemeinen Informationen über die Entwicklung des Modells bereitstellt und mittels Hyperlinks mit der nach HTML exportierten Code-Dokumentation (javadoc) verknüpft.

3.2.7 Ergebnisauswertung und -darstellung

Sowohl bei der Ergebnisauswertung, als auch bei der Ergebnisdarstellung gab es durch die Optimierung des Output-Interface und eine verbesserte Visualisierung Fortschritte, die in den folgenden zwei Kapiteln kurz vorgestellt werden.

3.2.7.1 Optimierung des *Output-Interface*

Durch die Ergänzung des Modells *DeepHousehold* durch das Modul *RiskPerception*, erhöhte sich die Anzahl an Outputdateien um 36 Dateien pro Zeitschritt. Die Konzeption des *Outputs* wurde übersichtlicher gestaltet und umfasst nun die folgenden Ausgabeordner. Die *Result-Interfaces* für die einzelnen Ausgabegruppen sind aufgeteilt in Milieu-spezifischen und aggregierten Output, z.B. „Psychological_Aggregated“ und „Psychological“.

- Drivers (Ausgabe der Treiberdaten, wie z.B. Airtemperature)
- Fluxes
- Fluxes_Aggregated
- Innovation
- Innovation_Aggregated
- otherComponents (hierin: Ausgaben für andere Modelle bei gekoppelten Läufen)
- Psychological
- Psychological_Aggregated

3.2.7.2 Visualisierung von Modellergebnissen

Die Vielfalt der Ergebnisse erfordert besondere Aufmerksamkeit bei ihrer grafischen Darstellung und Vermittlung, um die Ergebnisse auch einem fachfremden Publikum und insbesondere den *Stakeholdern* leichter verständlich zu machen. Die Aufbereitung der Ergebnisse in

Vorträgen wird unterstützt durch Filme mit räumlich aufgelösten Daten und zeitgleicher Darstellung des Zeitverlaufs (Beispiel in Abb. 4). Dadurch wird können Zusammenhänge deutlicher herausgestellt werden als es in rein statischen Abbildungen der Fall wäre.

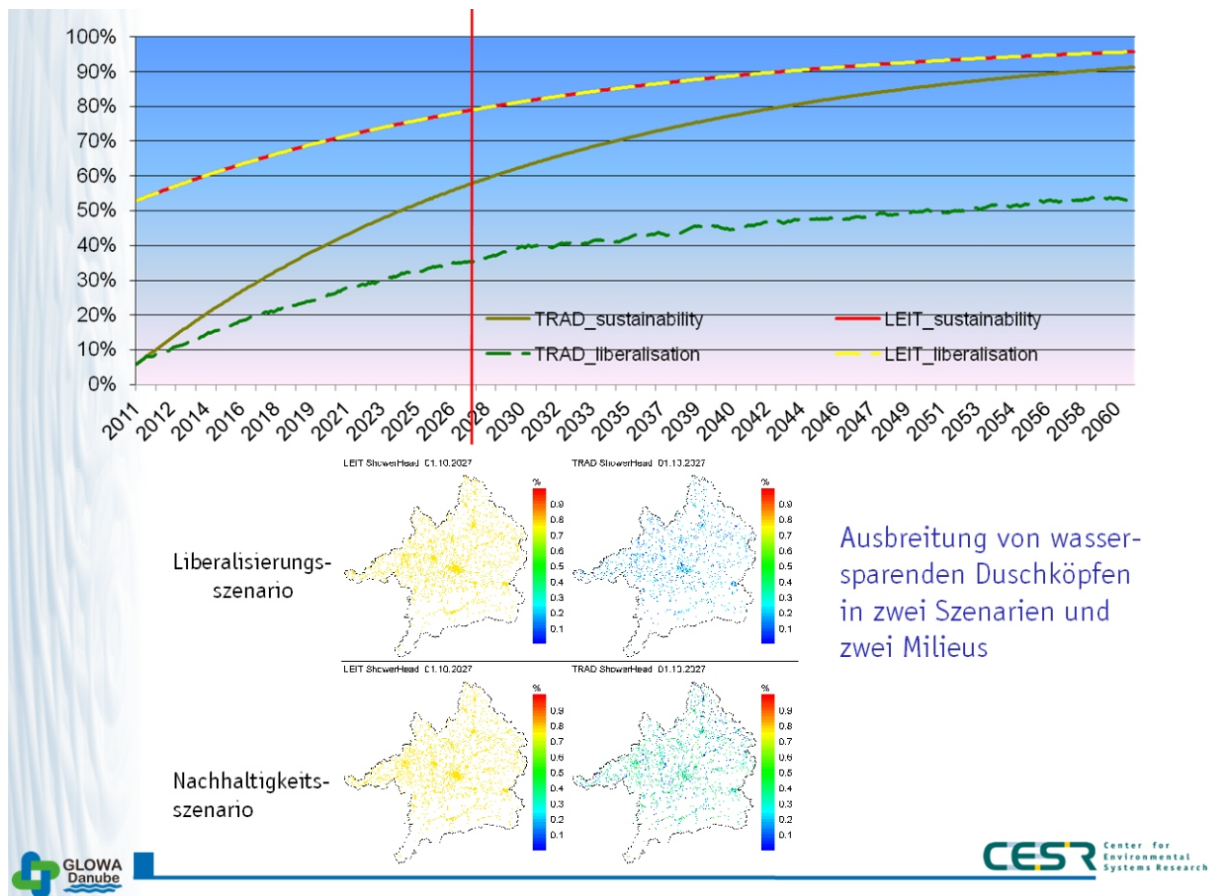


Abb. 4: Kombinierte Darstellung von Zeitverlauf (oben) und räumlich aufgelöste Karten (unten) in einer PowerPoint-Präsentation. Der senkrechte rote Balken indiziert die aktuelle Stelle im Szenario (Zeitschritt 10/2027)

3.2.8 Integration der MySQL-Datenbank für Ergebnisdaten

Es wurde eine Datenbank (MySQL) aufgesetzt, um die Ergebnisdaten aus Szenarienläufen dauerhaft und strukturiert zu speichern, den Zugang zu diesen Daten performanter und offener zu gestalten, und vor allem die Auswertung der Daten zu erleichtern. Dies ist wichtig im Hinblick auf zukünftige Anfragen seitens der *Stakeholder* sowie zur weiteren wissenschaftlichen Inwertsetzung der Daten.

In diesem Zusammenhang wurde TooDaReD um ein Modul namens DatabaseManipulator erweitert, welches Ergebnisdaten aus Dateien im DANUBIA-eigenen Datenformat (.ddat) einliest und in die Datenbank schreibt (s. Abb. 5 und 6). Das Modul erlaubt sowohl das Anlegen einer eigenen Tabelle pro Datensatz als auch durch die zusätzliche Vergabe von Datensatz-IDs das Speichern mehrerer Datensätze in einer Tabelle. Neben der ID werden weitere Metadaten für jeden Datensatz gesammelt und in einer separaten Tabelle namens _desc abgelegt (s. Abb. 7). Diese Tabelle dient somit als Datensatzverzeichnis. Zu den Metadaten gehört auch die Revisionsnummer des Simulationsmodells mit welchem die Daten erzeugt wurden, so dass diese Daten ggf. später repliziert werden können.

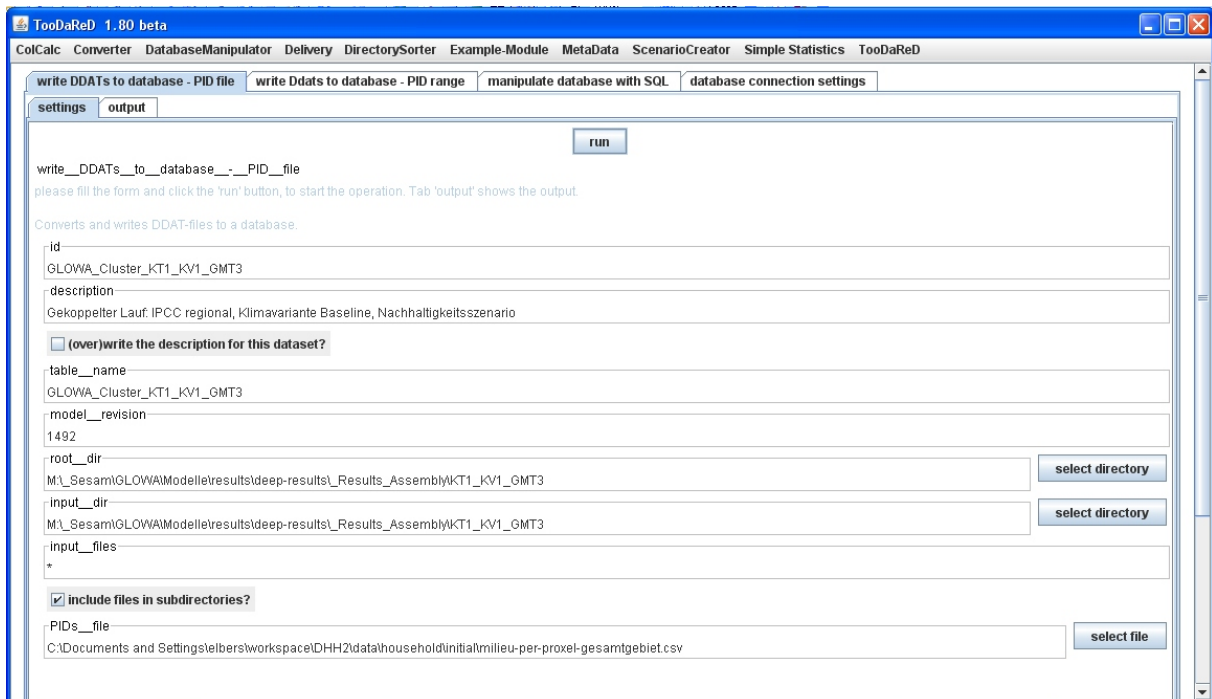


Abb. 5: Das TooDaReD-Modul DatabaseManipulator. Eingabemaske für das Schreiben von ddat-Dateien in die Datenbank

id	pid	year	month	DomesticDrinkingWaterDemand_PerCapita_AllMilieus	LhhdDishWash_PerCapita_AllMilieus	Activation_HEDDO	LhhdBath_AllMi...	PercentRainHa...	LhhdBath
GLOWA_Cluster_KT1_KV1_GMT1	5801	2011	1	0	0	0	0	0	0
GLOWA_Cluster_KT1_KV1_GMT1	6226	2011	1	0	0	0	0	0	0
GLOWA_Cluster_KT1_KV1_GMT1	6227	2011	1	0	0	0	0	0	0
GLOWA_Cluster_KT1_KV1_GMT1	6651	2011	1	0	0	0	0	0	0
GLOWA_Cluster_KT1_KV1_GMT1	6652	2011	1	0	0	0	0	0	0
GLOWA_Cluster_KT1_KV1_GMT1	7661	2011	1	0	0	0	0	0	0

Abb. 6: Ausschnitt aus einem Datensatz (hier GLOWA_Cluster_KT1_KV1_GMT1), der mit dem DatabaseManipulator in eine Tabelle der Datenbank geschrieben wurde

tableName	id	description	revision	firstEdit	lastEdit
GLOWA_Cluster_KT1_KV1_GMT1	GLOWA_Cluster_KT1_KV1_GMT1	Gekoppelter Lauf: IPCC regional, Klimavariante Baseline, Baselineszenario	1492	2009-01-23 11:34:42	2009-01-23 12:04:55
GLOWA_Cluster_KT1_KV1_GMT2	GLOWA_Cluster_KT1_KV1_GMT2	Gekoppelter Lauf: IPCC regional, Klimavariante Baseline, Liberalisierungsszenario	1492	2008-12-11 09:24:04	2008-12-11 09:24:04
GLOWA_Cluster_KT1_KV1_GMT3	GLOWA_Cluster_KT1_KV1_GMT3	Gekoppelter Lauf: IPCC regional, Klimavariante Baseline, Nachhaltigkeitsszenario	1492	2009-01-29 11:25:37	2009-02-06 15:54:54

Abb. 7: Die Tabelle _desc. Sie enthält Metadaten zu den einzelnen Datensätzen, die mit dem DatabaseManipulator in die Datenbank geschrieben wurden

Darüber hinaus können über den DatabaseManipulator auch SQL-Statements gegen die Datenbank abgesetzt werden. Es ist allerdings ratsam, im Fall von großen Ergebnismengen oder komplexeren Statements auf fortgeschrittenere Datenbank-Anwendungen zurückzugreifen.

Derzeit wird eine Sammlung von SQL-Skripten zur Auswertung und Aufbereitung der Daten angelegt.

3.2.9 Zusammenfassung technische Arbeiten

Die folgende Liste gibt einen Überblick über die im Berichtszeitraum durchgeführten technischen Arbeiten:

- Refactoring auf *DeepHousehold 2.0*
- Reorganisation der Ergebnisausgabe
- Höhere Fehlertoleranz / besserer Umgang mit Problemen Warnungen bei unkritischen Problemen, Abbruch bei kritischen Problemen

- Sonstige Performanceoptimierungen
- Sonstige Qualitätssicherungsmaßnahmen
- Dokumentation
- Anpassung die sich aus dem Modell-Kontext ergeben wie z.B. *Framework*-Änderungen, neues *Delivery*-Konzept, Schnittstellen Änderung (z.B. anderer Bevölkerungsdaten-Import), Einbau *FloodFlag*-Import
- Neuer Dummy

Es werden weiterhin Anstrengungen unternommen, die technische Qualität der Berechnungen sicherzustellen. Neben der Verbesserung der Dokumentation und der Lesbarkeit des Codes ist dies eine der Hauptaufgaben im technischen Bereich.

4. *DeepHousehold*: Simulationsergebnisse

Nachfolgend werden einige exemplarische Ergebnisse von *DeepHousehold* graphisch vorgestellt und beschrieben.

Abbildung 8 zeigt die Jahressummen für den Gesamtwasserbedarf in den drei unterschiedlichen gesellschaftlichen Szenarien. Bedingung: Assembly-Läufe mit Klimatrend 1 und Klimavariante 1, Stand Januar 2008. Insgesamt ist der Wasserverbrauch in allen drei Gesellschaftsszenarien aufgrund von Innovationen und Sparaufrufen rückgängig. Man kann deutlich erkennen, dass der Wasserverbrauch im Szenario Nachhaltigkeit über den gesamten Simulationszeitraum 2011-2060 am geringsten ist. Dies ist zum einen auf eine vermehrte *drinkingwaterQuantityFlag* und zum anderen auf ein gesteigertes Umweltbewusstsein der Milieus zurückzuführen. Im Szenario Baseline liegt der Verbrauch etwas unter dem Szenario Liberalisierung, in dem der Wasserverbrauch am höchsten bleibt.

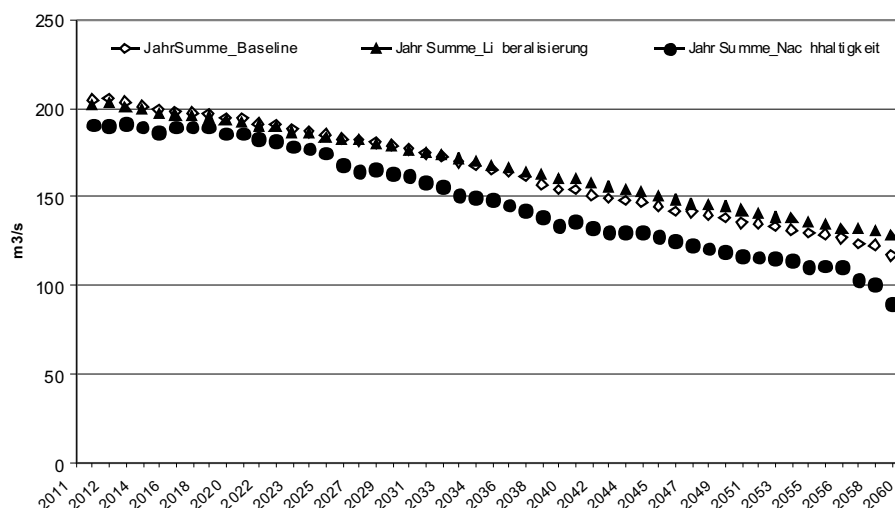


Abb. 8: Zeitreihe der Jahressummen für Wasserbedarf (über alle Milieus und Nutzungsarten) - Gegenüberstellung der drei gesellschaftlichen Szenarien

Abbildung 9 zeigt einen Vergleich des mittleren, minimalen und maximalen Wasserverbrauchs in den drei Szenarien. Im Szenario Nachhaltigkeit wird im Mittel deutlich weniger Wasser verbraucht, als in den anderen beiden Trends. Die Maxima sind jedoch nicht im Szenario Liberalisierung am höchsten, sondern in Baseline.

