



GLOWA – Danube

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

Zwischenbericht 2007

über den Fortgang des Projektes GLOWA - Danube

Berichtszeitraum: 01.05.2007 – 30.04.2008

Zusammengestellt durch:

Prof. Dr. Wolfram Mauser

Dr. Sara Stöber

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

Inhaltsverzeichnis

Prof. Dr. Wolfram Mauser, LMU München, Lehrstuhl für Geographie und Geographische Fernerkundung Zusammenfassung und Überblick über den Fortgang des Koordination- projektes	1
Prof. Dr. Hennicker, LMU München, Lehr- und Forschungseinheit für Programmierung und Softwaretechnik DANUBIA: Ein Web-basiertes Modellierungs- und Entscheidungs-Unter- stützungssystem zur integrativen „Global-Change“-Forschung im Bereich der oberen Donau	13
Prof. Dr. Mauser, LMU München, Lehrstuhl für Geographie und Geographische Fernerkundung Modellierung von Wasser- und Stickstoffflüssen an der Landoberfläche mit Fernerkundung	29
Dr. Barthel, Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Hydraulik und Grundwasser Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung, Wasserversorgung, Human Capacity Building	43
BD Hans Weber, Ref. 81 Klimawandel, Klimafolgen und Wasserhaushalt, Hof Bayerisches Landesamt für Umwelt Praxisrelevante Analyse der Modellierungen mit DANUBIA für die Wasser- wirtschaft	57
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	61
Dr. Jacob, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg Atmosphäre im Erdsystem Entwicklung und Bereitstellung von REMO-Szenarien zum Klimawandel des Wasserkreislaufs im Einzugsgebiet der Oberen Donau	77
PD Dr. Zängl, LMU München, Lehrstuhl für Theoretische Meteorologie Mesoskalige Modellierung der Atmosphäre	91
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	145
Prof. Dr. Egger, ifo Institut für Wirtschaftsforschung, München, Global Change Szenarien und deren Wirkung auf die Ökonomie und Demographie des oberen Donau Einzugsgebietes	165
Prof. Dr. Schmude, Universität Regensburg, Lehrstuhl für Wirtschaftsgeographie Wechselbeziehungen zwischen dem Tourismus und der Ressource Wasser im Untersuchungsraum von GLOWA-Danube	213

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:	R. Weidinger, A. Reiter, Dr. Ch. Heinzeller, Ch. Michelbach, Dr. H. Büttner, Dr. S. Stöber, Prof. Dr. W. Mauser

1. Überblick

Folgende Bereiche wurden vom Koordinationsprojekt während der Berichtsphase (01.05.2007-30.04.2008) schwerpunktmäßig bearbeitet:

- Verwaltungstechnische Abwicklung des Projektes sowie Repräsentation nach Außen
- Koordination des Szenario-Gestaltungsprozesses
- Vorbereitung der zweiten Auslieferung der Druckversion des Global Change Atlas- ses 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 oblag bis 15.08.2007 Herrn Dr. Ulrich Strasser und wurde für die verbleibende 3. Projektphase von Frau Dr. Sara Stöber übernommen.
2. Die Koordination wurde in allen Sekretariats-relevanten Belangen von Frau Andrea Ebner unterstützt.
3. Die Pflege des GLOWA-Danube GIS-Datenbanksystems wurde von Frau Ruth Weidinger bearbeitet. Zusammen mit Herrn Daniel Waldmann (s. Projekt „Hydrologie und Fernerkundung“) wurden die hierfür entwickelten Analysetools weiter ausgebaut.
4. Die Betreuung des gemeinsamen GCDSS DANUBIA Systems sowie des Linux-Clusters hat ab 01.07.2007 Herr Dr. Christoph Heinzeller übernommen.

5. Die Aufbereitung von Daten sowie die Redaktion des Global Change Atlas für die Obere Donau oblag Frau Ruth Weidinger, die seit 15.07.2007 von Frau Andrea Reiter unterstützt wird. Darüber hinaus unterstütze unserer Kartographin Frau Vera Falck die Redaktion der Print-Version des Atlas. Die Online-Version wurde von Herrn Christian Michelbach weiterentwickelt.
6. Die Stakeholder-Aktivitäten wurden ab 15.07.2007 von der Firma IFOK (Institut für Organisationskommunikation, Bensheim) unter Leitung von Herrn Friedrich Barth und Frau Dr. Hannah Büttner durchgeführt. Zum 1. April 2008 wurde die Projektleitung von Frau Dr. Büttner übernommen.

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.-13.07.2007 International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) 2007, Perugia (Italien).
- 19.07.2007 Projektleitertreffen, München.
- 21.-24.09.2007 Klausurtagung in Herrsching.
- 15-17.10.2007 Internationale Konferenz „Managing Alpine Future“. Innsbruck (Österreich).
- 17.-18.10.2007 Technikertreffen, Köln.
- 18-19.10.2007 3rd Global Change Research Networking Meeting for European Mountains. Innsbruck (Österreich).
- 19.10.2007 Projektleitungstreffen, München.
- 10-13.12.2007 International Congress on Modelling and Simulation, Christchurch (Neuseeland)
- 01.02.2008 Informationsgespräch im Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, München.
- 22.02.2008 Kongress „Anpassung an den Klimawandel - Forschungsstrategien für Bayern“, IHK Akademie München.
- 27.02.2008 Wasserforum international. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Hof.
- 06.03.2008 Informationsveranstaltung (im Rahmen der Stakeholderaktivitäten) im LfU, Hof.
- 27.-28.03.2008 Tag der Hydrologie 2008, Leibniz Universität Hannover.

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 Pilotphase des Projektes verläuft seit 12/2006 sehr erfolgreich und wurde bis zum 31.03.2008 verlängert. Die Aktivitäten dieser Kooperation werden von Prof. Dr. Ralf Ludwig (früherer Mittragsteller und Projektwissenschaftler bei GLOWA-Danube) und Herrn Dr. Marco Braun (früherer Doktorand in GLOWA-Danube) in München wissenschaftlich bearbeitet. Die Kooperation soll nach Abschluss der Pilotphase erheblich ausgeweitet und vertieft werden. Aus der Zusammenarbeit mit Ouranos resultieren wichtige Synergien und der Import von technischem Know-how für die Entwicklung von Klimaszenarien und Adaptationsstrategien sowie die Integration von Stakeholdern. Im April fand hierzu an der LMU München ein erster Workshop mit einer Delegation von Ouranos und zahlreichen bayerischen Vertretern aus Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung statt. Erste Erkenntnisse aus den gemeinsamen Arbeiten wurden auf der EGU 2007 vorgestellt. Weitere gemeinsame Workshops fanden im September 2007 in Montréal sowie im Dezember 2007 in Québec City statt. Derzeit werden drei Fachartikel zu den Ergebnissen der einzelnen Arbeitspakete der Pilotstudie vorbereitet.

- Transfer von GLOWA-Danube Know-how auf das Einzugsgebiet des oberen Brahmaputra (Tibet, Bhutan, Indien): unsere Gruppe an der LMU ist Partner des EU-Projektkonsortiums „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 in Zusammenarbeit mit Herrn Dr. Strasser und Prof. Wolfram Mauser in München durchgeführt. Bis jetzt wurden außerdem zwei erfolgreiche field trips nach Tibet und Bhutan zur Erhebung von Geländeparametern sowie ein Projektworkshop in Bhutan mit einem DANUBIA-*Light*-Training (Dr. U. Strasser, M. Prasch) 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. 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 läuft das Projekt noch bis 31. Mai 2009.

5. Veröffentlichungen, Vorträge und Posterpräsentationen:

- MAUSER, W., STRASSER, U. and BERNHARD, M. (2007): GLOWA-Danube: Integrative Techniques, Scenarios and Strategies regarding the Global Change of the Water Cycle in the Upper Danube Catchment. Beitrag für “3rd Global Change Research Networking Meeting for European Mountains”.
- MAUSER, W. und MUERTH, M. (2007): GLOWA-Danube - Climate Change and the Future of Water in the Upper Danube Basin. Vortrag und Poster zur Internationalen Konferenz „Managine Alpine Future“. Innsbruck, 15 -17.10.2007.
- MAUSER, W. und MUERTH, M. (2008): GLOWA-Danube: Climate Change and the Future of Water in the Upper Danube Basin. Proceedings zur Internationalen Konferenz „Managine Alpine Future“. (in print).

- MAUSER, W. (2008): Status Quo und Quo Vadis der Bayerischen Klima(folgen)forschung. Vortrag zum Kongress „Anpassung an den Klimawandel - Forschungsstrategien für Bayern“, IHK Akademie München, München 22.02.2008. (invited)
- MAUSER, W. und STÖBER, S. (2008): GLOWA-Danube - Integrative Techniken, Szenarien und Strategien zur Zukunft des Wassers im Einzugsgebiet der Oberen Donau. Posterbeitrag zum Kongress „Anpassung an den Klimawandel - Forschungsstrategien für Bayern“, IHK Akademie München. München, 22.02.2008.
- MAUSER, W. (2008): GLOWA-Danube - Grundlagen Landoberfläche, Hydrologie/Fernerkundung und Boden/Grundwasserneubildung. Vortrag zur Informationsveranstaltung im Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU). Hof, 06.03.2008 (invited).
- MAUSER, W., MARKE, T. und STÖBER, S. (2008): Klimawandel und Wasserressourcen: Szenarien über Niedrigwasserbedingungen im Einzugsgebiet der Oberen Donau. Vortrag zum „Tag der Hydrologie“, Leibniz Universität Hannover. Hannover, 27.-28.03.2008
- MAUSER, W., BACH, H. (2008): PROMET - a Physical Hydrological Model to Study the Impact of Climate Change on the Water Flows of Medium Sized, Mountain Watersheds. J. Hydrol (submitted).

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 allgemein und 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. Punkt 14).

Erste allgemeine Festlegungen zur Szenarienformulierungen erfolgten auf der Klausurtagung im September 2007 in Herrsching. Es wurden hier vier übergeordnete Klassen von Szenarien als wichtig definiert, die derzeit spezifiziert werden:

1. Dürre-Szenarien
2. Niedrigwasser-Szenarien
3. „Heiße Sommer“-Szenarien
4. „Warme Winter“-Szenarien

Gemeinsam mit Stakeholdern erfolgt seit Anfang 2008 (u.a. mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt, LfU) ein intensiver Informationsaustausch zur Identifikation und Formulierung wichtiger, für die jeweiligen *Stakeholder* relevanten Szenarien. Szenario-Workshops im Herbst 2008 (organisiert durch die Firma IFOK) sollen diesen Prozess der Szenario-Findung und Szenario-Bewertung weiter vertiefen und ausbauen.

Die Szenarien (z.B. Niedrigwasser-Szenarien am Pegel Achleiten) werden derzeit noch als einfache, nicht komplexe Klimaszenarien (Szenarien ohne Akteurmodellierungen) sowohl mit den Modellen REMO und MM5 als auch mit einem stochastischen Klimagenerator über einen Zeitraum von 50 Jahren (2011 bis 2060) gerechnet. Ab Herbst 2008 soll dann mit der komplexen bzw. gekoppelten Szenarienrechnung mit DANUBIA begonnen werden. Um DANUBIA für diese komplexen Szenarienrechnungen zu optimieren, wurden in einem

Technikertreffen im Oktober 2007 die weiteren Entwicklungsstufen des Systems (z.B. Implementierung dynamischer Änderungen der subskaligen Landnutzung, Rückkopplung durch Farming) präzisiert und deren zeitliche und praktische Umsetzung innerhalb der jeweiligen Teilprojekte geplant.

Auf einer internen Klausurtagung Anfang Mai 2008 soll mit allen an GLOWA-Danube beteiligten Wissenschaftlern u.a. ein Abgleich der internen wissenschaftlichen Interessen mit den Interessen der verschiedenen *Stakeholder* erfolgen und der Stand der gemeinsamen Szenariodefinitionen, die weiteren Schritte zur Umsetzung der bisher formulierten Szenarien sowie gemeinsame Publikationsstrategien intensiv diskutiert werden.

7. Betrieb des Cluster-Rechners

Auf dem Linux-Cluster wurde das Betriebssystem SuSE Enterprise Desktop 9 (SLED 9) auf die Version 10 aktualisiert.

Mit der Einführung der *Framework 2.0* und der Anpassung der Komponenten an diese, musste auf dem Cluster außerdem die Java-Laufzeitumgebung (Java-Runtime-Environment) aktualisiert werden.

In den vergangenen Monaten wurden umfangreiche Probeläufe von *DANUBIA-Light* durchgeführt. Um für die weiteren Modellläufe sowie die abschließenden Modellierungen ausreichende Rechenkapazität zur Verfügung zu haben und die Rechenzeit zu optimieren, wird in der nächsten Zeit noch einmal in die Hardware des Linux-Clusters investiert.

8. Modellpflege und Datenmanagement

Um im Rahmen des Projekts ein zentrales Datenmanagement für die beteiligten Arbeitsgruppen zu realisieren, wurde ein Linux-Server aufgesetzt. Auf diesem Server sollen alle für das Projekt wichtigen Daten abgespeichert werden. Ein mehrstufiges Datensicherungskonzept gewährleistet dabei die Sicherung und Reproduzierbarkeit der sensitiven Daten.

Der Linux-Server besteht aus einem 2x500GB Hardware-RAID-System (gespiegelt) und ist zudem über das interne Backup-System des Münchner Leibnitz-Rechenzentrums (Hochschulnetz der Ludwig-Maximilians-Universität München) gegen Datenverlust abgesichert. 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.

Durch das Multi-User-Konzept von Linux können alle Projektteilnehmer gleichzeitig auf den Server zugreifen und ihre Projektdaten dort abspeichern (Sicherung), oder Inhalte für andere Arbeitsgruppen zur Verfügung stellen (Transfer).

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. Für die Struktur und die Inhalte der Home-Verzeichnisse sind die jeweiligen Projektgruppen selbst zuständig.

Die aktuelle Version von *DANUBIA* wird auf dem neu eingerichteten Linux-Server gepflegt und archiviert.

9. Transition von DANUBIA in ein Open Source-Projekt

Für die Überführung des DANUBIA in ein Open-Source-Projekt (OSP), wurde ein Konzept erarbeitet. Als Plattform für die Präsentation des DANUBIA als Open-Source-Projekt im Netz wurde die Internetseite von Sourceforge (www.sourceforge.net = weltweit größte Internet-Plattform für OS-Projekte) ausgewählt. Auf dieser Web-Plattform soll das DANUBIA OSP plaziert werden und sich u.a. auch durch die Möglichkeit der Bildung einer „Community“ etablieren.

Das auf Sourceforge.net installierte DANUBIA OSP wird dem Benutzer vor allem zu folgenden Projekt-Inhalten einen freien Zugang gewährleisten:

- Source-Code
- Modelldokumentation
- Benutzerhandbuch und Beschreibung für den Modellbetrieb
- Spezifikationen für konkrete Simulationsläufe
- Qualitative Beschreibung des Modellverhaltens sowie der Ergebnisse
- Beschreibung der verwendeten Parameter
- Dokumentation weiterer integrierter Tools

Außerdem soll der Anwender die Möglichkeit besitzen auf der Internetseite

- Beispieldatensätze incl. Beschreibung herunter zu laden
- sowie sich über die Veröffentlichungen zum Projekt/Modell zu informieren.

Nicht zuletzt werden die Namen der zuständigen, verantwortlichen und beteiligten Personen und Code-Entwickler genannt.

10. Entwicklung von Analysetools zur einheitlichen Datenprozessierung

Während des letzten Berichtsjahres wurde das Analysewerkzeug *AnalysisTool* für die DANUBIA-Modellläufe wieder verstärkt weiterentwickelt. Zur Unterstützung der Tätigkeiten wurde eine zusätzliche Wissenschaftliche Hilfskraft eingestellt, unter anderem, um die Umstellung auf die neue *Framework*-Version DANUBIA 2.0 zu vollziehen und die Software-Dokumentation zu aktualisieren. Dabei zeigten sich deutliche Vorteile bei der gemeinsamen Entwicklung, nachdem im vorangegangenen Berichtsjahr die Software auf einen zentralen Server in das Versionierungssystem Subversion eingepflegt wurde.

In den letzten Monaten des Berichtszeitraumes wurde das Werkzeug verstärkt von Anwendern genutzt, um Ergebnisse für wissenschaftliche Arbeiten aufzubereiten (v.a. für Dissertationen). Durch diese intensivere Arbeit mit dem *AnalysisTool* konnten in direkter Zusammenarbeit mit den beteiligten Wissenschaftlern Schwachstellen identifiziert und nach Anwenderwünschen verbessert werden. Das Hauptaugenmerk lag hierbei vor allem auf der Erhöhung der Benutzerfreundlichkeit, es konnten aber auch Steigerungen der Performance erzielt werden. Zudem erfolgte eine Integration weiterer inhaltlicher Funktionalitäten. Aufgrund dieser Verbesserungen wird erwartet, dass der Übergang des Werkzeugs in der dritten Phase in ein Open Source-Projekt einfacher vollzogen werden kann, da das Tool direkt nach Anwenderwünschen angepasst wurde. Die einfachere Handhabung verspricht eine leichtere Annahme des Tools von zukünftigen (projektexternen) Anwendern.

Die Implementierung des Tools verwendet zu großen Teilen stabile, über lange Zeiträume getestete Klassen des *Frameworks*, welche allerdings in gewissem Maße auf das *Analysis-Tool* angepasst werden mussten. Um daraus resultierende mögliche „Bugs“ (Softwarefehler) bei Modellläufen auszuschließen, erfolgte die bisherige Entwicklung des Tools strikt getrennt von dem *DANUBIA-Framework*. Nach Absprache mit dem Teilprojekt Informatik wurden nun erste Überlegungen getroffen, um das *AnalysisTool* komplett in das *Framework* zu integrieren und die Anpassungen, welche im Zuge der Entwicklung gemacht wurden, ebenfalls in das *Framework* zu übernehmen.

11. Global Change Atlas der Oberen Donau

Der im Rahmen des Projektes GLOWA-Danube entwickelte „Global Change Atlas Obere Donau“ dient der Präsentation sowohl sektoraler als auch integrativer Ergebnisse von *DANUBIA*. Die gemeinsame Dokumentation der Ergebnisse soll als Diskussionsgrundlage für *Stakeholder* und Entscheidungsträger fungieren und als dynamisches und wachsendes Werkzeug zur Unterstützung eines offenen Diskussionsprozesses beitragen.

11.1 Print-Version des Global Change Atlases Obere Donau

Im 3. Quartal 2007 wurde mit der Planung für die 2. Beitragslieferung der gedruckten Version des „Global Change Atlas Obere Donau“ begonnen. Die 2. Lieferung ist für Mitte Mai 2008 geplant.

Bei der Planung wurde Wert auf die noch ausstehenden Naturraumbeschreibungen (Kapitel 1), die erarbeiteten neuen Modellansätze (Kap. 2) sowie erste Szenarien und Ergebnisse (Kap. 3) gelegt. Kapitel 1 wird mit Daten zu Niederschlag, Temperatur und Strahlung sowie einer Auswertung von Temperatur- und Niederschlagstrends der vergangenen 47 Jahre im Untersuchungsgebiet ergänzt. In Kapitel 2 erläutern mehrere Teilprojekte ihre Weiterentwicklung der einfachen Modelle zu „*DeepActor*-Modellen“. Alle neuen Ergebnisse werden in Kartenform präsentiert. Um die Komplexität des *DeepActor*-Ansatzes für die Leser des Atlas verständlicher zu machen und zudem Redundanz zu vermeiden, wurde ein übergeordnetes Kapitel zum *DeepActor*-Ansatz von allen beteiligten Projektgruppen verfasst, welches wie das Informatik-Kapitel vor Kapitel 1 in den Atlas eingeordnet wird. Der Artikel erklärt die Abbildung von Entscheidungsprozessen sozioökonomischer Akteure durch die so genannten Akteurmodelle und gibt einen Überblick über die Verwendung dieses Ansatzes in allen Teilmodellen der beteiligten Projektgruppen in tabellarischer Form. Erste Beiträge für Kapitel 3 sind bereits im Entstehen und werden voraussichtlich in der 3. Lieferung (geplant für Ende 2008) enthalten sein.

Die Aufbereitung der Daten für die Kartendarstellungen wurde meist vom GIS-Datenbankmitarbeiter der Koordination in enger Zusammenarbeit mit den jeweiligen Autoren der Karte oder von den Autoren selbst übernommen. Die endgültige Gestaltung des Kartenlayouts sowie die Darstellung der Legenden erfolgen sowohl unter Berücksichtigung fachlicher Gesichtspunkte als auch kartographischer Gestaltungsmöglichkeiten in enger Zusammenarbeit zwischen den Autoren, der Redaktion sowie der Abteilung Kartographie.

Die für die Vereinheitlichung der Atlasbeiträge entworfene verbindliche Standardgliederung wird auch in der 2. Lieferung beibehalten. Ebenso wird der projektinterne Review-Prozess fortgeführt, der sich bereits bei der ersten Lieferung des Atlases sehr bewährt hat. Jeder Beitrag wird von zwei „Reviewern“ gelesen, kommentiert und mit Verbesserungsvorschlägen versehen, bevor er wieder an den/die Autor/en zurückgeht. Die Organisation dieses Prozesses obliegt der Redaktion, die endgültige Begutachtung und Endredaktion erfolgt dann durch den Projektkoordinator. Danach erfolgt der Druck durch eine ortsnahe Druckerei. Der Versand der Kartenblätter erfolgt durch die Mitarbeiter der Koordination.

Die Liste der Atlasempfänger wurde im Berichtszeitraum fortlaufend erweitert, um möglichst viele am Projekt interessierte *Stakeholder* und Entscheidungsträger zu erreichen und Interesse am Projekt zu wecken.

Ziele für das Jahr 2008:

- Fertigstellung der neuen Kartenblätter für die 2. Lieferung des Atlas und Versenden an die Atlasempfänger
- Planung und Konzeption einer 3. Lieferung für den Atlas mit besonderem Augenmerk auf Kapitel 3, geplante Herausgabe: Ende 2008
- Erweiterung der Datenbank um mögliche Interessenten

11.2 Online-Version des Global Change Atlases Obere Donau

Im Berichtszeitraum wurden an dem im Jahr 2005 erstellten Prototyp des Online-Atlas weitere Ergänzungen und Aktualisierungen vorgenommen. In der Hauptsache wurden die Inhalte der Onlineausgabe mehr an die der gedruckten Ausgabe des Atlas angelehnt. Das Auswahlménü auf der linken oberen Seite wurden in die drei Bereiche „Basis“, „Simulationsmodelle“ und „Szenarien und Ergebnisse“ geändert und die darunter befindlichen Karten entsprechend neu zugeordnet. Zusätzlich wurden die in der gedruckten Variante vorkommenden Textseiten zu den einzelnen Kartenthemen sowie die ausführlicheren Impressumstexte in die Online-Variante übernommen und angepasst. Das Layout wurde hinsichtlich der Erreichbarkeit dieser neuen und detaillierten Informationen leicht überarbeitet.

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.

Ziel für das Jahr 2008 ist die vollständige Anpassung der Inhalte des Online-Atlas an die 2. Lieferung der gedruckten Variante. Auch der zukünftig erweiterte Einleitungsteil des gedruckten Atlas soll in der Online-Variante auf neuen Unterseiten erscheinen.

12. Fernerkundung und digitale Bildverarbeitung

Während der dritten Projektphase stand die fortgesetzte Validierung von Modellergebnissen mit Hilfe von Fernerkundungsdaten im Vordergrund. Die dabei zum Einsatz gebrachten Daten entstammen überwiegend der hauseigenen Empfangsstation, die kontinuierlich Daten von Meteosat MSG, NOAA/AVHRR sowie ENVISAT/MERIS und ASAR empfängt und automatisch archiviert. Die Fernerkundungsdaten erlauben eine flächenhafte Überprüfung von Landoberflächenparametern wie sie mit herkömmlichen Feldmethoden nur schwer zu erreichen wäre. Eine große Bandbreite an Informationen konnte während der dritten Projektphase anhand der Daten gewonnen und im Rahmen von verschiedenen Promotions- und Diplomarbeiten zur Überprüfung der Qualität der Modellansätze verschiedener Teilmodelle angewendet werden.

Aufgrund seiner Systemeigenschaften ist der von der Europäischen Raumfahrtbehörde ESA seit dem 1. März 2002 auf der ENVISAT-Plattform betriebene, Sensor MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer) für eine Untersuchung von Fragestellungen auf der Landschaftsebene besonders geeignet. Das weite FOV (Field of View) des Sensors von 68.5° resultiert in einer großen Schwadbreite, die die Aufnahme von Szenen mit einer räumlichen Abdeckung von 582 x 650km bei einer Nadirauflösung von 300 x 300m erlaubt. Das Einzugsgebiet der Oberen Donau, mit einem ungefähren Durchmesser von 450km, kann auf diese Weise während eines Satellitenüberfluges komplett erfasst werden. Dank seiner Systemkonfi-

guration mit 15 Spektralkanälen, die das elektromagnetische Spektrum in einem Wellenlängenbereich von 390 bis 1040nm abdecken, eignet sich dieses Abbildende Spektrometer auch ideal für vegetationsbezogene Untersuchungen.

Die hauseigene Datenbank der ENVISAT/MERIS Daten, die insgesamt 59 Level „1b“ Aufnahmen aus den Jahren 2002-2006 umfasst, wurde im Hinblick auf Szenen analysiert, die eine volle Abdeckung des Einzugsgebietes der Oberen Donau aufweisen und gleichzeitig nur minimale Wolkenbedeckungsgrade zeigen. Ein 13 Szenen umfassender Datensatz konnte so aus Aufnahmen der Jahre 2002 bis 2005 zusammengestellt und für die weitere Prozessierung extrahiert werden. Die in den Bilddaten vorhandenen atmosphärischen Wasserdampfeffekte wurden durch eine Methode nach PREUSKER et al. (2006) eliminiert, indem die Wolkenwahrscheinlichkeit entsprechend einer Neuronalen-Netzwerk-Methode berechnet und alle Bildbereiche, die eine Wolkenwahrscheinlichkeit von über 80% aufwiesen, aus den Bilddaten herausmaskiert wurden. Die solcherart vorprozessierten Daten wurden in die flächentreue Lambert-Projektion der DANUBIA-Modellumgebung transformiert und von ihrer ursprünglichen Nadirauflösung von 300m auf die modellkonforme räumliche Auflösung von 1000 m interpoliert. Mit Hilfe der von der ESA entwickelten Bildverarbeitungssoftware BEAM-VISAT (**B**asic **E**RS & **E**NVISAT **A**TSR and **M**ERIS - **V**isualization and **A**nalysis **T**ool), die kostenfrei im Internet zum Download bereitgestellt wird, wurde die grüne relative Blattfläche (green LAI entsprechend der Definition von PRIVETTE et al. 2001) aus der spektralen Information berechnet. Dabei kam das von BARET et al. (2006) und BACOUR et al. (2006) entwickelte TOA_Veg (**T**op of **A**tmosphere **V**egetation processor) Werkzeug zum Einsatz, das auf einer Strahlungstransferberechnung mit Hilfe einer Kombination der Modelle PROSPECT (JACQUEMOUD und BARET 1990) und SAIL (**S**cattering by **A**rbitrarily **I**nclined **L**eaves, VERHOEF 1984 und 1985), sowie einer vereinfachten Atmosphärenkorrektur nach RAHMAN and DEDIEU (1994, **S**implified **M**ethod for **A**tmospheric **C**orrections) beruht. Die auf diese Art gewonnen, räumlich verteilten LAI-Informationen wurden in einem ersten Ansatz Modellergebnissen aus Validierläufen gegenübergestellt. Dabei zeichnete sich bereits ab, dass die räumliche Verteilung der aktiven grünen Blattfläche von der biologischen Modellierung realistisch wiedergegeben wird. Erste Eindrücke zeigten aber auch, dass die Qualität des LAI-Produkts maßgeblich von den atmosphärischen Zuständen zum Zeitpunkt der Aufnahme beeinflusst wird. Eine vertiefende Untersuchung der Qualität des LAI-Produktes, sowie der Modellqualität im Vergleich zu den aus Satellitendaten abgeleiteten LAI-Informationen ist aktuell im Rahmen einer Diplomarbeit geplant.

13. Pflege der Datenbank und GIS

Die Aufbereitung und Fortführung der meteorologischen Zeitreihen erfolgt in mehreren Access-Datenbanken. Diese umfassen je nach Herkunftsland stündliche und/oder tägliche Messwerte zu klimatologischen Parametern. Es stehen Daten aus den im GLOWA-Gebiet liegenden deutschen und österreichischen Bundesländern von 1949 bis 2007 zur Verfügung, wobei die umfangreichsten Messwerte seit 1960 vorliegen. Diese werden vom Deutschen Wetterdienst (Ofenbach) und von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (Wien) bezogen.

Die Datenbanken werden kontinuierlich mit den aktuellen meteorologischen Werten erweitert.

Im Rahmen des Partnerprojektes „Brahmatwinn“ stehen seit Kurzem auch Klimadaten aus Südtirol zur Verfügung.

Die für alle Teilprojekte relevanten 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 verwaltet.

Vom GIS und den Access-Datenbanken aus erfolgt der Transfer der Daten zur Kartographie einerseits für die Aufbereitung der Druckversion und andererseits zum Datenpool des Internet-Auftritts (MySQL-Datenbank des Online-Atlas; s. Kap. 11).

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 das Projekt Stakeholderbeteiligung in dieser Phase drei Ziele:

1. Formulierung, Anreicherung und Bewertung der Szenarien gemeinsam mit Stakeholdern unter Nutzung des entstehenden „Global Change Atlas“ → Qualität und Relevanz der Ergebnisse steigern,
2. Diskussion der Ergebnisse des Projekts mit den Stakeholdern zur Antizipierung 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 15. Juli 2007 bis 30. April 2008**

In der dritten Phase wurde das Projekt vom IFOK neu übernommen, unter Leitung von Friedrich Barth sowie Dr. Hannah Büttner und Martina Richwien. Das IFOK Team nahm seine Arbeit nach Unterzeichnung der Kooperationsvereinbarung zum 15. Juli 2007 auf. Im Berichtszeitraum stand die Identifizierung, Ansprache und Bedarfserhebung bei Stakeholdern im Vordergrund. Folgende Leistungen wurden hierfür erbracht:

- **Juli 2007:** Vorbereitung und Teilnahme am GLOWA Projektleitertreffen am 20. Juli 2007.
- **August 2007:** Inhaltliche und konzeptionelle Vorbereitung des Projektes, Auswertung vorhandener Unterlagen.
- **September 2007:** Durchführung von Interviews und einer Abfrage per Fragebogen bei allen Teilprojekten zum Thema Stakeholderbeteiligung. Vorbereitung, Moderation und Nachbereitung einer Arbeitssitzung zur Stakeholderbeteiligung im Rahmen der GLOWA Klausur in Herrsching. Teilnahme an der 3-tägigen Klausur. Ergebnis: gemeinsames Verständnis zu zentralen Begrifflichkeiten, zu Zielen und Vorgehensweise des Stakeholderprozesses und zur Synchronisation der Projekte.
- **Oktober 2007:** Ausarbeitung einer Feinkonzeption und eines detaillierten Fahrplans zur Stakeholderbeteiligung, Erstellung einer umfassenden Stakeholderliste auf Basis von vorliegenden Informationen, eigenen Recherchen und Abfragen bei den Teilprojekten.
- **November 2007:** Etablierung einer „Projektgruppe Stakeholder“, Entwicklung und Abstimmung eines Interviewleitfadens.
- **Dezember 2007:** Beginn der Ansprache von Stakeholdern für Interviews. Beratung zu Kommunikationsinstrumenten (Flyer, Produktblätter).
- **Seit Januar 2008:** Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung von Telefoninterviews mit insgesamt ca. 20 ausgewählten Personen. Ziel der Gespräche ist die Information über GLOWA sowie eine Bedarfserhebung bei einem Querschnitt von *Stakeholdern*.

- **Seit Februar 2008:** Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung von insgesamt etwa 10 Rundgesprächen bei Entscheidern unter Beteiligung von GLOWA Wissenschaftlern und des LfU. Ziel dieser Gespräche ist u.a. die frühzeitige Information und Einbindung von Entscheidern sowie der Abgleich von Erwartungen (abgeschlossen bis Sommer 2008). Teilnahme an zwei Konferenzen zum Thema Klimawandel und Wasserwirtschaft.
- **März 2008:** Mitwirkung beim Workshop des LfU. Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung eines Arbeitstreffens mit LMU, LfU und IFOK. Ergebnis: Aktualisierte und abgestimmte Arbeits- und Prozessplanung bis Oktober 2008, weitere Synchronisation von Szenarienentwicklung und Stakeholderbeteiligung.
- **April 2008:** Weitere Interviews und Rundgespräche, Vorbereitung der Klausur in Herrsching. Zusätzlich: Abstimmung mit dem Brahmatwinn Projekt.

14.2 Ausblick und Änderungen

Bis Sommer 2008 ist die Ansprache und Bedarfserhebung bei Stakeholdern vorerst abgeschlossen. Dann steht die Entwicklung und Diskussion von Szenarien im Mittelpunkt. Dies wird durch ein weiteres Arbeitstreffen im Juni 2008 vorbereitet. Derzeit sind für Herbst 2008 drei thematisch unterschiedliche Szenarioworkshops mit Stakeholdern geplant. Bei den Szenarioworkshops steht die Diskussion der bis dahin vorliegenden Szenarienrechnungen im Mittelpunkt, auf dieser Basis soll dann gemeinsam mit Stakeholdern die Festlegung von Baseline-Szenarien und Auswertungsparametern erfolgen. Ab Herbst startet dann auf dieser Basis die Modellierung und Diskussion der sog. komplexen Szenarien.

15. Literatur

- BACOUR, C., BARET, F., BEAL, D., WEISS, M. und PAVAGEAU, K. (2006): Neural network estimation of LAI, fAPAR, fCover and LAIxCab, from top of canopy MERIS reflectance data: Principles and validation. *Remote Sensing of Environment*, Volume 105, Issue 4, S. 313-325.
- BARET, F., PAVAGEAU K., BÉAL D., WEISS M., BERTHELOT B. und REGNER P. (2006): Algorithm Theoretical Basis Document for MERIS Top of Atmosphere Land Products (TOA_VEG). Version 3 INRA-CSE, Avignon, S. 37.
- JACQUEMOUD, S. und BARET, F. (1990): PROSPECT: A model of leaf optical properties spectra. *Remote Sensing of Environment*, Volume 34, S. 75-91.
- PREUSKER, R., HUENERBEIN, A. und FISCHER, J. (2006): Cloud detection with MERIS using oxygen absorption measurements. In: *Geophysical Research Abstracts*, Volume 8, 09956, General Assembly of the European Geosciences Union Vienna (EGU), Vienna, Austria.
- PRIVETTE, J.L., MORISETTE, J., BARET, F., GOWER, S.T. und MYNENI, R.B. (2001): Summary of the International Workshop on LAI Product Validation. *Earth Observer*, Volume 13, Issue 3, S. 18-22.
- RAHMAN, H. und DEDIEU, G. (1994): SMAC: a simplified method for the atmospheric correction of satellite measurements in the solar spectrum. *International Journal of Remote Sensing*, Volume 15, Issue 1, S. 123-143.
- VERHOEF, W. (1984): Light scattering by leaf layers with application to canopy reflectance modeling: The SAIL model. *Remote Sensing of Environment*, Volume 16, S. 125-141.
- VERHOEF, W. (1985): Earth Observation modeling based on layer scattering matrices. *Remote Sensing of Environment*, Volume 17, S. 165-178.

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. Die Architektur des DANUBIA-Systems auf der obersten Hierarchieebene ist in Abbildung 1 dargestellt.

Das System besteht aus vier Hauptkomponenten, die in Abbildung 1 in UML-Paketnotation dargestellt sind. In der Komponente *DANUBIAComponents* sind die Simulationsmodelle der verschiedenen Projektgruppen realisiert, die über Schnittstellen kommunizieren und während einer integrativen Simulation Daten austauschen. Das DANUBIA-Kernsystem (*DANUBIACORE*) besteht aus einem *Entwickler-Framework*, das von den verschiedenen Fachgruppen zur Entwicklung ihrer Modelle verwendet wird, und aus einer Laufzeitumgebung zur Netzwerkverwaltung und zur Steuerung von Simulationsläufen.

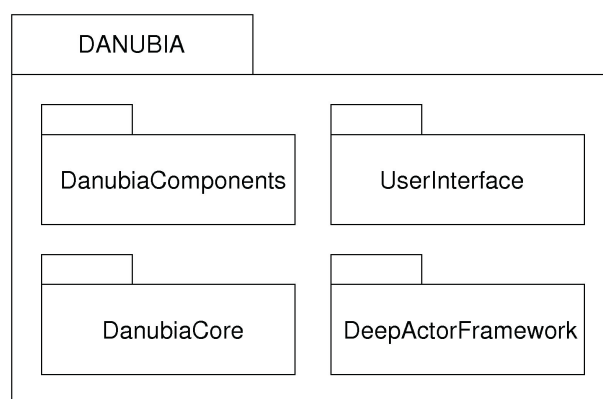


Abb. 1: Architektur des DANUBIA-Systems

Das *DEEPACTORFRAMEWORK* stellt einen speziell auf die Anforderungen sozialwissenschaftlicher Modelle angepassten Rahmen zur Implementierung tiefer (d.h. entscheidungsgesteuerter) Akteure dar. Die Komponente *UserInterface* beinhaltet die Web-basierte Benutzerschnittstelle des DANUBIA-Systems.

Im Berichtszeitraum wurden folgende grundlegende Arbeiten von der Gruppe Informatik durchgeführt:

- Die in der zweiten Förderphase begonnene Restrukturierung (*Refactoring*) des DANUBIA-Kernsystems zur strikteren Trennung zwischen *Entwickler-Framework* und Laufzeitumgebung wurde mit der Veröffentlichung der Version 2.0 abgeschlossen.
- Es wurde ein Konzept zur Modellierung subskaliger Landnutzungsdaten in den Simulationsmodellen entwickelt und das DANUBIA-Kernsystem entsprechend angepasst.
- Die Web-basierte Benutzerschnittstelle *DANUBIAMANAGER* wurde fertig gestellt und an das DANUBIA-Kernsystem angeschlossen.
- Zur Spezifikation und Analyse von DANUBIA-Schnittstellen wurde eine formale Sprache zur Wertebereichsspezifikation entwickelt und ein Werkzeug zur automatischen Überprüfung von Simulationskonfigurationen implementiert

- Es wurde ein Ansatz zur statischen Analyse und Bewertung der Performanz von Simulationsläufen entwickelt.
- Es wurde an der Konzeption zur Migration von DANUBIA in ein Open Source Software Projekt gearbeitet.
- Es wurde ein Werkzeug zur Konvertierung von Ergebnisdaten, die unter DANUBIA 1.x erzeugt wurden, entwickelt, um die Daten mit DANUBIA 2 zu Testzwecken verwenden zu können.
- Das *DeepActor-Framework* wurde an DANUBIA 2 angepasst.
- Für die Durchführung lokaler Simulationstestläufe wurden sowohl die Java-basierte Benutzerschnittstelle *DANUBIAMonitor*, als auch die Kommandozeilen-basierte Benutzerschnittstelle *DANUBIACommander* an das durch die Web-basierte Benutzerschnittstelle vorgegebene Konfigurations- und Metadaten-Konzept angepasst.

Des Weiteren hat die Gruppe Informatik kontinuierlich die einzelnen Fachgruppen bei der Entwicklung ihrer Simulationsmodelle, der Umstellung der Modelle auf DANUBIA Version 2.0 und deren Integration in das *DANUBIA-Framework* (einschl. *DeepActor-Framework*) unterstützt und technische Wartungsarbeiten übernommen. Insbesondere war die Gruppe Informatik an der Erstellung von *DANUBIALight 2.0* sowohl konzeptionell durch Mitarbeit in der entsprechenden Arbeitsgruppe, als auch technisch durch Mithilfe bei der Integration von Fortran-Modellen in die DANUBIA-Komponente *NATURALENVIRONMENT* beteiligt.

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. Matthias Ludwig: 01.05.2007-30.04.2008, 1 BAT IIA Stelle
- Dipl.-Inf. Stephan Janisch: 01.05.2007-30.04.2008, 1 BAT IIA Stelle

2.2 Veranstaltungen und Konferenzen

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

- 24.08.2007 Arbeitstreffen „Open Source DANUBIA“ mit C. Heinzeller der Gruppe Koordination (Janisch)
- 21.09.-24.09.2007 GLOWA-Danube Klausurtagung, Herrsching (Hennicker, Janisch, Ludwig)
- 16.10.-18.10.2007 Arbeitstreffen mit Vertretern der Gruppen Agrarökonomie, Pflanzenökologie (Agrarökosysteme) und Hydrologie/Fernerkundung zum Thema „Technische Umsetzung der Beschlüsse von Herrsching“, Köln (Ludwig)

- 19.10.2007 Projektleitungstreffen, München (Hennicker)

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

- HENNICKER, R.: Teilnahme am Seminar CoCoME (Common Component Modelling Example) auf Schloss Dagstuhl (01.08.-03.08.2007)
- HENNICKER, R.: Teilnahme am Brazilian Symposium on Formal Methods 2007 in Salvador (29.08.-31.08.2007)
- HENNICKER, R.: Kolloquiumsvortrag an der Karls-Universität Prag über das DANUBIA-System (30.10.2007)

2.3 Veröffentlichungen und Technische Berichte

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

BARTHEL R., JANISCH S., SCHWARZ N., TRIFKOVIC 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, Elsevier, accepted for publication.

BIDOIT M. und HENNICKER R. (2007): A model-theoretic foundation for contract-based software components. In: de MELO, A. C.V., MOREIRA, A.F., CANARAO, L. and PIMENTEL, E. (eds.): Proc. SBMF 2007, Brazilian Symposium on Formal Methods. Publishing Company Sociedade de Computacao, August 2007, Ouro Preto.

KNAPP A., JANISCH S., HENNICKER R., CLARK A, GILMORE S, HACKLINGER F., BAUMEISTER H. und WIRSING M. (2007): Chapter Modelling the CoCoME with the Java/A component model. To appear, in CoCoME Book.

ERNST A., SCHULZ C, SCHWARZ N. und JANISCH S. Modeling of Water Use Decisions in a Large, Spatially Explicit Coupled Simulation System. To appear in: EDMONDS, B., IGLESIAS, C.H. and TROITZSCH, KG. (eds.): Social Simulation: Technologies, Advances and New Discoveries, Idea Group Inc., 2007.

Anleitungen und Dokumentationen für Modell-Entwickler

Es wurde eine Reihe von Anleitungen und Dokumentationen zur Unterstützung der Modell-Entwicklung mit DANUBIA verfasst. Diese Dokumente wurden auf dem projektinternen FTP-Server veröffentlicht.

JANISCH, S (2006): *DeepActor-Framework* Reference Manual. 2006, Nov 2007.

LUDWIG, M (2007): DANUBIA 2.0 - Handbuch für Modellentwickler. Okt 2007.

LUDWIG, M (2007): Konfiguration und Durchführung von lokalen Simulationstestläufen. Dez 2007.

Diplomarbeiten und Fortgeschrittenenpraktika

WAGNER, S. (2007): Specification and Tool-Based Analysis of DANUBIA Simulation Configurations. Diplomarbeit. Institut für Informatik, Ludwig-Maximilians-Universität München.

2.4 Promotionen

KRAUS, Andreas (04.07.2007): Projektmitarbeiter in den beiden ersten Phasen von GLOWA-Danube mit Dissertation über das Thema „Model Driven Software Engineering for Web Applications“. (Erstgutachter: Prof. Dr. Rolf Hennicker, Zweitgutachter: Prof. Dr. Antonio Vallecillo).

3. Kernsystem DANUBIA 2

Die Arbeiten am DANUBIA-Kernsystem bezogen sich im Berichtszeitraum im Wesentlichen auf den Abschluss der Restrukturierung (*Refactoring*) und die Erweiterung um *subskalige* Landnutzung.

3.1 *Refactoring*

Unter *Refactoring* versteht man die Umstrukturierung von Programm-Code unter Beibehaltung der Funktionalität. Refactoring dient unter anderem zur Verbesserung der Verständlichkeit, Wartbarkeit und Erweiterbarkeit eines Systems.

Die Maßnahmen zum Refactoring des DANUBIA-Kernsystems begannen in der zweiten Förderphase mit der Entwicklung eines Komponenten-Ansatzes, mit dem auf Entwurfsebene eine Gliederung des Systems in funktional zusammengehörende Bereiche erzielt wurde. Ferner wurde ein Muster zur systematischen Umsetzung der Entwurfs-Komponenten in eine Implementierung vorgestellt. Im Berichtszeitraum wurde das *Refactoring* des DANUBIA-Kernsystems weitgehend abgeschlossen. Dazu wurde der genannte Komponenten-Ansatz gemäß des in (INFORMATIK 2007) angegebenen Muster in eine Implementierung umgesetzt. Weiterhin waren aufgrund der sich aus dem Komponenten-Ansatz neu ergebenden Paketstruktur Anpassungen an den meisten Kernsystem-Klassen notwendig. Durch das Refactoring wurde eine strikte Trennung zwischen Entwickler-*Framework* und Laufzeitumgebung erzielt. Dadurch ergeben sich wesentliche Vereinfachungen für die Modellentwickler sowohl bei der Entwicklung als auch bei der Integration ihrer Modelle in das DANUBIA-System.

Im Zuge der Anbindung der Web-basierten Benutzerschnittstelle (vgl. Abschnitt 4) an das DANUBIA-Kernsystem wurden die neuen Komponenten *MetaData* und *Configuration* entwickelt, die folgende Aufgaben wahrnehmen. Die Komponente *MetaData* ist zuständig für das Einlesen von Metadaten, die in Form von Textdateien vorliegen. Aus den eingelesenen Textdateien werden Objekte der Metadatenklassen (vgl. Abb. 4) erzeugt, die von der Benutzerschnittstelle zur Anzeige der enthaltenen Informationen verwendet werden. Die Komponente *Configuration* nimmt hingegen die an der Benutzeroberfläche erstellten Objekte der Konfigurationsklassen (vgl. ebenfalls Abb. 4) entgegen und bereitet diese für die Verwendung im DANUBIA-Kernsystem sowie in den einzelnen Simulationsmodellen auf.

Des Weiteren wurde eine Komponente *BaseData* als Subkomponente der Komponente *Simulation* entwickelt, deren Aufgabe es ist, die in einer Basisdaten-Konfiguration beschriebenen Ressourcen zu laden und den Simulationsmodellen zur Initialisierung zur Verfügung zu stellen. Diese Komponente löst die vormals zur Initialisierung verwendete zentrale Datenbank ab. Dies stellt eine wesentliche Erhöhung der Flexibilität des Systemeinsatzes dar, da zum Betrieb von DANUBIA nun keine Datenbank mehr installiert werden muss, die Verwendung einheitlicher Initialisierungsdaten für alle Simulationsmodelle aber weiterhin gewährleistet ist.

3.2 Subskalige Landnutzung

Zur Berücksichtigung subskaliger Landnutzungsinformationen in den Simulationsmodellen wurde ein Implementierungsmuster, das so genannte *Subproxel*-Konzept entwickelt. Für den Austausch *subskaliger* Informationen zwischen Simulationsmodellen wurde das DANUBIA-Datentyp-*Framework* um *subskalige* Datentypen erweitert.

3.2.1 Subproxel-Konzept

Die Landnutzung stellt einen wichtigen integrativen Datensatz bei gekoppelten Simulationsläufen mit DANUBIA dar. Während bei den Modellrechnungen bisher für jeden Proxel nur ein Landnutzungstyp berücksichtigt wurde, sollen in der dritten Förderphase mehrere Landnutzungstypen pro Proxel modelliert werden. In die Berechnungen sollen die Flächenanteile der einzelnen Landnutzungstypen auf dem Proxel eingehen, nicht aber die genaue Verortung.

Zur Realisierung dieser Anforderungen wurde auf Seiten des DANUBIA-*Framework* die Landnutzungskomponente (vgl. Jahresbericht 2006) entwickelt, die die subskalige Landnutzung der Proxel und deren Veränderung während einer integrativen Simulation verwaltet und den Simulationsmodellen zur Verfügung stellt. Zur Implementierung der *subskaligen* Landnutzung in den einzelnen Simulationsmodellen wurde in Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt Pflanzenökologie (Agrarökosysteme) das Konzept der *Subproxel* entwickelt. Dieses Konzept stellt ein Implementierungsmuster dar, das im Folgenden anhand eines Beispiels erläutert wird.

Als Beispiel betrachten wir dazu das Modell Soil mit der zugehörigen Proxel-Klasse SoilProxel (vgl. Abb. 2). Diese beiden Klassen sind von den Basisklassen AbstractModel bzw. AbstractProxel abgeleitet. Zur Behandlung der *subskaligen* Landnutzung wird die Klasse SoilSubProxel mit der abstrakten Methode computeSubProxel eingeführt. Für jeden möglichen Landnutzungstyp lt_1, \dots, lt_n wird jeweils eine Unterklasse SoilSubProxel_1, ..., SoilSubProxel_n erstellt, in der die Methode computeSubProxel unter Berücksichtigung des Landnutzungstyps lt_i implementiert wird.

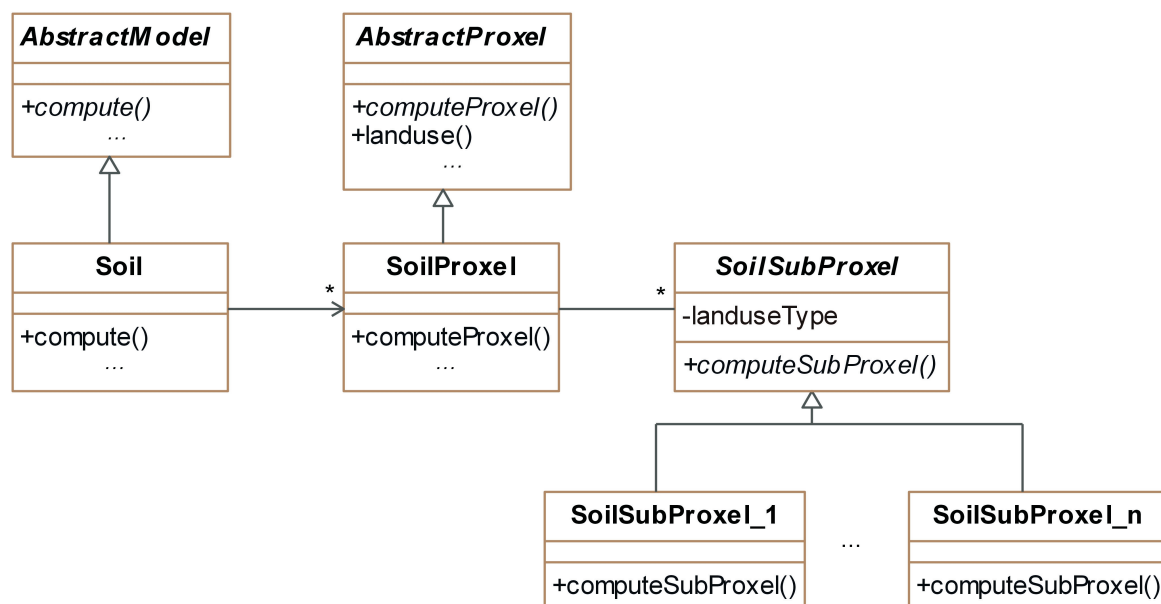


Abb. 2: Konzept zur Modellierung *subskaliger* Landnutzung

Während im Fall eines nicht *subskalig* arbeitenden Modells die Algorithmen zur Berechnung des nächsten Zeitschritts in der jeweiligen Proxel-Klasse realisiert sind, erfolgen diese bei Anwendung des Subproxel-Konzepts in den jeweiligen Subproxel-Klassen. Die Proxel-Klas-

se dient in diesem Fall der Verwaltung der Subproxel. Dies wird im Folgenden anhand des Beispiels erläutert.

Bei der Initialisierung eines `SoilProxel`-Objekts wird eine Menge von `SoilSubProxel`-Objekten erzeugt, und zwar jeweils ein Objekt für jeden auf dem Proxel vorkommenden Landnutzungstyp. Die auf einem Proxel vorhandenen Landnutzungstypen können über die Query `landuse` der Basisklasse `AbstractProxel` abgefragt werden (zur Vereinfachung wird auf den Rückgabebetyp dieser Query hier nicht näher eingegangen). Ebenfalls sind über diese Query die zu den Landnutzungstypen gehörenden Flächenanteile verfügbar. Durch die Landnutzungs-komponente des `DANUBIA-Framework` ist sichergestellt, dass die Query zu jedem Zeitschritt die aktuellen Flächenanteile des jeweiligen Landnutzungstyps liefert.

Die Berechnung eines Zeitschritts ist in dem Sequenzdiagramm in Abbildung 3 dargestellt. Über die Laufzeitumgebung des `DANUBIA-Framework`, repräsentiert durch ein Objekt der Klasse `ModelCore`, wird die Methode `compute` der `Model`-Klasse `Soil` aufgerufen. Innerhalb dieser Methode wird in einer Schleife, die sich über alle vorhandenen Proxel erstreckt, die Methode `computeProxel` auf jedem Proxel aufgerufen (anstelle der sequentiellen Schleife ist in einigen Modellen auch ein paralleler Aufruf möglich). In der Methode `computeProxel` wird wiederum in einer Schleife, die sich nun über alle zu diesem Proxel gehörigen Subproxel-Objekte erstreckt, die Methode `computeSubProxel` auf dem entsprechenden Subproxel zur Ausführung gebracht.

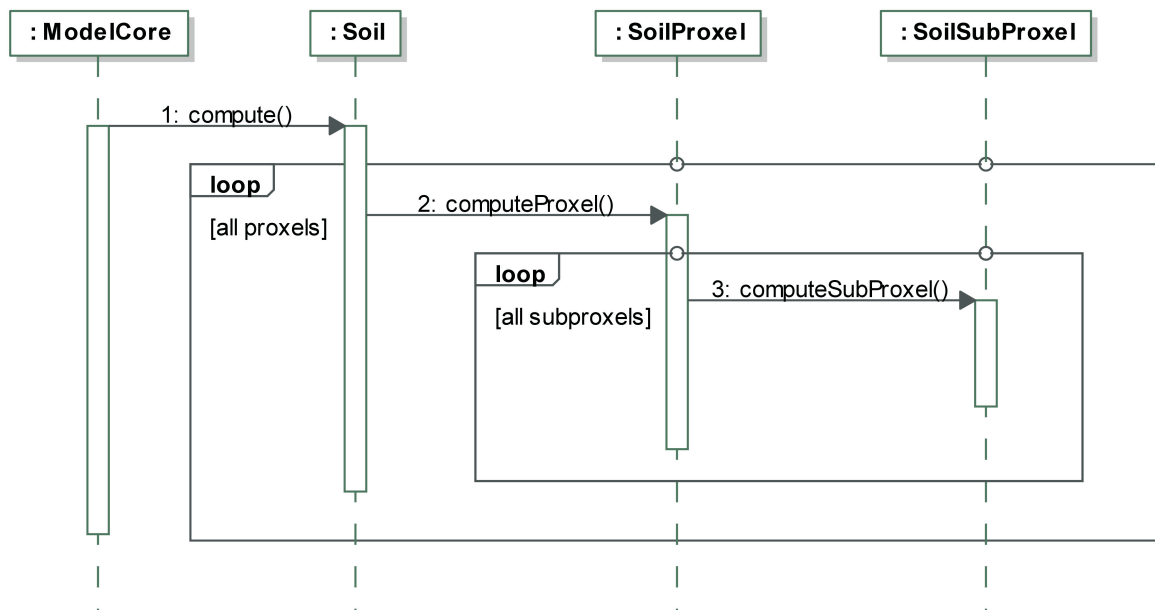


Abb. 3: Sequenzdiagramm zum Ablauf eines Berechnungsschritts

Nach der Berechnung eines Zeitschritts, das heißt nach Ablauf der Methode `computeSubProxel` in allen `Subproxel`-Objekten, werden die berechneten Werte in der Klasse `SoilProxel` integriert. Das bedeutet, dass die Werte zum Datenaustausch mit nicht *subskalig* arbeitenden Modellen gewichtet nach den Flächenanteilen des Landnutzungstyps zusammengefasst (z. B. aggregiert oder gemittelt) werden, oder aber zum Datenaustausch mit *subskalig* arbeitenden Modellen in *subskalige* Datentypen, die im folgenden Abschnitt beschrieben werden, gefasst werden.

3.2.2 Subskalige Datentypen

Für den Datenaustausch zwischen *subskalig* arbeitenden Modellen sind aggregierte Werte der *subskaligen* Variablen nicht ausreichend, da die Werte der Stoff- und Energieflüsse den einzelnen Landnutzungstypen zugeordnet werden müssen. Um diesen Anforderungen zu

begegnen, wurden die Strukturdatentypen `BooleanCollectionDataElement`, `FloatCollectionDataElement`, `IntegerCollectionDataElement`, `ComposedCollectionDataElement`, sowie `FloatLayerStackDataElement` entwickelt. Aus diesen können von den Modellentwicklern durch Vererbung konkrete Datentypen erstellt werden, die in den DANUBIA-Schnittstellen zur Spezifikation des Datenaustauschs verwendet werden. Der diesen Collection-Datentypen zugrunde liegende Aufzählungstyp ist durch die Klasse `LanduseTypeConstants` gegeben, in der Typkonstanten für die in DANUBIA vorhandenen Landnutzungstypen definiert werden.

Mit der Erweiterung des Datentyp-*Frameworks* durch die oben genannten Strukturdatentypen war auch eine Anpassung des Datentyp-Generators notwendig, der aus den von den Modellentwicklern definierten Entwurfsdatentypen Implementierungsdentypen und Datentabellen erzeugt.

4. Web-basierte Benutzerschnittstelle

Im Rahmen der Dissertation von Andreas Kraus (vgl. Abschnitt 2.4) wurde die Web-basierte Benutzerschnittstelle DANUBIAManager für das DANUBIA-System als Fallstudie für eine Methodik zur modellgetriebenen Entwicklung von Web-Anwendungen erstellt. Diese Benutzerschnittstelle wurde gleichzeitig mit dem restrukturierten DANUBIA-Kernsystem eingeführt und wird für den Produktiveinsatz von DANUBIA verwendet. Aufgaben des DANUBIAManager sind unter anderem die Verwaltung von Umweltprojekten, Szenarien und Simulationen, sowie Start und Überwachung von integrativen Simulationsläufen. Ein Fachmodell, das die genannten Begriffe erläutert und zueinander in Beziehung setzt, ist in (INFORMATIK 2007) enthalten.

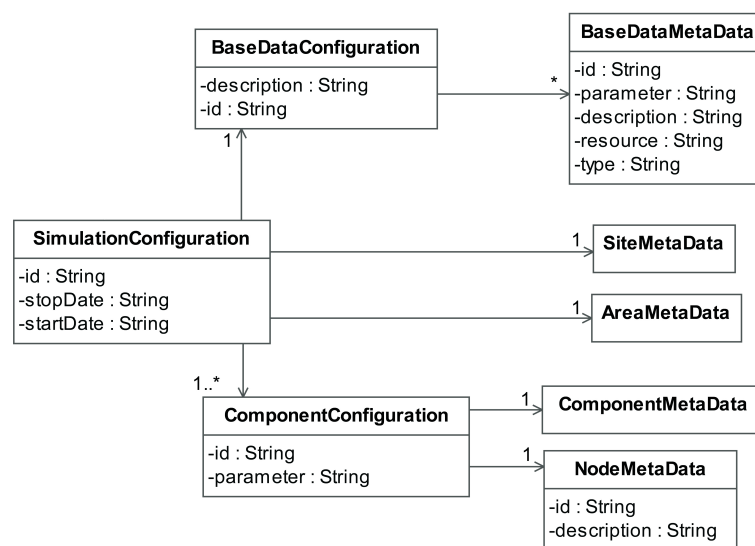


Abb. 4: Konfigurations- und Metadatenmodell

Im Berichtszeitraum wurde die Web-basierte Benutzerschnittstelle an das DANUBIA-Kernsystem angeschlossen. Der Begriff der Simulationskonfiguration wurde präzisiert, woraus das in Abbildung 4 dargestellte Fachmodell resultierte. Eine Simulationskonfiguration (`SimulationConfiguration`) legt zunächst den Simulationszeitraum (durch die Attribute `startDate` und `stopDate`) und das Simulationsgebiet (durch die Assoziationen zu den Klassen `SiteMetaData` und `AreaMetaData`) fest. Daneben besteht eine Simulationskonfiguration auch aus einer Basisdatenkonfiguration (`BaseDataConfiguration`) und einer Menge von Komponentenkonfigurationen (`ComponentConfiguration`). Die Basisdatenkonfiguration legt fest, welche Ressourcen zur Initialisierung der Simulationsbasisdaten verwendet werden. Dazu enthält sie eine Menge von `BaseDataMetaData`-Objekten, die jeweils eine Ressource beschreiben.

Durch die Menge der Komponentenkonfigurationen wird bestimmt, welche Simulationskomponenten an dem Simulationslauf beteiligt sind. Eine Komponentenkonfiguration enthält wiederum ein ComponentMetaData-Objekt, das die Metadaten der Komponente beschreibt, sowie ein NodeMetaData-Objekt, das die Rechner-Ressource repräsentiert, auf dem die Komponente ausgeführt werden soll.

Den Benennungen der einzelnen Klassen in dem in Abbildung 4 dargestellten Fachmodell liegt folgende Systematik zugrunde. Objekte von Klassen mit dem Suffix MetaData werden aus Textdateien erzeugt, die für jedes Attribut dieser Klasse ein Schlüssel-Wert-Paar enthalten. Die Attributwerte können an der Benutzeroberfläche angezeigt, aber nicht verändert werden. Dahingegen werden Objekte von Klassen mit dem Suffix Configuration durch die Web-basierte Benutzeroberfläche erzeugt und die Werte ihrer Attribute durch Auswahl oder Eingaben an der Benutzeroberfläche bestimmt. Diese Objekte werden beim Simulationsstart vom DANUBIA-Kernsystem zur Initialisierung des Simulationslaufs verwendet.

Aus der Struktur einer Simulationskonfiguration ergibt sich der Aufbau der Web-Anwendung DANUBIAManager, deren Startseite in Abbildung 5 dargestellt ist. Von der Startseite aus kann zu den Teilbereichen ProjectManager, BaseDataManager und ComponentManager navigiert werden. Die Erstellung einer Simulationskonfiguration erfolgt im ProjectManager. Als Voraussetzung dazu müssen jedoch geeignete Basisdatenkonfigurationen und Komponentenkonfigurationen mit dem BaseDataManager bzw. dem ComponentManager erstellt werden.



Abb. 5: Startseite des DANUBIA Manager

Nach dem Erstellen einer (gültigen) Simulationskonfiguration kann innerhalb des Project-Manager ein Simulationslauf gestartet werden. Während des Simulationslaufs werden an der Benutzeroberfläche verschiedene Informationen über den Simulationsverlauf, unter anderem der Simulationsfortschritt, angezeigt (vgl. Abb. 6).

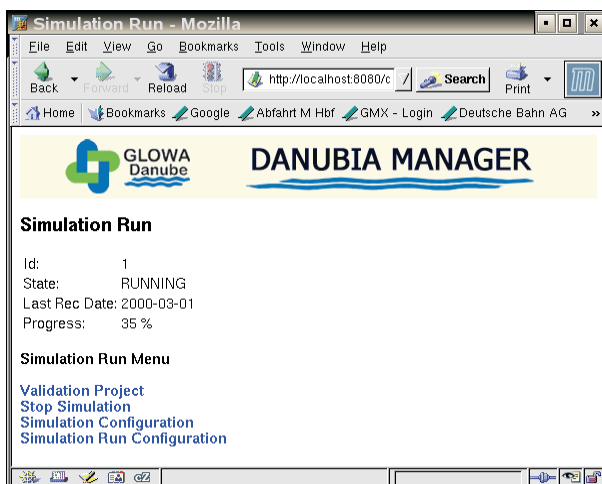


Abb. 6: Anzeigen während eines Simulationslaufs

5. Spezifikation und Analyse

In diesem Abschnitt werden Aspekte der Spezifikation und Analyse des DANUBIA-Systems betrachtet. Eine Grundlage dieser Betrachtungen bildet der Begriff der DANUBIA-Assembly. Eine DANUBIA-Assembly spezifiziert die Kopplung von DANUBIA-Komponenten über Schnittstellen, wie sie in Abbildung 7 dargestellt ist.

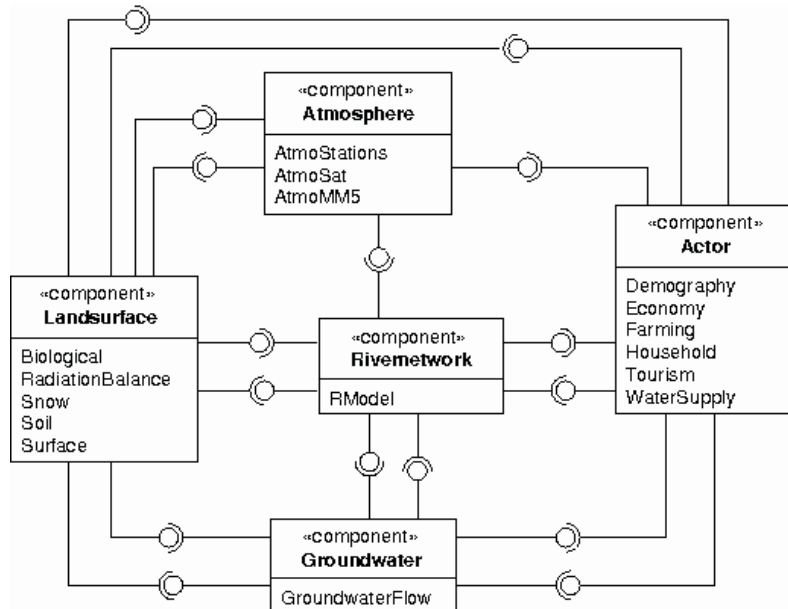


Abb. 7: DANUBIA-Assembly

In Abschnitt 5.1 wird über die Fortschritte bei der Spezifikation und Analyse von DANUBIA-Schnittstellen berichtet, während in Abschnitt 5.2 ein Ansatz zur Performanzanalyse von DANUBIA-Simulationsläufen vorgestellt wird.

5.1 Spezifikation und Analyse von DANUBIA-Schnittstellen

In der zweiten Förderphase wurde ein erster Ansatz für die Spezifikation von DANUBIA-Schnittstellen entwickelt. Spezifikationen wurden in einem einfachen Textformat abgefasst, das eine räumlich nicht weiter aufgelöste Wertebereichsspezifikation für jede Methode einer DANUBIA-Schnittstelle erlaubte. Dabei wurde zwischen Import- und Exportspezifikationen unterschieden. Die Spezifikationen wurden den Schnittstellen in Form eines UML-Kommentars beigefügt. In Abbildung 8 ist beispielhaft die Spezifikation der Schnittstellen der Komponente *Snow* in dieser Form dargestellt. Die Verträglichkeit korrespondierender Import- und Exportspezifikationen, die die Grundlage für die Gültigkeit einer Simulationskonfiguration darstellt, wurde vor einem Simulationslauf manuell durchgeführt.

Zentral für die Bedeutung der Spezifikationen für DANUBIA-Assemblies ist der folgende Vertragsbegriff: Eine bezüglich einer Export-Spezifikation korrekte Implementierung liefert stets einen in diesen Intervallen enthaltenen Wert. Demgegenüber nimmt die Implementierung einer Import-Schnittstelle an, dass Werte immer entsprechend der gegebenen Import-Spezifikation geliefert werden. Zusicherung und Annahme bilden Kompatibilitätsbedingungen für DANUBIA-Assemblies. Zwei Komponenten dürfen nur dann gekoppelt werden, wenn die Annahme des Importeurs durch die Zusicherung des Exporteurs impliziert wird. Implikation für Wertebereichsspezifikationen entspricht im Wesentlichen der Teilmengenbeziehung auf Intervallen mit expliziter Berücksichtigung der räumlichen Struktur der ausgetauschten Daten.

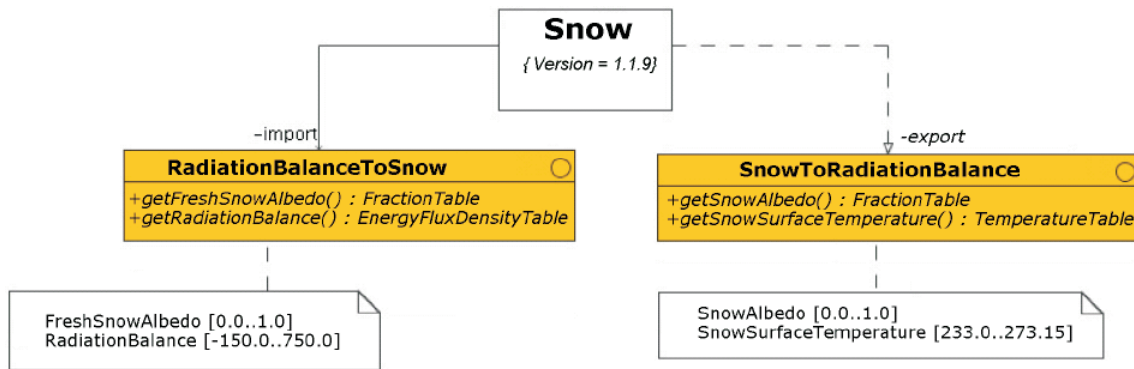


Abb. 8: UML-basierte Schnittstellenspezifikation für *Snow*

Im Berichtszeitraum wurde im Rahmen einer Diplomarbeit (WAGNER 2007) eine formale Sprache für die Wertebereichsspezifikation auf Grundlage der in (LUDWIG 2006) beschriebenen DANUBIA-Datentyp-Hierarchie entwickelt. Die Sprache verwendet Java-Annotationen zur Berücksichtigung der DANUBIA-Datentypen, sowie eine domänenspezifische Sprache (Domain Specific Language, DSL) zur Notation von Intervallbereichen. Die in Abbildung 8 gegebene Spezifikation kann mit Hilfe dieser Sprache wie folgt ausgedrückt werden.

```

public interface SnowToRadiationBalance extends DanubiaInterface{

    @Spec („[0.0..1.0]“)
    public FractionTable getSnowAlbedo();

    @Spec („[233.0..273.15]“)
    public TemperatureTable getSnowSurfaceTemperature();

}

public interface RadiationBalanceToSnow extends DanubiaInterface {

    @Spec („[-150.0..750.0]“)
    public EnergyFluxDensityTable getRadiationBalance();

    @Spec („[0.0..1.0]“)
    public FractionTable getFreshSnowAlbedo();

}
  
```

Mit der entwickelten Sprache sind auch räumlich aufgelöste Wertebereichsspezifikationen möglich, das heißt, eine Spezifikation kann durch Angabe einer Menge von Proxel-Ids auf einen Teilbereich des Simulationsgebiets eingeschränkt werden.

Die hierarchische Struktur einer DANUBIA-Assembly, sowie die Unterscheidung zwischen Simulationsmodellen und Komponenten-Controllern in DANUBIA (LUDWIG 20007), erfordert zum Auffinden korrelierender Import- und Exportspezifikationen die Konstruktion so genannter Importpfade. Ein Importpfad bezieht sich stets auf eine Methode einer Import-Schnittstelle. Er beginnt bei dieser Methode und führt einer hierarchischen Anordnung von Komponenten und Controllern folgend zu einer passenden Methode einer Export-Schnittstelle. Beispiele für mögliche Importpfade sind in Abbildung 9 dargestellt.

Aufbauend auf der Definition der formalen Spezifikationssprache wurde im Rahmen o.g. Diplomarbeit das Werkzeug DANUBIASpec zur automatischen Analyse und Kompatibilitätsüberprüfung von DANUBIA-Assemblies implementiert. DANUBIASpec liest Dateien mit den erforderlichen Spezifikationen einer Assembly ein und überprüft neben den oben erwähnten Konsistenz- und Kompatibilitätsbedingungen eine Reihe weiterer syntaktischer Bedingungen. Das Ergebnis der Analyse wird in einer GUI wie in Abbildung 10 angezeigt, oder

textuell auf der Konsole ausgegeben. Die Abbildung zeigt als Beispiel das Ergebnis der Überprüfung einer inkompatiblen Spezifikation zwischen den Komponenten *WaterSupply* und *Groundwater*.