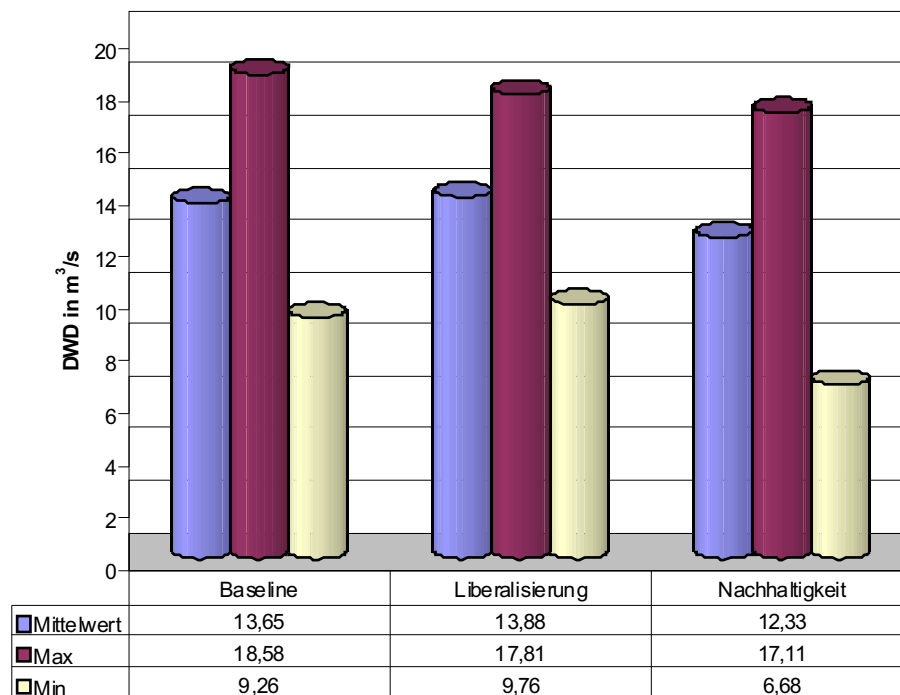


Abb. 9: Balkendiagramm für den Vergleich der gesellschaftlichen Szenarien Baseline, Liberalisierung und Nachhaltigkeit bezüglich des Gesamtwasserungsverbrauchs

Vergleicht man zwei Milieus unter den drei Gesellschaftsszenarien, sieht man, dass die Aktiviertheit sowohl vom Milieu, als auch vom Gesellschaftsszenario abhängig ist (Abb. 10). Verglichen mit den Traditionellen Milieus zeigen die Postmateriellen in allen Szenarien eine höhere Aktiviertheit. Bei beiden Milieus ist die Aktiviertheit im Szenario Liberalisierung am geringsten und im Szenario Nachhaltigkeit am höchsten; im Szenario Baseline liegt die Aktiviertheit im mittleren Bereich.

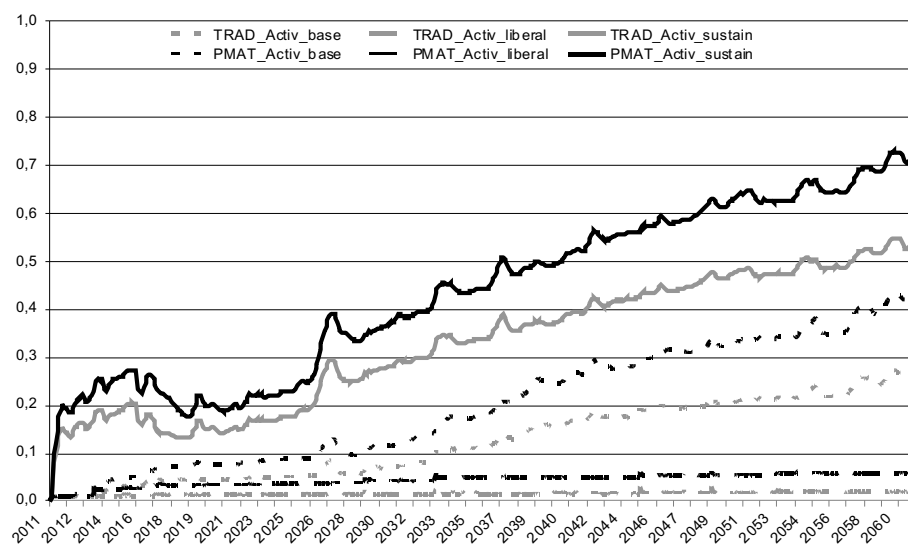


Abb. 10: Zeitreihe der Aktiviertheit für zwei gegensätzliche Milieus (Traditionelle Milieus; Postmaterielle) in drei gesellschaftlichen Szenarien

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Leitwertfächer zum Zeitschritt 03/2040 in den drei Szenarien. Das Baseline-Szenario ist in Abbildung 11 zu sehen, zeigt die Leitwertfächer für die beiden gegensätzlichen Szenarien im direkten Vergleich. Der Leitwert *Freeaction*

(Handlungsfreiheit) ist in allen drei Szenarien aufgrund von Warnflaggen und damit verbundenen Wassersparaufrufen am stärksten betroffen.

Abb. 11: Leitwertfächer für das Baseline-Szenario zum Zeitschritt 03/2040. Die Belastung der Leitwerte befindet sich zwischen der, die sich in den beiden Szenarien Nachhaltigkeit und Liberalisierung ergibt (s. Abb. 12). Zu sehen sind aggregierte Daten über alle Milieus und Proxel

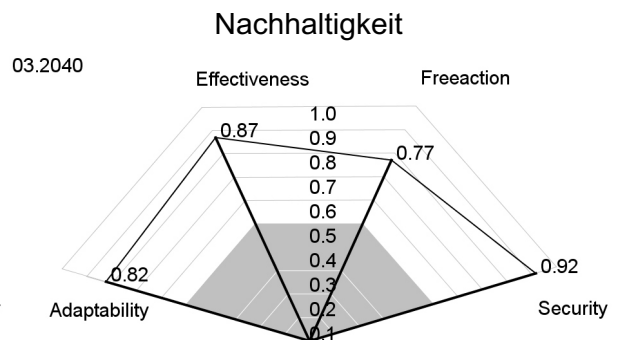
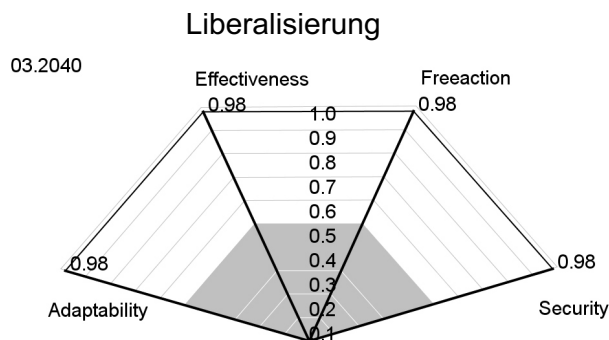
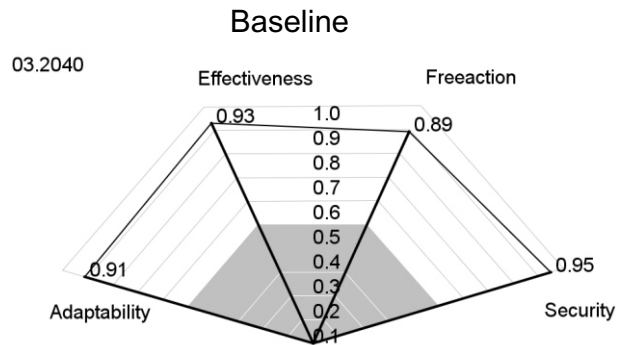


Abb. 12: Vergleich der beiden Megatrends Liberalisierung und Nachhaltigkeit anhand des Leitwertfächers im Zeitschritt 3/2040. Zu sehen sind aggregierte Daten über alle Milieus und Proxel

Abbildung 13 zeigt die räumlich aufgelöste Darstellung des Leitwerts Handlungsfreiheit zum Zeitschritt 03/2040 für zwei Milieus im Vergleich. Es ist erkennbar, dass in einigen Regionen Events auftreten, die einen Einfluss auf die Leitwerte haben. Dieser Einfluss fällt aufgrund der unterschiedlichen Sensitivität bzgl. der Leitwerte für die Milieus unterschiedlich stark aus.

LEIT Leitwert 01.03.2040

TRA Leitwert 01.03.2040

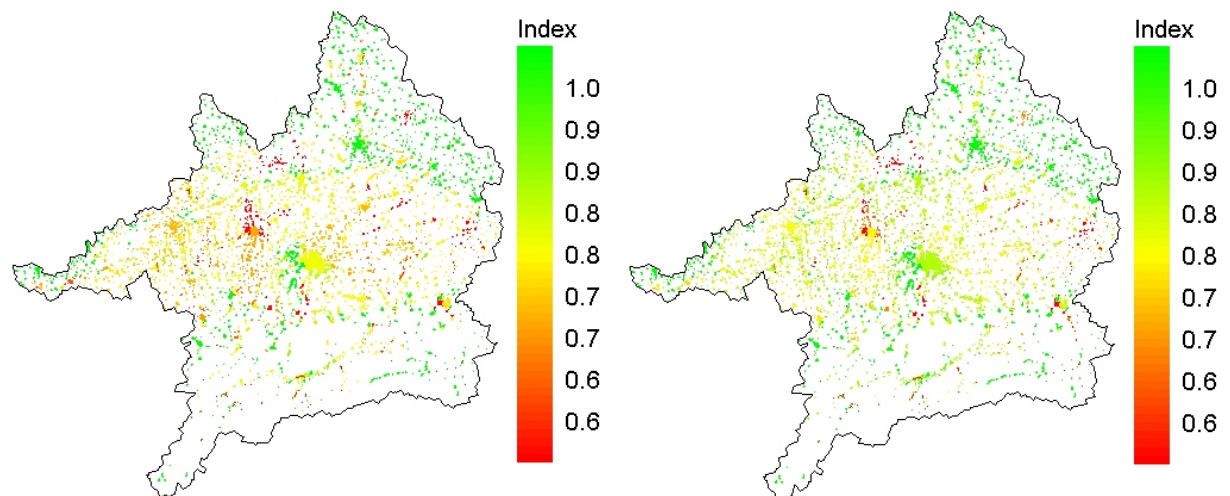


Abb. 13: Räumlich aufgelöste Darstellung des Leitwerts Handlungsfreiheit (*freedom of action*) für Sonstige Gesellschaftliche Leitmilieus (links) und Traditionelle Milieus (rechts) im Zeitschritt 03/2040

5. Zusammenfassende Bewertung und Ausblick

5.1 Stand und Bewertung der Entwicklung

Das Modell *DeepHousehold* wurde in wesentlichen inhaltlichen und technischen Punkten weiterentwickelt. Insbesondere lag ein Arbeitsschwerpunkt auf der Szenarienbildung und Analyse hinsichtlich psychologisch-sozialer Indikatoren, so dass *DeepHousehold* nun neben dem Innovationmodul ein weiteres Submodul zu psychologisch-sozialen Indikatoren der Nachhaltigkeit besitzt.

Eine systematische Analyse der möglichen Szenarienkombinationen hat gezeigt, dass *DeepHousehold* sowohl in lokalen Modellläufen, als auch im Verbund mit anderen DANUBIA-Teilmodellen plausible, logische Ergebnisse liefert. Die Kopplung von *DeepHousehold* mit den erforderlichen anderen DANUBIA-Teilmodellen läuft ohne Schwierigkeiten.

Durch technische Maßnahmen konnte die Performance von *DeepHousehold* weiter verbessert werden, das betrifft sowohl die Rechenzeit und die Testbarkeit verschiedener Module innerhalb des Modells, als auch neue Formen der Ergebnisauswertung und Ergebnisdarstellung. Das erlaubt im Rahmen des Modells eine kurzfristige und unkomplizierte Umsetzung der gewünschten Szenarien (z.B. von *Stakeholder*seite) und eine vielfältige, bedarfsangepasste Visualisierung.

5.2 Ausblick auf den verbleibenden Teil der dritten Förderphase

Ein wichtiger Punkt, der in Teilen bereits begonnen wurde, ist die intensivierete Fortsetzung der Modellvalidierung zur Abschätzung der Modellgüte und fortlaufende Verbesserung. Darüber hinaus werden derzeit retrodiktive Validierungsläufe vorbereitet, die zeitnah in DANUBIA gerechnet werden.

Durch bereits stattgefundenen *Stakeholder*-Workshops gab es erste wichtige Vorschläge und Impulse, die in Teilen bereits im, bzw. mit dem Modell umgesetzt wurden. Dazu gehören u.a. innovative Formen der Ergebnisaufbereitung und -darstellung, die derzeit entworfen und konzeptioniert werden. Durch die fortgesetzte Teilnahme des Teilprojekts am *Stakeholder*-Prozess werden weitere Anforderungen erwartet

Global Change Szenarien und deren Wirkung auf die Ökonomie und Demographie des oberen Donau Einzugsgebiet

Teilprojekt: Umweltökonomie
 Leiter: Dr. Johann Wackerbauer
 Ausführende Stelle: ifo Institut für Wirtschaftsforschung
 Poschingerstraße 5
 81679 München
 Bereich Umwelt, Verkehr

1. Überblick

In der zweiten Projektphase des Projekts GLOWA-Danube wurden durch die Projektpartner die theoretischen Grundlagen zur integrierten sozioökonomischen und naturwissenschaftlichen Modellierung der Wasserkreisläufe im oberen Donau-Einzugsgebiet in das computerbasierte Entscheidungsunterstützungssystem GCDSS-DANUBIA umgesetzt. Dieses erlaubt es insbesondere Klimaszenarien und gesellschaftliche Schocks und deren Wirkungen zu simulieren. Die Zielsetzungen des ifo Instituts waren dabei eine möglichst realistische Simulation wasserspezifischer Entscheidungen jedes einzelnen, für den Wasserkreislauf bedeutenden Industriebetriebes abzubilden sowie die simultane Modellierung der demographischen Entwicklung und ihrer Unterteilung in, aus Sicht der Wassernutzung, entscheidungsrelevante Kenngrößen. Damit soll die Bevölkerungsentwicklung als eine treibende Kraft zur Bildung von Szenarien mit unterschiedlichen Annahmen über Geburten- und Sterberaten sowie Migration etabliert werden. In der Phase III des Projekts werden unter anderem klimatische und gesellschaftliche Szenarien von Interesse erarbeitet und deren mittel- bzw. langfristigen Auswirkungen auf Basis von GCDSS-DANUBIA beurteilt. Zusätzlich steht neben der kontinuierlichen Verbesserung der Industrie- und Demographie-Modelle deren tiefere Validierung im Vordergrund. Eines der wichtigsten Ziele ist es außerdem, GCDSS-DANUBIA für einen breiten Anwenderkreis zugänglich, nutzbar und erweiterbar zu machen.

2. Organisatorisches

2.1 Personalien

Die Personalbesetzung stellt sich aktuell wie folgt dar:

- Dr. Johann Wackerbauer: Projektleitung und -bearbeitung, Bereich Umwelt, Verkehr
- Dr. Markus Zimmer: Projektbearbeitung, Bereich Umwelt, Verkehr
- Dipl. Volkswirt Christoph Jeßberger: Projektbearbeitung (Doktorandenstelle), Bereich Umwelt, Verkehr
- Maximilian Sindram: Projektbearbeitung (studentische Hilfskraft), Bereich Umwelt, Verkehr

2.2 Veranstaltungen

Die Mitglieder des Teilprojekts Umweltökonomie haben an diversen internen Veranstaltungen des Projekts sowie an zahlreichen bi- und multilateralen Gesprächen unter den Projekt-

mitgliedern der andern Bereiche teilgenommen. Im Einzelnen sind die folgenden Treffen besonders hervorzuheben:

- 02.-03.05.2008 GLOWA-Danube Workshop in Herrsching am Ammersee
 Von der Forschungsgruppe Umweltökonomie nahmen an der Tagung Dr. Johann Wackerbauer, Dr. Markus Zimmer und Christoph Jeßberger teil. Die Teilnehmer stellten den aktuellen Arbeitsstand des Teilprojektes Umweltökonomie vor. Anschließend wurden in Gruppen gemeinsam die ersten Szenarien für die Berechnungen im Modellverbund ausgewählt und Strategien für den Stakeholderprozess erarbeitet sowie Ziele für die Fortführung von DANUBIA über die Projektlaufzeit hinaus diskutiert und festgelegt.
- 30.-01.10.2008 GLOWA-Danube Klausurtagung in der Evangelischen Akademie Hof Geismar bei Kassel
 Dr. Markus Zimmer, Christoph Jeßberger und Maximilian Sindram von der Forschungsgruppe Umweltökonomie nahmen an der Klausurtagung teil. Die Klausurtagung stand insbesondere im Zeichen der Szenarien. Die Ergebnisse der bis dahin gerechneten Szenarien wurden vorgestellt und die weiter zu rechnenden Szenarien bestimmt. Des Weiteren wurden die Ziele für die verbleibende Projektlaufzeit festgelegt.

Weitere Veranstaltungen

Um das Gesamtprojekt bzw. das Teilprojekt Umweltökonomie darüber hinaus näher an die wissenschaftliche Öffentlichkeit zu bringen, wurden Vorträge auf diversen referierten, internationalen Konferenzen gehalten, in denen der Forschungsansatz von GLOWA-Danube und des umweltökonomischen Teilprojekts einem fachkundigen Auditorium vorgestellt und zur Diskussion gestellt wurde. Im Einzelnen haben Vertreter des Teilprojekts auf den folgenden Konferenzen teilgenommen:

- 02.-04.06.2008 XXIVth Conference of the DANUBIAN Countries, Bled, Slowenien.
- 06.06.2008 Kommunales Infrastruktur-Management, Berlin.
- 09.-10.06.2008 Seventh Workshop on „Spatial Econometrics and Statistics“, Paris, Frankreich.
- 25.-29.06.2008 World Congress of the International Economic Association, Istanbul, Türkei.
- 09.-11.07.2008 Econometric Society Australasian Meeting, Wellington, Neuseeland.
- 16.-18.07.2008 Far Eastern and South Asian Meeting of the Econometric Society, Singapur, Singapur.
- 22.-25.08.2008 International Institute of Public Finance IIPF Congress, Maastricht, Niederlande.
- 18.-20.09.2008 Annual Conference of the European Association of Labour Economists, Amsterdam, Niederlande.
- 23.-26.09. 2008 Jahrestagung des Vereins für Socialpolitik, Graz, Österreich.

2.3 Veröffentlichungen

Zusätzlich zu der Außendarstellung des ökonomischen Teilprojekts von GLOWA-Danube durch die Teilnahme an wissenschaftlichen Konferenzen ist die Präsenz durch wissenschaftliche Publikationen wichtig. Dazu ist im Berichtszeitraum insbesondere die Disserta-

tion von Markus Zimmer zu dem Thema "Assessing Global Change from a Regional Perspective: An Economic Close-Up of Climate Change and Migration" zu erwähnen. Des Weiteren bestehen zwei aktuelle gemeinsame Working Papers von Christoph Jessberger und Markus Zimmer zu den Themen „The Interaction of Global Warming Induced Water-Cycle Changes and Industrial Production - A Scenario Analysis for the Upper Danube River Basin“ und „Estimating the Value of Water for Industrial Production in Germany“.

3. Modelle

Die Entwicklung des Industrie- und des Demographiemodells gilt im Wesentlichen als abgeschlossen, jedoch ergaben sich im Rahmen der Szenarienläufe wie bei den anderen Teilmodellen auch im ökonomischen Teilmodell noch Verbesserungspotentiale. Es zeigt sich, dass die intensiven und vielfältigen Interaktionen zwischen den Modellen nur schwer in der vorangehenden theoretischen Modellierungen erfassbar sind und deshalb ständige Anpassungen nötig und Verbesserungen möglich sind. Diese beziehen sich nicht auf die grundlegende Modellierung oder gar theoretische Fundierung, sondern dienen lediglich der Kalibrierung der Szenarienergebnisse anhand der real beobachteten Daten. Dazu wurde insbesondere für das Demographiemodell ein automatisierter iterativer Anpassungsprozess entwickelt, welcher die Abweichungen der Modellergebnisse von der Realität anhand eines numerischen Anpassungsalgorithmus, welcher an das Bisektionsverfahren angelehnt ist, minimiert.

3.1 Der Tiefe Akteur Industrieunternehmen

Das Teilprojekt Umweltökonomie entwickelte bis zum Abschluss der zweiten Projektphase das grundlegende ökonomische Modell. Die in der dritten Projektphase angestrebte Verbesserung der Szenarienfähigkeit und Optimierung der Reagibilität sind weitestgehend abgeschlossen und erste Szenarienergebnisse liegen vor. Im weiteren Verlauf sollen insbesondere weitere Szenarien berechnet, ausgewertet und die entsprechenden Politikimplikationen daraus abgeleitet werden. Des Weiteren steht in der dritten Projektphase neben der Generierung und Auswertung relevanter Szenarien, vor allem die Ausrichtung der Teilmodelle auf eine langfristige und nachhaltige Nutzung durch mögliche Stakeholder im Vordergrund. Abgesehen von den kontinuierlichen Anpassungen an die Erweiterungen des *DANUBIA Frameworks* stand das letzte Jahr vor allem im Zeichen der Szenariengenerierung.

3.1.1 Ergebnisse der Szenarienläufe

Die Auswirkungen klimatischer oder gesellschaftlicher Szenarien können durch die Analyse der jeweiligen Unterschiede in den Entwicklungen verschiedenster Kenngrößen verdeutlicht werden. Im Folgenden wird dies für die ökonomische Entwicklung in der zeitlichen Perspektive von 2012-2025 beispielhaft an den beiden Indikatoren BRP (Bruttoregionalprodukt, Wertschöpfung innerhalb einer Region) und industrielle Grundwassernutzung verdeutlicht. Zur Bestimmung dieser Indikatoren innerhalb des oberen Donau-Einzugsgebiets wurden deshalb drei Szenarien gerechnet: Ein Baseline-Szenario (Gesellschaftlicher Megatrend 1 (GMT1)), ein Liberalisierungsszenario (GMT2) und ein Nachhaltigkeitszenario (GMT3) wurden, angetrieben von dem Klimatrend 1 (KT1: IPCC regional) und der Baseline-Klimavariante (KV1), gerechnet (siehe Klima- und Gesellschaftsszenarien in *GLOWA-Danube*). Die Resultate der Szenarien stammen aus lokalen Modellläufen des Modelverbunds von Economy zusammen mit Demography inklusive der Berücksichtigung derer Feedbackmechanismen sowie der Integration der Ergebnisse der anderen Akteurs- und Klimamodelle ohne Berücksichtigung derer intermodellspezifischen Rückkopplungseffekte. Das Baseline-Szenario beschreibt die Entwicklung der Ökonomie, die sich durch ein Fortschreiben des bisherigen Status quo ergibt und dient daher als Referenz für den Vergleich der Veränderungen, die sich bei den beiden anderen Szenarien (GMT2 und GMT3) abzeichnen. Die Ergebnisse wer-

den in Differenzen des Bruttoregionalprodukts bzw. der Grundwassernutzung zwischen den Szenarien dargestellt und beschrieben.

Entwicklung der Industriellen Grundwassernutzung

Zunächst betrachten wir in Abbildung 1 die Veränderung der industriellen Grundwassernutzung zwischen 2012 und 2025. Das heißt, hier wird zunächst kein Vergleich zwischen zwei Szenarien dargestellt, sondern anhand der Ergebnisse des GMT1 gezeigt, in welchen Größenordnungen die Industrieakteure auf die sich ändernde Umwelt reagieren. In der Karte ist demnach die prozentuale Veränderung der Grundwassernutzung der Industrie auf jedem Proxel zu sehen.

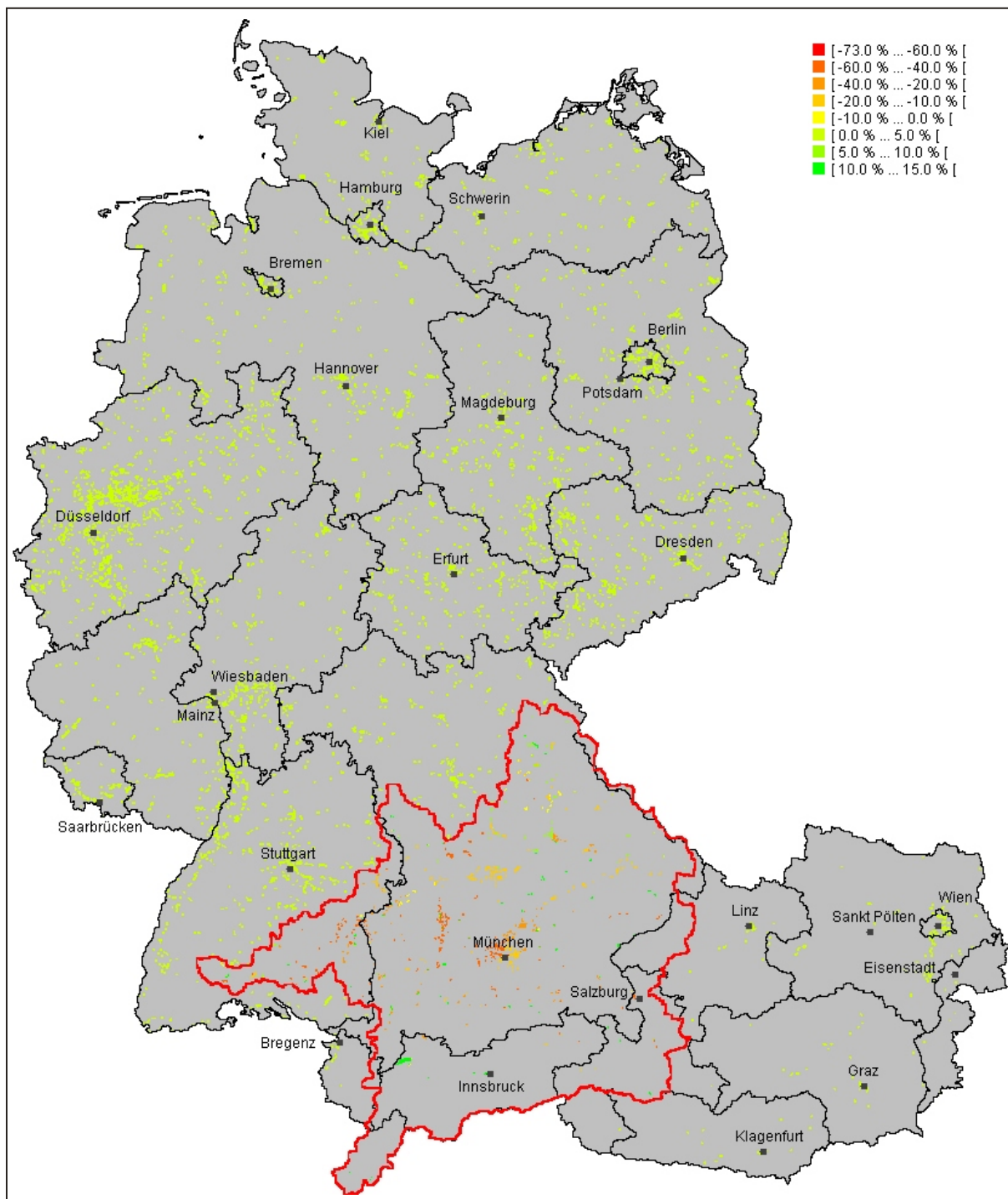


Abb. 1: industrielle Grundwassernutzung 2012-2025 GMT1 (Angaben in Prozent) (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Im Vergleich des Jahres 2025 zum Jahr 2012 liegt der größte Teil der Veränderung der industriellen Grundwassernutzung zwischen -50% und +10%. Das käme einer jährlichen durchschnittlichen Veränderungsrate von etwa -1.35% bis +1.19% gleich. Deutlich zu erkennen ist die regional sehr unterschiedliche Veränderung der industriellen Grundwassernutzung. Dabei ist aufgrund des klimabedingten rückläufigen Grundwasserdargebots der Rückgang in der industriellen Grundwassernutzung im Alpenvorland am stärksten. Im Norden des Einzugsgebiets bleibt die Lage weiterhin entspannt. Dort ist kein grundsätzlicher klimabedingter Rückgang der industriellen Grundwassernutzung zu beobachten.

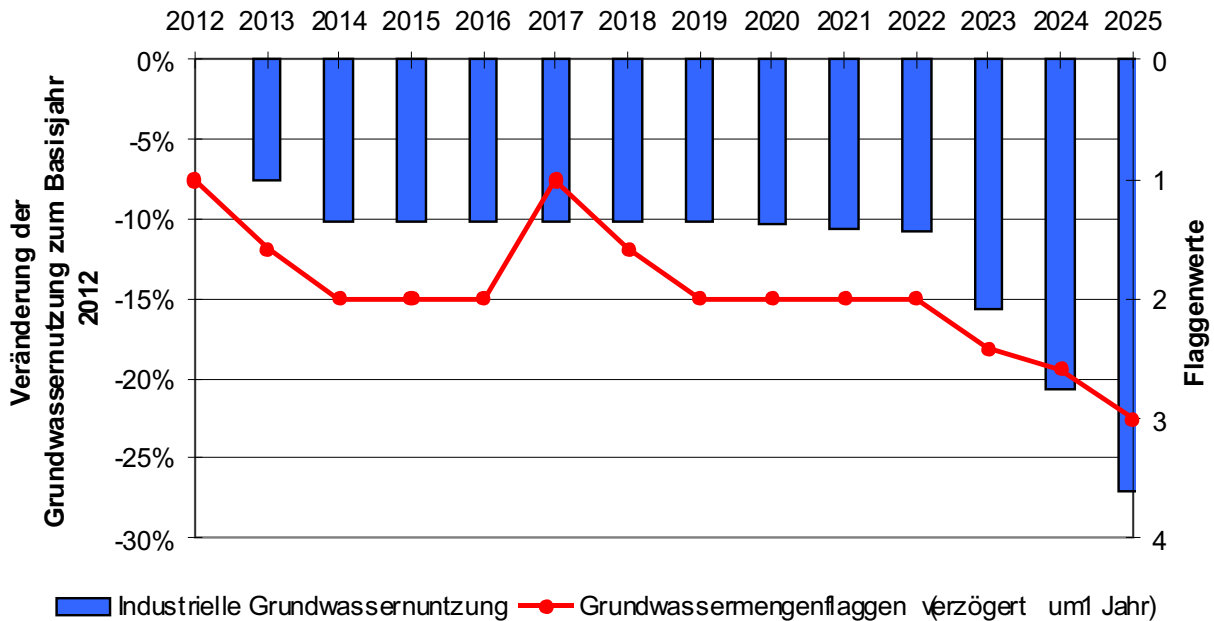


Abb. 2: Veränderung der industriellen Grundwassernutzung im Vergleich zum Basisjahr 2012 und die jährlichen verzögerten Grundwassermengenflaggen in Augsburg (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

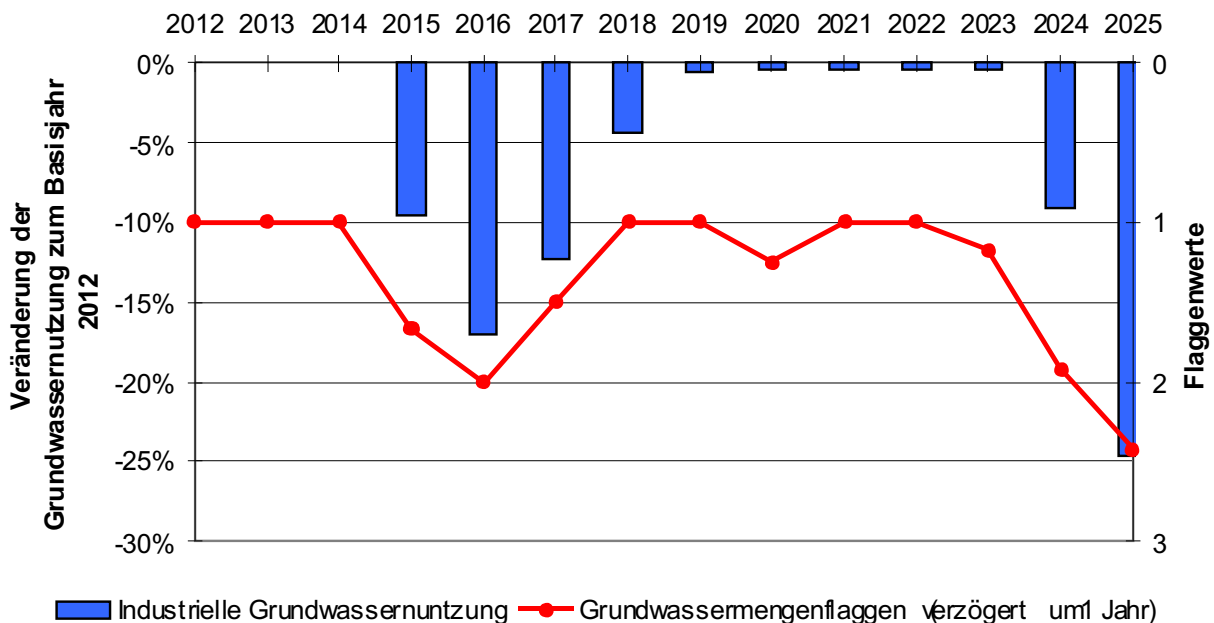


Abb. 3: Veränderung der industriellen Grundwassernutzung im Vergleich zum Basisjahr 2012 und die jährlichen verzögerten Grundwassermengenflaggen in Salzburg (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Am Beispiel von Augsburg und Salzburg, die im deutschen bzw. österreichischen Voralpenland liegen, ist zu erkennen, wie unterschiedlich die industrielle Grundwassernutzung auf die sich ändernden klimatischen Bedingungen reagiert, das heißt wie unterschiedlich die einzelnen Regionen vom klimabedingten veränderten Grundwasserdargebot betroffen sind.