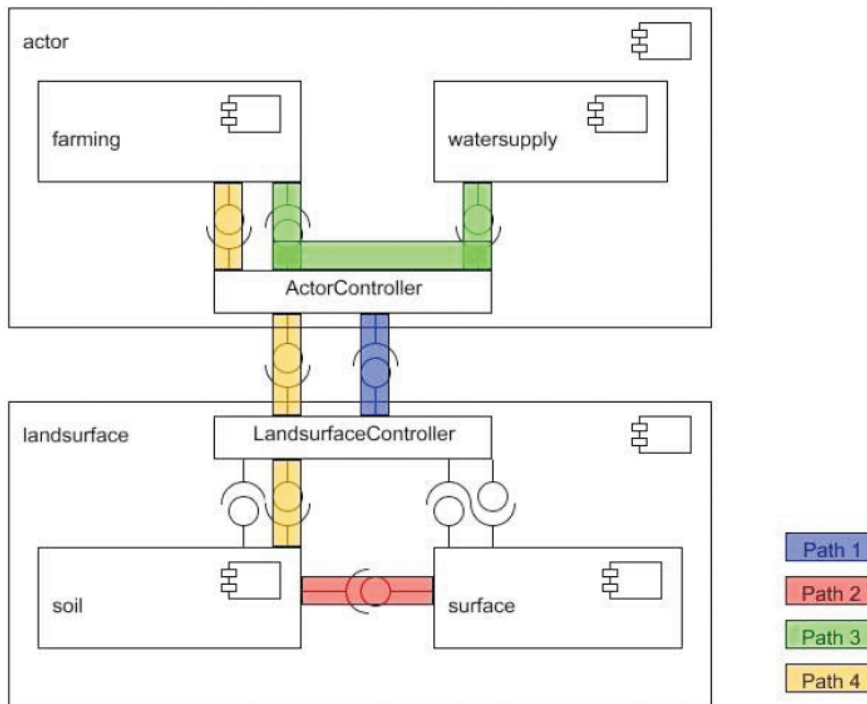


Abb. 9: Möglichkeiten für Import-Pfade in DANUBIA

Validation not successful, red components have incompatible import paths.

Components with Import Paths

- tourism
- traffic
- watersupply
 - org.glowa.danube.components.actor.watersupply.ActorControllerToWaterSupply
 - getIndustrialRiverWaterDemand()
 - getTotalPopulation()
 - getAgriculturalDrinkingWaterDemand()
 - getDomesticDrinkingWaterDemand()
 - getTourismDrinkingWaterDemand()
 - getGroundwaterLevelMonthlyMean()
 - getInExfiltrationMonthlyMean()
 - getRiverDischargeMonthlyMean()
 - getGroundwaterRechargeMonthlyMean()
 - actor: org.glowa.danube.components.actor.ActorControllerToWaterSupply.getGroundwaterRechargeMonthlyMean()
 - groundwater: org.glowa.danube.components.groundwater.GroundwaterToActor.getGroundwaterRechargeMonthlyMean()
 - groundwaterflow: org.glowa.danube.components.groundwater.groundwaterflow.GroundwaterFlowToGroundwaterController.getIndustrialGroundwaterDemand()
- landsurface

Required Method Specification
 @Spec(value=[-0.014..0.014])

Provided Method Specification
 @Spec(value=[-0.03..0.03])

>=

Abb. 10: Analyse-Ergebnis mit DANUBIASpec

Sprache und Werkzeug wurden vollständig implementiert und für die in Abbildung 7 dargestellte Assembly getestet. Für den integrativen Produktiveinsatz im Projektverbund von GLOWA-Danube ist einerseits eine Anpassung an das mit DANUBIA 2 geringfügig geänderte Datentyp-Modell und andererseits die Erstellung eines ausführlichen Benutzerhandbuchs zur Erläuterung des Spezifikationsformats sowie der Verwendung des Werkzeugs DANUBIASpec erforderlich.

5.2 Performanzanalyse von DANUBIA-Assemblies

Bei integrativen Simulationsläufen mit DANUBIA spielt die Laufzeit-Performanz eine wichtige Rolle. Ein stetiges Ziel ist daher, Möglichkeiten zur Erhöhung der Performanz zu untersuchen. In diesem Abschnitt wird ein erster Ansatz zur statischen Analyse und Bewertung der Laufzeit-Performanz einer DANUBIA-Assembly (vgl. Abb. 7) vorgestellt, auf deren Grundlage Maßnahmen zur Steigerung der Performanz ergriffen werden können.

Zur Illustration des entwickelten Ansatzes kann die hierarchische Struktur der Assembly vernachlässigt werden. Die in Abbildung 7 dargestellten Hauptkomponenten werden im Folgenden als direkte Implementierung entsprechender Simulationsmodelle verstanden, d.h. wir betrachten ausschließlich die Komponenten *Atmosphere*, *Landsurface*, *Rivernetzwerk*, *Actor* und *Groundwater* zusammen mit den jeweiligen Import- und Exportbeziehungen und vernachlässigen deren interne Zusammensetzung. Die Grundlage des vorgestellten Ansatzes bildet die explizite Spezifikation und Koordination des Datenaustausches in DANUBIA.

5.2.1 Datenaustausch in DANUBIA

DANUBIA-Komponenten tauschen Daten über Import- und Export-Schnittstellen aus. Die Koordinationsarchitektur von DANUBIA garantiert die Konsistenz der ausgetauschten Daten bezüglich der modellspezifischen Zeitschritte und des jeweils periodisch ausgeführten Berechnungszyklus von Datenimport (*getData*), lokaler Berechnung (*compute*) und Datenexport (*provide*) eines Simulationsmodells (vgl. Jahresbericht 2005). Der Berechnungszyklus selbst impliziert die Vollständigkeit eines Datenimports, bevor Daten exportiert werden können, und analog die Vollständigkeit des Datenexports. Das heißt, ein Simulationsmodell importiert bzw. exportiert Daten entsprechend aller spezifizierten Schnittstellen in einem Schritt und nicht etwa zeitlich für einzelne Schnittstellen versetzt. Weiterhin garantiert die Zeitsteuerung von DANUBIA

1. einen wechselseitigen Ausschluss des Datenaustausches sowie,
2. die Gültigkeit abgefragter Daten bezüglich eigener lokaler Modellzeit.

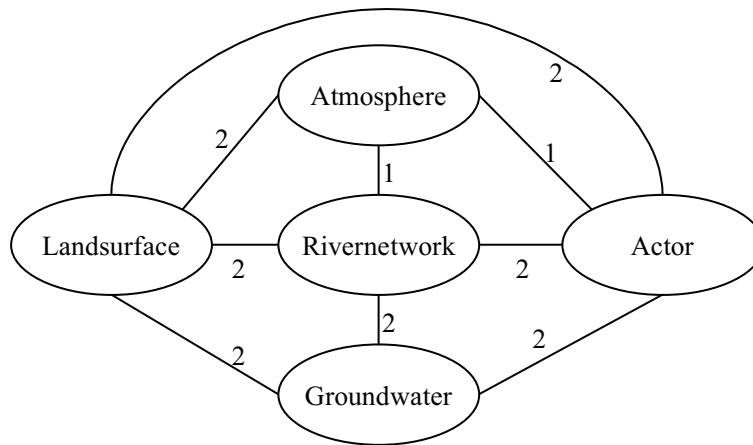
Aus (1) folgt, dass die Aktivitäten *getData* und *provide* gekoppelter Modelle zu keinem Zeitpunkt gleichzeitig ausgeführt werden. (2) impliziert, dass ein Modell mit Datenimport warten muss (*waitGetData*) bis der entsprechende Exporteur die Daten anbietet und andererseits ein Exporteur mit Datenexport warten muss (*waitProvide*), bis kein anderes Modell mehr die bisher bereitgestellten Daten benötigt.

Die Wartezeiten der Komponenten werden maßgeblich durch die direkten und indirekten Import-/Exportabhängigkeiten beeinflusst. Es wird (vorerst) angenommen, dass die Menge der auszutauschenden Daten als Beeinflussungsgröße zu vernachlässigen ist. Die grundlegende Idee ist, die Performanz eines Simulationslaufs umso besser zu bewerten, je geringer die Wartezeiten der beteiligten Komponenten sind.

5.2.2 Import/Export-Abhängigkeiten

Die bereits erwähnte Vollständigkeit von Datenimport/-export je Zeitschritt eines Modells und die Existenz von Wartezuständen sowohl für *getData* als auch für *provide* motiviert eine Abstraktion der Schnittstellen und Konnektoren einer DANUBIA-Assembly durch gewich-

tete Kanten in einem ungerichteten Graphen. Für die Assembly aus Abbildung 7 erhält man beispielsweise folgenden Graphen:



Die Richtung des Datenaustausches spielt für den durchschnittlichen Laufzeitaufwand je Zeitschritt keine Rolle. Die Kantengewichte ergeben sich aus der Art der Abhängigkeit: Kantengewicht 1 steht für eine unidirektionale Abhängigkeit, Kantengewicht 2 für eine bidirektionale.

5.2.3 Bestimmung des Einflussfaktors

Auf Grundlage des Abhängigkeitsgraphen für Import/Export-Daten wird für jede Komponente der Assembly ein Einflussfaktor bestimmt, der ein Maß der Abhängigkeit anderer Komponenten vom Laufzeitverhalten dieser Komponente liefert (individuelle Modellzeitschritte spielen hier noch keine Rolle). Bei der Berechnung des Einflussfaktors sind nicht nur die direkten Abhängigkeiten zwischen den Komponenten zu berücksichtigen, sondern auch alle indirekten. Es kann gezeigt werden, dass es genügt, den jeweils bezüglich Länge und Gewicht maximalen Pfad zwischen zwei Komponenten als Beitrag zum Einflussfaktor zu berücksichtigen. Der Einflussfaktor i (*impact*) einer Komponente ergibt sich somit als Summe der Kantengewichte auf den maximalen Pfaden zu den jeweils anderen Komponenten. Die Einflussfaktoren der einzelnen Komponenten der betrachteten DANUBIA-Assembly sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt (die Buchstaben bezeichnen die Anfangsbuchstaben der Komponente, D bezeichnet die Komponente *Actor*).

L	A	D	R	G
$i(L) = 28$	$i(A) = 30$	$i(D) = 28$	$i(R) = 26$	$i(G) = 28$

Damit hat *Atmosphere* den höchsten und *Rivernetwork* den geringsten Einflussfaktor gemäß der gegebenen Assembly.

5.2.4 Performanzbewertung von Simulationsläufen

Der Einflussfaktor einer Komponente induziert über die Relation „ \geq “ eine Ordnung auf den Komponenten einer Assembly. Für die Assembly in Abbildung 7 gilt

$$i(A) > i(L) \geq i(D) \geq i(G) > i(R).$$

Die Assembly ist optimal bezüglich des Laufzeitverhaltens, wenn diese Ordnung mit der Ordnung übereinstimmt, die sich aus den gemessenen Rechenzeiten der einzelnen Komponenten bezüglich der Relation „ \leq “ ergibt, mit anderen Worten, wenn die Komponente mit

dem größten Einflussfaktor die kleinste Rechenzeit besitzt, die mit dem zweitgrößten Einflussfaktor die zweitkleinste Rechenzeit, und so weiter, und schließlich die mit dem kleinsten Einflussfaktor die größte Rechenzeit. Wir bezeichnen daher ein nach dieser Ordnung angeordnetes Tupel von Komponenten als optimales Tupel, im Beispiel also das Tupel $\iota^\circ = (A, L, D, G, R)$.

Ordnet man die Komponenten einer Assembly aufsteigend nach ihrer normierten (das heißt auf den kleinsten in der Assembly auftretenden Zeitschritt bezogenen) mittleren Rechenzeit während eines Simulationslaufs an, so erhält man ebenfalls ein Tupel μ von Komponenten. Die mittlere Rechenzeit der Komponenten wird bei einem DANUBIA- Simulationslauf stets protokolliert.

Zur Bewertung der Performanz wird eine Bewertungsfunktion w definiert, die dem Tupel m eine reelle Zahl $\omega(\mu) \geq 0$ zuordnet, so dass $\omega(\mu)$ den Abstand von μ zum optimalen Tupel ι° beschreibt. Als Maß für den Abstand zweier Tupel wird in diesem Ansatz die um einen Kostenfaktor gewichtete Anzahl von Transpositionen gewählt, die benötigt wird, um ein Tupel in das andere zu überführen.

Eine Implementierung der Bewertungsfunktion könnte neben der rein numerischen Bewertung eines gegebenen Tupels zusätzlich die Menge der besser bewerteten Permutationen ausgeben. Der Benutzer kann auf dieser Grundlage entscheiden, ob Performanzverbesserungen durch möglicherweise geringen Aufwand zu erreichen sind. Die Laufzeit einzelner Komponenten lässt sich einerseits durch effizientere Implementierung aber andererseits auch durch Ausführung auf leistungsstärkeren Rechnern verbessern.

5.2.5 Berücksichtigung des Datenvolumens

Das Datenvolumen (das heißt, die Menge der ausgetauschten Daten) spielt vor allem bei der Übertragung zwischen verteilt ausgeführten Komponenten eine wichtige Rolle für das Laufzeitverhalten. Der Ansatz, um das Datenvolumen in die Performanzbewertung einzubeziehen, ist, im Abhängigkeitsgraphen als Kantengewichte anstelle der Anzahl der Schnittstellen, die Anzahl der in den Schnittstellen zwischen zwei Komponenten enthaltenen Methoden zu wählen. Diese Berechnung der Kantengewichte ist eine feingranularere Grundlage zur Bestimmung der Einflussfaktoren als die oben beschriebene. Die Berechnung setzt für eine gegebene Komponente die Anzahl an verbundenen Komponenten mit der Anzahl an Methoden je verbundener Komponente in Beziehung, da die Kantengewichte des längsten Pfades jetzt zusätzlich das Datenvolumen auf diesen Pfaden repräsentieren.

5.2.6 Ausblick

Der vorgestellte Ansatz muss weiter ausgearbeitet und durch Experimente validiert werden. In einem weiteren Schritt sollte auch der Speicherbedarf einer Komponente, der ebenfalls während eines Simulationslaufs protokolliert wird, bei der Performanzbewertung berücksichtigt werden.

5.3 Spezifikation und Analyse komponentenbasierter Systeme

Das DANUBIA zugrunde liegende Komponentenmodell ist rein schnittstellenbasiert. Im Gegensatz hierzu lassen sich portbasierte Komponentenmodelle betrachten, deren zentrales Charakteristikum, Ports, eine vollständige Kapselung einer Komponente von ihrer Umgebung einerseits und die explizite Modellierung von Teilaspekten eines Komponentenverhaltens andererseits erlauben. Im Rahmen des „Common Component Modeling Example“ (CoCoME 2007) wurden Konzepte und Notationen zur ereignisbasierten Spezifikation portbasierter Komponenten entwickelt und deren formale Eigenschaften analysiert. Zusätzlich wurden die Grundlagen für einen datenbasierten Spezifikationsformalismus auf der Grundlage von Vor- und Nachbedingungen von Interface-Operationen geschaffen und bei

der Konferenz SBMF 2007 vorgetragen. Es ist zu erwarten, dass sich die klare Trennung von Daten und Kontrollfluss in DANUBIA direkt auf portbasierte Komponenten abbilden lässt. Techniken zur Analyse kritischer Eigenschaften portbasierter Komponenten, wie beispielsweise deren Terminierungsverhalten, sollen so auf DANUBIA übertragen werden.

6. *Open Source* DANUBIA

Zusammen mit Partnern des Teilprojekts Koordination (Christoph Heinzeller) wurde an der Konzeption zur Migration von DANUBIA in ein Open Source Projekt gearbeitet. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden auf der GLOWA-Danube Klausurtagung in Herrsching präsentiert.

Es wurden Begriffe der Open Source Software im Kontext von DANUBIA betrachtet. Wie zu erwarten, ergeben sich für DANUBIA bei der Migration in ein *Open Source* Projekt besondere Herausforderungen, die einerseits durch die Heterogenität der in GLOWA-Danube entwickelten Software und andererseits durch die verschiedenen Ebenen der Anwendung von DANUBIA begründet werden. Der Begriff Software in DANUBIA umfasst Entwickler-*Framework*, Laufzeitsystem, Simulationsmodelle, Visualisierungs- und Analyse-Tools sowie verschiedenste Arten von Daten, beispielsweise Eingabedaten, Kalibrierungsdaten, aber auch berechnete Ergebnisse. Die Ebenen der Anwendung umfassen die Verwendung des Entwickler-*Frameworks* zur Implementierung von Simulationsmodellen, die Durchführung von Simulationsläufen unter Verwendung des Laufzeitsystems und die anschließende Analyse der berechneten Ergebnisse.

Die Vielschichtigkeit eines Projekts wie GLOWA-Danube und die Heterogenität der entwickelten Software machen eine detaillierte Analyse und Konzeption des Migrationsvorhabens unabdingbar. Für das weitere Vorgehen wurde eine Reihe zentraler Fragen identifiziert, die als Ausgangspunkt einer solchen Konzeption dienen sollen. Darauf aufbauend lassen sich Standards und Vorgaben zur Dokumentation und Veröffentlichung von Software im Kontext von DANUBIA definieren. Die Veröffentlichung erfolgt im Rahmen einer ebenfalls noch zu definierenden Plattform.

7. **Literatur**

- INFORMATIK (2005): Jahresbericht 2005 - Teilprojekt Informatik, GLOWA-Danube.
INFORMATIK (2006): Jahresbericht 2006 - Teilprojekt Informatik, GLOWA-Danube.
INFORMATIK (2007): Abschlussbericht Phase II- Teilprojekt Informatik, GLOWA-Danube.
KRAUS, A. (2007): Model Driven Software Engineering for Web Applications, Dissertation, Institut für Informatik, Ludwig-Maximilians-Universität München.
LUDWIG, M. (2006): Datentypen und Datentabellen in DANUBIA (Januar 2006).
LUDWIG, M. (2007): DANUBIA 2.0 - Handbuch für Modellentwickler (Oktober 2007).
JANISCH, S. (2007): *DeepActor-Framework Reference Manual* (2006, November 2007).
WAGNE, R. (2007): Specification and Tool-Based Analysis of DANUBIA Simulation Configurations. Diplomarbeit, Institut für Informatik, LMU (Oktober 2007).

Modellierung von Wasser- und Stickstoffflüssen 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: M. Muerth, D. Waldmann, T. Marke, M. Bernhardt,
 M. Tepfenhart, Prof. Dr. W. Mauser

1. Überblick

Folgende Bereiche wurden vom Koordinationsprojekt während der Berichtsphase (01.05.2007-30.04.2008) schwerpunktmäßig bearbeitet:

- Weiterentwicklung und Validierung des Bodentemperaturmodells SHTM-4L
- Weiterentwicklung von Verfahren zur Kopplung von Atmosphären- und Landoberflächenprozessen
- Weiterentwicklung des Verkehrsmodells Traffic zur Simulation von Entscheidungen der Skifahrer in Abhängigkeit von u.a. klimatischer Situation und Bevölkerungsmilieu
- Weiterentwicklung und Validierung des Modells für Wind-induzierten Schneetransport unter Verwendung von modellierten Windfeldern und gemessenen Klimadaten zur Subpixel-Parameterisierung der Variabilität einer alpinen Schneedecke
- Umsetzung des Konzeptes zur Modellierung von Bodenerosion

2. Personelles

An Doktoranden waren und sind beschäftigt: Herr Matthias Bernhardt (seit 1.04.2004, Schneetransport-Modellierung), Frau Monika Tepfenhart (seit 01.09.2004, Verkehrsmodellierung), Herr Markus Mürth (seit 01.06.2004, Bodentemperaturmodellierung), Herr Thomas Marke (seit 01.03.2005, Kopplung Landoberfläche - Atmosphäre), Herr Daniel Waldmann (seit 16.03.2005, Bodenerosionsmodellierung) und Florian Zabel (seit 01.02.2008, Kopplung Landoberfläche - Atmosphäre).

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:

- 23.-25.05.2007 5th COSMOS annual meeting, MPI für Chemie, Mainz
- 02.-13.07.2007 International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) 2007, Perugia (Italien)

- 15.-17.10.2007 Internationale Konferenz „Managing Alpine Future“, Innsbruck (Österreich)
- 17.-18.10.2007 Technikertreffen, Köln
- 18-19.10.2007 3rd Global Change Research Networking Meeting for European Mountains, Innsbruck (Österreich)
- 10.-13.12.2007 International Congress on Modelling and Simulation, Christchurch (Neuseeland)
- 22.01.2008 Kongress „Anpassung an den Klimawandel - Forschungsstrategien für Bayern“. IHK Akademie München
- 27.-28. 03.2008 Tag der Hydrologie 2008. Leibnitz Universität Hannover
- 13.-18.04.2008 European Geosciences Union General Assembly 2008 (EGU), Wien (Österreich)

4. Veröffentlichungen, Vorträge und Posterpräsentationen

- BERNHARDT, M., STRASSER, U., LISTON, G.E. und MAUSER, W. (2007): On snow cover variability in alpine terrain, Abstracts of the XXIV. IUGG General Assembly 2007, Perugia, Italy.
- BERNHARDT M., STRASSER U. und MAUSER W. (2008): Parametrisierung der subskaligen Schneevertelung für SVAT Modelle, Tag der Hydrologie.
- BERNHARDT M., LISTON, G.E., STRASSER, U. und MAUSER, W. (2008): High resolution modelling of snow transport in complex terrain using simulated wind fields, The Cryosphere (submitted).
- BERNHARDT, M., LISTON, G.E., ZÄNGL, G., STRASSER, U. und MAUSER, W. (2008): High resolution modelling of snow transport in complex terrain using simulated wind fields, Proceedings of the Alpine*Snow*Workshop (www.alpinesnowworkshop.org), Munich, October 5-6, 2006, Germany. Berchtesgaden National Park research report, Nr. 53.
- BERNHARDT, M., STRASSER, U., MAUSER, W. und LISTON, G.E. (2008): Parameterization of the subscale snow distribution for regional scale landsurface models, Geophysical Research Abstracts, abstracts of the European Geosciences Union General Assembly 2008, Vienna.
- FRANZ, H., BERNHARDT, M., PRASCH, M., KONNERT, V. und STRASSER, U. (2008): Field trip to the Ice Chapel in the National Park Berchtesgaden on Saturday, October 7, 2006, Proceedings of the Alpine*Snow*Workshop (www.alpinesnowworkshop.org), Munich, October 5-6, 2006, Germany. Berchtesgaden National Park research report, Nr. 53.
- MARKE, T. und MAUSER, W. (2008): SCALMET - A tool for bidirectional coupling of climate models with physically-based simulations of land surface processes. Proceedings of the International Conference “Managing Alpine Future” (in print).
- MAUSER, W., STRASSER, U. und BERNHARDT, M. (2007): GLOWA-Danube: Integrative Techniques, Scenarios and Strategies regarding the Global Change of the Water Cycle in the Upper Danube Catchment, 3rd Global Change Research Networking Meeting for European Mountains.

- MAUSER, W. und MUERTH, M. (2008): GLOWA-Danube: Climate Change and the Future of Water in the Upper Danube Basin. Proceedings of the International Conference "Managing Alpine Future" (in print).
- 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. J. Hydrol (submitted).
- MUERTH, M. und MAUSER, W. (2007): A regional scale soil temperature and freezing model for Climate Change scenarios. Posterbeitrag zur Internationalen Konferenz „Managine Alpine Future“. Innsbruck, 15.-17. Oktober 2007.
- 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: Proceedings of the International Conference "Managing Alpine Future", Innsbruck (in print).
- MUERTH, M. und MAUSER, W. (2008): Effects of a coupled soil water and heat transfer model on simulated winter runoff in mesoscale catchments. Vortrag zur EGU, General Assembly, Wien, 14.-18.04.2008 (solicited).
- MUERTH, M. und MAUSER, W. (2008): Effects of a coupled soil water and heat transfer model on simulated winter runoff in mesoscale catchments. In: Geophysical Research Abstracts 10 (EGU2008-A-11076).
- PRASCH, M., BERNHARDT, M., WEBER, M., STRASSER, U. und MAUSER, W. (2007): Physically based modelling of snow cover dynamics in Alpine regions, Abstracts of the International Congress 'Managing Alpine Future - strategies for sustainability in times of change', 2007, Innsbruck, Austria, Abstract, published.
- PRASCH, M., STRASSER, U. und MAUSER, W. (2007): Physically based modelling of climate change impact on snow cover dynamics in Alpine regions. Abstracts of the International Congress on Modelling and Simulation MODSIM07, 2007, Christchurch, New Zealand.
- STRASSER, U., BERNHARDT, M., WEBER, M., LISTON, G.E. und MAUSER, W. (2007): Is snow sublimation important in the alpine water balance?, The Cryosphere Discuss., 1(2), S. 303-350, Reviewed, published.
- STRASSER U., BERNHARDT M., WEBER M., LISTON G.E. und MAUSER W. (2008): On the role of snow sublimation in the alpine water balance, Geophysical Research Abstracts, abstracts of the European Geosciences Union General Assembly 2008.
- TEPFENHART, M., MAUSER, W. und SIEBEL, F. (2007a): Climate change and the competition among ski areas for day tourists. In: STRASSER, U. und VOGEL, M. (Eds., 2007): Proceedings of the Alpine*Snow*Workshop (www.alpinesnowworkshop.org), Munich, October 5-6, 2006, Germany.
- TEPFENHART, M., MAUSER, W. und SIEBEL, F. (2007b): The impacts of climate change on ski resorts and tourist traffic., Third International Workshop on Climate, Tourism and Recreation. Alexandroupolis, Griechenland 19-22 September 2007.
- TEPFENHART, M., MAUSER, W. und SIEBEL, F. (2007c): Factors influencing the destination choice of day tourists to ski resorts. Internationale Konferenz „Managine Alpine Future“. Innsbruck, Austria, 15.-17. Oktober 2007.
- TEPFENHART, M., MAUSER, W. und SIEBEL, F. (2007c): Factors influencing the destination choice of day tourists to ski resorts. Proceedings of the International Conference "Managing Alpine Future", Innsbruck (in print).

- WALDMANN, D. und MAUSER, W. (2007): Temporal disaggregation of precipitation data for modelling soil erosion in landuse change scenarios. Posterbeitrag zur Internationalen Konferenz „Managing Alpine Future“. Innsbruck, 15.-17. Oktober 2007.
- WALDMANN, D. und MAUSER, W. (2008): Temporal disaggregation of precipitation data for modelling soil erosion in landuse change scenarios. In: Proceedings of the International Conference “Managing Alpine Future”, Innsbruck (in print).
- WALDMANN, D. und MAUSER, W. (2008): Zeitliche Disaggregation von Niederschlag für die mesoskalige Erosionsmodellierung in einem integrativen Modellverbund. Posterbeitrag zum “Tag der Hydrologie”. Hannover, 27.-28. März 2008.

5. Gekoppelte Modellierung von Landoberflächen- und Atmosphärenprozessen

5.1 Kurzbeschreibung

Durch die Kopplung von Landoberflächen- und Atmosphärenmodellen im Rahmen des GLOWA-Danube Projektes können die Auswirkungen unterschiedlicher meteorologischer Randbedingungen auf die Verhältnisse an der Landoberfläche untersucht werden. Um die meteorologischen Simulationen von der groben Skala der Klimamodelle (10 x 10 - 45 x 45km) auf die feinere Skala der Landoberfläche (1 x 1km) übertragen zu können, müssen geeignete Skalierungsverfahren eingesetzt werden. Im Rahmen des GLOWA-Danube Projektes wurden verschiedene „Down-scaling“-Verfahren entwickelt und in das Skalierungsprogramm SCALMET integriert (Marke and Mauser 2008). Neben der Übertragung der Klimasimulationen auf die feinere Skala der Landoberfläche aggregiert SCALMET die an der Landoberfläche simulierten Masse- und Energieflüsse und stellt diese als Eingaben für die Klimamodelle bereit. Durch diese zweiseitige Modellkopplung profitieren die Regionalen Klimamodelle von der räumlich hochaufgelösten Beschreibung der Prozesse an der Landoberfläche. Darüber hinaus kann die Reaktion der Atmosphäre auf im Rahmen des Globalen Wandels stattfindende Veränderungen an der Landoberfläche modelliert werden.

5.2 Entwicklungen 2007

Im Projektjahr 2007 wurden die implementierten Skalierungsverfahren entscheidend verbessert und um zusätzliche Ansätze erweitert. Die vom Teilprojekt Meteorologie (München) für das mesoskalige Atmosphärenmodell MM5 (GRELL et al. 1995) weiterentwickelten Skalierungsroutinen wurden in das Kooplungsmodul SCALMET eingepflegt. Seit Beginn der 3. Projektphase steht zusätzlich das Regionale Klimamodel REMO (JACOB 2001) des Teilprojektes Meteorologie (MPI Hamburg) für die Modellierung der Atmosphäre zu Verfügung. Die Daten gehen aus einer vom Umweltbundesamt (UBA) in Auftrag gegebenen Studie über mögliche zukünftige Klimaänderungen für Deutschland, Österreich und die Schweiz hervor und sollen im Gegensatz zum bilateralen Datenaustausch zwischen den Modellen DANUBIA Light (MAUSER und BACH 2008) und MM5 lediglich im Rahmen einseitig gekoppelter Modellläufe, d.h. als Eingabedaten für die hydrologische Modellierung im Einzugsgebiet der oberen Donau eingesetzt werden. Obwohl die räumliche Auflösung des Modells mit 10 x 10 km als außerordentlich hoch einzustufen ist, ist dennoch ein Einsatz geeigneter Skalierungsmethoden erforderlich, um den Skalensprung zur Landoberfläche (1 x 1km) zu bewerkstelligen. Neben inhaltlichen Anpassungen der Skalierungsansätze mussten dabei auch technische Veränderungen in SCALMET vorgenommen werden, um die REMO Simulationen vom rotierten Koordinatensystem des Klimamodells in die im GLOWA-Danube Projekt verwendete Lambert Projektion zu transformieren. Weitere technische Anpassungen waren aufgrund des REMO Datenformates und der andersartigen Dateistruktur erforderlich.

Neben der Anpassung und Weiterentwicklung der Skalierungsmethoden standen im vergangenen Projektjahr vor allem erste gekoppelte Modellläufe im Vordergrund. Dabei wurden die verschiedenen Skalierungsmethoden verglichen und Unterschiede in den Ergebnissen der gekoppelten Modellläufe untersucht. Das regressionsbasierte Verfahren in SCALMET hat im Vergleich zu herkömmlichen Interpolationsverfahren eine deutliche Überlegenheit gezeigt. Im Rahmen der Untersuchung der unterschiedlichen Skalierungsansätze hat sich die Beschreibung schneehydrologischer Prozesse als besonders sensitiv gegenüber den verwendeten meteorologischen Eingaben erwiesen. Verglichen mit einer direkten Interpolation der meteorologischen Parameter ermöglichen die quasi-physikalisch basierten Skalierungsansätze in SCALMET eine präzisere Abbildung der Schneedeckendynamik und als Folge eine akkuratere Reproduktion gemessener Abflüsse durch die hydrologische Modellkomponente in DANUBIA.

Die Modellergebnisse erster einseitig gekoppelter Modellläufe werden derzeit ausgewertet. Die Verwendung der Modelle MM5 und REMO in diesen einseitig gekoppelten Läufen hat deutliche Unterschiede in den hydrologischen Modellergebnissen gezeigt (s. Abb. 1). Um die hydrologischen Modellierungen vergleichen zu können wurden die regionalen Klimamodelle REMO und MM5 durch identische Randbedingungen angetrieben. Es handelt sich hierbei um Simulationen des globalen Klimamodells ECHAM5 (ROECKNER et al. 2003).

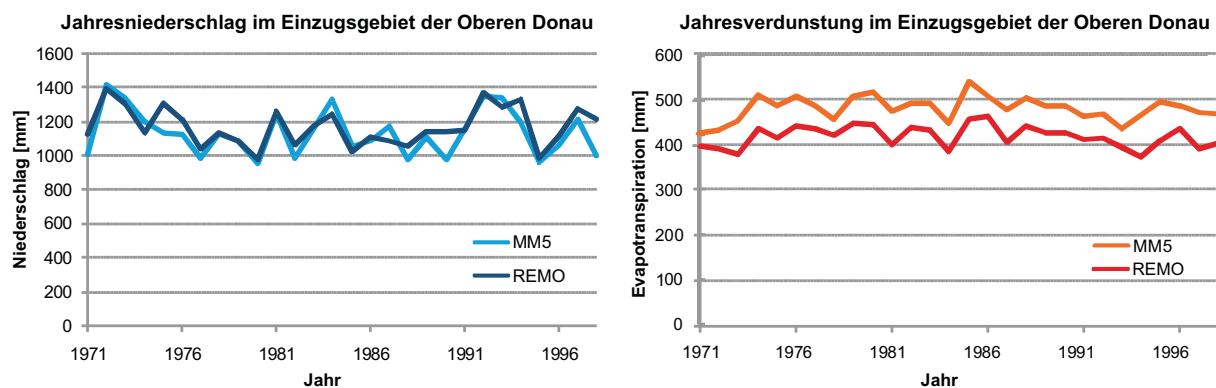


Abb. 1: Skalierter Jahresniederschlag der regionalen Klimamodelle REMO und MM5 und Jahresverdunstung simuliert mit der hydrologischen Modellkomponente in DANUBIA

Während sich die Klimamodelle im simulierten Niederschlag nur geringfügig unterscheiden, sind die Unterschiede in der simulierten Evapotranspiration doch beträchtlich (Mittel 62mm). Die dargestellten Diskrepanzen in den hydrologischen Modellresultaten erfordern detaillierte Untersuchungen in der aktuellen Projektphase. Der Vergleich der Modellergebnisse, sowohl im Bereich der Meteorologie als auch im Bereich der hydrologischen Modellierung wird im Verlauf der nächsten Monate einen hohen Stellenwert einnehmen. Neben dem Vergleich der Simulationsergebnisse für vergangene Zeiträume sollen die Untersuchungen auch auf Unterschiede in der Simulation möglicher zukünftiger Bedingungen im Einzugsgebiet der Oberen Donau ausgeweitet werden.

Abgesehen von der Bereitstellung verschiedener hochaufgelöster Klimaszenarien als meteorologische Eingabedaten für die verschiedenen Teilmodelle des interdisziplinären DANUBIA-Modells wird SCALMET in der dritten Projektphase zusätzlich auch in zweiseitig gekoppelten Modellläufen eingesetzt. Ein erster beidseitiger Datenaustausch zwischen den Modellen MM5 und DANUBIA-Light hat bereits stattgefunden. Das Modell DANUBIA-Light soll als FORTRAN Version der hydrologischen Modellkomponente in DANUBIA aufgrund der geringeren Rechenzeiten als Entwicklungsplattform für die gekoppelte Landoberflächen-Atmosphären-Modellierung dienen. Eine im Vergleich zum Landoberflächenmodul im MM5 möglicherweise realistischere Modellierung der Pflanzenprozesse im Modell DANUBIA (z.B. Transpiration, LAI, etc.) könnte die Antwort auf offene Fragen im Bereich der Klimamodellierung geben und wesentlich zum Verständnis des Landoberflächen-Atmosphärensystems beitragen.

6. Validierung des Bodentemperaturmoduls SHTM

Nachdem vor Ende der 2. Projektphase das Bodentemperaturmodul SHTM (Soil Heat Transfer Module) fertig gestellt wurde, wurden im Berichtszeitraum 2007 verschiedene Analysen von Simulationsergebnissen erstellt. Im Folgenden werden kurze Auszüge der wichtigsten Ergebnisse der zeitlichen und räumlichen Validierung von SHTM-4L vorgestellt.

Der erste Teil der Validierungs-Strategie beinhaltete den Vergleich von Bodentemperaturkurven einzelner Proxel mit Messdaten von meteorologischen Messnetzen. Es wurden sowohl Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD), als auch des agrarmeteorologischen Messnetzes (AgMet) des Bayerischen Landesamtes für Landwirtschaft (LfL) verwendet. Bei der Auswertung stündlicher Temperaturwerte von 27 Stationen des AgMet wurden die Standardabweichungen (RMSE) für jedes Kalenderjahr und jede Station einzeln berechnet. Die Häufigkeitsverteilung der einzelnen Standardabweichungen ist in Abbildung 2 dargestellt. Das Mittel aller Standardabweichungen der obersten, sehr dynamischen Bodenschicht ist $2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, das der zweiten, weniger dynamischen Schicht $1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

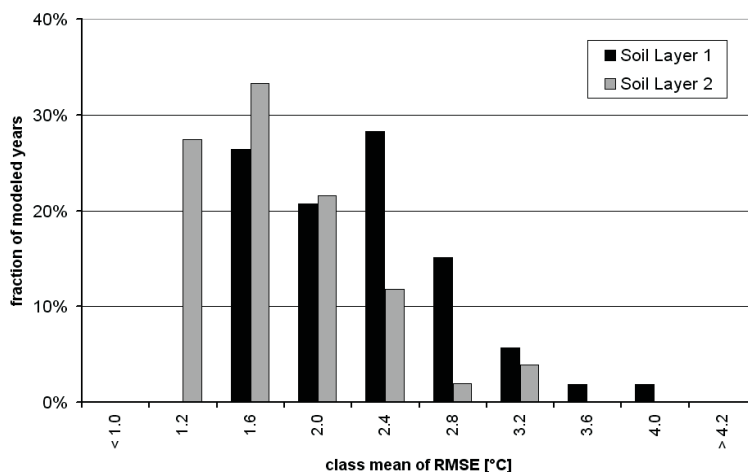


Abb. 2: Häufigkeitsverteilung der jährlichen RMSE-Werte für 27 ausgewählte Stationen des AgMet

Um die Temperatursimulation im Winter zu beurteilen, wurden tägliche Daten verschiedener Erdbodenstationen des DWD mit simulierten Zeitreihen verglichen. Hierbei stellte sich heraus, dass die Validierung je nach Station sehr unterschiedliche Ergebnisse erbrachte.

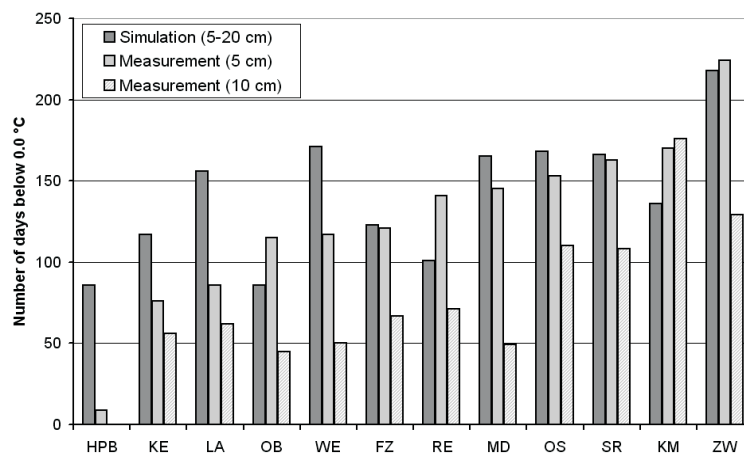


Abb. 3: Häufigkeit von Tagen mit einer Bodentemperatur unterhalb des Gefrierpunkts in 2 Messtiefen und die Häufigkeit von Temperaturen unterhalb des Gefrierpunkts in der zweiten Schicht des Bodenmodells (5-20cm Tiefe) für 12 DWD Erdbodenstationen im Einzugsgebiet in den Jahren 2002-2005

Deshalb wird in Abbildung 3 lediglich die Häufigkeit von Tagen mit Bodengefrorenis dargestellt. Am Observatorium Hohenpeißenberg (HPB) wurden beispielsweise nur 9 Tage in mit oberflächennaher Bodengefrorenis in einem Zeitraum von 4 Jahren aufgezeichnet. Dies weist darauf hin, dass u.U. die Messung von Bodentemperaturen knapp unter dem Gefrierpunkt durch Messanlagen oder Ähnliches gestört werden könnte. Im Allgemeinen lässt sich jedoch feststellen, dass SHTM die Häufigkeit des Auftretens von Bodenfrost eher überschätzt.

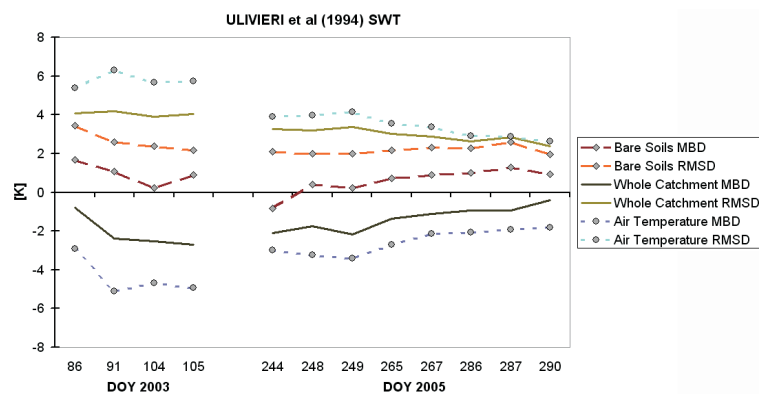


Abb. 4: Mittlere Abweichung und Standardabweichung der simulierten, von den aus NOAA-AVHRR Szenen extrahierten, Oberflächentemperaturen

Schließlich wurden die mit DANUBIA simulierten Landoberflächentemperaturen mit Strahlungstemperaturen aus Fernerkundungsdaten verglichen. Um Strahlungstemperaturen aus NOAA-AVHRR Szenen zu extrahieren, wurde die Split-Window Technik (SWT) von ULIVIERI et al. (1997) auf die beiden Thermalkanäle des NOAA-17 angewendet. Um einen möglichst großen Anteil an vegetationsfreien Flächen im Einzugsgebiet zu vergleichen, wurden 12 größtenteils wolkenfreie Szenen aus dem Frühjahr 2003 und dem Herbst 2005 ausgewählt. Abbildung 4 zeigt die Übereinstimmung der Strahlungstemperaturen mit simulierten Oberflächentemperaturen, einmal für alle Proxel des Donau-Einzugsgebiets (*Whole Catchment*) und einmal für alle Proxel die zum Zeitpunkt der Satellitenaufnahmen im Modell als offener Boden (*Bare Soils*) simuliert wurden. Die Übereinstimmung der Bodenoberflächentemperaturen mit den Strahlungstemperaturen ist hierbei deutlich besser als die aller, größtenteils vegetationsbedeckten, Proxel. Jedoch ist die Genauigkeit der SWT zur Ableitung der Strahlungstemperatur von heterogenen Landoberflächen ebenfalls begrenzt.

7. Implementierung und Integration eines Erosionsmodelles in DANUBIA

Im vergangenen Berichtsjahr wurde die technische Implementierung der Erosionskomponente im Modellverbund DANUBIA fertig gestellt. Die beiden Modelle *EROSION-2D/3D* (SCHMIDT, 1996) und *USLE* (FOSTER 2004) konnten in die Komponente Soil integriert werden.

Das Modell zur zeitlichen Disaggregation der Niederschläge (OLSSON 1998), an dem schon im vorigen Berichtsjahr gearbeitet wurde, konnte ebenfalls in DANUBIA umgesetzt und nach GÜNTNER (2002) verbessert werden. Mit der bereits implementierten Software zur Analyse und Disaggregation von Niederschlagsreihen konnte das Modell untersucht werden. Ergebnisse haben gezeigt, dass dieses Modell die von *AtmoStations* disaggregierten Niederschlagsdaten deutlich realistischer darstellen konnte.

Der in *AtmoStations* verwendete Klimagenerator (MAUSER et al. 2007) zur Erstellung möglicher Zukunftsszenarien, welche auf den IPCC-Trends basieren, verwendet historische Messdaten (1960-2006) von über 250 Klimastationen. Da das Kaskadenmodell jedoch lediglich auf empirische Niederschlagsreihen einzelner Stationen kalibriert wird, wurde eine Regionalisierung der Modellparameter vorgenommen, um den Niederschlag im ganzen Einzugsgebiet disaggregieren zu können. Da erwartet wird, dass sich im Zuge des Klimawandels saisonale Niederschlagshöhen ändern, wurde die Parametrisierung auf Basis von Niederschlagsmustern verschiedener Regionen vorgenommen. Folgende Niederschlagsregimes wurden dazu eingeteilt (s. Abb. 5):

- Alpenvorland und flachere Gebiete: das Niederschlagsmaximum liegt im Sommer, bedingt durch starke Konvektion
- Mittelgebirgsregionen: zwei annähernd gleich große Maxima in Sommer und Winter, verursacht durch advektive und auch konvektive Prozesse.
- Alpine Regionen: sehr hohe Maxima im Sommer, aber auch von Stauwirkungen beeinflusst.

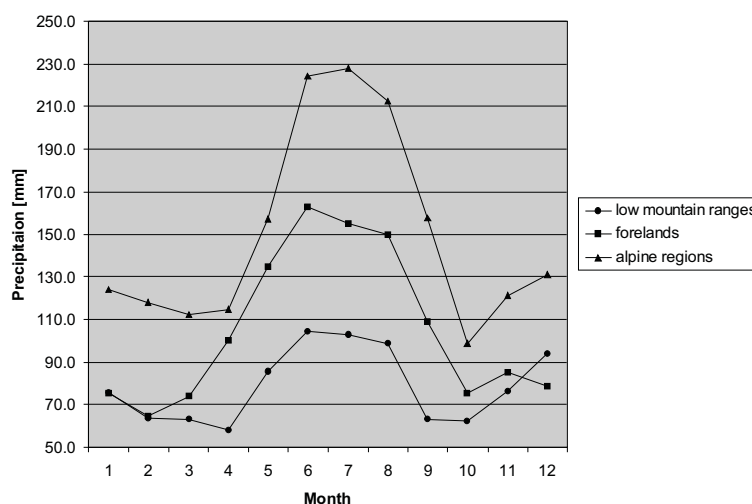


Abb. 5: Niederschlagsregimes der Regionen

Um die Ereignisse im Zusammenhang mit Bodenerosion interpretieren zu können, wurden Niederschlagserosivitäten nach FOSTER (2004) berechnet. Beim Vergleich der berechneten Erosivität der beiden verwendeten Methoden (s. Abb. 6) fällt auf, dass die *AtmoStations*-Disaggregation zu weitaus geringeren Werten führt.

Die mittlere Ereignisdauer der „alten“ *AtmoStations*-Methode ist viel zu hoch, was von der impliziten Verteilung des Niederschlags über das gesamte Intervall einer Mannheimer Stunde herrührt. Die schlechtesten RMSE-Werte aller Ereignisse finden sich bei der *AtmoStations*-Methode in alpinen Regionen, wohingegen das Kaskadenmodell relativ gleichwertige Ergebnisse über alle untersuchten Stationen produziert. Dies unterstützt das Konzept der Regionalisierung der Statistiken des Kaskadenmodells.

Die Implementierung des Kaskadenmodells mit regional abgeleiteten Parametersätzen in *AtmoStations* erlaubt es, die zeitlich disaggregierten Niederschläge räumlich zu interpolieren, und damit ein realistischeres Bild des Niederschlags im gesamten Einzugsgebiet zur Verfügung zu stellen.

Als nächster Schritt ist die Validierung der räumlich interpolierten Niederschlagsdaten und die Rückkopplung auf die Abflussbildung geplant, da diese für das Erosionsmodell einen wesentlichen Eingangsparameter darstellt. Danach kann mit der Validierung des Erosions-

modells begonnen werden, welche mit Hilfe von Schwebstoffmessungen an 22 Pegeln des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) durchgeführt wird.

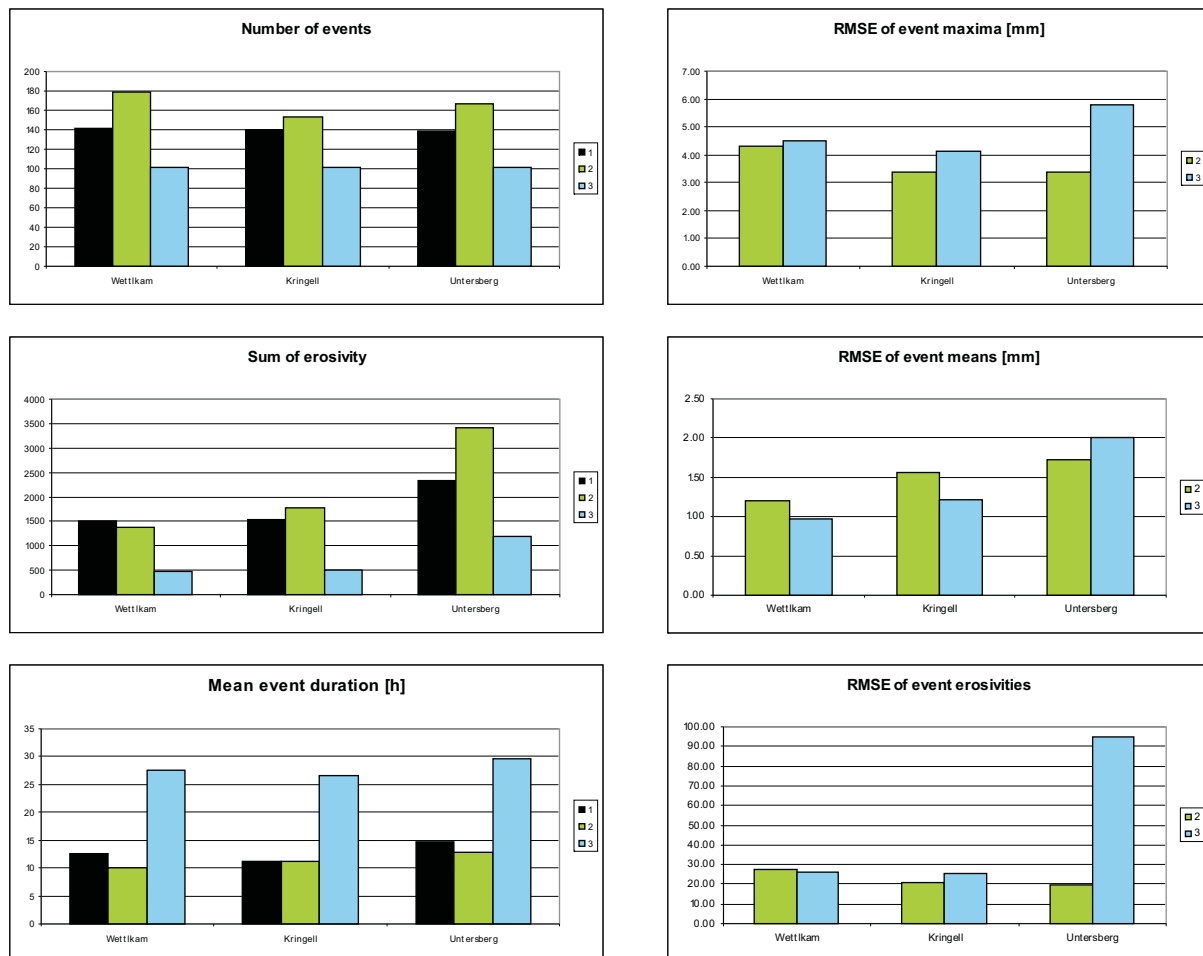


Abb. 6: linke Spalte: Vergleich von gemessenen und disaggregierten Ereignissen (1/schwarz: gemessen, 2/grün: Kaskadenmethode, 3/blau: *AtmoStations*-Methode); rechte Spalte: RMSE-Werte der Maxima, Mittelwerte und Erosivitätssummen aller disaggregierten Ereignisse (2/grün: Kaskadenmethode; 3/blau: *AtmoStations*-Methode)

8. Weiterentwicklung und Validierung des Modells für Wind-induzierten Schneetransport

Im Berichtszeitraum wurden die Modellierungen zum windinduzierten Schneetransport genutzt, um ein Parametrisierungsschema für die *subskalige* Schneeverteilung auf Proxelebene zu erstellen. Dies geschah in enger Zusammenarbeit mit der Gruppe *Snow*.

Es kann angenommen werden, dass Informationen über die *subskalige* Schneebedeckung auf der 1km² Skala zu einer Verbesserung der Ergebnisse des Snow Moduls führen. Dies liegt in der Tatsache begründet, dass gerade in Alpinem Relief selten eine vollständige Schneebedeckung vorliegt und sich somit die tatsächlichen Energieflüsse an der Erdoberfläche von denen im Modell, welches eine geschlossene Schneedecke annimmt, unterscheiden. Abbildung 7 zeigt diesen Effekt. In Abbildung 7 ist eine schematische Schneeverteilung auf einem imaginären Proxel gezeigt. In rot sieht man die Modellrepräsentation, in blau die Verteilung in der Realität.

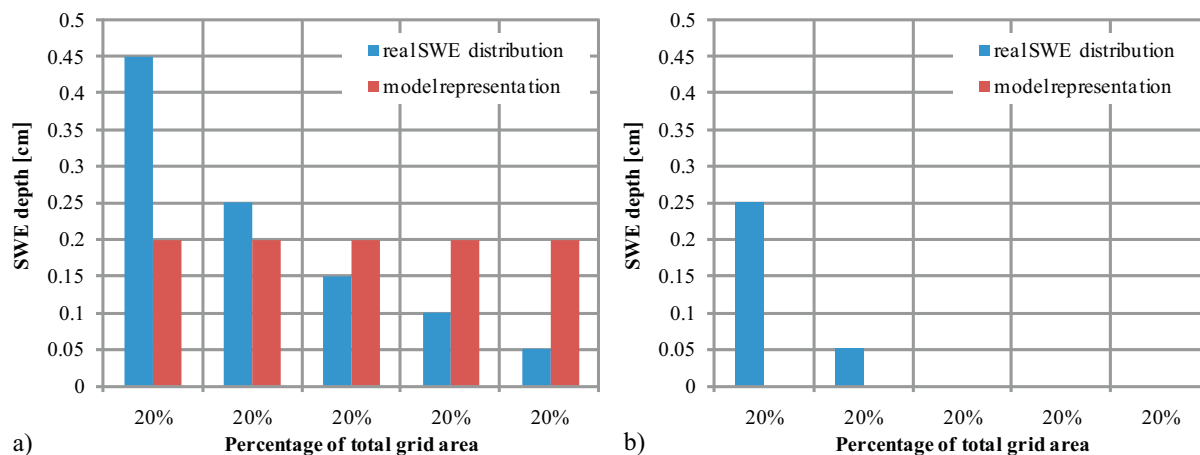


Abb. 7: a) Repräsentation eines imaginären Proxels mit geschlossener Schneedecke im Modell (rot) und in Realität (blau). Im Modell wird das Proxel mit einer einheitlich dicken Schneedecke dargestellt, in der Realität variiert diese allerdings. In b) ist der Effekt dieser Vereinfachung dargestellt. Man sieht, dass das Proxel im Modell bereits ausgeapert ist, während in der Realität noch schneebedeckte Flächen vorhanden sind.

Die Stabilität der SWE - Verteilung in einem beobachteten Gebiet über mehrere Jahre ermöglicht die Bestimmung einer allgemeingültigen Schneeverteilungs-Wahrscheinlichkeitsfunktion pro Proxel, basierend auf der subskaligen Variation des SWE (KIRNBAUER und BLÖSCHL 1994; STURM et al. 1995). Diese Information wurde durch gekoppelte *SnowTran-3D/MM5* Modellläufe (BERNHARDT et al. 2008) auf der 30m Skala für die Super-Testside Berchtesgaden erzeugt. Die ermittelten Schneeverteilungsmuster wurden mit stationären (z.B. Topographie), bzw. quasi-stationären (z.B. Vegetation) Parametern korreliert und dann auf die gesamte für GLOWA-Danube relevante Fläche extrapoliert.

Erste Validierungen wurden im Gebiet des Nationalparks Berchtesgaden mit Hilfe von Landsat ETM+ Szenen durchgeführt. Abbildung 8 zeigt erste Ergebnisse vom 30. Mai 2004. In Abbildung 8a sieht man in grau die aus der Landsat Szene via NDSI Klassifikation ermittelte Schneebedeckung zum Aufnahmezeitpunkt. Farblich ist die daraus resultierende Schneebedeckung pro Proxel in Prozent gekennzeichnet. Abbildung 8b zeigt die mit Hilfe des in LISTON (2004) vorgestellten und hier implementierten Schemas berechnete *subskalige* Schneebedeckung in Prozent. Der mittlere Fehler liegt bei 20%.

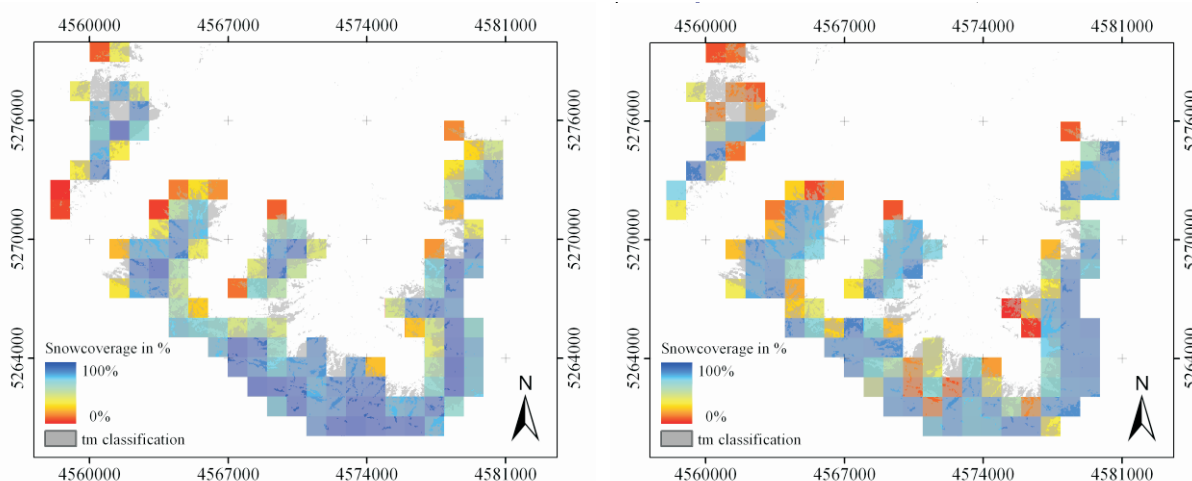


Abb. 8: a) Schneebedeckung pro Proxel in Prozent (30. Mai 2004), ermittelt auf Basis einer Landsat ETM+ Klassifikation. b) Berechnete subskalige Schneebedeckung für den gleichen Termin

Erste Tests im Nationalpark Berchtesgaden die noch mit *Snowtran-3D* (LISTON und STURM 1998) durchgeführt wurden, zeigen das Potential des vorgestellten Verfahrens. Als Basis für den Vergleich wurden aggregierte 30m Modellresultate verwendet, um die *subskaligen*

Schmelzflüsse (220 W/m^2) zu ermitteln (s. Abb. 9a). Abbildung 9b zeigt Modellläufe auf der 1000m Skala, die ermittelten Schmelzflüsse lagen hier deutlich zu hoch (270 W/m^2). 9c zeigt Ergebnisse, die mit Hilfe der *subskaligen* Information über die Schneebedeckung erzeugt wurden. Die Schmelzenergie liegt hier zu niedrig (200 W/m^2), der Fehler konnte aber im Vergleich zu den 30m Resultaten um mehr als 50% reduziert werden.

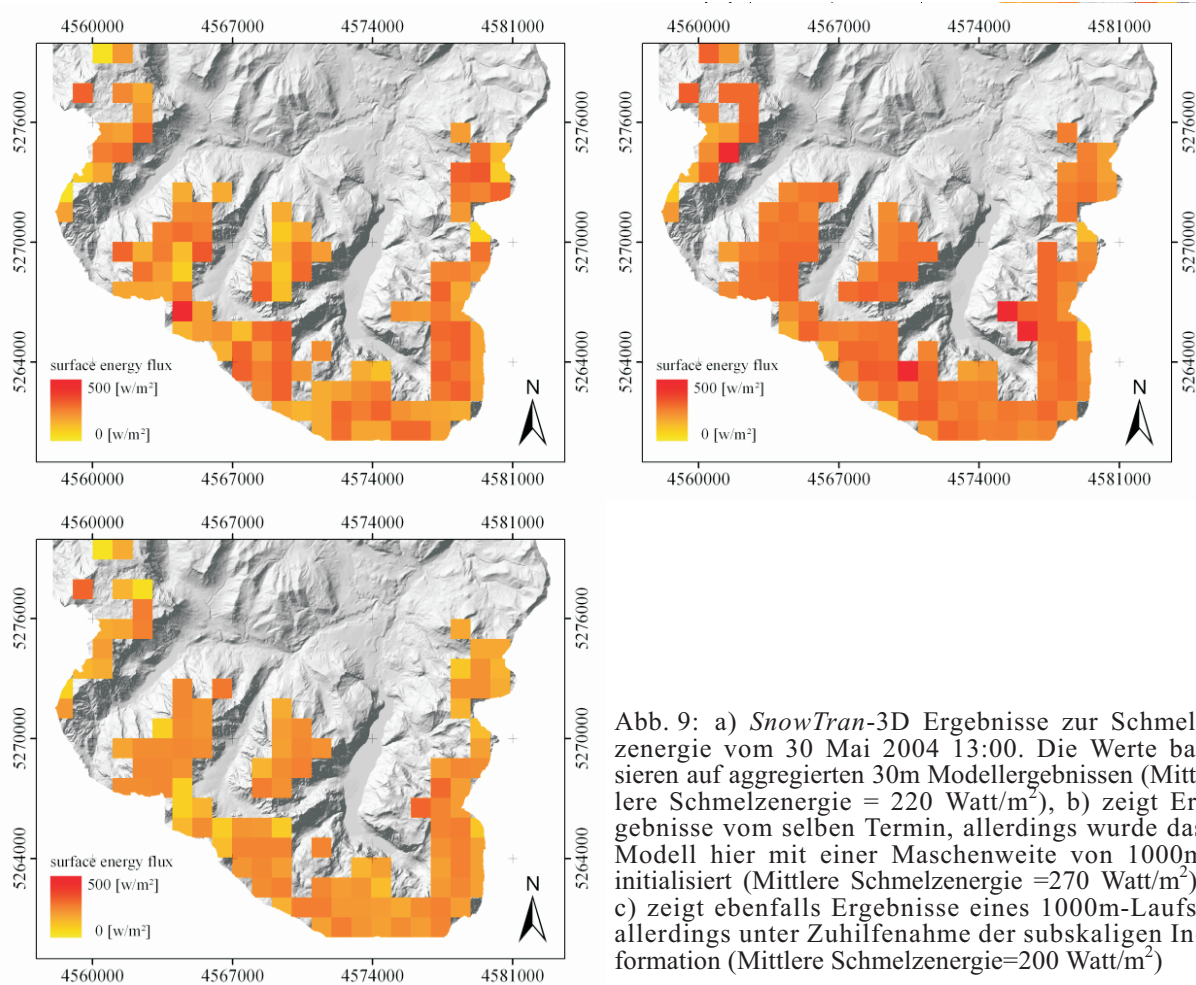


Abb. 9: a) *SnowTran-3D* Ergebnisse zur Schmelzenergie vom 30. Mai 2004 13:00. Die Werte basieren auf aggregierten 30m Modellergebnissen (Mittlere Schmelzenergie = 220 Watt/m^2), b) zeigt Ergebnisse vom selben Termin, allerdings wurde das Modell hier mit einer Maschenweite von 1000m initialisiert (Mittlere Schmelzenergie = 270 Watt/m^2), c) zeigt ebenfalls Ergebnisse eines 1000m-Laufs, allerdings unter Zuhilfenahme der subskaligen Information (Mittlere Schmelzenergie = 200 Watt/m^2)

Im weiteren Verlauf der 3. Phase wird die subskalige Routine mit der Gruppe *Snow* für das gesamte GLOWA-Danube Einzugsgebiet ausgetestet und implementiert werden.

9. Weiterentwicklung des Verkehrsmodells

Das tiefe Akteur-Modell *Traffic* beschreibt den Entscheidungsprozess der Skitouristen für die Ausführung von Tagesausflügen in eines der Skigebiete im Einzugsgebiet der Oberen Donau. Die Population des Einzugsgebietes wird dabei durch die sogenannten Sinus-Milieus der Microm GmbH repräsentiert. Der Entscheidungsprozess wird in Abhängigkeit von der Schneehöhe, dem Wetter, der Fahrzeit und dem Milieu der Akteure mit Hilfe von Discrete-Choice-Methoden modelliert. Das Modell ist vollständig innerhalb des Entscheidungsunterstützungssystems DANUBIA implementiert. Die Performanz des Modells *Traffic* ist durch die Umstellung auf das auf der dynamischen Planverwaltung basierenden *DeepActor-Frameworks* verbessert worden.

Im Rahmen der Validierung wurde mit dem Verkehrsmodell eine Studie über die Auswirkung des Klimawandels auf den Verkehr im Zugangsgebiet der 237 Skigebiete der Oberen Donau

durchgeführt (TEPFENHART et. al. 2007a). Die Erhöhung der Höhengrenze der Schneesicherheit führt zu einer Zunahme der verkauften Tagespässe in den überlebenden Skigebieten und zu einer Konzentrierung des Verkehrs auf weniger Straßen. Daher wurde zunächst die Länge der resultierenden Verkehrsstaus auf den Zufahrtsstraßen für folgende Höhengrenzen der Schneesicherheit untersucht: 550m ü. NN, 1200m ü. NN, 1500m ü NN, 1800m ü. NN und 2100m ü. NN. Der Verkehr kann in zwei Phasen unterteilt werden. freier Fluss und Stau; der Übergangsbereich liegt bei einer Verkehrsdichte von 20-30% der maximalen Verkehrsdichte. Abbildung 10 und Abbildung 11 zeigen die Entwicklung der totalen Länge der Verkehrsstaus in den entsprechenden Morgenstunden für die unterschiedlichen Höhengrenzen der Schneesicherheit und für zwei unterschiedliche Definitionen von Verkehrsstaus.

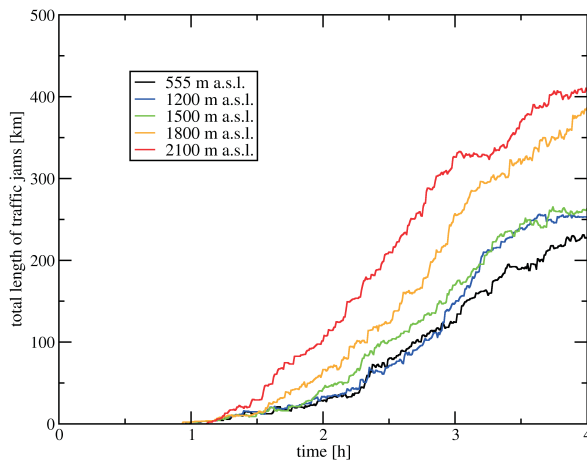


Abb. 10: Gesamtlänge der Verkehrsstaus vs. Zeit für die untersuchten Höhengrenzen der Schneesicherheit, unter der Annahme, dass Verkehrsstaus über eine Verkehrsdichte von 20% existieren

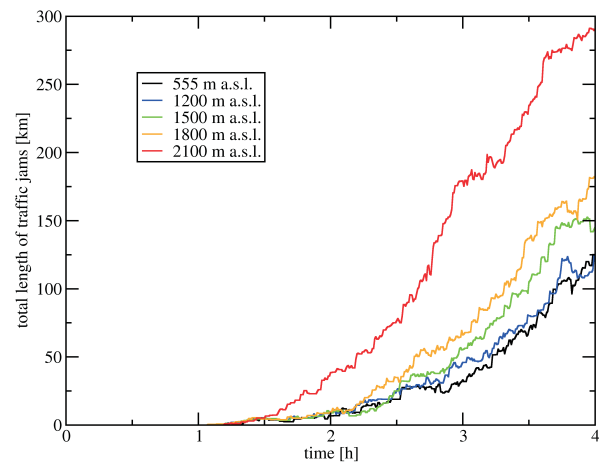


Abb. 11: Gesamtlänge der Verkehrsstaus vs. Zeit für die untersuchten Höhengrenzen der Schneesicherheit, unter der Annahme, dass Verkehrsstaus über eine Verkehrsdichte von 30% existieren

Die Kurven sind in beiden Diagrammen monoton steigend, d.h. dass die Länge der Verkehrsstaus in allen untersuchten Szenarien mit der Simulationszeit ansteigt. Weiterhin steigt die Staulänge mit der Verschiebung der Höhengrenze der Schneesicherheit ebenfalls an. Zusätzlich wurde auch die relative Zunahme der Verkehrsstaus für unterschiedliche Definitionen der Verkehrsstaus und für unterschiedlichen Höhengrenzen der Schneesicherheit untersucht. Die relative Zunahme wurde definiert als $\frac{L(srl)}{L(555)} * 100\%$, wobei $L(srl)$ die Staulänge bei der Höhengrenze der Schneesicherheit srl ist und $L(555)$ die Länge der Verkehrsstaus unter idealen Bedingungen, d.h. wenn alle Skigebiete schneesicher sind bzw. bei einer Höhengrenze der Schneesicherheit von 555m ü NN. Tabelle 1 fasst noch einmal wesentliche Ergebnisse der Simulationen zusammen:

Tab. 1: Das Maximum der totalen Länge der Verkehrsstaus und die entsprechenden Mittelwerte der relativen Zunahmen $\frac{L(srl)}{L(555)} * 100\%$ der Verkehrsstaus in Prozent für die Definition der Verkehrsstaus über 20% und 30% der Verkehrsdichte und für die untersuchten Höhengrenzen der Schneesicherheit

$srl[m \text{ a.s.l.}]$	20% Verkehrsdichte		30% Verkehrsdichte	
	max. Länge [km]	$\frac{L(srl)}{L(555)} * 100\%$ *	max. Länge [km]	$\frac{L(srl)}{L(555)} * 100\%$ *
555	231.2	100	125.1	100
1200	256.3	112.2	124.4	121.3
1500	256.2	123	152.5	132.6
1800	386.8	173	182.7	166

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass eine Verschiebung der Höhengrenze der Schneesicherheit in höhere Lagen eine Verdoppelung oder Verdreifachung der totale Länge der Verkehrsstaus aus Zufahrtsstraßen bewirkt. Für einen bestimmten Zeitpunkt können diese Zunahmen wegen der nichtlinearen Dynamik der Verkehrsstaus noch stärker sein.

Augenblicklich werden Szenarien mit modellierten Schneedaten gerechnet und ausgewertet.

10. Literatur

- BERNHARDT, M., ZÄNGL, G., LISTON, G.E., STRASSER, U. und MAUSER, W. (2008): Using wind fields from a high resolution atmospheric model for simulating snow dynamics in mountainous terrain, *Hydrol. Process.*, Reviewed, accepted.
- FOSTER, G.R. (2004): User's Reference Guide Revised Universal Soil Loss Equation Version 2 (RUSLE2), USDA-ARS, Washington, D.C.
- 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.
- GÜNTNER, A. (2002): Large-scale hydrological modelling in the semi-arid north-east of Brazil. Dissertation, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Universität Potsdam.
- 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.
- KIRNBAUER, R. und BLÖSCHL, G. (1994): How similar are snow cover patterns from year to year. *Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen* 1994.
- LISTON und STURM (1998) A snow-transport model for complex terrain. *Journal of Glaciology*, 44. 1998, S. 498-516.
- LISTON, G.E. (2004): "Representing Subgrid Snow Cover Heterogeneities in Regional and Global Models." *Journal of Climate*, 17, S. 1381-1397.
- MARKE, T. und MAUSER, W. (2008): SCALMET - A tool for bidirectional coupling of climate models with physically-based simulations of land surface processes. Abstracts of the International Kongress 'Managing alpine Future - strategies for sustainability in times of change'. Proceedings (in press).
- 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, S. 2138-2145, Proceeding.
- MAUSER, W. and BACH, H. (2008): PROMET – a Physical Hydrological Model to Study the Impact of Climate Change on the Water Flows of Medium Sized, Complex Watersheds, *Journal of Hydrology* (submitted).
- OLSSON, J. (1998): Evaluation of a scaling cascade model for temporal rainfall disaggregation. *Hydrology and Earth System Sciences* 2(1), S. 19-30.

- ROECKNER, E., BÄUML, G., BONAVENTURA, L., BROKOPF, R., ESCH, M., GIORGETTA, M., HAGEMANN, S., KIRCHNER, I., KORNBLUEH, L., MANZINI, E., RHODIN, A., SCHLESE, U., SCHULWEIDA, 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.
- SCHMIDT, J. (1996): Entwicklung und Anwendung eines physikalisch begründeten Simulationsmodells für die Erosion geneigter landwirtschaftlicher Nutzflächen. Berliner Geographische Abhandlungen, Nr.61, Berlin.
- STURM, M, HOLMGREN, J und LISTON, G.E. (1995): A seasonal snow coverclassification system for local to global applications. *Journal of Climate*. 1995, 8, S. 1261-1283.
- TEPFENHART, M., MAUSER, W. und SIEBEL, F. (2007a): The impacts of climate change on ski resorts and tourist traffic. In *Proceedings of the Third International Workshop on Climate, Tourism and Recreation 2007: Developments in Tourism Climatology*. On: <http://www.mif.uni-freiburg.de/isb/ws3/report.htm> (07.04.2008).
- 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.

Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung, Wasserversorgung, Human Capacity Building

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

Berichtersteller:

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 2007 beschränkt sich auf die Darstellung der vom 01.05.2007 bis 31.12.2007 durchgeführten Arbeiten und deren Ergebnisse. Der Bericht über diese Periode ist aus folgenden Gründen weniger umfangreich als vorhergehende Jahresberichte:

1. Zum Ende der Projektphase II hatten alle bis dahin im Projekt beschäftigten Doktoranden ihre Promotionsvorhaben bzw. ihre Tätigkeit am IWS beendet.
2. Die entstehenden Personallücken konnten zum Ende der Phase II nicht geschlossen werden, da durch den nur teilweise und vor allem sehr spät erfolgten Ausgleich des durch die Mehrwertsteuerpflicht entstandenen Defizits nicht genügend Mittel zur Einstellung neuen Personals zur Verfügung standen.
3. Aufgrund der erst weit nach Ende der Phase II erfolgten Zusage der Förderung der Phase 3 des Projekts war es nicht möglich, Stellen frühzeitig auszuschreiben und neu zu besetzen.