In Augsburg entspannt sich zwar zwischenzeitlich (in den Jahren 2017 und 2018) die Grundwassersituation, doch da bis zum Jahr 2025 der Flaggenwert 3 (von maximal 4) erreicht wird, reduziert die Industrie ihre Wassernachfrage gegenüber dem Jahr 2012 erheblich. Gut zu erkennen ist diese Reaktion anhand des sehr ähnlichen Laufs der industriellen Grundwassernachfrage und den durchschnittlichen jährlichen Flaggenwerten des Vorjahres.

In Salzburg zeigt sich hingegen ein ganz anderer Verlauf, bis im Jahr 2025 die Grundwassersituation ein ähnlich prekäres Niveau erreicht (Flaggenwert zwischen 2 und 3) und die Salzburger Industrie ebenfalls die Grundwassernutzung gegenüber dem Jahr 2012 drastisch reduzieren muss. Im Vergleich zu Augsburg ist vor allem der Bereich zwischen den Jahren 2017 und 2023 beachtenswert, in dem in Salzburg das Grundwasserdargebot deutlich besser ist (Flaggenwerte von 1 statt 2). Hier wird der regionale Unterschied zwischen dem deutschen und österreichischen Voralpenland am deutlichsten ersichtlich.

Industrielle Grundwassernutzung im Szenarienvergleich

In Abbildung 4 wird die relative Veränderung der industriellen Grundwassernutzung auf jedem industriell besiedelten Proxel von 2012 bis 2025 im Vergleich der beiden gesellschaftlichen Szenarien Liberalisierung (GMT2) vs. Nachhaltigkeit (GMT3) dargestellt. Es wird also die Differenz der jeweiligen prozentualen Veränderungen auf jedem Proxel gebildet. Somit stellen positive Werte einen höheren Wasserbedarf im Nachhaltigkeitsszenario (GMT3) dar, während negative Prozentwerte einen niedrigeren industriellen Grundwasserbedarf im Nachhaltigkeitsszenario (GMT3) darstellen.

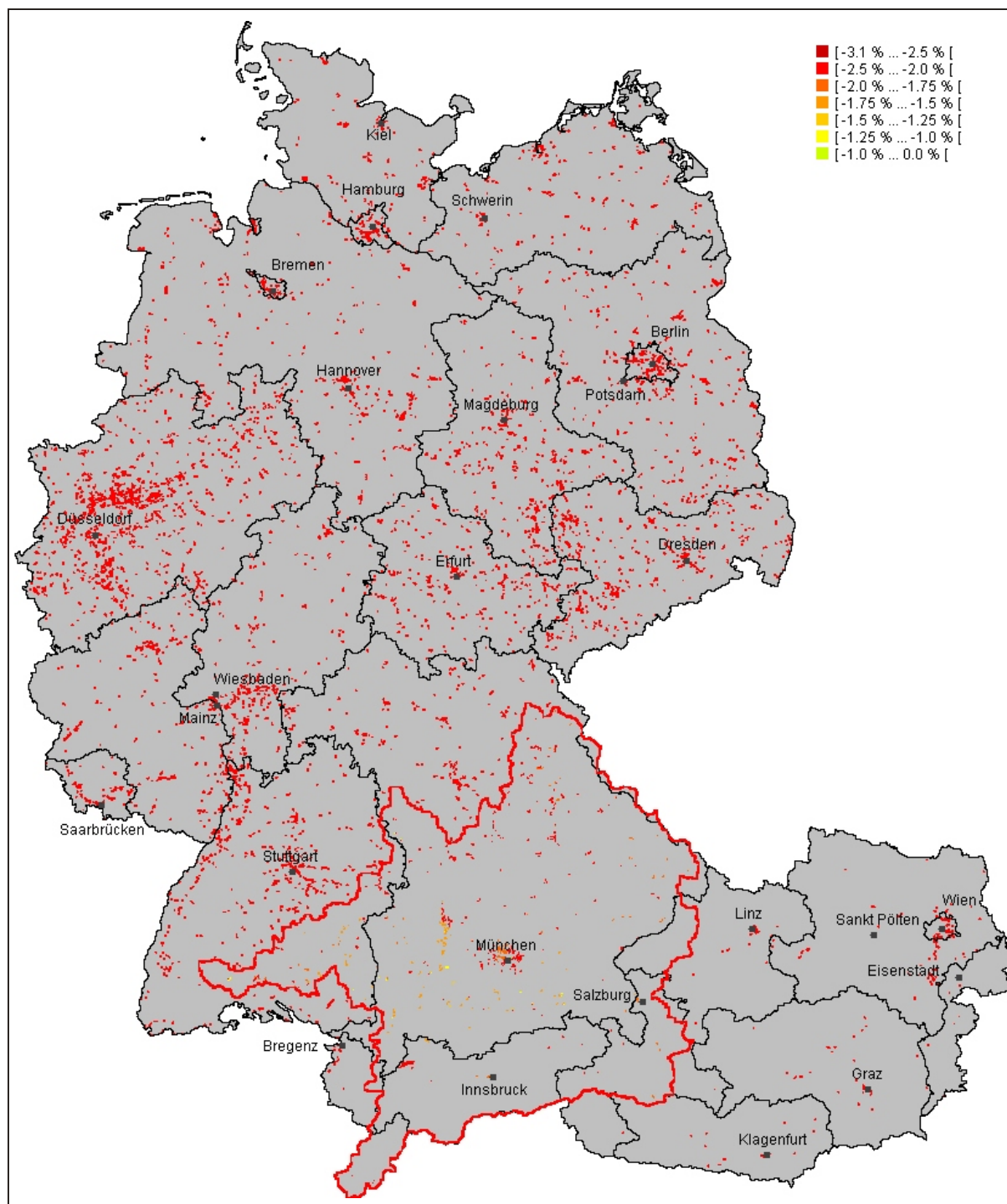


Abb. 4: industrielle Grundwassernutzung 2012-2025 im Szenarienvergleich (GMT2 vs. GMT3, Angaben in Prozent)(Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Der größte Teil der prozentualen Unterschiede im GLOWA Einzugsgebiet liegt zwischen -3.1% und +0.0%. Dies bedeutet, dass die jährlichen Unterschiede etwa zwischen -0.24% und +0.0% liegen. Ein Rückgang der industriellen Grundwassernutzung ist auf dem gesamten Gebiet zu erkennen. In der Alpenregion sinkt die industrielle Grundwassernutzung regional unterschiedlich stark. Die regionalen Unterschiede lassen sich aus den stärker differierenden regionalen Grundwasserbedingungen und den damit verbundenen Wechselwirkungen zwischen den mehr und weniger stark betroffenen Gebieten ableiten. Und die im Nachhaltigkeitsszenario (GMT3), höhere staatliche Förderung von Nachhaltigkeitsinnovationen führt darüber hinaus zu einer verstärkten Reaktion der Industrie auf die sich dort verschlechternden Grundwasserbedingungen.

Entwicklung des Bruttoregionalprodukts

Hier wird erneut anhand der Ergebnisse des GMT1 gezeigt, in welchen Größenordnungen die Industrieakteure ihre Produktion an die sich ändernde Umwelt anpassen. In Abbildung 5 ist demnach die prozentuale Veränderung des Bruttoregionalproduktes zwischen den Jahren 2012 und 2025 auf jedem Proxel zu sehen.

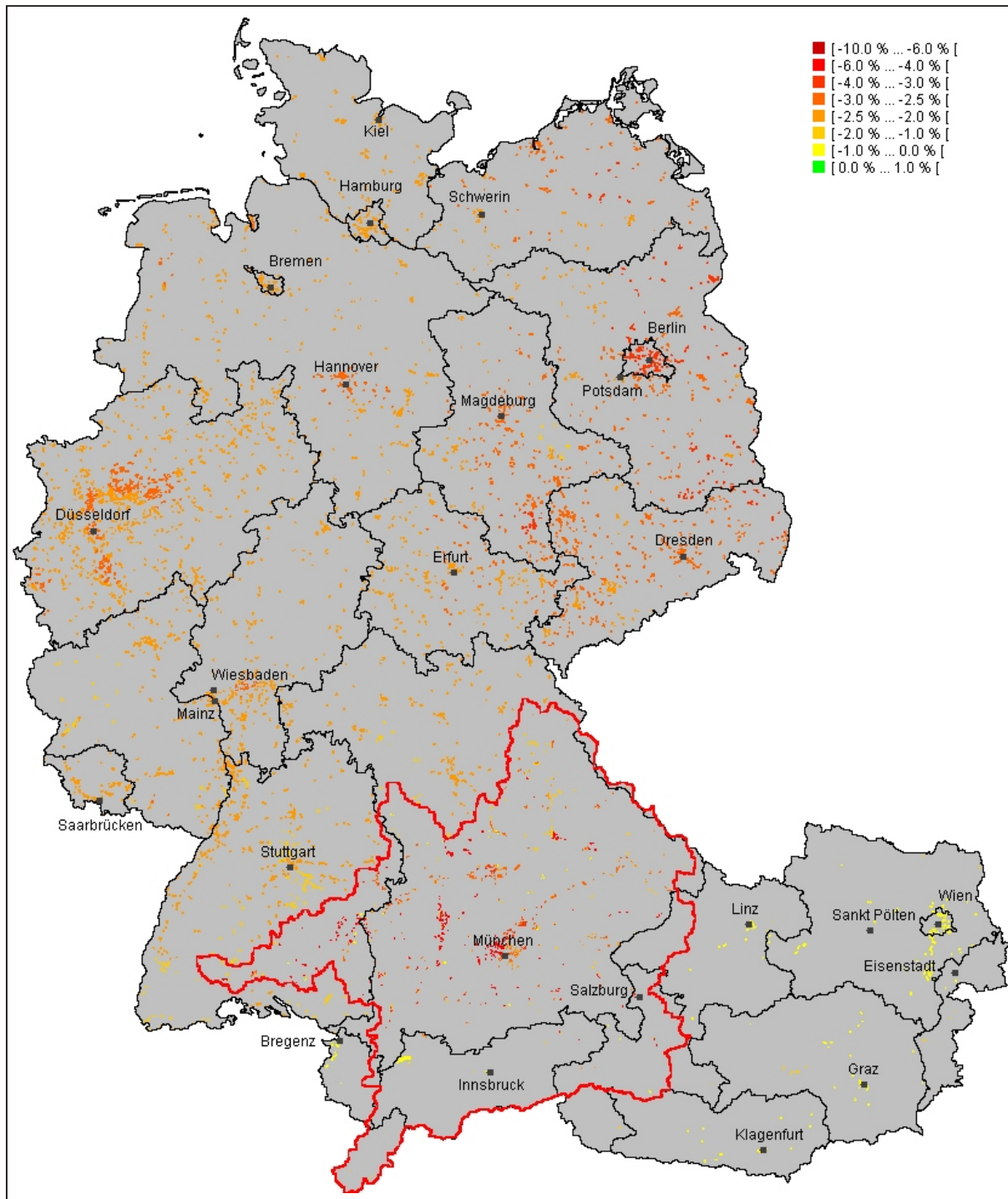


Abb. 5: Bruttoregionalprodukt 2012-2025 GMT1 (Angaben in Prozent)(Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Hier kann man einen Rückgang des Bruttoregionalproduktes um bis zu 6% feststellen. Das käme einer jährlichen durchschnittlichen Veränderungsrate von bis zu -1.15% gleich. Der Bevölkerungsrückgang und die damit abnehmende arbeitsfähige Bevölkerung sind hier die treibenden Kräfte des realen Rückgangs des Bruttoregionalproduktes. Auch die Binnenmigration nach Süddeutschland wirkt nur dämpfend und kann den rückläufigen Bevölkerungstrend nicht kompensieren. Der stärkere Bruttoregionalprodukt-Rückgang im Voralpenland, bedingt durch die sich dort verschlechternden Grundwasserbedingungen (s. GLO-WA-Danube *Groundwaterflow*) zeichnet sich hier, wie schon in der industriellen Grundwassernutzung, erneut ab.

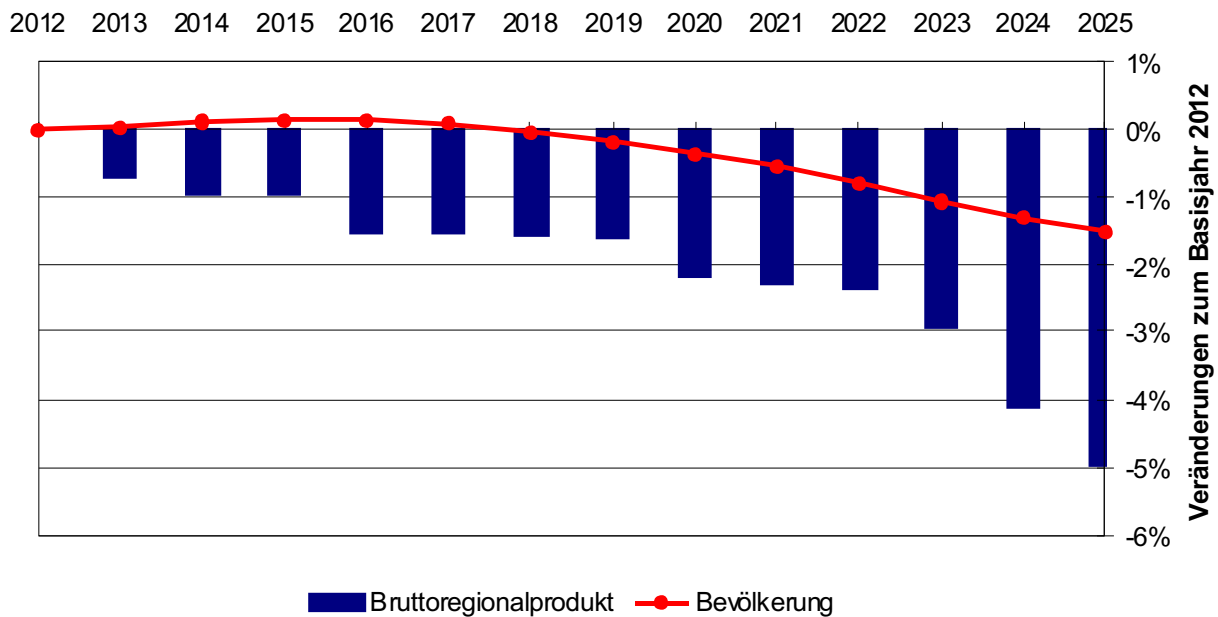


Abb. 6: Veränderung des Bruttoregionalproduktes und der Bevölkerung im Vergleich zum Basisjahr 2012 in Augsburg (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

deutschen Voralpenland (am Beispiel Augsburg) ist deutlich der Zusammenhang zwischen der Bevölkerung (vgl. Statistisches Bundesamt, 2003) und dem Bruttoregionalprodukt zu erkennen (s. Abb. 6). Die sinkende industrielle Grundwassernutzung aufgrund des sinkenden Grundwasserdargebots verstärkt diesen Trend.

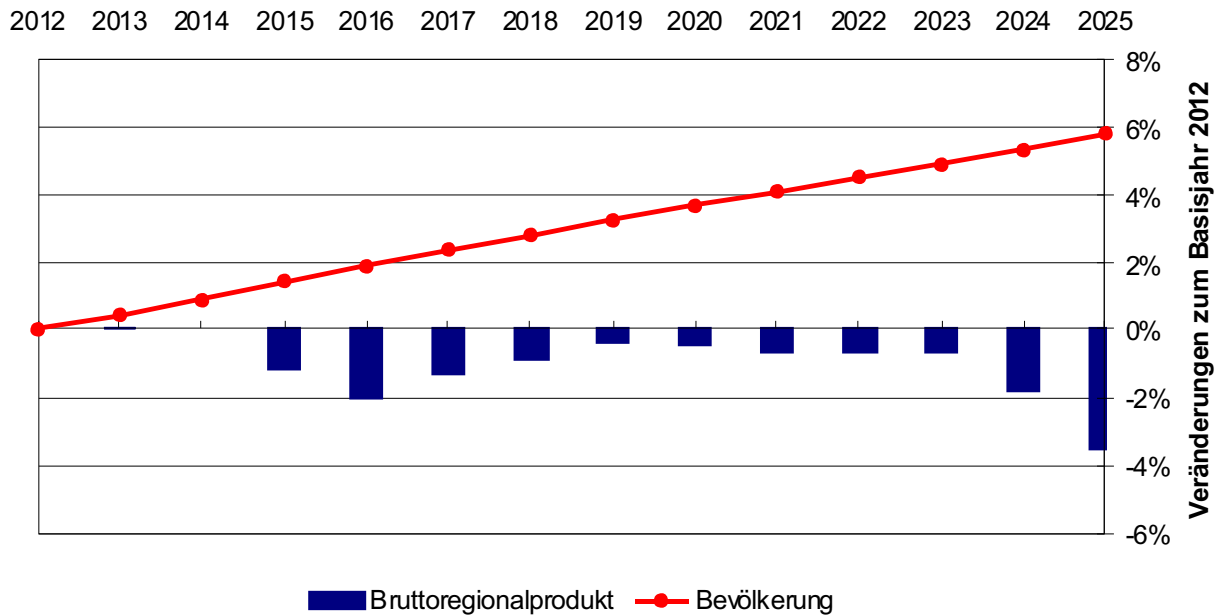


Abb. 7: Veränderung des Bruttoregionalproduktes und der Bevölkerung im Vergleich zum Basisjahr 2012 in Salzburg (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Trotzdem die demographische Entwicklung in Österreich aufgrund der höheren Geburtenraten (vgl. STATISTIK AUSTRIA, 2005) ein stetiges Bevölkerungswachstum in Österreich (am Beispiel Salzburg) aufweist, wirken sich auch hier die vorübergehend schlechteren Grundwasserbedingungen in den Jahren 2015 bis 2018 negativ auf das Bruttoregionalprodukt aus. Dennoch dämpft die positive Bevölkerungsentwicklung diesen Negativtrend deutlich ab.

Bruttoregionalprodukt im Szenarienvergleich

In Abbildung 8 wird die Differenz der Wachstumsraten des Bruttoregionalprodukts auf jedem Proxel zwischen 2012 und 2025 im Vergleich der beiden gesellschaftlichen Szenarien Liberalisierung (GMT2) vs. Nachhaltigkeit (GMT3) dargestellt. Positive Werte stellen ein stärkeres Wachstum im Nachhaltigkeitsszenario (GMT3) dar, während negative Prozentwerte ein schwächeres Wachstum des Bruttoregionalprodukts im Nachhaltigkeitsszenario (GMT3) darstellen. Der Wachstumsunterschied über die gesamte Periode von 13 Jahren liegt hauptsächlich zwischen -1.6% und +2.6% was einer jährlichen Differenz von etwa -0.12% bzw. +0.20% entspricht.

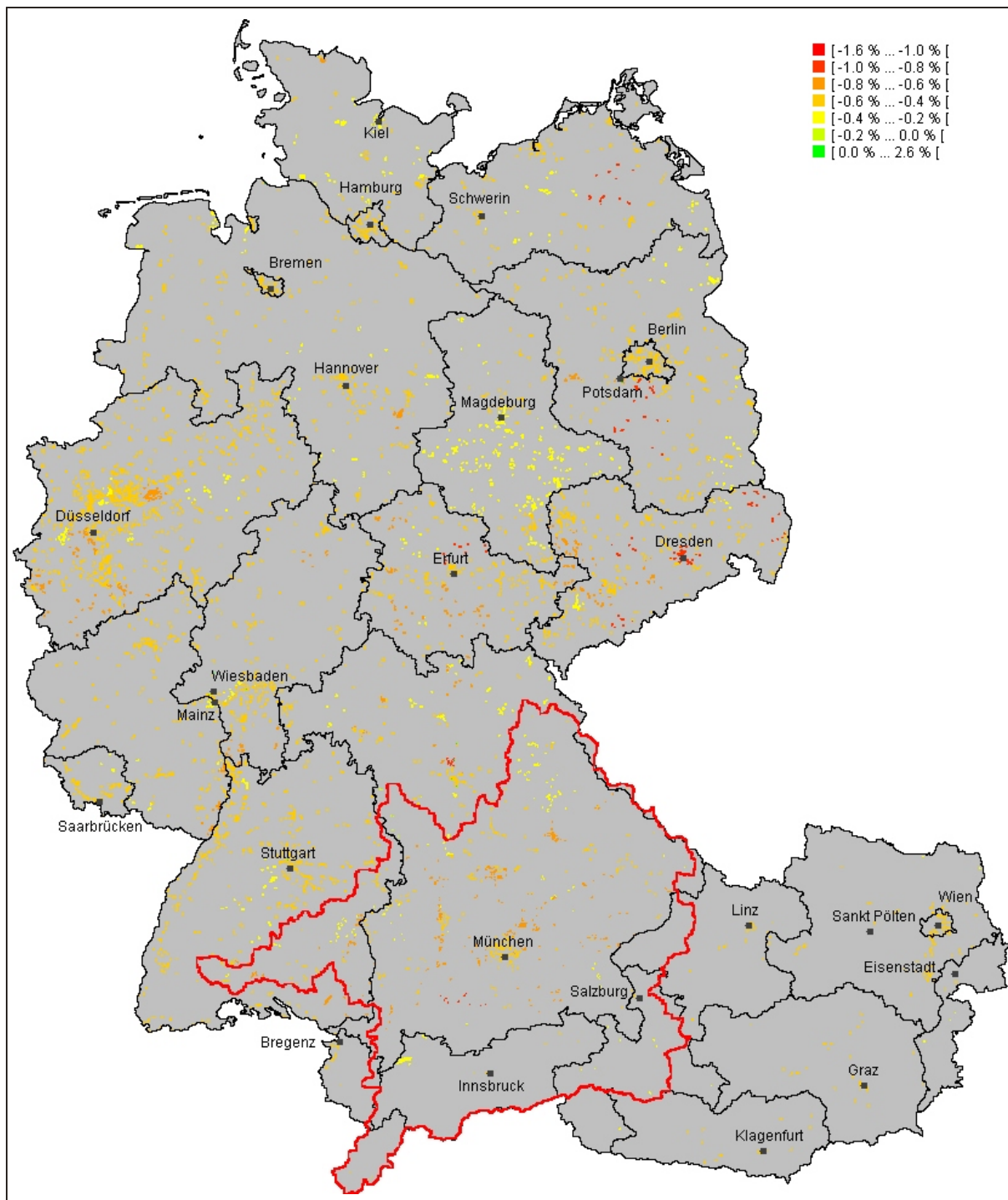


Abb. 8: Bruttoregionalprodukt 2012-2025 im Szenarienvergleich (GMT2 vs. GMT3, Angaben in Prozent)(Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Hier überwiegt auf den wenigen, in der Alpenregion vorkommenden industriell besiedelten Proxeln das stärker negative Wachstum des Bruttoregionalprodukts im Nachhaltigkeitszenario (GMT3) im Vergleich zum Liberalisierungsszenario (GMT2). Ursächlich dafür ist ebenfalls die stärkere Reaktion auf die sich verschlechternden Grundwasserbedingungen. Dabei verlagert sich die Produktion teilweise auf Proxel auf denen sich die Grundwasser-
verfügbarkeit im Zeitverlauf günstiger entwickelt. Dementsprechend profitieren Gebiete mit ausreichend Wasser von einer klimabedingten allgemeinen Verknappung des Grundwasserangebots.

3.2 Die Modellierung der Bevölkerungsentwicklung

Das Hauptziel des Demographie-Modells ist die Simulation der für den Wasserverbrauch relevanten Bevölkerungseinheiten. Dabei soll nicht nur die demographische Entwicklung berücksichtigt werden, sondern insbesondere auch Wert auf die räumliche Verteilung der Bevölkerung gelegt werden. Die Bezugseinheit für die räumliche Gliederung ist der einzelne besiedelte Proxel im betrachteten Einzugsgebiet. In der dritten Projektphase liegen nun erste Szenarienergebnisse vor, die unter Berücksichtigung der GLOWA-Danube-Szenarien simuliert wurden. Mittelfristig ist auch die Ausrichtung des Demographie-Modells auf eine langfristige und nachhaltige Nutzung durch mögliche Stakeholder geplant. Einige ausgewählte Ergebnisse aus den Szenarielläufen sollen in diesem Bericht exemplarisch dargestellt werden.

4. Auswertung der Szenarien

Im Folgenden werden ein Szenario, welches zusammen mit den anderen Modellen gekoppelt gerechnet wurde, sowie drei weitere lokal berechnete Szenarienergebnisse beschrieben. Betrachtet werden die relative Veränderung der Bevölkerung im gekoppelten Lauf sowie die Differenzen zwischen den beiden sozioökonomischen und den beiden klimatischen Szenarien über den Zeitraum von 2012 bis 2025. Die Szenarien gliedern sich in das Baseline-Szenario bzw. dem gesellschaftlichen Megatrend 1 (GMT1) des gekoppelten Laufes sowie die beiden gesellschaftlichen Megatrends Liberalisierung (GMT2) und Nachhaltigkeit (GMT3) aus den lokalen Läufen und dem gesellschaftlichen Megatrend 1 des gekoppelten Laufes mit dem Vergleich der beiden Klimavarianten Baseline (KV1) und 5-heißer Sommer (KV3) jeweils unter Verwendung des Baseline Klimatrends (KT1).

Bevölkerungsentwicklung im Baselineszenario (GMT1)

Dargestellt wird hier die Wachstumsrate der Bevölkerung auf jedem Proxel von 2012 bis 2025 im gekoppelten Lauf für das Baseline-Szenario bzw. dem gesellschaftlichen Megatrend 1 mit der Baseline Klimavariante (KV1) und dem Klimatrend 1 (KT1). Der allgemeine Bevölkerungsrückgang in Deutschland resultiert dabei hauptsächlich aus demographischen Faktoren, insbesondere der niedrigen Geburtenrate, aber auch aus einer verminderten Zuwanderung. Die regionalen Unterschiede von -1% bis -9% resultieren überwiegend aus dem Binnenwanderungsverhalten welches durch die regionalen Differenzen in der wirtschaftlichen Attraktivität und anderen Annehmlichkeiten, wie z.B. dem Freizeitwert, geprägt wird. Für Österreich sieht die Situation weniger dramatisch aus da manche Regionen noch durch hohe Geburtenraten oder starke Zuwanderung geprägt sind.

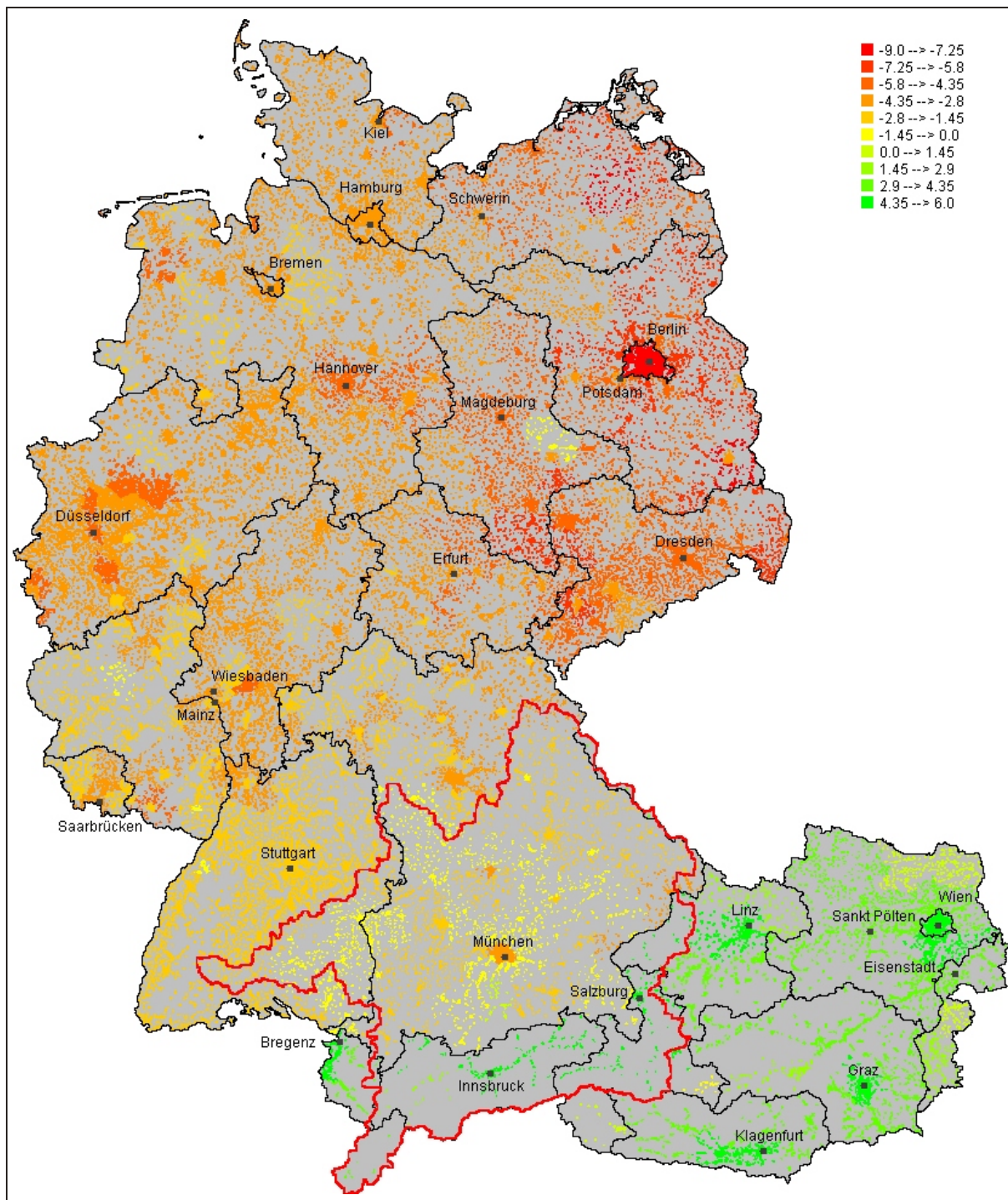


Abb. 9: Veränderung der Bevölkerung im gekoppelten Lauf 2012-2025 GMT1 (Angaben in Prozent) (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Bevölkerungsentwicklung im Nachhaltigkeitsszenario (GMT3)

Die allgemeine Bevölkerungsentwicklung im lokal berechneten Nachhaltigkeitsszenario (GMT3) ist der des bereits dargestellten GMT1 Szenarios sehr ähnlich. Es ist lediglich festzustellen, dass die Entwicklung der Bevölkerung in den städtischen Gebieten auf Kosten der ländlichen Regionen profitiert. Dies trifft insbesondere auf die ländlichen ostdeutschen Gebiete zu, in denen die Bevölkerungsabnahme in weiten Teilen zwischen 5% und 9% liegt während die Situation in den südlichen Bundesländern Bayern und Baden Württemberg deutlich über dem Bundesdurchschnitt liegt und weniger dramatisch erscheint.

Gründe für die verstärkte Verstädterung im Nachhaltigkeitsszenario (GMT3) liegen einerseits in den relativ besseren Umweltbedingungen in den Städten. Andererseits profitieren die Ballungsräume mit ihrer Agglomeration an Infrastruktur und wirtschaftlicher Produktion stärker von den Umweltsubventionen, bzw. können stärkere Regulierungsmaßnahmen besser kompensieren.