Das Zusammenwirken dieser Umstände hatte zu Folge, dass eine kontinuierliche wissenschaftliche Projektarbeit am Übergang von der zweiten zur dritten Projektphase nicht möglich war. Die letzte freie Doktorandenstelle konnte erst im Februar 2008 neu besetzt werden. Zu diesen an sich schon ungünstigen Umständen kam erschwerend hinzu, dass andere Teilprojekte mit ähnlichen Schwierigkeiten zu kämpfen hatten. Deswegen konnte wesentliche Inputs, die für die Fortführung der Arbeit unseres Teilprojekts erforderlich gewesen wären, teilweise bis heute nicht geliefert werden. Weitere Schwierigkeiten erstanden durch den Wegfall von bisherigen wesentlichen Partnern und Strategiewechsel innerhalb des Projekts. Im Jahr 2007 konnten deshalb keine nennenswerten integrativen Arbeiten durchgeführt werden. Die Arbeit der Projektgruppe beschränkte sich i.w. auf sektorale Arbeiten, wo allerdings

bedeutende Erfolge erzielt werden konnten. Zu nennen sind hier vor allem die Beschaffung und Auswertung deutlich erweiterter Datensätze zur Grundwassermenge und -qualität.

Im Bereich des DANUBIA-Objekts *WaterSupply* wurde im Berichtsjahr 2007 die Entwicklung des Tiefen Akteurmodells *DeepWaterSupply* abgeschlossen und das Modell für die lokale Simulation von Szenarien angewendet.

Das DANUBIA-Objekt *GroundwaterFlow* konnte nicht wie geplant weiterentwickelt werden, da ein Strategiewechsel im Projekt bisher offen lässt, wie die Schnittstellen in Zukunft bedient werden. Wesentlich verbessert wurde allerdings das Auswertekonzept. Die Entwicklung des Stickstofftransportmoduls (Objekt *GroundwaterTransport*) wurde weiter vorangetrieben, allerdings fehlen hier nach wie vor Eingabedaten der Partnermodelle, die für das Testen des Modells erforderlich wären.

1.2 Personal

1.2.1 Wissenschaftler

- Herr Aleksandar Trifkovic hat seine Promotion am 03.07.2007 abgeschlossen („Multi-objective and Risk-based Modelling Methodology for Planning, Design and Operation of Water Supply Systems“; Note: sehr gut). Herr Trifkovic ist am 30.09.2007 aus dem Institut für Wasserbau ausgeschieden und hat eine Stelle in einem Stuttgarter Consulting Unternehmen angetreten. Am 31.12.2007 verließ Herr Dipl.-Geoökol. Marco Borchers (seit 01.11.2005, Teilbereich Grundwasser) das Projekt um eine ihm besser zusagende Stellung anzunehmen.
- Am 01.06.2007 wurde Herr Dipl.-Hydrol. Jan van Heyden eingestellt. Am 10.12.2007 trat Herr Dipl.-Hydrol. Thorben Römer als weiterer Doktorand in das Projekt ein. Mit der Einstellung von Herr. Dipl.-Ing. Thomas Hörhan ist die Projektgruppe wieder vollständig.
- Damit besteht die Projektgruppe derzeit (März 2008) aus Herrn Dr. R. Barthel (seit 01.09.2001, Projektleiter), Herrn Dipl.-Hydrol. Jan van Heyden (01.06.2007, Bereich Grundwasser), Herrn Dipl.-Hydrol. Thorben Römer (10.12.2007, Bereich Grundwasser) und Herrn. Dipl.-Ing. Thomas Hörhan (04.02.2008, Bereich Wasserversorgung).
- Der Teilbereich Human Capacity Building (HCB) wird nach wie vor von Dr. Jürgen Braun (wissenschaftlicher Leiter der Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung (VEGAS)) 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 unterstützt. Somit werden alle 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 (HCB)

Für die Stipendien im Teilbereich Human Capacity Building besteht die besondere Situation, dass die Stipendien, die noch in der Laufzeit der Phase II erteilt wurden, bis September

2007, d.h. bis in die dritte Projektphase hinein ausbezahlt werden. Über den Fortgang dieser Stipendien wurde im Abschlussbericht zur Phase II bereits berichtet. Hier werden die Daten der im Berichtszeitraum finanzierten Stipendiaten nochmals kurz zusammengefasst:

- Angeliki Chioni (Griechenland)
(Stipendium 01.04.06-30.9.07) hat ihr Studium (WAREM) mit den Schwerpunkten Hydroinformatics and Hydrosystems, Groundwater Resources Management sowie Ecohydraulics and Hydraulic Engineering erfolgreich abgeschlossen (Abschlussnote: 1,4). Sie hat ihre Independent Study „Characterization of tracer distribution in a lake using spatial moments“ und die Arbeit an ihrer Master’s Thesis „Lay-out and calibration of automatic weirflaps in an irrigation scheme“, bei der sie im VEGAS Labor Experimente durchführte, Ende September 2007 erfolgreich beendet (Note: 1,0).
- Dimitrios Diamantakis (Griechenland)
(Stipendium 01.04.06-30.09.07) hat sein Studium (WAREM) mit den Schwerpunkten Hydroinformatics and Hydrosystems, Groundwater Resources Management, Integrated Water Resources Planning and Management sowie Ecohydraulics and Hydraulic Engineering erfolgreich abgeschlossen (Abschlussnote: 1,4). Er hat seine Master’s Thesis „Possibilities of Water Management under Changing Climate“ ebenfalls im September 2007 erfolgreich beendet (Note: 1,0).
- Ganesh Prasad Parajuli (Nepal)
(Stipendium 01.04.06-30.09.07) hat sein Studium (WAREM) Schwerpunkten Hydroinformatics and Hydrosystems, Groundwater Resources Management sowie Ecohydraulics and Hydraulic Engineering erfolgreich abgeschlossen (Abschlussnote: 2,2). Seine Master’s Thesis „Creep Analysis of Leaning Tower of Pisa; Development & Implementation of Anisotropic Creep Model for Soft Soil“ wurde mit der Note 1,7 bewertet.
- Ulisses Lourenco Filho (Brasilien)
(Stipendium 01.4.06-30.09.07) hat die Vorlesungen des Studiengangs “Air Quality Control, Solid Waste and Waste Water Process Engineering (WASTE)” erfolgreich beendet und im Februar 2007 eine Semesterarbeit „Air Quality in the Metropolitan Region of Sao Paulo in a day of strike in the public transport system and chaotic traffic“ angefertigt. Weitere Semesterarbeiten: “An Overview on the Solid Waste Management System in Sao Paulo” und “Individual Practical Work on Measurements, Flue Gas and Waste Air Treatment”. Seine Master’s Thesis mit dem Titel “Synthesis of Nano-Scaled Catalyst Particles” hat Herr Lourenco Filho in Mannheim angefertigt.

In der Projektphase III wurden bislang keine Stipendien vergeben, da aufgrund der Umstellung des Studiengangs auf die vorgeschriebene neue modulare Struktur gleichzeitig eine Umstellung der Studiendauer von drei auf vier Semester erforderlich war. Aus diesem Grund wurden für das Studienjahr 2007 (Beginn WS 2007) alle bereits zugelassenen Bewerber für das Jahr 2008 (Beginn WS 2008) zurückgestellt. Deshalb ist es nicht möglich, an dem Schema mit jeweils drei Stipendien für Studienbeginner der Jahrgänge 2007, 2008 und 2009 festzuhalten. Stattdessen werden fünf Stipendien für Studienbeginner des Jahrgangs 2008 und vier Stipendien für Studienbeginner des Jahrgangs 2009 vergeben. Die Stipendien werden eine Laufzeit von vier Semestern haben. Derzeit (März 2008) läuft das Auswahlverfahren für die Stipendiaten des Jahrgangs 2008 auf Basis der eingegangenen Bewerbungen (deadline 15. Februar 2008) und der Ergebnisse des Auswahlverfahrens des Studiengangs WAREM. Über die Auswahl wird im Jahresbericht 2008 berichtet werden.

1.3 Investitionen

Im Jahr 2007 wurden außer der Anschaffung von einigen neuen Festplatten zur Speicherung der enormen Datenmengen (Modellergebnisse) und als Ersatz für defekte Speichermedien, keine größeren Investitionen getätigt. Einige Softwarelizenzen mussten erneuert werden.

1.4 Veranstaltungen

1.4.1 Konferenzen

Die Mitglieder der Arbeitsgruppe waren im Berichtszeitraum mit insgesamt sieben Tagungsbeiträgen zu GLOWA-Danube auf einer nationalen und zwei internationalen Kongressen vertreten. Für das Jahr 2008 wurden bislang drei Tagungsbeiträge für eine internationale und eine nationale Tagung eingereicht und akzeptiert.

Tagungsbeiträge der Projektgruppe in 2007 (Übersicht)

- EGU 2007, Wien (ein Poster).
- IAH 2007, Lissabon (zwei Vorträge, zwei Poster).
- Tag der Hydrologie (ein Vortrag).

Tagungsbeiträge der Projektgruppe in 2007

- BARTHEL, R., GÖTZINGER, J., BARDOSSY, A. und JAGELKE, J.: The Role and the Particularities of Groundwater Recharge and Baseflow in Integrated Regional Models (IAHS, Perugia 2007, Vortrag).
- BARTHEL, R., MAUSER, W., STRASSER, U., LUDWIG, R., WILLEMS, W. und FRUEH, B.: Potential Climate Change Impacts on the Groundwater Resources in the Upper Danube Watershed - a Scenario Case Study using the DANUBIA Decision Support System. - Proceedings of the XXXV Congress of the International Association of Hydrogeologists (IAH) (Lisbon 2007, Poster).
- BARTHEL, R. und TRIFKOVIC, A.: Regional-scale assessment of groundwater resources quantity with respect to water supply issues and the ecological role of groundwater. - Proceedings of the XXXV Congress of the International Association of Hydrogeologists (IAH) (Lisbon 2007, Poster).
- BARTHEL, R., WOLF, J., ROJANSCHI, V., JAGELKE, J., BORCHERS, M., GAISER, T. und MAUSER, W.: How to model groundwater flow on the regional scale in hydrogeologically complex regions? - Proceedings of the XXXV Congress of the International Association of Hydrogeologists (IAH) (Lisbon 2007, Poster).
- BARTHEL, R.: Actual status of DSS Developments in central Europe - Neckar and Danube River Basins. - The Arab Center for the Studies of Arid Zones & Dry Lands (ACSAD) - Workshop on Decision Support Systems (DSS) for Soil and Water Resources Management (16.-18.01.2007, Rabat, Morocco - auf Einladung, Vortrag).
- BARTHEL, R.: Design of the DANUBIA DSS - with a special focus on the coupling of groundwater models (MODFLOW) with hydrological models. - The Arab Center for the Studies of Arid Zones & Dry Lands (ACSAD) - Workshop on Decision Support Systems (DSS) for Soil and Water Resources Management (16.-18.01.2007, Rabat, Morocco - auf Einladung, Vortrag).

- BARTHEL, R.: Integrative Bewertungsmethoden für Grundwasser und Oberflächengewässer in der Flussgebietsbewirtschaftung. - Tag der Hydrologie - Einfluss von Bewirtschaftung und Klima auf Wasser- und Stoffhaushalt von Gewässern (22.-23.03.2007, Rostock, Vortrag)
- BARTHEL, R.: The Role of Groundwater Recharge in Regional Scale Integrated Groundwater Flow Modelling. - Proceedings of the XXXV Congress of the International Association of Hydrogeologists (IAH) (Lisbon September 2007, Vortrag).
- BARTHEL, R.: Untersuchung und Bewertung möglicher Folgen des Klimawandels für das Grundwasser im Süden Deutschlands - Möglichkeiten und Grenzen integrierter Modelle. - Geowissenschaftliches Kolloquium Universität Jena (22.01.2007 - auf Einladung, Vortrag).

1.4.2 Vorträge

Die Titel der auf nationalen und internationalen Konferenzen gehaltenen Vorträge sind im Kapitel 4 aufgelistet. Besonders erwähnenswert ist die Einladung von Herrn Dr. Barthel zum Vortrag im Kolloquium des Zentrums für Wasserforschung, Universität Freiburg. Weiterhin wurde Herr Dr. Barthel im Januar 2007 durch die Bundesanstalt für Geologie und Rohstoffe zu einem Workshop nach Marokko sowie zum geowissenschaftlichen Kolloquium der Universität Jena mit Vorträgen zu GLOWA-Danube eingeladen.

Die entsprechenden Veröffentlichungen sind im Kapitel 1 aufgelistet und können - soweit rechtlich möglich - direkt eingesehen bzw. abgerufen werden^{1,2}.

1.5 Veröffentlichungen

Im Jahr 2007 wurde ein Beitrag der Arbeitsgruppe zum Thema GLOWA in einer deutschsprachigen Fachzeitschrift veröffentlicht, ein Beitrag wurde Anfang 2008 in einer internationalen Fachzeitschriften veröffentlicht. Weitere fünf Beiträge wurden eingereicht, wovon zwei sich bereits im Druck befinden. Darüber hinaus wurden insgesamt fünf Textbeiträge in Tagungsbänden veröffentlicht.

Publikationen und Tagungsbeiträge des Teilprojekts in 2007

Veröffentlichungen in Zeitschriften, Buchbeiträge

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. und 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.

BARTHEL, R. (2007): Integrative Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels auf den mengenmäßigen Zustand regionaler Grundwasserressourcen. - Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 20.07, S. 119-131.

¹⁾ www.glowa-danube.de

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

Referierte Veröffentlichungen in Zeitschriften, Buchbeiträge eingereicht bzw. im Druck

- BARTHEL, R., JANISCH, S., SCHWARZ, N., TRIFKOVIC, 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 and Software* (accepted for publication, February 2008).
- 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* (eingereicht).
- 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).
- GÖTZINGER, J., BARTHEL, R., 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 Redbook Publ. 32, 2008 (accepted for publication).
- TRIFKOVIC, A., BARTHEL R., BARDOSSY, A. und ROTT, U. (2006): 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*, September 2007.
- WOLF, J., BARTHEL, R. und BRAUN, J. (2008): Modeling ground water flow in alluvial mountainous catchments on a watershed scale. - *Ground Water* (accepted for publication, February 2008).

Dissertationen

- TRIFKOVIC, A. (2007): Multi-objective and Risk-based Modelling Methodology for Planning, Design and Operation of Water Supply Systems, - Institutes für Wasserbau der Universität Stuttgart, Heft 163, Dissertation, 132 S.

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

- CHIONI, A.: Characterisation of tracer distribution in a lake using spatial Moments, Independent Study, WAREM, Universität Stuttgart 6/2007.
- CHIONI, A.: Lay-out and calibration of automatic weirflaps in an irrigation scheme, Master's Thesis, WAREM, Universität Stuttgart, 9/2007.
- DIAMANTAKIS, D.: Global Climate Change Perspectives Case Study: Greece Independent Study, WAREM, Universität Stuttgart, 9/2007.
- DIAMANTAKIS, D.: Water Management Possibilities under Changing Climate. Master's Thesis, WAREM, Universität Stuttgart, 9/2007 .

2. Ergebnisse

Wie bereits eingangs erwähnt, konnten im Berichtszeitraum nur eingeschränkt neue Ergebnisse erzielt werden. Der Berichtszeitraum war insbesondere in seiner ersten Hälfte von der Unsicherheit über den Projektfortgang, sodann von der Suche und letztlich nach der Einar-

beitung neuer Mitarbeiter geprägt. Im Bezug auf die integrativen Arbeiten im Projekt GLOWA-Danube Phase III herrschten in der zweiten Jahreshälfte 2007 große Unklarheiten, die nur teilweise durch die Klausurtagung im Herbst 2007 beseitigt werden konnten. Deshalb standen sektorale Arbeiten im Vordergrund, die im Wesentlichen mit der Beschaffung und Organisation, und Auswertung von neuen Daten in Verbindung standen.

2.1 Ergebnisse sektoraler³⁾ Arbeiten

2.1.1 Sektorale Arbeiten: Teilbereich Grundwasser

Grundsätzlich stand bereits zum Ende der zweiten Projektphase ein im DANUBIA-Gesamtmodell stabil lauffähiges Objekt *GroundwaterFlow* mit bereichsweise plausiblen Ergebnissen zur Verfügung. Das Objekt *GroundwaterTransport* war zumindest mit selbst erzeugten Testdaten lauffähig. Im *Berichtszeitraum* konnten beide Objekte nicht weiterentwickelt werden. Für das Objekt *GroundwaterTransport* standen keine Eingabedaten von anderen Projektgruppen zur Verfügung, für das Objekt *GroundwaterFlow* bleibt unklar, wie die wesentlichen Schnittstellen (*GroundwaterRecharge*, *RiverLevel*) in Zukunft bedient werden. Aus diesem Grund hat sich die Projektgruppe auf die Auswertung historischer Grundwasserdaten konzentriert. Im Bereich der Modellentwicklung wurde fast ausschließlich die Verbesserung der Auswertetools vorangetrieben.

2.1.1.1 Modellierungsergebnisse des DANUBIA-Objektes *GroundwaterFlow*

Im Laufe des Jahres 2007 wurden wiederum Modellläufe durchgeführt. Es war allerdings nicht möglich, solche Läufe im Modellverbund DANUBIA durchzuführen. Die lokalen Läufe im Modellverbund *DANUBIA-Light* wurden mit einer veralteten Version des Modells *Promet* durchgeführt, so dass die Ergebnisse wenig aussagekräftig waren. Erst im Oktober 2007 wurde eine neue Version von *Promet* zur Verfügung gestellt, von der aber nach wie vor unklar ist, ob sie fehlerfrei rechnet. Die lokalen Testläufe dienten deshalb weniger zur Verbesserung des Grundwassermodells als zur Erzeugung von Testdaten für den Antrieb des Modells *WaterSupply*.

2.1.1.2 Szenarien

Durch eine Initiative der Projektgruppe Stuttgart anlässlich eines Treffens der Akteursgruppen am 9.11.2006 in Stuttgart wurde eine gemeinsame Strategie zur Erzeugung szenarienrelevanter Daten für alle sozioökonomischen Modelle entwickelt. Als Resultat dieser Strategie konnten nun drei Klimaszenarien (optimistisch, pessimistisch, business as usual) sowie jeweils drei Wasserversorgungsszenarien (Wasserversorger reagieren konservativ, ignorant, sensibel auf Änderungen der klimatischen Änderungen) erzeugt werden. Diese abgeleiteten und konsistenten Datensätze können nun von allen Akteursmodellen für das Testen und Validieren verwendet werden. Ergebnisse von auf diesen Szenarien basierenden Simulationen wurden ausführlich im Abschlussbericht zur Phase II vorgestellt.

2.1.1.3 Auswertetools

Der enorme Umfang von Ergebnisdaten aus den langjährigen instationären Modellläufen (10 bis 100 Jahre, bis 80 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.

³⁾ Als sektoral werden prinzipiell Arbeiten bezeichnet, die im Wesentlichen nicht gemeinsam oder in Abstimmung mit anderen Gruppen durchgeführt wurden.

Eine wesentliche Neuerung im Auswertekonzept ist die Umstellung der Betrachtung von Einzelproxeeln auf Zonen (das Zonenkonzept wurde ausführlich im Abschlussbericht zur Phase II vorgestellt). Es hat sich gezeigt, dass eine Betrachtung der Grundwasserstände auf einzelnen Proxeeln aufgrund der extremen Heterogenität technisch schwer machbar und zudem im Sinne von Verbesserungen am Modell nicht zielführend ist. In das Gesamtkonzept der Auswertung von Zonenwerten und der Bestimmung von Indizes (Flaggen) integriert sich eine aggregierte Auswertung (räumlich: Zone, zeitlich: Monat) ebenfalls besser. Zu diesem Zweck wurde ein Auswertetool entwickelt, das vielfältige Auswertungen für die aggregierten Zonenwerte zulässt. Auch die Auswertung historischer Messdaten (s.u.) wird an dieses Konzept angepasst indem für jede Zone repräsentative Messdaten generiert werden. Abbildung 1 zeigt beispielhaft den Zusammenhang zwischen Grundwasserneubildung, Grundwasserstand und Grundwasserabfluss für eine Zone. Diese drei Größen gehen maßgeblich in die Zustandsbewertung (Flaggen) ein.

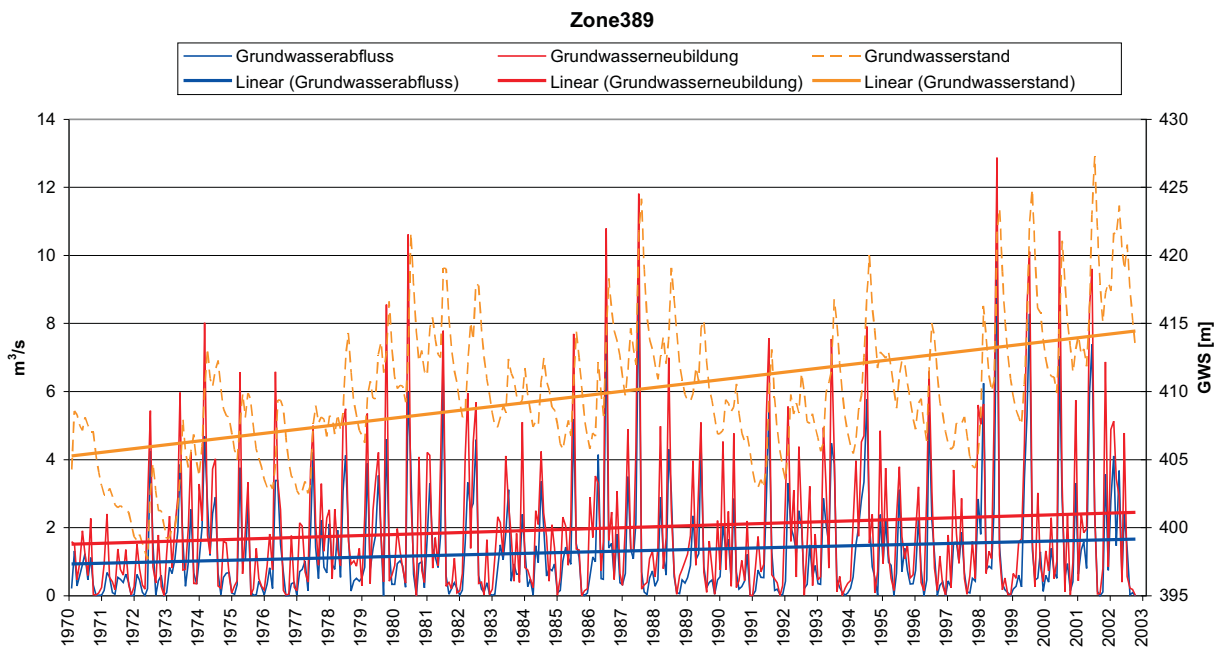


Abb. 1: Beispiel für das Ergebnis einer Zonenauswertung für den Referenzzeitraum 1970 bis 2003

2.1.1.4 Auswertung historischer Messdaten

Nachdem sich im Frühjahr 2007 abzeichnete, dass GLOWA-Danube in eine dritte Phase gehen könnte, wurde vom Teilprojekt in Absprache mit der zentralen Projektkoordination der Beschluss gefasst, die Datenbasis für das Projekt deutlich auszubauen. Der Entschluss dies frühzeitig anzugehen wurde von den mit der Datenbeschaffung gemachten Erfahrungen der Phase I, wonach zwischen Anfrage und Erhalt der Daten bis zu einem Jahr liegen können, maßgeblich beeinflusst.

Bis Anfang 2007 lagen dem Teilprojekt Daten zum Grundwasser im Wesentlichen nur für den Zeitraum 1990 bis 1999 (2001) und teilweise auch nur für eine begrenzte Anzahl von Messstellen vor. Grund für die Beschränkung war einerseits, dass die Daten zu Projektbeginn bzw. in den Jahren 2001 und 2002 beschafft worden waren und naturgemäß die jüngsten Entwicklungen noch nicht enthalten waren, andererseits wurden bei der Beschaffung zu Projektbeginn von den Behörden Beschränkungen auf bestimmte Zeiträume und Messstellen verlangt. Nicht zuletzt dadurch, dass sich die bayerische LfU als Partner nun verstärkt für das Projekt GLOWA-Danube interessiert, war der Zugang zu Daten ab 2007 deutlich erleichtert. Ohnehin unproblematisch ist die Beschaffung von Daten in Baden-Württemberg und Österreich.

Es wurden deshalb zu Beginn 2007 entsprechende Aktualisierungsanfragen an die diversen Ämter und Ministerien in Bayern, Baden-Württemberg und Österreich gestellt. Angefragt wurden Grundwasserstandsdaten und Quellschüttungen von allen verfügbaren Messstellen im Einzugsgebiet jeweils von Beginn bis Ende der digitalen Aufzeichnungen. Dazu wurden Grundwasserqualitätsdaten für insgesamt 124 Parameter ebenfalls von Beginn bis Ende der digitalen Aufzeichnungen angefordert. Weiterhin wurde der Bestand an Stammdaten aktualisiert. Die Bereitstellung der Daten erfolgte für Baden-Württemberg und Österreich sofort, in Bayern waren einige Monate Warte- und Bearbeitungszeit erforderlich, auch gab es in Bayern deutlichere Beschränkungen im Bezug auf Lagegenauigkeit der Meßstellen und Auswahl der Objekte. Die folgenden Tabellen geben eine Übersicht über die Daten, die dem Teilprojekt neu zur Verfügung gestellt wurden.

Tab. 1: Bestand an Grundwasserstandsdaten

Daten	Bayern	Baden-Württemberg	Österreich	Einzugsgebiet
Messstellen gesamt	2716	138	574	3428
Längste Zeitreihe	ca. 92a	ca. 82a	ca. 30a	ca. 92a
Zeitreihen > 10a	1473	103	381	1957
Zeitreihen > 20a	1060	52	127	1239
Zeitreihen > 30a	520	17	23	560

Tab. 2: Bestand an Quellschüttungsdaten

Daten	Bayern	Baden-Württemberg	Österreich	Einzugsgebiet
Messstellen gesamt	362	36	116	514
Längste Zeitreihe	ca. 56a	ca. 53a	ca. 18a	ca. 56a
Zeitreihen > 10a	71	25	73	169
Zeitreihen > 20a	47	20	0	67
Zeitreihen > 30a	20	13	0	33

Tab. 3: Bestand an Grundwasserqualitätsdaten - Messstellen

Daten	Bayern	Baden-Württemberg	Österreich	Einzugsgebiet
Messstellen gesamt	7528	625	431	8584
Längste Zeitreihe	ca. 36a (116 MW)	ca. 78a (587 MW)	ca. 17a (43 MW)	ca. 78a
Zeitreihen > 10a	426	435	341	1202
Zeitreihen > 20a	215	73	1	289
Zeitreihen > 30a	29	36	0	65

Tab. 4: Bestand an Grundwasserqualitätsdaten - Zeitreihen: Nitrat (MW: Messwerte)

Daten	Bayern	Baden-Württemberg	Österreich	Einzugsgebiet
Messstellen gesamt	6150	499	431	7102
Längste Zeitreihe	ca. 36a (116 MW)	ca. 78a (587 MW)	ca. 17a (43 MW)	ca. 78a (587 MW)
Zeitreihen > 10 MW	190	433	413	1036
Zeitreihen > 50 MW	86	110	79	275
Zeitreihen > 100 MW	8	13	0	21

Tab. 5: Bestand an Grundwasserqualitätsdaten - wesentliche Parameter

Parameter	MS (n)
Atrazin	1064
Basekap. bis pH 8,2	5853
Saurekap. bis pH 4,3	5492
Desethylatrazin	1064
Nitrit	6984
Kalium	6994
Sulfat	7094
Magnesium	7101
Chlorid	7103
Calcium	7104
Natrium	7005
Ammonium	6975
Temperatur	8409
Sauerstoff	7633
El. Leitfähigkeit	8326
pH-Wert	8380
Nitrat	7102

Anzahl der Messstellen mit >50 Messungen

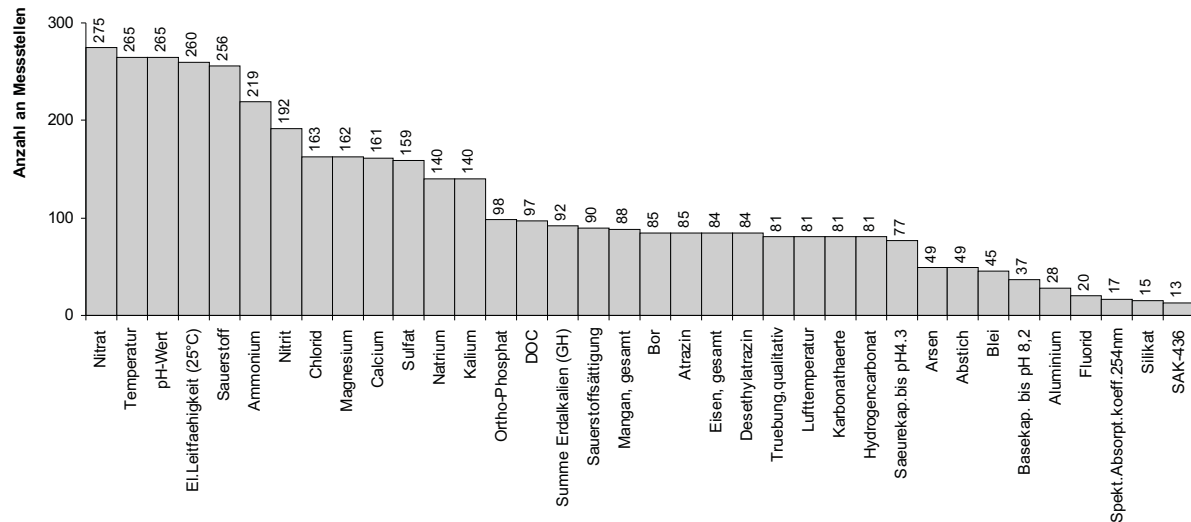


Abb. 2: Übersicht über die wesentlichen Grundwasserqualitätsparameter und der jeweils vorliegenden Zeitreihen mit mehr als 50 Messwerten

Zur Verwaltung und Auswertung der neuen Datenbestände wurde zwei getrennte Datenbanken (Menge / Qualität) konzipiert und komplett neu aufgebaut. Eine große Herausforderung, insbesondere bei den Qualitätsdaten, stellte hierbei die Tatsache dar, dass die Daten aus sehr unterschiedlichen Quellen stammen. Die Länderbehörden verwenden teilweise sehr unterschiedliche Datenhaltungssysteme. Zusätzlich gibt es aber auch innerhalb der Länder unterschiedliche Datenbanken, weiterhin sind Daten unterschiedlichen Alters in unterschiedlichen Formaten abgelegt. Als Beispiel ist die Behandlung von Werten unterhalb der Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenze zu nennen, die in allen Datenquellen unterschiedlich gehandhabt wird und auch vom Alter der Daten (Analyseverfahren) abhängt. Letztendlich wurden für die Grundwassermenge 11,2 Mio. Werte in die Datenbank integriert, für die Qualität liegen insgesamt 2,9 Mio. Einträge vor.

Neben den Grundwasserdaten wurde auch alle der Projektgruppe vorliegenden Abflussdaten in einer Datenbank erfasst, aktuell werden auch die Wasserqualitätsdaten aus Oberflächengewässern bearbeitet.

Übergeordnetes Ziel der Auswertung ist der historischen Daten ist die systematische Erfassung des Zustands und der Veränderung von Grundwassermenge und -qualität im Einzugsgebiet der Oberen Donau in Raum und Zeit. Im Einzelnen sollen folgende Fragestellungen bearbeitet werden:

1. Inwieweit haben sich klimatische Änderungen bisher auf Grundwassermenge und -qualität im Einzugsgebiet der Oberen Donau ausgewirkt?
2. Inwieweit haben sich Landnutzungsänderungen bisher auf Grundwassermenge und -qualität im Einzugsgebiet der Oberen Donau ausgewirkt?

3. Welches sind die naturräumlichen und anthropogenen Einflussfaktoren, die die Änderungen von Grundwassermenge und -qualität in Raum und Zeit maßgeblich beeinflussen
4. Wie lässt sich die Kenntnis dieser Faktoren nutzen, um die in GLOWA-Danube entwickelten Prognoseinstrumente weiter zu verbessern?
5. Ist es möglich, Vorhersagen über die Zukunft von Grundwassermenge und -qualität unter Szenarienbedingungen ohne die Verwendung von komplexen Modellen (z.B. Grundwasserströmungsmodell) zu machen?
6. Wie können Einflussfaktoren regionalisiert werden?

Konkret im Hinblick auf die Modell, die durch das Teilprojekt erstellt werden, sollen die Auswertungen zur Entwicklung von Transferfunktionen dienen, mit denen das Problem der nicht-Äquivalenz von Grundwasserneubildung im Oberflächen- und im Grundwassermodell beseitigt werden kann. Weiterhin sollen die Arbeiten zu Erstellung von Grundwasserqualitätsindizes - analog zu den *groundwaterQuantityFlags* für die Grundwassermenge – dienen.

Die maßgeblichen Analyseinstrumente sind die Zeitreihenanalyse, die multivariate Statistik, die Clusteranalyse und geostatistische Methoden. Derzeit werden zahlreiche verfahren getestet. Erste Ergebnisse werden auf der EGU in Wien und der FH-DGG Tagung in Göttingen im Frühjahr 2008 vorgestellt. Über die Ergebnisse wird voraussichtlich im Detail im Jahresbericht 2008 berichtet werden können. Abbildung 3 zeigt eine typische Ganglinie einer Messstelle im quartären Grundwasserleiter mit deutlich fallendem Trend und typischem starkem Jahresgang.

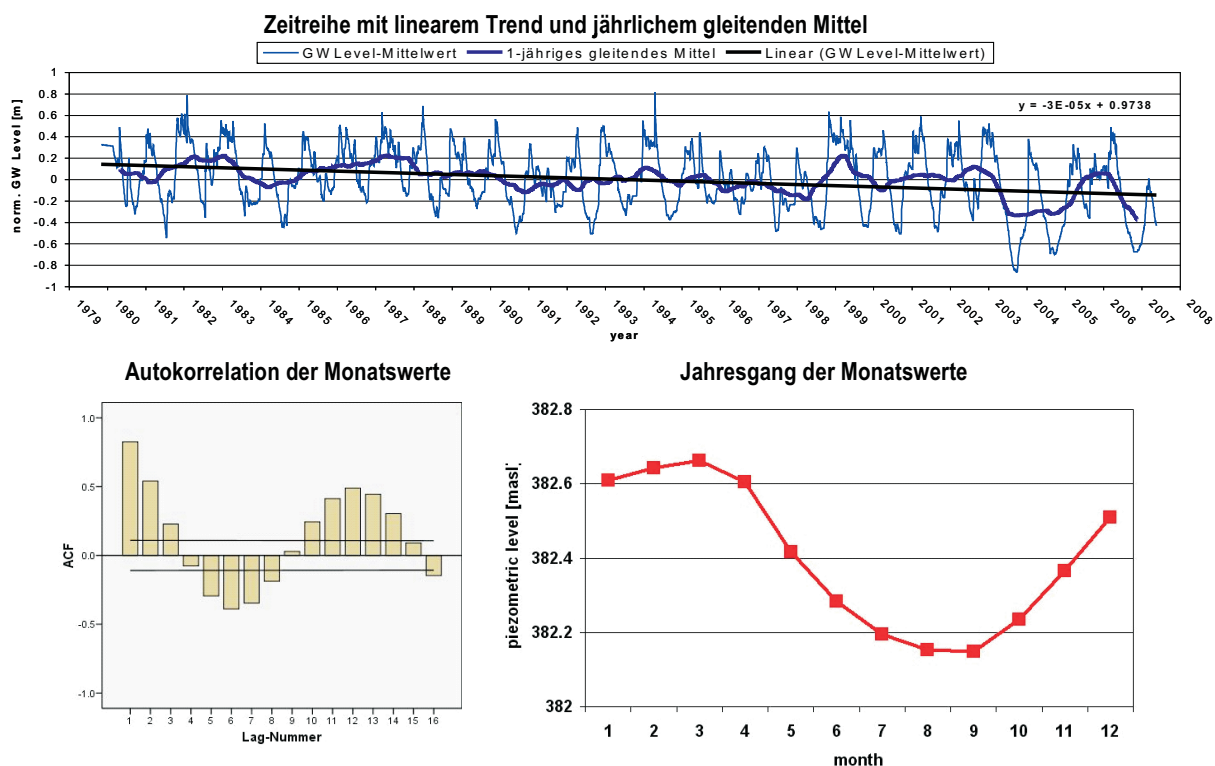


Abb. 3: Grundwasserstandsganglinie und typische Auswertungen

2.1.2 Sektorale Arbeiten: Teilbereich Wasserversorgung

Die Arbeiten für den Teilbereich Wasserversorgung bzw. dem DANUBIA Objekt *Water-Supply* wurden im Abschlussbericht zur Phase II sehr ausführlich dargestellt. Im Jahr 2007 wurden die dort beschriebenen konzeptionellen Entwicklungen und Planungen nur in sehr engen Grenzen weitergeführt, so dass es momentan nicht angemessen erscheint, hierauf nochmals im Detail einzugehen. Nachdem die Implementierung bereits Anfang 2007 weitgehend abgeschlossen war, wurden im Verlauf des Jahres v.a. allem Tests und entsprechende Anpassungen in der Parametrisierung vorgenommen. Diese Arbeiten sind zwar enorm wichtig, sollen aber aus Platzgründen hier nicht wiedergegeben werden. Es ist auch darauf hinzuweisen, dass nach dem Weggang von Frau Darla Nickel und Herrn Trifkovic erst im Februar 2008 mit Thomas Hörhan ein Mitarbeiter eingestellt werden konnte, der voll für den Teilbereich Wasserversorgung zuständig ist.

2.2 Ergebnisse integrativer Arbeiten

Wie schon eingangs erläutert, konnten im Jahr 2007 nur sehr wenige integrative Arbeiten durchgeführt werden. Grundsätzlich sind als übergeordnet integrative Arbeiten insbesondere die Anpassungen an das DANUBIA-Frameworks 2.0 (inklusive *DeepActor Framework*) zu nennen. Die erforderlichen Umstellungen waren insbesondere im Teilbereich *Water-Supply* relativ aufwändig und nicht unproblematisch. Wiederum wurde die Umstellung der Komponente „*Actor*“ von der Projektgruppe Stuttgart durchgeführt. Dazu war vor allem auch die Koordination der geänderten Schnittstellenkonzepte zwischen den Hauptkomponenten und innerhalb der Akteursgruppe ein wesentlicher Arbeitsschwerpunkt.

Als integrativ im weiteren Sinne können weiterhin die gemeinsamen Anstrengungen zum Stakeholderdialog, die Beiträge zur Formulierung von Szenarien sowie die konzeptionellen Beiträge zur Entwicklung des Modellsystems DANUBIA-Light gelten, das in absehbarer Zukunft für die Simulation von Szenarien im Modellverbund herangezogen werden soll.

3. Gesamtausblick und weitere Vorgehensweise

Nachdem im Jahr 2007 aufgrund der eingangs geschilderten Schwierigkeiten wenig bedeutsame Fortschritte zu verzeichnen waren, stehen nun zahlreiche Arbeiten auf sektoraler und integrativer Ebene an, die sehr gut vorbereitet wurden und deshalb aller Wahrscheinlichkeit nach schon bald zu wesentlichen Erfolgen führen 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. Weiterhin werden ab Mitte 2008 wieder gemeinsame Modellläufe zur Simulation von Szenarien durchgeführt werden können, nun mit allen DANUBIA-Modellen, wenn auch in der DANUBIALight-Variante. Hiervon sind auswertbare Szenarienergebnisse zu erwarten, die v.a. in der Stakeholderdiskussion wesentlich sind und in Veröffentlichungen eingehen können.

4. 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 Donaeinzugsgebiet
- 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. BD 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 dem im Folgenden genannten Wissenschaftler besetzt. Aufgrund von internen Projektverschiebungen erfolgte dies erst zum 1.10.2007.

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

1.2.2 Wissenschaftliche Hilfskräfte

Entfällt

1.3 Anschaffungen

Entfällt

1.4 Veranstaltungen/Aktivitäten

Die beiden Mitglieder der Gruppe Wasserwirtschaft/LfU haben im Rahmen von GLOWA-Danube an folgenden Projekttreffen und Veranstaltungen teilgenommen:

- 22.-24.09.2007 GLOWA-Danube-Klausurtagung Herrsching
- 21.-22.-11.2007 Teilnahme an Fachtagung „Folgen des Klimawandels für die Wasserwirtschaft“; 20. Mülheimer Wassertechnisches Seminar
- 13.-14.12.2007 GLOWA-Danube Meeting „Regionale Klimamodelle REMO, MM5, Klimagenerator“ in Hamburg
- 18.12.2008 Projektvorstellung bei Abteilungsleiterbesprechung Augsburg (Vortrag)
- 01.02.2008 *Stakeholdermeeting* mit der Leitung der Bayerischen Wasserwirtschaft im StMUGV (Bayr. Umweltministerium)
- 14.02.2008 Internes Klimaprojekt-Treffen (KLIP) des LfU mit Projektvorstellung (Vortrag, Poster)
- 22.02.2008 Klimakongress des StMUGV/StMF bei der IHK München (Poster)
- 27.02.2008 Wasserforum International, Hof; Posterpräsentation, Infostand
- 06.03.2008 Organisation und Durchführung einer internen Informationsveranstaltung im LfU Hof; Vorträge, Arbeitsgruppenleitung
- 11.03.2008 Arbeitsgruppensitzung *Stakeholder*, München

2. Ergebnisse

2.2 Formulierte Ziele der Zweiten Förderphase

Siehe 1.1

2.2 Stand der Koordinationsarbeit und Kooperation im LfU

In Anlehnung an den Statusbericht 4-2007 soll sich die Projektarbeit im LfU nun in 4 Etappen vollziehen:

Projektvorstellung in der Ebene Abteilungsleiter, Stabsstellen, Amtsleitung

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

Der Punkt I. wurde mit einem Übersichtsvortrag in der Abteilungsleiterbesprechung am 18.12.2007 abgehandelt. In einer nachgeschalteten Umfrage wurden die Abteilungsleiter gebeten, mit einer Vorlage entsprechende geeignete Fachreferate zu bestimmen oder zu bestätigen und diese entsprechend zu informieren.

Zum Punkt II. fand am 06.03.2008 eine Informationsveranstaltung mit zielgerichteter Gruppenarbeit statt. Anwesend waren 38 Personen aus 14 Referaten des LfU sowie ein Vertreter des StMUGV. In Vorträgen von Prof. Mauser, Dr. Barthel, Fr. Dr. Büttner und Dr. Morscheid wurden die Anwesenden über die wichtigsten Bausteine des Projektes, die *Stakeholderarbeit* und Aufgabe des LfU im Projekt informiert. Die anschließende Gruppenarbeit bearbeitete folgende Fragen:

1. Anwendungsmöglichkeiten:
Welche Anwendungsmöglichkeiten/Anknüpfungspunkte/Synergien ergeben sich für das jeweilige Referat, welche LfU-relevanten Fragestellungen könnten damit angegangen werden?
2. Fachliche Bewertung:
Können Sie zu einer fachlichen Bewertung einzelner Teile des Modellverbunds DANUBIA beitragen und was benötigen Sie, um eine fundierte Aussage treffen zu können?
3. Szenarienformulierung:
Kann das Referat sich bei der Formulierung von Szenarien einbringen, gibt es bereits Vorstellungen/Anregungen?
4. Weitere Zusammenarbeit / Informationsbedarf:
Bedarf und Bereitschaft zu weiterer Arbeit im kleinen Kreis;
Welche Informationen / weitere Schritte werden hierfür noch benötigt?

Die Ergebnisse bilden die Grundlage für die weitere zielgerichtete Einbindung des LfU. Außerdem wurde der Datenaustausch weiter intensiviert.

Für den Punkt III: wurden als Ergebnis der Gruppenarbeit bisher folgende Facharbeitsgruppen ermittelt:

1. Abfluss/Hochwasser/Niedrigwasser
2. Gewässergüte/Wassertemperatur
3. Speichermodellierung/-steuerung/-wirtschaft; Überleitungen...
4. Grundwasserneubildung
5. Flächennutzung

Diese setzen sich in der Folgezeit mit den entsprechenden GLOWA-Bearbeitern zusammen, mit dem Ziel einer detaillierten Information und der Abstimmung weiterer Arbeitsschritte.

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 eine Einbeziehung in die allgemeine Öffentlichkeits- und Stakeholderarbeit des Projektes als sinnvoll erachtet. Daraus ergaben sich im Einzelnen folgende Aktivitäten:

Mitarbeit in der AG *Stakeholder*

Review und Durchsicht aller neuen Atlas-Beiträge

Initiierung, Inhaltsvorschlag/Aufbau und Review der Modelldatenblätter

Zukünftig ist eine Beteiligung bei den meisten *Stakeholder*-Veranstaltungen angestrebt. Im weiteren Projektverlauf ist eine enge Verzahnung mit dem StMUGV erwünscht, diese ist bereits in den vergangenen Aktivitäten auf den Weg gebracht.

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 Szenarienrechnungen 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.

3. Ausblick: Geplante Aktivitäten des nächsten Förderjahres

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

- Intensive Beteiligung an der weiteren *Stakeholder*arbeit des Projektes zusammen mit der Fa. IFOK
- Initiierung und Arbeit mit den fachbezogenen Arbeitsgruppen im LfU, ggf. Einbeziehung weiterer Stellen der Wasserwirtschaft
- Förderung des weiteren Datenaustausches
- Konkretisierung und Durchführung des Modell- und Ergebnisvergleiches (GLOWA/KLIWA) für einzelne Flussgebiete, zunächst wohl Naab und Regen.

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
Berichterstatte:	M. Weber, M. Kuhn

1. Organisation

1.1 Kurzbeschreibung der Arbeiten im Teilprojekt

Der Schwerpunkt der Aktivitäten der Arbeitsgruppe Glaziologie bestand im Berichtszeitraum 2007/08 vordergründig in der Implementierung und Validierung des in Phase II entwickelten Moduls zur expliziten subskaligen Modellierung aller Gletscher im hochalpinen Bereich des Modellgebietes von GLOWA-DANUBE. Dazu wurde der eigenständige Java-Code nach FORTRAN übertragen und in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Hydrologie und Fernerkundung der LMU München (M. Prasch und U. Strasser) zunächst in der Modellumgebung ESCIMO getestet und anschließend in Danubia-Light implementiert. Auf der Basis des Gletscherinventars der Schweiz 2000 wurden in Kombination mit 90m-SRTM-Höhenmodellen die noch fehlenden subskaligen Initialisierungsdaten für die Gletscherproxel des in der Schweiz gelegenen Teils des Einzugsgebietes ermittelt. Nach einer Anpassung der Formatierung wurden zum Ende des Berichtszeitraums 1420 Datensätze zur Initialisierung des Gletschermodells mit der subskaligen Flächen-Höhen-Eisdickenverteilung für alle 512 zusammenhängenden Gletscherflächen des gesamten Einzugsgebietes auf dem Stand 2000 bereitgestellt. Sie bilden gleichzeitig die gegenwärtig genaueste Erhebung der noch im Untersuchungsgebiet vorhandenen Eisressourcen. Diese Information konnte für den GLOWA-Danube-Atlas in Kartenform aufbereitet werden. Das Gletschermodell selbst wurde ohne Kalibrierung in Teilregionen Untersuchungen zur Validierung unterzogen und steht nun für weitere Simulationsläufe auf der Fläche bereit.

1.2 Personal

1.2.1 Wissenschaftler

- 1.5.2007 bis 30.4.2008: Dr. Markus Weber E13UE / 4+

1.2.2 Wissenschaftliche Hilfskräfte

- Marie Pierre Cribellier Praktikantin Juli/August 2007
- Michael WarscherW erkstudent Oktober 2007
- Daniela Funk Werkstudentin Februar 2008

1.2.3 Anschaffungen

keine

1.3 Veranstaltungen

1.3.1 Interne Projekttreffen

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

- 20.7.2007 GLOWA-Projekttreffen in München (M. Weber)
- 22.9. -24.9.2007 GLOWA-Klausurtagung Herrsching (M. Kuhn, M. Weber)
- 14.12.2007 GLOWA-Treffen Klimamodelle Hamburg (M. Kuhn, M. Weber)

1.3.2 Konferenzen

- 27.8.-31.8.2007 Workshop „Glaciers in Watershed and Global Hydrology“ Obergurgl, Österreich (M. Kuhn, M. Weber)
- 25.3.- 29.3.2008 “Workshop on mass balance measurements and modelling”, Skeikampen, Norwegen (M. Kuhn)
- 16.4.2008 EGU General Assembly 2008, Wien (M. Weber)

1.4 Veröffentlichungen

ESCHER-VETTER, H., KUHN, M. und WEBER, M. (2008): „Analysis of the accumulation amounts of neighbouring Oetztal glaciers based on measured and modelled mass balance data”, *Annals of Glaciology*, Vol. 50, submitted.

HAGG, W., BRAUN, L. N., KUHN, M. und NESGAARD, T.I. (2007): „Modelling of hydrological response to climate change in glacierized Central Asian catchments“ *Journal of Hydrology*, Vol. 332, S. 40-53.

HAGG, W., WEBER, M., MAYER, CH. und STRASSER, U. (2008): „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.

LAMBRECHT, A. und KUHN, M. (2007): „Glacier changes in the Austrian Alps during the last three decades, derived from the new Austrian glacier inventory”, *Annals of Glaciology*

MITTERMEIER, A. (2007): “Parameterization of snow Albedo - An empirical analysis based on records from different environments”, Diplomarbeit, Met. Inst. LMU München.

PRASCH, M., STRASSER, U., BERNHARDT, M., WEBER, M. und MAUSER, W. (2007): “Physically based modelling of snow cover dynamics in Alpine regions”, *Managing Alpine Future*, Innsbruck, October 15-17, 2007.

STRASSER, U., BERNHARDT, M., WEBER, M., LISTON, G.E. und MAUSER, W. (2007): “Is snow sublimation important in the alpine water balance?”, *The Cryosphere Discuss.*, 1, S. 303-350.

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. (2007): Abschlussbericht Phase II.

WEBER, M., PRASCH, M., STRASSER, U. und KUHN, M. (2007): “Embedded subgrid-modelling of glacier change within Danubia system”, Poster, Workshop „Glaciers in Watershed and Global Hydrology“, Obergurgl.

WEBER, M., PRASCH, M., STRASSER, U. und MAUSER, W. (2008): “Embedded subgrid-modelling of 512 glaciers in the upper Danube basin”, Präsentation, EGU G.A. 2008, Wien.

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 Modelkomponente Snow 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

Das generelle Ziel der Arbeitsgruppe Glaziologie im Berichtsjahr 2007/08 bestand in der Inbetriebnahme des im Abschlußbericht zur zweiten Phase beschriebenen physikalischen Modells zur Modellierung der Veränderungen der Gletscherflächen im Einzugsgebiet. Dazu wurde der Modellcode in enger Zusammenarbeit mit Projekten des Lehrstuhl für Geografie und geografische Fernerkundung (LMU, M. Prasch und U. Strasser) zunächst an die Erfordernisse der Layer-Architektur von DANUBIA-*Light* angepasst und implementiert. Ferner konnten die benötigten Initialisierungsdaten auch für die in der Schweiz gelegenen Gletscher komplettiert werden.

Gleichzeitig erfolgten zunächst die Prüfung der Funktionalität des Modellcode auf dem einzelnen Proxel im Rahmen der Umgebung des an der LMU entwickelten ESCIMO (STRASSER et al. 2007). Untersucht wurden Proxel im Bereich des Schneeferner an der Zugspitze einigen und Gletschern im hinteren Ötztal, für die umfangreiche Datensätze zur Validierung verfügbar sind, die durch das Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck und die Kommission für Glaziologie (KfG) der Bayerischen Akademie der Wissenschaften bereitgestellt wurden. Als meteorologische Treiberdaten wurden die durch *Atmostations* auf das Proxel interpolierten Werte der Messdaten der in GLOWA-Danube verwendeten Klimastationen für die Jahre 1974-2006 verwendet. Die Resultate der Extrapolationen wurden ferner mit den unabhängig gewonnenen langjährigen der KfG verglichen. In einer Studie wurde ferner die Ergebnisse der Bestimmung der Winterakkumulation am Vernagtferner und Hintereisferner aus Messungen untersucht und mit den Modellergebnissen verglichen (ESCHER-VETTER et al. 2008).

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 Öztaler Alpen auf 2640m kontinuierlich betriebenen Klima- und Abflussmessstation Vernagtbach (BRAUN et al. 2004) seit 1996
- Tagesmittelwerte und -Summen von Temperatur und Niederschlag 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 durch die KfG seit dem Sommer 2003
- neue Messungen der Eisdickenverteilung in den Jahren 2007 und 2008 am Vernagtferner
- digitale Geländemodelle und Eisdickendaten der Gletscher mit einer Gitterpunktsweite von 30 m, bereitgestellt durch das neue Österreichischen Gletscherinventar nach Luftaufnahmen von 1996-2002
- Aktuelle Gelände- und Eisdickendaten der Bayerischen Gletscher an der Zugspitze, Watzmann und Hochkalter (Blaueis), bereitgestellt durch das DFG-Projekt „Bayerische Gletscher“
- Gletschergrenzen aus dem Gletscherinventar der Schweiz 2000, dankenswerterweise zur Verfügung gestellt durch Dr. Frank Paul vom Geographischen Institut der Universität Zürich
- Höhendaten der SRTM-Vermessung 2000 mit einer Rasterweite von 90m für die Region der Schweiz
- Zusätzliche frei verfügbare Datenquellen aus dem Internet

2.2.2 Modellentwicklung

Die Arbeiten an den neuen Modellkomponenten konzentrierten sich primär auf Anpassungsarbeiten sowie die Transformation des JAVA-Code als Komponente in *DANUBIA-Light*. Verbessert werden konnte der empirische Ansatz zur Berücksichtigung der Eisbewegung im Gletschermodell, indem er anhand der Parameter „Geländeneigung“ (stellvertretend durch die Fläche der Höhenstufen) und Eisdicke dynamisiert werden konnte. Parallel zu den entwicklungsarbeiten am Gletschermodell erfolgten Verbesserungen inhaltlicher oder formeller Art an der Komponente Snow.

2.2.3 Detailuntersuchung zur Parametrisierung der Albedo

Die unter der Federführung der Kommission für Glaziologie (M. Weber, H. Escher-Vetter) gemeinsam mit dem Meteorologischen Institut (MIM) (Prof. R. Smith) und dem Lehrstuhl für Geografie und geografische Fernerkundung an der LMU München (U. Strasser) betreute Diplomarbeit von Alexandra Mittermeier zur Untersuchung der Parametrisierung der zeitlichen Abnahme der Schneeralbedo nach einem Neuschneefall wurde im Juli 2007 abgeschlossen.

Anhand umfangreichen Datensätzen an vier im Hauptuntersuchungsgebiet gelegenen Klimastationen (Garching bei München, Nationalpark Berchtesgaden, Vernagtbach in den Öztaler Alpen und Morteratsch im Engadin) wurde das bislang verwendete Parametrisierungsverfah-

ren nach ROHRER (1992) anhand verfügbarer Messdaten an vier Stationen getestet. Diese repräsentieren charakteristische Landoberflächen und Höhenniveaus innerhalb des Modellgebietes:

- Tiefland im Voralpenland im Einflussbereich einer Großstadt (500m N.N.)
- Hochalm in den Bayerischen Alpen (1500m N.N.)
- Vorfeld eines Gletschers in den Zentralalpen (2500m N.N.)
- Gletscheroberfläche (3000m)

Die im Rahmen dieser Untersuchung erzielten Ergebnisse sind u.a. wegen des unzureichenden Umfangs der verwendeten Stichprobe an Messdaten nicht ohne weiteres zu verallgemeinern. Es zeigt sich, dass ein Parametrisierungsansatz für den zeitlichen Verlauf der Albedo anhand einer mit der Zeit nach dem letzten Schneefall abklingenden Exponentialfunktion den Prozess prinzipiell gut beschreibt. Die empirisch bestimmten Koeffizienten der Abklingfunktion nach Rohrer konnten jedoch nicht als universell gültig bestätigt werden. Andererseits konnte die Arbeit jedoch keine praktikablen Alternativen aufzeigen, so dass das Problem der Veränderung der Albedo in Abhängigkeit von der Witterung nach wie vor Gegenstand der Forschung bleibt.

2.3 Integrative Arbeiten

Im Mittelpunkt der Integrativen Arbeiten des Teilprojektes Glaziologie standen im Berichtsjahr 2007/08 die Bereitstellung des vollständigen Initialisierungsdatensatzes für die Modellierung der Gletscherflächen in DANUBIA, die Implementierung der entsprechenden Modellkomponente und deren Tests bzw. Validierung. Die Arbeiten erfolgten in Zusammenarbeit und mit Unterstützung des Lehrstuhl für Geografie und geografische Fernerkundung der LMU München.

2.3.1 Aufbereitung der Gletscherdaten und Komplettierung des Datensatzes für den Teil des Untersuchungsgebietes in der Schweiz

Das Modellkonzept für die realitätsnahe subskalige Modellierung der Entwicklung der Gletscher im Untersuchungsgebiet im Einklang mit dem Proxelkonzept von Danubia wurde ausführlich im Abschlußbericht der Arbeitsgruppe Glaziologie zur Phase II des Vorhabens erläutert. Es erfordert zur Initialisierung die Bereitstellung der Flächen-Höhen- und Eisdickenverteilung auf sämtlichen Proxeln mit Eisbedeckung für einen klar definierten Referenzzeitraum. Während die Basisdaten für den Österreichischen Teil des Untersuchungsgebietes mit Unterstützung eines Praktikanten (Christoph Baumann, Uni Freiburg), Dr. Chr. Mayer (KfG) und Dr. Astrid Lambrecht (IMG Innsbruck) bereits in der zweiten Projektphase anhand des neuen Österreichischen Gletscherkatasters bereitgestellt werden konnten, fehlte bislang ein *subskaliges* Analogon für den Anteil der Schweiz am Untersuchungsgebiet. Zwar ist dieser verglichen zu Österreich klein, es liegen dort allerdings mit der Bernina die Regionen, welche die maximalen absoluten Höhen des Einzugsgebietes aufweisen.

Flächendeckende Gletscherdaten in vergleichbarer Auflösung zu denen des Österreichischen Katasters auf der Basis von Luftbildern sind für die Schweiz im Jahr 2000 nicht verfügbar. Allerdings wurde vom Geographischen Institut der Universität Zürich für das Jahr 2000 ein neues Gletscherinventar erstellt, welches auf satellitengestützten Fernerkundungsmethoden basiert (PAUL et al. 2003). Unter Verwendung der Gletschergrenzen des Schweizer Inventars und dem SRTM-Höhenmodell (Radar Topography Mission) der [STS-99](#)-Mission im Februar 2000 wurden Flächen-Höhenverteilungen der Gletscher mit 50 m Höhenstufen für die Proxel in DANUBIA abgeleitet. Die Rasterweite des SRTM-Modells ist mit 90m deutlich größer als der Gitterpunktabstand von 30m, der den Auswertungen für den Österreichischen Bereich zu Grunde liegt. Sie lässt eine *subskalige* Modellierung der Gletscher noch zu.

Die Abbildung 1 zeigt als Beispiel die stark vergletscherte Region im Bereich der Bernina-Gruppe. Dort befindet sich mit dem 4049 m hohen Piz Bernina der höchste Punkt der Ostalpen und auch des Donau Einzugsgebietes. Die höchste vom Modell in der vorliegenden Auflösung ausgewiesene Gletscherfläche befindet sich auf 3925m Höhe.

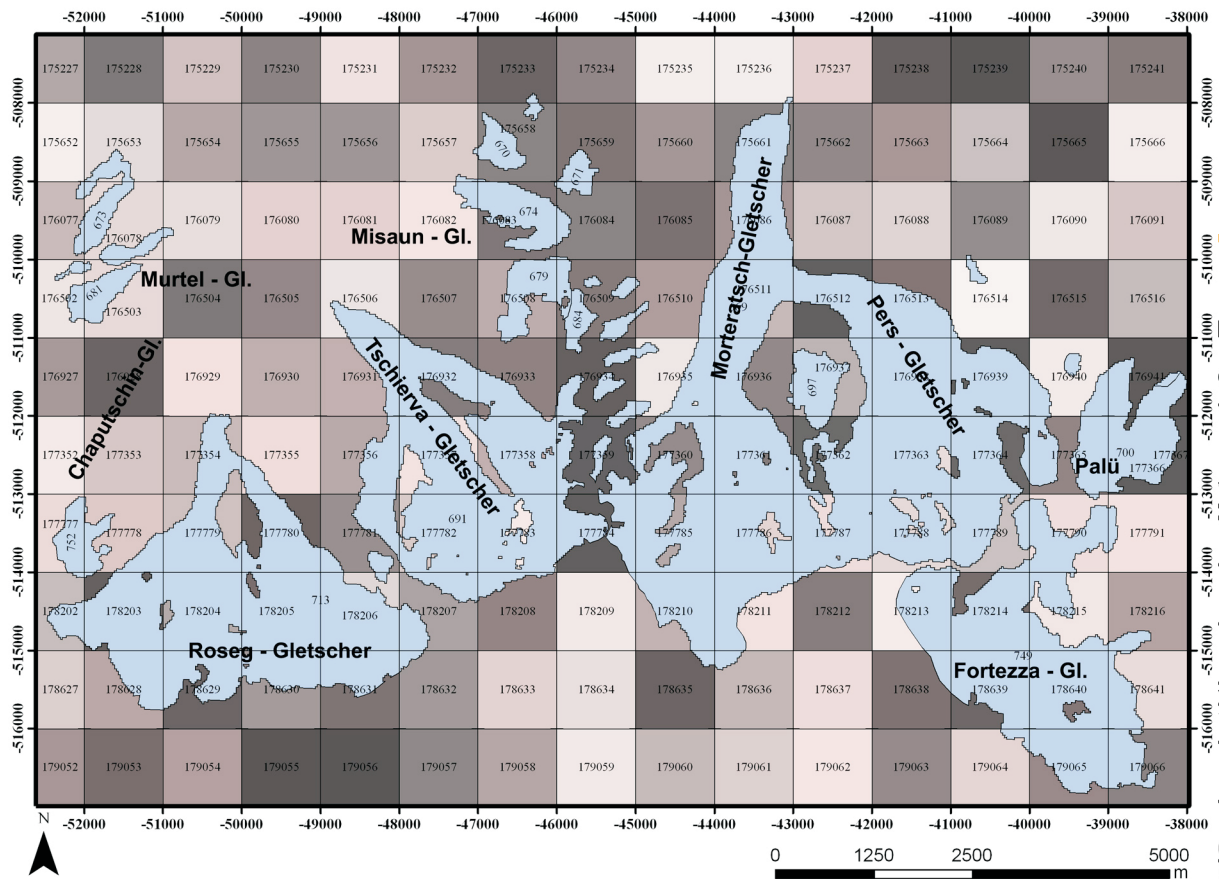


Abb. 1: Beispiel für die Verortung der Gletscherflächen auf dem 1x1 km²-Danubia-Raster in der Umgebung der Bernina

Somit entsprechen die verfügbaren Datensätze der subskaligen Flächen-Höhen-Verteilungen dem aktuellsten Stand. In der Tabelle 1 sind für die einzelnen Gebirgsgruppen im Einzugsgebiet die Anzahl der als zusammenhängend betrachteten Gletscherflächen (NG), die Gesamtfläche der Gletscher (A) in [km²] und die Anzahl der Proxel (NP), über die sie sich verteilen, aufgelistet. Im Falle der Silvretta-Gruppe sind die Gletscher auf österreichischem und Schweizer Gebiet zusammengefasst, die jeweils etwa 10 km² betragen. Die Gesamtfläche der Gletscher im Jahr 2000 umfasste 413 km², also etwa 0.5% der Gesamteinzugsgebietsfläche.

Nicht alle der in Tabelle 1 aufgeführten Eisfelder können mit einem individuellen Namen belegt werden, sie sind aber einzeln in den Gletscherinventaren ausgewiesen. Außerdem sind nur diejenigen Gletscher aufgeführt, die auf natürliche Weise (nicht über Bei- und Überleitungen von Kraftwerksanlagen) in Lech, Inn oder Salzach als Zuflüsse der Donau entwässern. Der größte Gletscher der Ostalpen, die Pasterze in der Glocknergruppe, entwässert natürlich auf italienisches Staatsgebiet, ein wechselnder Anteil des Schmelzwassers wird aber durch die Tauernkraftwerke über die Speicherseen in den Inn geleitet.

Tab. 1: Anzahl der Gletscher, Gesamtfläche und Anzahl der Proxel, über die sich die Gletscherfläche verteilt, aufgelistet für die Gebirgsgruppen im gesamten Einzugsgebietes von GLOWA-Danube für das Jahr 2000. Proxel an den formellen Einzugsgebietsgrenzen werden hier mitgezählt

Gebirgsgruppe	NG	A [km ²]	NP
Allgäuer Alpen	1	0,088	1
Ankogel	7	2,677	20
Berchtesgaden	2	0,301	3
Glockner-Gruppe	41	27,247	100
Granatspitz-Gruppe	6	3,051	15
Hochkönig	1	1,689	11
Lechtaler Alpen	8	0,569	13
Öztaler Alpen	132	151,708	418
Samnaun-Gruppe	2	0,082	6
Silvretta-Gruppe A/S	39	21,12	83
Sonnblick-Gruppe	18	7,068	36
Stubai	89	54,225	197
Schweiz (Bernina + Rest)	30	5,84	142
Venediger-Gruppe	27	34,347	98
Verwall -Gruppe	23	4,489	57
Zillertaler Alpen	83	50,802	216
Zugspitze	3	0,733	4
Total	512	413,04	1420

Das Gletschermodell benötigt als Ausgangsgröße auf jedem der 1420 Proxel für jeweils eine Höhenstufe

- die mittlere Höhe einer Teilfläche (m N.N.)
- die Fläche (km²) oder (m²)
- die mittlere Eisdicke über die Höhenstufe (m²)
- die mittlere jährliche Hebungs- oder Senkungsgeschwindigkeit durch die Eisbewegung (m/a)

ferner zur Laufzeit u.a.

- die aktuelle Schneeauflage (m w.e.)
- die aktuelle albedo
- das Alter der Schneeauflage seit dem letzten Ausapern

Auf einem Proxel können sich die Gletscherflächen bis über 1000 Höhenmeter oder bei einer Auflösung von 50m über 20 Höhenstufen erstrecken. Dies führt momentan im Rahmen des Layer-Konzepts von DANUBIA-light, bei dem jede Variable auf einer Höhenstufe ein Datenfeld über das gesamte Einzugsgebiet umfasst, zu einem erheblichen Bedarf an Platz im Arbeitsspeicher des Rechensystems. Die *subskaligen* Verteilungen wurden individuell für jeden Gletscher bestimmt. Bei etwa 20% der Proxel befinden sich aber Teilflächen mehrerer Gletscher auf dem Proxel, diese überdecken teilweise verschiedene Höhenbereiche, teilweise befinden sie sich auch auf gleicher Höhe.

Zur Erstellung der Initialisierungsdateien wurden Tools mit mehreren Optionen entwickelt, welche die Gletscher auf den Proxeln unterschiedlich behandeln:

- Ist optional genügend Speicherplatz vorhanden, können alle Teilflächen auf dem Proxel unabhängig voneinander berechnet werden. Dadurch können Gletscher auch als proxel-übergreifende Einheit betrachtet werden und alle Möglichkeiten der Auswertung bleiben offen;
- Sind die Speicherplatzressourcen dagegen limitiert, werden Flächen auf gleicher Höhe auf gleicher Höhe zusammengefasst. Das Attribut „Eisdicke“ und „Eisbewegung“ wird zu einem statistischen Mittelwert und verliert dadurch zwangsläufig an Realitätsnähe, wenn die Gletscher sehr unterschiedlichen Charakter haben, beispielsweise in unterschiedliche Himmelsrichtungen exponiert sind. Individuelle Profile der Massenbilanz lassen sich in diesem Fall nicht mehr auswerten. Für das Resultat der Schmelzwasserproduktion dagegen ist diese Vorgehensweise unerheblich, da der *subskalige* Einfluss des Geländes auf den Strahlungshaushalt nicht berücksichtigt werden kann;
- Im Extremfall kann zur Speicheroptimierung auch die frei wählbare vertikale Auflösung gröber gewählt werden.

Folglich wird die Qualität der Modellierung nicht unwesentlich durch die verfügbaren Ressourcen an Hardware bestimmt, denn insbesondere die Veränderung des Gletschers kann bei einer feineren Unterteilung realitätsnaher wiedergegeben werden. Das Problem des „Speicherplatzhungers“ in *DANUBIA-Light* wird in der Java-kodierten Version des Modells durch die Programmierung einer angepassten dynamischen Datenstruktur umgangen. Allerdings sind die Laufzeiten des Programms entsprechend höher.

2.3.2 Bestimmung des Eisvolumen der Gletscher im Einzugsgebiet

Ebenfalls im Jahresbericht 2006 der Arbeitsgruppe Glaziologie und dem Abschlussbericht der Phase II (WEBER und KUHN 2007) wurde ausführlich erläutert, dass eine realistische Modellierung der Veränderung der Gletscherfläche die möglichst genaue Kenntnis der Eisdickenverteilung der Gletscher erfordert. Es wurde ferner dargelegt, dass detaillierte Information auf der Basis aktueller Eistiefenmessungen nur für eine beschränkte Stichprobe von knapp 10% der Gletscher verfügbar sind (FISCHER und SPAN 2005), für die meisten jedoch Schätzannahmen auf der Basis von Formeln nach BAHN (1997), PATERSON (1969), OERLEMANS (2001) und Analogieüberlegungen herangezogen werden müssen.

Für einige wenige Gletscher wie beispielsweise die bayerischen Gletscher und einigen Gletschern im Ötztal wurden sogar digitale Modelle des Eiskörpers erstellt (HOYER 2008), aus denen die Eisdickenverteilung passend zur Flächen-Höhenverteilung berechnet werden können. So ein Eisdickenmodell wurde im Berichtszeitraum auch für den Vernagtferner erstellt. In diesem Fall sind die Voraussetzungen optimal, denn die Ergebnisse können zusammen mit den jeweiligen Massenbilanzbestimmungen zurückgerechnet auf das Referenzjahr 2000 direkt übernommen werden.

Für alle 512 Gletscher wurde eine plausible Eisdickenverteilung angenommen für den Initialisierungsdatensatz angenommen. Grundlagen bildeten dabei wesentlich die Veröffentlichungen von Messergebnissen nach SPAN et. al. (2005). Das Resultat ist zudem eine Bestandsaufnahme der tatsächlich im Jahr 2000 im Einzugsgebiet vorhandenen Eisressourcen mit einer Fehlermarge, die deutlich unter 20% liegen dürfte. Ein erstes Beispiel für diese Analyse zeigt die Abbildung 2. Hier sind allerdings die genauen Analysen im Bereich der Schweiz noch nicht berücksichtigt. Die entgeltliche genaue Analyse ist dagegen als Karte in der Ergänzung des GLOWA-Atlas enthalten. Die Darstellung erlaubt einen direkten Vergleich der Reserven mit den mittleren Niederschlagspenden.

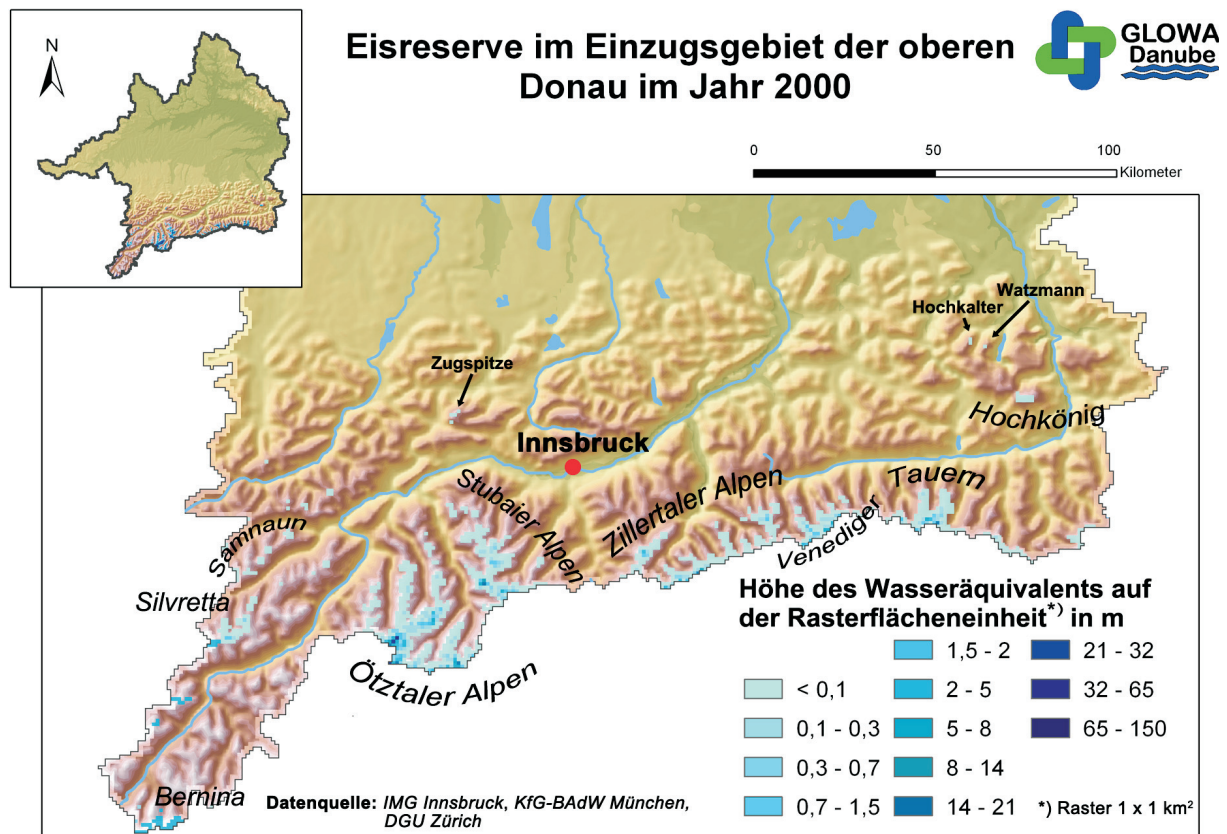


Abb. 2: Kartierung der Eisreserven im Einzugsgebiet der oberen Donau auf der Basis des DANUBIA-Rasters

2.3.3 Implementation von SURGES zur Simulation der Veränderung der Gletscherflächen innerhalb von DANUBIA-Light

Das im Jahresbericht 2006 der Arbeitsgruppe Glaziologie und im Abschlußbericht zur Phase II vorgestellte subskalige Gletschermodell konnte im Berichtszeitraum in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Hydrologie und Fernerkundung in die Programmiersprache FORTRAN übertragen und in DANUBIA-Light implementiert werden. Dem Modul wurde das Akronym SURGES zugewiesen, ein Begriff, der in der Glaziologie Phasen mit beschleunigter Eisbewegung umschreibt. Hier bedeutet es entsprechend seines Anwendungsgebietes *Subscale regional glacier evolution simulator*.

2.3.3.1 Die Berücksichtigung der Eisbewegung

Die Umverteilung des Eises aus dem Nährgebiet in das Zehrgebiet eines Gletschers beeinflusst in hohem Maße die Veränderung der Gestalt und Fläche eines Gletschers. Sie bestimmt die Rückschmelzensrate am stärksten im Zungenbereich und somit auch die resultierende Flächenabnahme. Dafür dass ein Vorstoß bzw. eine Flächenzunahme eines Gletschers erfolgen kann ist sie sogar eine notwendige Voraussetzung.

Die physikalischen Vorgänge des Eisfließens sind sehr komplex und können nicht explizit in einem regionalen Modell wie SURGES berechnet werden. Dieses verwendet dagegen einen relativ einfachen empirischen Ansatz, der eher den Charakter einer Korrektur für die berechnete kumulierte Akkumulation bzw. Ablation hat, die theoretisch auch eine Anpassung an die Beobachtung erlauben würde, aber auf anderen physikalischen Hintergründen beruht.

Die Eisdicke bzw. die Höhe der Gletscherfläche verändert sich lokal zunächst einmal entsprechend den stattfindenden Prozessen der Akkumulation bzw. Ablation. Diese werden

auch nach der Glaziologischen Methode (z.B. PATERSON 1969) gemessen oder aber in der gleichen Weise auch auf jeder Flächen-Höhenstufe durch das Modell berechnet. Über mehrere Jahre summieren sich die resultierenden jährlichen Änderungen je nach Höhenlage zu ansehnlichen Beträgen. Abbildung 3 verdeutlicht dies am Beispiel des Vernagtferners. Ein Punkt, der 1965 auf einer Höhe von 2800m lag, müsste man im Jahre 2003 vertikal ca. 110m tiefer finden. Dagegen würde ein Punkt auf 3125m theoretisch heute immer noch etwa auf dieser Höhe liegen. Höher gelegene Referenzpunkte würden sich infolge der in dieser Höhe allgemein positiven Massenbilanz mit sich der Zeit sogar einige Meter höher befinden.

Theoretische Höhenänderung der Oberfläche am Vernagtferner auf der Basis der lokalen kumulativen Massenbilanz

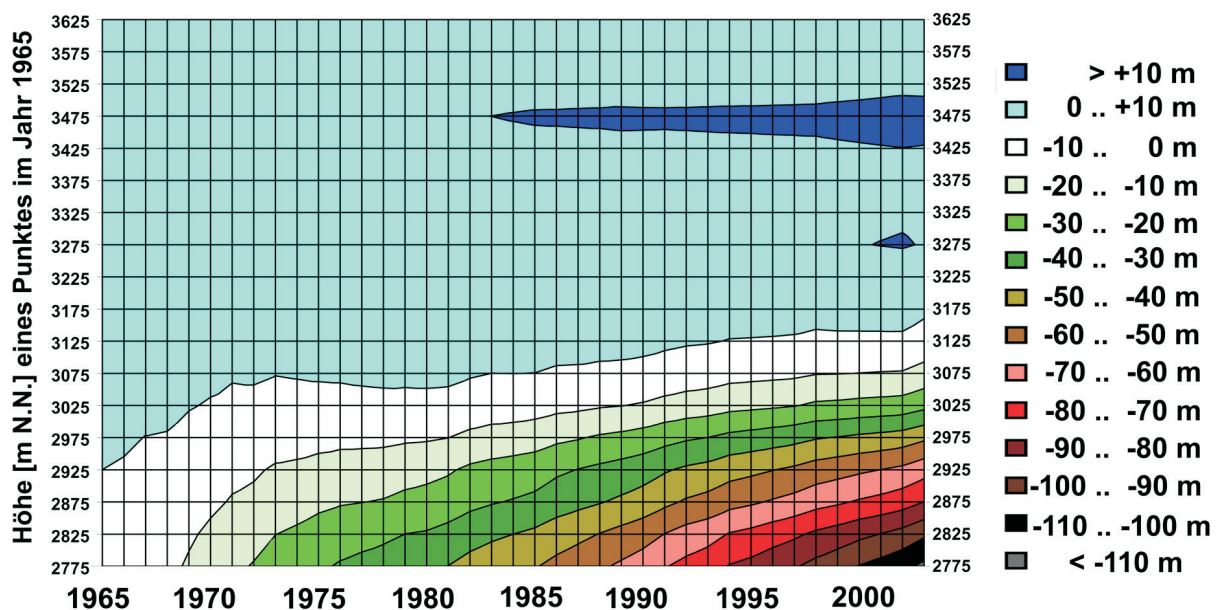


Abb. 3: Theoretische Veränderung der absoluten Höhe eines Punktes an der Oberfläche des Vernagtferners am 1. Oktober 1965 mit der Zeit auf Grund der Akkumulations- bzw. Ablationsprozesse an der Oberfläche. Die Darstellung basiert auf Massenbilanzbestimmungen nach der direkten glaziologischen Methode

Ferner verdeutlicht die Abbildung, dass die Veränderungen im Bereich mit Massenzuwächsen klein sind gegenüber denen im Ablationsgebiet, in dem die Eisschmelze dominiert. Die maximalen Akkumulationsraten befinden sich nicht auf der Höhe der Gipfel, sondern knapp darunter, eine Folge der mechanischen Umlagerungen von Schnee von Kämmen durch Lawinen und Winddrift. Der Vergleich dieser theoretischen Höhenänderungen mit den tatsächlichen, wie man sie aus der Differenz der Höhenmodelle der Oberfläche nach photogrammetrischen Messungen im Abstand von mehreren Jahren (geodätische Methode) erhält, zeigen in tieferen Lagen deutlich geringere Absenkungen und keinerlei Zuwächse, sondern ebenfalls Abnahmen im Akkumulationsgebiet. Diese gravierenden Unterschiede sind keinesfalls nur das Resultat potentieller Fehler bei der Berechnung der lokalen Bilanzen aus den Messpunkten, sondern hauptsächlich durch die Umlagerung von Eismassen aus dem Akkumulationsgebiet in das Ablationsgebiet bedingt.

Die Auswirkung der Eisbewegung kann im Modell stark vereinfacht als Hebung (Zufluss an Eismassen) und Absenkung (Abfluss von Eis) der Oberfläche berücksichtigt werden, wobei durch die Umverteilung von oben nach unten die Gesamtmasse des Eises nicht verändert wird. In SURGES ist daher das bereits in Abschnitt 2.3.1 aufgeführte weitere Parameterfeld vorgesehen, in dem als Initialisierung Höhenprofile dieser mittleren Geschwindigkeiten definiert werden können. Voraussetzung für die Anwendbarkeit des Algorithmus ist, dass nicht mehrere Gletscher in einem Proxel gleichzeitig berechnet werden. Dies ist in der Regel nur bei den größeren Gletschern oder großzügigem Speicherplatzangebot gewährleistet.

Die Angabe bzw. Bestimmung des Höhenprofils der Hebungs-/Senkungsraten für einen bestimmten Gletscher ist nicht trivial, da es sich dabei um eine sehr individuelle Eigenschaft handelt. Die Umverteilung durch die Eisbewegung ist ferner ein dynamischer Prozess, der nur sehr eingeschränkt als stationär betrachtet werden kann. Für Gletscher, die für die Massenbilanzbestimmungen sowohl nach der glaziologischen als auch der geodätischen Methode vorliegen, können die Parameterprofile durch den unmittelbaren Vergleich abgeschätzt werden. Für den Vernagtferner ergibt sich beispielsweise im untersten Bereich der westlichen Zunge (Schwarzwandzunge) eine Differenz zwischen der akkumulierten Summe der gemessenen spezifischen Massenbilanz auf dieser Höhenstufe zwischen 1969 und 2006 und der tatsächlichen Höhenlage in 2006 von 54m, was somit einer mittleren maximalen Hebungsgeschwindigkeit von +1.5m pro Jahr entspricht. Im Akkumulationsgebiet beträgt die entsprechende mittlere jährliche Absenkung durch den Eisabfluss je nach Lage zwischen 0.3m und 0.6m.

Diese Mittelwerte über eine längere Periode stellen nur eine ungefähre Annäherung an die tatsächlichen Verhältnisse dar, da die hauptsächlichen Umlagerungen in den Jahren vor 1990 erfolgten. Innerhalb der letzten Dekade ist die Eisbewegung am Vernagtferner nahezu zum Stillstand gekommen, was sich auch in dem Ausschmelzen großer Eishöhlen äußert (Abb. 4), die nicht mehr zerstört werden.



Abb. 4: Große Eishöhle am Rand der westlichen Zunge des Vernagtferners am 31. August 2007. Dieser Hohlraum wurde im Sommer 2000 erstmals entdeckt und existiert seit dieser Zeit. (Foto: M. Weber)

Solche Beobachtungen am Vernagtferner und auch weiteren Gletschern lässt den Schluss zu, dass der Einfluss der Eisbewegung im Rückzugsstadium weiter abnehmen könnte und daher in den Szenariorechnungen nur für ausgewählte Gletscher in der Modellierung berücksichtigt werden müsste. Insbesondere Erwärmungsszenarien können somit mit etwas geringerem Aufwand und Unsicherheit berechnet werden. Szenarien jedoch, die infolge längerer kühler Phasen einen Gletschervorstoß provozieren, benötigen die Aktivierung des Algorithmus unbedingt.

Weiterhin wurde die Option einer teilweise Dynamisierung des Umverteilungsparameters über die Geländeneigung (repräsentiert durch die Größe der Höhenstufenflächen und der Eisdicke getestet für Läufe, die über mehrere Dekaden reichen. Sie folgt der Annahme, dass mit zunehmender Steilheit des Geländes und mit zunehmender Eisdicke mehr umverteilt werden. Gleichzeitig wird aber die maximale Eisdicke nach einer Schätzformel nach PATERSON (1969) beschränkt. Unterschreitet die Eisdicke einen Schwellenwert von 10m, wird der Parameter 0 gesetzt, es findet kein Eistransport mehr statt. Erste Tests eines solchen Algorithmus für einzelne Proxel lieferten plausible Ergebnisse, die aber noch nicht überprüft werden konnten.

Wie eingangs erwähnt, ist der Algorithmus in dieser Form in erster Linie eine potentielle Korrektur, die nur im begründeten Fall und nach Ausschluss anderer Fehlerquellen zur Erreichung eines realistischeren Ergebnisses eingesetzt werden sollte.

2.3.4 Testläufe und Validierung

Nach der Implementierung des Modells wurde eine Reihe von Testläufen zur Prüfung des Programmcode auf Fehler und Unstimmigkeiten durchgeführt. Eine umfassende Validierung des Gletschermodells ist mangels Verfügbarkeit flächendeckenden Datenmaterials unmöglich. Ein flächendeckender *subskalige* Initialisierungsdatensatz kann nur für das Jahr 2000 erstellt werden. Rechnungen in die Vergangenheit werden somit nur exemplarisch für wenige Gletscher durchgeführt, für die Daten in der Vergangenheit verfügbar sind.

Zur Validierung herangezogen werden können die Ergebnisse zur Änderung der Gesamtfläche über einen Zeitraum von ca. 10 Jahren, die Änderung der Eismasse und die Höhenprofile der Massenbilanz. Nicht validiert werden kann dagegen die Flächen-Höhen-Verteilung, da diese durch den Initialisierungsdatensatz für die gesamte Simulation vorgegeben wird.

Als klimatologische Randdaten wurde auf die Interpolation der operationellen Stationsdaten für den Zeitraum 1975 bis 2006 durch den Algorithmus von *Atmostations* zurückgegriffen, wobei besonders im ersten beiden Dekaden nur sehr wenige Bergstationen die inneralpinen Verhältnisse repräsentieren.

Wegen der ausgesprochen guten Verfügbarkeit von Messdaten konzentrierte man sich bei den Validierungsläufen zunächst auf drei Gletscher im hinteren Ötztal: den Vernagtferner, den Hintereisferner und den Kesselwandferner. Diese Region liegt jedoch am äußersten Rand des Modellgebiets und damit in einem Bereich, in dem die Regionalisierung der Daten besonders problematisch ist. Die Qualität der Treiberdaten bestimmt aber bei einem unkalibrierten Modell wesentlich die Modellergebnisse. Deshalb wurden diese zunächst einer Prüfung unterzogen.

Während das Modell im Bereich der Zugspitze die Beobachtungen analog dem im Schlussbericht zur Phase II dokumentierten Testlauf (WEBER und KUHN 2007) wiedergibt, liegen die Schmelzraten für die Ötztaler Gletscherproxel zunächst etwas über der Beobachtung. Auch fällt der zwischen 1975 und 1985 erwartete Massenzuwachs deutlich schwächer aus als im Bereich der Zugspitze. Eine potentielle Ursache dafür ist zunächst in der im Mittel um 4-5 K zu hohen bodennahen Lufttemperatur auf dem Niveau der Gletscherflächen begründet. Eine generelle Reduzierung dieser Temperatur um -3.5K vor der subskaligen Regionalisierung verbessert das Resultat deutlich. Sie löst aber das Problem nicht vollständig, wie der Abbildung 5 entnommen werden kann. Hier ist der mittlere Jahresgang der Abweichung zwischen der extern vorgegebenen Temperatur auf dem Proxel (nach der globalen Korrektur) und dem gemessenen Sollwert dargestellt. Zunächst ergeben sich hauptsächlich wegen der Korrektur deutlich niedrigere Wintertemperaturen, die aber in der Modellierung der Akkumulation nicht zu Fehlern führen müssen. Besonders in den für die Schmelze besonders sensiblen Monaten Juli und August, aber auch über den ganzen Sommer, bleibt das mittlere Temperaturniveau immer noch zu hoch. Dies kann eine Folge der noch fehlenden Kopplung

zwischen der Landoberfläche und der Atmosphäre sein, an der im Rahmen anderer Projekte gearbeitet wird. In den hauptsächlich an Talstationen gewonnenen Messdaten fehlen besonders in den Übergangszeiten explizite Informationen über die stabile Schichtung über den noch mit Schnee- und Eis bedeckten hoch gelegenen Gebieten. Teilt man die Analyse Abschnitte von einer Dekade, dann zeigt sich diese Abweichung besonders ausgeprägt in der Zeit vor 1995. Danach fließen zunehmend Messungen an hochgelegener Bergstationen (z.B. Pitztaler Gletscher) in den Datensatz ein, wodurch sich die Repräsentativität der extrapolierten Daten deutlich verbessert. Es ist daher geplant, den Basisdatensatz um weitere verfügbare (Berg)-Stationen südlich des Alpenhauptkamms ergänzen.

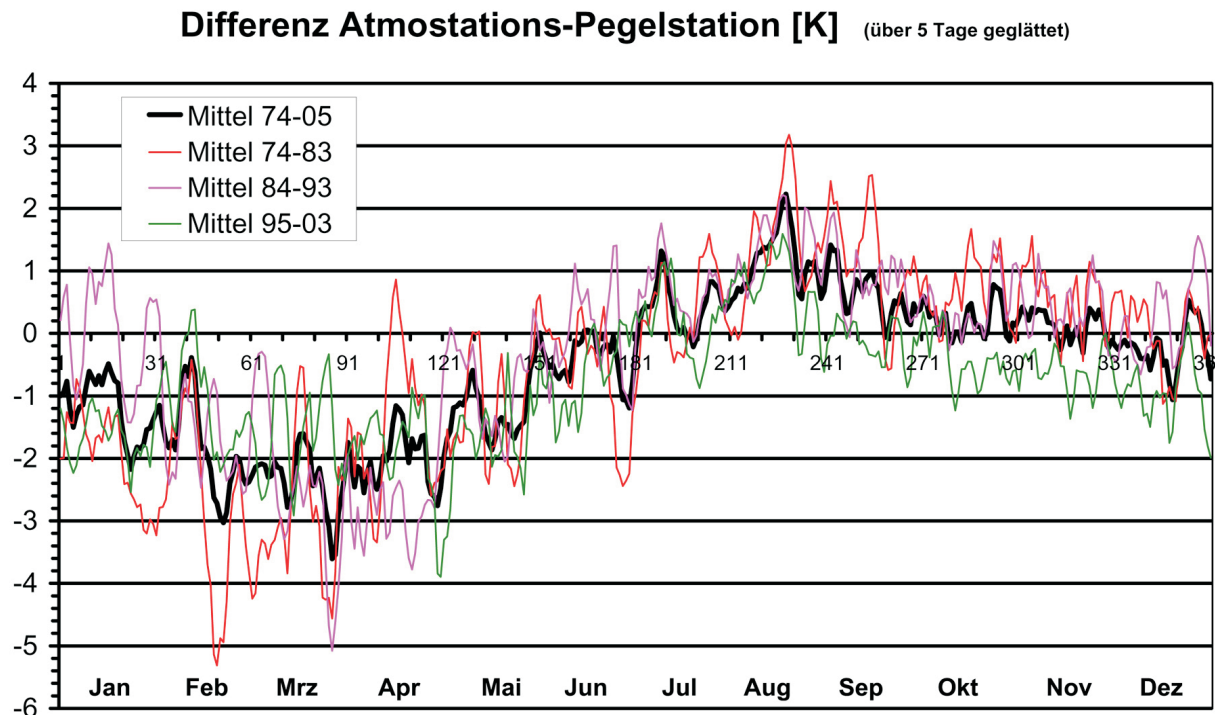


Abb. 5: Jahresgang der mittleren Abweichung der bodennahen Tagesmitteltemperatur an der Klimastation Vernagtbach (2640m) und der aus den Stationsdaten für diesen Ort interpolierten Lufttemperatur

Der Absolutwert der Temperatur spielt zwar für die Berechnung der insgesamt verfügbaren Schmelzenergie nur eine untergeordnete Rolle, sie kontrolliert aber im Modell die Zeiträume, in der Schmelze berechnet wird. Sind diese länger als in der Realität, wird auch zu viel geschmolzen. Tatsächlich bestimmt wird die Schmelzenergie primär von der absorbierten Energie aus der Strahlungsbilanz.

Die zweite wichtige Basisgröße für die Schnee- und Gletschermodellierung ist der Niederschlagseintrag und die daraus resultierende maximale Schneeakkumulation als wesentliche Komponente der Massenbilanz. Die Niederschlagsmenge wird durch *Atmostations* proxelbezogen aus den Stationsdaten ermittelt. Das Interpolationsverfahren bzw. Extrapolationsverfahren lässt keine wesentliche Variation des örtlichen Niederschlags im Bereich der untersuchten Proxel zu, weshalb sich der Gebietsniederschlag benachbarter Gletscher in der gleichen Höhenlage kaum voneinander unterscheidet. In der Akkumulationsperiode vom 1. Oktober bis zum 30. April fällt auf dem Niveau der Gletscher der Niederschlag nahezu ausschließlich in Form von Schnee, so dass die in diesem Zeitraum akkumulierte Schneemenge anhand der auf den Gletschern aus Messungen abgeleiteten Winterbilanz überprüft werden kann.

In einer speziellen Untersuchung (ESCHER-VETTER et al. 2008) wurden Methoden und Ergebnisse zur Bestimmung der Winterbilanz auf den drei erwähnten benachbarten Gletschern verglichen. In diesen Vergleich wurden auch die Modellergebnisse mit SURGES

einbezogen, die speziell zur Berechnung einer vergleichbarer Winterbilanzwerte ausgewertet wurden. Sowohl die integralen über die Gesamtgletscher erhobenen Bilanzwerte als auch deren Profile über die Höhenstufen streuen für die Beobachtungsergebnisse beträchtlich. Ein Beispiel einer derartigen Analyse mit Resultaten von Schneemessungen zum 1. Mai zusammen mit einem modellierten Höhenprofil der Winterbilanz und der Vergleich zeigt die Abbildung 6. Die potentiellen Ursachen für die breite Streuung der Messpunkte sind vielfältiger Natur. Sie reichen von Ungenauigkeiten bei der Bestimmung des Sommerhorizonts über Fehler in der Dichtebestimmung bis hin zu Effekten durch Umverteilung des Schnees durch Wind und Lawinen. Weniger wahrscheinlich ist dagegen die Annahme großer Variationen der Niederschlagsmenge auf einer kleinräumigen Skala.

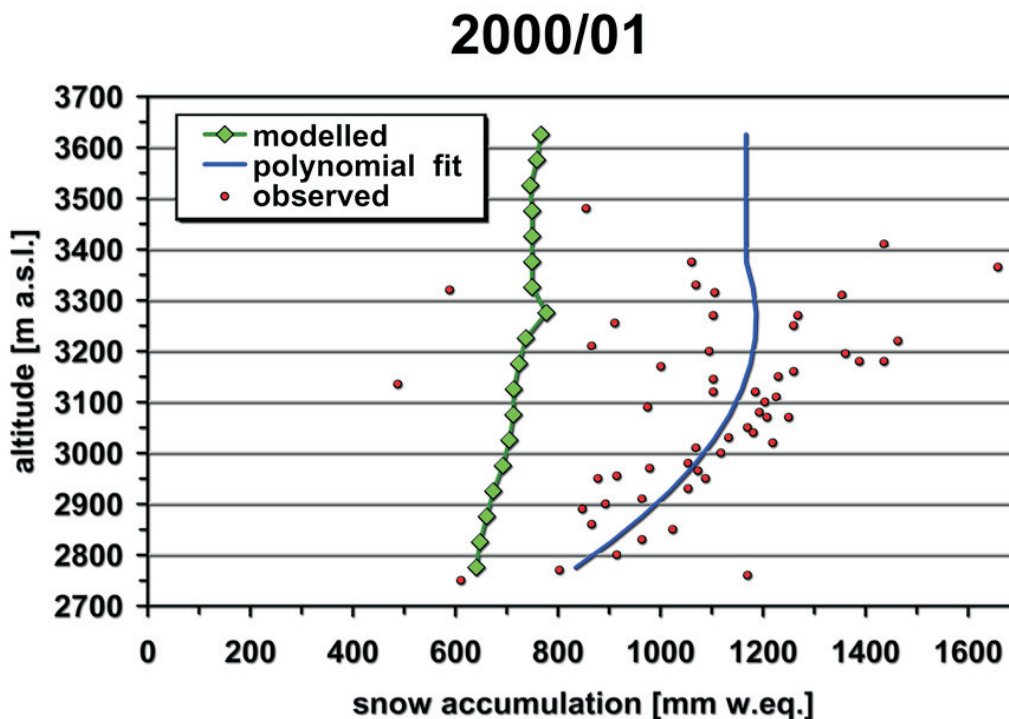


Abb. 6: Beispiel für den Vergleich des Höhenprofils der Winterbilanz am Vernagtferner, ermittelt mit SURGES und regressiv aus lokalen Messungen der Winterschneeeauflage (Punkte) für den Zeitraum 1. Oktober 2000 bis 30. April 2001 (aus ESCHER-VETTER et al. 2008)

In der Modellierung wird bislang nur die Änderung der meteorologischen Parameter mit der Höhen explizit berücksichtigt, aus Massenerhaltungsgründen wird keine zusätzliche Höhenkorrektur des Niederschlags angebracht, wie sie in konzeptionellen Niederschlags-Abfluss-Modellen üblich ist. Deshalb ist die Höhenabhängigkeit des berechneten Profils der Schneeakkumulation in Abbildung 6 erwartungsgemäß geringer als nach der Messung.

Die in Abbildung 6 erkennbare Differenz von etwa 500mm w.eq. zwischen der modellierten und der beobachteten mittleren Schneeakkumulation erscheint über den ganzen Simulationszeitraum konstant, wie der Abbildung 7 entnommen werden kann. Erhöht man die Modellresultate um den konstanten Wert von 495mm, dann stehen Beobachtung und Modellierung gut im Einklang. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung für eine korrekte Modellierung des Gletscherverhaltens. Der Betrag ist so groß, dass er nicht allein durch die fehlende Berücksichtigung von zusätzlichem Schnee aus den unvergletscherten Bereichen erklärbar wäre. Vergleicht man die Fläche des potentiellen Einzugsgebiets mit dem der Gletscher, dann bleibt nur ein Spielraum für einen Fehlbetrag unter 10%, also maximal 100mm w.eq.

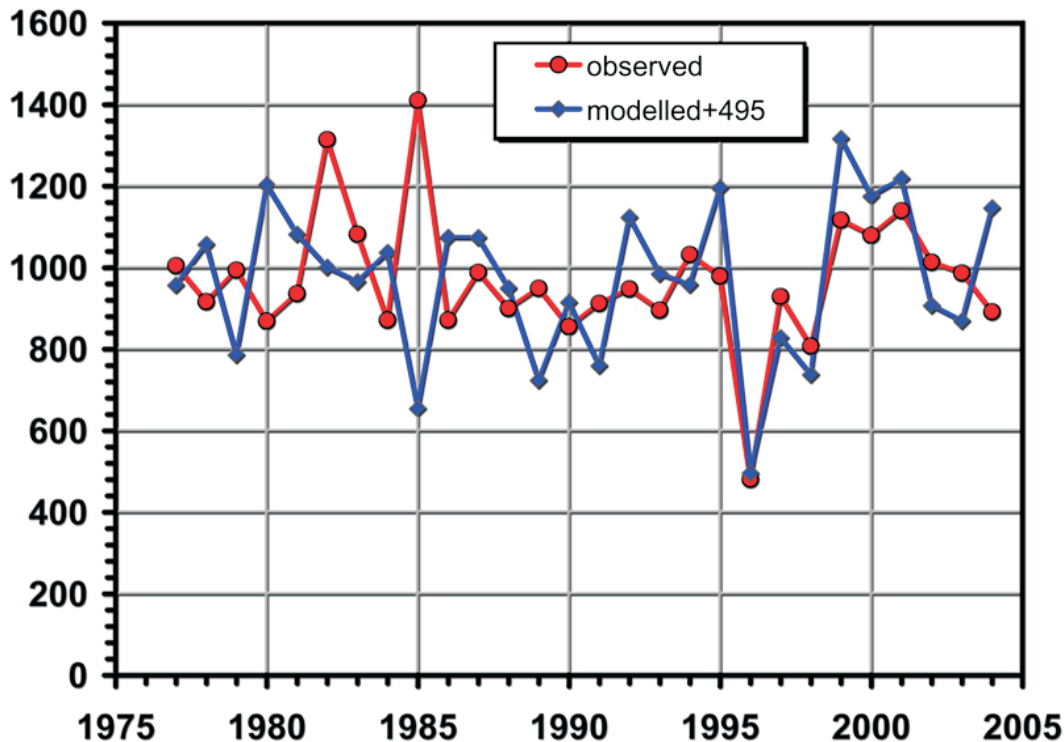


Abb. 7: Zeitreihe der Bilanzwerte der Winterakkumulation am Vernagtferner aus Beobachtungen im Vergleich zu den Ergebnissen einer Modellierung mit SURGES. Letztere wurden in der Darstellung konstant um die mittlere Differenz von 495mm w.eq. erhöht

Die Beobachtung, dass die gemessenen Niederschlagsmengen nicht ausreichen, um die beobachteten Akkumulationsraten zu erklären ist nicht neu. Insofern stimmen auch die durch *Atmostations* bestimmten Niederschlagsmengen durchaus zufrieden stellend mit denen überein, die an der Klimastation Vernagtbach gemessen werden. Bislang konnte außer durch die Bilanzbetrachtungen der Akkumulation die Notwendigkeit eines lokalen Niederschlagsaufschlag über den Gletscherflächen auf der Basis von Punktmessungen nachgewiesen werden.

Im Falle der Modellierung der Ötztaler Gletscher wäre eine Einheitskorrektur möglich, sie würde aber dem Konzept von DANUBIA widersprechen. Das Modell sollte nicht kalibriert werden, sondern „richtig“ auf die Eingabegrößen reagieren. Denn diese werden ja in den Szenarienrechnungen aus unterschiedlichen Quellen stammen und deshalb nicht unbedingt ähnliche Schwächen aufweisen. Insofern können durch die bislang durchgeführten Testrechnungen dem Konzept von SURGES noch keine systematischen Fehler nachgewiesen werden. Folglich kann es für die Modellierung der Entwicklung aller 512 Gletscher im Einzugsgebiet eingesetzt werden.

3. Fazit und Ausblick

Zum Ende des Berichtszeitraums hat das Gletschermodell SURGES die Reife für die flächendeckende Berechnung der Entwicklung der Gletscher im Einzugsgebiet der Donau ab dem Stand 2000 erreicht. Der 512 Gletscher in 17 Gebirgsgruppen enthaltende und auf 1420 Proxel verteilte Initialisierungsdatensatz liefert gleichzeitig eine sehr aktuelle und genaue Abschätzung der Eisreserven im Einzugsgebiet.

Mit dem erreichten Entwicklungsstand des Modells kann die weitere Entwicklung der Gletscher in ersten Szenarien untersucht werden. So erhält man unmittelbar Informationen über die Größenordnung der Eisverluste und der dadurch bedingten Gletscherspende. Die stufenweise Inbetriebnahme weiterer Funktionen, wie beispielsweise die Berücksichtigung

des Einflusses der Eisbewegung, erhöht die Güte der Simulation weiter. Damit werden auch die Resultate zur Veränderung der Gletscherflächen genauer. Noch ausstehend ist die Realisierung der Berücksichtigung kleinräumiger Umlagerungsprozesse von Schnee durch Wind und Gravitation sowohl im Gletscher- als auch in analoger Weise im Schneemodell. Die Resultate des Teilprojekts „Modellierung des windinduzierten Schneetransports“ liefern dazu die Basis.

In der nächsten Zukunft aber liegt der Fokus auf der Durchführung und Auswertung der Ergebnisse der geplanten gekoppelten Modellläufe in Kooperation mit den GLOWA-Danube-Arbeitsgruppen Hydrologie und Fernerkundung (*subskalige* Prozesse beim Schneedeckenauf- und -abbau, Abflussprozesse, Speicherung) und Meteorologie (Klimaszenarien).

4. Literatur

- BAHR, D.H. (1997): "The physical basis of glacier volume-area scaling.", J. of Geophys. Research, 102, N. 89, S. 20,355-20,362.
- 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, 38 - 44. Im Internet auch unter http://www.glaziologie.de/download/aws_abstracts_v2.pdf herunterladbar.
- FISCHER, A. und SPAN N (2005): "A volume inventory of glaciers in Austrian Alps", Geophysical Research Abstracts, Vol. 7, 03495, 2005, SRef-ID: 1607-7962/gra/ EGU05-A-03495.
- OERLEMANS, J. (2001): "Glaciers and Climate Change", A.A. Balkema Publishers, Lisse/Abingdon/ Exton/ Tokyo, ISBN 90 265 1813 7, 148S.
- PATERSON, W.S.B. (1969): "The Physics of Glaciers", Pergamom Press Ltd., First Edition (1969), Second Edition (1981), ISBN 0 08 024005 4, 380S.
- PAUL, F., KÄÄB, A., MAISCH, M., KELLENBERGER, T. und HAEBERLI, W. (2002): „The new remote-sensing-derived Swiss glacier inventory. I. Methods“. Ann. Glaciol., 34, S. 355-361.
- ROHRER, M.B. (1992): „Die Schneedecke im Schweizer Alpenraum und ihre Modellierung.“ Zürcher Geographische Schriften, Heft 49, ETH Zürich.
- SPAN, N. (1999): "Zur Dynamik des Kesselwandfenners", Dissertation Universität Innsbruck.
- SPAN, N., FISCHER, A., KUHN, M., MASSIMO, M. und BUTSCHEL, M. (2005): „Radar-messungen der Eisdicke Österreichischer Gletscher - Band 1: Messungen 1995-1998“, Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, 33, Wien 2005.

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, D. Jacob

1. Organisation

Kurzbeschreibung des Teilprojekts

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/Seeis Modelle gekoppelt werden, zudem kann ein Modul zur Troposphärenchemie eingebettet werden.

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

Im Rahmen des GLOWA-Danube Projektes Phase III sollen die meteorologischen Ausgabeparameter von REMO 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.

Personal

Wissenschaftler

Für das Teilprojekt Regionale Klimamodellierung sind Mittel für zwei halbe Wissenschaftler-Stellen zur Vorbereitung auf eine Promotion bewilligt worden. Eine Stelle war ursprünglich als volle Wissenschaftliche Stelle (Post-Doc) zur Untersuchung der Niederschlagsmodellierung eingeplant. Durch die vorgegebene Kürzung der Planstelle seitens der Agentur, musste die Stelle neu definiert und neu ausgeschrieben werden, womit die Stelle zum 1. März 2008 besetzt werden konnte.

- 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.

Veranstaltungen

GLOWA

- 20.07.2007 GLOWA-Danube Kickoffmeeting, München (Preuschmann, in Vertretung für Dr. Jacob)
- 05.09.2007 Internal-meeting GLOWA-Danube/REMO, Hamburg (Jacob, Preuschmann)
- 21.-24.09.2007 Klausurtagung, Herrsching (Preuschmann)

Andere Veranstaltungen

- 27.-31.08.2007 Second International Conference on Earth System Modelling, Hamburg (Jacob, Preuschmann)
- 10.-14.09.2007 DACH Meteorologen Tagung, Hamburg (Jacob, Preuschmann)
- 30.10.2007 Fachtagung: Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel, Berlin (Preuschmann)
- 26.-28.02.2008 Öffentliches Symposium: Warnsignal Klima, Hamburg (Preuschmann)
- 13.-18.04.2008 European Geosciences Union, General Assembly 2008, Wien (Preuschmann)

Veröffentlichungen

PREUSCHMANN, S. und JACOB, D. (2008): Sensitivity study for parameterization of woods in the regional climate model REMO; Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, EGU2008-A-08618, 2008.

2. Analytische Arbeiten

REMO-Datenprinzip für das obere Donau Einzugsgebiet

Eine Möglichkeit zukünftige Änderungen abzuschätzen besteht darin, das Klima mit Hilfe eines Modells zu betrachten. Die dazu benötigten Modelle beschreiben das System Erde mit physikalisch basierten, mathematischen Gleichungen mit denen das Klima auch in die Zukunft projiziert werden kann. Eine wesentliche Entwicklung in den letzten Jahren zielte auf die Notwendigkeit, die horizontale Auflösung dieser Modelle zu verfeinern, um kleinräumige Effekte erfassen und beschreiben zu können. Ein Modell zur regionalisierten Klimaberechnung wurde dafür am Max-Planck-Institut für Meteorologie in Hamburg entwickelt, wobei ein doppeltes Nestungsprinzip verwendet wird: Zunächst wird global mit einer groben Auflösung und dann in zwei weiteren Schritten regional in jeweils feinerer Auflösung das Klima berechnet. Die Ergebnisdaten des jeweils größeren Datensatzes gehen in die jeweils feinere Berechnung als seitlicher Antriebsdatensatz ein und erlauben die Betrachtung von Klimasignalen auf einem regionspezifischen Gebiet mit einer Gitterpunktauflösung von 0.088° , also ungefähr 10×10 km. Dies ist bisher einmalig detailliert für regionale Klimamodelle und damit von besonderem Interesse für Impaktmodelle wie sie z.B. in DANUBIA genutzt werden.

Das regionale Klimamodell REMO wurde u.a. im Auftrag des Umweltbundesamtes verwendet, um für Deutschland, Österreich und die Schweiz mit einer Gitterpunktauflösung von 10×10 km die Klimaentwicklung unter dem Einfluss von den vom IPCC vorgeschlagenen Emissionsszenarien mit niedrigen (B1), mittleren (A1B) und hohen (A2) Treibhausgas-

emissionen bis zum Jahr 2100 zu berechnen (JACOB et al. 2008). Dieser Datensatz ist für wissenschaftliche Zwecke frei verfügbar und kann somit in DANUBIA genutzt werden.

Datengrundlage für die Analyse von REMO-Ergebnissen im DANUBA-Gebiet

REMO Ergebnisse wurden für das obere Donau Einzugsgebiet, so wie es für DANUBIA definiert ist analysiert. In der ersten Nestungsstufe wurden als laterale Antriebsdaten die Ergebnisse des globalen gekoppelten Atmosphären-Ozean-Zirkulationsmodell ECHAM5-MPIOM bzw. die (Re)-Analysen des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage EZMW verwendet. Das Simulationsgebiet überdeckt ganz Europa mit einer Auflösung von 0.44° , also ungefähr 50km. Die Ergebnisse dieser Simulationen dienen als Antriebswerte für die zweite Nestungsstufe mit einer horizontalen Auflösung von 0.088° (~ 10 km) für das Gebiet Deutschland, Österreich und die Schweiz.

Auf diesem Gebiet wurden dann mehrere Simulationen durchgeführt:

Der Validierungslauf dient dabei zur Überprüfung des Modells, wobei die Reanalyse-Daten für den Zeitraum 1979-1993 und operationelle Analysedaten (ERA15) des EZMW für den Zeitraum 1994-2003 für den seitlichen Antrieb von REMO verwendet wurden. Beim Kontrolllauf hingegen wird REMO mit den Ergebnissen des Globalmodells ECHAM5-MPIOM seitlich angetrieben. Gerechnet für einen Zeitraum in der Vergangenheit, sollte das regionale Modell das heutige Klima reproduzieren. In den Szenarienläufen wird hingegen mit den vom IPCC vorgeschlagenen Emissionsszenarien in die Zukunft gerechnet. Zeigen der Validierungslauf und der Kontrolllauf gute Übereinstimmungen kann angenommen werden, dass die berechneten klimatischen Entwicklungen unter Beeinflussung der Emissionsszenarien, realistisch einzuschätzende Eintrittsmöglichkeiten aufweisen. Die Ergebnisse werden stets gegen Beobachtungsdaten verglichen. Als Beobachtungen wird hier der Datensatz der Climate Research Unit (CRU) der University of East Anglia herangezogen. Dieser Datensatz liegt Europaweit in einer Auflösung von $1/6^\circ$, d.h. ca. 18×18 km vor. Bei einem Vergleich mit diesem Datensatz müssen die unterschiedlichen Interpolationen stets berücksichtigt werden. Für große Flächenmittel ist ein Vergleich verhältnismäßig repräsentativ. Bezogen auf das Flächenmittel des oberen Donau Einzugsgebietes ist ein Vergleich der absoluten Werte jedoch sehr unsicher.

Modellbeschreibung

Zwei wesentliche Ausgabeparameter von REMO sind die Temperatur in 2m Höhe und der Niederschlag. Der Niederschlag setzt sich zusammen aus modellierten konvektiven Ereignissen und modelliertem flächenhaftem Niederschlag und wird in der Regel immer summiert betrachtet.

Die hier gezeigten Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf das Untersuchungsgebiet, das im GLOWA-Danube Projekt definiert ist.

Ergebnisse

Im Vergleich des Kontroll- und Validierungslaufs zu CRU Daten kann für die Temperaturen eine Übereinstimmung der dekadischen Variabilität erkannt werden (Abb. 1). Aufgrund der unterschiedlichen Dateninterpolationen ist die Interpretation der absoluten Werte für einen Vergleich zu CRU-Daten für das GLOWA-Gebietsmittel schwierig. Trotzdem zeigt Abbildung 1 im Vergleich des Kontrolllaufs zum Validierungslauf, dass der Kontrolllauf tendenziell höhere Temperaturen für den Winter enthält, hingegen die Sommertemperaturen zu kühl berechnet. Die Niederschlagssimulationen im gleichen Zeitraum (Abb. 2) zeigen eine ungefähre Übereinstimmung des Niederschlagsaufkommens, allerdings einen zeitlichen Versatz hinsichtlich der Eintrittszeitpunkte für Extrema. Die dekadische Variabilität

stimmt jeweils gut überein, in wenigen Ausnahmen überschätzt REMO im Kontrolllauf die Niederschlagsmaxima um über 40mm im Untersuchungsgebiet.

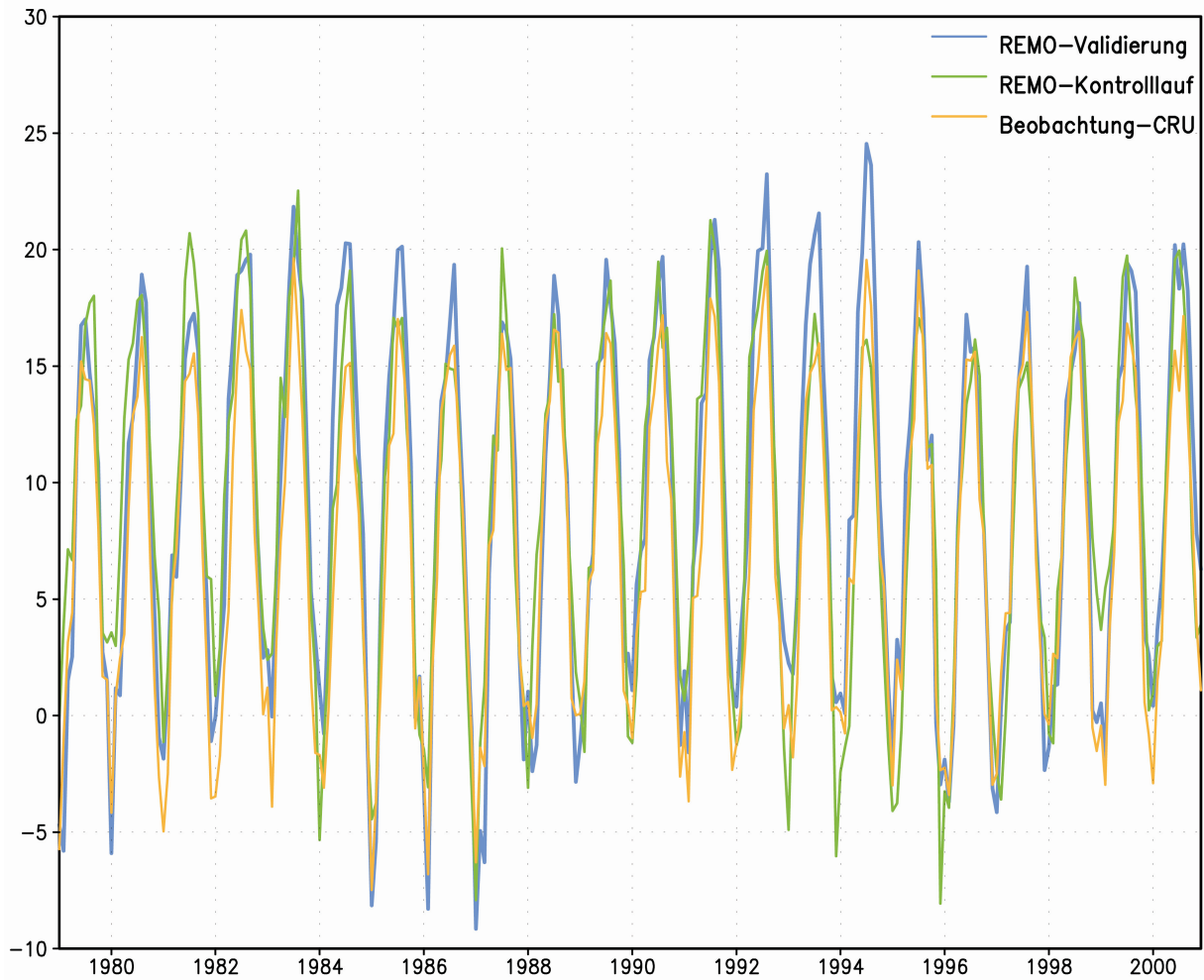


Abb. 1: Zeitlicher Verlauf der 2m Temperatur in °C für REMO-Validierungslauf, REMO-Kontrolllauf und den CRU-Datensatz bezogen auf das DANUBIA Gebietsmittel

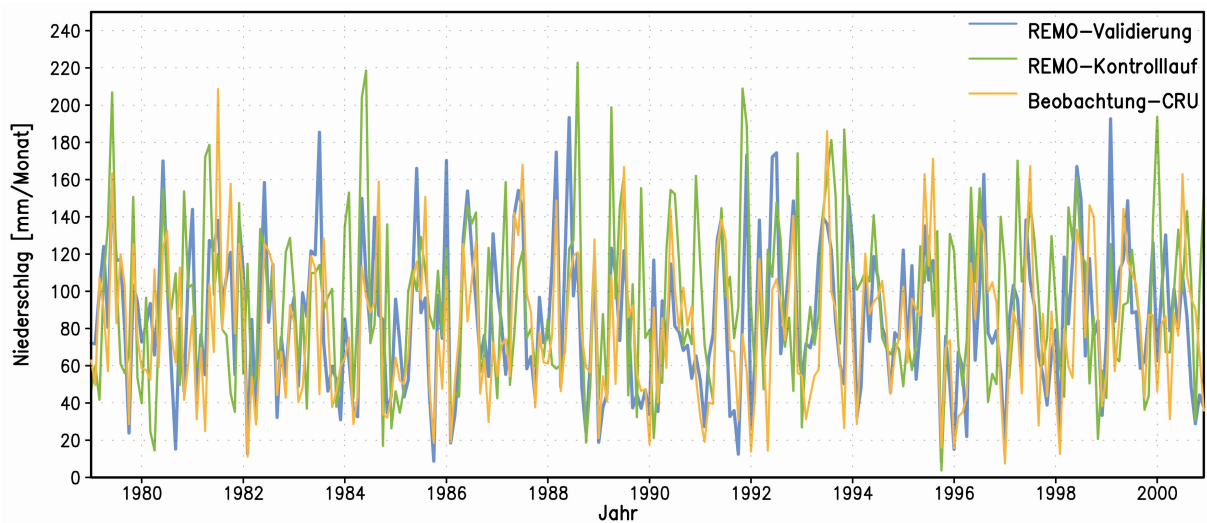


Abb. 2: Zeitlicher Verlauf des monatlichen Niederschlags in mm für REMO-Validierungslauf, REMO-Kontrolllauf und den CRU-Datensatz auf dem Gebietsmittel GLOWA-Danube

Für die Zukunftsszenarien zeigt sich in allen Berechnungen eine starke dekadische Variabilität und für Jahresniederschlagssummen mit einem gleitenden Mittel von 10 Jahren eine tendenzielle Erhöhung des Niederschlags für die Szenarien A1B und B1; zur Mitte des 21. Jahrhunderts würden im Falle eines A2 Szenarios die Jahresniederschlagssummen jedoch deutlich abnehmen und weit unter das Mittel des heutigen Zustandes von 11450 mm für das gesamte UBA-Gebiet fallen (Abb. 3.).

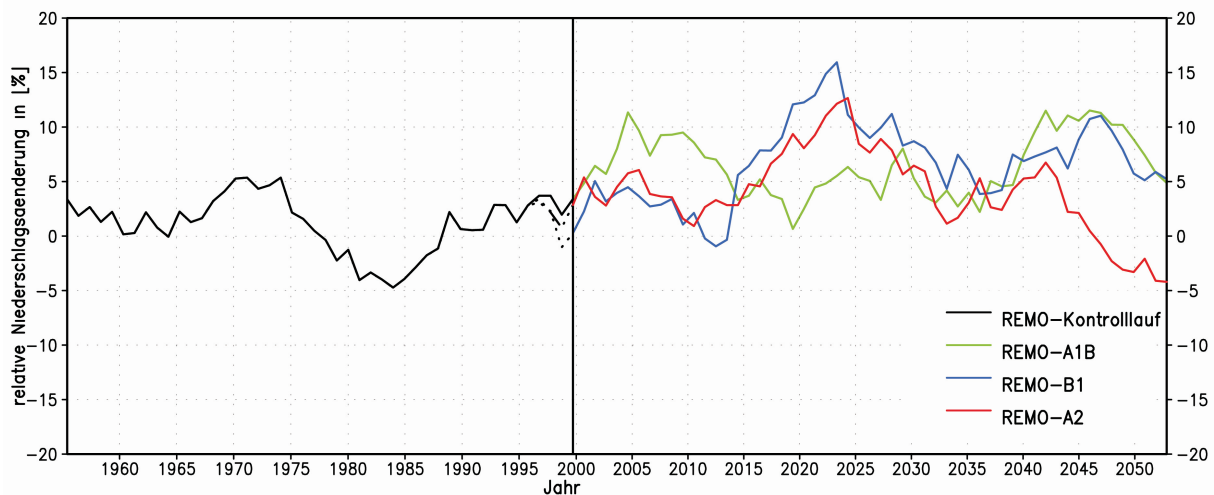


Abb. 3: Zeitlicher Verlauf der relativen Änderung der Jahresniederschlagssumme [%] (Gebietsmittel GLO-WA-Danube gleitendes 10-Jahresmittel) in Bezug auf die Klimanormalperiode (1961-1990)

Die relative Abweichung der Temperaturen zum Mittel über die Klimanormalperiode 1961-1990 ist in Abbildung 4 dargestellt. Deutlich ist ein Temperaturanstieg für alle drei Zukunftsszenarien, auch wenn vorerst zum ersten Viertel des Jahrhunderts für das gemäßigte Szenario ein Temperaturabfall verzeichnet wird.

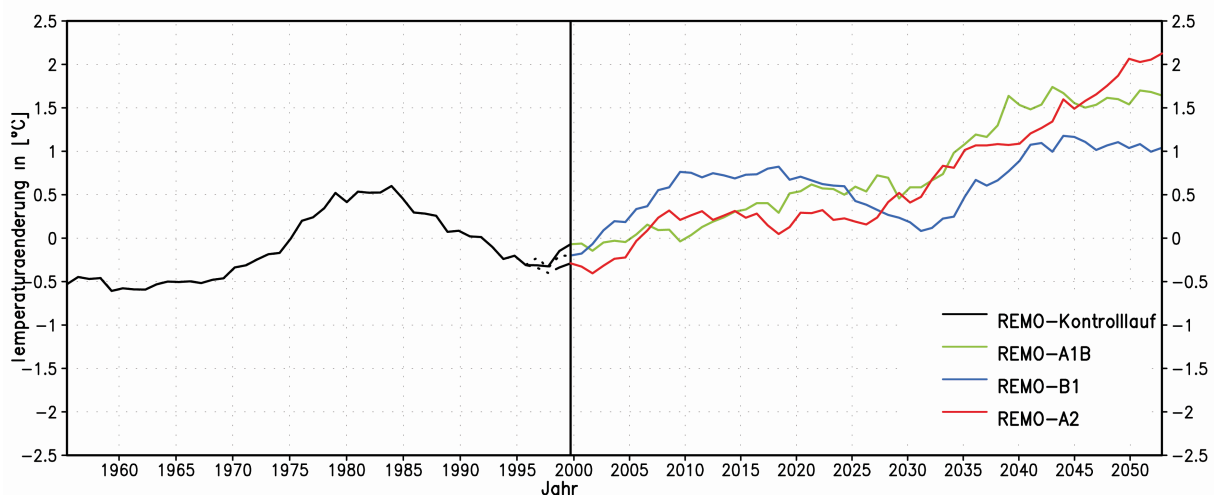


Abb. 4: Zeitlicher Verlauf der Änderung des Jahresmittels der m Temperatur [°C] (Gebietsmittel GLO-WA-Danube, gleitendes 10-Jahresmittel) in Bezug auf die Klimanormalperiode (1961-1990)

Betrachtet man die flächenhafte Verteilung des Niederschlags für das obere Donau- Einzugsgebiet bezogen auf die Klimanormalperiode, so zeigt sich für die Sommermonate insgesamt eine Niederschlagsabnahme (Abb. 6). Für das nördliche Gebiet des Einzugsgebietes und zentrale Teile des Alpenbereichs ergibt sich eine Abnahme von bis zu 20%, vereinzelt sogar bis zu 30%. In den Wintermonaten fällt hingegen geringfügig mehr Niederschlag (Abb. 5).

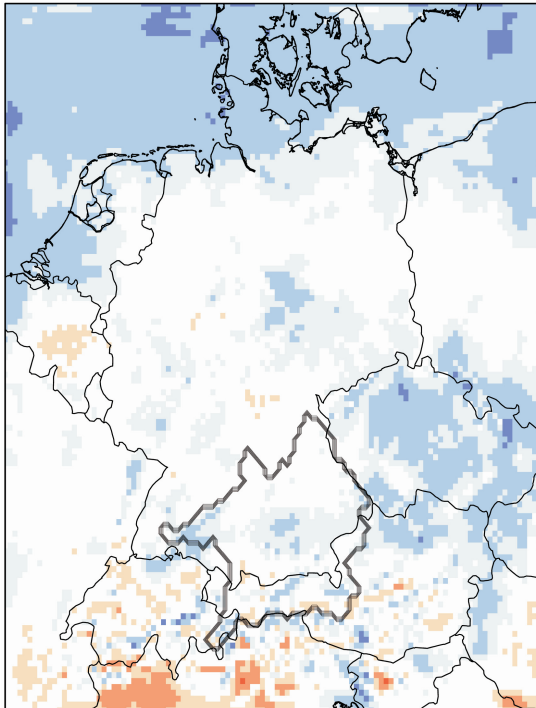


Abb. 5: Mittlere relative Winter (DJF) Niederschlagsänderung in [%] für Szenario A1B 2035-2064 zu 1991-1990

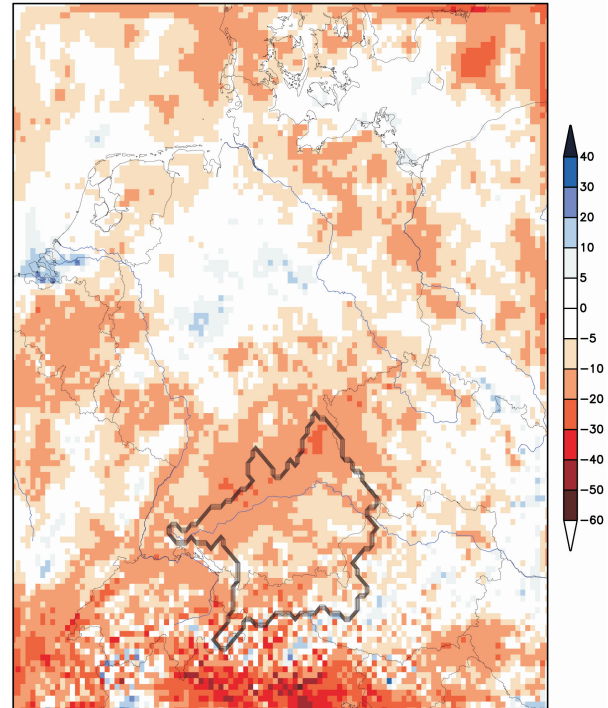


Abb. 6: Mittlere relative Sommer (JJA) Niederschlagsänderung in [%] für Szenario A1B 2035-2064 zu 1991-1990

Hinsichtlich der flächenhaften Verteilung der Temperaturänderung eines 30-jährigen Mittels von 2035-2064 des A1B Szenarios für die Wintermonate Dezember, Januar und Februar (Abb. 7) bzw. die Sommermonate Juni, Juli und August (Abb. 8) zur Klimanormalperiode ergibt sich für das obere Donau-Einzugsgebiet deutlich eine Temperaturzunahme zwischen $1,5^{\circ}\text{C}$ und gebietsweise bis zu über 3°C zu erkennen.

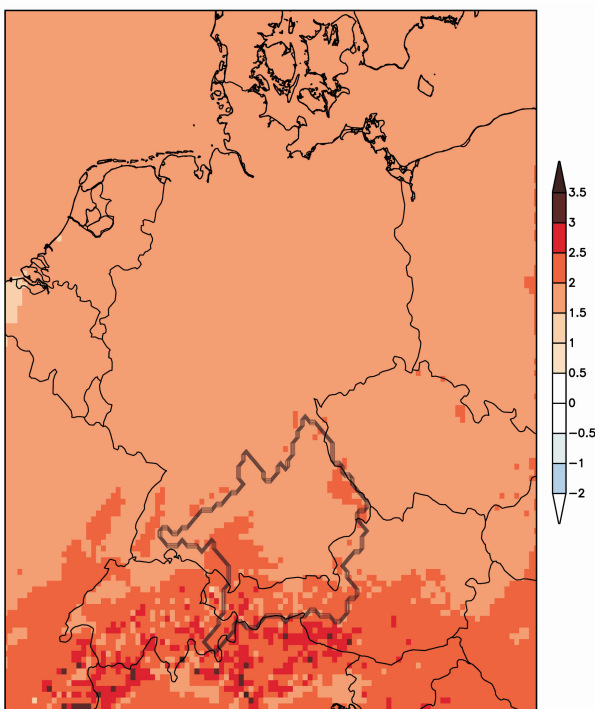


Abb. 7: Mittlere Winter (DJF) Temperaturänderung in $^{\circ}\text{C}$ für Szenario A1B 2035-2064 zu 1991-1990

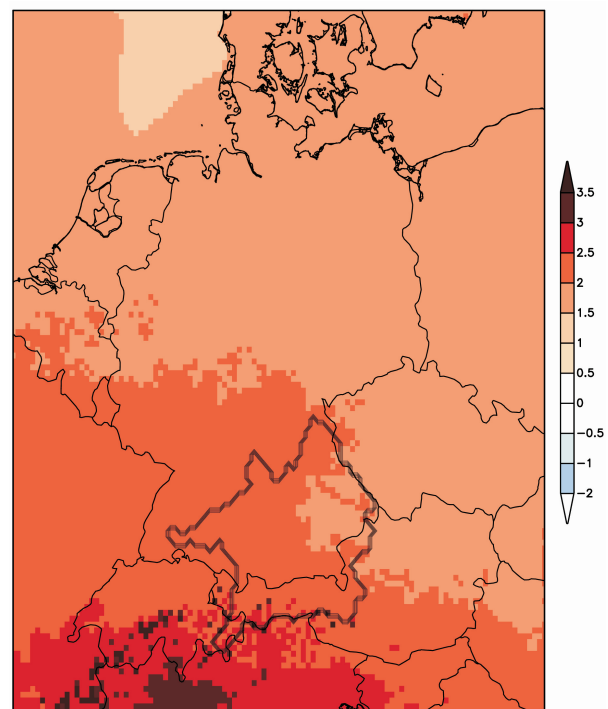


Abb. 8: Mittlere Sommer (JJA) Temperaturänderung in $^{\circ}\text{C}$ für Szenario A1B 2035-2064 zu 1991-1990

Unter der Berücksichtigung einer relativen Überschätzung der Sommertemperaturen in REMO, wie im Kontrolllauf gezeigt, ist trotzdem für das obere Donau-Einzugsgebiet bei Eintreten eines A1B-ähnlichen Szenarios eine Temperaturzunahme und Niederschlagsabnahme in den nächsten 50 Jahren zu erwarten.

3. REMO-Weiterentwicklung

Vergleich der Vegetationsbeschreibung in DANUBIA und REMO

Für eine Weiterentwicklung von REMO hinsichtlich der Erstellung neuer Simulationen als Datenreferenzinput für DANUBIA wird derzeit die Wirkung des Leaf Area Index LAI in REMO untersucht.

Es wurde eine Sensitivitätsstudie gestartet, in der der LAI für die DANUBIA Vegetationstypen CONIFER und DECIDUOUS in REMO integriert wurden.

Die Landnutzung in REMO basiert auf der Klassifikation der Global Ecosystem Types GET von OLSON 1994 a, b, die u.a. auf einer Erfassung durch das Advanced Very High Resolution Radiometer AVHRR beruhen und in einer Auflösung von 1 x 1km vom U.S. Geological Survey (USGS 1997) bereitgestellt sind.

Dieser Landnutzung wurden für ECHAM und später für REMO spezifische Parameter wie Albedo, LAI, Vegetationsanteil, Rauigkeitslänge Feldkapazität und Permanenter Welkepunkt zugeordnet, die innerhalb des Modells die Landklassen präsentieren, auf deren Basis die Modelle rechnen (CLAUSSEN et al. 1994; HAGEMANN et al. 1999; HAGEMANN 2002). Da die Klimamodelle in größeren Auflösungen rechnen, wird die Verteilung der Landnutzung auf die entsprechende Auflösung aggregiert. Somit gehen in REMO gewichtete Mittel der zugeordneten Parameter ein, statt selbstständiger Landnutzungsklassen.

In den letzten Jahren wurde ein Jahresgang für den LAI, die Albedo und den Vegetationsanteil integriert (RECHID und JACOB 2006; RECHID et al. 2007a ,b).

Dabei ist hervorzuheben, dass für die erste Einbindung eines ALBEDO Jahresganges festgestellt wurde, dass der Verlauf der berechneten Jahresgänge für den Raum mittlerer Breiten in Abhängigkeit von der Vegetationsverteilung und Bodenfarbe berechnet werden muss (RECHID et al. 2007b; GAO et al. 2005). Der Jahresgang der Albedo wird in REMO als Funktion aus dem LAI berechnet, wobei mit Hilfe eines einfachen linearen Regressionsverfahrens aus MODIS FAPAR und ALBEDO-Daten eine statische Verteilung einer so genannten Boden- und Bedeckungs- ALBEDO erstellt wurde.

$$\alpha = \alpha_{soil} \cdot e^{-0,5 \cdot LAI} + \alpha_{canopy} \left(1 - e^{-0,5 \cdot LAI} \right)$$

Der Jahresgang des LAIs berechnet sich aus einem Minimum, dem LAI für die Vegetationsruhephase, und einem Maximum, dem LAI für die Wachstumsphase, Werte, die für jede Olson GET Klasse für REMO in den Landsurface Parameters (LSP) zugewiesen wurden.

Versuchsaufbau der Sensitivitätsstudie

Da die GET-Klassen im Vergleich zu den auf CORINE Daten basierenden DANUBIA Vegetationsklassen Unter- und Mischklassen Laub- und Nadelwald beschreiben, wurde versucht, die für das Untersuchungsgebiet relevanten Klassen in den GETs so zu gruppieren, dass sie mehrheitlich den DANUBIA Klassen Nadelwald bzw. Laubwald entsprechen. In Tabelle 1 ist die Gruppierung der GETs/LSP zu den neuen DANUBIA Nadel- und Laubwaldklassen aufgelistet. Die flächenhaften Verteilungen der neuen, zusammengefassten Klassen sind in den Abbildungen 9 und 10 dargestellt.

Tab. 1: GET Klassenzuordnung zu DANUBIA Conifer und DANUBIA Deciduous

DANUBIA CONIFER	DANUBIA DECIDUOUS
Deciduous Conifer Forest	Deciduous Broadleaf Forest
Evergreen Forest and Fields	Mixed Forest
Conifer Boreal Forest	Cool Broadleaf Forest
Cool Conifer Forest	Deciduous Broadleaf Forest
Cool Mixed Forest	Small Leaf Mixed Woods
Conifer Forest	Deciduous and Mix, Boreal Forest
Narrow Conifers	Deciduous Tree Crop

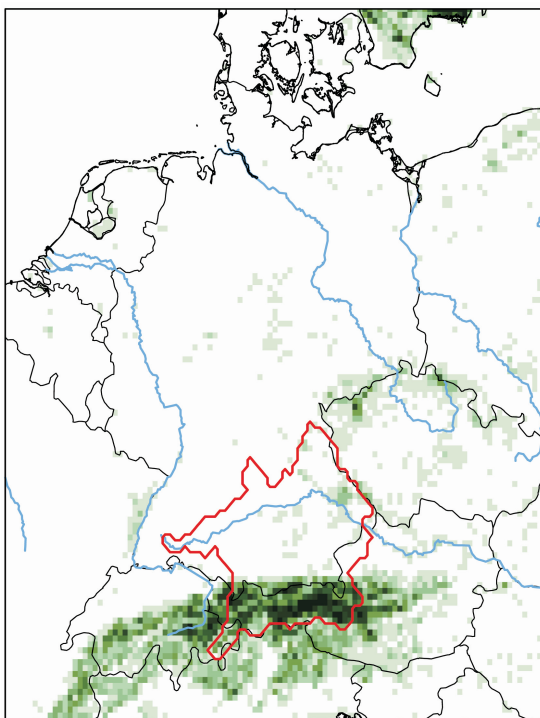


Abb. 9: CONIFER-Cluster Verteilung in REMO [frac.]

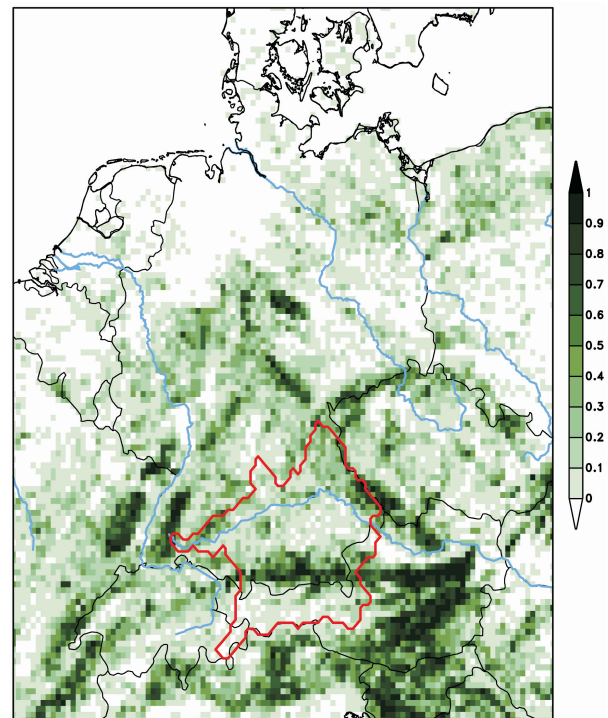


Abb. 10: DECIDUOUS-Cluster Verteilung in REMO [frac.]

Für die neu definierten Klassen wurden folgende Änderungen vorgenommen

- CONIFER Klasse:
LAI dormancy / LAI growing: von 2,5 / 6,0 auf 7,8 / 7,8
- DECIDUOUS Klasse:
LAI dormancy / LAI growing: von 0,7 / 5,2 auf 0,0 / 8,01

Saisonal gemittelt ergibt sich für den Sommer eine deutliche Anhebung des LAI für das nördliche Alpenvorland, Schwarzwald und Vogesen, sowie für einen ausgeprägten Bereich südöstlich Österreichs und Sloweniens (Abb. 11).

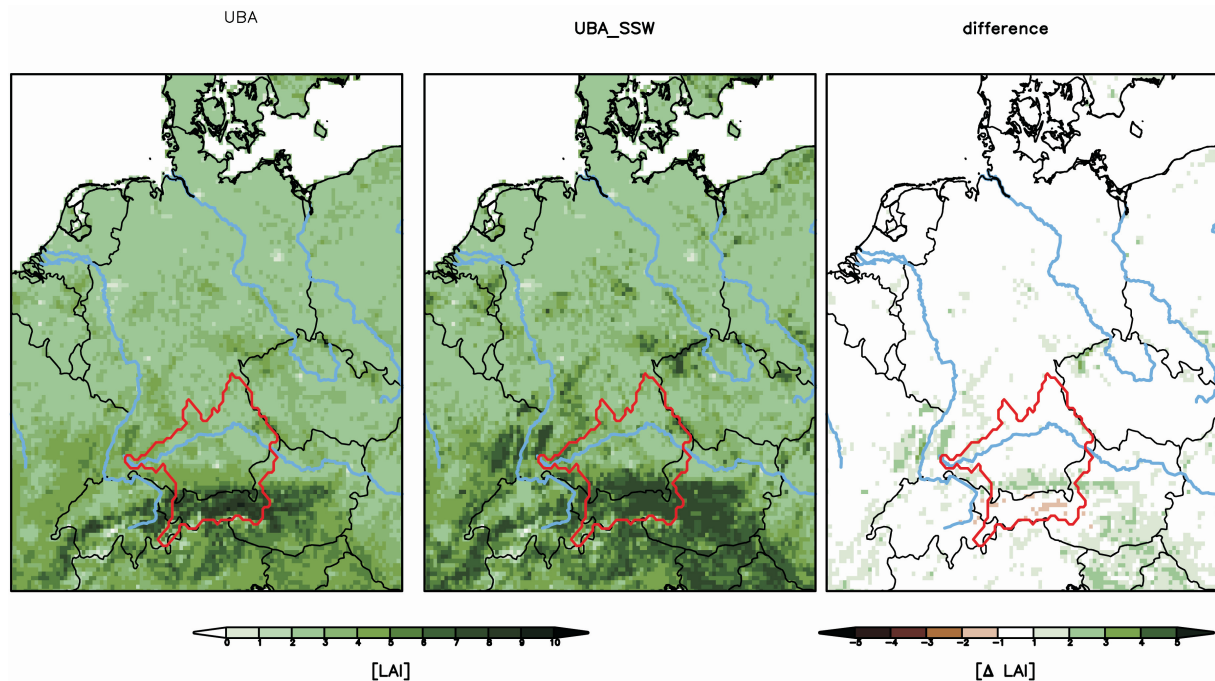


Abb. 11: LAI Saisonales Mittel Sommer (JJA) für Referenzsimulation UBA, Sensitivitätssimulation UBA_SSW und Differenz UBA_SSW-UBA

In der Wintersaison hingegen ist für den Alpenraum eine deutliche Anhebung des LAIs zu erkennen, hingegen im südöstlichen Raum eine Abnahme (Abb. 12).

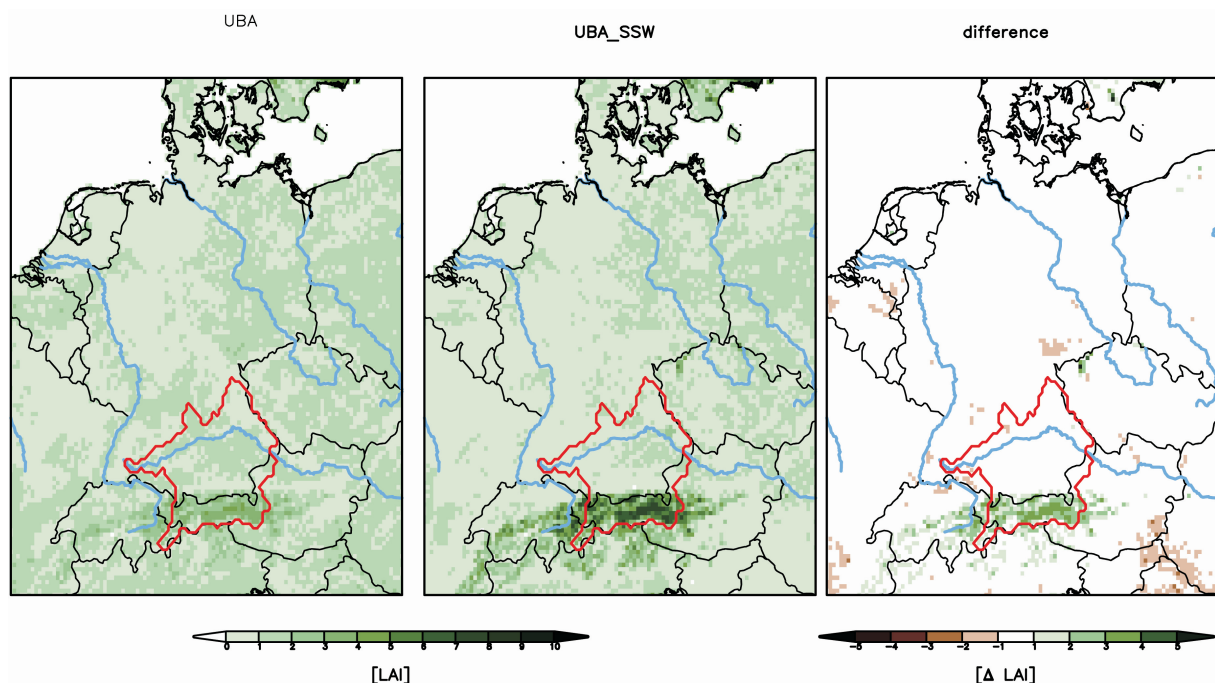


Abb. 12: LAI Saisonales Mittel Winter (DJF) für Referenzsimulation UBA, Sensitivitätssimulation UBA_SSW und Differenz UBA_SSW-UBA

Die Sensitivitätsstudie wird auf dem für das Umweltbundesamt definierten Gebiet, in einer Auflösung von 10x10 km für die Jahre 1991-2000 gerechnet. Angetrieben wird der Sensitivitätslauf mit ERA-15 Daten, gleich dem UBA Validierungslauf, mit dem die Ergebnisse des Sensitivitätslaufes entsprechend verglichen werden.