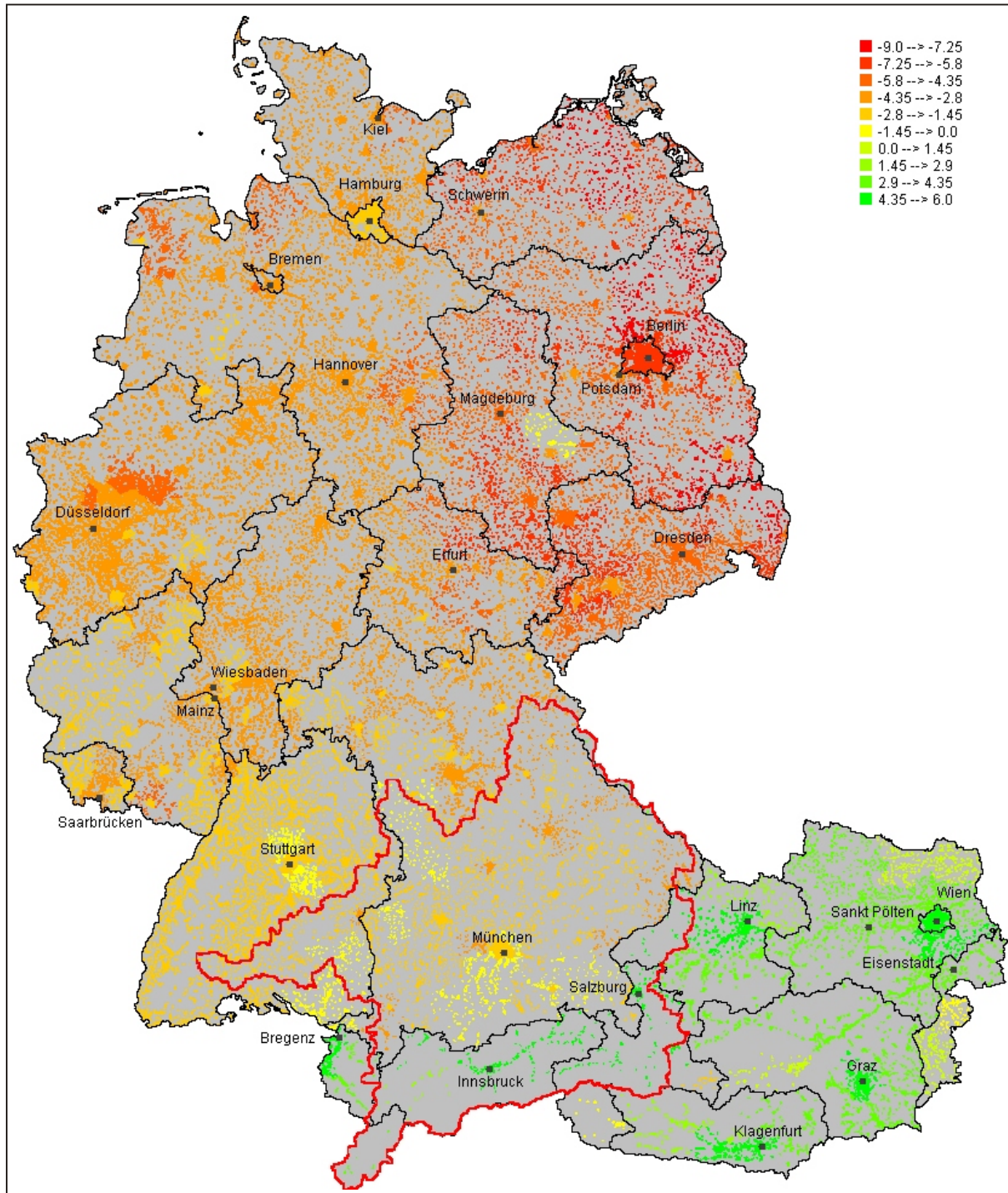


Abb. 10: Veränderung der Bevölkerung im lokal berechneten Nachhaltigkeitsszenario (GMT3) 2012-2025 (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Bevölkerungsentwicklung im Nachhaltigkeitsszenario (GMT3) vs. Liberalisierungsszenario (GMT2)

Dargestellt wird hier der prozentuale Unterschied der Wachstumsrate der Bevölkerung auf jedem Proxel zwischen dem gesellschaftlichen Megatrend 3 „Nachhaltigkeit“ (GMT3) und dem gesellschaftlichen Megatrend 2 „Liberalisierung“ (GMT2) von 2012 bis 2025 im lokalen Lauf mit jeweils der gleichen Klimavariante 1 (KV1: Baseline). D.h. positive Werte bedeuten ein stärkeres Wachstum im Nachhaltigkeitsszenario (GMT3). Wie in Abbildung 11 zu sehen ist, liegen die Werte zwischen -2% und +1%. Deutlich ist hier wieder eine Landflucht zu erkennen. Die relativen, leicht besseren BIP Veränderungen in den Ballungsgebieten im Nachhaltigkeitsszenario (GMT3) gegenüber dem Liberalisierungsszenario (GMT2) verstärken dies vermutlich.

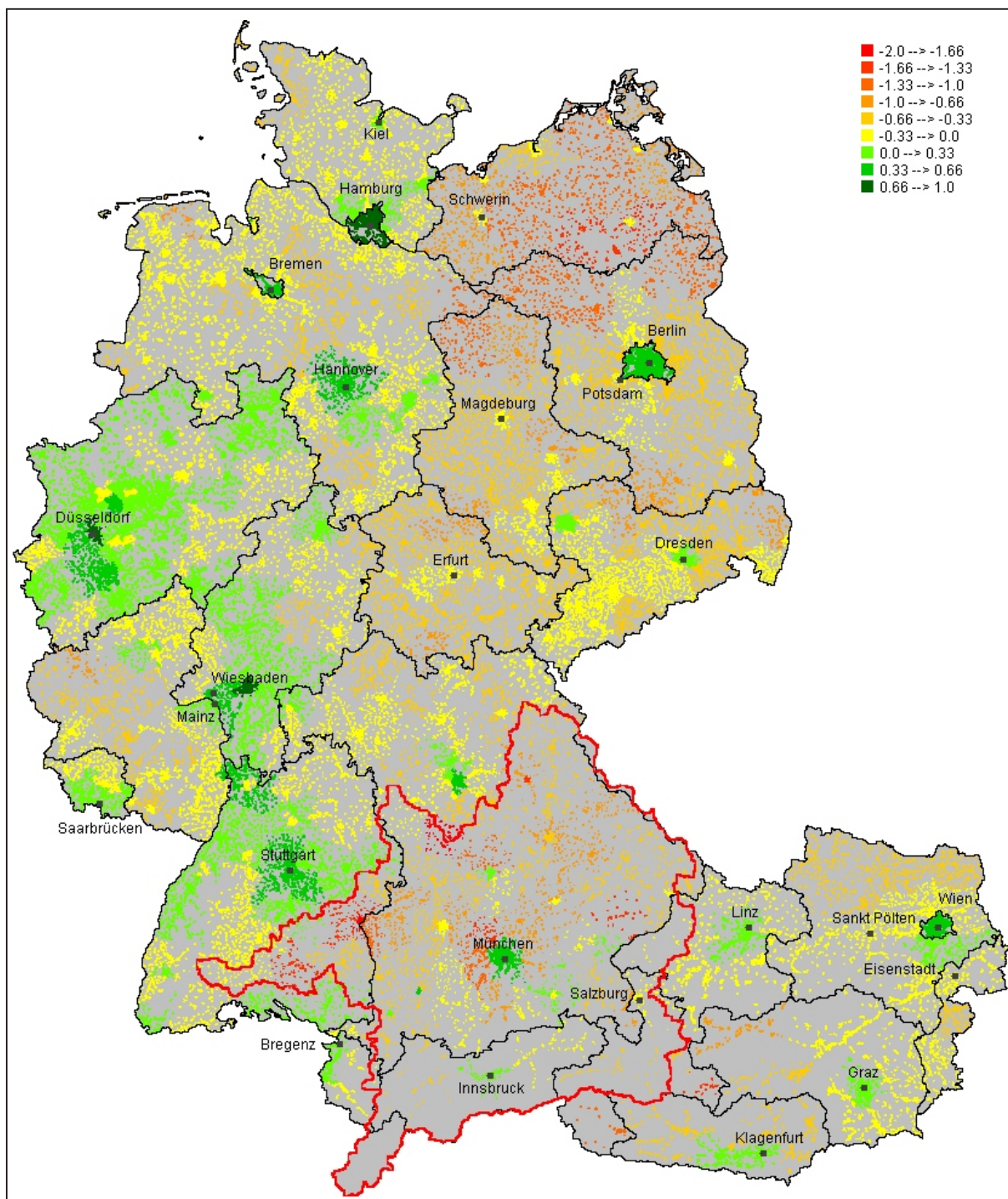


Abb. 11: Szenarienvergleich der lokal berechneten Bevölkerungsentwicklung 2012-2025 Nachhaltigkeits-szenario vs. Liberalisierungsszenario (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Bevölkerungsentwicklung im Szenarienvergleich der Klimavarianten

Folgende zwei Szenarien wurden, zusammen mit den anderen Modellen gekoppelt, gerechnet und werden als Differenzen der Bevölkerungsentwicklung über den Zeitraum von 2012 bis 2025 im Vergleich dargestellt und beschrieben. Das Baseline-Szenario bzw. GMT1 Szenario (gesellschaftlicher Megatrend 1) beschreibt die Entwicklung der Bevölkerung, die sich durch ein Fortschreiben des bisherigen Status quo in allen Akteursmodellen ergibt. Diesem Szenario wurden unter Verwendung desselben Baseline Klimatrends (KT1) zwei unterschiedliche Klimavarianten, zum einen ein moderates und zum anderen ein wärmeres Klima die so genannte „5-heiße-Sommer“ Klimavariante, zugrunde gelegt. Der Vergleich zwischen dem GMT1-Szenario und der Baseline Klimavariante (KV1) und dem GMT1-Szenario und der Klimavariante 3 (KV3: 5-heiße-Sommer) ist in Abbildung 12 zu sehen. Dargestellt wird hier die Differenz der beiden erzielten prozentualen Veränderungsraten auf jedem Proxel. Somit stellen positive Werte eine stärkere Veränderung im 5-heiße-Sommer Klimaszenario dar, während negative Prozentwerte eine schwächere Veränderung der Bevölkerung im heißeren Klimaszenario darstellen. Der Hauptbereich der unterschiedlichen Entwicklungen liegt zwischen -0.004% und +0.03%. Die Migration reagiert demnach kaum auf die geänderten Klimabedingungen. Generell profitieren die großen Ballungszentren und der Südwesten Deutschlands.

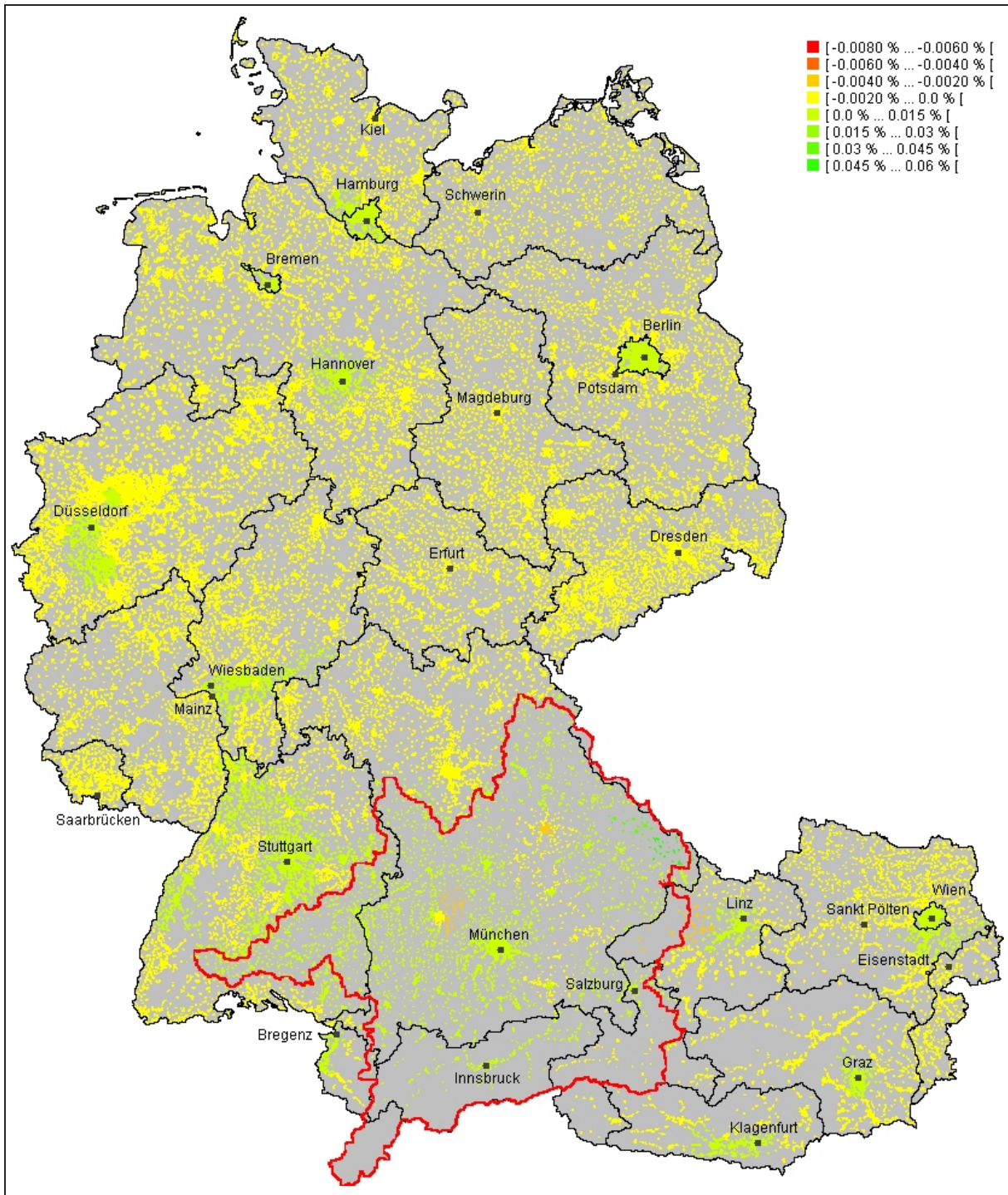


Abb. 12: Szenarienvergleich der Bevölkerungsentwicklung 2012-2025 GMT1(baseline) und KV1(baseline) vs. GMT1(baseline) und KV3(5 heisse Sommer)(Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

5. Fazit

Das Teilprojekt Umweltökonomie ist in der Lage, die im Projektantrag gesetzten Ziele zu erfüllen und mithilfe der Szenarienanalysen politisch und wissenschaftlich relevante Aussagen zu den klimabedingten Einflüssen auf das Obere-Donau-Einzugsgebiet zu tätigen. Es zeigt sich in den Szenarien, dass politische Maßnahmen die klimatischen Auswirkungen sehr wohl beeinflussen und die sozioökonomischen Anpassungsprozesse mitbestimmen können. Ziel der Szenarienläufe ist es dabei vorteilhafte Strategien zu identifizieren oder vorgegebene Strategien qualitativ und quantitativ zu bewerten. Neben der kontinuierlichen Generierung, Erweiterung und Auswertung von Szenarien sind im weiteren Projektverlauf vor allem die Vertiefung des Stakeholderprozesses sowie die Ausrichtung von DANUBIA auf eine Nutzung über die Projektlaufzeit hinaus geplant.

Wechselbeziehungen zwischen dem Tourismus und der Ressource Wasser im Untersuchungsraum von GLOWA Danube

Projektleiter: Prof. Dr. Jürgen Schmude
Ausführende Stelle: Department für Geographie
Lehrstuhl für Wirtschaftsgeographie und Tourismusforschung
Ludwig-Maximilians-Universität München,
Luisenstraße 37, 80333 München

1. Organisatorisches

Dieser Bericht beinhaltet die innerhalb des GLOWA-Danube-Verbundprojektes durchgeführten Aktivitäten des Teilprojektes Tourismus im Berichtszeitraum 01.05.2008 bis 30.04.2009.

1.1 Personalien

Die Arbeitsgruppe Tourismus bestand im Berichtszeitraum aus dem Projektleiter Prof. Dr. Jürgen Schmude, einem Wissenschaftler TV-L E13Ü 1/1, einem Wissenschaftler TV-L E13Ü 1/2 sowie zeitweise einer ungeprüften studentischen Hilfskraft mit einer monatlichen Arbeitszeit von 34 bzw. 65 Stunden. Die Wissenschaftlerstellen waren vom 01.05.2008 bis zum 30.04.2009 mit Dipl.-Geogr. Anja Soboll und Dr. Alexander Dingeldey besetzt. Anton Sammler (34 h) war im Rahmen des Projekts GLOWA-Danube als ungeprüfte studentische Hilfskraft vom 09.06.2008 bis zum 07.09.2008 beschäftigt. Seine Tätigkeiten umfassten die Aufbereitung von Daten sowie Internetrecherchen. Dennis Joswig (65 h) war im Rahmen des Projekts GLOWA-Danube als ungeprüfte studentische Hilfskraft vom 15.12.2008 bis zum 30.04.2009 beschäftigt. Seine Tätigkeiten umfassten Programmierarbeiten (Optimierung von Auswerteroutinen), Dokumentationen und Internetrecherchen.

Im Rahmen des Projekts GLOWA-Danube wird derzeit eine Diplomarbeit zum Thema „Die Vulnerabilität der Wirtschaft im GLOWA-Einzugsgebiet gegenüber dem Klimawandel“ (Arbeitstitel) von Herrn Tobias Klier angefertigt. Dabei werden die volkswirtschaftliche Bedeutung des Tourismus auf Ebene der Gemeinden und Landkreise sowie die mögliche regionalökonomische Folgen einer Klimaänderung anhand von Szenarioanalysen untersucht.