Erste Ergebnisse für die Temperatur und Niederschlag dargestellt als saisonale Mittel über 10 Jahre, sind den Abbildungen 13, 14, 15, 16 zu entnehmen, wobei jeweils links das Mit-

tel der Referenzsimulation, mittig das Mittel der Sensitivitäts-Simulation und rechts die Differenz dargestellt ist.

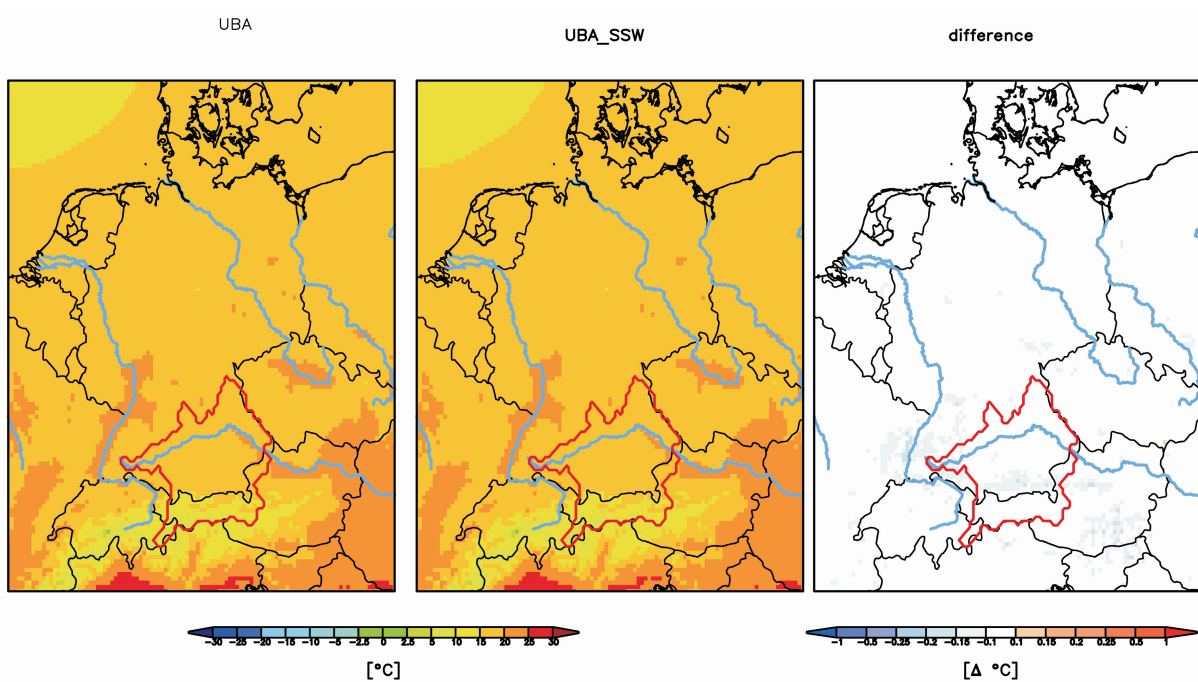


Abb. 13: 2m Temperatur Saisonales Mittel Sommer (JJA) für Referenzsimulation UBA, Sensitivitätssimulation UBA_SSW und Differenz UBA_SSW-UBA

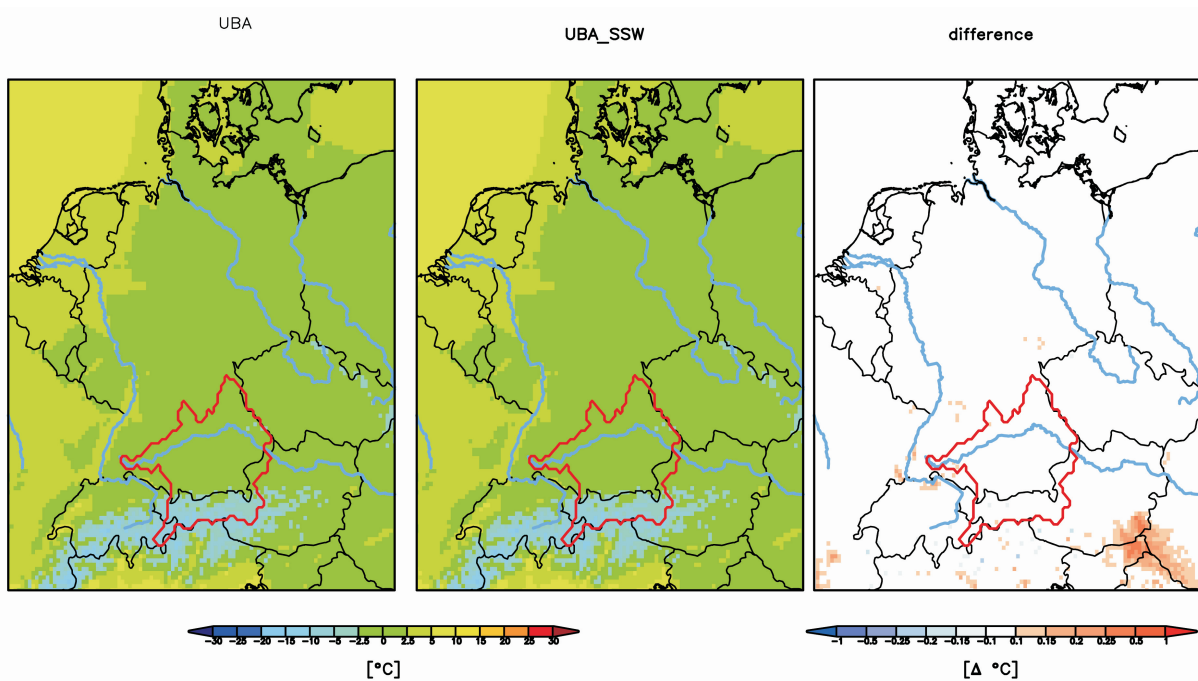


Abb. 14: 2m Temperatur Saisonales Mittel Winter (DJF) für Referenzsimulation UBA, Sensitivitätssimulation UBA_SSW und Differenz UBA_SSW-UBA

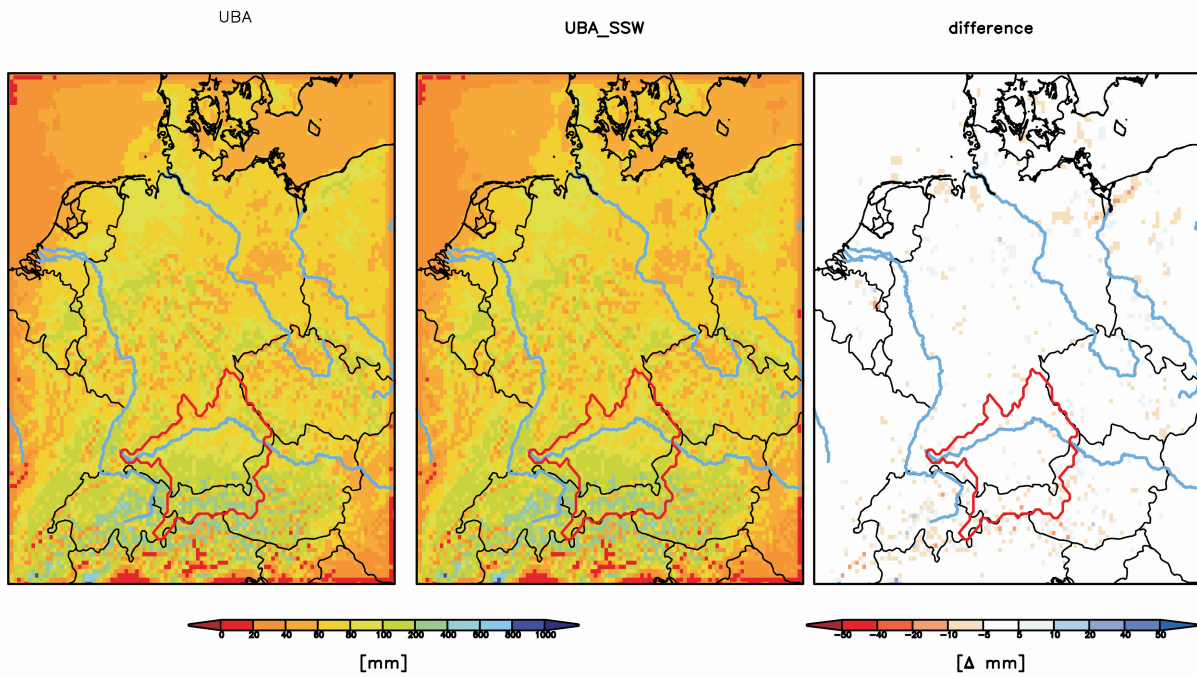


Abb. 15: Niederschlagssumme Saisonales Mittel Sommer (JJA) für Referenzsimulation UBA, Sensitivitätssimulation UBA_SSW und absolute Differenz UBA_SSW-UBA

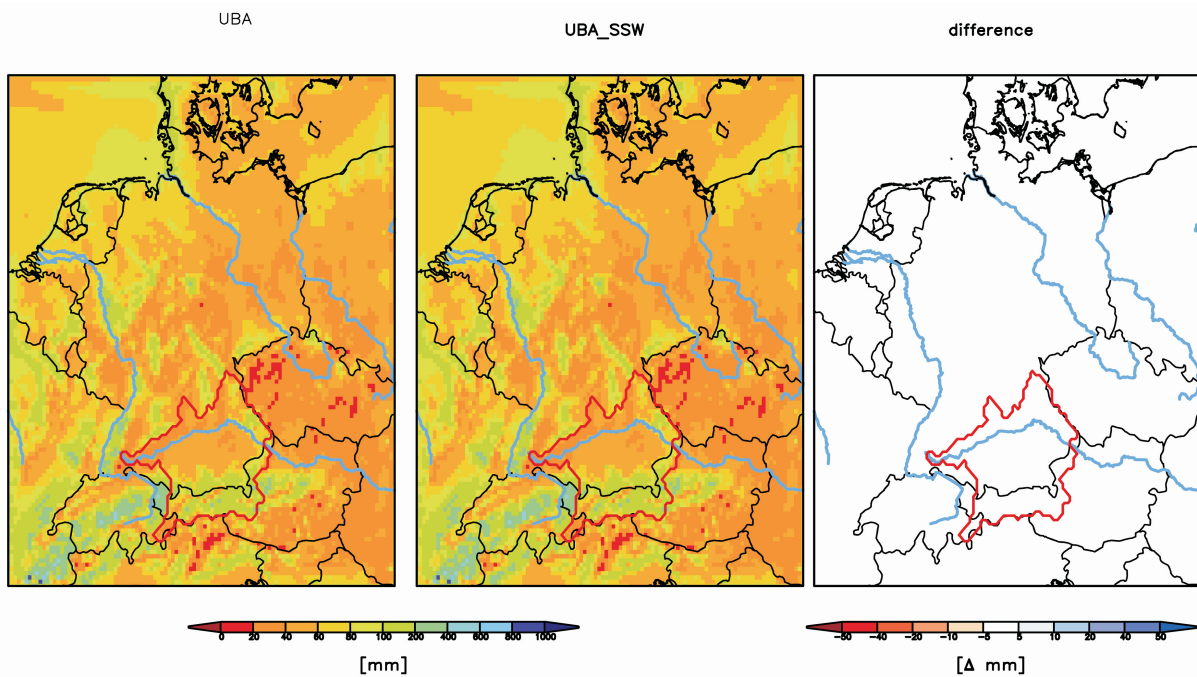


Abb. 16: Niederschlagssumme Saisonales Mittel Winter (DJF) für Referenzsimulation UBA, Sensitivitätssimulation UBA_SSW und absolute Differenz UBA_SSW-UBA

Die Ergebnisse zeigen eine minimale Sensitivität der Temperatur auf kleine Änderungen in der Parametrisierung der Vegetation. Die Niederschlagsmenge ändert sich geringfügig, und lässt sich im Gegensatz zur Temperaturdifferenz nicht mit den Lokalitäten korrelieren, die einem veränderten LAI unterlagen.

4. Zusammenfassung und Ausblick

REMO bietet eine gute Datengrundlage regional skaliertes meteorologischer Daten für Zukunftsszenarien. Im oberen Donau Einzugsgebiet überschätzt REMO die Sommertemperaturen, und in Einzelfällen Niederschlagsmaxima.

Die Sensitivitätsstudie zeigt, dass die Temperatursimulation in REMO eine schwache Sensitivität auf die Änderung des LAI Inputs und eine negative Korrelation aufweist. Also eine Anhebung des LAI bewirkt eine Absenkung der Temperatur und umgekehrt. Die Sensitivitätsstudie lässt die Vermutung zu, dass eine veränderte Landnutzungsverteilung keine großen Änderungen der Simulationen bewirkt, dennoch aber zu einer Abkühlung der Sommertemperaturen führt. Die Einbindung weiterer LAI Informationen aus DANUBIA ist ein Bestandteil zukünftiger Untersuchungen. Dazu sind Analysen und Sensitivitätsstudien zur Wirkung der Parametrisierung der Vegetation innerhalb des Modells notwendig, um gegebenenfalls zusätzlich die Parametrisierung der Prozesse anzupassen, in die Informationen über die Landnutzungen eingehen.

Im Rahmen der nun begonnenen Arbeit hinsichtlich der Einbindung des Aerosolmoduls HAM in REMO erhoffen wir die Niederschlagsparameterisierung zu optimieren.

Literatur

- CLAUSSEN, M., LOHMANN, U., ROECKNER, E. und SCHULZWEIDA, U. (1994): A Global Data Set Of Land-Surface Parameters; MPImet Report, 135, 30 S.
- GAO, F., SCHAAF, C.B., STRAHLER, A.H., ROESCH, A., LUCHT, W. und DICKINSON, R. (2005): MODIS bidirectional reflectance distribution function and albedo Climate Modeling Grid products and the variability of albedo for major global vegetation types *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 110, D01104.
- HAGEMANN, S., BOTZET, M., DÜMENIL, L. & MACHENHAUER, B. (1999): Derivation of global GCM boundary conditions from 1 km land use satellite data; MPImet Report, 289, 34.
- HAGEMANN, S. (2002): An Improved land surface parameter dataset for global and regional climate models; MPImet Report, 336, 28.
- 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; *MET&ATM PHYS*, 77, S. 61-73.
- JACOB, D., BÄRRING, L., CHRISTENSEN, O., CHRISTENSEN, J., DE CASTRO, M., DÉQUÉ, M., GIORGI, F., HAGEMANN, S., HIRSCHI, M., JONES, R., KJELLSTRÖM, E., LENDERINK, G., ROCKEL, B., SANCHEZ, E., SCHÄR, C., SENEVIRATNE, S., SOMOT, S., VAN ULDEN, A. und VAN DEN HURK, B. (2007): An inter-comparison of regional climate models for Europe: model performance in present-day climate. *Climatic Change*, 81, S. 31-52.
- JACOB, D., GÖTTEL H., KOTLARSKI S., LORENZ, Ph. und SIECK K. (2008): Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland - Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland, Abschlussbericht zum UFOPLAN-Vorhaben 204 41 13, accepted.
- OLSON, J.S. (1994a): Global ecosystem framework-definitions; UGSG EROS Data Center Internal Report, Sioux Falls, SD, 0, 31.
- OLSON, J.S. (1994b): Global ecosystem framework - translation strategy; UGSG EROS Data Cent. Intern. Rep., Sioux Falls, SD, 0, 39.

- RECHID, D. und JACOB, D. (2006): Influence of monthly varying vegetation on the simulated climate in Europe; Meteorologische Zeitschrift, 15, 99-116.
- USGS (1997): U.S.Geological Survey: Global land cover characteristics data base. <http://edcsns17.cr.usgs.gov/glcc/>
- RECHID, D., HAGEMANN, S. und JACOB, D. (2007a): Sensivity of climate models to seasonal variability of snow-free land surface albedo; Theor. Appl. Climatol. (accepted), 0, 45.
- RECHID, D., RADDATZ, T. und JACOB, D. (2007b): Parameterization of snow-free land surface albedo as a function of vegetation phenology based on MODIS data and applied in climate modelling.; Theor. Appl. Climatol (accepted).

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
Berichtersteller:	A. Pfeiffer, G. Zängl

1. Organisation

1.1 Kurzbeschreibung des Teilprojekts

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. Ein Schwerpunkt liegt mittlerweile auf der interaktiven Kopplung des MM5 und der Landoberflächen-Modellierung der Gruppe HydFern im Kontext des durchgehend in FORTRAN codierten DANUBIALight. Entsprechend wurden und werden der Gruppe HydFern kontinuierlich und nach Bedarf umfangreiche Datensätze von mit MM5 simulierten Perioden des Jetztzeitklimas für das vergrößerte Kopplungsgebiet bereitgestellt. Umgekehrt wurden auch vom DANUBIALight Testdatensätze bereitgestellt, die als untere, zeitlich veränderliche Randbedingung in das MM5 eingespeist wurden, womit der Nachweis einer stabilen Kopplung der beiden Teilsysteme Atmosphäre und Landoberfläche auch in dieser Kopplungsrichtung erbracht werden konnte. Nach dem Abschluss umfangreicher Optimierungsarbeiten am MM5 wurde darüber hinaus bereits früher eine neue, gegenüber der bisherigen Version deutlich verbesserte MM5-Klimatologie der Jahre 1991 bis 2000 auf Basis des ERA40-Datensatzes des ECMWF erstellt. Durch die Verwendung eines weiteren Beobachtungsdatensatzes für Niederschläge und die Erstellung eines Ensembles von MM5-Simulationen für einen charakteristischen Testzeitraum wurden die positiven Ergebnisse für die operationell in GLOWA-Danube eingesetzte MM5-Konfiguration weiter abgesichert. Erste Vergleiche des Datensatzes der ERA40/MM5-Klimatologie für die Jahre 1991 bis 2000 mit einem Referenzdatensatz eines ECHAM5/MM5-Jetztzeitklimas wiesen erhebliche Abweichungen im mittleren Jahresgang der monatlichen Niederschläge auf. Als Ursache hierfür wurden gewisse Defizite in der Simulation großskaliger Strömungsmuster im Bereich der Alpen durch das ECHAM5 identifiziert, was insbesondere eine Überschätzung intensiver Tiefdruckgebiete in diesem Bereich in der kalten Jahreszeit mit sich brachte. Um diese Ergebnisse weiter abzusichern, wurde ein auf die Jahre 1971 bis 2000 erweitertes regionales Jetztzeitklima des ECHAM5/MM5-Systems analysiert, was die bisher vorliegenden Erkenntnisse zu dieser Problematik im Wesentlichen bestätigen konnte. Auch die bereits während des vorangegangenen Berichtzeitraums erstellte ECHAM5/MM5 Regionalklimasimulation für die Jahre 2001 bis 2100, basierend auf einem A1B-Szenario, wurde weiter analysiert und lässt insbesondere ab Mitte des 21. Jahrhunderts ein deutlich verändertes Klima im Untersuchungsgebiet erwarten. Alle MM5-Datensätze des Jetztzeitklimas sowohl basierend auf ERA40 als auch auf ECHAM5 für die Jahre 1971 bis 2000 und das regionale A1B-Klimaszenario (2001 bis 2100) stehen dem Gesamtprojekt zur Verfügung und werden gegenwärtig bereits zumindest teilweise im DANUBIALight für Langzeitsimulationen genutzt.

1.2 Personal

1.2.1 Wissenschaftler

Für das Teilprojekt Meteorologie-Modellierung (Zängl) sind in Phase III Mittel für 1,5 Wissenschaftler-Stellen bewilligt. Gegenwärtig ist jedoch nur eine ganze Stelle besetzt (Herr Pfeiffer). Es ist geplant und mit der Projektkoordination bereits abgesprochen, die verbliebene halbe Stelle kostenneutral in eine ganze Stelle für einen Zeitraum von 1,5 Jahren umzuwandeln und ab 1. Oktober mit Herrn Clemens Wastl zu besetzen.

1.2.2 Wissenschaftliche Hilfskräfte

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

1.3 Anschaffungen

Im Berichtszeitraum wurde für das Teilprojekt Meteorologie/München keine Anschaffungen getätigt.

1.4 Veranstaltungen

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

1.4.1 GLOWA

- 20.07.2007 GLOWA-Danube, Projektleiter-Meeting, München (Zängl)
 - 21.-24.09.2007 GLOWA-Danube, Projekt-Meeting, Herrsching (Pfeiffer)
 - 19.10.2007 GLOWA-Danube, Projektleitertreffen, München (Pfeiffer)
 - 14.12.2007 GLOWA-Danube, Meteo-Workshop, Hamburg (Pfeiffer, Zängl)
 - 22.02.2008 Klimafolgenkongress, IHK, München (Pfeiffer)
 - 26.02.2008 Treffen LfU, München (Pfeiffer)
- GLOWA-Danube, div. bilaterale Treffen mit der Gruppe Hyd-Fern, (Pfeiffer)

1.4.2 Teilnahme an Konferenzen

- 14.-18.04.2008 European Geophysical Society Annual Meeting: „Regional climate simulations using MM5 in the European Alpine region“, Wien (A. Pfeiffer und G. Zängl) (Poster).

1.5 Veröffentlichungen

FRÜH, B., BENDIX, J., NAUSS, T., PAULAT, M., PFEIFFER, A., SCHIPPER, J.W., THIES, B. und WERNLI, H. (2007): Verification of precipitation from regional climate simulations and remote-sensing observations with respect to ground-based observations in the upper Danube catchment. Meteorol. Zeitschrift, 16/3, S. 275-293(19).

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

- PFEIFFER, A. und ZÄNGL, G. (2008): Validation of climate-mode simulations with MM5 for the European Alpine region (in Vorbereitung).
- WASTL, C. und ZÄNGL, G. (2007): Analysis of the climatological precipitation gradient between the Alpine foreland and the northern Alps. Meteorol. Zeitschrift, 16, S. 541-552.
- WASTL, C. und ZÄNGL, G. (2008): Analysis of mountain valley precipitation differences in the Alps. Eingereicht bei Meteorol. Zeitschrift.
- 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. Eingereicht bei Quart. J. Roy. Met. Soc.

2. Ergebnisse

2.1 Integrative Arbeiten

2.1.1 *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 *Downscaling*algorithmus (FRÜH et al. 2006), 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 Atmosphäre-Pakets, in dem die Ansteuerung von *AtmoMM5* und seiner Schnittstellen zu den anderen Objekten über den AtmosphäreController 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 Anpassungen an das DANUBIA-Framework 2.1 werden bei Bedarf durchgeführt werden, sollten aber unkritisch sein, da die wesentliche Funktionalität des *AtmoMM5* ohnehin 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 statt. Auf dieser Ebene liegt, nicht zuletzt auch aus Performance-Gründen, der Schwerpunkt der integrativen Arbeiten. Ziel ist hierbei eine vollständig interaktive Kopplung zwischen der Atmosphärenmodellierung des MM5 und der Landoberflächensimulation im DANUBIALight. 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. Entsprechenden erste Ergebnisse liegen bei der Gruppe HydFern vor und werden gegenwärtig nach hydrologischen Gesichtspunkten analysiert. Als Beispiel zeigt ein von der Gruppe HydFern zur Verfügung gestelltes Diagramm (Abb. 1) den von DANUBIALight modellierten Jahresabfluss in Achleiten mit dem hier verwendeten, von *AtmoMM5* simulierten Gebietsniederschlag für die Jahre 2011-2060.

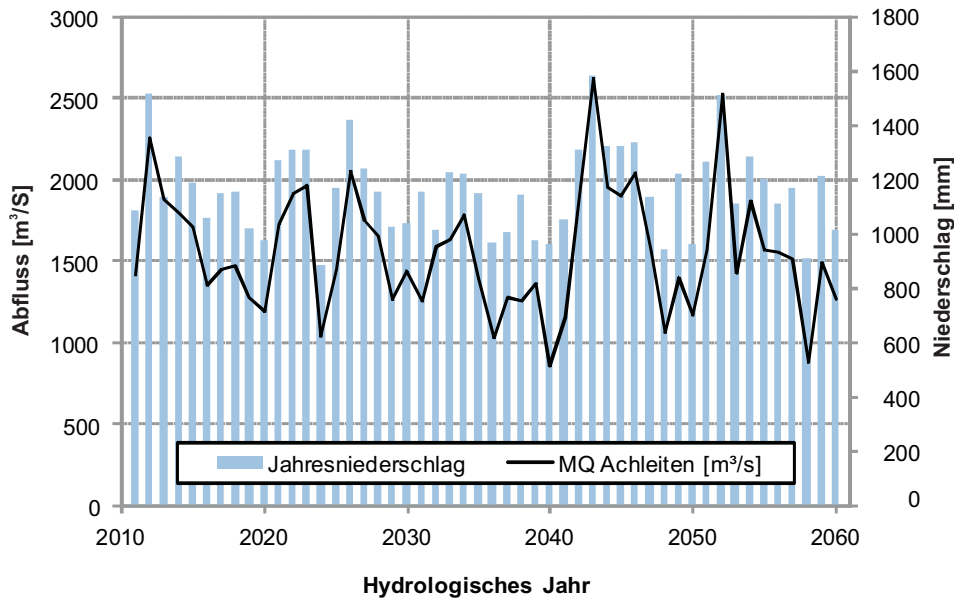


Abb. 1: Mit DANUBIALight modellierter Jahresabfluss in Achleiten und *AtmoMM5*-Gebietsniederschlag für die Jahre 2011-2060

Zum Vergleich wurden von der Gruppe HydFern auch erste Langzeitsimulationen mit Daten des REMO in das DANUBIALight eingegeben. Die verwendeten REMO-Daten basieren bisher nur auf Simulationen, die - auch für das Jetztzeitklima - von ECHAM5-Daten angetrieben wurden. Was noch wünschenswert wäre, wären als eine möglichst optimale Referenz für die Verhältnisse im Jetztzeitklima auch REMO-Datensätze, die sich aus mit ERA40-Daten angetriebenen Simulationen ergeben. Für MM5 liegen entsprechende Simulationen für die Jahre 1971 bis 2000 vor, die sich insbesondere für den Referenzzeitraum 1991-2000 hervorragend mit den hierfür vorliegenden Beobachtungsdaten insbesondere für Niederschlag vergleichen (s. Abb. 2a). Das entsprechende Bild für Simulationsergebnisse des Regionalmodells MM5, die auf ECHAM5-Antriebsdaten basieren, lässt demgegenüber deutliche Defizite erkennen (Abb. 2b). Die aktuell von diesen Regionalsimulationen gespeisten Läufe des DANUBIALight greifen auf eine entsprechende im *Downscaling* integrierte Biaskorrektur zurück, was die negativen Auswirkungen dieser nicht sehr realistischen Niederschlagsklimatologie zumindest deutlich abmildern sollte. Testläufe des DANUBIALight mit ECHAM5/MM5-Datensätzen ohne eine Biaskorrektur führten zu deutlich überschätzten Abflüssen. Für die bisher nur mit ECHAM5-Antrieb vorliegenden REMO-Daten dürfte sich ein ähnliches Bild ergeben; vermutlich werden diese Datensätze für die Verwendung in einer nachgeschalteten hydrologischen Modellierung ebenfalls mit einer entsprechenden Biaskorrektur versehen werden müssen.

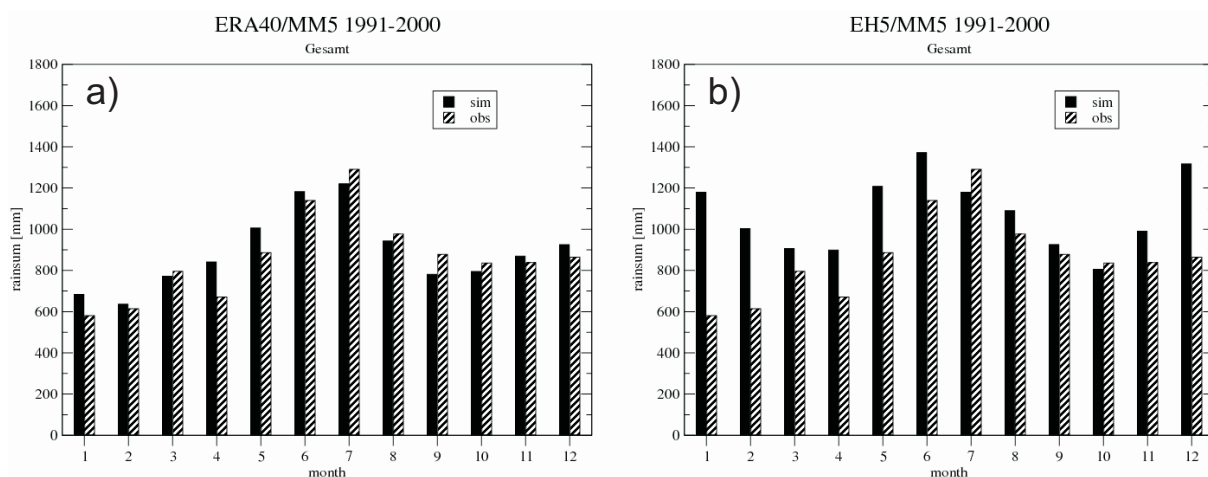


Abb. 2: Mittlere monatliche Niederschläge des Zeitraums 1991-2000, simuliert mit MM5, angetrieben von globalen Analysen des ECMWF (ERA40) (a) bzw. mit ECHAM5-Daten (b)

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Ein-Wege-Kopplung von MM5-Simulationsergebnissen in das DANUBIALight tadellos funktioniert und hier bereits erste wichtige Ergebnisse in Langzeitklimasimulationen im Zusammenhang mit der Hydrologie liefert.

Als ein weiterer wichtiger Zwischenschritt zur vollständig interaktiven Kopplung wurden mittlerweile Testsimulationen unter Umkehrung der Richtung der Ein-Wege-Kopplung realisiert. Das heißt vorab vom DANUBIALight simulierte Flüsse von fühlbarer und latenter Wärme, von Impulsfluss und schließlich vom Boden in die Atmosphäre gerichteter Strahlung, wurden für einen Testzeitraum als untere, zeitlich variable Randbedingung in das MM5 eingespeist. Das DANUBIALight wurde hierzu vorab seinerseits mit MM5-Daten betrieben. Auf diese Weise wurde der Nachweis einer im Prinzip stabilen Ankopplung von Boden und Atmosphäre auch in dieser Kopplungsrichtung geführt. Der Vorteil dieses Zwischenschrittes ist darin zu sehen, dass bei der Interpretation der Ergebnisse zunächst eine durchaus zu erwartende Drift, wie sie das vollständig interaktiv gekoppelte System mit sich bringen könnte, ausgeschlossen werden kann. Nebenbei bemerkt ist diese Vorgehensweise bei meteorologischen Modellen durchaus üblich z.B. zur Ankopplung an ein separates Ozeanmodell. Das *Upscaling* der Flüsse vom Boden in die Atmosphäre gestaltet sich gegenüber dem *Downscaling* vergleichsweise unkritisch, da hier im Wesentlichen die Ergebnisse der hochaufgelösten Landoberflächenmodellierung durch einfache Mittelung auf das gröbere Gitter des MM5 aggregiert werden. Abbildung 3 zeigt Ergebnisse für den akkumulierten simulierten Niederschlag einer entsprechenden Testsimulation für Juni 1996. Gegenübergestellt sind ein Lauf des MM5 mit seinem eigenen Landoberflächenmodul und ein Lauf des MM5, bei dem stündliche Werte der Kopplungsgrößen einer vorab durchgeführten Simulation des DANUBIALight für den betreffenden Zeitraum in das MM5 eingespeist wurden. Auffällig ist die Verlagerung des Niederschlagsmaximums von den Alpen in einen ausgedehnten voralpinen Bereich. Deutlich zu sehen ist auch das Kopplungsgebiet zwischen MM5 und DANUBIALight als zentrales Rechteck, in dem generell erhöhte Niederschläge zu verzeichnen sind. Dies ist auch ein Hinweis darauf, dass die beiden Modelle noch nicht optimal aneinander angepasst sind. Entsprechend besteht hier ein Schwerpunkt in den weiteren Arbeiten der physikalisch optimierten Ankopplung der beiden Modelle.

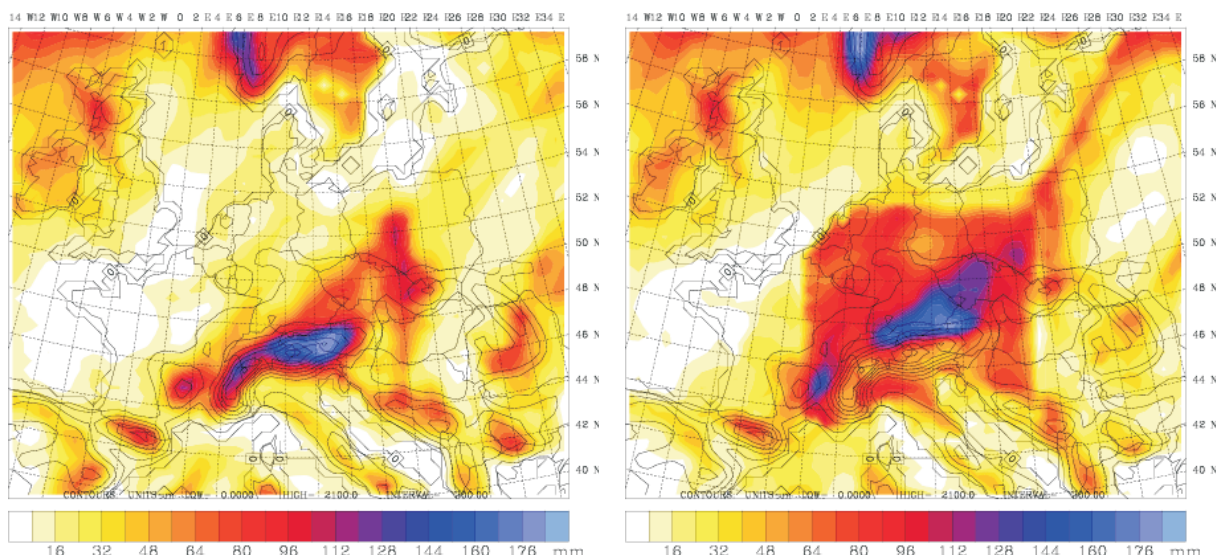


Abb. 3: Akkumulierter simulierter Niederschlag für Juni 1996; links: MM5 mit eigenem Landoberflächenmodul; rechts: MM5 mit eingekoppelten Flüssen von DANUBIALight

3. Sektorale Arbeiten

Ein Schwerpunkt der sektoralen Arbeiten ist die weitere Verbesserung und Qualitätssteigerung der meteorologischen Simulationen bzw. die Absicherung und Dokumentation der erzielten Fortschritte.

3.1 Qualitätssicherung der simulierten Niederschläge

Im Jahresbericht 2006 wurden umfangreiche Änderungen bzw. Anpassungen am Simulationsaufbau geschildert, die zu einem substantiell verbesserten Referenzlauf des MM5 für die Jahre 1991 bis 2000 geführt haben. Um diese Verbesserungen insbesondere für den Niederschlag weiter abzusichern und zu bestätigen, wurde neben den zunächst verwendeten interpolierten Stationsfeldern ein weiterer Beobachtungsdatensatz herangezogen. Dieser Datensatz wurde von Frau Früh (FRÜH et al. 2006) im Zuge der Entwicklung des *Dowscalings* für eine horizontale Auflösung von 1km abgeleitet. Motivation bei der Heranziehung dieses weiteren Datensatzes an dieser Stelle war insbesondere die grundsätzliche Unsicherheit bezüglich objektiv gemessenen Niederschlags im alpinen Bereich. So besteht zum einen eine recht inhomogene Verteilung von Niederschlagsstationen im Gebirge mit einem Schwerpunkt der Standorte in Alpentälern. Zum anderen ist gerade bei den in höheren Lagen installierten Stationen mit stark ausgeprägten systematischen Messfehlern z.B. auf Grund von Schneeverfrachtung zu rechnen. Somit sollten zwei unabhängig mit unterschiedlichen Methoden erzeugte Datensätze hilfreich sein, eine Art Vertrauensintervall' der beobachteten Niederschlagsmengen abzuschätzen. Eine Aussage darüber, welcher Datensatz an sich dem anderen überlegen ist, wird hier nicht angestrebt. Beide Datensätze werden für die optimale Vergleichbarkeit mit der Simulation auf eine horizontale Auflösung von 45km aggregiert. Somit kommt die hohe Auflösung des neuen Datensatzes von effektiv 2km an dieser Stelle nicht unmittelbar zum Tragen. Für die weiteren Analysen steht nunmehr einerseits ein einfaches Mittel der Stationsdaten und andererseits eine echtes Flächenmittel zur Verfügung.

In Abbildung 4 sind die Ergebnisse zusammengefasst. Dargestellt in der ersten Reihe ist der klimatologische Jahresgang der monatlichen Niederschlagssummen über die Jahre 1991 bis 2000 für das gesamte Untersuchungsgebiet und zwei Untergebiete davon, jeweils für die Simulation (sim'), die interpolierten Stationsdaten (obs_stat') und die speziell erzeugten mit 1km aufgelösten Felder (obs_1km'). Darunter ist in der zweiten Reihe der bias', der rms' und der sog. nae' (normalized absolute error, vgl. Jahresbericht 2006) der Simulation in Bezug auf interpolierte Stationsdaten aufgetragen. Die dritte Reihe schließlich zeigt diese Fehlermaße relativ zu den hochaufgelösten Beobachtungsfeldern. Die linke Spalte bezieht sich jeweils auf das Gesamtuntersuchungsgebiet, d.h. ein das Einzugsgebiet der oberen Donau großzügig überdeckendes Gebiet. Die mittlere Spalte gibt die Verhältnisse für das Alpenvorland und die rechte Spalte für den alpinen Bereich wieder.

Generell sind für die verschiedenen Teilgebiete und die verschiedenen Beobachtungsdatensätze recht ähnliche Verläufe des Jahresgangs der monatlichen Niederschläge zu verzeichnen. Die größten Fehler treten im alpinen Bereich auf, wie es zu erwarten war, da hier die Simulation des Niederschlags die größten Anforderungen an das Modell stellt. In der kalten Jahreszeit kommen die etwas erhöhten Niederschläge des hochaufgelösten Datensatzes der Simulation etwas entgegen. In den Sommermonaten jedoch bis hinein in den Oktober treten substantiell erhöhte Niederschläge auf, die weder durch den Datensatz der interpolierten Stationen noch durch die Simulation in diesem Masse gestützt werden. Insgesamt lässt sich somit zwar keine über die bisherigen Analysen hinausgehende weitere Bestätigung der Güte der neuen MM5-Klimatologie ableiten. Der neu herangezogene Beobachtungsdatensatz fügt sich vielmehr ins Bild der generell schwierigen quantitativen Niederschlagsmodellierung und -validierung im gebirgigen Gelände ein; einerseits bestehen im Alpenraum die größten Unsicherheiten in der Modellierung des Niederschlags, während andererseits auch der wahre' Niederschlag hier nur sehr ungenau bekannt bzw. nur sehr schwer abzuschätzen ist.

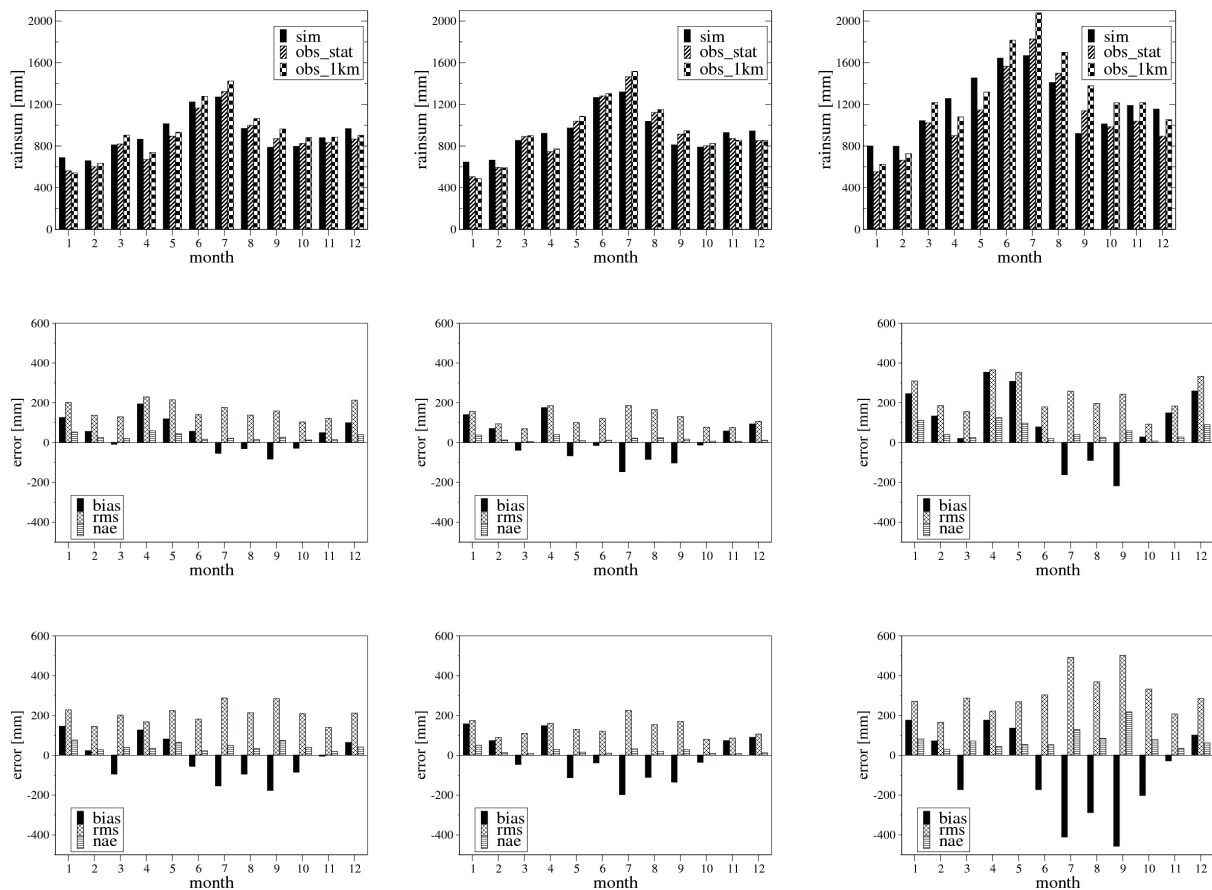


Abb. 4: Obere Reihe: akkumulierte monatliche Niederschläge der Jahre 1991 bis 2000 simuliert mit MM5 (sim') und nach interpolierten Stationsbeobachtungen (obs stat') bzw. aus hochaufgelösten Beobachtungsfeldern (obs_1km'). Linke Spalte: Gesamtuntersuchungsgebiet, mittlere Spalte: Alpenvorland, rechte Spalte: Alpen. Mittlere und untere Reihe: verschieden Fehlermaße der Simulation bezogen auf interpolierte Stationsdaten bzw. hochaufgelöste Beobachtungsfelder. Weitere Details siehe Text

3.2 Sensitivitätsstudien zur Niederschlagssimulation von MM5

Neben der Abschätzung eines gewissen Vertrauensintervalls in der quantitativen Niederschlagssimulation über die Heranziehung verschiedener Datensätze der Beobachtung bietet sich gerade bei einem Modell wie MM5 die Erstellung eines Simulationsensembles für einen relevanten Untersuchungszeitraum an, um ein solches Vertrauensintervall auch von der Modellierungsseite einzugrenzen. Gerade in Bezug auf Niederschlag ist es hier nahe liegend, verschiedene Konvektionsparametrisierungen, die im MM5-System zur Verfügung stehen, zur Erstellung eines solchen Ensembles heranzuziehen. Für die Erstellung der verbesserten MM5-Klimatologie wurde bereits ein Wechsel in der eingesetzten Konvektionsparametrisierung vollzogen. Mittlerweile wurden hierzu jedoch noch systematischere Untersuchungen unter Verwendung von drei verschiedenen, häufig eingesetzten Konvektionsschemata durchgeführt. Es handelt sich hierbei um das sog. Grell- (GRELL 1993), das Betts-Miller- (BETTS und MILLER 1986, 1993) und das Kain-Fritsch-II-Schema (KAIN und FRITSCH 1990, 1993; KAIN 2004). Erweitert wurde dieses Ensemble noch durch die Verwendung zweier unterschiedlicher Formulierungen der numerischen Diffusion für Wasserdampf-mischungsverhältnis und Temperatur (vgl. hierzu auch Erläuterungen im Jahresbericht 2006 Kap. 4.1) (ZÄNGL 2002). Als Untersuchungszeitraum wurden die Jahre 1996 bis 1999 herangezogen; diese Jahre sind zum einen typische Vertreter für die Dekade 1991 bis 2000, die als Basis für alle weiteren hier durchgeführten Studien dient. Zum anderen ließ sich durch die Beschränkung auf diese vier typischen Jahre der Ressourcenverbrauch der durchzuführenden Simulationen in sinnvoller Masse begrenzen. Abbildung 5 zeigt die entsprechenden Fehlermaße für die verschiedenen Simulationen, wieder für die zwei verschiedenen Beobachtungsdatensätze. Für beide Beobachtungsdatensätze

ergibt sich ein ähnliches Bild, aus dem sich konsistente Schlüsse ziehen lassen. So fallen sofort die großen Fehler für die Betts-Miller-Parametrisierung insbesondere in Kombination mit der numerischen Diffusion entlang der geländefolgenden Sigma-Koordinate ins Auge. Interessanterweise wird hier die deutliche Überschätzung des Niederschlags in den Alpen durch eine vergleichsweise ausgeprägte Unterschätzung im Alpenvorland teilweise kompensiert. Die hohen Werte für $rmse'$ und nae' korrespondieren mit dieser offensichtlichen Fehllokalisierung der simulierten Niederschläge. Der Wechsel zur echt- $shorizontalen'$ Diffusion hebt diese Fehlverteilung offenbar in gewissem Sinne auf; der immer noch bestehenden Überschätzung im alpinen Bereich steht hier keinerlei kompensierende Unterschätzung im Alpenvorland mehr gegenüber. Dieses Ergebnis unterstreicht zum einen die herausragende Bedeutung der angepassten numerischen Diffusion in gebirgigem Gelände. Zum anderen muss hieraus auch gefolgert werden, dass das Betts-Miller-Schema für den Einsatz im alpinen Bereich nicht geeignet ist. Das Grell-Schema hält sich selbst mit der eher ungeeigneten horizontalen Diffusion vergleichsweise gut, wengleich der Vergleich mit den verschiedenen Datensätzen keine Entscheidung zulässt, ob im alpinen Bereich nun eine Unter- oder Überschätzung des simulierten Niederschlags vorliegt. Der Wechsel zur angepassten numerischen Diffusion führt aber beim $rmse'$ und insbesondere im nae' zu einem recht erfreulichen Bild. In der Kombination mit der echt- $shorizontalen'$ Diffusion schneidet letztlich die Kain-Fritsch-II-Parametrisierung noch etwas besser ab, was ihre Verwendung in allen operativen Simulationen des GLOWA-Danube-Projekts nochmals nachdrücklich bestätigt.

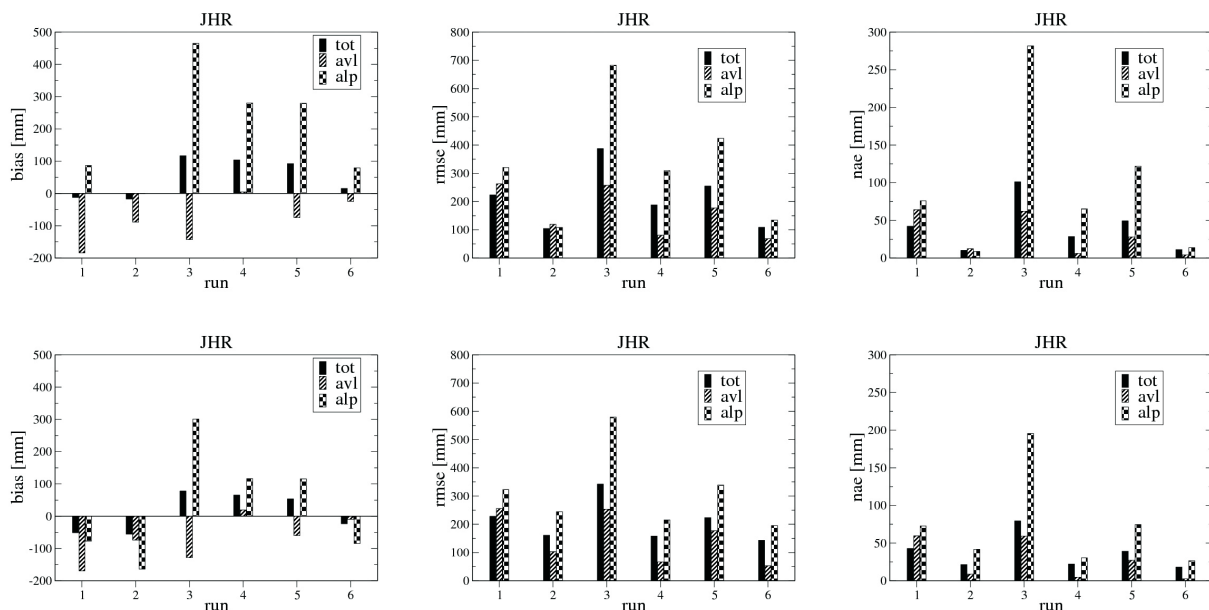


Abb. 5: Verschiedene Fehlermaße (bias, rmse, nae) des simulierten Niederschlags der Jahre 1996 bis 1999, gemittelt pro Jahr für sechs verschiedene Modellkonfigurationen (run^o). Run 1, 2: Grell-Schema; run 3, 4: Betts-Miller-Schema; run 5, 6: Kain-Fritsch-II-Schema. Run 1, 3, 5: numerische horizontale Diffusion entlang geländefolgender sigma-Koordinate; run 2, 4, 6: echt- $shorizontalen'$ numerische Diffusion entlang z-Koordinatenflächen. In jeder Einzelabbildung sind Ergebnisse für die drei Untersuchungsgebiete (wie unter Abschnitt 4.1 beschrieben) aufgeführt (Gesamt tot^o, Alpenvorland avl^o, Alpen alp^o). Die obere Reihe bezieht sich auf interpolierte Stationsdaten, die untere auf die mit 1km aufgelösten Beobachtungsfelder

In Abbildung 6 werden nun die oben geschilderten Ergebnisse für die Jahresniederschläge nochmals nach den einzelnen Jahreszeiten aufgeschlüsselt. $rmse'$ und nae' weisen einen recht ähnlichen Informationsgehalt auf (vgl. auch Abb. 5), deshalb reicht es aus, im Weiteren nur den nae' zu betrachten. Die deutlichsten Unterschiede treten im bias^o zu Tage, der dementsprechend vollständig wiedergegeben ist. Aus Abbildung 6 lässt sich ableiten, dass es im Winter und somit in einem vorwiegend großskalig geprägten Niederschlagsregime durchgehend für alle Modellkonfigurationen zu einer moderaten Überschätzung des Niederschlags kommt. Im Frühjahr mit seinen zunehmend konvektiven Anteilen am Niederschlag kristallisiert sich eine Tendenz zu überhöhten Niederschlägen in den Alpen und

einer Unterschätzung im Alpenvorland heraus. Die deutlichsten Defizite treten dann in der Sommersaison zu Tage, in der sich das Betts-Miller-Schema als völlig ungeeignet für den Einsatz im Untersuchungsgebiet erweist. Das Kain-Fritsch-II-Schema liefert mit der geländefolgend formulierten Diffusion ebenfalls eher unerfreuliche Ergebnisse, während es in Kombination mit der echt-horizontalen Diffusion fast perfekte Resultate aufweist. Das Grell-Schema schneidet im Sommer insgesamt auch eher schlecht ab, wobei hier generell eine eindeutige Unterschätzung des Niederschlags festzuhalten ist. Im Herbst wiederum herrscht eine vorwiegende Unterschätzung in allen Modellkonfigurationen vor, wobei hier sogar das Betts-Miller-Schema leichte Vorteile zu verbuchen scheint, was sich jedoch vor dem Hintergrund der Ergebnisse in den anderen Jahreszeiten und insbesondere im Sommer in keiner Weise als haltbar erweist. Insgesamt bleibt festzuhalten, dass die Niederschlags-simulation im konvektiv geprägten Sommer die größten Herausforderungen an das Modell stellt und sich folglich vorwiegend an Untersuchungen in dieser Jahreszeit die Spreu vom Weizen bei der Auswahl der geeigneten Parametrisierungen trennen muss.

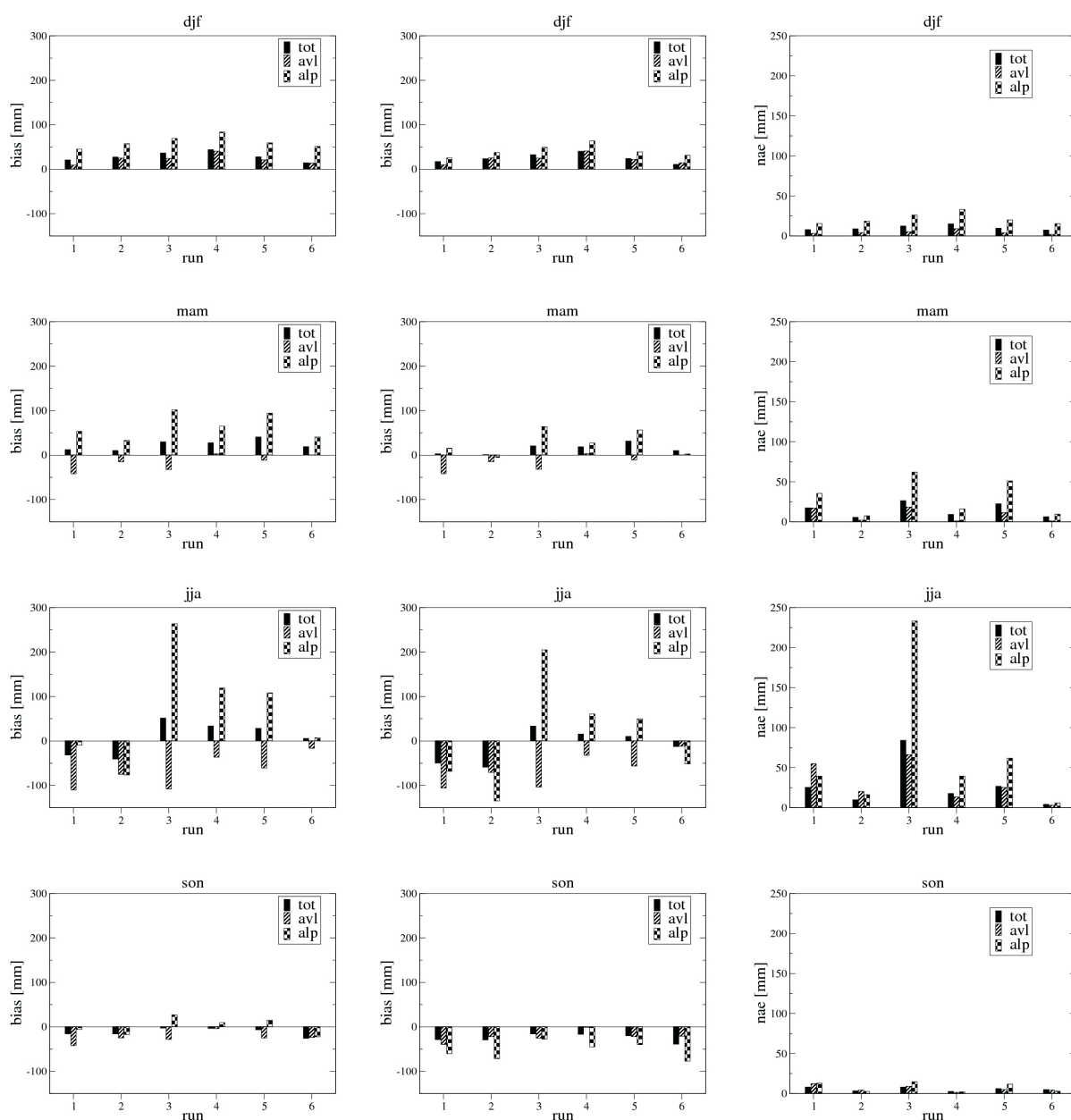


Abb. 6: Bias' und nae' aufgeschlüsselt nach Jahreszeiten jeweils für die drei Untersuchungsgebiete bzw. die sechs verschiedenen Modellkonfigurationen (vgl. auch Abb. 5). In der linken Spalte ist der bias' relativ zu den interpolierten Stationsdaten dargestellt, in der mittleren Spalte relativ zu den 1km-Beobachtungsfeldern. Die rechte Spalte enthält die Werte des nae' bezogen auf die interpolierten Stationsdaten

3.3 Szenarienrechnungen zum globalen Klimawandel

Wie bereits im letzten Jahresbericht erörtert und im Abschnitt 3.1.1 dieses Berichts kurz wiederholt, ergeben sich bei der Verwendung von ECHAM5 als treibendes globales Klimamodell für ein Regionalmodell wie MM5 deutliche Abweichungen im Jahresgang der mittleren monatlichen Niederschläge für eine Simulation des Jetztzeitklimas. Dies kann durch das mittlerweile optimal eingestellte MM5, das seine hohe Güte in der Niederschlagssimulation unter Verwendung des optimalen Datensatzes des ERA40-Projektes unter Beweis gestellt hat, naturgemäß nicht ausgeglichen werden. Einzig denkbarer Ausweg ist hier, wie ebenfalls bereits früher geschildert, die Verwendung einer klimatologisch basierten Biaskorrektur. Mittlerweile wurden die Ergebnisse des ECHAM5-MM5 Regionalszenarios über den gesamten vorliegenden Simulationszeitraum von 1971 bis 2100 weiter aufbereitet. Abbildung 7 zeigt hierzu die noch unkorrigierten Jahres- bzw. saisonalen Niederschläge im Untersuchungsgebiet. Hier ist wieder die deutliche Überschätzung des Niederschlags der ECHAM5-MM5-Simulation in den Wintern des Jetztzeitklimas im Vergleich zur ERA40-MM5-Simulation im Referenzzeitraum 1991 bis 2000 besonders augenfällig. Dieser Befund deckt sich mit der Darstellung in Abbildung 2. Auffällig ist auch eine vergleichsweise ausgeprägte interannuelle Variabilität der von ECHAM5 angetriebenen Simulation. Im weiteren Verlauf ist besonders der prognostizierte deutliche Rückgang der Niederschläge im Sommer und Herbst in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts bemerkenswert. Dies wird zweifelsohne massive Auswirkungen auf alle weiteren gekoppelten Szenarien des DANUBIA bzw. DANUBIA*Light* in GLOWA-Danube mit sich bringen.

Abbildung 8 schließlich gibt die Ergebnisse in der bodennahen Temperatur der regionalen Jetztzeitsimulation von ECHAM5-MM5 bzw. ERA40-MM5 von 1971 bis 2000 bzw. 1991 bis 2000 wieder, ergänzt um die Fortschreibung der Verhältnisse, die sich aus dem regionalen A1B-Klimaszenario des ECHAM5-MM5 für die Jahre 2001 bis 2100 ergeben. Die Übereinstimmung für die Jahre 1991 bis 2000 stellt sich vergleichsweise positiv dar. Recht markant fällt die Temperaturzunahme sowohl in den Winter- als auch in den Sommermonaten ins Auge. Im Winter dürfte dies bei unveränderter Gesamtniederschlagsmenge z.B. zu einer Verschiebung des Niederschlags von Schnee zu Regen führen. Im Sommer dagegen ist mit verschärftem Trockenstress zu rechnen.

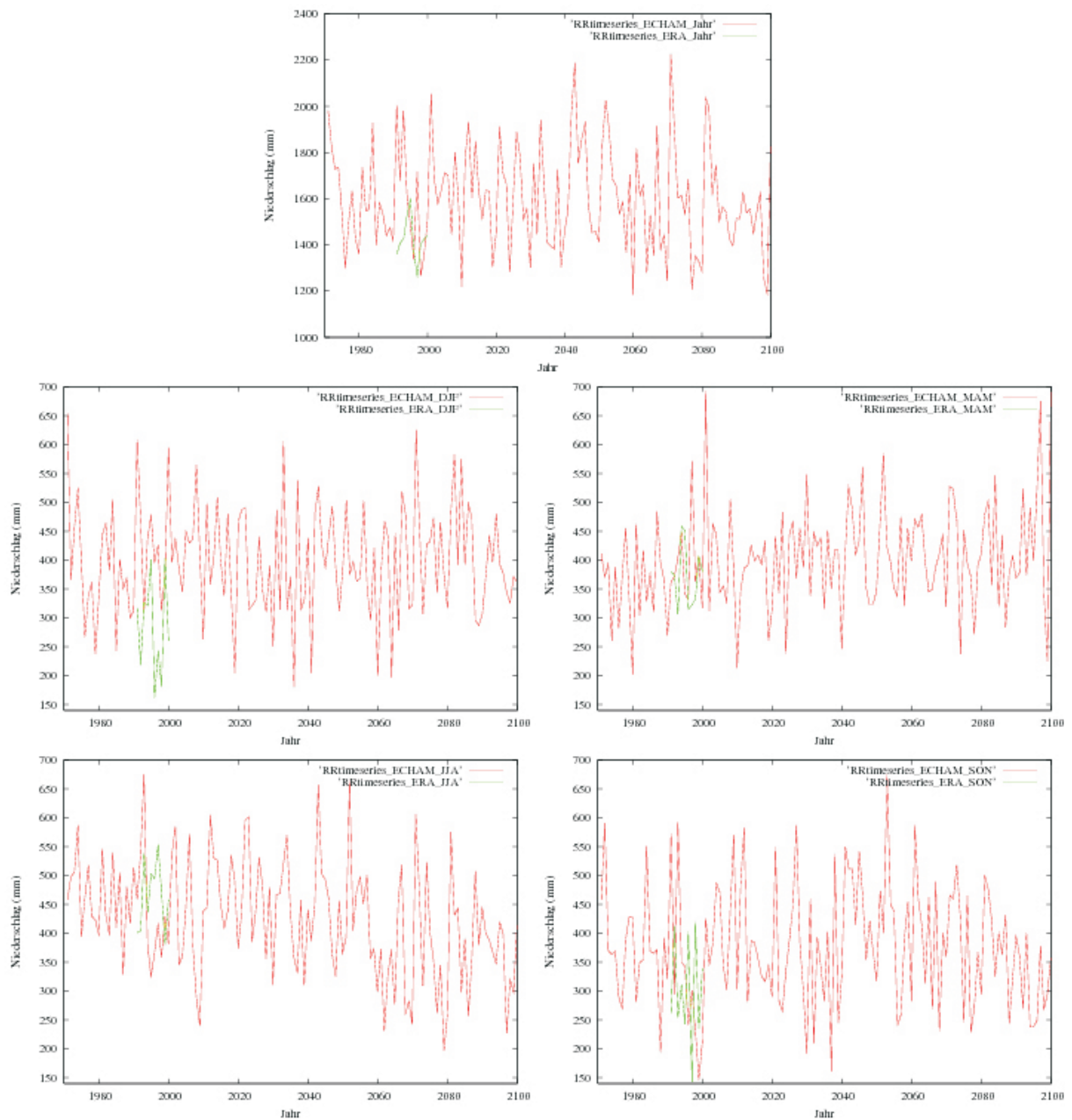
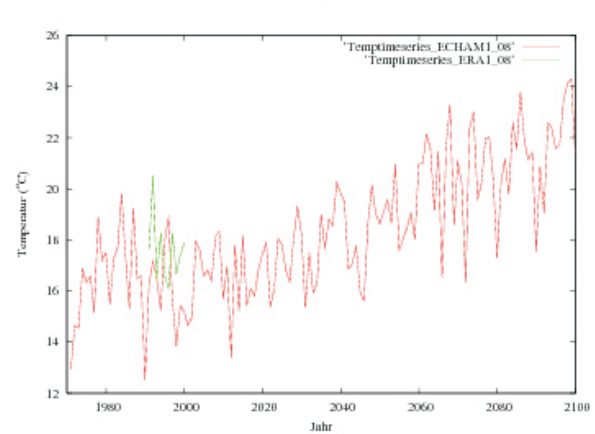
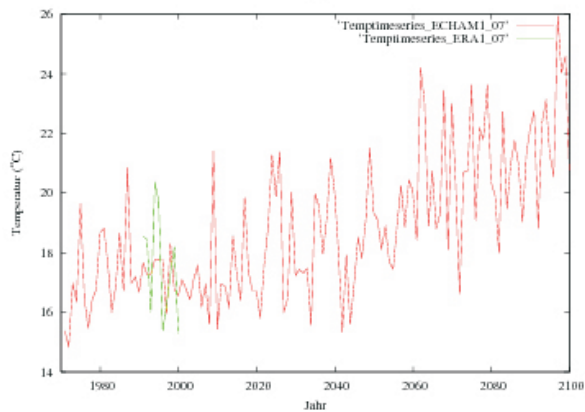
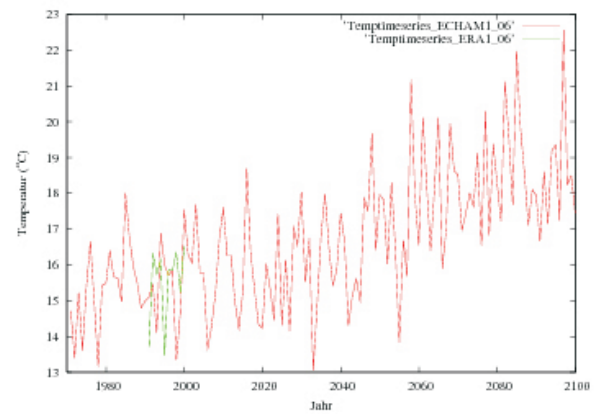
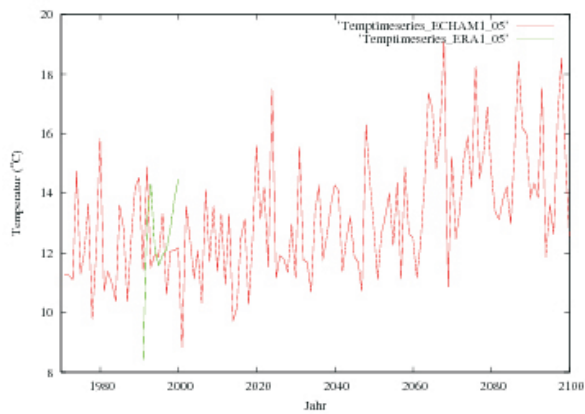
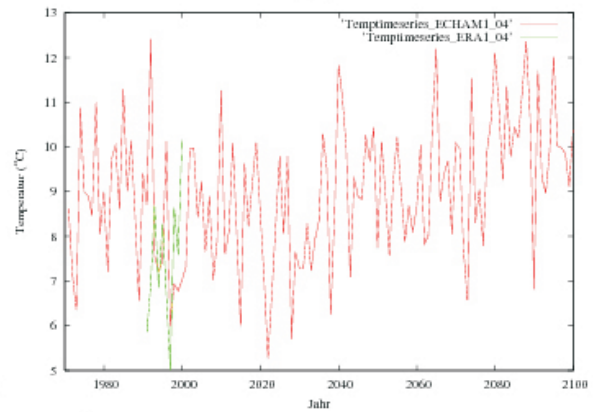
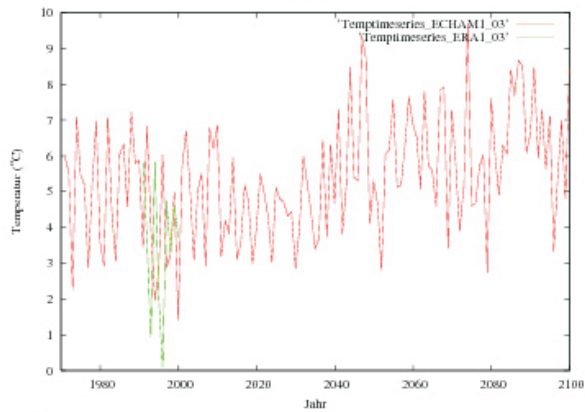
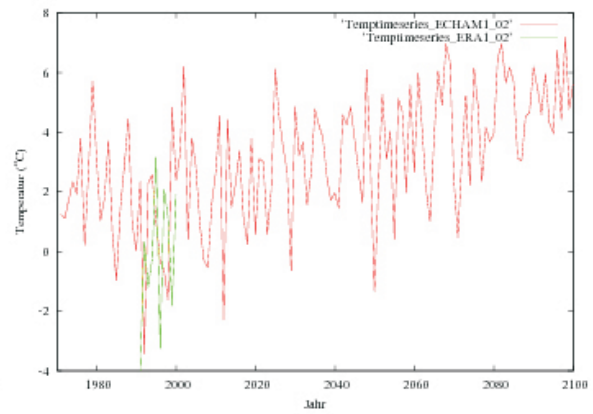
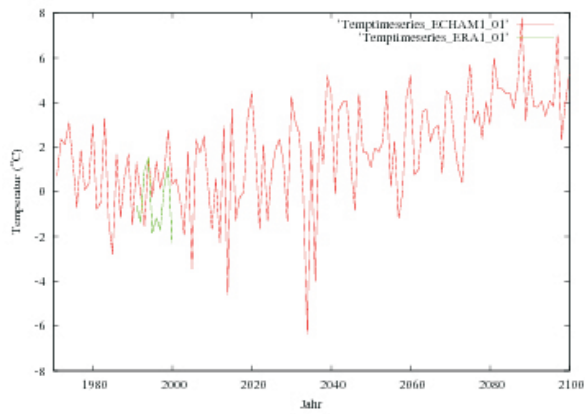


Abb. 7: Jährlicher Gesamtniederschlag eines 20C (20. Jhdt.) bzw. A1B ECHAM5-MM5-Regionalszenarios für die Jahre 1971 bis 2100 (oben) und saisonale Gesamtniederschläge des Regionalszenarios (mitte und unten, jeweils rote Kurve). Zum Vergleich Jetztzeitsimulation ERA40-MM5 für die Jahre 1991 bis 2000 (jeweils grüne Kurve)



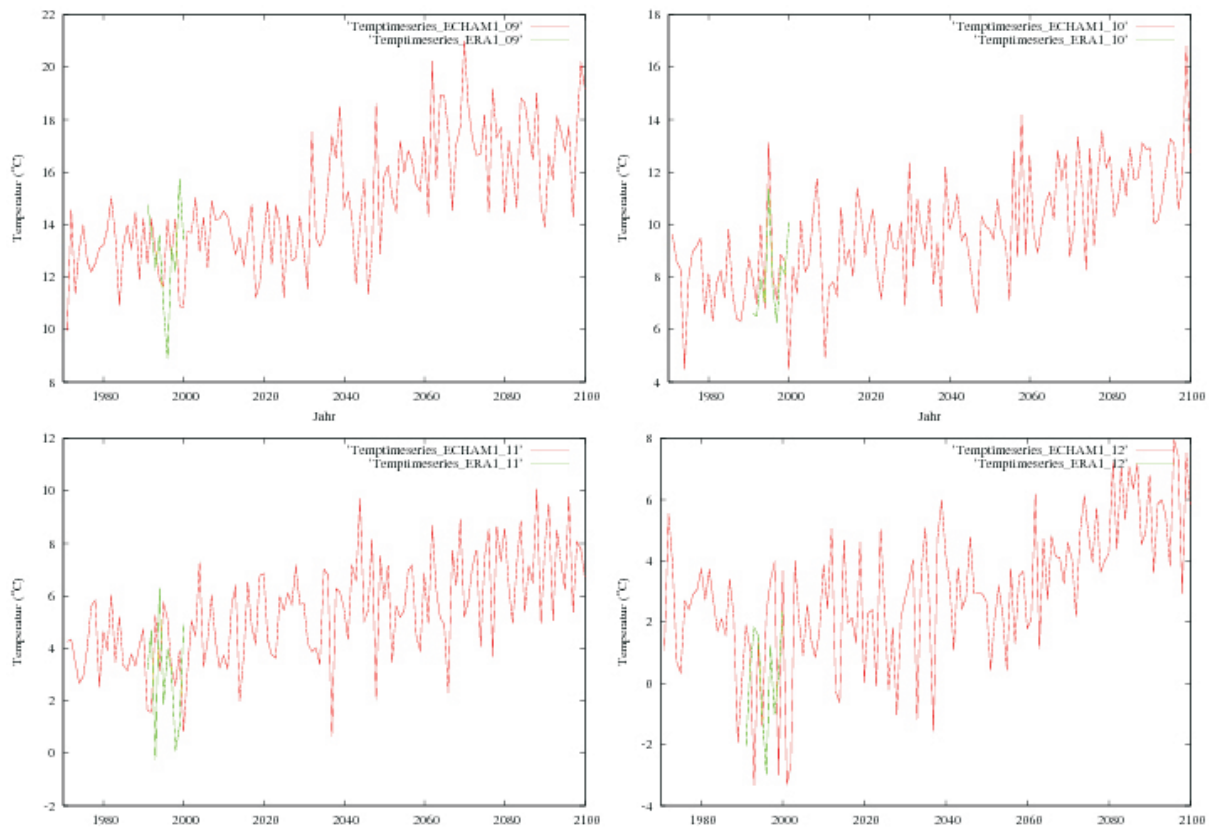


Abb. 9: Monatsmitteltemperatur für die Monate Januar bis Dezember eines 20C bzw. A1B ECHAM5-MM5 Regionalszenarios für die Jahre 1971 bis 2100 (rote Kurven). Zum Vergleich Monatsmitteltemperaturen der Jahre 1991 bis 2000 einer ERA40-MM5 Jetztzeit Regionalsimulation (grüne Kurven)

4. Zusammenfassung und Ausblick

Mittlerweile stehen dem Projekt GLOWA Danube umfangreiche Datensätze von Jetztzeit- und zukünftigen Klimaszenarien zur Verfügung, die von der Gruppe Meteorologie/Mesoskalige Modellierung der Atmosphäre' mit dem Regionalmodell MM5 bzw. *AtmoMM5* erstellt wurden. Dies umfasst Zeitreihen von 1971 bis 2000, die zum einen auf globalen Datensätzen des ERA40-Projekts bzw. zum anderen auf Ergebnissen eines 20C'-Jetztzeitszenario des globalen Klimamodells ECHAM5 basieren. Darüber hinaus ist auch eine Realisierung eines regionalen MM5-Zukunftsszenarios, basierend auf einem A1B-Datensatz des ECHAM5, für die Jahre 2001 bis 2100 verfügbar. Aktuell liegen bei der Gruppe HydFern erste Ergebnisse für Langzeitsimulationen des *DANUBIALight*, angetrieben von einem A1B-ECHAM5/MM5-Szenario für die Jahre 2011 bis 2060 vor. Für den Niederschlag musste aufgrund gewisser Defizite des ECHAM5 in der realistischen Simulation der Verhältnisse im alpinen Bereich eine klimatologisch basierte Biaskorrektur angewendet werden, um die Überschätzung der winterlichen Niederschläge auszugleichen; diese Biaskorrektur wird vermutlich auch bei Verwendung von REMO-Datensätzen unumgänglich sein, da REMO von dem gleichen ECHAM5-Datensatz angetrieben wird wie MM5.

Auch die Arbeiten zur interaktiven Kopplung von MM5 und der Landoberflächenmodellierung der Gruppe HydFern im Rahmen der Entwicklungsplattform *DANUBIALight* wurden weiter vorangetrieben. Hierzu wurden als weiterer Zwischenschritt Testsimulationen der Kopplungsrichtung Landoberfläche/*DANUBIALight* nach MM5 durchgeführt, die eine zunächst grundsätzlich korrekte Auslegung der Kopplungsvariablen bzgl. der Flüsse vom Boden in die Atmosphäre bestätigen konnten. Mehr oder weniger erwartungsgemäß zeigt sich jedoch noch Bedarf zu einer weiteren Feinabstimmung der beiden zu koppelnden, bereits in

sich komplexen Teilmodelle, um den erhofften Gewinn der angestrebten voll interaktiven Kopplung tatsächlich voll ausschöpfen zu können.

Zur weiteren Qualitätssicherung der durchgeführten Simulationen für den Referenzzeitraum 1991 bis 2000 wurden die Analysen mit einem weiteren Beobachtungsdatensatz der Niederschläge im Untersuchungsgebiet ergänzt. Dies soll insbesondere der problematischen Niederschlagsmessung in gebirgigem Gelände Rechnung tragen und praktisch eine Art Vertrauensintervall der Niederschlagsbeobachtungen aufspannen, das dann den simulierten Niederschlägen gegenübergestellt wurde. Auch in dieser erweiterten Analyse ergab sich, dass die Simulationen des überarbeiteten MM5 bestens im Vergleich mit Beobachtungen bestehen können. Darüber hinaus wurde auch auf Seiten der Modellierung das zu erwartende Intervall an simulierten Niederschlagsmengen näher beleuchtet. Hierzu wurde ein modellinternes Ensemble an Simulationsrechnungen für die Jahre 1996 bis 1999, die als typische Vertreter der 90er Jahre identifiziert wurden, erstellt. Das Ensemble umfasst sechs verschiedene Realisierungen, die sich aus der Verwendung von drei verschiedenen Konvektionsparametrisierungen und zwei unterschiedlichen Formulierungen der horizontalen numerischen Diffusion ergeben. Die Analyse auf Basis der zwei unterschiedlichen Beobachtungsdatensätze nach verschiedenen Fehlermaßen und aufgeschlüsselt nach den vier Jahreszeiten bestätigte eindrücklich die Bedeutung der Wahl der geeigneten Konvektionsparametrisierung, insbesondere für die konvektiv dominierten Sommermonate, und des Einsatzes eines echt-horizontalen numerischen Diffusionsschemas. Letztlich konnte somit die Richtigkeit der mittlerweile in GLOWA Danube eingesetzten Konfiguration des MM5 deutlich untermauert werden.

Das mit diesem optimal konfigurierten MM5 erstellte A1B-Regionalszenario für die Jahre 2001 bis 2100, das von dem im alpinen Bereich etwas problematischen ECHAM5-Datensatz angetrieben wurde, wurde weiter ausgewertet. Besonders markant ist zum einen ein anhand dieser Simulationen zu erwartender deutlicher Rückgang der sommerlichen und herbstlichen Niederschläge ab dem Jahr 2050. Zum anderen muss auch die Zunahme der bodennahen Temperatur sowohl im Winter als auch insbesondere im Sommer in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts sorgenvoll stimmen.

5. Literatur

- BETTS, A.K. (1986): A new convective adjustment scheme. Part I: Observational and theoretical basis. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 112, S. 677-692.
- BETTS, A.K. und MILLER, M.J. (1986): A new convective adjustment scheme. Part II: Single column tests using GATE wave, BOMEX, ATEX and Arctic air-mass data sets. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 112, S. 693-709.
- BETTS, A.K. und MILLER, M.J. (1993): The Betts-Miller scheme. The representation of cumulus convection in numerical models, EMANUEL, K.A. and RAYMOND, D.J. (Eds.), *Amer. Meteor. Soc.*, 246 S.
- BUONOMO, E., JONES, R., HUNTINGFORD, C. und HANNAFORD, J. (2007): On the robustness of changes in extreme precipitation over Europe from two high resolution climate change simulations, *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 133, S. 65-81.
- CHEN, F. and 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. and 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, S. 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.
- FREI, C. und SCHÄR, C. (1998): A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain-gauge observations, *Int. J. Climatol.*, 18, S. 873-900.
- 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.
- KAIN, J.S. und FRITSCH, J.M. (1990): A one-dimensional entraining/detraining plume model and its application in convective parameterization, *J. Atmos. Sci.*, 47, S. 2784-802.
- KAIN, J.S. und FRITSCH, J.M. (1993): Convective parameterization for mesoscale models: The Kain-Fritsch scheme. The representation of cumulus convection in numerical models, EMANUEL, K.A. and RAYMOND, D.J. (Eds.), *Amer. Meteor. Soc.*, 246 S.
- KAIN, J.S. (2004): The Kain-Fritsch convective parameterization: An update. *J. Appl. Meteor.*, 43, S. 170-181.
- 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, 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.
- SCHWARB, M., DALY, C., FREI, C. und SCHÄR, C. (2001): Mean annual and seasonal precipitation in the European Alps 1971-1990. *Hydrological Atlas of Switzerland*. Plates 2.6 and 2.7, Federal Office for Water and Geology, Bern, Switzerland.
- SIMMONS, A.J. und GIBSON, J.K. (2000): The ERA-40 project plan. ERA-40 Project Report Series, No.1, ECMWF.
- TUSTISON, B., HARRIS, D. und FOUFOULA-GEORGIU, E. (2001): Scale issues in verification of precipitation forecasts. *J. Geophys. Res.*, 106, S. 11775-11784.
- ZÄNGL, G. (2002): An Improved Method for Computing Horizontal Diffusion in a Sigma-Coordinate Model and Its Application to Simulations over Mountainous Topography. *Mon. Wea. Rev.*, 130, S. 1423-1432.

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

Teilprojekt:	Pflanzenökologie
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). 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. Basierend auf den Modellen GECROS (YIN und van LAAR 2005) und CERES (JONES und KINIRY (eds.) 1986) entwickelte und integrierte sie ein Nutzpflanzenwachstumsmodell in das DANUBIA DSS, parametrisierte das Modell für die wichtigsten landwirtschaftlichen Nutzungsarten und validierte das Modell mit eigenen sowie in der Literatur verfügbaren Geländemessungen.
- Herr Dipl.-Geogr. Marius Schmidt (0,5 x BAT IIa/2, Doktorand). Herr Schmidt führte die Arbeiten zur Aufbau und Wartung der Eddy Kovarianz Station fort. Er ergänzte diese Messungen um mikrometeorologische Messungen mit einer Bowen-Ratio. Insbesondere entwickelt Herr Schmidt Algorithmen zur Auswertung von Eddy-Kovarianz Messungen für die Berechnung der Kohlenstoff- und Wasserflüsse. 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) seit 15.06.2008. Herr Reichenau beschäftigte sich mit der Umstellung der Modelle des Teilprojektes Ökosysteme auf dynamische subskalige Landnutzung, mit der Anpassung an das neue *Framework* Danubia 2 und mit der Anpassung und Weiterentwicklung der Modellkomponenten für naturnahe Ökosysteme. Außerdem koordinierte Herr Reichenau die Erstellung von Danubia Light 2, einer für die Szenarienrechnung im Gesamtprojekt einzusetzenden Produktionsumgebung, in der die umweltphysikalischen Komponenten von DANUBIA durch das Modell Promet ersetzt werden

Darüber hinaus wurden die Arbeiten des Teilprojektes aus der Grundausrüstung durch Dr. P. Fiener in der wissenschaftlichen Betreuung und Prof. Dr. K. Schneider in der wissenschaftlichen Betreuung und der Projektkoordination unterstützt.

1.2.2 Studentische Hilfskräfte

Folgende studentische Hilfskräfte wurden aus Projektmitteln finanziert:

- JAVA-Programmierung, Administration der Testumgebung, Systemadministration:
- Peter Neuhaus (01.09.2004-30.04.2008)
- Norman Barth (01.01.2008-30.04.2008)
- Christian Willmes (01.12.2007-30.04.2008)

1.3 Veranstaltungen

1.3.1 GLOWA-Danube (intern)

Bilaterale Gespräche zur Modellkopplung wurden insbesondere mit den Teilprojekten „Agrarökonomie“, „Hydrologie/Fernerkundung“, „Informatik“ und „Umweltpsychologie“ durchgeführt. Die nachfolgende Liste dokumentiert die Beteiligung der Arbeitsgruppe an Koordinationstreffen.

- 14.08.2007 Treffen mit der Arbeitsgruppe „Agrarökonomie“, Hohenheim
- 22.09.2007 -24.09.2007 GLOWA-Danube Klausurtagung, Herrsching
- 17.10.2007-18.10.2007 Techniktreffen mit den von der Umstellung auf dynamische subskalige Landnutzung betroffenen Entwicklern, Köln

1.3.2 Andere Veranstaltungen

- 28.-30.05.2007 15th Nitrogen Workshop „Towards a better efficiency in N use“, Lleida, Spanien (C. Klar).
- 27.-30.11.2007 The 6th European Conference on Ecological Modelling (ECEM '07) „Challenges for ecological modelling in a changing world: Global Changes, Sustainability and Ecosystem Based Management“, Trieste, Italien (C. Klar und V. Lenz-Wiedemann).
- 18.01.2008 ART-Tagung „Herausforderung Klimawandel: Klimawandel - Witterungsrisiken - Landwirtschaft“, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Standort Reckenholz, Schweiz (T. Reichenau).
- 02.-04.04.2008 „International conference on implications of GM crop cultivation at large spatial scales“, Bremen (V. Lenz-Wiedemann).

1.4 Veröffentlichungen und Berichte

1.4.2 Publikationen

- KLAR, C.W., FIENER, P., NEUHAUS, P., LENZ, V.I.S. und SCHNEIDER, K. (2008): Modelling of soil nitrogen dynamics within the decision support system DANUBIA. Ecological Modelling (Submitted).
- KLAR, C.W., LENZ-WIEDEMANN, V.I.S., NEUHAUS, P. und SCHNEIDER, K. (2007): Assessing the impact of agricultural adaptation scenarios on groundwater quality in the Upper Danube basin. In: Challenges for ecological modelling in a changing world: Global Changes, Sustainability and Ecosystem Based Management. Proceedings of the 6th European Conference on Ecological Modelling, November 27-30, 2007, Trieste, S. 271.
- KLAR, C.W., NEUHAUS, P., FIENER, P. und SCHNEIDER, K. (2007): Spatially distributed and process-oriented modelling of nitrogen fluxes on the mesoscale. In: BOSCH, A., TEIRA, M.R. und VILLAR, J.M. (Eds.): Towards a better efficiency in N use, Editorial Milenio, Lleida (Spain), S. 404-406.
- LENZ-WIEDEMANN, V.I.S., KLAR, C.W. und SCHNEIDER, K. (2008): Assessing hydrological impacts of crops in a catchment area. In: Proceedings of the International conference on implications of GM crop cultivation at large spatial scales. April 2-4, 2008, Bremen (accepted).
- LENZ-WIEDEMANN, V.I.S., KLAR, C.W., NEUHAUS, P. und SCHNEIDER, K. (2007): Simulating future crop water demand in the Upper Danube Basin. In: Challenges for ecological modelling in a changing world: Global Changes, Sustainability and Ecosystem Based Management. Proceedings of the 6th European Conference on Ecological Modelling, November 27-30, 2007, Trieste, S. 307.

1.4.2 Poster und Präsentationen

- KLAR, C.W., LENZ-WIEDEMANN, V.I.S., NEUHAUS, P. und SCHNEIDER, K.: Assessing the impact of agricultural management adaptation scenarios on groundwater quality in the Upper Danube basin. The 6th European Conference on Ecological Modelling (ECEM '07) „Challenges for ecological modelling in a changing world: Global Changes, Sustainability and Ecosystem Based Management“ (November 27-30, 2007, Trieste, Italy, Poster).

- KLAR, C.W., NEUHAUS, P., FIENER, P. und SCHNEIDER, K.: Spatially distributed and process-oriented modelling of nitrogen fluxes on the mesoscale. 15th Nitrogen Workshop „Towards a better efficiency in N use (”May 28-30, 2007, Lleida, Spanien, Vortrag).
- LENZ-WIEDEMANN, V.I.S., KLAR, C.W. und SCHNEIDER, K.: Assessing ecohydrological impacts of crops in a catchment area. International conference on implications of GM crop cultivation at large spatial scales. (April 2-4, 2008, Bremen, Vortrag).
- LENZ-WIEDEMANN, V.I.S., KLAR, C.W., NEUHAUS, P. und SCHNEIDER, K.: Simulating future crop water demand in the Upper Danube Basin. The 6th European Conference on Ecological Modelling (November 27-30, 2007, Trieste, Italy, Poster).

1.4.3 Abschlussarbeiten

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. URL: <http://kups.ub.uni-koeln.de/volltexte/2007/2163/>.

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:

1. Flächenhafte Auswertung der Modellergebnisse für Teileinzugsgebiete und das Einzugsgebiet der Oberen Donau,
2. Untersuchung des Skalenverhaltens der Stickstoffausträge,
3. Erstellung und Auswertung erster Szenarien der klimatischen Änderungen und Modifikationen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungspraxis,
4. Anpassung, Test und Weiterentwicklung der Modelle der natürlichen Ökosysteme,
5. Aufbereitung von Eddy-Kovarianz Messdaten und Validierung der modellierten Kohlenstoffflüsse,
6. Ersatz von Regressionsmodellen landwirtschaftlicher Nutzpflanzen,
7. Fehler- und Sensitivitätsanalyse.

Integrative Ziele im Berichtszeitraum bestanden vorrangig darin, die vom Teilprojekt Ökosysteme betreuten Komponenten von DANUBIA zur Verwendung mit dem DANUBIA 2 *Framework* umzustellen.

Folgende Ziele standen im Zentrum der integrativen Arbeiten:

1. Umstellung der Komponente *Biological* zur Verwendung mit DANUBIA 2,
2. Separierung der Komponente *SNT* und Umstellung zur Verwendung mit DANUBIA 2,

3. Erweiterung der Komponenten *Biological* und *SNT* auf dynamische subskalige Landnutzung (zusätzliche Aufgabe, die im Projektantrag für die dritte Phase nicht vorgesehen war).

2.2 Material und Methoden

2.2.1 Initialisierungsdaten für die Stickstoffmodellierung

Um die N-Flüsse flächendeckend für das Obere Donaeinzugsgebiet zu modellieren, wurden digitale Karten der organischen N-Vorräte und des C:N-Verhältnisses in den einzelnen Bodenschichten für die Modellinitialisierung generiert.

Im deutschen Teil des Oberen Donaeinzugsgebietes diente die BÜK 1000 (1:1.000.000) (BGR 1995) als Basisdatensatz. Sie liefert trotz geringer räumlicher Auflösung flächendeckend horizontspezifische Angaben über den organischen Kohlenstoffgehalt (Corg) und das C:N-Verhältnis im Boden. Zum derzeitigen Entwicklungsstand wurde die Verteilung der bodenbürtigen Norg-Gehalte außerhalb des Bereichs der BÜK 1000 (vorwiegend alpine Regionen Österreichs) mit Hilfe von Expertenwissen und empirischen Regeln abgeschätzt.

Räumlich hoch aufgelöste N-Daten waren für den Untersuchungsraum nur regional verfügbar. Teilbereiche des Oberen Donaeinzugsgebiets wurden durch höher aufgelöste Karten abgedeckt. Regional begrenzt liefern die BÜK 200 (1:200.000) und die Standortkundliche Bodenkarte von Bayern (München-Augsburg und Umgebung) (FETZER et al. 1986) horizontspezifische Angaben über die organische Bodensubstanz in einer Auflösung von 200 bzw. 50m.

Aus den Bodenkarten wurden für die Initialisierung der organischen N-Vorräte schichtspezifische Karten des Corg-Gehalts und des C:N-Verhältnisses generiert, die zum Modellstart eingelesen werden. Der Initialisierungswert des Norg-Gehalts ergibt sich aus dem Corg-Gehalt und dem C:N-Verhältnis.

2.2.2 Erweiterung der Modell-Testumgebung

Die Entwicklung einer lokalen Testumgebung wurde während des Berichtszeitraums abgeschlossen. Es besteht nun die Möglichkeit, dynamische und räumlich verteilte Modellläufe für beliebige Teilmengen (Modellverbünde) des Gesamtsystems DANUBIA auf unterschiedlichen Testgebieten durchzuführen.

Flächenhafte Ergebnisse für das gesamte Einzugsgebiet der Oberen Donau und für hoch aufgelöste Teileinzugsgebiete konnten bisher nur mit räumlich homogenen meteorologischen Antriebsdaten oder auf Basis von Klimaregionen berechnet werden. Um entsprechende Berechnungen auch mit heterogenen meteorologischen Antriebsdaten durchführen zu können, wurde die Komponente *Atmostations* in die Testumgebung integriert. Außerdem wurden zusätzliche Dummies entwickelt, die die Komponenten *Snow* und *Actor* ersetzen. Der Modellverbund bestand schließlich aus den Komponenten *Surface*, *Biological*, *Landsurface*, *Soil*, *Atmostations* und *Atmosphäre*.

Durch die Anschaffung eines zusätzlichen Rechners konnte die Rechenzeit so weit reduziert werden, dass nun auch lokal die Modellierung größerer Zeiträume (> 10 Jahre) problemlos und mit adäquatem Zeitaufwand möglich ist.

2.3 Ergebnisse

Im Folgenden werden Modellergebnisse als Karten der Transpiration der Pflanzen und der N-Konzentration im Sickerwasser sowohl für das Einzugsgebiet der Rott als auch der Oberen Donau dargestellt. Zusätzlich wird die Sensitivität der Modelle gegenüber klimatischen Änderungen und Modifikationen der Bewirtschaftungspraxis durch die Modellierung einfacher Szenarien demonstriert. Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse für die Waldflächen sind mit Hilfe des Modells Promet-V (SCHNEIDER 2003) berechnet worden.

2.3.1 Einzugsgebiet der Rott

Das Einzugsgebiet der Rott bot sich aus mehreren Gründen als Testgebiet an: (i) Verfügbarkeit räumlich hoch aufgelöster Metadaten, (ii) mesoskalige Einzugsgebietsgröße (1.056km²), (iii) hoher Anteil landwirtschaftlicher Nutzflächen (Abb. 1) und (iv) große Variabilität der Böden (Abb. 1). Um in späteren Untersuchungen zum Skalenverhalten einzelner Parameter den Vergleich mit mikroskaligen Referenzdaten zu ermöglichen, wurde eine Rasterzellenlänge von 100m gewählt. Aus Gründen der Nachvollziehbarkeit wurde durch die Annahme homogener meteorologischer Bedingungen für das gesamte Testgebiet der Einfluss der Witterung auf die Ergebnisse eliminiert. Die im Folgenden vorgestellten Ergebnisse wurden mit einem Modellverbund aus *Biological-Soil/SNT-Surface* lokal berechnet. Modellausgaben für das Jahr 2000 dienten als Referenz für die Evaluierung der Modellergebnisse.

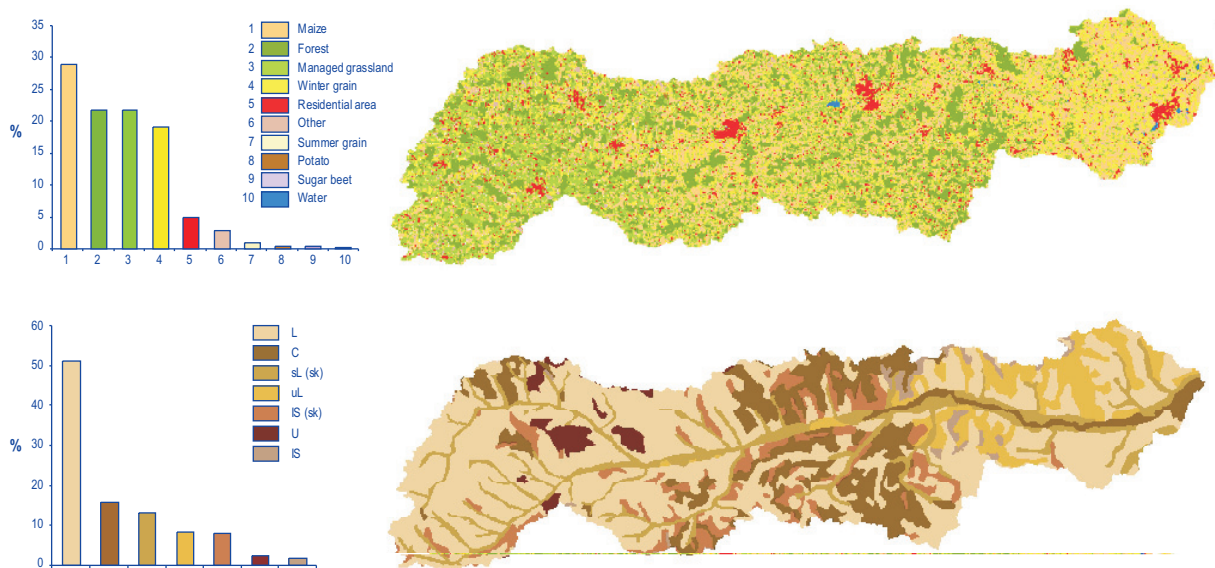


Abb. 1: Prozentuale Anteile und räumliche Verteilung der Landnutzungsklassen (oben) und der Bodenarten (unten) im Einzugsgebiet der Rott

2.3.2.1 AGRICULTURAL ECOSYSTEMS (Nutzpflanzenwachstum)

Die Verteilung der modellierten Transpirationssummen in dem hydrologischen Jahr 1999/2000 wird in Abbildung 2 gezeigt. Betrachtet man die Agrarflächen, so zeigen die Landnutzungen Zuckerrübe und Kartoffel die höchsten Werte. Jedoch lässt die Karte auch Muster erkennen, die nicht allein auf die verschiedenen Landnutzungen zurückzuführen sind. Aufgrund der Annahme von räumlich einheitlichen meteorologischen Messdaten als Modellantriebsgrößen, werden diese Muster eindeutig durch die unterschiedlichen Bodenarten und die somit verschiedenartigen hydraulischen Bodeneigenschaften erzeugt. Die Wasserverfügbarkeit im Boden hat einen unmittelbaren Einfluss auf die Transpiration. Dieser Zusammenhang wird besonders deutlich durch die erhöhten Transpirationssummen entlang der Flusstäler, in denen die Bodenart sandiger Lehm mit günstigen hydraulischen Eigenschaften vorherrscht.

Die Modellergebnisse des hydrologischen Jahres 1999/2000 dienen für die folgenden Untersuchungen als Referenz. Um die Reaktion der Nutzpflanzen auf veränderte Klimabedingungen exemplarisch zu untersuchen, wurden in einem weiteren Modelllauf (Szenario A) die meteorologischen Antriebsgrößen manipuliert. So wurde die heutige atmosphärische CO₂-Konzentration um 95 ppm und die Lufttemperatur um 1,3 °C erhöht, entsprechend den Vorhersagen des IPCC-Emissionsszenarios B2 (IPCC 2001) für das Jahr 2050.

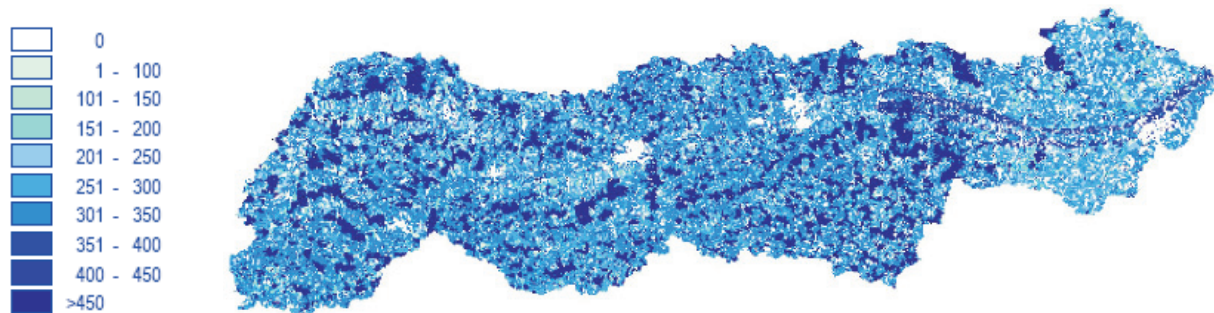


Abb. 2: Modellierte Transpirationssummen (mm/Jahr) vom 01.11.1999 bis 31.10.2000 im Einzugsgebiet der Rott

Die Veränderungen der modellierten Transpirationssummen im Vergleich zu den Referenzergebnissen sind in Abbildung 3 dargestellt. Die Veränderungen der Transpirationssummen finden sich sowohl im positiven als auch im negativen Wertebereich. Das Histogramm (Abb. 4) präsentiert die flächenhaften Anteile der in Abbildung 3 aufgeführten Klassen. Eine starke Abnahme der Transpiration tritt bei den im Westen des Untersuchungsgebietes vorherrschenden bewirtschafteten Wiesenflächen auf. Dieses weist auf eine limitierende Bodenwasserverfügbarkeit hin.



Abb. 3: Veränderungen der modellierten Transpiration für das Szenario A. Die Daten sind als Veränderungen (in Prozent) der Transpirationssumme (01.11.1999 bis 31.10.2000) im Vergleich zu den Referenzergebnissen ausgedrückt

Eine erhöhte atmosphärische CO₂-Konzentration bedingt einerseits eine verstärkte Photosyntheserate, andererseits eine verringerte Transpirationsrate aufgrund der Stomatreaktion. Eine gesteigerte Photosyntheserate kann jedoch unter günstigen Bedingungen (insbesondere Stickstoff- und Wasserverfügbarkeit) zu einer vermehrten Biomasseproduktion und damit zu einem erhöhten Blattflächenindex führen, welches wiederum die Transpirationsrate verstärkt. Die in Abbildung 3 gezeigten Resultate lassen positive Veränderungen in den Flussauen der Rott und ihrer Nebenflüsse erkennen, wo die Böden eine gute Wasserverfügbarkeit aufweisen. Die Untersuchung zeigt deutlich die Sensitivität des Nutzpflanzenwachstumsmodells auf meteorologische und pedologische Verhältnisse. Somit wird eine flächendifferenzierte Analyse der Auswirkungen des Globalen Wandels auf die Wasser-, Kohlenstoff- und Stickstoffflüsse ermöglicht.

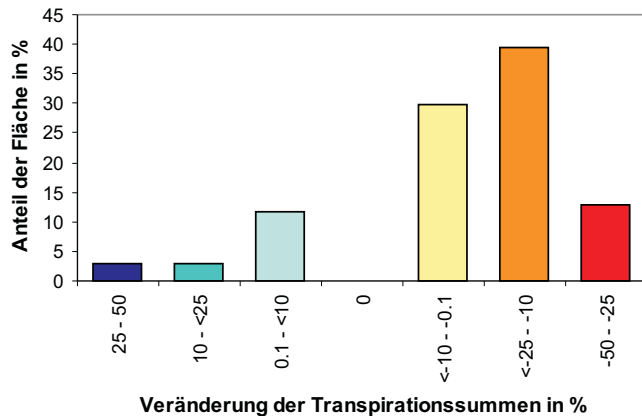


Abb. 4: Flächenhafte Anteile (in %) der in Abb. 3 dargestellten Klassen (Veränderungen in % der Transpirationssumme (01.11.1999 bis 31.10.2000) im Vergleich zu den Referenzergebnissen) im Einzugsgebiet der Rott

2.3.2.2 SOIL/SNT (Stickstoffumsätze und -flüsse)

Die N-Konzentration des Sickerwassers wird in Klassen unterteilt, um eine Unterteilung nach der Höhe der N-Belastung zu ermöglichen. Das Histogramm in Abbildung 5 zeigt die Flächenanteile der N-Konzentrationsklassen für das gesamte Testgebiet im Referenzjahr 2000. Auf 85% der Fläche liegt die modellierte N-Konzentration unterhalb des kritischen Grenzwerts der Nitratrichtlinie (50mg/l) (EU, 1991). Die Lage der stark belasteten Flächen (> 50mg/l) korrespondiert mit der Bodenartklasse sL (sk). Es handelt sich dabei um einen sandigen Lehm mit einem hohen Skelettanteil, der hauptsächlich entlang der Flusstäler vorkommt und durch eine hohe pflanzliche Wasserverfügbarkeit gekennzeichnet ist. Unter den gegebenen meteorologischen Verhältnissen scheint der Entzug durch die Evapotranspiration mit einer reduzierten Grundwasserneubildung einherzugehen. Als Folge davon kommt es zu höheren N-Konzentrationen im Sickerwasser unterhalb des effektiven Wurzelraums. Besonders der östliche Teil des Rotteinzugsgebiets ist durch intensive landwirtschaftliche Nutzung (Winterweizen, Mais) charakterisiert. Hier treten im Vergleich zum stärker durch Wälder und natürliche Wiesen bedeckten westlichen Bereich höhere Belastungswerte des Sickerwassers auf.

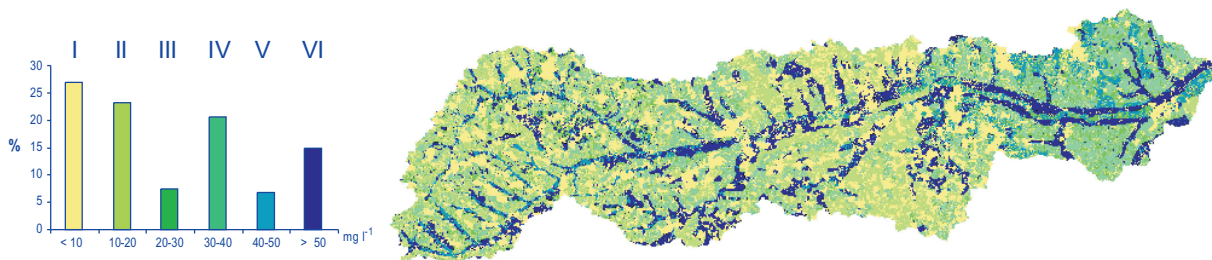


Abb. 5: Prozentuale Anteile und modellierte räumliche Verteilung der N-Konzentrationsklassen im Sickerwasser im Einzugsgebiet der Rott für das Referenzjahr 2000

Um die Sensitivität der N-Konzentration im Sickerwasser und des Pflanzenwachstums auf die N-Verfügbarkeit zu demonstrieren, wurde ein simples Szenario angenommen, bei dem die N-Düngung pauschal um 30% reduziert wurde. Deutlich ist der Effekt der geringeren N-Applikation im Histogramm zu erkennen (Abb. 6). Der Anteil der stark belasteten Klassen V und VI geht jeweils um ca. 3% zurück während die Klasse IV einen Anstieg von knapp 5% verzeichnet. Zusätzlich wird der positive Effekt reduzierter N-Düngung auf die Sickerwasserqualität durch die Zunahme von Klasse I sichtbar, die unkritische N-Konzentrationen unter 10mg/l darstellt. Die meisten Änderungen bewegen sich in der Größenordnung zwischen 0-10mg/l, am stärksten ist der Effekt in den Flusstälern zu erkennen. Hier sind Unterschiede von über 20 mg/l beobachtbar.

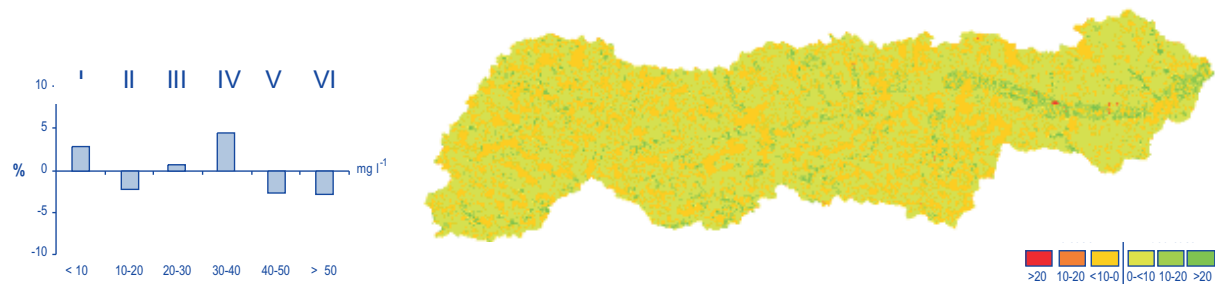


Abb. 6: Prozentuale Änderungen der Flächenanteile und modellierte räumliche Verteilung der N-Konzentrationsklassen im Einzugsgebiet der Rott bei reduzierter N-Düngung

Insgesamt erscheinen die Modellergebnisse unter Berücksichtigung der Randbedingungen in der berechneten Größenordnung und der räumlichen Verteilung plausibel. Die Sensitivität der Modelle gegenüber dem Klimawandel und die Reaktion auf Änderungen der Bewirtschaftungspraxis wurde in zu erwartender und begründbarer Weise abgebildet.

2.3.2 Einzugsgebiet der Oberen Donau

Die hier dargestellten Ergebnisse basieren auf Berechnungen des zuvor beschriebenen Modellverbunds mit dem Unterschied, dass die homogenen meteorologischen Antriebsdaten durch dynamisch modellierte Werte aus der Komponente *Atmostations* ersetzt wurden und die Rasterzellenlänge 1000 m beträgt. Beispielfhaft werden Modellergebnisse für das Jahr 1992 präsentiert.

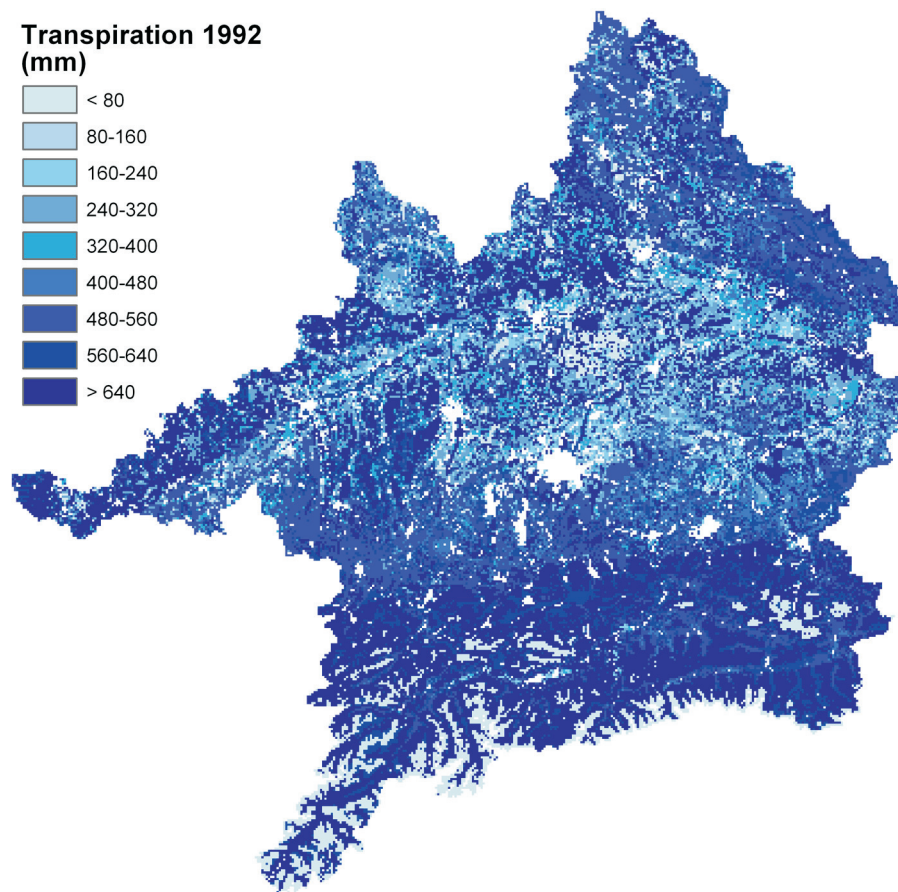


Abb. 7: Räumliche Verteilung der modellierten Transpirationssummen (01.11.1991 bis 31.10.1992) für das Einzugsgebiet der Oberen Donau

2.3.2.1 Agricultural Ecosystems (Pflanzenwachstum)

Die flächenhafte Verteilung der modellierten Transpirationssummen für das hydrologische Jahr 1991/1992 im Einzugsgebiet der Oberen Donau (Abb. 7) lässt eine deutliche Differenzierung erkennen, bedingt durch den Einfluss des Landnutzungsmusters und der naturräumlichen Eigenschaften auf das Pflanzenwachstum.

2.3.2.2 *SOIL/SNT* (Stickstoffumsätze und -flüsse)

Die Variabilität der modellierten N-Konzentration im Sickerwasser im Einzugsgebiet der Oberen Donau zeigt ein sehr heterogenes Raummuster mit Werten zwischen 3 und über 200mg/l (Abb. 8). Bereiche der stärksten Belastung korrespondieren mit den naturräumlichen Landschaftseinheiten der Fränkischen bzw. Schwäbischen Alb und den Jungmoränenlandschaften im Voralpenraum. Diese Landschaftseinheiten sind durch hohe Durchlässigkeiten und eine geringe Schutzfunktion der Böden gegen den N-Austrag gekennzeichnet. Auf der Albhochfläche ist die Filterwirkung bezüglich Nitrat wegen der verkarsteten Ausgangsgesteine abgeschwächt während im Voralpenraum kiesige Schmelzwasserablagerungen durch ebenfalls geringe Filterwirkungen eine potentielle Gefahr für die Grundwasserqualität darstellen. Die N-Konzentrationen entlang des Inntals sind zu hoch, was mit der schlechten Bodendatenverfügbarkeit verbunden ist. Hier ist eine Optimierung der Datengrundlage notwendig, insbesondere hinsichtlich der N-Vorräte im Boden.

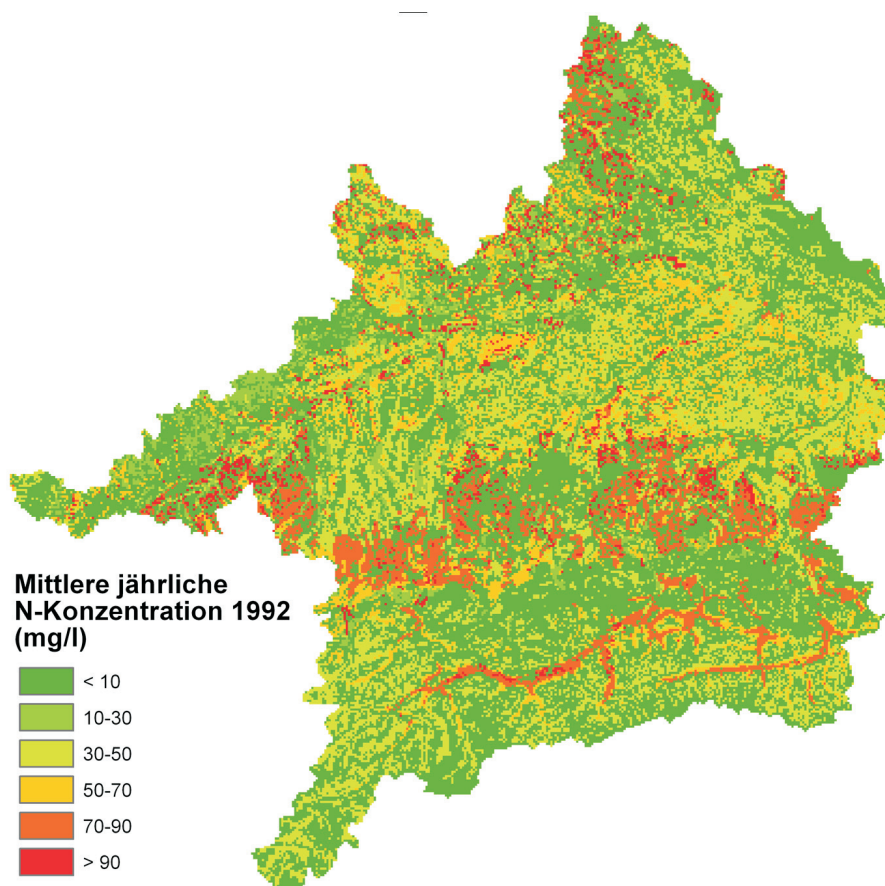


Abb. 8: Räumliche Verteilung der mittleren jährlichen N-Konzentration im Sickerwasser unterhalb des effektiven Wurzelraums

2.3.3 Skalenverhalten der Modellparameter

Zur Untersuchung des Skalenverhaltens der Modellparameter wurden im Berichtszeitraum erste Tests auf unterschiedlichen Skalen (Mikro-, Mesoskala) durchgeführt. Für die Übertragung von SNT von der Mikro- (100*100m) auf die Mesoskala (1000*1000m, Proxel) wurden zwei Regionalisierungsmethoden mit den Ergebnissen der mikroskaligen Modellierung verglichen: (i) das Majoritätsverfahren, hierbei werden die Landschaftscharakteristika eines Proxels durch die dominierende Kombination von Landschaftsparametern innerhalb der Rasterzelle definiert und (ii) das Konzept der Geokomplexe (LUDWIG et al. 2003), bei dem jeder Proxel durch die Definition mehrerer Klassen aus Landschaftsparametersätze und ihres Flächenanteils an der Rasterzelle repräsentiert wird. Wichtig bei der Klassendefinition ist die Aggregation der Informationen unter Beibehaltung der für die N-Modellierung relevanten Angaben. Die so abgeleiteten *subskaligen* Klassen samt ihrem Flächenanteil definieren einen Geokomplex.

In einer ersten Studie wurde mit einem für die Abbildung der Wasserflüsse optimierten Geokomplex-Konzept die Tauglichkeit des Verfahrens für die N-Modellierung getestet. Dabei wurden nur Landnutzung und Bodenart als wichtigste Landschaftsparameter für die hydrologische Modellierung verwendet, um *subskalige* Klassen zu definieren. Wegen ihrer starken Steuerungsfunktion für die Wasserflüsse an der Landoberfläche und ihrer großen raum-zeitlichen Variabilität besitzt die Landnutzung die höchste hydrologische Priorität und wurde daher bei der Klassenbildung in vollem Umfang berücksichtigt.

Die Verwendung von Geokomplexen hat mehrere Vorteile, die im Folgenden am Beispiel eines Proxels demonstriert werden. Diese Studie konzentriert sich auf landwirtschaftliche Nutzflächen. Zur Ableitung der Geokomplexe wurde jeder Fruchtart eine spezifische Bodenart (Bodenart auf der die Nutzpflanze die größte Verbreitung hat) zugeordnet. Auf diese Weise wurde die Anzahl der auf einem Proxel zu modellierenden Klassen von 100 bei mikroskaliger Modellierung auf fünf bei Verwendung der Geokomplexe reduziert. Dies hatte eine Verringerung der erforderlichen Rechenkapazitäten um den Faktor 20 zur Folge. Nach dem Majoritätsverfahren ergab sich als dominante Klasse die Kombination von Mais auf sandigem Lehm.

Für die Validierung wurde die modellierte N-Auswaschung auf Basis der Geokomplexe und der Majoritätsklasse mit dem Referenzergebnis der mikroskaligen Modellierung verglichen. Die mittlere jährliche N-Auswaschung betrug 19,6 kg/ha/a für die mikroskalige Modellierung. Deutlich überschätzt wurde der N-Verlust durch die Verwendung der Majoritätsklasse. Das Verfahren berechnete einen Wert von 35,3 kg/ha/a. Eine wesentlich bessere Übereinstimmung mit der Referenz erzielte das Ergebnis der Geokomplexe, das mit 22,3 kg/ha/a nur eine geringe Überschätzung zur Folge hatte.

Die Majoritätsklasse überschätzt die tägliche N-Auswaschung zu jedem Zeitpunkt, während das Geokomplexe-Ergebnis nur im Frühjahr leicht über dem Referenzwert liegt (Abb. 9). Insgesamt überschätzt das Majoritätsverfahren das Referenzergebnis um 89% und erzielte damit eine wesentlich schlechtere Übereinstimmung als das Geokomplex-Konzept (Abweichung 12%). Abbildung 10 stellt den Vergleich der täglichen N-Verlustraten der einzelnen Verfahren gegenüber.

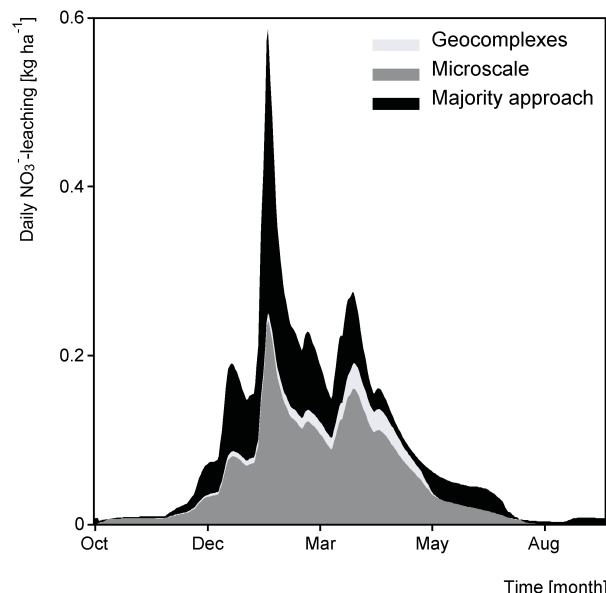


Abb. 9: Jährliche Dynamik der N-Auswaschung. Vergleich zwischen der mikroskaligen Modellierung, des Majoritätsansatzes und der Geokomplexe

Nach der Proxelstudie erfolgte eine erste regionale Anwendung. Dafür wurde das Geokomplex-Verfahren für die Modellierung der N-Auswaschung im Landkreis Passau-Land (1 750 km²) analog zu den bereits beschriebenen Vergleichen für einen Proxel getestet. Die Ergebnisse der unterschiedlichen Klassen auf der Mikroskala wurden zu einem flächengewichteten Mittelwert für ein Proxel aggregiert (Abb. 10) und dienten während des Vergleichs als Referenz. Für den Test wurden im Untersuchungsgebiet homogene meteorologische Bedingungen und eine einheitliche nutzungsspezifische Bewirtschaftungspraxis angenommen

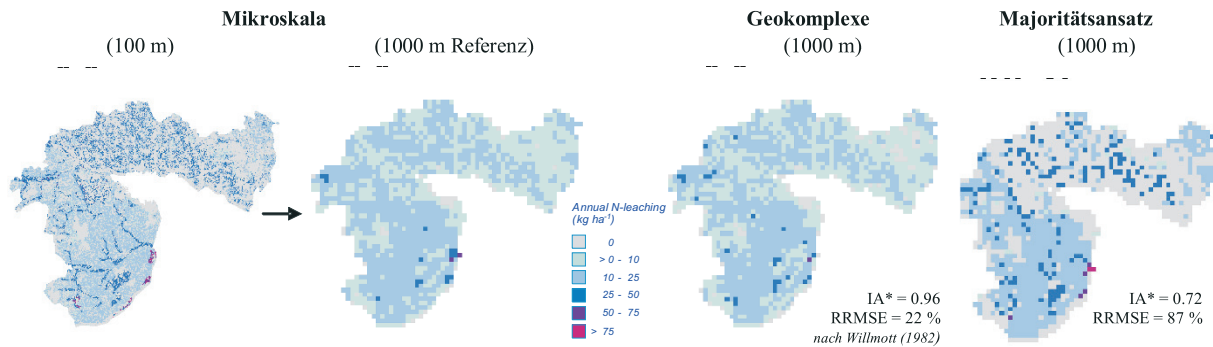


Abb. 10: Räumliche Verteilung der modellierten jährlichen N-Auswaschung im Landkreis Passau-Land (Vergleich der unterschiedlichen Verfahren)

Die mit den Geokomplexen berechneten Ergebnisse (Abb. 11) spiegeln die räumliche Variabilität der N-Auswaschung wesentlich realistischer wider als das Majoritätsverfahren (Abb. 11). In Regionen, in denen die landwirtschaftliche Nutzung nicht dominiert, treten die größten Diskrepanzen zur Referenz auf. Hier bleiben die landwirtschaftlichen Nutzflächen für die Berechnung der N-Auswaschung unberücksichtigt, weil sie nicht die Majoritätslandnutzung waren. Als Ergebnis werden die N-Verluste unterschätzt.

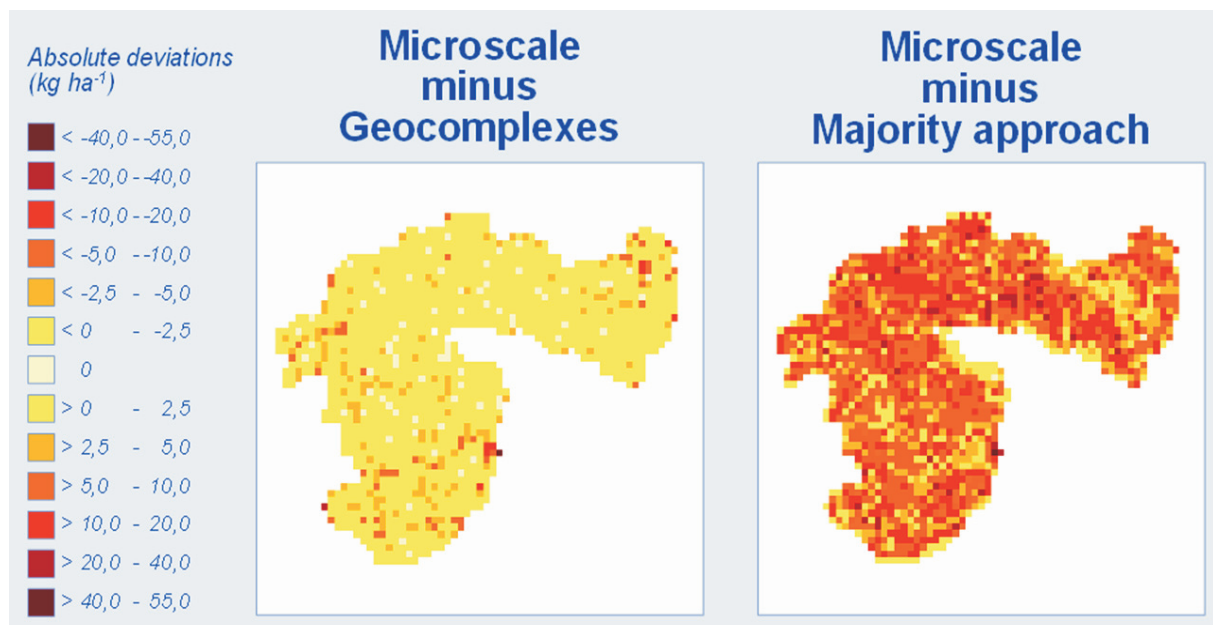


Abb. 11: Differenzbilder des jährlichen N-Austrags. Abweichungen sind als absolute Werte (kg/ha) angegeben

Schon nach den ersten Tests mit simplen Aggregationsregeln zeigen sich die Vorteile des Geokomplex-Konzepts. Die Definition *subskaliger* Klassen bietet eine prozessorientierte, räumlich übertragbare und rechenzeiteffiziente Methode zur Aggregation der landschaftlichen Heterogenität.

Derzeit wird ein Regelwerk entwickelt, das die Bündelung der N-relevanten Landschaftsparameter optimiert. Für die N-optimierte Ableitung *subskaliger* Klassen wird in diversen Studien der Einfluss meteorologischer Parameter (Niederschlag), der Landnutzung bzw. der N-Düngung, der N-Vorräte im Boden sowie der hydraulischen Bodeneigenschaften auf die N-Flüsse untersucht und bei der Regelerstellung berücksichtigt.

2.3.4 Messung von flächenhaften Kohlenstoff- und Wasserflüssen und

Zur Validierung des Pflanzenwachstumsmodells wurden im Jahr 2007 die kontinuierlichen Messungen der Kohlenstoff- und Wasserflüsse sowie meteorologischer und bodenspezifischer Parameter weitergeführt. Die Messungen wurden dabei vom Dikopshof in Wesseling nach Selhausen bei Jülich verlagert. Gemessen wurde auf einem Rübenfeld.

Wie im Abschlußbericht Phase II näher beschrieben, konzentrierten sich die Arbeiten auf die fachgerechte Prozessierung, Korrektur und Qualitätssicherung der über die Eddy Kovarianz Methode (EC-Methode) ermittelten Stoff- und Energieflüsse. Abbildung 12 zeigt die detaillierte Vorgehensweise bei der Ermittlung der Flüsse.



Abb. 12: Schema der Datenprozessierung und der einzelnen Korrekturverfahren für die Ermittlung der Kohlenstoff- und Wasserflüsse

Seit 2006 wurde das Auswertungsschema um einen „Gap Filling Algorithmus“ und das sogenannte „Flux Partitioning“ ergänzt. Zurzeit wird der „Gap Filling Algorithmus“ nach REICHSTEIN (2005) erprobt, welcher die Schließung von durch Stationsausfälle hervorgerufenen Datenlücken und die Anwendung von Qualitätskriterien ermöglicht. Ziel ist die Schaffung eines vollständigen Datensatzes, vor allem für die Berechnung von täglichen, monatlichen und jährlichen Kohlenstoff- und Wasser-Bilanzen auf der Feldskala. Abbildung 13 zeigt am Beispiel des Monat Juli 2007 eine solche Bilanzierung.

Auf der linken Seite ist der mittlere tägliche Verlauf des Netto-CO₂-Flusses (NEE) dargestellt. Die vertikalen roten Balken zeigen die Standardabweichung der gemittelten halbstündigen Flussbeobachtungen. Der dargestellte CO₂-Fluss ist als Bilanz aus zwei voneinander unabhängigen CO₂-Flüssen zu verstehen. Tagsüber dominiert ein von der Photosynthese hervorgerufener CO₂-Fluss, der von der Atmosphäre in die Pflanze gerichtet ist. Dieser wird als GEP (Gross Ecosystem Productivity) bezeichnet und wird in der Abbildung 13 durch die negativen Werte repräsentiert. In der Nacht, wenn die Photosynthese der Pflanzen zum Erliegen

gekommen ist, dominiert der durch die Respiration von Pflanzen und Bodenorganismen hervorgerufene CO_2 -Fluss vom Boden in die Atmosphäre. Dieser wird als R_{eco} (Ecosystem Respiration) bezeichnet und ist in Abbildung 13 an den positiven nächtlichen Werten zu erkennen.

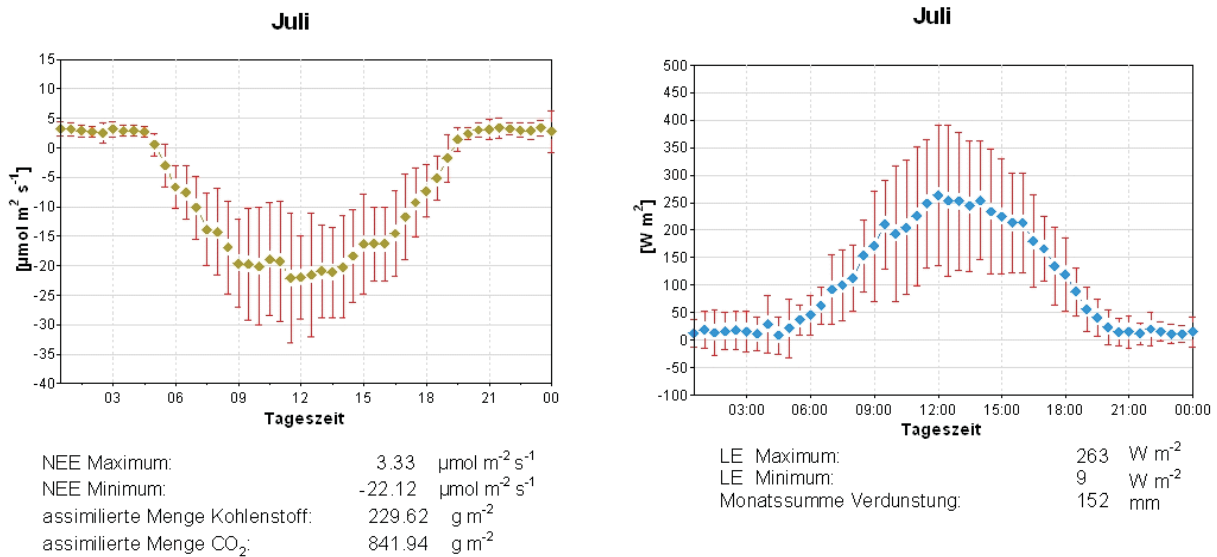


Abb. 13: Mittlerer täglicher Verlauf des Netto- CO_2 -Flusses (NEE) und des latenten Wärmeflusses (LE) im Juli 2007 über einem Zuckerrübenfeld in Selhausen

Der mittlere tägliche Verlauf des latenten Wärmestroms (LE, Abb. 13) wird primär durch den Tagesverlauf der Einstrahlung bestimmt. Während nachts kaum Verdunstung zu verzeichnen ist und durch Kondensation an Boden und Vegetation gelegentlich auch ein negativer latenter Wärmestrom zu beobachten ist, sind die größten Werte des latenten Wärmestroms zur Mittagszeit, also bei maximalem Strahlungsangebot zu beobachten.

Die monatlichen Bilanzen für den Netto- CO_2 -Fluss und den latenten Wärmestroms liegen für den gesamten Messzeitraum vor und werden im Zuge der kontinuierlichen Messungen weitergeführt.

Für die Validierung des Pflanzenwachstumsmodells ist die Anwendung eines „Gap Filling Algorithmus“ jedoch nicht notwendig. Für den Vergleich zwischen Modell und Messung werden lediglich Flussmessungen der höchsten Qualitätsstufe verwendet (s. Abschlußbericht Phase II).

Für die Validierung des Pflanzenwachstumsmodells wird ein weiterer Arbeitsschritt notwendig: Der mit der EC-Methode bestimmte Netto- CO_2 -Fluss ist nicht direkt mit dem vom Modell ausgegebenen CO_2 -Fluss vergleichbar, da letzterer allein auf der modellierten CO_2 -Assimilation der Pflanzen beruht. Um die Messungen mit dem Modellausgaben vergleichbar zu machen wurde ein sogenanntes „Flux Partitioning“ durchgeführt. Mit dem „Flux Partitioning-Ansatz“ von REICHSTEIN (2005) ist es möglich den an der Eddy Kovarianz Station gemessenen CO_2 -Fluss auf statistischem Wege wieder in seine Komponenten, also den durch die Photosynthese hervorgerufenen Fluss (GEP) und den durch die ökosystemare Respiration hervorgerufenen Fluss (R_{eco}) zu separieren. Ersterer kann nun direkt für den Vergleich zwischen Modell und Messung verwendet werden. In Abbildung 14 ist ein solcher Vergleich für die Vegetationsperiode 2007 dargestellt. Für den Modelllauf wurden als Eingabeparameter ausschließlich Zeitreihen von meteorologischen und bodenspezifischen Parametern verwendet, welche direkt an der Eddy Kovarianz Station im Untersuchungsjahr gemessen worden sind.

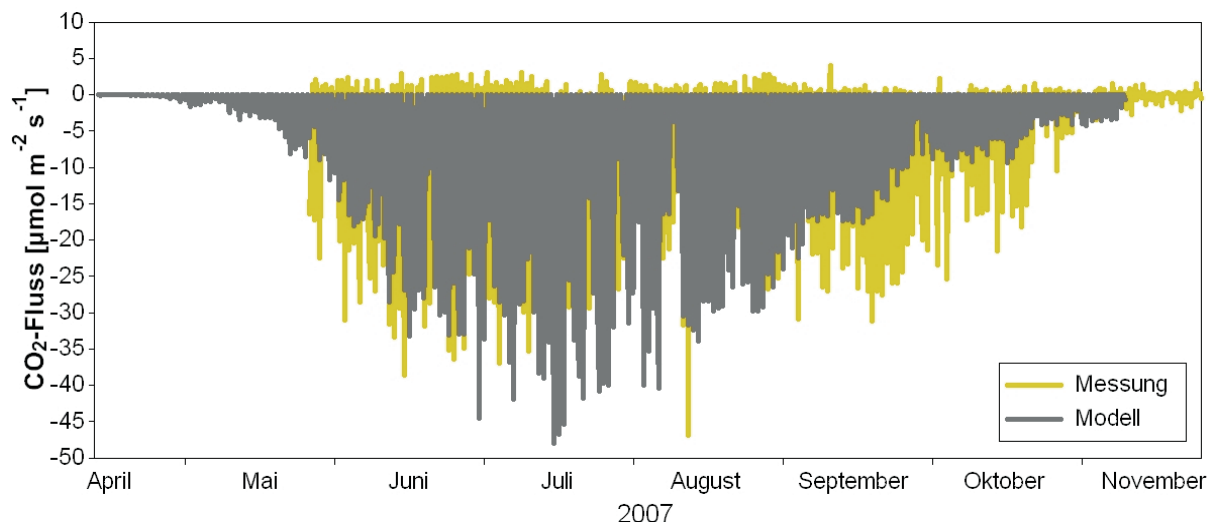


Abb. 14: Vergleich zwischen modellierten und gemessenen CO_2 -Flüssen (GPP) der Vegetationsperiode 2007

Generell stimmen die modellierten und gemessenen Flüsse gut überein. Insgesamt zeigen die gemessenen Flüsse eine größere Amplitude. An den positiven Messwerten erkennt man, dass der verwendete „Flux Partitioning Algorithmus“ noch nicht optimal eingestellt ist, da nach der Abtrennung des R_{eco} keine positiven CO_2 -Flüsse mehr zu erwarten sind. Abweichungen zwischen Modell und Messung sind vor allem in der Anwuchsphase und während der Seneszenz zu beobachten.

2.4 Natural Ecosystems

Die vom nicht mehr an GLOWA-Danube beteiligten Teilprojekt „Natürliche Ökosysteme“ aufgestellten Modelle erfüllen ihre Funktion nur sehr eingeschränkt. Die notwendigen Arbeiten zur Verbesserung dieser Modelle wurden begonnen. Aufgrund des erheblichen zusätzlichen Aufwandes für die Anpassung der Komponenten und Antriebsdaten von DANUBIA zur Koppelung mit Promet (s. Abschnitt 3.1) sind diese Arbeiten bisher noch nicht abgeschlossen.

3. Integrative Arbeiten

3.1 Koordinierung der Entwicklung von DANUBIA Light 2

Auf der GLOWA-Danube Klausurtagung in Herrsching wurde beschlossen, die ersten Szenarienläufe mit einer Kombination aus DANUBIA-Komponenten und dem Modell Promet durchzuführen. Promet übernimmt dabei die Funktion der umweltphysikalischen Komponenten *RadiationBalance*, *Surface*, *Soil*, *Groundwater* und *Atmosphere*. Außerdem fungiert es als *LandsurfaceController*. Diese neue kombinierte Struktur wird „*Danubia Light 2*“ genannt.

Danubia Light 2 soll, wie auch für DANUBIA 2 vorgesehen, in der Lage sein, auf einem Proxel mehrere unabhängige Landnutzungen zu simulieren und dynamische Veränderungen der Zusammensetzung der Landnutzung zu ermöglichen (dynamische *subskalige* Landnutzung). Die Komponenten von DANUBIA 2 werden ohne technische Anpassung auch mit *DANUBIA Light 2* arbeiten können.

Prof. K. Schneider wurde die Leitung des zur Entwicklung dieser neuen Struktur eingesetzten Technikteams übertragen. Die Entwicklung wurde von Köln aus koordiniert.

3.2 Schnittstellenentwicklung und Kopplung mit anderen Teilmodellen

Auf dem Techniktreffen in Köln wurde die in Abbildung 15 dargestellte Struktur entwickelt. Eine neue Komponente *NaturalEnvironment* wurde eingeführt, die die in Abschnitt 3.1 aufgezählten Komponenten vereinigt. Diese neue Komponente wird vom Teilprojekt „Hydrologie und Fernerkundung“ in München betreut.

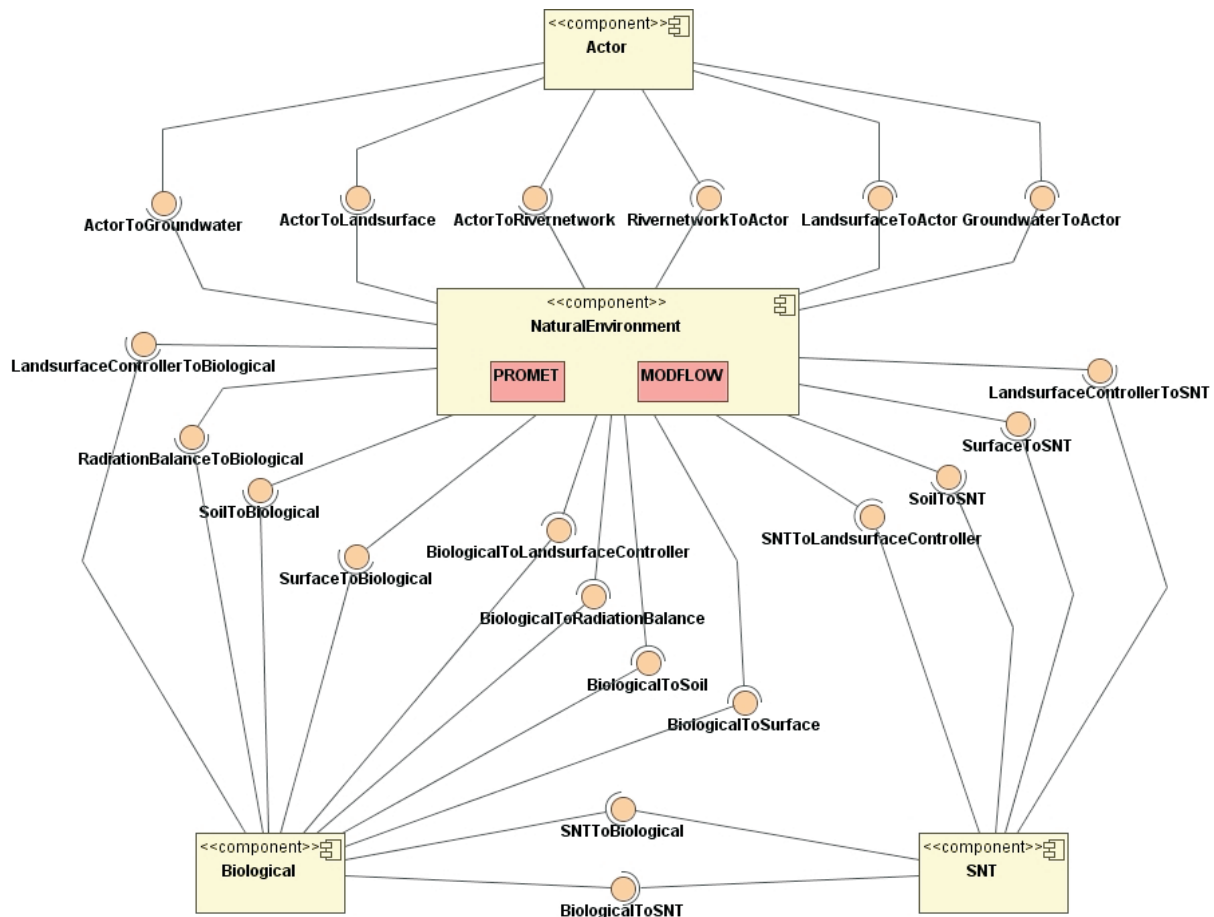


Abb. 15: Struktur von DANUBIA *Light 2*. Dargestellt sind die beteiligten Komponenten und Schnittstellen

Da die Komponente *Soil* in DANUBIA *Light 2* in *NaturalEnvironment* aufgeht, wurde das Modell der Stickstoffflüsse als separate Komponente *SNT*.

Alle Schnittstellen wurden komplett überarbeitet. Die angebotenen Methoden wurden auf die tatsächlich verwendeten reduziert. Überall dort, wo keine *subskaligen* Informationen vorliegen, werden die Daten als Felder von primitiven Typen übertragen. Auf diese Weise konnte das Volumen der über das Netzwerk zu übertragender Daten reduziert werden. Zu diesem Zweck wurden entsprechende neue Datentypen ergänzt. Auch für den Austausch *subskaliger* Daten wurden neue Datentypen auf Basis der bereits in DANUBIA 1 existierenden *Collection*-Datentypen erstellt.

Biological - NaturalEnvironment

Zwischen *Biological* und der neuen Komponente *NaturalEnvironment* wurden alle diejenigen Schnittstellen eingerichtet, die in DANUBIA 1 zwischen *Biological* und den Komponenten *RadiationBalance*, *Surface*, *Soil* und *LandsurfaceController* bestanden. Aus der Schnittstelle zwischen *Biological* und *Soil* wurden die Methoden zur Interaktion mit *SNT* entfernt. Abgesehen von meteorologischen Größen, der Transpiration und dem landwirtschaftlichen Ertrag werden alle Daten *subskalig* übertragen.

SNT - NaturalEnvironment

Der Datenaustausch, der zwischen *SNT* und *NaturalEnvironment* stattfindet, verlief in DANUBIA 1 über die Komponente *Soil*. Für DANUBIA 2 wurden separate Schnittstellen für das nun als eigenständige Komponente existierende *SNT* erstellt.

Biological - SNT

Auch die zwischen *SNT* und *Biological* auszutauschenden Informationen über Kohlenstoff und Stickstoff im Boden wurden in DANUBIA 1 über die Komponente *Soil* ausgetauscht. In DANUBIA 2 gibt es nun direkte Schnittstellen, über die die *subskaligen* Informationen übertragen werden.

Biological – Farming

Biological stellt an seiner Schnittstelle zu *Farming subskalig* Informationen über den landwirtschaftlichen Ertrag jeder Feldfruchtkultur zur Verfügung. Für Grünländer und Grünfütterkulturen wird die gesamte oberirdische Phytomasse übergeben. Um *Farming* die Entscheidung über den geeigneten Düngezeitpunkt zu ermöglichen, wurde die Schnittstelle um eine Methode zur Abfrage des aktuellen Entwicklungsstandes einer Kultur erweitert.

Von *Farming* an *Biological* wird übertragen, wann Grünländer zu schneiden sind. Saat- und Erntezeitpunkte brauchen in DANUBIA 2 nicht mehr über die Schnittstelle übertragen zu werden, da Information über die aktuelle Landnutzung über die neue Landnutzungskomponente allen Komponenten zur Verfügung gestellt wird.