1.2 Veröffentlichungen

Im Berichtszeitraum wurden von der Forschungsgruppe Tourismus folgende Veröffentlichungen erstellt:

DINGELDEY, A. und SOBOLL, A. (2008): Klimawandel und seine Bedeutung für die Destination Deutschland am Beispiel des Projekts GLOWA-Danube. In: KAGERMEIER, A. (Hrsg.): Deutschland als Incoming Destination (= Studien zur Freizeit- und Tourismusforschung, 2). München, Wien (in Vorbereitung).

SOBOLL, A., SCHMUDE, J. und DINGELDEY, A. (2009): Touristic Water Consumption. The example of skiing areas in the Upper Danube Catchment. In: Hydrological Processes. In Vorbereitung.

1.3 Anschaffungen

Um die in der aktuellen Projektphase erforderlichen zahlreichen Simulationsläufe bewältigen zu können, wurde ein leistungsstärkerer Rechner angeschafft. Damit kann die Laufzeit um 85% reduziert werden. Zur Finanzierung wurden 4.100 € aus Position 0846 Dienstreisen umgewidmet.

1.4 Veranstaltungen

Vertreter der Forschungsgruppe Tourismus haben im Berichtszeitraum an verschiedenen Veranstaltungen teilgenommen, die mit dem Projekt GLOWA-Danube in Zusammenhang stehen bzw. die Ergebnisse der Forschungsarbeit nach außen tragen.

- 02.-03.05.2008 **GLOWA-Danube Klausurtagung in Herrsching:** Die Tagung in Herrsching wurde von Prof. Dr. Jürgen Schmude und Dipl.-Geogr. Anja Soboll besucht. Neben der planmäßigen Diskussion zur Gestaltung der *Stakeholder*-Workshops wurde die Forschungsgruppe Tourismus Mitglied in der neu gegründeten Arbeitsgruppe GLOWA-Danube-Szenarien. Diese traf auf der Tagung grundlegende Vereinbarungen, z.B. über ein einheitliches Verständnis des Begriffs ‚Szenario‘ und über die endgültige Festlegung der GLOWA-Danube-Szenarienmatrix, die vorgibt, welche Szenarien gerechnet werden.
- 15.07.2008 **Projektleitertreffen in München:** Beim Projektleitertreffen war von der Forschungsgruppe Tourismus Prof. Dr. Jürgen Schmude anwesend. Gegenstand dieses Treffens war unter anderem die Diskussion darüber, welche Publikationsstrategie verfolgt wird und welche Ergebnisse der Stakeholder-Dialog bisher brachte bzw. wie dieser fortgesetzt wird. Zudem wurde besprochen, wie ‚Natural Environment‘ und ‚Actors‘ bzw. und ‚Flaggen‘ gekoppelt werden. Darüber hinaus wurde das Thema ‚Szenarien‘ behandelt.
- 30.09.-01.10.2008 **GLOWA-Danube Klausurtagung in Hofgeismar:** An der Tagung in Hofgeismar nahmen Prof. Dr. Jürgen Schmude, Dr. Alexander Dingeldey und Dipl.-Geogr. Anja Soboll teil. Die Forschungsgruppe Tourismus informierte über den Stand der Dinge im Projekt zu informieren. Anschließend wurden die Ergebnisse der Rundgespräche zwischen IFOK und den *Stakeholdern* präsentiert und die Szenariendiskussion fortgeführt. Weiterhin wurden konkrete Absprachen (Termine, Inhalt) bezüglich der *Stakeholder*-Workshops getroffen.
- 28.11.2008 **Stakeholder-Workshop Wasserwirtschaft, Wasserversorgung und Tourismus in München:** Nach einführenden Vorträgen der GLOWA-Danube Projektpartner in der Einführungsphase (u.a. von Prof. Dr. Jürgen Schmude) fand im Anschluss eine Arbeitsphase statt. Darin wurde unter anderem diskutiert, wie die *Stakeholder* die vorgestellten Szenarien bewerten und welche zusätzlichen Faktoren sie für relevant halten. Abschließend wurden für die einzelnen Teilprojekte Arbeitspakete definiert, die bis zum nächsten *Stakeholder*-Workshop von den Teilprojekten erfüllt werden sollen.

2. Arbeitsschritte im Berichtszeitraum

Seit dem Beginn der Phase III des Forschungsprojekts GLOWA-Danube wurde eine Vielzahl von Arbeitsschritten durchgeführt. Diese umfassen:

- das Verfassen eines Szenariobeitrags sowie von Definitionen der in den bisherigen Beiträgen verwendeten Fachbegriffe für ein Glossar im GLOWA-Danube Atlas,
- die kontinuierliche Modellverfeinerung,
- die Entwicklung und Implementierung der definierten Szenarien,
- die Auswertung lokaler und gekoppelter Läufe sowie
- die Mitwirkung am *Stakeholderdialog* und Publikationen.

Auf diese Punkte wird in diesem Kapitel jeweils kurz eingegangen.

2.1 Erweiterung des GLOWA-Danube Atlas

Die Forschungsgruppe Tourismus beteiligt sich an einer Erweiterung des GLOWA-Danube-Atlas. Dabei wurde ein weiterer Artikel zur Reaktion ausgewählter touristischer Akteure auf verschiedene Klima- und Gesellschaftsszenarien verfasst. Zudem trug die Forschungsgruppe Tourismus zur Erstellung eines Glossars bei, indem relevante Fachbegriffe definiert wurden.

2.2 Kontinuierliche Modellverfeinerung

Ausgehend von den Vorarbeiten in der zweiten Projektphase von GLOWA-Danube, bei dem ein funktionsfähiges und in Java implementiertes Modellkonzept erstellt wurde, wird das GLOWA-Danube Modell Tourism kontinuierlich verfeinert. Dies betrifft sowohl die inhaltliche als auch die technische Seite. Bei der Modellverfeinerung werden folgende Punkte bearbeitet:

- Ausarbeitung des Konzepts zur Verfeinerung der Beschneifunktionalität in Zusammenarbeit mit der Forschungsgruppe Glaziologie,
- Anpassung des Modells an das neue Quellcodeabgabesystem,
- Ausarbeitung und Implementierung der Szenarioeinstellungen,
- Aktualisierungen des Datenbestandes zur Infrastruktur von Skigebieten und
- Ausbau der Auswerteroutinen.

Im Folgenden wird auf die einzelnen Aspekte näher eingegangen.

2.2.1 Ausarbeitung des Konzepts zur Verfeinerung der Beschneifunktionalität

Die im letzten Zwischenbericht bereits beschriebene, jedoch noch nicht vollständig realisierte Umsetzung des Konzepts zur Verfeinerung der Beschneifunktionalität in Zusammenarbeit mit der Forschungsgruppe Glaziologie konnte im Berichtszeitraum abgeschlossen werden.

Um die Abbildung der künstlichen Beschneigung in DANUBIA zu verbessern, wurde vereinbart, die Modelle *SNOW* und Tourism zur Verfeinerung der Beschneigung mit neuen Schnittstellen zu koppeln. Dazu wurde festgelegt, dass die Entscheidung, wann künstliche Beschneigung ausgeführt wird, auf Seiten des Tourismusmodells getroffen wird. Bei für die künstliche Beschneigung günstigen simulierten Temperaturbedingungen erhält das Modell *SNOW* eine Mitteilung, dass die Schneekanonen in Betrieb gehen können. Basierend auf dem von der Forschungsgruppe Tourismus ermittelten Zusammenhang zwischen der Feuchttemperatur und der erzeugbaren Schneemenge (vgl. SAX 2008, S. 103ff.) kann bei geeigneten Beschneigungsbedingungen detailliert die auszubringende Kunstschneemenge berechnet wer-

den, die dann vom Modell Snow wieder an das Modell Tourism übermittelt und dort als eingehendes Signal verarbeitet wird. Darüber hinaus kann durch die Kopplung das Abschmelzen des erzeugten Kunstschnees simuliert werden, weil das Modell Snow die dazu notwendigen Prozesse abbildet. Analog zur erzeugten Schneemenge wird die auf der Piste befindliche Kunstschneemenge an das Modell Tourism übermittelt. Mit diesen Informationen wird auf Seiten des Modells Tourism der Wasserbedarf berechnet und „aus der Umwelt“ (Speicherwasser, Grundwasser) entnommen.

Durch dieses Konzept ist eine im Vergleich zur bisherigen Modellkonzeption realistischere Darstellung der künstlichen Beschneigung in DANUBIA möglich und die Güte der Ergebnisse von Szenarioberechnungen wird verbessert.

Das beschriebene Konzept wurde im Berichtszeitraum implementiert und wird bei gekoppelten Läufen des DANUBIA-Verbunds wirksam. Für lokale Läufe kann das Teilmodell Tourism auf die ebenfalls im aktuellen Berichtszeitraum umgesetzte Schmelzfunktion für Kunstschnee zurückgreifen. Auf diese Weise kann auch ohne Kopplung mit dem Modell der Forschungsgruppe Glaziologie der Kunstschnee abtauen. Dazu wurde ein Temperatur-Index-Verfahren (vgl. WEBER 2004, S. 49) herangezogen. Dieser Ansatz weist zwar die Schwäche auf, dass es nicht die realen physikalischen Prozesse abbildet, allerdings wird dies durch den Vorteil des geringen Datenbedarfs und der damit einfachen Anwendbarkeit wieder ausgeglichen.

Die Taufunktion wird mit der Tagesmitteltemperatur angetrieben. Um eine korrekte Anpassung der Schneebedeckung eines Skigebiets an die realen Verhältnisse vornehmen zu können, wurden die realen Verhältnisse in einem schweizerischen Skigebiet als Vergleich herangezogen (vgl. SLF 2002, S. 3). Die Parametrisierung erfolgte für die Skigebietsakteure auf gleicher Höhenlage im Untersuchungsgebiet, sodass der Zeitpunkt der modellierten Ausaperung des Kunstschnees mit den tatsächlichen Messungen relativ gut übereinstimmt. Durch diese Erweiterung kann das Modell Tourism Wärmeeinbrüche während der Wintersaison und deren negative Folgen für den alpinen Wintersport besser abbilden, sodass eine realistischere Abbildung der Wintersportinfrastruktur des Untersuchungsgebiets gewährleistet ist.

2.2.2 Anpassung des Modells an das neue Quellcodeausgabesystem

Um die Abgabe des Quellcodes zu vereinfachen, wurde ein neues Abgabesystem für GLOWA-Danube auf der Basis von SVN (Open Source Software Subvision) realisiert. Die Entwicklungsumgebung und der Quellcode des Modells Tourism (vgl. DINGELDEY 2008, S. 112ff.) mussten angepasst werden, um die technischen Vorgaben des Zentralprojektes zu erfüllen. Diese Anforderung wurde im aktuellen Berichtszeitraum umgesetzt.

2.2.3 Ausarbeitung und Implementierung der Szenarioeinstellungen

In Zusammenarbeit mit den anderen Akteursgruppen wurden in der Arbeitsgruppe GLOWA-Danube-Szenarien gesellschaftliche Szenarien definiert (s. Kap. 2.3). Die Gruppe Informatik passte daraufhin das GLOWA-Danube Framework an, um Simulationsläufe mit unterschiedlichen Szenarioparametern zu ermöglichen. Das Modell Tourism wurde dahingehend angepasst, dass die Auswahl der Szenarioparameter der gesellschaftlichen Megatrends anhand von Konfigurationsdateien erfolgen kann. Hierfür waren einige Änderungen in der Modellstruktur sowie umfangreiche Testläufe erforderlich.

Die Parametrisierung der einzelnen Variablen wurde so umgestellt, dass die Parameter vom Benutzer im Quellcode einfach geändert werden können. Folgende Parametrisierungen wurden in das Modell eingefügt:

Modell der Übernachtungsnachfrage:

- Touristischer Metatrend.

Modell der Tagesausflugsgäste:

- Metatrend Tagesausflüge.

Skigebiete:

- Option zum Ausbau der Beschneiungsanlagen (wahr/falsch),
- Jahr, ab dem Beschneiungsanlagen ausgebaut werden,
- Ausbaufaktor für die beschneite Fläche,
- Ausbaufaktor für die Erweiterung von Speicherteichen,
- Startjahr für die Veränderung der Wirtschaftlichkeitsschwelle,
- Prozentuale jährliche Veränderung der Wirtschaftlichkeitsschwelle,
- Schwelleneinstellung der Trinkwasserverfügbarkeit für die Sparfunktion.

Gastronomiebetriebe:

- Jährliche Veränderung des Wasserverbrauchs,
- Schwelleneinstellung der Trinkwasserverfügbarkeit für die Sparfunktion.

Beherbergungsbetriebe:

- Jährliche Veränderung des Wasserverbrauchs,
- Schwelleneinstellung der Trinkwasserverfügbarkeit für die Sparfunktion.

Schwimmbäder:

- Schwelleneinstellung der Trinkwasserverfügbarkeit für die Sparfunktion.

Golfplätze:

- Fairway-Bewässerung,
- Bewässerungsintervalle (Anzahl der Tage),
- Schwelleneinstellung der Trinkwasserverfügbarkeit für die Sparfunktion.

Für sämtliche Parameter wurden aus der Literatur (z. B. FREYER 2000; LUDWIG 2007; OPASCHOWSKI et al. 2007; PETERMANN et al. 2006) und zusätzlichen Expertengesprächen plausible Einstellungen für die drei gesellschaftlichen Szenarien ermittelt.

2.2.4 Aktualisierungen des Datenbestands zur Infrastruktur von Skigebieten

Der Erhebungsstand der Skigebiete datierte noch aus Phase I von GLOWA-Danube. Da in den vergangenen Jahren sehr stark in den Ausbau einiger Skigebiete und in Beschneiungsanlagen investiert wurde, mussten die Sachdaten der Skigebiete erneut überprüft werden. Für alle Skigebiete im Untersuchungsgebiet wurden die modellrelevanten Parameter kontrolliert und falls erforderlich geändert. Als Datenquellen hierfür wurden wie in Phase I Skigebietsportale (www.schneehöhen.de und www.schneehöhen.de) sowie die Webseiten der einzelnen Liftbetreibergesellschaften herangezogen.

2.2.5 Ausbau der Auswerterroutinen

Die Datenausgabe des Modells Tourism erfolgt in unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Ebenen. Zur einfacheren Verarbeitung der Ausgabedateien wurden sowohl in JAVA als auch in SPSS spezielle Programme entwickelt, welche eine schnelle Auswertung einzelner Parameter ermöglichen und bisher zeitaufwendige manuelle Konvertierungen automatisieren.

Abgeleitet aus dem *Stakeholder*-Prozess wurden spezielle Auswertungsmöglichkeiten geschaffen. So kann beispielsweise die Anzahl der potentiellen Beschneigungstage für einzelne Skigebiete im Untersuchungsgebiet oder alle Skigebiete einer Region mit und ohne Beschneigung ermittelt werden. Darüber hinaus besteht die auch die Möglichkeit, die Anzahl kalter oder extrem kalter Tage separat auszugeben. Die Schwellenwerte für diese Tage (z.B. Tagesmaximum der Temperatur) können je nach Fragestellung verändert werden.

Darüber hinaus werden die bereits im vorherigen Berichtszeitraum eingeführten tourismusklimatischen Indizes aktuell beispielsweise um den Index ‚optimaler Skitag‘ erweitert, da die *Stakeholder* während des ersten Workshops im November 2008 konkretes Interesse an der Berechnung einer derartigen Kennzahl bekundeten. Die Ausprägung der Indizes (z.B. Anzahl der Öffnungstage eines Skigebiets) im Rahmen von Szenarioberechnungen kann als Entscheidungsunterstützung für Entscheidungen zu einer langfristigen Umgestaltung des touristischen Angebots dienen, z.B. in Richtung einer Stärkung des Sommertourismus in Gebieten, die von der Klimaerwärmung profitieren.

2.3 Entwicklung und Implementierung der definierten Szenarien

Neben der Beschäftigung mit dem sektoralen Aspekt der Szenarioentwicklung beteiligte sich die Forschungsgruppe Tourismus auch an der integrativen, teilprojektübergreifenden Gestaltung von Szenarien für die Berechnungen mit DANUBIA. Daher ist das Teilprojekt Mitglied der während der Klausurtagung im Mai 2008 gegründeten Arbeitsgruppe GLOWA-Danube-Szenarien.