SNT - Farming

Farming übergibt an *SNT* die eingesetzten Düngemengen. Diese Daten sind *subskalig* und es wird wie bisher zwischen mineralischen und organischem Dünger unterschieden. Von *SNT* werden keine Daten an *Farming* übergeben.

SNT - Groundwater

Zwischen *SNT* und *Groundwater* werden Informationen über den Stickstoffgehalt im Sicker- und Grundwasser ausgetauscht. Dies geschieht auf der Proxelskala.

3.3 Umstellung der vom Teilprojekt Ökosysteme entwickelten Komponenten zur Verwendung mit dynamischer *subskaliger* Landnutzung im *Framework* DANUBIA 2

Zur dritten Förderphase von GLOWA-Danube wurde das DANUBIA *Framework* 2 eingeführt. Es bietet durch die neue Landnutzungskomponente die Möglichkeit, die Landnutzung während eines Modelllaufs dynamisch auf *subskaliger* Ebene zu verändern. Außerdem wurden einige grundlegende Modellstrukturen geändert.

Alle DANUBIA-Komponenten mussten auf die Verwendung mit dem neuen *Framework* umgestellt werden. Da die Umweltphysikkomponenten in DANUBIA 2 vorerst nicht vollständig in Java implementiert, sondern in Form des Modells *Promet* an das DANUBIA-*Framework* angebunden werden, musste das Modell der Stickstoffumsetzungen im Boden aus der ehemaligen Komponente *Soil* entfernt und als eigene Komponente *SNT* aufgestellt werden.

Die Komponenten *SNT* und *Biological* mussten gleichermaßen erweitert werden. In Abbildung 16 ist beispielhaft die neue Struktur von *Biological* dargestellt: Unterhalb der Ebene der Proxel wurde die zusätzliche Hierarchiestufe der *Subproxel* eingerichtet. Ein solches Subproxel wird für jede auf einem Proxel vorkommende Landnutzung angelegt. Bei Änderung der Zusammensetzung der Landnutzungen auf einem Proxel werden entsprechende Subproxel

neu erzeugt oder entfernt. Um sicherstellen zu können, dass dabei die Massenbilanzen geschlossen bleiben, wird die Fläche einer entfernten Landnutzung mindestens für die Dauer eines Zeitschritts dem Landnutzungstyp „bareField“ zugewiesen, bevor sie von einem neuen Landnutzungstyp belegt werden kann. Für diese Zwecke wurden neue Algorithmen entwickelt, durch die sichergestellt ist, dass die Massenbilanzen immer vollständig geschlossen bleiben.

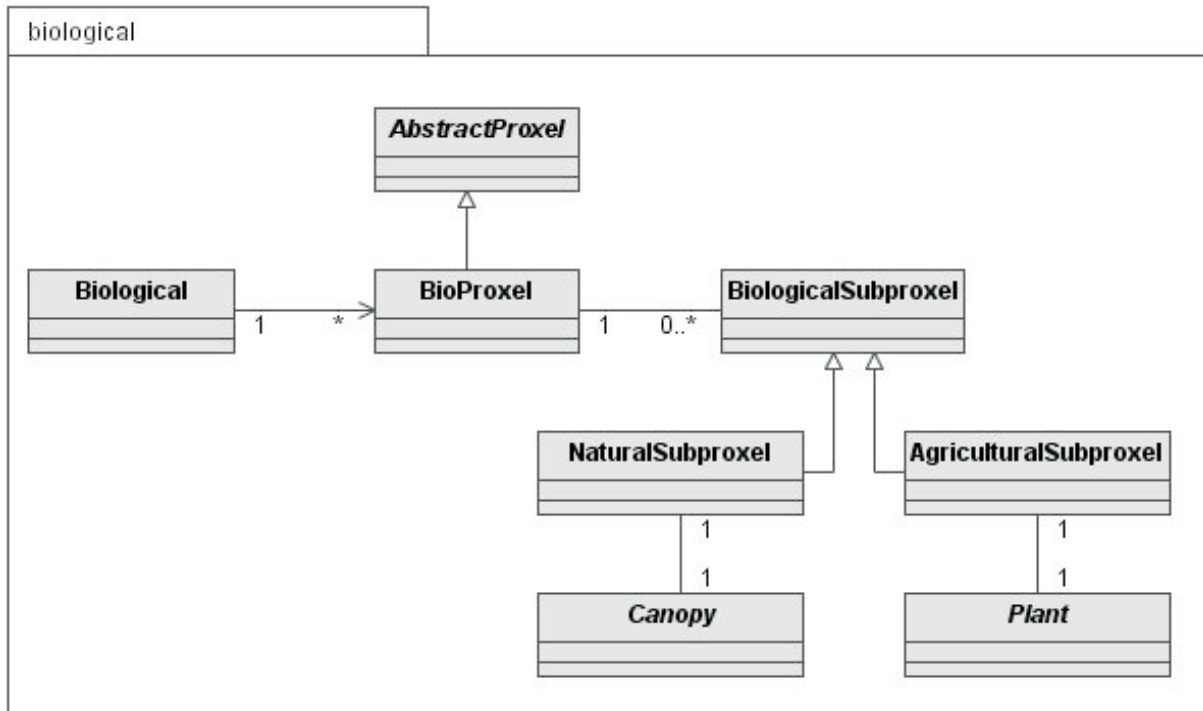


Abb. 16: UML-Diagramm der neuen Struktur der Komponente *Biological*

Die Schnittstellen werden je nach Bedarf der interagierenden Komponenten mit *subskaligen* oder auf das gesamte Proxel aggregierten Daten bedient.

Zum Testen von *SNT* und der neuen Version von *Biological* wurden geeignete Dummies entwickelt.

Neben *Biological* und *SNT* wurden auch alle benötigten Hilfspakete an das neue Framework angepasst.

3.4 Erstellung einer Landnutzungskarte zur Verwendung mit DANUBIA *Light 2*

Promet, das Teil von DANUBIA *Light 2* ist (Abbildung 15), kann maximal zehn Landnutzungen pro Proxel verwalten. Da für die dynamische *subskalige* Landnutzungsänderung auf jedem Proxel jederzeit der Landnutzungstyp „bareField“ existieren muss, sinkt die Maximalzahl auf neun Landnutzungen pro Proxel. Die Auswertung der bisher im Projekt verwendeten *subskaligen* Landnutzungskarte und der vom Teilprojekt Agrarökologie angegebenen maximalen Anzahl von landwirtschaftlichen Nutzungen pro Proxel ergab, dass auf 4593 Proxeln die Maximalzahl von neun überschritten wird.

Ausgehend von der existierenden *subskaligen* Landnutzungskarte wurden Änderungen auf Basis folgender Regelungen durchgeführt:

- die Anzahl Verschiebungen des gesamten Flächenanteils eines bebauten Landnutzungstyps („builUpInd“, „builtUpRes“) von einem Proxel auf ein anderes wird möglichst gering gehalten
- eine Veränderung des Flächenanteils eines bebauten Landnutzungstyps auf einem Proxel wird einer Verschiebung auf ein anderes Proxel vorgezogen
- die Summen der Flächenanteile einzelner Landnutzungstypen innerhalb eines Landkreises bleiben erhalten
- die Anzahl Proxel mit bebauten Landnutzungstypen innerhalb eines Landkreises bleibt erhalten
- die Flächenanteile der Landnutzungstypen „agriculture“, „rock“ und „glacier“ werden nicht verändert

Anhand dieser Regelungen wurde ein heuristisches Regelwerk aufgestellt und in der Programmiersprache Perl implementiert.

Eine den Kriterien entsprechende Landnutzungskarte konnte erstellt werden. Es mussten dazu 10846 Landnutzungsänderungsoperationen mit Austausch von Flächenanteilen zwischen je zwei Proxeln durchgeführt werden. Bei 5693 dieser Landnutzungsänderungsoperationen wurden einzelne Landnutzungstypen von einem Proxel komplett entfernt und auf einen anderen Proxel verschoben. Die übrigen Operationen beinhalteten nur eine Änderung der Flächenanteile.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Während des Berichtszeitraums konnte die Funktionalität der Modelle *Biological* und SNT für die integrative Analyse der Auswirkungen des Globalen Wandels auf das Einzugsgebiet der Oberen Donau getestet werden. Dazu wurden lokal in der Testumgebung mehrere einfache Szenarien mit unterschiedlichen Modellverbänden auf der Skala von Einzugsgebieten und Landkreisen berechnet. Die Modellergebnisse zeigen die zu erwartende Sensitivität auf den Klimawandel und Bewirtschaftungsänderungen. Auf diese Weise konnte die Tauglichkeit der Modelle für die räumlich verteilte Analyse der zukünftigen Wasser-, Nährstoff- und Kohlenstoffflüsse für das Einzugsgebiet der Oberen Donau gezeigt werden. Für das kommende Jahr sind folgende sektorale und integrative Arbeiten geplant:

- Erweiterung des Pflanzenwachstumsmodells um weitere Nutzpflanzen,
- Verbesserung des Teilmodells Natural,
- Entwicklung eines Ansatzes zur subskaligen Modellierung der N-Flüsse,
- Erweiterung der N-Initialisierungsdaten um die Gebiete außerhalb der BÜK 1000,
- Integrative Modellierung mit Farming.
- Verbesserung des „Flux Partitioning Algorithmus“ zur Auftrennung der Komponenten der gemessenen NEE
- integrative Entwicklung und Auswertung von Global Change Szenarien

5. Literatur

- BGR (1995): Bodenübersichtskarte 1:1 Millionen, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.), Berlin.
- EU (1991): Nitratrichtlinie (RL 91/676/EWG): Richtlinie des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz von Gewässern vor Verunreinigungen durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen. ABl. Nr. L 375. S. 1.
- FETZER, K.D., GROTTENTHALER, W., HOFMANN, B., JERZ, H., RÜCKERT, G., SCHMIDT, F. und WITTMANN, O. (1986): Standortkundliche Bodenkarte von Bayern 1:50.000 München - Augsburg und Umgebung. Erläuterung zu den Kartenblättern L 7530 Wertingen, L 7532 Schrobenhausen, L 7730 Augsburg, L 7732 Altomünster, L 7734 Dachau, L 7736 Erding, L 7930 Landsberg a. Lech, L 7932 Fürstenfeldbruck, L 7934 München L 7936 Grafing b. München, L8130 Schongau, L 8132 Weilheim i. Ob.,L 8134 Wolfrathshausen und L 8136 Holzkirchen, Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.), München.
- IPCC (2001): Climate Change - The Scientific Basis. - Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, 944 S.
- JONES, C.A. und KINIRY, J.R. (editors) (1986): CERES-Maize: A simulation model of Maize growth and development. College Station, Texas A & M University Press.
- REICHSTEIN, M. et al. (2005): On the separation of net ecosystem exchange into assimilation and ecosystem respiration: review and improved algorithm. In: *Global Change Biology* 11: S. 1424-1439.
- SCHNEIDER, K. (2003): Assimilating remote sensing data into a land-surface process model. In: *International Journal of Remote Sensing* 24: S. 2959-2980.
- WILLMOTT, C.J. (1982): Some comments on the evaluation of model performance. In: *Bulletins of the American Meteorological Society* 64: S. 1301-1313.
- 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, *Stakeholder* (5/2007-4/2008)
- Dipl. Ing. agr. Josef Apfelbeck: Akteur-Modellierung, Ökonomische Modellierung (5/2007-04/2008)
- M.Sc. Marco Huigen: Programmierung und Implementierung *DeepFarming* Konzept (5/2007-4/2008)

1.1.1 Anschaffungen

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

1.2 Veröffentlichungen, Vorträge

1.2.1 Vorträge, Konferenzen

- 01.-02.06.2007 The importance of spatial, temporal and social scales in integrated modeling; simulating the effects of climate change on district- and farm-level decision making in the Danube catchment area. Presentation on the International Conference: Eco-Mod Conference on Regional and Urban Modeling, Brussels, (Apfelbeck, J., M. Huigen and Krimly, T.).
- 03.-04.04.2008 Teilnahme am 2. Zirkular zum 4. Nationalen Kolloquium NKGCF „Umgang mit dem Klimawandel -Landnutzung im Spannungsfeld von Ressourcenschutz, Nahrungs- und Energienachfrage“, Bad Honnef.

1.2.2 Teilnahme an Projektinternen Treffen

- 20.07.2007 Projektleitertreffen in München
- 14.08.2007 Bilaterales Arbeitstreffen mit der Arbeitsgruppe Agrarökologie in Hohenheim
- 21.-24.09.2007 Klausurtagung des Projekts in Herrsching
- 17.-18.10.2007 Techniktreffen in Köln
- 19.10.2007 Projektleitungstreffen in München
- 19.11.2007 Telefonkonferenz der Stakeholdergruppe

- 14.12.2007 Szenariotreffen am MPI in Hamburg

1.2.3 Veröffentlichungen

- APFELBECK, J., HUIGEN, M. und KRIMLY, T. (2007): The importance of spatial, temporal and social scales in integrated modeling; simulating the effects of climate change on district- and farm-level decision making in the Danube catchment area. Presented at The Agricultural Economics Society's 81st Annual Conference, University of Reading, UK, 2nd to 4th April 2007. <http://agecon.lib.umn.edu/cgi-bin/view.pl>.
- 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. *Agrarwirtschaft (German Journal of Agricultural Economics)* 57 (2008), Heft3/4.
- HENSELER, M., WIRSIG, A., HERRMANN, S., KRIMLY, T. und DABBERT, S. (2008): Modelling the impact of global change on regional agricultural land use through an activity based non-linear programming approach. *Agricultural Systems*, (submitted).
- 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, (in prep.).
- 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, (in prep.).
- WIRSIG, A., HENSELER, M., SIMOTA, C., KRIMLY, T. und DABBERT, S. (2007): Modelling the impact of global change on regional agricultural land use in alpine regions. *Agrarwirtschaft und Agrarsoziologie* 1/07, S. 101-116.
- WIRSIG, A., HENSELER, M., KRIMLY, T. und DABBERT, S. (2007): Impact of climate change on agricultural land use in the Austrian Upper Danube catchment - first results of ACRE-Danube. *Jahrbuch der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie*, Band 16, S. 29-40.

1.2.4 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. Schaffung der Datengrundlage

Zur Überprüfung der im Modell *DeepFarming* implementierten heuristischen Entscheidungsbäume (z.B. für die Aussaat von Winterweizen) wurde eine statistische Analyse der aufgezeichneten Phänologiestadien einzelner landwirtschaftlicher Kulturen und Wetterdaten des DWD (Deutscher Wetterdienst, 1970-2003) auf täglicher Basis durchgeführt.

Pro Landkreis standen die Wetterdaten von ein bis zwei Wetterstationen zur Verfügung. Die beobachteten Erscheinungstermine der einzelnen Phänologiestadien wurden zu Beginn der Aufzeichnungen nach Wetterstationen und Landkreisen aufgegliedert im Laufe der Zeit änderte sich dies und ab 1995 wurden die Erscheinungsdaten nach phänologischen Naturräumen aufgeteilt. Die stationsbezogenen Daten sowie auch die Erscheinungsdaten der phänologischen Naturräume wurden den einzelnen Landkreisen zugeordnet und in eine Datenbank eingearbeitet.

Die Daten zu den phänologischen Entwicklungsstadien wurden verwendet, um mögliche Veränderung der Vegetationsperiode darzustellen, und zu untersuchen, welches Entscheidungsverhalten der Landwirte hinter dem spezifischen Aussaattermin einer landwirtschaftlichen Kultur steht. Die Abhängigkeit der Phänologie von Umweltbedingungen - insbesondere von Witterung und Klima - spiegelt sich im jahreszeitlichen Beginn und Ende der jeweiligen phänologischen Entwicklungsstadien wider. Deshalb sind phänologische Beobachtungen in den mittleren und höheren Breiten sensitive Bioindikatoren für Klimaänderungen (CHMIELEWSKI und KÖNH 2002). Die landwirtschaftlichen Kulturen haben in jedem Entwicklungsstadium unterschiedliche Ansprüche hinsichtlich Temperatur und Niederschlag. Mit Hilfe von Temperatursummen oder Tagesdurchschnittswerten der Temperatur ist es möglich die phänologischen Erscheinungstermine abzuschätzen. Der DWD dokumentiert hierbei unterschiedliche phänologische Stadien, von der Bestellung über das Auflaufen bis hin zur Ernte. Die einzelnen Kulturen sind hierbei unterschiedlich exakt dokumentiert, wobei die Hauptkultur Getreide auch mit den meisten Entwicklungsstadien aufgeführt wird. Tabelle 1 zeigt die vom DWD aufgeführten und in die Datenbank eingearbeiteten Entwicklungsstadien.

Tab. 1: Phänologische Entwicklungsstadien des DWD /Quelle: DWD 1970-2003)

Bestellung	Beginn der Ernte
Auflaufen	Beginn der Ernte mit Mähdrescher
Beginn der Blüte	Beginn der Knospenbildung
Vollblüte	Beginn der Rosettenbildung
Bestand geschlossen	Ernte Silomais
Beginn der Gelbreife	Beginn der Milchreife
Beginn der Vollreife	Beginn der Trockenreife

3. GLOWA Atlas

Zum übergeordneten Atlas Kapitel zur Akteur-Modellierung wurde für die Übersicht der DEEPACTOR-Modelle in DANUBIA ein Beitrag für das Modell *DeepFarming* angefertigt. Zudem wurde für das Atlas Kapitel 2.9.2 ein Textbeitrag zum Aufbau und zur Funktionsweise des weiter entwickelten *DeepFarming* Modells ausgearbeitet. Zur Darstellung der Ergebnisse der Initialisierung der Akteure im Einzugsgebiet und der damit verbundenen Landnutzung wurden verschiedene Karten erstellt.

4. *Stakeholder*

Bei der Telefonkonferenz der GLOWA Projektgruppe *Stakeholder* wurden die für die jeweiligen Arbeitsgruppen wichtigen *Stakeholder* ausgewählt. Zudem wurde festgelegt, dass jede Arbeitsgruppe ein Datenblatt zur Information der *Stakeholder* erstellt, das eine kurze Übersicht des verwendeten Modells sowie die Anwendungsmöglichkeiten der Ergebnisse beinhaltet. Das Datenblatt der Arbeitsgruppe Agrarökonomie findet sich im Anhang.

5. *Szenarien*

Im Anschluss an die Szenariendiskussion auf der Klausurtagung in Herrsching wurde eine Übersicht interessanter Szenarien aus Sicht der Agrarökonomie angefertigt. Das agrarökonomische Modellkonzept ist darauf ausgerichtet, die Auswirkungen von Klimaszenarien, agrarpolitischen Szenarien sowie Agrarpreisszenarien zu untersuchen. Wesentliche Schlüsselfaktoren hierbei sind Klimaänderungen, Änderungen der EU-Agrarpolitik, Änderungen auf den Agrarmärkten und die Bewässerung.

Klimaänderungen wirken im Modell über mehrere Stellschrauben, die verschiedene Klimaparameter (Niederschlag, Temperatur), die Bodensättigung (Befahrbarkeit) sowie Änderungen der Erträge umfassen. Interessante Klimaszenarien sind insbesondere:

1. Trockenperioden,
2. Heiße Sommer,
3. Warme Winter,
4. Nassperioden.

Für die Europäische Agrarpolitik lassen sich sehr unterschiedliche Entwicklungen für die Zukunft ableiten. Dies kann beispielsweise im Bereich der ersten Säule der GAP (Gemeinsame Agrarpolitik) von einer Prämienkürzung bis hin zur vollständigen Streichung reichen.

Agrarpreisszenarien sollen mögliche Änderungen auf den Agrarmärkten simulieren. Hierbei wäre ein Hochpreisszenario (Knappheit) als auch ein Niedrigpreisszenario (Überfluss) interessant, um zu simulieren, wie sich solche Preisentwicklungen auf die agrarische Produktion und damit die Landnutzung sowie das Einkommen auswirken. Als Grundlage zur Simulation solcher Szenarien sind Inputdaten zu den erwarteten Preisänderungen bei den Produkten aus bestehenden Welthandelsmodellen nötig.

6. *Weiterentwicklungen und notwendige Anpassungen des Deep-Farming Modells*

6.1 *Implementierung der Bewässerung*

Das Konzept zur Implementierung der Bewässerung wurde mit den Arbeitsgruppen der Modelle *Soil* und *Watersupply* intensiv diskutiert und fertig gestellt. Die Entscheidung der Akteure Kulturen zu bewässern wird von der *soilSaturationFlagCollection* des Modells *Soil* beeinflusst. In Tabelle 2 wird die Bedeutung dieser Flaggen näher erläutert. Wird die Flagge vier angezeigt beginnt der Akteur mit der Bewässerung der Kultur. Die Bewässerung kann allerdings nur dann durchgeführt werden, wenn ausreichend Grundwasser zur Entnahme zur Verfügung steht. Dies ist nur dann der Fall, wenn die *GroundWaterQuantityFlag* des Modells *Watersupply* den Wert 1, 2 oder 3 hat. Bei den Flaggenwerten 4 und 5 darf keine Grundwasserentnahme und damit Bewässerung erfolgen.

Tab. 2: Bedeutung der Flaggen der *soilSaturationFlagCollection* des Modells *Soil* im Hinblick auf die Bewässerung

Flagge	Bedeutung
0	Boden ist Wasser gesättigt und nicht befahrbar
1	Bedingte Befahrbarkeit des Bodens
2	Gute Befahrbarkeit des Bodens
3	Welkepunkt noch nicht erreicht
4	Welkepunkt erreicht; Akteur beginnt mit der Bewässerung

Die notwendigen Bewässerungsmengen für die unterschiedlichen Kulturen wurden aus der Literatur abgeleitet (HYDRO AGRİ DÜLMEN GmbH 1993). Für die Berechnung von Hopfen standen keine Daten aus der Literatur zur Verfügung, deshalb wurden die Berechnungsmengen an die Bewässerungsgaben von Mais angelehnt. Die derzeit übliche durchschnittliche Gesamtberechnungsmenge pro Kultur und Jahr sowie die durchschnittliche Berechnungsmengen pro Kultur und Berechnungsgabe bzw. Berechnungstag sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tab. 3: Durchschnittliche Berechnungsmengen der Kulturen (Quelle: Eigene Berechnungen nach HYDRO AGRİ DÜLMEN GmbH 1993)

Kultur	Durchschnittliche Gesamtberechnungsmenge unter derzeitigem Klima [mm/ha und Jahr]	Durchschnittliche Berechnungsmenge pro Berechnungsgabe/-tag [mm/ha und Tag]
Zuckerrüben	113	28
Kartoffeln	87	29
Silomais	87	22
Mais	87	22
Hopfen	87	22
Leguminosen	43	22
Raps	30	10
Ackerfutter	90	30
Winterweizen	50	13
Wintergerste	50	17
Sommerweizen	50	17
Sommergerste	50	17
Roggen	50	17
Hafer	50	17

Im Jahr 2002 wurden in Bayern und Baden Württemberg 8.649 ha landwirtschaftliche genutzte Fläche (LF) bewässert (STATISTISCHES BUNDESAMT 2004). Dies entspricht bei insgesamt 4.661.900 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche in Bayern und Baden-Württemberg (STATISTISCHES BUNDESAMT 2007) einem Anteil von ca. 0,2 %. Bei 97% der bewässerten Fläche wird die Beregnung mit Beregnungsmaschinen mit Kanone durchgeführt

(WOLFF et al. 1996). Dies verursacht Kosten von 2.2 €/mm berechnetem Niederschlag (KTBL, 2005). Diese Kosten sind in ACRE integriert. Das Modell *DeepFarming* übermittelt die tatsächlich berechnete Menge eines Jahres an ACRE, das die daraus resultierenden Kosten pro Kultur und Landkreis in die Planung für das kommende Erntejahr mit einbezieht.

6.2 Anpassungen an Änderungen des Frameworks und DANUBIA Light 2.0

Die neue *subskalige* Landnutzungskomponente verursachte insofern Änderungen im Code von *Farming*, als dass der Flächenanteil eines Landnutzungstyps nun mit einem Integer Wert angegeben wird und nicht mehr als float. Dies ermöglicht eine sichere Prüfung auf einen Flächenanteil von 0. Der Maximalwert wurde auf 1.000.000 gesetzt, was bei einer Gitterweite von 1km einer Genauigkeit von 1m² entspricht.

Aufwändigere Änderungen waren für die Anpassung von *Farming* an DANUBIA Light 2.0 nötig. Einige Akteurstypen im Modell *DeepFarming* benötigen infolge ihrer festgelegten Fruchtfolge bis zu 10 verschiedene agrarische Landnutzungen auf einem Proxel. Zusätzlich müssen auf jedem Proxel der Landnutzungstyp BareField und die Möglichkeit einer nicht landwirtschaftlichen Landnutzung vorhanden sein. Es werden also bis zu 12 Landnutzungstypen pro Proxel benötigt. Promet kann in der aktuellen Version jedoch nur 10 Landnutzungen pro Proxel abbilden. Das *DeepFarming* Modell wurde hinsichtlich dieses Umstandes angepasst, so dass es nur noch 8 agrarische Landnutzungstypen auf einem Proxel gibt. Die Akteure wurden hierfür neu initialisiert, wobei die Fruchtfolge der Akteurstypen, die bisher mehr als 8 Landnutzungstypen aufwiesen, dementsprechend angepasst wurde. Bezogen auf das Gesamtgebiet hat sich hierdurch die Landnutzungsverteilung im Vergleich zur bisherigen Landnutzung nur leicht verändert.

7. Analyse empirischer Daten bezüglich des Entscheidungsverhaltens der Akteure

Die Entscheidungsregeln der Akteure im *DeepFarming* Modell in Bezug auf die Durchführung der unterschiedlichen pflanzenbaulichen Bewirtschaftungsmaßnahmen basieren auf in der Literatur angegebenen Temperatur- und Klima-/Wetteransprüchen der Kulturen. Mittels der empirischen Daten des DWD sollen diese aus der Literatur entnommenen Daten zu Temperatur- und Niederschlagsansprüchen einzelner Kulturen überprüft werden, um möglicherweise eine Verbesserung der Entscheidungsregeln der Akteure zu erreichen.

In einem ersten Schritt wurden die Aussaattermine mit der Temperatur korreliert. Der Keimling einzelner Kulturen wie z.B. Mais stellt sehr hohe Ansprüche an die Keimtemperatur (HEYLAND 1996), was sich auch in den Tagesdurchschnittstemperaturen während der Aussaat widerspiegeln sollte.

Zur Analyse der Beziehung zwischen den mittleren Tagestemperaturen und den Aussaatterminen des DWD für den Zeitraum 1970-2003 wurden die aufbereiteten Daten auf zwei Arten gruppiert:

1. Das gesamte Einzugsgebiet wird auf jährlicher Basis als homogene Region betrachtet, d.h. es erfolgt keine Differenzierung zwischen den Landkreisen.
2. Betrachtung der einzelnen Landkreise über den gesamten Beobachtungszeitraum, d.h. für jeden Landkreis wird ein Durchschnittswert über den gesamten Beobachtungszeitraum angenommen.

Die Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS. Mit Hilfe einer bivariaten Pearson-Korrelation wurde die Temperatur mit dem Aussaattermin korreliert. Der Shapiro-Wilks' Test wurde verwendet, um die Datensätze auf ihre Normalverteilung zu prüfen. Er eignet sich vor allem für Datensätze mit geringem Datenumfang.

Wie bereits erwähnt, haben die Kulturen unterschiedliche Ansprüche an das Klima. Dies erforderte es, die Aussaattermine mit unterschiedlichen „Temperaturgrößen“ zu korrelieren:

1. In einem ersten Schritt wurden die Tagesdurchschnittstemperaturen unterschiedlicher Zeiträume (60, 40, 30, 10, 5 und 3 Tage) vor dem Aussaattermin untersucht, da einige Kulturen sehr empfindlich auf Temperaturschwankungen und Temperaturen unterhalb der erforderlichen Keimungstemperatur reagieren.
2. In einem zweiten Schritt wurden Temperatursummen mit einer vorgegebenen Basistemperatur vom ersten Januar an bis zum Ende der Monate Februar bis Juni gebildet. Dies ist eine gängige Methode bei der Untersuchung von phänologischen Stadien z.B. bei natürlicher Vegetation. Mit Hilfe der Temperatursummen ist es möglich bestimmte Stadien vorherzusagen (CHMIELEWSKI et al. 2004). Die Basistemperatur wurde anhand der Definition des DWD (2008) festgelegt, bei der das vegetative Wachstum erst bei einer Tagesdurchschnittstemperatur von $\geq 5^{\circ}\text{C}$ beginnt.
3. In einem dritten Schritt wurden der Vegetationsbeginn und das Vegetationsende eines Jahres bestimmt. Diese Werte wurden nach CHMIELEWSKI (2003) berechnet. Dabei ist der Vegetationsbeginn der erste Tag des Jahres, welcher die 5°C -Schwelle dauerhaft überschreitet. Die folgenden 30 Tage müssen dabei folgende Voraussetzungen erfüllen:

$$\sum_i (T_i - 5^{\circ}\text{C}) > 0^{\circ}\text{C} \quad (i = 2, 3 \dots 30) .$$

Das Vegetationsende ist der Tag des Jahres, welcher die 5°C -Schwelle unterschreitet und die Durchschnittstemperaturen der folgenden Tage bis zum Ende des Jahres folgende Voraussetzungen erfüllen:

$$\sum_i (T_i - 5^{\circ}\text{C}) < 0^{\circ}\text{C} \quad (i = 2, 3 \dots \text{Ende des Jahres}) \quad (\text{CHMIELEWSKI und FOKEN 2003}).$$

8. Einbindung des Teilprojekts in das Gesamtvorhaben

Infolge der Umstellung auf die subskalige, dynamische *LandUse* Komponente, die mehrere unterschiedliche agrarische Landnutzungen (angebaute Kulturen) auf einem Proxel ermöglicht, mussten einige Schnittstellen angepasst werden. Dies gilt besonders für die Schnittstellen zu den Modellen *Biological*, *Soil* und *SNT* bezüglich der pflanzenbaulichen Managementmaßnahmen, die kulturspezifisch ausgestaltet sein müssen. Hierfür wurden von der Informatik so genannte *CollectionDataTypes* entwickelt. Zudem wurden Schnittstellen für den Import der Lufttemperatur sowie der erreichten Wachstumsstadien der einzelnen Kulturen nach der Aussaat implementiert. Die Umstellung auf die von der Informatik entwickelte dynamische, *subskalige LandUse* Komponente hat außerdem zur Folge, dass die bisher in den Schnittstellen *getPlanting*, *getHarvesting* und *getGrasslandLandcoverCollection* enthaltenen Informationen als Landnutzungsänderungen künftig direkt in die Proxel Table der Landnutzungskomponente geschrieben werden.

Die folgende Liste gibt einen Überblick über die aktuellen Import/Export Schnittstellen von *Farming*:

Import von Modell	Parameter
Soil	getSoilSaturationFlagCollection (IndexIntegerCollectionTable) getDailySoilTempLay1 (TemperatureTable)
Atmosphere	getPrecipitationSumFourToEight (MassFluxDensityTable) getAirTemperatureDailyMean (Temperature Table)
Watersupply	getDrinkingWaterPrice (PricePerVolumeTable) getGroundwaterQuantityFlag (IntegerDataTable) getDrinkingWaterQuantityFlag (IntegerDataTable)
Biological	getYield(int.landuseType) (MassPerAreaTable) getYield(int.landuseType) (MassPerAreaTable) getAboveGroundBiomassCollection (MassPerAreaCollectionTable) getCropStageCollection (IndexCollectionTable)
Export an Modell	
SNT	getFertNMinCollection (MassPerAreaCollectionTable) getFertNOrgCollection (MassPerAreaCollectionTable)
Soil	getIrrigationApplyCollection (WaterFluxCollectionTable) getFertPMinCollection (MassPerAreaCollectionTable) getFertPOrgCollection (MassPerAreaCollectionTable)
Biological	getCuttingCollection (BooleanCollectionTable)
Watersupply	getAgriculturalGroundWaterDemand (WaterFluxTable) getAgriculturalDrinkingWaterDemand (WaterFluxTable)

In Kürze sollen erste technische Tests zur Kopplung der Modelle *SNT*, *Biological*, *PROMET* und *Farming* in *DANUBIA Light 2.0* erfolgen.

9. Ergebnisse

9.1 Ergebnisse der Initialisierung der Akteure nach Anpassung an *DANUBIA Light 2.0*

Zur Anpassung an *DANUBIA Light 2.0* war eine Beschränkung auf maximal 8 Landnutzungen pro Akteurstyp (Farm System) notwendig. Zur Überprüfung der Ergebnisse der Allokation der Akteure wurde die daraus resultierende Landnutzung mit der auf der Grundlage statistischer Werte von 1995 berechneten Landnutzung von *ACRE* verglichen. Die Kalibrierungsergebnisse für das gesamte Einzugsgebiet sind sehr gut ($\pm 10\%$ Abweichung), wobei 2/3 der Kulturen eine Abweichung $< 5\%$ aufweisen. Lediglich die Dauerkulturen (Hopfen) weisen eine höhere Abweichung auf ($+17\%$). Dies liegt an deren geringer Anbaufläche und der Tatsache, dass nur ein Akteurstyp pro Proxel gesetzt werden kann. Die Korrelation des Anbauumfangs der einzelnen Kulturen auf Landkreisebene ist für 72% der Landkreise sehr hoch ($r > 0,9$) und für weitere 11% noch in einem akzeptablen Bereich ($r > 0,8$). Geringere Korrelationen sind in Landkreisen mit sehr wenig Ackerfläche zu finden. Die Ursache hierfür ist, dass in Landkreisen mit einem geringen Ackerflächenanteil die Abfolge der Proxel bei der Allokation eine hohe Pfadabhängigkeit aufweist.

Ergebnisse der Initialisierung der Akteure sind in den Abbildungen 1-4 dargestellt. Die Verteilung der Akteurstypen im Einzugsgebiet zeigt Abbildung 1, wobei diese in die 5 Produktionsrichtungen Marktfruchtbau, Futterbau, Veredelung, Gemischtbetrieb und Dauerkulturen gruppiert wurden. Futterbaubetriebe finden sich insbesondere in den grünlandstarken Regionen der Alpen, des Alpenvorlandes sowie im ostbayrischen Mittelgebirge. In den günstigen Ackerbaugebieten südlich der Donau sind vorwiegend Marktfruchtbaubetriebe anzutreffen, die mit abnehmendem Ackerflächenanteil im Tertiärhügelland durch Veredelungsbetriebe abgelöst werden. Der größte Anbauumfang an Winterweizen befindet sich in den Gebieten mit Marktfruchtbau und Veredelung (Abb. 2), der Zuckerrübenanbau konzentriert sich in spezialisierten Marktfruchtbaubetrieben westlich des ostbayrischen Mittelgebirges (Abb. 3). Milchvieh- und Mastbullenhaltung sind insbesondere in den Grünlandregionen der Südhälfte des Einzugsgebiets sowie im ostbayrischen Mittelgebirge zu finden und die Schweinehaltung im Tertiärhügelland sowie im Bereich der Schwäbischen Alb (Abb. 4).

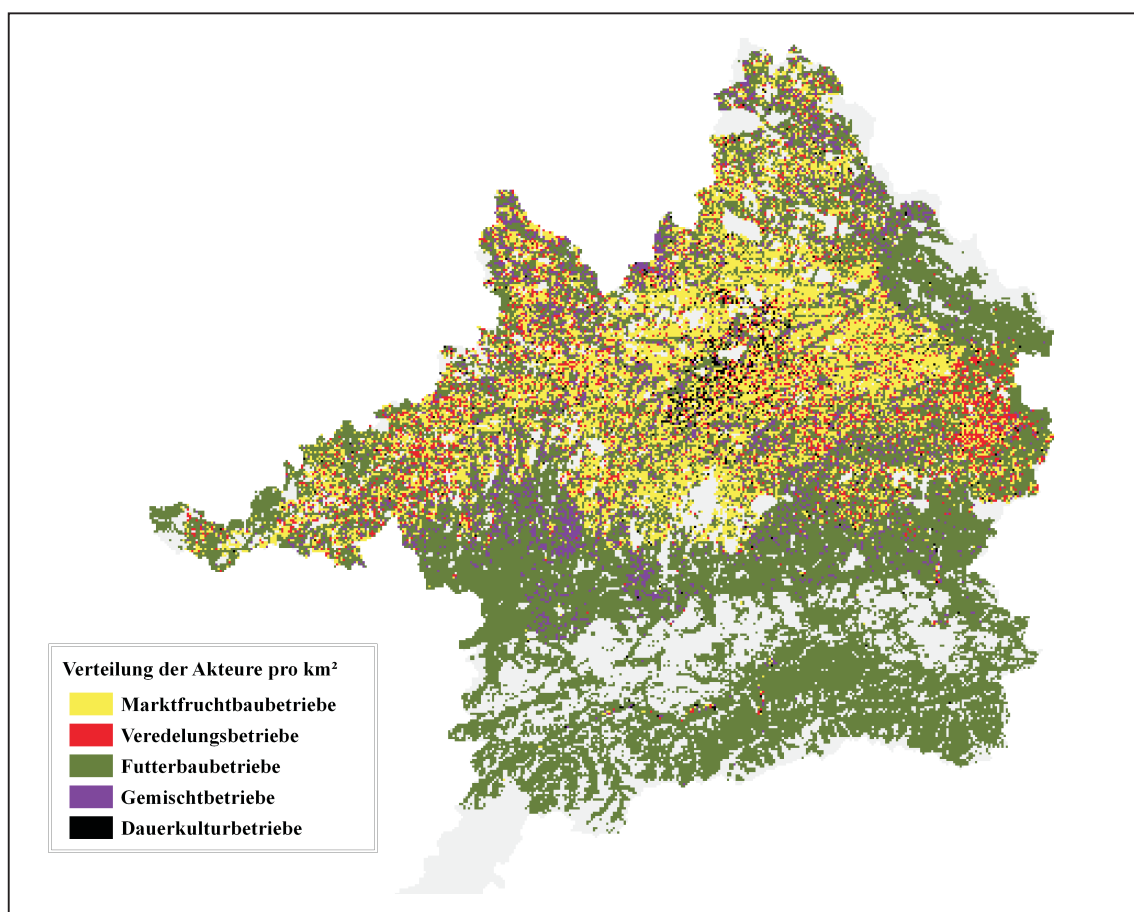


Abb. 1: Akteurstypen gruppiert nach der Produktionsrichtung

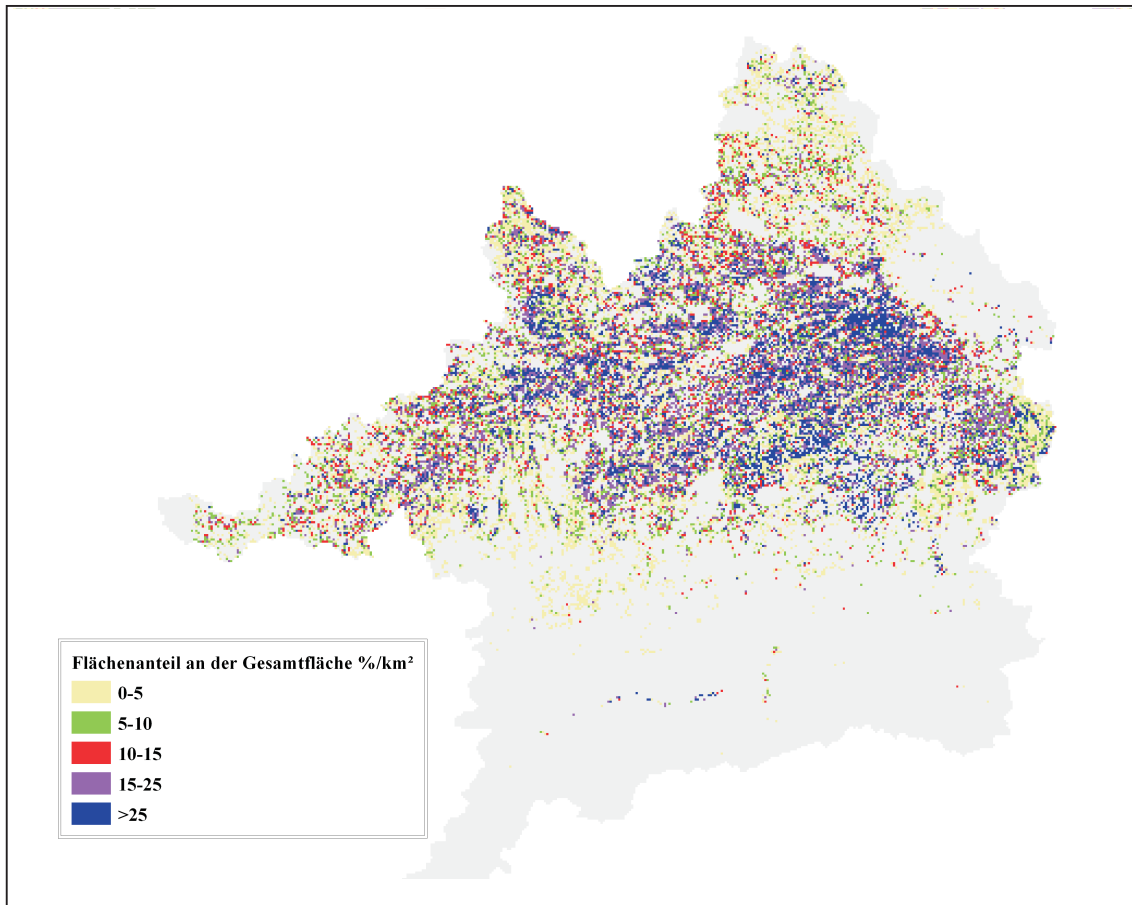


Abb. 2: Anbau von Winterweizen

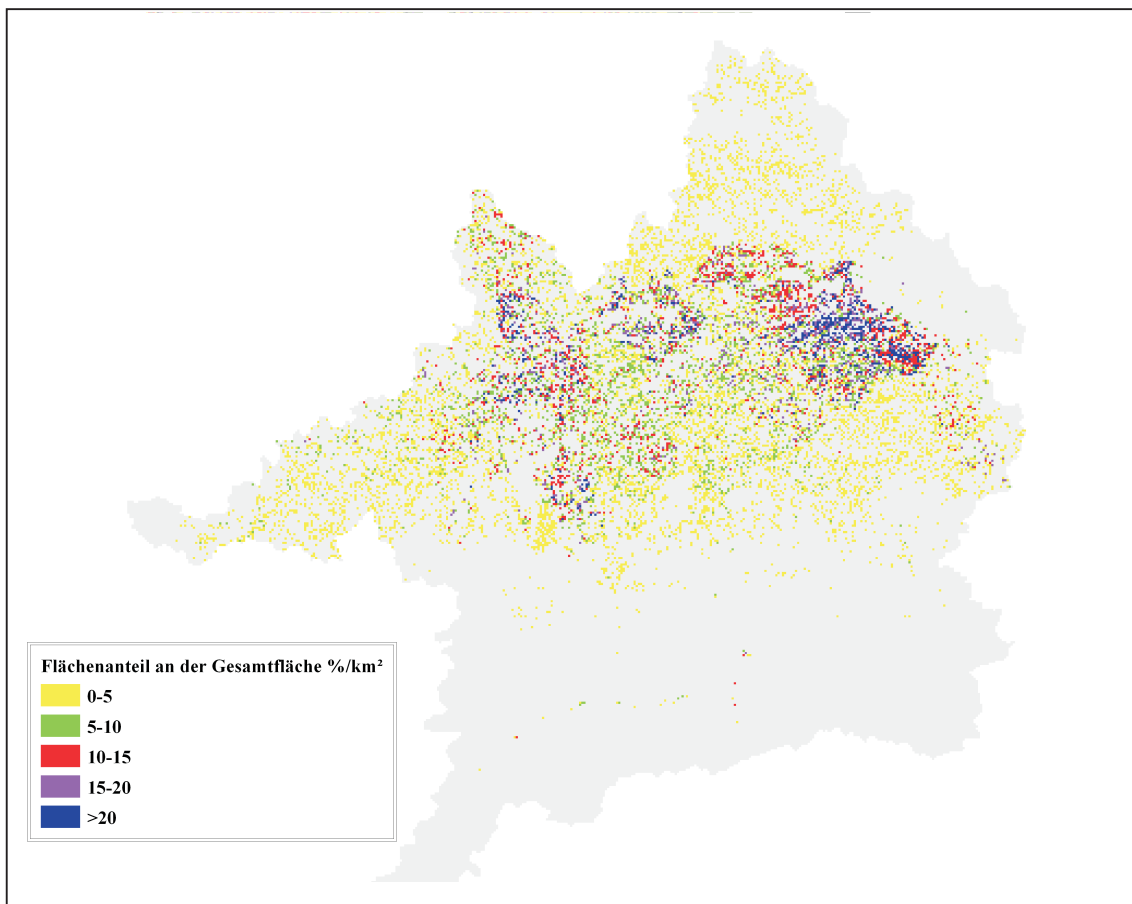


Abb. 3: Anbau von Zuckerrüben

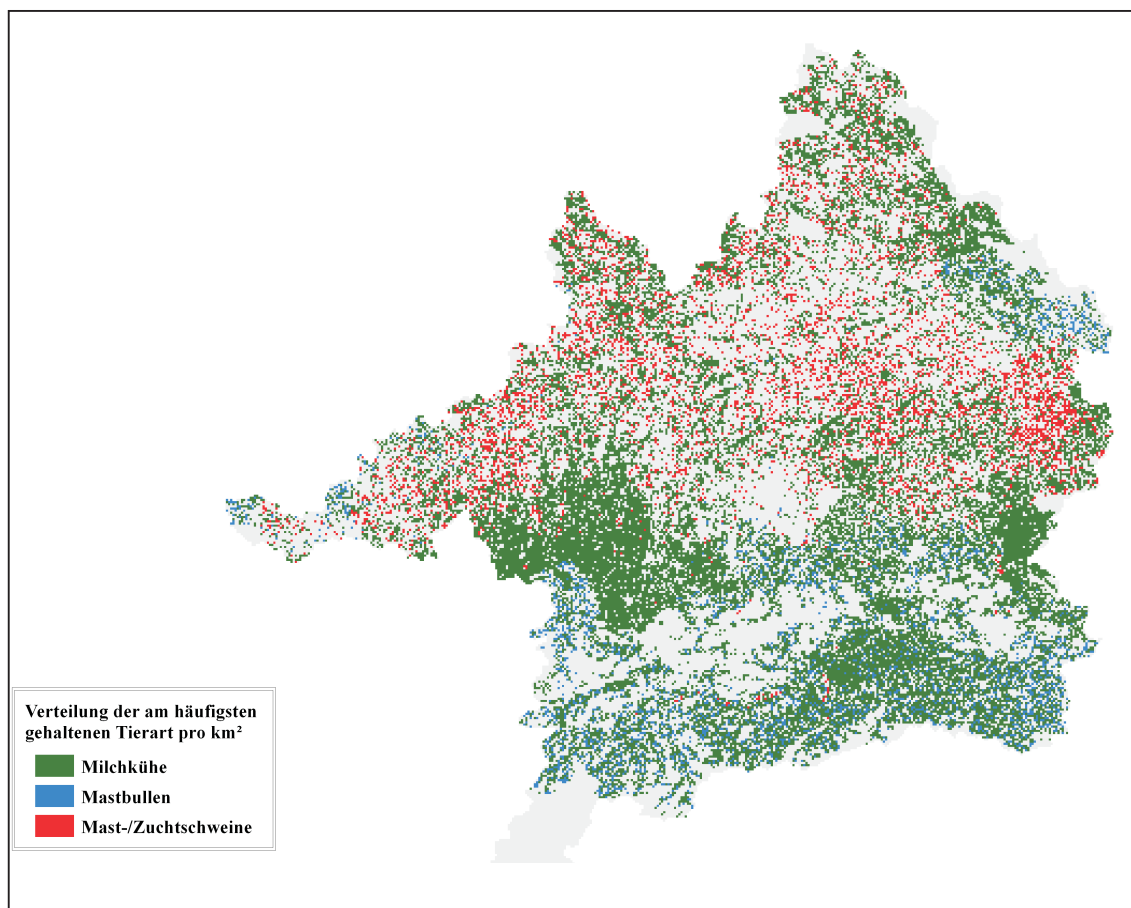


Abb. 4: Milchkühe, Mastbullen und Schweine

9.2 Erste Ergebnisse der statistischen Analyse

9.2.1 Erste Ergebnisse der Betrachtung der Tagesdurchschnittstemperatur unterschiedlicher Zeiträume vor der Aussaat von Sommerannuellen

Im Donaeinzugsgebiet ist es bisher üblich zuerst Hafer und Sommergerste auszusäen, worauf Zuckerrüben folgen (Tab. 4). Erst später im Jahresverlauf, wenn die Temperaturen auf einem höheren Niveau stabil sind, wird mit der Aussaat von Kartoffeln und Mais begonnen.

Tab. 4: Durchschnittlicher Aussaattermin der Sommerannuellen (1970-2003) (Quelle: Eigene Berechnungen nach DWD 1970-2003)

	Kulturen (Sommerannuelle)				
	Hafer	Sommergerste	Zuckerrüben	Kartoffeln	Mais
Durchschnittlicher Aussaattermin (Tag im Jahr)	87	89	100	115	117
Monat	März	März	April	April	April
Tag	28	30	10	25	27

Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse der Korrelationen zwischen dem Aussaattermin der Sommerannuellen mit der Tagesdurchschnittstemperatur verschiedener Perioden vor dem Aussaattermin. Bei Betrachtung des gesamten Einzugsgebiets als homogene Region auf jährlicher Basis weist lediglich Sommergerste signifikante Werte auf, was bedeutet, dass der Aussaattermin bei höheren Tagesdurchschnittstemperaturen nach vorne verschoben wird. Dies ist in der Tendenz auch bei Hafer erkennbar, obwohl sich hier keine signifikanten Werte ergeben. Da die phänologischen Aufzeichnungen von Mais erst im Jahr 1990 begannen, reichen die jährlichen Datenreihen nicht aus, eine Auswertung nach Jahren für das gesamte Einzugsgebiet durchzuführen. Deshalb wurde Mais nur in der nachfolgenden Auswertung auf Landkreisebene betrachtet.

Tab. .5: Korrelation des Aussaattermins von Sommerannuellen mit der Tagesdurchschnittstemperatur unterschiedlicher Perioden vor dem Aussaattermin bei jährlicher Betrachtung des gesamten Einzugsgebiets

		Tage	60	40	30	10	5	3
Zucker- rüben	Pearson Korrelation	1	0,238	0,206	0,165	0,092	-0,160	-0,203
	Sig. (2-tailed)		0,169	0,235	0,344	0,598	0,358	0,242
	N	35	35	35	35	35	35	35
Hafer	Pearson Korrelation	1	-0,291	-0,258	-0,111	0,018	0,042	0,102
	Sig. (2-tailed)		0,095	0,140	0,533	0,918	0,815	0,567
	N	34	34	34	34	34	34	34
Sommer- gerste	Pearson Korrelation	1	-0,568*	-0,462*	-0,218	-0,006	-0,009	0,099
	Sig. (2-tailed)		0,007	0,035	0,342	0,980	0,969	0,670
	N	21	21	21	21	21	21	21

** Korrelation ist signifikant auf dem 0,01 Niveau (zweiseitig).

* Korrelation ist signifikant auf dem 0,05 Niveau (zweiseitig).

Betrachtet man die Korrelationswerte im Durchschnitt der Jahre pro Landkreis, so zeigen Hafer, Zuckerrüben und Sommergerste eine Zunahme der Korrelationswerte je näher die betrachtete Periode am jeweiligen Aussaattermin liegt, wobei allerdings nur Sommergerste signifikante Werte aufweist (Tab. 6). Bei Mais und Sommergerste ist die Korrelation des Aussaattermins mit der Tagesdurchschnittstemperatur der Periode 10-Tage vor der Aussaat mit 0,544** bzw. 0,744** hoch signifikant, wobei dies bei der Sommergerste auch für fast alle anderen untersuchten Perioden gilt. Mit einer Keimungstemperatur von 2°C zeigt Sommergerste schon bei relativ niedrigen Tagesdurchschnittstemperaturen in den Perioden 30 Tagen und mehr vor der Aussaat signifikante Werte. Im Gegensatz dazu benötigt die Maisaat relativ hohe Keimungstemperaturen von 8-10°C (DIEPENBROCK et al. 1999). Hier zeigt die Tagesdurchschnittstemperatur der Periode 10 Tage vor der Aussaat eine hohe Korrelation mit dem Aussaattermin. Die erreichte Tagesdurchschnittstemperatur dieser Periode entspricht genau der Keimungstemperatur des Maissaatgutes (10,5°C).

Tab. 6: Korrelation des Aussaattermins von Sommerannuellen mit der Tagesdurchschnittstemperatur unterschiedlicher Perioden vor dem Aussaattermin bei Betrachtung auf Landkreisebene über den gesamten Beobachtungszeitraum (1970-2003)

		Tage	60	40	30	10	5	3
Zucker- rüben	Pearson Korrelation	1	0,060	0,047	0,061	0,125	0,100	0,159
	Sig. (zweiseitig)		0,736	0,790	0,733	0,481	0,573	0,370
	N	34	34	34	34	34	34	34
Hafer	Pearson Korrelation	1	-0,095	0,076	0,057	0,142	0,119	0,100
	Sig. (zweiseitig)		0,575	0,654	0,736	0,401	0,484	0,555
	N	37	37	37	37	37	37	37
Sommer- gerste	Pearson Korrelation	1	0,301	0,507**	0,537* *	0,744* *	0,544* *	0,562* *
	Sig. (zweiseitig)		0,079	0,002	0,001	0,000	0,001	0,000
	N	35	35	35	35	35	35	35

** Korrelation ist signifikant auf dem 0,01 Niveau (zweiseitig).

* Korrelation ist signifikant auf dem 0,05 Niveau (zweiseitig).

9.2.2 Erste Ergebnisse der Betrachtung von Temperatursummen in Bezug auf die Aussaat von Sommer- und Winterannuellen

Für diese Analyse wurden für jedes Jahr die Temperatursummen aus den Tagesdurchschnittstemperaturen \$5EC für die Zeiträume erster Januar bis Ende der Monate Februar bis Juni berechnet und mit den Aussaatterminen unterschiedlicher Kulturen korreliert. In Tabelle 7 sind die Ergebnisse für die Sommerannuellen dargestellt. Bei der Verwendung von Temperatursummen zeigen Zuckerrüben, Hafer und Sommergerste hoch signifikante Resultate. Bei Zuckerrüben wird für die Temperatursumme bis Ende Mai ein hoch signifikanter Wert von $-0,675^*$ auf den 0,05 Niveau erreicht. Dies bedeutet, dass Zuckerrüben umso früher gesät werden, desto höher die Temperatursumme ist. Ähnliche Ergebnisse werden auch bei Hafer und Sommergerste erzielt. Die Temperatursumme bis Ende März zeigt bei beiden Kulturen hoch signifikante Werte: $-0,586^*$ bei Hafer und $-0,729^*$ für Sommergerste. Korreliert man die Aussaattermine von Hafer und Sommergerste, zeigt sich, dass diese ziemlich nahe beieinander liegen ($0,984^*$).

Tab. 8: Korrelation des Aussaattermins von Sommerannuellen mit verschiedenen Temperatursummen bei jährlicher Betrachtung des gesamten Einzugsgebiets

		Korrelierte Kulturen					Korrelierte Temperatursummen bis zum Ende eines Monats				
		Zucker- rüben	Som- mer- gerste	Hafer	Kartof- feln	Mais	Februar	März	April	Mai	Juni
Zucker- rüben	Pearson Korrelation	1	0,470*	0,468*	0,426	0,382	-0,415*	-0,506*	-0,632*	-0,675*	-0,663*
	Sig. (zweiseitig)		0,032	0,005	0,054	0,197	0,016	0,002	0,000	0,000	0,000
	N	34	21	34	21	13	33	34	34	34	34
Hafer	Pearson Korrelation	1	0,984*	0,468*	0,253	0,230	-0,312*	-0,586*	-0,386*	-0,340*	-0,302*
	Sig. (zweiseitig)		0,000	0,005	0,268	0,450	0,016	0,002	0,000	0,000	0,000
	N	34	21	34	21	13	33	34	34	34	34
Som- mer- gerste	Pearson Korrelation	1	0,984*	0,470*	0,357	. ^a	-0,506*	-0,729*	-0,548*	-0,515*	-0,435*
	Sig. (zweiseitig)		0,000	0,032	0,112	.	0,019	0,000	0,010	0,017	0,049
	N	21	21	21	21	0	21	21	21	21	21

** Korrelation ist signifikant auf dem 0,01 Niveau (zweiseitig).

* Korrelation ist signifikant auf dem 0,05 Niveau (zweiseitig).

a. Konnte nicht berechnet werden.

Eine entsprechende Analyse wurde auch für die Winterannuellen durchgeführt. Die Temperatursumme wurde jedoch im Gegensatz zu den Sommerannuellen vom Anfang der Monate August, September, Oktober und November bis zum Ende eines Jahres kalkuliert, da Winterannuelle vor der Winterruhe ein bestimmtes Entwicklungsstadium erreicht haben müssen.

Tab. 7: Korrelation des Aussaattermins von Winterweizen mit der Temperatursumme der Perioden von August bzw. September bis zum Ende des Jahres bei jährlicher Betrachtung des gesamten Einzugsgebiets

Kultur		Korrelierte Temperatursummen	
		August bis zum Ende des Jahres	September bis zum Ende des Jahres
Wintergerste	Pearson Korrelation	-0,357*	-0,382*
	Sig. (zweiseitig)	0,038	0,026
	N	34	34
Winterweizen	Pearson Korrelation	-0,276	-0,156
	Sig. (zweiseitig)	0,114	0,378
	N	34	34
Roggen	Pearson Korrelation	-0,125	-0,074
	Sig. (zweiseitig)	0,81	0,679
	N	34	34

** Korrelation ist signifikant auf dem 0,01 Niveau (zweiseitig).

* Korrelation ist signifikant auf dem 0,05 Niveau (zweiseitig).

Bei der Korrelation des Aussaattermins zeigte nur Wintergerste ein signifikantes Ergebnis für die Zeiträume August bis Jahresende (-0,357*) und September bis Jahresende (-0,382*) (Tab. 8). Winterweizen und Roggen zeigten keine signifikanten Zusammenhänge. Der vorhandene Datensatz für Winterraps umfasste zu wenige Einträge, um aussagekräftige Analyse durchzuführen.

9.2.3 Erste Ergebnisse der Korrelation der Aussaattermine mit dem Vegetationsbeginn bzw. dem Vegetationsende

Bei jährlicher Betrachtung des gesamten Einzugsgebiets zeigen die Aussaattermine von Wintergerste und Winterweizen eine Korrelation mit dem Vegetationsende (Tab. 9). Im Vergleich zur Temperatursumme zeigt Wintergerste einen höheren Korrelationswert von -0,405* und Winterweizen einen Wert von -0,352*. Da Wintergerste und Winterweizen im Herbst gesät werden, sollten beide vor Eintritt der Vegetationsruhe das Stadium der Bestockung erreicht haben. Insgesamt bedeutet das Ergebnis der Analyse, dass ein Landwirt umso früher mit der Aussaat beginnt desto später das Vegetationsende ist. Damit tritt genau das Gegenteil von dem ein was man erwarten würde. Deshalb soll dies noch genauer untersucht werden.

Tab. 9: Korrelation der Aussaattermine von Wintergetreide mit dem Vegetationsende bei jährlicher Betrachtung des gesamten Einzugsgebiets

Korrelationsparameter		Korrelierte Kulturen	
		Wintergerste	Winterweizen
Vegetationsende	Pearson Korrelation	-0,405*	-0,352*
	Sig. (zweiseitig)	0,018	0,041
	N	34	34

** Korrelation ist signifikant auf dem 0,01 Niveau (zweiseitig).

* Korrelation ist signifikant auf dem 0,05 Niveau (zweiseitig).

Bei den Sommerannuellen wurden die Aussaattermine mit dem Vegetationsbeginn korreliert. Zu Beginn eines Jahres, wenn die Aussaat der Sommerannuellen erfolgt sollte die Keimung und das Auflaufen der Saat durch das Erreichen einer bestimmten Temperatur ermöglicht werden. Die Auswertung zeigt für die Aussaat von Zuckerrüben und Sommergerste die größte Abhängigkeit vom Vegetationsbeginn, wobei alle drei betrachteten Kulturen hoch signifikante Korrelationswerte zwischen 0,505** und 0,653** aufweisen (Tab. 10). Diese liegen bei Hafer und Sommergerste auf einem Signifikanzniveau von 0,01 und bei Zuckerrüben auf einem Niveau von 0,05.

Tab. 10: Korrelation des Vegetationsbeginns mit dem Aussaattermin von drei verschiedenen Sommerannuellen bei jährlicher Betrachtung des gesamten Einzugsgebiets

		Kulturen		
		Zuckerrübe	Hafer	Sommergerste
Vegetationsbeginn	Pearson Korrelation	0,566*	0,505**	0,653**
	Sig. (zweiseitig)	0,000	0,002	0,001
	N	34	34	21

** Korrelation ist signifikant auf dem 0,01 Niveau (zweiseitig).

* Korrelation ist signifikant auf dem 0,05 Niveau (zweiseitig).

Zusammenfassend zeigen bereits diese ersten Ergebnisse, dass die Analyse der empirischen Daten einen Beitrag zur Verbesserung der Entscheidungsregeln der Akteure leisten kann. Im Weiteren soll der Einfluss des Niederschlags auf den Aussaattermin sowie die Beziehung zwischen Temperatur bzw. Niederschlag und dem Ertrag der einzelnen Kulturen untersucht werden. Insgesamt wird dadurch ein aus der Literatur fundiertes und anhand der empirischen Daten speziell auf das Einzugsgebiet angepasstes einzigartiges Modell der landwirtschaftlichen Produktion entstehen.

10. Literatur

- CHMIELEWSKI, F.-M. und KÖNH, W. (2002): KliVEG - Mögliche Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf die Vegetationsentwicklung in Sachsen, Forschungsvorhaben der Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät Institut für Pflanzenbauwissenschaften.
- CHMIELEWSKI, F.-M. und FOKEN, Th. (2003): Rezente Veränderungen der Lufttemperatur und der Niederschlagshöhe in Berlin-Dahlem, 1931-2000; Beiträge zur Klima- und Meeresforschung, Berlin und Bayreuth, 2003, S.79-90.
- CHMIELEWSKI, F.-M., MÜLLER A. und KÜCHLER, W. (2004): Mögliche Auswirkungen klimatischer Veränderungen auf die Vegetationsentwicklung in Sachsen, Abschlussbericht zum Forschungsprojekt; gefördert vom Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Eigenverlag Humboldt-Universität Berlin.
- DIEPENBROCK, W., FISCHBECK, G., HEYLAND, K.-U. und KNAUER, N. (1999): Spezieller Pflanzenbau, 3. Auflage. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- DWD (Deutscher Wetterdienst) (1970-2003): Deutsches Meteorologisches Jahrbuch, Offenbach am Main.
- DWD (Deutscher Wetterdienst) (2008): <http://www.dwd.de>: Wetterlexikon: Vegetationsperiode.
- HEYLAND, K.-U. (1996): Spezieller Pflanzenbau. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- HYDRO AGRI DÜLMEN GmbH (1993): Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau, Verlagsunion Agrar, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup.
- KÖNNECKE, G. (1967): Fruchtfolgen. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.), (2005): Faustzahlen für die Landwirtschaft, KTBL-Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup.
- LANDESANSTALT FÜR PFLANZENBAU (2001): Die Schutzgebiets- und Ausgleichs-Verordnung Praktische Umsetzung im Ackerbau und auf Grünland. Merkblätter für die Umweltgerechte Landbewirtschaftung, Nr. 20, Rheinstetten.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2004): Statistik der Wasserversorgung in der Landwirtschaft. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2007): Landwirtschaft- Betriebe, Arbeitskräfte, Bodennutzung. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.
- WOLFF, P., HUEBENER, R. und STEIN, Th.M. (1996): Germany's irrigation sector under conditions of restricted water allocation, University of Kassel, Dep. of Rural Engineering and Resource Management, Technical Reports in Rural Engineering and Resource Management, Witzenhausen (Germany).

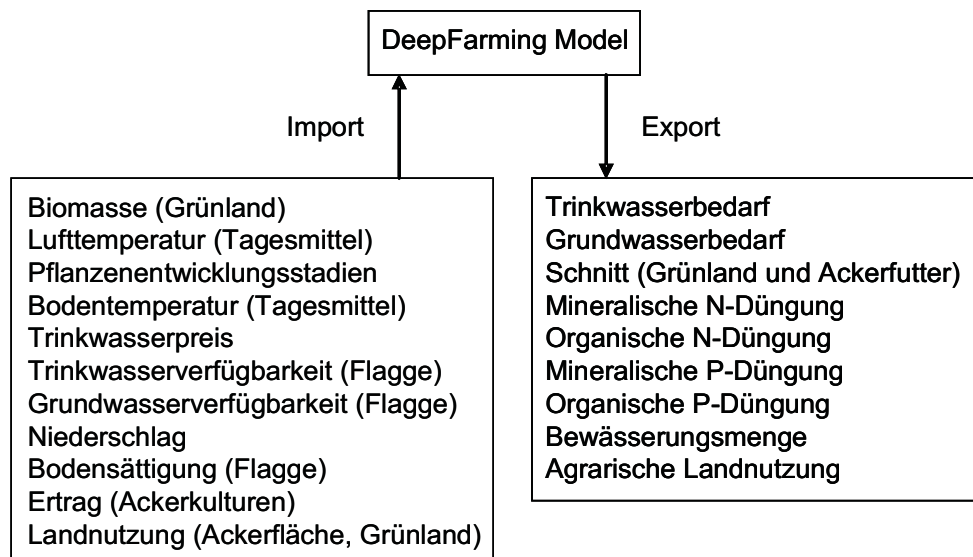
Anhang

Datenblatt Teilprojekt Agrarökonomie

- **Ziel/Leistung:** Modellierung der Land- und Wassernutzung in der Landwirtschaft und klimabedingter Änderungen des pflanzenbaulichen Managements aufgrund unterschiedlicher Szenarien
- **Modell:** Modell *DeepFarming* (Regionales Agrarsektormodell, das den Anbauplan für das kommende Erntejahr kalkuliert, gekoppelt mit Multi-Agenten-Modell, das unter gegebenen klimatischen Bedingungen diesen Plan adaptiv umsetzt)
- **Rechenintervall:** Jährlich (Agrarsektormodell), täglich (Multi-Agenten-Modell)
- **Datengrundlage:** Agrarstatistik auf Landkreisebene/Politischer Bezirk für Bayern, Baden-Württemberg und Österreich, KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) Datensammlungen, Expertenwissen, Fachliteratur, DWD-Daten
- **Auflösung:** Landkreis/Politischer Bezirk und Proxel
- Datenaufbereitung: Statistische Auswertungsverfahren: Deskriptive Datenanalyse, Korrelationen; Mathematische Formulierung von Aktivitäten und Restriktionen
- **Dateninput:** Landnutzung (Acker- und Grünlandfläche), Lufttemperatur, Bodentemperatur, Niederschlag, Bodensättigung (Flagge), Grundwasserverfügbarkeit (Flagge), Trinkwasserverfügbarkeit (Flagge), Wasserpreis, Ertrag, Biomasse (Grünland), Pflanzenentwicklungsstadien
- **Rechenverfahren:** Berechnungen im prozessorientierten agrarökonomischen Sektormodell: Optimierung mittels der Positiven Quadratischen Programmierung in GAMS; Berechnung der Entscheidungsprozesse im Akteur: Heuristische Regelwerke, individual learning
- **Im Modell erfasste Prozesse:** Einfluss von Agrarpolitik (Prämien); Einfluss von Agrarmärkten (Preise); Einfluss von Ertragsänderungen; Einfluss von Temperatur- und Niederschlagsänderungen; Einfluss von Befahrbarkeit; Einfluss von Grundwasserknappheit (Bewässerung)
- **Skalierungen:** -
- **Datenweitergabe/Austausch/Vernetzt mit:** Agrarische Landnutzung an Landnutzungs-komponente (*Landusekomponent*), Schnitt von Grünland und Ackerfutter an Pflanzenwachstumsmodell (*BIOLOGICAL*), mineralische und organische Stickstoffdüngung an Modellkomponente Bodenstickstofftransport (*SNT*), mineralische und organische Phosphordüngung und Bewässerungsmenge an Bodenmodell (*SOIL*), Trink- und Grundwasserbedarf an Modellkomponente Wasserversorger (*WATERSUPPLY*) (s. Anhang)
- **Ausnahme/Besonderheiten:** -
- **Ergebnis/Output:** Einkommen und weitere sozioökonomische Parameter der Landwirtschaft auf Landkreisebene, räumlich aufgelöste Wassernutzung in der Landwirtschaft, räumlich aufgelöste agrarische Landnutzung und pflanzenbauliches Management
- **Validierung/Validierungsergebnisse:** Agrarsektormodell liefert gute, realistische und akzeptierte Ergebnisse; Multi-Agenten Modell: Initialisierung und Allokation der Agenten (Farm Systems) zeigt plausible Ergebnisse

- **Anwendungsmöglichkeiten der Ergebnisse:** Abschätzung der Wirkung von Klimaänderung und Wettervariabilität auf Aussaattermine (Vegetationsperiode), Ertrag durch verspätete/unterlassene Managementmaßnahmen, Fruchtfolge (Einschränkung/Ausweitung vorhandener Kulturen), Einkommen (Deckungsbeitrag); Abschätzung der Wirkung von Agrarpolitik und Agrarmärkten auf Deckungsbeitrag und agrarische Landnutzung
- **Noch bestehende Probleme/Grenzen/Modellunsicherheiten:** Reaktion auf Landnutzungsänderung nicht möglich, da Agenten (Farm Systems) an initialisierte Fruchtfolge gebunden sind; Testläufe stehen noch aus
- LITERATUR, WEITERFÜHRENDE DOKUMENTE:
 APFELBECK, J., HUIGEN, M. und KRIMLY, T. (2007): The Importance of Spatial, Temporal and Social Scales in Integrated Modeling; Simulating the Effects of Climatic Change on District- and Farm-level Decision-Making in the Danube Catchment Area. International Conference on Regional and Urban Modeling, Brüssel, 01.-02.06. 2007, download: www.ecomod.net/conferences/regional_urban_modeling_june_2007/regional_urban_modeling_2007_papers.htm.
 KRIMLY, T., WINTER, T. und DABBERT, S. (2003). Agrarökonomische Modellierung der Landnutzung im Einzugsgebiet der Oberen Donau zur Integration in das Entscheidungsunterstützungssystem DANUBIA. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e. V., Band 39, S. 191-199.
 WIRSIG, A., HENSELER, M., SIMOTA, C., KRIMLY, T. und DABBERT, S. (2007). Modelling the impact of global change on regional agricultural land use in alpine regions. Agrarwirtschaft und Agrarsoziologie 1/07, S. 101-116.

Anhang: Im- und Exportschnittstellen



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. 2007 bis 15.03. 2008.

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.

Eine wichtige Aufgabe bestand in der Weiterentwicklung des vom Teilprojekt entwickelten Prozessmodells *DeepHousehold*; unseres Wissen das einzige in der Literatur dokumentierte und funktionsfähige System, das integrierte (agentenbasierte) Modellierung und Lebensstile im Umweltbereich in der vorliegenden Größenordnung verbindet. Die Weiterentwicklung des Modells *DeepHousehold* erfolgte sowohl in inhaltlicher, als auch in technischer Hinsicht, was die im Modell enthaltenen Komponenten und deren Handhabung betrifft.

Die Kasseler Arbeitsgruppe bestand zum Berichtszeitraum aus zwei Psychologen (einer Doktorandin, einem Doktoranden) sowie einem Mathematiker. 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. Eine Bewertung des erreichten Standes der Arbeiten sowie ein Ausblick finden sich in Abschnitt 4.

1. Zusammenfassung der Arbeiten im Berichtszeitraum

Arbeitsschwerpunkte im Berichtszeitraum waren die Ausarbeitung der Modellkomponenten von inhaltlicher und technischer Seite. Das betraf die Modellkomponenten Reaktanz und Risikowahrnehmung, bzw. die Konzeption neuer Modellkomponenten (Orientoren) und erste Vorbereitungen zum Einbau in die Programmstruktur. Außerdem fanden zahlreiche technische Umbauten und Verbesserungen am Modell statt, die die Überprüfung des Modells erleichtern.

Ein weiterer Schwerpunkt war und ist die Szenariobildung, die in Zusammenarbeit mit SinusSociovision durchgeführt wird, um relevante und plausible gesellschaftlichen Szenarien zu erhalten.