Nach den im letzten Berichtszeitraum getätigten Vorarbeiten (Identifikation der Haupteinflussfaktoren auf die touristische Entwicklung; Analyse der Stärke und Richtung des Zusammenhangs zwischen den relevanten Szenarioparametern; Bildung konsistenter Bündel von Szenarioparametern) erfolgte in den vergangenen Monaten in Abstimmung mit den anderen Mitgliedern der Arbeitsgruppe GLOWA-Danube-Szenarien die konkrete Definition der zu entwickelnden Szenarien. Es wurden drei Gesellschaftsszenarien festgelegt, dies sind ein Baseline-Szenario, der gesellschaftliche Megatrend Liberalisierung und der gesellschaftliche Megatrend Nachhaltigkeit. Sehr allgemein lässt sich festhalten, dass das Baseline-Szenario von einer dem heutigen Stand entsprechenden weiteren Entwicklung (business as usual) ausgeht, im Liberalisierungsszenario herrscht der Gedanke des freien Marktes vor und im Szenario Nachhaltigkeit steht die gesamtgesellschaftliche Verantwortung im Zentrum. An dieser Stelle wird jedoch nicht näher auf die Ausformulierung der Szenarien im Allgemeinen eingegangen, es wird nur ein kurzer Überblick über die Umsetzung dieser Szenarien im Teilprojekt Tourismus gegeben.

2.3.1 Das Teilmodell Tourismus im Baseline-Szenario

Das Baseline-Szenario wird im Teilprojekt Tourismus durch ein dem heutigen ähnliches Umweltbewusstsein sowie der Präferenz marktwirtschaftlicher Problemlösungsmechanismen beschrieben. Die wirtschaftliche Entwicklung ist gemäßigt expansiv, sodass der Schwerpunkt hinsichtlich Investitionen auf Erhaltungsinvestitionen liegt. Dies führt dazu, dass der Wasserbedarf und die technische Ausstattung der touristischen Infrastruktur im Untersuchungsgebiet im Wesentlichen auf dem Stand zu Beginn des 21. Jahrhunderts bleiben.

2.3.2 Das Teilmodell Tourismus im Szenario Liberalisierung

Im Liberalisierungsszenario wird die Zukunft durch ein marktwirtschaftlich organisiertes Wirtschaftssystem geprägt, welches erlaubt, technische Neuerung zeitnah in der Wirtschaft umzusetzen. Demnach werden auch im Tourismussektor alle verfügbaren Technologien eingesetzt, solange sie sich nutzen und finanzieren lassen. Um die Wünsche der Nachfrager zu erfüllen, werden alle technischen Möglichkeiten ausgeschöpft, was auch bedeutet, dass in Zukunft im Vergleich zu heute keine zusätzliche Einschränkung der Wassernutzung für touristische Zwecke vorgenommen wird und sich der Wasserbedarf touristischer Einrichtungen erhöhen wird.

Die touristische Übernachtungsnachfrage im Untersuchungsgebiet steigt an, weil es einerseits aufgrund der zunehmenden Globalisierung gelingt, neue Gästegruppen aus Osteuropa bzw. Asien zu rekrutieren (vgl. PETERMANN et al. 2006, S. 111f.; FREYER 2000, S. 180). Andererseits ist auf Seiten der einheimischen Bevölkerung mit gleich bleibend oder sogar mehr Urlaubsreisen auch ins eigene Land zu rechnen, was auf das Hedonismus-Streben der Erlebnisgesellschaft zurückzuführen ist. Freizeit, Erholung und Spaß rücken in den Lebensmittelpunkt der Menschen, wodurch Urlaub einen noch höheren Stellenwert erhält.

Für die Skigebiete im Einzugsgebiet gilt: Es sind in technischer Hinsicht expansive Tendenzen hinsichtlich der Beschneigung zu verzeichnen. So wird von einer Zunahme der beschneiten Fläche ausgegangen. Aufgrund des verstärkten technischen Ausbaus der Skigebiete ist eine Anhebung der Wirtschaftlichkeitsschwelle der Skigebiete notwendig, um die Investitionskosten wieder zu erwirtschaften. Dies wird u. a. durch die Verschiebung der Beschneigungsgrenze Richtung Nullpunkt unterstützt, die realisiert werden kann, da sämtliche technischen Möglichkeiten genutzt werden, um die künstliche Beschneigung durchzuführen (vgl. KRÖLL 2000, S. 29ff.). Da zu erwarten ist, dass mehr Schneeerzeuger pro beschneiter Fläche eingesetzt werden bzw. die Leistung der Schneemaschinen zunimmt, wird in Zukunft für die Beschneigung eines Hektars weniger Zeit benötigt. Die Wassernutzung wird erst bei ernststen Beeinträchtigungen der Umwelt restriktiv gehandhabt. Auch die erzeugte Schneemenge für die Grundbeschneigung wird erhöht.

Für die Golfplätze im Einzugsgebiet gilt: Die Wassernutzung wird ebenfalls erst bei ernststen Beeinträchtigungen der Umwelt restriktiv gehandhabt (Flagge 5). Das Bewässerungsintervall bei Golfplätzen bleibt bei den aktuellen Einstellungen, da die bestehenden Umweltschutzmaßnahmen für ausreichend gehalten werden, sodass keine besonderen Wassersparmaßnahmen eingeleitet werden müssen. Fairways (die großflächigen, gemähten Grasflächen zwischen Abschlag und Grün) werden grundsätzlich flächendeckend bewässert, da dies nachfrageseitig gewünscht wird. Die Berechtigung zur Wassernutzung wird praktisch nicht eingeschränkt. Sie wird nur dort eingeschränkt, wo sich eine starke Übernutzung der Wasserressourcen bzw. ernste Engpässe ergeben.

2.3.3 Das Teilmodell Tourismus im Szenario Nachhaltigkeit

Charakteristisch für das Szenario Nachhaltigkeit ist die größere Bedeutung des Umweltbewusstseins, wodurch die im Teilprojekt Tourismus zu verändernden Modellparameter weiterhin eher auf dem Ist-Zustand verharren. Zudem ist eine Hinwendung zu interventionistischen Eingriffen seitens des Staates zu beobachten. Entsprechend werden nicht alle technisch möglichen Neuerungen in der Wirtschaft umgesetzt. Für die Lösung von Problemen wird nicht generell Marktmechanismen der Vorzug gegeben. Trotz dieser Rahmenbedingungen findet die Tourismuswirtschaft im Untersuchungsraum nach wie vor gute Bedingungen für die eigenen Aktivitäten vor. Das erhöhte Umweltbewusstsein hat zur Folge, dass die Wasserbedarfswerte der touristischen Infrastruktur sowie der Grad der technischen Ausstattung weitgehend auf dem Niveau zu Beginn des 21. Jahrhunderts verharren. So bleibt die touristische Nachfrage nahezu unverändert, da sich positive (neue Nachfrager aus Osteuropa und Asien) und negative Entwicklungen insgesamt die Waage halten.

Der Wasserbedarf von Gastronomiebetrieben pro Gast bleibt gleich. Dies geschieht vor dem Hintergrund, dass sich die Einführung von Sparmaßnahmen und eventuelle Steigerungen der Qualität die Waage halten. Ebenso bleibt der Wasserbedarf pro Übernachtung in Beherbergungsbetrieben unverändert.

Für die Skigebiete im Einzugsgebiet gilt: Die beschneite Fläche bleibt unverändert, da man der Meinung ist, dass man dem Klimawandel auf Dauer nicht mit technischen Mitteln begegnen kann und sich sowohl der Investitions- als auch der Ressourcenaufwand nicht lohnt. Auf diese Weise bleibt auch die Wirtschaftlichkeitsschwelle der Skigebiete unverändert. Die Beschneigungsgrenze bleibt auf dem derzeitigen Stand, da es auch in Zukunft nicht erlaubt ist, Wasserzusätze einzusetzen, die als Kondensationskeime fungieren. Aufgrund des zunehmenden Umweltbewusstseins und der Erkenntnis, dass die Zahl der Skifahrer abnimmt, werden keine zusätzlichen Mittel in die künstliche Beschneigung investiert, sodass die Zeit, die für die Beschneigung eines Hektars aufgewendet wird, sich nicht ändert. Die Möglichkeit der Wassernutzung wird unverändert beibehalten, ab Flagge 4 wird die Beschneigung eingestellt. Ebenso bleibt die erzeugte Schneemenge für die Grundbeschneigung auf dem aktuellen Stand.

Für die Golfplätze im Einzugsgebiet gilt: Die Möglichkeit der Wassernutzung wird unverändert beibehalten. Da die bestehenden Umweltschutzmaßnahmen als ausreichend erachtet werden, bleibt das Bewässerungsintervall von Golfplätzen bei den aktuellen Einstellungen. Fairways werden dagegen grundsätzlich nicht mehr bewässert, um ‚unnötigen‘ Wasserverbrauch einzuschränken.

2.3.4 Übersetzung der ‚Stories‘ in Szenarientreiber

Anschließend müssen die oben beschriebenen Szenarien und ihre Auswirkungen in konkrete Modellparameter übersetzt werden. Tabelle 1 zeigt eine Liste der Faktoren und ihrer jeweiligen Ausprägungen in den einzelnen Szenarien.

Durch die Festlegung mehrerer variabler Faktoren, die auch als Stellschrauben bezeichnet werden können, ist es möglich, auch Fragestellungen aus dem *Stakeholderdialog* zu integrieren.

Tab. 1: Liste der Faktoren und ihrer Ausprägungen in den einzelnen Szenarien im Modell Tourism (Quelle: eigene Darstellung)

Nr.	Faktor	Ausprägung in Szenario 1 - Baseline	Ausprägung in Szenario 2 - Liberalisierung	Ausprägung in Szenario 3 - Nachhaltigkeit
1	Entwicklung der Übernachtungsnachfrage	Metatrend = 1	Metatrend > 1	Metatrend < 1
2	Reiseintensität im Tagestourismus	Metatrend = 1	Metatrend > 1	Metatrend < 1
3	Reiseaktivitäten im Tagestourismus (Besuch eines Gastronomiebetriebs)	unverändert	steigt an	unverändert
4	Wasserbedarf im Gastronomiewesen	unverändert	steigt an	unverändert
5	Wasserbedarf im Beherbergungswesen	unverändert	steigt an	unverändert
6	Ausbau der Beschneigungskapazitäten	ja moderat	ja stark	kein Ausbau
7	Wirtschaftlichkeitschwelle bei Skigebieten (Mindestöffnungstage)	unverändert	steigt an	unverändert
8	Betriebsfähigkeit von Beschneigungsanlagen (abhängig von 8.1 bis 8.4)			
8.1	Beschneigungstechnik (Beschneigungsgrenze)	unverändert	Erhöhung der Beschneigungstemperatur	unverändert
8.2	Beschneigungszeit (Schneemaschinen pro Hektar)	unverändert	sinkt (mehr Schneemaschinen pro Hektar bzw. Leistung der Maschinen steigt)	unverändert
8.3	Wasserverfügbarkeit (Flaggen)	unverändert (ab Flagge 4 Beschneigung eingestellt)	bei ernststen Beeinträchtigungen der Umwelt restriktiv gehandhabt (ab Flagge 5 Beschneigung eingestellt)	unverändert (ab Flagge 4 Beschneigung eingestellt)
8.4	Schneemenge für Grundbeschneigung	unverändert	wird erhöht	unverändert
9	Betriebsfähigkeit von Golfplätzen (abhängig von 9.1 bis 9.3)			
9.1	Möglichkeit der Nutzung der Wasserressourcen	unverändert	bei ernststen Beeinträchtigungen der Umwelt restriktiv gehandhabt (ab Flagge 5 Bewässerung eingestellt)	unverändert
9.2.	Bewässerungsintervall	unverändert	unverändert	verkürzt
9.3	Fairway-Bewässerung	keine Bewässerung	flächendeckende Bewässerung	keine Bewässerung
10	Betriebsfähigkeit von Schwimmbädern (Möglichkeit der Wassernutzung/ Berechtigung zur Wassernutzung)	unverändert (Bei Flagge 4 reduzieren und bei Flagge 5 einstellen)	praktisch nicht eingeschränkt	unverändert (Bei Flagge 4 reduzieren und bei Flagge 5 einstellen)

2.4 Auswertung der Läufe

Die im Berichtszeitraum definierten Szenarien wurden in umfangreichen Testläufen kalibriert. Nach erfolgreicher Beendigung dieses Arbeitsschrittes wurden zahlreiche Läufe lokal und gekoppelt durchgeführt. In allen Läufen wurden komplette Szenarien berechnet. Ein vollständiges Szenario besteht aus einem Klimatrend (IPCC regional, REMO oder Messung), einer Klimavariante (Baseline, 5 warme Winter, 5 heiße Sommer, 5 trockene Jahre) und einem der oben beschriebenen gesellschaftlichen Megatrends.

2.5 Mitwirkung am *Stakeholderdialog*

Die Forschungsgruppe Tourismus beteiligt sich in der aktuellen Projektphase am *Stakeholderdialog*. Hierbei wurden zunächst weitere *Stakeholder* akquiriert. In Vorbereitung auf den *Stakeholder-Workshop* Wasserwirtschaft, Wasserversorgung und Tourismus in München (November 2008) wurden Datenblätter und Informationen zu Fragestellungen wie den Fähigkeiten und Grenzen des Modells Tourism zusammengestellt. Darüber hinaus präsentierte Herr Prof. Dr. Jürgen Schmude auf dem Workshop Aufbau und Charakteristika sowie ausgewählte Ergebnisse des Modells. Diese und andere Präsentationen der Projektpartner dienten im zweiten Teil des Workshops als Diskussionsgrundlage. Während der Diskussion wurden Leitfragen zu den Bereichen relevante Einflussfaktoren, Handlungsoptionen und Anmerkungen zum weiteren Prozess erörtert. Darauf aufbauend wurde ein Arbeitspaket vereinbart, das die Forschungsgruppe Tourismus bis zum folgenden *Stakeholder-Workshop* (voraussichtlich im Juni 2009). Dieses beinhaltet die Identifikation und Implementierung des Parameters ‚optimaler Skitag‘ sowie die Einführung eines regional und nach Höhenlage differenzierten Maßes der Schneesicherheit.

3. Zukünftige Arbeitsschritte

Für die Zukunft sind in der Forschungsgruppe Tourismus folgende Arbeitsschritte auszuführen:

- Lokale Modellläufe der unterschiedlichen Komplett-Szenarien (s. Kap. 2.4),
- Kopplung aller Akteursmodelle,
- Simulationen im Gesamtmodell und Auswertungen der Simulationsläufe,
- aktive Beteiligung am *Stakeholderdialog* (u. a. Entwicklung spezieller Auswerterroutinen nach den Anforderungen der *Stakeholder*) sowie
- die Publikation von Simulationsergebnissen.

4. Fazit

Mit den in diesem Bericht geschilderten Arbeitsschritten ist die Forschungsgruppe Tourismus in der Lage, im weiteren Verlauf der aktuellen Projektphase erfolgreich an der Berechnung von Szenarien mitzuwirken. Aufgrund der Verfeinerung der Modellkonzeption können nun aus sektoraler Sicht Szenarien noch detaillierter berechnet werden, wobei durch die Nutzung von Schnittstellen zu anderen Modellen die Vorteile der integrativen Perspektive des Projekts GLOWA-Danube unterstrichen werden. Die in diesem Bericht beschriebenen Tätigkeiten stellen die Basis für einen weiteren erfolgreichen Projektverlauf dar.

5. Literatur

- DINGELDEY, A. (2008): Modellierung der touristischen Attraktivität zur Bestimmung der Übernachtungsnachfrage im Einzugsbereich der Oberen Donau unter Berücksichtigung von Umwelteinflüssen. München.
- FREYER, W. (2000): Ganzheitlicher Tourismus. Dresden.
- KRÖLL, A. (2000): Künstliches oder besser technisches Beschneien Möglichkeiten und Grenzen. In: BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (Hrsg.): Technische Beschneidung und Umwelt. S. 29-38.
- LUDWIG, E. (2007): The future of leisure travel. In: CONRADY, R. und BUCK, M. (Hrsg.): Trends and Issues in Global Tourism 2007. Berlin, Heidelberg, New York. S. 227-235.
- OPASCHOWSKI, H.W., PRIES, M. und REINHARDT, U. (Hrsg.) (2006): Freizeitwirtschaft. Die Leitökonomie der Zukunft. Hamburg.
- PETERMANN, T., REVERMANN, C. und SCHERZ, C. (2006): Zukunftstrends im Tourismus. Berlin.
- SAX, M. (2008): Entwicklung eines Konzepts zur computergestützten Modellierung der touristischen Wassernutzung im Einzugsgebiet der oberen Donau unter Berücksichtigung des Klimawandels. (= Beiträge zur Wirtschaftsgeographie Regensburg, 11). Regensburg.
- SLF (Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung) (Hrsg.) (2002): Kunstschnee und Schneezusätze. Eigenschaften und Wirkungen auf Vegetation und Boden in alpinen Skigebieten. Davos.
- WEBER, M. (2004): Mikrometeorologische Prozesse bei der Ablation eines Alpengletschers. Dissertation an der Universität Innsbruck.