2. Organisation

2.1 Personal

2.1.1 Wissenschaftler

Dipl.-Psych. Silke Kuhn und Dipl.-Psych. Roman Seidl waren während des gesamten Berichtszeitraums (Mai 2007-April 2008) im Projekt angestellt. Vom 01.12. 2007-30.04. 2008 war Dipl.-Mathematiker Alexei Tumarkin 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 drei Mitglieder des umweltpsychologischen Teilprojekts teil:

- 23.-24.09.2007 Gesamt-GLOWA-Meeting in Herrsching (Ernst, Kuhn, Seidl)
- 12.02. 2008 Des weiteren fand am ein arbeitsgruppeninternes Treffen statt, an welchen sämtliche Mitglieder des umweltpsychologischen Teilprojekts teilnahmen (Ernst, Klemm, Kuhn, Seidl, Tumarkin)

2.3.2 Konferenzen

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

- 05.2007 Die Deutschen und ihr Wasser - Zukunftsszenarien der Wahrnehmung und des Verbrauchs. Management-Tagung Nord Wasser/Abwasser, Raisdorf/Kiel (A. Ernst).
- 06.2007 Diffusion of water-use innovations - An agent-based model. 7th International Conference of the European Society for Ecological Economics, Leipzig (N, Schwarz und A. Ernst).
- 07.2007 Perception of Slowly Evolving Risks in the Global Climate Commons. 12th International Conference on Social Dilemmas, Seattle (WA) (R. Seidl, R. und A. Ernst).
- 09.2007 Being concerned is not enough. Behavior changes in anticipation of climate change. 7th Biennial Conference on Environmental Psychology, Sept. 9th-12th Bayreuth (R. Seidl, R. und A. Ernst).
- 09.2007 The dynamics of habitual drinking water use. 7th Biennial Conference on Environmental Psychology, Sept. 9th-12th Bayreuth (S. Kuhn, S. und A. Ernst).

- 10.2007 Mensch und Natur in GLOWA-Danube - Transdisziplinäre Erfahrungen bei der Integration von Natur- und Gesellschaftswissenschaften. Deutscher Geographentag 2007, Bayreuth (A. Ernst, A.).
- 11.2007 Ergebnisse einer empirischen Untersuchung zur Wahrnehmung des Klimawandels: Zukunftsorientierung, Psychodynamik und Lebensstile. SESAM-Kolloquium. CESR, Universität Kassel (R. Seidl).

2.3.3 Gast- und Kolloquiumsvorträge

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

- 06.2007 Psychologische Aspekte der Wassernutzung. Konferenz der Heidelberger Akademie der Wissenschaften „Wasser Konfliktstoff des 21. Jahrhunderts?“ Buchenbach bei Freiburg (A. Ernst).
- 09.2007 Agentenbasierte Modellierung als Methode in der Stoffstromforschung. 4. 3S-Workshop Perspektiven der Stoffstromforschung, Haydau (A. Ernst).
- 09.2007 Umweltkonsum, Ressourcennutzung und Verantwortung. Consulting Akademie Unternehmensethik, Plansecur Akademie, Kassel (A. Ernst).
- 10.2007 Methods for micro-level behavior modeling in global change research. Meeting of the AFAST/DFGWT-(Deutsch-Französische Gesellschaft für Wissenschaft und Technologie), Bonn (A. Ernst).
- 11.2007 Agentenbasierte Modellierung als integrative Methode der sozialwissenschaftlichen Modellbildung - Erfahrungen aus dem GLOWA-Danube-Projekt. Forschungszentrum Nachhaltigkeit artec der Universität Bremen (A. Ernst).

2.3.4 Veröffentlichungen

ERNST, A. (2008): Computersimulation als Methode der umweltpsychologischen Forschung. Umweltpsychologie. Sonderheft Methoden der Umweltpsychologie (eingereicht).

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 I. BORMANN und de HAAN,G (Hrsg.), Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung. Operationalisierung, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde. Wiesbaden: VS Verlag, S. 45-59.

ERNST, A. und KUHN, S. (2008): Trinkwasser - Grundlagen und psychologische Aspekte seiner Nutzung. In V. LINNEWEBER und LANTERMANN, E.D. (Hrsg.), Enzyklopädie der Psychologie, Serie IX, Umweltpsychologie, Bd. 2. Göttingen: Hogrefe (in Druck).

- 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., HERNÁNDEZ, C. and TROITZSCH, K.G. (eds.), *Social Simulation: Technologies, Advances and New Discoveries*. Hershey, NY: Information Science Reference. S 138-149.
- SCHWARZ, N. (2007): *Umweltinnovationen und Lebensstile. Eine raumbezogene, empirisch fundierte Multi-Agenten-Simulation*. Metropolis-Verlag.
- SCHWARZ, N. und ERNST, A. (2007). Diffusion of water-use innovations. An agent-based model. Proceedings of the 7th International Conference of the European Society for Ecological Economics. Leipzig: UFZ Centre for Environmental Research.
- 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*.

2.3.4.1 Sonstiges

Die Fachgruppe Umweltpsychologie der Deutschen Gesellschaft für Psychologie hat 2007 den C.-F.-Graumann-Preis für Umweltpsychologie an Nina Schwarz verliehen. Sie wurde für ihre Dissertation *Umweltinnovationen und Lebensstile. Eine raumbezogene, empirisch fundierte Multi-Agenten-Simulation, welche im Rahmen von GLOWA-Danube erfolgte, ausgezeichnet*.

3. Ergebnisse

3.1 Formulierte Ziele der 3. Förderphase

Auf der Basis des bisher erreichten Standes der sektoralen wie integrativen Modellierung im Projekt ist es möglich, Fragen zukünftiger gesellschaftlicher Trends und deren Auswirkungen in einem bisher nicht üblichen Maß an Detail- und Interpretationsreichtum nachzugehen.

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 Stakeholder-angepasster Entscheidungsunterstützung
- Ziel 5: Bereitstellung der wissenschaftlichen Erkenntnisse des Projekts

Auf die Weiterentwicklung psychologisch-sozialer Indikatoren (Ziel 1) gehen Kapitel , und ein; die Szenarienbildung und Analyse (Ziel 2) werden ebenfalls in Kapitel und sowie in Kapitel besprochen. Die weiterführende Validierung und Qualitätssicherung des Teilmodells und seiner Interaktionen in DANUBIA (Ziel 3) fanden zum einen in Form von Experteninterviews mit relevanten *Stakeholdern* (3.2.5), zum anderen in Form von Verbesserungen und

Verfeinerungen bei der Ergebnisdarstellung (3.2.6.2) statt. Bei Ziel 4 (Optimale Realisierung von Stakeholder-angepasster Entscheidungsunterstützung) sind erste Schritte einer verbesserten Ergebnisvisualisierung (3.2.6.2; 3.3.2) sowie die integrativen Arbeiten in Form der Atlas-Beiträge (3.3.3.1) und die weitere Teilnahme am Stakeholder-Prozess (3.3.3.2) zu nennen. Die Bereitstellung der wissenschaftlichen Ergebnisse (Ziel 5) hat bislang in Form von Fachartikel und Konferenzbeiträgen stattgefunden, die in Kapitel 2.3.2-2.3.4 aufgelistet sind.

3.2 Sektorale Arbeiten

Zunächst werden die Weiterentwicklungen in den Bereichen Wassernutzungsverhalten als Gewohnheit (3.2.2) und Antizipation schleichender Umweltrisiken (3.2.2) und den damit verbundenen Modellen beschrieben. Die in diesem Zusammenhang durchgeführten empirischen Untersuchungen und ihre Ergebnisse wurden in früheren Jahresberichten sowie im Endbericht der II. Förderphase ausführlich vorgestellt. Es folgt die Beschreibung der psychologisch-sozialen Indikatoren (3.2.4), einem neuen Konzept, welches in der dritten Förderphase in *DeepHousehold* integriert wird. Kapitel 3.2.5 widmet sich der Szenarienbildung und Analyse. Abschließend werden in Kapitel die stattgefundenen technischen Erweiterungen von *DeepHousehold* beschrieben.

3.2.1 Das Innovationsmodell - Ausbreitung von innovativen Wassernutzungstechnologien

Ein wesentlicher Bestandteil von *DeepHousehold* ist das Innovationsmodell, welches die Ausbreitung von wassersparenden Technologien im Haushalt modelliert. Das Innovationsmodell enthält als Parameter die Eigenschaften der Innovationen, Eigenschaften der Akteure sowie verschiedene Entscheidungsalgorithmen abhängig von Akteurstyp und Technologiebereich.

Abbildung 1a und 1b zeigen die modellierte absolute Anzahl von Regenwassernutzungsanlagen pro Proxel für zwei verschiedene Jahre (2010 und 2036). Man kann deutlich sehen, dass die Anzahl der Regenwassernutzungsanlagen im Jahr 2010 noch gering ist. Im Jahr 2036 ist die absolute Anzahl pro Proxel erheblich gestiegen. Gerade in städtischen Ballungsräumen sind zahlreiche Regenwassernutzungsanlagen vorhanden. Das liegt zum einen an der höheren Bevölkerungszahl pro Poxel in den Städten. Zum anderen sind dort die innovationsfreudigen Milieu-Gruppen (z.B. Postmaterielle, Sonstige Gesellschaftliche Leitmilieus) vermehrt anzutreffen.

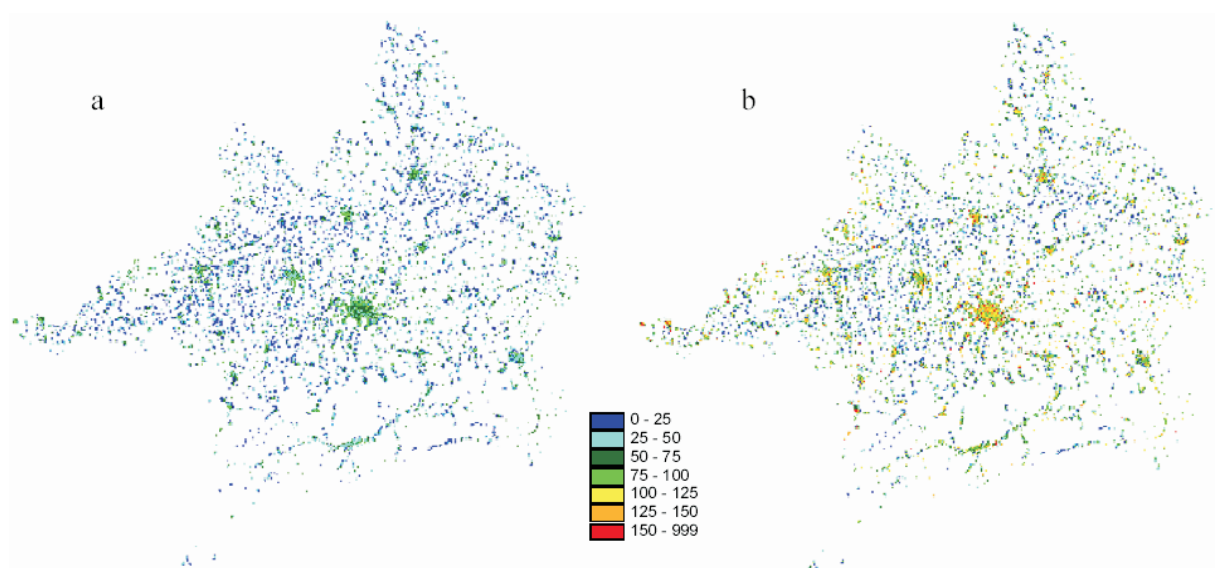


Abb. 1a,b: Räumlich aufgelöste Darstellung der modellierten absoluten Anzahl der Regenwassernutzungsanlagen pro Proxel für die Jahre 2010 (a) und 2036 (b)

Eine genaue Beschreibung des in *DeepHousehold* enthaltenen Innovationsmodells erfolgte im Jahresbericht 2007 sowie im Abschlussbericht der zweiten Förderphase.

3.2.2 Wassernutzungsverhalten als Gewohnheit

Bisherige Untersuchungen zum Wassersparen fanden zumeist im Umfeld einer Dürre in ariden Gebieten statt. Da jedoch die Kampagnen fast immer als Maßnahmenbündel geplant und eingesetzt werden, kann der Erfolg einer einzelnen Maßnahme nicht bestimmt werden. Dennoch lassen sich einige Gemeinsamkeiten feststellen. Als erste Maßnahme auf eine antizipierte oder bereits eingetretene Wasserknappheit werden zumeist allgemeine Sparaufrufe eingesetzt, während nachfolgend Sparkampagnen mit konkreten Sparappellen auf freiwilliger Basis und solche, die restriktive Maßnahmen beinhalten geschaltet werden. Die Wirkung von reinen Sparappellen ohne zusätzliche Maßnahmen wie Regelungen oder Verbote ist jedoch kaum bzw. gar nicht vorhanden (AGRAS, JACOB und LEBEDECK 1980; BERK, COOLEY, LACIVITA, PARKER, SREDL und BREWER 1980; DE OLIVER 1999; DEGAETONO 1999).

Um diesem Umstand gerecht zu werden, wurden in der zweiten Förderphase zwei empirische Untersuchungen durchgeführt, die sich mit gewohnheitsgeprägter Wassernutzung und Widerständen bei fiktiven Sparaufrufen auseinandersetzen. Aufbauend auf den Ergebnissen der Untersuchungen wurde ein Reaktanz-Modell entwickelt, das das Verhalten der Akteure bei einer Wasserknappheit abbildet. Der Name des Modells geht auf die von Jack Brehm 1966 aufgestellte Reaktanz-Theorie (engl. reactance theory) zurück (BREHM 1966; BREHM und BREHM 1981). Die Grundaussage der Theorie ist, dass Personen, die eine Einschränkung ihrer Freiheit wahrnehmen, motivational erregt sind. Dieser motivationale Erregungszustand wird als Reaktanz bezeichnet. Er ist mit dem Ziel verbunden die Freiheit wiederherzustellen. Ein Sparaufruf stellt mithin eine Einmischung von außen in eine private Angelegenheit dar, die das Ablegen einer Gewohnheit fordert. Ein typischer Reaktanzeffekt als Reaktion zur Wiederherstellung der eingeschränkten Freiheit ist die direkte Wiederherstellung: das Ausführen der sanktionierten Handlung.

Allgemein ausgedrückt ist das Ziel des Reaktanz-Modells das Abschätzen der Wirkung von Sparappellen. Grundüberlegung ist die, dass bei einem Sparaufruf die vorhandenen Gewohnheiten überwunden werden müssen. Eine Veränderung des Verhaltens ist entsprechend nur unter bestimmten Umständen angedacht. Treiber ist die *drinkingwaterQuantityFlag* in der 4-stufigen Ausprägung. Diese wird in Anlehnung an bereits durchgeführte Wassersparkampagnen entsprechend ihres Flaggenwertes wie folgt interpretiert: Sparappelle sind freiwillige Aufrufe zum Wassersparen, die zumeist eine erste Reaktion auf eine Wasserknappheit, bzw. antizipierte Wasserknappheit darstellen (z.B. Queensland, Australien und Dallas, Texas). Im Modell entspricht das einer Flagge 2, die als Medienberichte interpretiert wird. Konkrete Sparaufrufe werden - bei anhaltender Wasserknappheit - nachfolgend eingesetzt. Im Modell entspricht das Flagge 3, die als Aufrufe durch den Bürgermeister interpretiert wird. Abbildung 2 zeigt eine vereinfachte Darstellung des Reaktanz-Modells.

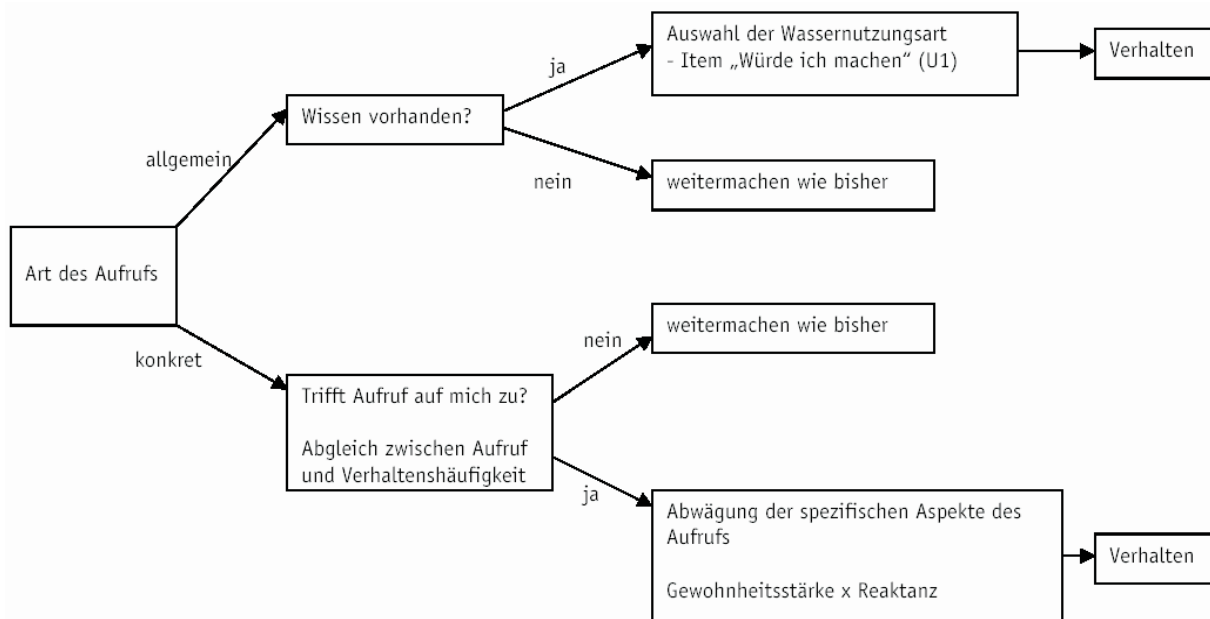


Abb. 2: Vereinfachte Darstellung des Reaktanz-Modells zur Abschätzung der Wirksamkeit von Sparapellen

Die Implementierung des Reaktanz-Modells erfolgt, nachdem der interne Umbau von *Deep-Household* abgeschlossen ist (vgl. 3.2.6.4).

3.2.3

Antizipation schleichender Umweltrisiken

Ein wesentliches Ziel in der verbleibenden Zeit der dritten Phase ist die Entwicklung von psychologisch-sozialen Indikatoren der Zufriedenheit und Risikowahrnehmung sowie von Leitwerten wasserbezogener sozialer Nachhaltigkeit. Hierzu wird eine umfassendere und zugleich detailliertere Abbildung der Zufriedenheit der Haushalte herausgearbeitet. Dies geschieht mit dem Konzept der psychischen Aktiviertheit. Aktiviertheit wird definiert als Ausdruck kognitiv-emotionaler Beeinträchtigung des psychischen Systems. Neben der bisherigen Bewertung der Menge des Trinkwasserdargebots wird die Trinkwasserqualität sowie die Wahrnehmung der allgemeinen Rahmenbedingungen (Global Change-Probleme; insbesondere Hochwasser) eine Rolle spielen. Der Einfluss der Medienberichterstattung auf die Risikowahrnehmung wird ebenso berücksichtigt wie die Risikowahrnehmung der Collaborators über das soziale Netzwerk der Akteure. Im Zentrum stehen die Risikowahrnehmung und die psychische Reaktion der Haushalte auf Risiken, die sich aus dem Klimawandel ergeben. Die empirischen Untersuchungen zur Risikowahrnehmung wurden im Berichtszeitraum abschließend ausgewertet und die Teilnehmer in die Sinus-Milieu-Gruppen eingeteilt. Aus den empirischen Erhebungen konnten wichtige Schlussfolgerungen für die Implementation des Aktiviertheitsindex in DeepHousehold gewonnen werden. Die Ergebnisse zeigen Unterschiede zwischen den Milieugruppen insbesondere bei den Variablen Zukunftsorientiertheit (CFC) und Psychohygiene (PsyHyg). Die Traditionellen Milieus scoren zusammen mit den Postmateriellen am höchsten auf der CFC-Skala, legen also relativ mehr Gewicht auf die zukünftigen (=langfristigen) Folgen aktueller Handlungen. Am unteren Ende der Skala rangieren (wie theoretisch zu erwarten) die Teilnehmer aus Hedonistischen Milieus.

Am meisten Psychohygiene (Prozesse wie Verdrängung oder Rationalisierung, vgl. STÄDTLER 1998) zeigen die Mainstream-Milieus. Die Postmateriellen und auch die Teilnehmer aus Hedonistischen Milieus unterscheiden sich von den Mainstream-Milieus signifikant (Bonferroni).

Diese Ergebnisse führen dazu, dass die mittels der CFC-Skala gemessene Zukunftsorientierung als ImpFuture (=Importance Future) und als zweite Eigenschaft im Akteursprofil die Psychohygiene als PsyHyg aufgenommen wird. Dass die beiden Skalen tatsächlich jeweils eigene Dimensionen darstellen, konnte in einer konfirmatorischen Faktorenanalyse gezeigt werden, in der die Items dieser Skalen auf eine vorgegebene 2-Faktorenlösung aufgeteilt werden konnten.

Aus theoretischen Überlegungen und aus den weiteren empirischen Ergebnissen wird abgeleitet, dass stärkere Zukunftsorientiertheit erhöhte Aktiviertheit nach sich zieht. Zum anderen wird die Aktiviertheit verringert durch psychohygienische Maßnahmen wie Verdrängung oder Rationalisierung vorliegender Probleme. Dieses Konzept der Verstärkung bzw. Abschwächung von ‚objektiven‘ Events durch ein psychisches System ist angelehnt an das Konzept der Social Amplification of Risk (KASPERSON et al. 2005). Im Einzelnen wird die in Abbildung 3 gezeigte Modellstruktur angenommen. Dabei wird ersichtlich, dass Leitwertmindererfüllungen für die Milieus unterschiedlich relevant sind (vgl. 3.2.4.2).

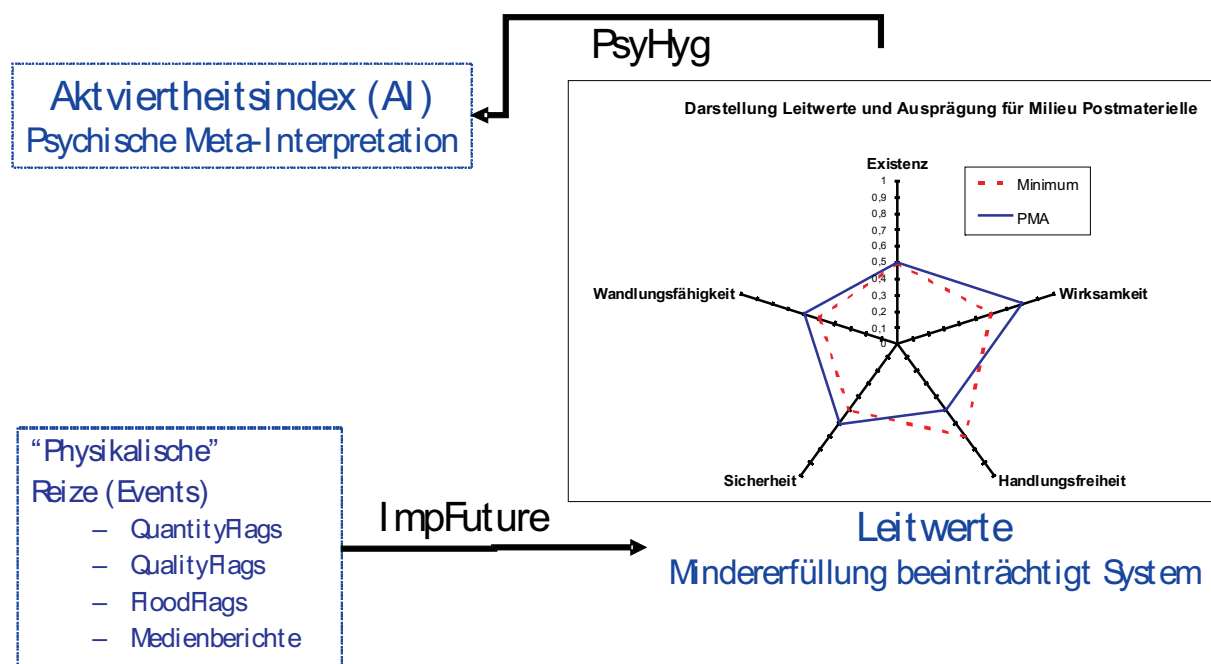


Abb. 3: Das Modell der Risikowahrnehmung. Die erste Bewertung der Events als „objektive“ Reize erfolgt über die Wichtigkeit der zukünftigen Auswirkungen aktueller Entwicklungen (ImpFuture). Je nach Milieugruppe wirken sich diese Events unterschiedlich auf die Leitwernerfüllung aus. Eventuelle Leitwertmindererfüllung wird vom psychischen System „gefiltert“ durch Psychohygienemaßnahmen wie z.B. Verdrängung

Die Implementierung des Risikowahrnehmung-Modells erfolgt, sobald der interne Umbau von *DeepHousehold* abgeschlossen ist (vgl. 3.2.6.4).

3.2.4 Psychologisch-soziale Indikatoren in *DeepHousehold*

Ein wichtiges Ziel von GLOWA-Danube ist das Aufzeigen sowohl existierender als auch neuartiger Konfliktpotentiale zwischen Wassernutzern, die durch potentielle Veränderungen von Wasserqualität, verfügbarer Wasserquantität sowie durch Hochwasserrisiko entstehen. Ziel der Szenarienbildung und Analyse in diesem Teilprojekt ist es, eine mögliche Erreichung der gebildeten Leitwerte der Nachhaltigkeit mittels Interventionen (d.h. modellierter politisch-administrativer Maßnahmen) zu prüfen und deren Voraussetzungen zu identifizieren.

Als ein Konzept der Nachhaltigkeit wurden die Orientoren nach BOSSEL (1998) gesucht.

In Kapitel 3.2.4.1 wird zunächst die Orientorentheorie nach Bossel beschrieben. Im Anschluss wird die konzeptionelle Umsetzung der Leitwerte aus der Orientorentheorie in *DeepHousehold* dargestellt (3.2.4.2).

3.2.4.1 Orientorentheorie nach BOSSEL

Zeichen, Indikatoren', geben Aufschluss über Zustand und Entwicklung der Welt. Sie signalisieren, wie die Lage ist und können die Komplexität der Welt auf ein handhabbares Maß reduzieren, so dass Handlungsentscheidungen erleichtert werden.

Hintergrundannahme der Orientoren-Theorie ist, dass selbstorganisierende Systeme einen Satz an gewissen Orientoren entwickeln, während sie sich ihrer Umwelt anpassen. Der Satz an Orientoren ist über alle Systeme hinweg identisch, vorausgesetzt die Umwelt ist „normal“.

Ausgehend von den fundamentalen Umwelteigenschaften' identifiziert Bossel die Leitwerte, die ein System verfolgen (befriedigen') muss um erfolgreich in seiner Umwelt zu überleben.

Jedes System muss mit seiner Systemumwelt zurechtkommen. Daraus lassen sich für jede Umwelteigenschaft spezifische Erfordernisse angeben und daraus Leitorientierungen (Orientoren) ableiten.

BOSSEL (1998) identifiziert folgende Leitwerte, die sich aus den Umwelteigenschaften ergeben:

1. Normaler Umweltzustand
Ermöglichung physischer Existenz; **Leitwert Existenz** - „Sicherstellen, dass das System in seiner Umwelt existieren kann.“ Außerdem Versorgung, d.h. Existenz auf längere Zeit sichern. „Sicherstellen, dass sich das System in seiner Umwelt auch langfristig versorgen kann.“
2. Ressourcenknappheit
Potentielle Verfügbarkeit von Ressourcen, aber auch insbesondere deren Beschaffung, **Leitwert Wirksamkeit**. „Das System befähigen, benötigte Ressourcen wirksam und (langfristig) effizient zu beschaffen und zu nutzen.“
3. Umweltvielfalt
Verschiedene Umweltmuster verlangen eine Palette unterschiedlicher Verhaltensweisen; **Leitwert Handlungsfreiheit**. „Das System in die Lage versetzen, mit einer Vielfalt von Situationen zurechtkommen.“
4. Umweltunsicherheit
Gelegentliche unerwartete Veränderungen des Systems zum Schlechten hin bewältigen; **Leitwert Sicherheit**. „Sicherstellen, dass das System auch unter ungewöhnlichen und unerwarteten Bedingungen sicher funktionieren kann.“
5. Umweltwandel
Bewältigung dauerhafter Veränderungen durch entsprechende Anpassung; **Leitwert Wandlungsfähigkeit**. „Sicherstellen, dass das System die Fähigkeit hat, zu lernen und sich anzupassen.“
6. Andere Systeme
Andere Systeme haben entsprechend Bedürfnisse, die koordiniert werden müssen, soziale Kompetenz und Überblick sind erforderlich; **Leitwert Koexistenz**. „Dem System ermöglichen mit anderen zu bestehen.“

Handelt es sich um ein System, welches aus reproduzierbaren, empfindungsfähigen und bewussten Wesen besteht (z.B. eine Familie, die aus Menschen besteht), ergeben sich drei weitere Leitwerte. Die ersten sechs Leitwerte gelten für alle autonomen, selbstorganisierende Systeme.

7. Selbsterzeugendes System
Die Replizierbarkeit, Erhalt des Systems durch Fortpflanzung; **Leitwert Reproduktion.** „Sicherstellen, dass das System sich selbst erneuern kann.“
8. Empfindungsfähiges Wesen
Leitwert Psychische Bedürfnisse. „Psychische Bedürfnisse erfüllen, Schmerz und Stress vermeiden.“
9. Bewusster Akteur
Handlungen haben Folgen, die vom Handelnden antizipiert werden können, steht eine Entscheidung an, werden normative Maßstäbe benötigt. **Leitwert Ethisches Leitprinzip.** „Für die Steuerung bewusster Entscheidungen gewisse normative Maßstäbe verwenden.“

Nachhaltigkeit, bzw. der Index der Nachhaltigkeit bildet die langfristige Möglichkeit zur Erfüllung aller fünf Leitwerte durch das System ab.

Dabei handelt es sich nicht einfach die Zusammenfassung der Leitwerte, um von einem „gesunden“ System sprechen zu können, müssen alle Leitwerte mindestens befriedigt werden.

Um Aussagen zur Nachhaltigkeit machen zu können, müssen für diese Orientoren und ihre Leitwerte entsprechend im vorhandenen Modell *DeepHousehold* Maße gefunden werden, die diese Leitwerte repräsentieren. Dies ist nicht für alle, aber für einige der Orientoren möglich. Nachfolgend wird das Konzept zur Integration der Orientoren in *DeepHousehold* vorgestellt.

3.2.4.2 Konzeption der Indikatoren und Leitwerte in *DeepHousehold*

Das betrachtete System sind die *DeepHousehold*-Akteure (Agenten). *DeepHousehold* kennt insgesamt 5 Akteurstypen, die die 5 Milieu-Gruppen repräsentieren:

- Postmaterielle,
- sonstige Gesellschaftliche Leitmilieus,
- Traditionelle Milieus,
- Mainstream-Milieus und
- Hedonistische Milieus.

Folgende fünf Leitwerte werden in *DeepHousehold* abgebildet (in Klammern die “Übersetzung” in *DeepHousehold*):

- Existenz und Versorgung (abgeleitet; quasi das Produkt der anderen Maße)
- Wirksamkeit (Ressourcen-Effizienz)
- Handlungsfreiheit (Einschränkung)
- Sicherheit (Quantitäts-, Qualitäts-, Hochwasserflagge)
- Wandlungsfähigkeit (Technologie; Innovationsdiffusion)

Ausgangsüberlegung für ein Konzept zur Umsetzung der Indikatoren und Leitwerte in *DeepHousehold* war, die Umsetzung möglichst einfach und leicht nachvollziehbar, dabei inhaltlich logisch zu gestalten.

Folgende Voraussetzungen wurden getroffen:

Die Umwelteigenschaften sind objektiv und wirken gleich stark auf alle Systeme (Milieu-Gruppen) ein. Z.B. bekommt eine Quantitätsflagge (*drinkingwaterQuantityFlag*) mit

einem bestimmten Index einen Wert zugewiesen, der auf den Leitwert **Wirksamkeit** (Def.: „mit weniger Ressourcen das gleiche erreichen“) bei allen Milieu-Gruppen Einfluss nimmt. Übersetzt heißt das, dass die Haushalte einen Sparaufruf bekommen und nur noch bestimmte Wassernutzungen durchführen dürfen (bspw. nur ein Mal pro Woche duschen).

Die Milieu-Gruppen sind unterschiedlich anfällig für Veränderungen der Leitwerte. Z.B. kann man davon ausgehen, dass Traditionelle Milieus beim Leitwert **Wirksamkeit** sehr wenig sensitiv ist, da Traditionelle Akteure erstens weniger häufig duschen und zweitens vom Prinzip her eher sparsam sind und mit Einschränkungen umzugehen verstehen. Bei den Hedonistischen Milieus verhält es sich entgegengesetzt, sie hätten eine entsprechend hohe Sensibilität beim Leitwert **Wirksamkeit**.

In Anlehnung an die bereits vorhandenen Milieu-Properties (z.B. Modernität, Preissensitivität) werden den Milieu-Gruppen für die **Leitwerte Wirksamkeit, Handlungsfreiheit, Sicherheit und Wandlungsfähigkeit (Existenz** ergibt sich aus den vier genannten Leitwerten) entsprechende Milieu-Properties zugewiesen. Die Milieu-Properties bestimmen, in wie weit eine bestimmte Umweltveränderung auf einen Leitwert einwirkt. Ein niedriger Wert bedeutet, dass der objektive Wert der Umweltveränderung stark abgeschwächt wird; angenommen der Wert ist 5, dann wirkt er mit $5 * 0.4 = 2$. Bei einem Milieu, das sensitiver ist und auf dem Leitwert die Milieu-Property 0.9 aufweist, wirkt die selbe Umweltveränderung entsprechend stärker: $5 * 0.9 = 4.5$.

Die Milieu-Gruppen werden je nach Umwelt(veränderung) eine unterschiedliche Leitwert-erfüllung aufweisen, abzulesen an der Ausprägung der Leitwert-erfüllung (vgl. Abb. 4).

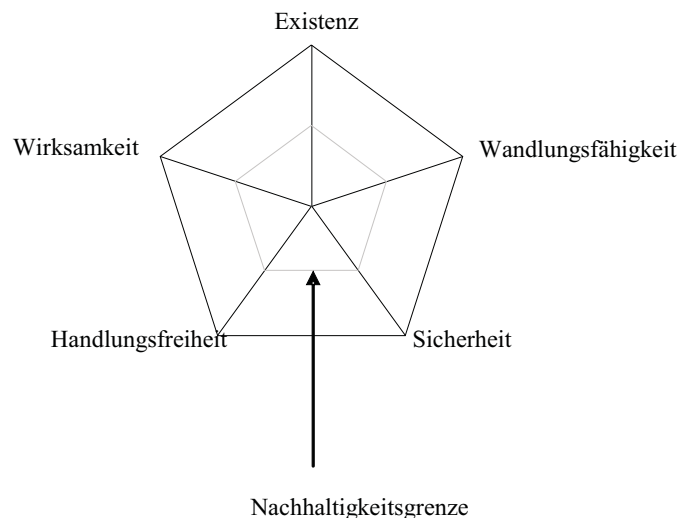


Abb. 4: Netzstruktur als Beispiel einer Abbildungsmöglichkeit zur Darstellung der Nachhaltigkeitsproblematik - Nachhaltigkeitsnetz

Die abgebildete Netzstruktur bietet eine gute Ausgangsbasis zur Darstellung der Nachhaltigkeitsproblematik. Wichtig ist dabei, dass diese Netze dynamisch sind, so dass sie über die Zeit für Milieus, Proxel, Städte/Regionen jeweils den Verlauf der Nachhaltigkeit angeben. Als Index (kommunizierbare Zahl) kann das Integral der „nachhaltigen Fläche“ fungieren, die aufgespannt wird.

Abbildung 5 zeigt das Nachhaltigkeitsnetz beispielhaft für zwei unterschiedliche Milieu-Gruppen.

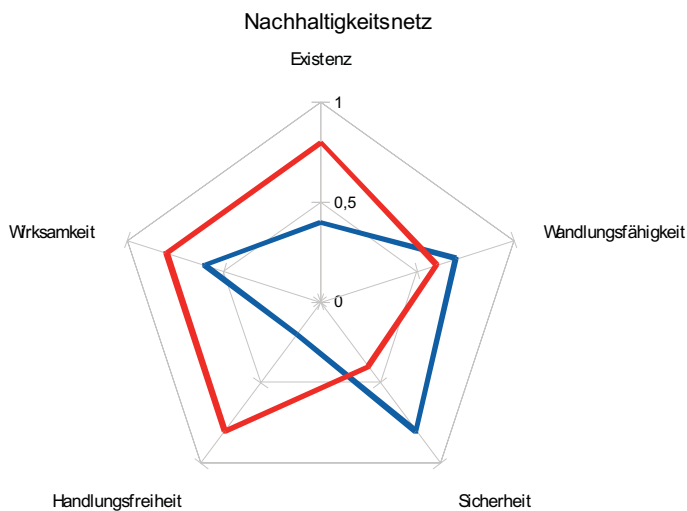


Abb. 5: Beispiel eines Nachhaltigkeitsnetzes mit zwei unterschiedlichen Milieu-Gruppen (rot

Die Unterfütterung der Milieu-Properties für die Leitwerte erfolgt in enger Zusammenarbeit mit der Firma SinusSociovision (s. auch 3.2.5).

3.2.5 Szenarienbildung und Analyse

Wichtiges Ziel der Szenarienbildung und Analyse in diesem Teilprojekt ist es, ein mögliches Erreichen der gebildeten Nachhaltigkeitsleitwerte mittels Interventionen (d.h. modellierter politisch-administrativer Maßnahmen) zu prüfen und deren Voraussetzungen zu identifizieren. Die Szenarienformulierung als auch deren Auswertung und Interpretation geschieht in Zusammenarbeit mit der Firma SinusSociovision. Dazu wurden am 23.11.2007 und 17.01.2008 bereits zwei Workshops mit Vertretern von SinusSociovision und des Teilprojekts Umweltpsychologie veranstaltet (Teilnehmer: Perry, de Vries [SinusSociovision], Ernst, Kuhn, Seidl [GLOWA-Danube]), ein weiterer Workshop ist für Mitte April geplant.

Grundlage der später in GLOWA-Danube genutzten Szenarien bilden die Sinus-Szenarien zur Gesellschaftsentwicklung 2020.

3.2.5.1 Die Sinus-Szenarien zur Gesellschaftsentwicklung 2020

Während der demographische Wandel der Gesellschaft eine Tatsache darstellt, herrscht über seine Folgen Unklarheit. Die von SinusSociovision (deVRIES und PERRY 2007) entworfenen Szenarien zeigen unterschiedliche Möglichkeiten des Umgangs mit den Herausforderungen des demographischen Wandels durch die Gesellschaft auf. Aufbauend auf bestimmten Grundorientierungen, die sich im Jahre 2020 verschiedenartig durchgesetzt haben, werden drei Szenarien einer gesellschaftlichen Zukunft entworfen. Diese werden im folgenden kurz skizziert.

Zukunft 1 - „Free is Fair - Wettbewerb“

Dieses Szenario geht von einer strikt materialistischen, marktorientierten Gesellschaft aus, in der kollektive Verantwortung und Aufgaben an Bedeutung verlieren. Eine Folge dieser Wettbewerbsgesellschaft ist die sehr ungleiche Verteilung von Geld und Macht und der große Einfluss von Menschen mit großem Antrieb. Generell wird das betont, was gut läuft. Kritik wird als Vermeidung von Veränderung verstanden.

Zukunft 2 - „Shared Destiny - Die Schicksalsgemeinschaft“

In diesem Szenario hat sich die Überzeugung durchgesetzt, dass der Markt viele Dinge nicht gut regeln kann. Die Gesellschaft verlangt von Politik und Wirtschaft eine gesamtgesellschaftliche Verpflichtung, Verantwortung sowie die Orientierung am Allgemeinwohl.

Die Betonung liegt auf einer anständigen Gesellschaft mit Bildung als gemeinsamen Ziel. Solidarität wird angestrebt.

Zukunft 3 - „Metamorphosis - Wandel“

Dieses Szenario beschreibt eine Gesellschaft, die sich im Wandel befindet und aus den bekannten Gegensätzen ausbricht. Dazu gehören eine Neudefinition der Probleme und Herausforderungen und eine ganzheitliche Herangehensweise. Möglichkeiten werden neu erkundet und Prioritäten neu bestimmt und eine Mobilisierung aller vorhandenen Talente in der Gesellschaft angestrebt.

Die drei genannten gesellschaftlichen Szenarien bilden die Grundlage für die weitere Szenariobildung. Dabei werden zusammen mit der Firma SinusSociovision denkbare wasserbezogene Auswirkungen sowie damit einhergehende plausible milieubezogene Ansichten und Reaktionen auf Krisen - z.B. in der Wasserversorgung oder bei Hochwasserereignissen - entworfen.

3.2.6 Weiterentwicklung des tiefen *Household*-Modells - *DeepHousehold*

Bevor in technische Neuerungen beschrieben werden, werden in die verwendeten Szenarien als Treiber des Modells vorgestellt. Danach wird in kurz auf die stattgefundenen Umstellungen auf das neue DANUBIA-*Framework* 2.0 eingegangen und in die Konzeption des Refactoring von *DeepHousehold* vorgestellt.

3.2.6.1 Beschreibung der verwendeten Szenarien als Treiber von *DeepHousehold*

Eine wichtige Komponente bei der Weiterentwicklung und anschließender Überprüfung des Modells stellen die verwendeten Szenarien als Treiber des Modells dar. Dabei sollten die Szenarien möglichst unterschiedlich und stark genug sein, um Reaktionen in *DeepHousehold* auszulösen und eine zusätzliche Validierung des Modells zu ermöglichen. Im folgenden werden die derzeit verwendeten Szenarien vorgestellt, um die gezeigten Ergebnisse einordnen und interpretieren zu können.

Den derzeit größten Treiber stellt die *drinkingwaterQuantityFlag* dar. Entsprechend wurden die verwendeten Szenarien vom Teilprojekt WaterSupply in internen Läufen erstellt. Durch die Kombination von drei Klima-Szenarien und drei unterschiedlich sensitiven Flaggen-Berechnungen existieren neun unterschiedliche Flaggen-Szenarien.

Klimaszenarien:

- Berichtslauf (Weiter So): Extremere jährliche Schwankungsbreiten; im Mittel aber wie das optimistische Szenario
- Optimistisch: Weiterführung der derzeitigen gemäßigten Verhältnisse
- Trocken: Signifikante Abnahme der Niederschläge (Abnahme der Grundwasserressourcen)

Die Wasserversorger interpretieren die *groundwaterQuantityFlag*, die den Zustand der Grundwasserressourcen beschreibt und berechnen die *drinkingwaterQuantityFlag*. Diese Flagge wird an die *Actor*-Modelle geschickt, die sie benötigen und wird von ihnen als Indikator für eine potenziell nachhaltige Nutzung der Grundwasser-Ressource interpretiert werden.

Grundsätzlich können die Wasserversorger auf dreierlei Weise auf eine *groundwaterQuantityFlag* reagieren:

- Ignorant (Insensitiv): Die Wasserversorger ignorieren die *groundwaterQuantityFlag*; sie fördern immer ein ausschließlich von der Nachfrage abhängiges Wasservolumen. Als Ergebnis geben die Wasserversorger eine *drinkingwaterQuantityFlag* heraus, die tendenziell „1“ ist.

- Middle (Mittel): Die Wasserversorger sehen aufkommende Probleme, halten eine sofortige Reaktion der Wassernutzer aber noch nicht für notwendig. Als Ergebnis geben die Wasserversorger eine *drinkingwaterQuantityFlag* heraus, die tendenziell „2-3“ ist.
- Sensibel (sensitiv): Die *groundwaterQuantityFlags* sind den Wasserversorgern wichtig. Entsprechend versuchen die Wasserversorger die Wassernutzer zu einer nachhaltigen Nutzung der Grundwasserressourcen zu bewegen. Als Ergebnis geben die Wasserversorger eine *drinkingwaterQuantityFlag* heraus, die tendenziell „4“ ist.

3.2.6.2 Technische Neuerungen in *DeepHousehold*

Während des Berichtszeitraums trat ein Problem mit Win2000 und Java auf. Dieses wurde im Rahmen eines Tests von *DeepHousehold* vor einem größeren Eingriff in den Programmaufbau entdeckt. Um einen Baseline-Datensatz zu haben, wurde das Programm ‚leer‘ laufen gelassen, d.h. ohne Szenarien, Flaggen und dergleichen, so dass evt. Abweichungen nach dem Eingriff sofort erkennbar sein würden. Jedoch kam es zu zufälligen extremen Abweichungen beim berechneten Wasserverbrauch.

Nach intensiven Nachforschungen konnte das Problem behoben und ausgeschlossen werden, dass es sich um ein generelles Problem des bestehenden Modells handelt. Eine detaillierte Beschreibung findet sich im GLOWA internen Paper Fehler bei JAVA mit Windows 2000 (SEIDL und KLEMM 2007), das über den GLOWA-Verteiler bekannt gemacht wurde.

Im Zuge der fortlaufenden Optimierung des Modells gab es eine Reihe kleinerer Verbesserungen wie beispielsweise die Entwicklung eines neuen Importverfahrens für Temperaturdaten während Testläufen. Dies erleichtert die individuelle Zusammenstellung von klimagetriebenen Szenarien zur Überprüfung des Modells.

Es fanden umfangreiche Konvertierungsarbeiten statt, so wurden z.B. eine große Anzahl Temperaturdaten vom Promet-eigenen RAS-Format in das ddat-Format von DANUBIA konvertiert. Dies ebnete den Weg für das Rechnen von insgesamt 9 internen 30-Jahresszenarien. Hierbei wurden 3 Klimaszenarien mit jeweils 3 unterschiedlichen Wasserversorger-sensitivitäten kombiniert (vgl. 3.2.6.1).

Abbildung 6 und Abbildung 7 zeigen räumlich aufgelöste Ergebnisse unterschiedlicher Läufe für je zwei Akteure. Abbildung a zeigt jeweils die Ergebnisse für einen Akteur der Milieu-Gruppe *Mainstream-Milieus*; Abbildung b für einen Akteur der Milieu-Gruppe *Traditionelle Milieus*. Die zwei Milieus wurden ausgewählt, da die Haushaltsgrößen (Durchschnitt 2,2 Personen) für die beiden Akteure gleich sind. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Wasserversorger in Abbildung 7 sensitiv eingestellt sind (vgl. 3.2.6.1), d.h. bei Anzeichen einer *groundwaterQuantityFlag* eine tendenziell höhere *drinkingwaterQuantityFlag* ausgeben, auf die die Haushalte entsprechend reagieren. Insbesondere südwestlich vom Ballungsraum München reduzieren die Haushalte ihren Wasserverbrauch für die Nutzungsart Duschen (Abb. 7).

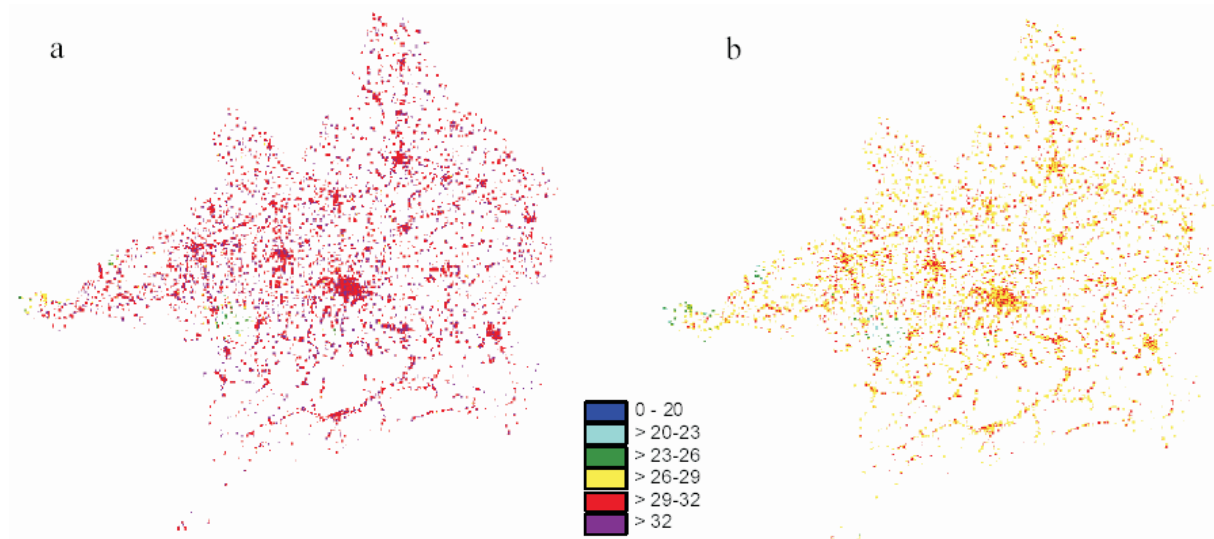


Abb. 6a,b: Räumlich aufgelöste Darstellung des modellierten Wasserverbrauchs für die Nutzungsart Duschen in Liter pro Haushalt und Tag im August 2035 für einen Akteur der Milieu-Gruppe *Mainstream-Milieus* (a) und einen Akteur der Milieu-Gruppe *Traditionelle Milieus* (b). Szenariobedingungen: Berichtslauf; mittel sensitive Wasserversorger

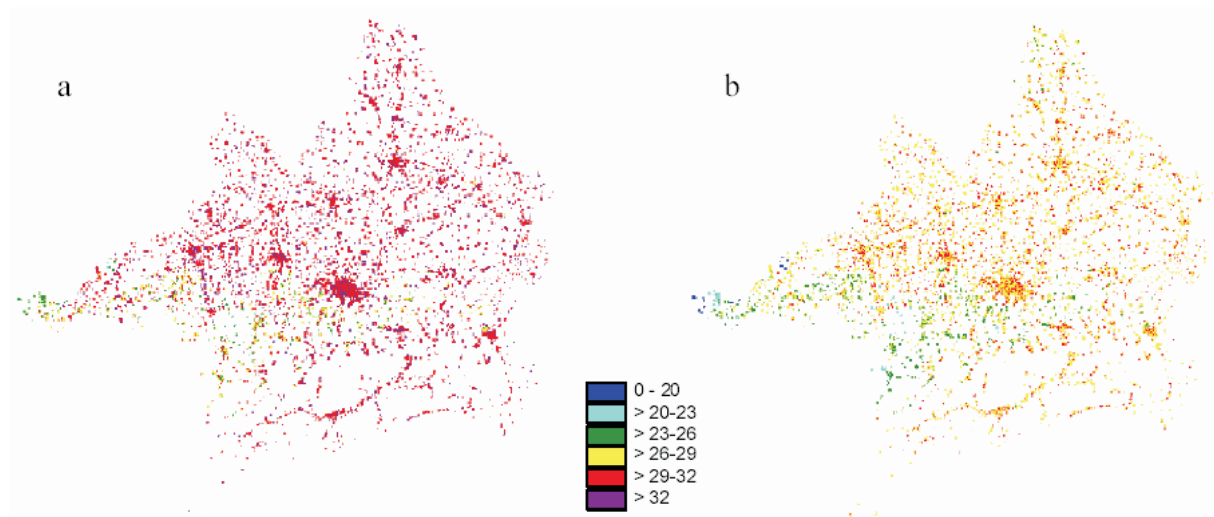


Abb. 7a,b: Räumlich aufgelöste Darstellung des modellierten Wasserverbrauchs für die Nutzungsart Duschen in Liter pro Haushalt und Tag im August 2035 für einen Akteur der Milieu-Gruppe *Mainstream-Milieus* (a) und einen Akteur der Milieu-Gruppe *Traditionelle Milieus* (b). Szenariobedingungen: Berichtslauf; sensitive Wasserversorger

3.2.6.3 Umstellung auf neues DANUBIA-Framework 2.0

Ab dem Releasedatum (09.11.2007) erfolgte die schrittweise Umstellung auf das neue *Framework* DANUBIA 2.0ff. Die Umstellung und erste Läufe im Februar 2008 auf dem hrz-Cluster der Universität Kassel verliefen positiv (Linux-Cluster, Java, Version 1.6.0_01, 64Bit). Das Modell DeepHousehold erzeugt auch in der neuen DANUBIA-Umgebung plausible Daten wie vor der Umstellung. Abbildung 8 zeigt eine Gegenüberstellung der Ergebnisse mit DANUBIA 1.0 und DANUBIA 2.1.6. Als Szenario diente das Klima-Szenario Berichtslauf, die Wasserversorger waren insensitiv eingestellt. Es ist zu erkennen, dass die Abweichungen zwischen den DANUBIA-Versionen minimal sind.

Waterdemand Szenario BI: Berichtslauf, Insensitive Wasserversorger

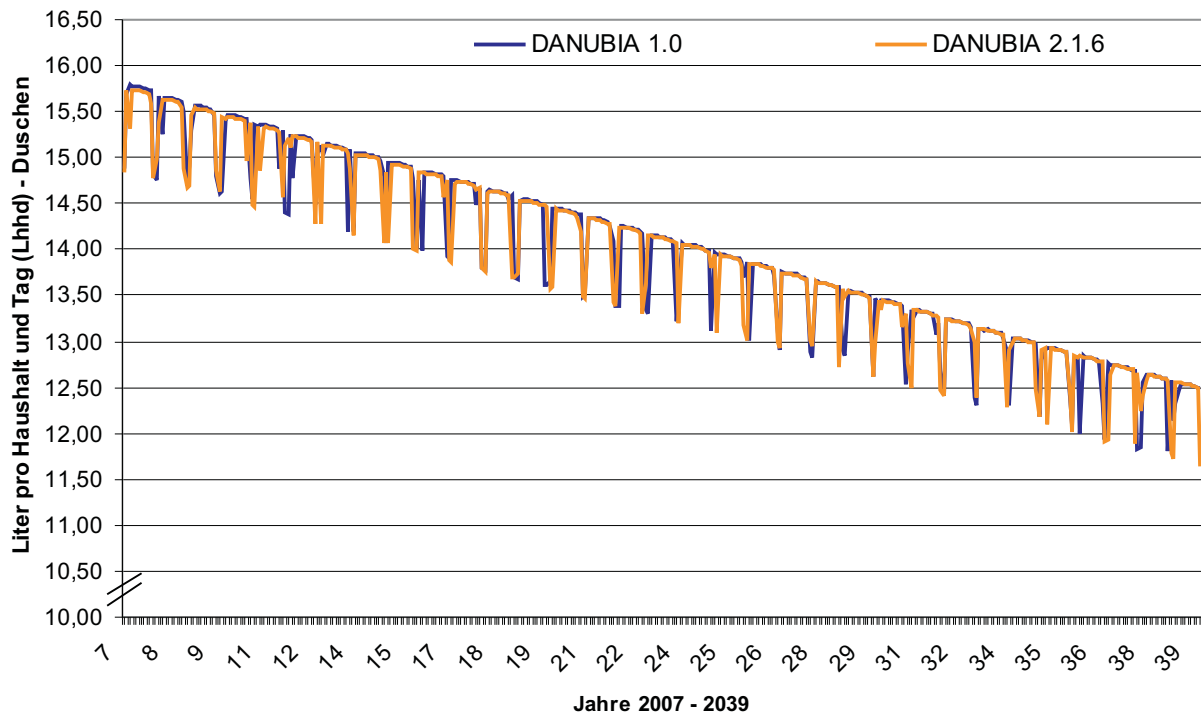


Abb. 8: Vergleich von DANUBIA 1.0 und 2.1.6 - Wasserbedarf Nutzungsart Duschen im Szenario BI (Berichtslauf, Insensitive Wasserversorger)

3.2.6.4 Refactoring von *DeepHousehold*: *DeepHousehold* 2.0

Zum Ende der zweiten Förderphase wurde mit dem Innovationsmodul die Ausbreitung von Wassernutzungsinnovationen bei privaten Haushalten in das Modell *DeepHousehold* integriert. Als eine Hauptaufgabe in der dritten Förderphase werden zwei weitere Module in das Programm aufgenommen. Diese Module beziehen sich auf die Reaktanz und die Risikowahrnehmung (vgl. 3.2.2 und 3.2.3). Da das Einfügen unter der aktuellen Programmstruktur nur umständlich möglich ist, war es erforderlich, *DeepHousehold* weitgehend umzubauen und so die Integration von neuen Programmanteilen zu ermöglichen.

Weitere Ziele dieses Refactoring sind darüber hinaus eine größere Übersichtlichkeit der Programmstruktur sowie der Einbau von JUnit-Tests zur Verbesserung der allgemeinen Testbarkeit.

Weiterhin sollen die Module performanceoptimiert in einer Sandbox zu testen sein. Im Berichtszeitraum wurde dieser Schritt geplant und eine Konzeption erstellt, die den Umbau leitet (vgl. Abb. 9).

Darüber hinaus wurden zusätzliche Debug-Meldungen als Vorbereitung für den geplanten Umbau in *DeepHousehold* eingebaut.

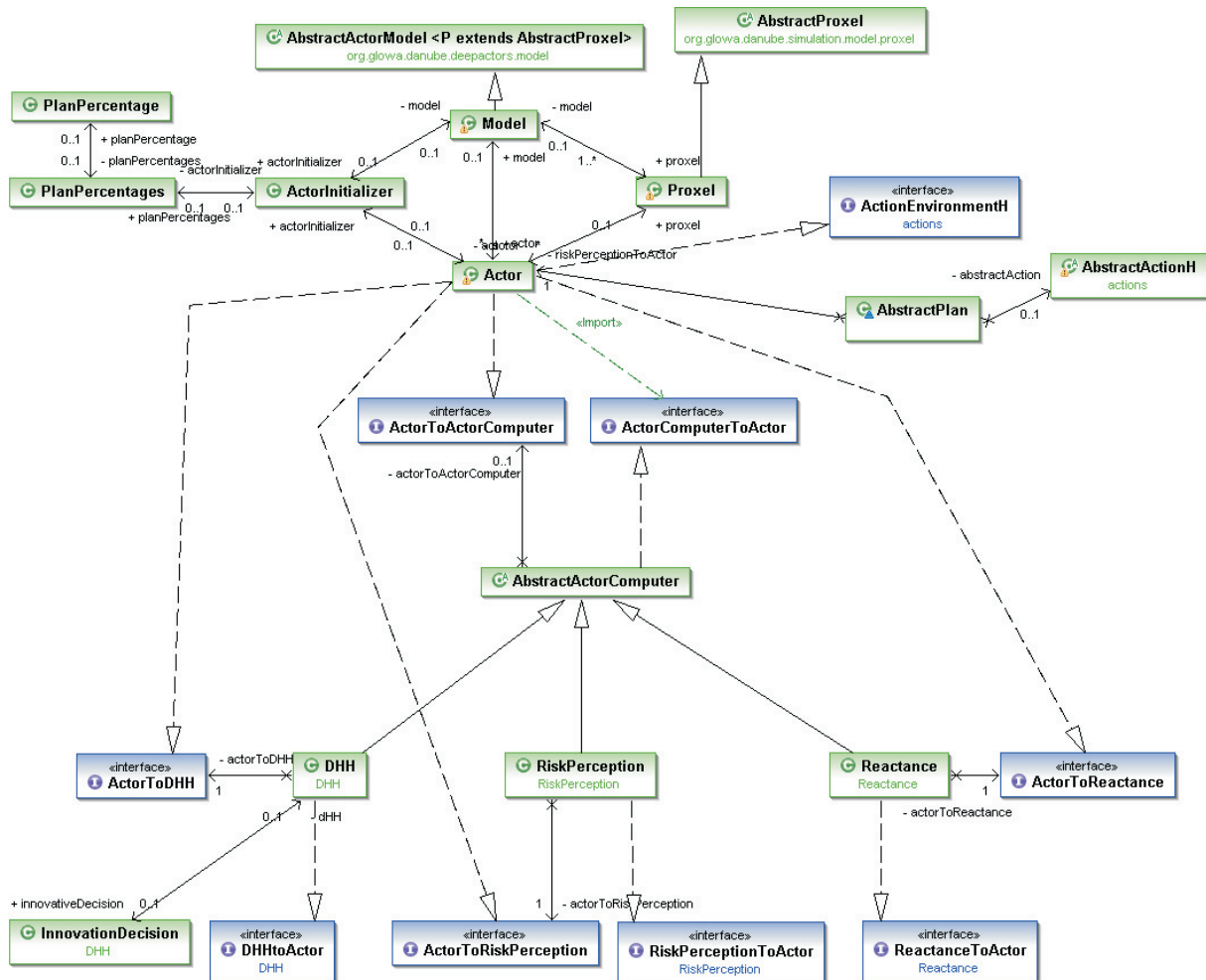


Abb. 9: UML-Darstellung der Konzeption von *DeepHousehold 2.0*

3.3 Integrative Arbeiten

Bei den integrativen Arbeiten sind neben der Entwicklung neuer Flaggenkonzepte (3.3.1) insbesondere die Weiterführung des TooDaReD (Tool for DANUBIA Result Data) (3.3.2), die Öffentlichkeitsarbeit (3.3.3) in Form von Atlas-Beiträgen und der fortgesetzten Teilnahme am *Stakeholder*-Prozess zu nennen, die im weiteren beschrieben werden.

3.3.1 Neue Flaggenkonzepte: Qualitäts- und Hochwasserflaggen

In Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt *WaterSupply* wurde - in Anlehnung an die bereits vorhandenen Quantitätsflaggen (*drinkingwaterQuantityFlag*) - ein Qualitätsflaggen-Konzept entwickelt. Es umfasst z.Z. vier Flaggen in unterschiedlicher Abstufung:

- 1 = übliche Wasserqualität („alles in Ordnung“)
- 2 = kleine Veränderungen, es wird geraten das Wasser vor dem Verzehr abzukochen
- 3 = größere Veränderungen, das Wasser ist als Trinkwasser nicht mehr geeignet (Auswirkungen auf Nutzungsarten Kochen und Zähneputzen)
- 4 = sehr große Veränderungen, Wasser ist giftig und Hautkontakt nicht ratsam (Auswirkungen auf alle Nutzungsarten bis auf Toilette)

Es ist geplant, für die Qualitätsflaggen in *DeepHousehold* einen Index zu bilden, der sich aus dem Flaggenwert (Verschmutzungsgrad) und dem Zeitfaktor (Aufretensdauer) zusammensetzt. Ausgangsüberlegung ist, dass eine länger anhaltende schlechte Wasserqualität zusätzliche psychologische Kosten und Aufwand für die Haushalte bedeutet. Dies führt auch zu einer Leitwertmindererfüllung (vgl. 3.2.4.2). Eine genaue Interpretation der Flaggen - z.B. hinsichtlich eventueller Gewöhnungseffekte bei einer langfristigen, schleichenden Verschlechterung durch Nitrat - wird z.Z. diskutiert.

Neben den Quantitäts- und Qualitätsflaggen bezieht *DeepHousehold* Hochwasserflaggen (*riverFloodFlag*) von *Rivernetwork*. Diese bilden ein Hochwasserereignis auf einem (flussnahen) Proxel ab. Die genaue Ausarbeitung erfolgt derzeit. Da ein Hochwasserereignis als Nebenwirkung oftmals eine Beeinträchtigung des Trinkwassers mit sich bringt (dieses ungenießbar oder sogar giftig macht) und somit eine Vermischung zweier Faktoren vorliegt, werden die beiden Aspekte Hochwasser und Trinkwasserqualität gemeinsam bearbeitet.

3.3.2 TooDaReD - Tool for DANUBIA Result Data

Auch im vorliegenden Berichtszeitraum gab es konzeptionelle und technische Verbesserungen am Tool for DANUBIA Result Data, im folgenden abgekürzt TooDaReD genannt. Das betraf insbesondere die Verfeinerung zahlreicher Funktionen sowie die Eliminierung von Bugs und Fortschritte bei der Visualisierung der Ergebnisse.

Der Schwerpunkt der Verbesserungen lag darin, die Nutzbarkeit zu erhöhen sowie die Fehleranfälligkeit zu verringern, um die Analyse von Szenarioläufen und Testläufen besser zu unterstützen.

3.3.3 Öffentlichkeitsarbeit

Die Öffentlichkeitsarbeit umfasste neben den in 2.3.2-2.3.4 aufgezählten Vorträgen auch Zeitung- und Fernsehinterviews sowie die Erstellung von Atlas-Beiträgen (Global Change Atlas Oberes Donau Einzugsgebiet) und die weitere Teilnahme am Stakeholder-Prozess.

3.3.3.1 Atlas

Das Teilprojekt erstellte im Berichtszeitraum zwei teilprojektspezifische Atlas-Beiträge und war darüber hinaus leitend und koordinierend am gemeinsamen *Actors*-Beitrag der *DeepActor*-Modelle in DANUBIA beteiligt.

Der erste teilprojektspezifische Beitrag beschreibt Konzeption, Entwicklung und Umsetzung des vom Teilprojekt entwickelten Multi-Akteur-Modells *DeepHousehold*. Der Titel lautet: Modellierter Wasserverbrauch privater Haushalte 2 (Das Entscheidungsmodell *DeepHousehold*).

Die dazugehörige Kartenseite zeigt in einer 2x2-Bedingung auf vier Karten den modellierten Wasserverbrauch für Nutzungsart Duschen in Liter pro Haushalt und Tag im August 2035. Es wurden zwei Akteurstypen (Milieugruppen) und zwei unterschiedlich eingestellte Wasserversorger gegenübergestellt. Es wurden zwei unterschiedliche Wasserversorger gewählt, so dass das Event Warnflagge (*drinkingwaterQuantityFlag*) mit unterschiedlicher Häufigkeit auftritt.

Der zweite teilprojekteigene Beitrag beschreibt das innerhalb von *DeepHousehold* existierende Innovationsmodul, welches die Ausbreitung wassersparender Technologien modelliert. Titel: Modellierter Ausbreitung wassersparender Technologien in privaten Haushalten (Das Innovationsmodul in *DeepHousehold*). Auch in diesem Beitrag wurde für die Kartenseite die Darstellung von vier Karten in einer 2x2-Bedingung gewählt. Es werden die modellierte räumliche Verteilung der Anzahl Haushalte für zwei wassersparende Innovationen (2-Mengen-Toilettenspülkasten, Regenwassernutzungsanlage) zu unterschiedlichen Zeitpunkten (jeweils 2010 und 2036) gegenübergestellt.

Bei beiden teilprojektinternen Beiträgen wurde viel Wert darauf gelegt, dass interessierte, fachfremde Personen das Konzept des Modells, d.h. die gewählte Akteurstypologie und Wassernutzungsarten, den Einsatz von Plänen und Attributen sowie die Entscheidung auslösenden Ereignisse nachvollziehen können.

Darüber hinaus war das Teilprojekt führend am gemeinsamen Atlas-Beitrag der *Deep-Actor-Modelle* beteiligt. Das beinhaltet neben der Mitarbeit am Textteil die Konzeption des Beitrags sowie die Koordination der beteiligten Teilprojekte.

Die drei Beiträge haben den Review-Prozess durchlaufen.

3.3.3.2 Stakeholder-Prozess

Im Berichtszeitraum hat sich das Teilprojekt Umweltpsychologie weiter am *Stakeholder-Prozess* beteiligt und ihn unterstützt. Das umfasste die Teilnahme an vorbereitenden Interviews, die Teilnahme am Stakeholder-Workshop im Rahmen des GLOWA-Gesamttreffens sowie die Mitarbeit an den Datenblättern.

4. Zusammenfassende Bewertung und Ausblick

4.1 Stand und Bewertung der Entwicklung

In Hinblick auf die im Antrag für die dritte Förderphase formulierten Zielen lässt sich festhalten, dass das Prozessmodell *DeepHousehold* sowohl von technischer als auch von inhaltlicher Seite her erweitert und verbessert wurde.

Auf der inhaltlichen Seite wurden zwei neue Teilmodelle entwickelt, die psychologisch-sozialen Indikatoren der Zufriedenheit und Risikowahrnehmung sowie Leitwerte wasserbezogener sozialer Nachhaltigkeit abbilden. Zudem wurde unter Zuhilfenahme der Orientorentheorie ein Konzept zur Abbildung der Nachhaltigkeit mittels Leitwerte für *DeepHousehold* entwickelt. Darüber hinaus wurden in enger Zusammenarbeit mit SinusSociovision erste Szenarien formuliert, um eine mögliche Erreichung der gebildeten Leitwerte der Nachhaltigkeit mittels Interventionen zu prüfen.

Auf der technischen Seite wurde *DeepHousehold* vor allem hinsichtlich der teilprojektinternen Benutzung weiter verbessert. Das betrifft die Szenariengenerierung und die Durchführung von Kalibrations- und Validierungsläufen und deren Auswertung sowie die Ergebnisdarstellung. Diese Verbesserungen boten dem Teilprojekt die Möglichkeit zahlreicher inhaltliche Tests und Ergebnisdiskussionen. Darüber hinaus wurde das Modell als solches auf das neue DANUBIA-Framework 2.0 umgestellt und getestet. Ein im Zusammenhang mit dem Einbau der neuen Teilmodelle erforderliches Refactoring wurde konzipiert.

4.2 Ausblick auf den verbleibenden Teil der dritten Förderphase

Ein wesentlicher Punkt, der in Kürze abgeschlossen wird, ist das Refactoring des Modells *DeepHousehold*, um den Einbau der zwei Teilmodelle (Reaktanz, Risikowahrnehmung) zu ermöglichen. Das Teilmodell Reaktanz bildet den Widerstand gegen Sparaufrufe und -kampagnen ab, das Teilmodell Risiko bildet mittels dem Konzept der psychischen Aktiviertheit die Zufriedenheit der Haushalte ab.

Des weiteren wird die Verfeinerung und Automatisierung des Modells für weitere Validierungsläufe fortgesetzt.

Eine weitere Qualitätssicherung soll durch die Entwicklung von innovativen Methoden der Explizierung von Unsicherheiten in multiagentenbasierten Modellen entstehen. Hierzu wurden bereits erste Recherchen durchgeführt, die in der verbleibenden Zeit der Förderphase

fortgesetzt und vertieft werden. Es besteht bereits Kontakt zu Herrn Prof. Dr. P. Reichert, EAWAG, Dübendorf, Schweiz. In Zusammenarbeit mit ihm sollen bekannte Methoden der Unsicherheitsanalyse auf das Modell angewendet und getestet werden.

Ein wesentlicher Schritt zur Verwirklichung des angestrebten Bekanntheits- und Verwendungsgrades von DANUBIA ist die anwenderfreundliche Bedienung des Programms. Das beinhaltet eine angemessene und flexible Visualisierung der Ergebnisse, eine einfache Setzung und Änderung der Rahmenparameter zur Erstellung eines Szenarios. Dieses Teilziel ist im Berichtszeitraum bereits auf vielfältige Weise angegangen worden und wird auch in der verbleibenden Förderphase fortgeführt.

5. Literatur

- AGRAS, W.S., JACOB, R.G. und LEBEDECK, M. (1980): The California drought: A quasi-experimental analysis of social policy. *Journal of Applied Behavior Analysis*, 13, S. 561-570.
- BERK, R.A., COOLEY, T.F., LACIVITA, C.J., PARKER, S., SREDL, K. und BREWER, M. (1980): Reducing consumption in periods of acute scarcity: The case of water. *Social Science Quarterly*, 9, S. 99-120.
- BOSSEL, H. (1998): *Globale Wende*. München: Droemer Knauer.
- BOSSEL, H. (2000): Policy assessment and simulation of actor orientation for sustainable development. *Ecological Economics*, 35(3), S. 337.
- BREHM, J.W. (1966): *Theory of psychological reactance*. New York: Academic Press.
- BREHM, J.W. und BREHM, S. (1981): *Psychological Reactance: A Theory of Freedom and Control*. New York: Academic Press.
- BUWAL (2004): <http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/medien/presse/artikel/20040816/01108/index.html#sprungmarke3>.
- DE OLIVER, M. (1999): Attitudes and inaction: A case study of the manifest demographics of urban water conservation. *Environment and Behavior*, 31(3), S. 372-394.
- DE VRIES, J. und PERRY, T. (2007): Der demografische Wandel und die Zukunft der Gesellschaft. *Navigator*, 2/2007.
- DEGAETANO, A.T. (1999): A temporal comparison of drought impacts and responses in the New York City metropolitan area. *Climatic Change*, 42, S. 539-560.
- EEA (2004): *Impacts of Europe's changing climate. An indicator based assessment: EEA Report No 2/2004*. European Environment Agency.
- KASPERSON, R.E., RENN, O., SLOVIC, P., BROWN, H.S., EMEL, J., GOHLE, R. (2005): The Social Amplification of Risk: A conceptual framework. In KASPERSON, J.X. and KASPERSON, R.E. (Hrsg.), *The social contours of risk. Volume I: Publics, Risk communication and the Social Amplification of Risk*. London: Earthscan, S. 100-114.
- KREBS, F. and BOSSEL, H. (1997): Emergent value orientation in self-organization of an animat. *Ecological Modelling*, 96, S. 143-164.
- STÄDTLER, T. (1998). *Lexikon der Psychologie. Wörterbuch. Handbuch. Studienbuch*. Stuttgart: Kröner.

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

Teilprojekt: Umweltökonomie
Leiter: Prof. Dr. Peter Egger
Ausführende Stelle: ifo Institut für Wirtschaftsforschung
Poschingerstraße 5
81679 München
Bereich Umwelt, Regionen, Verkehr

1. Überblick

Das Teilprojekt Umweltökonomie entwickelte bis zum Abschluss der zweiten Projektphase drei Modelle deren Szenarienfähigkeit und Optimierung der Reagibilität in der dritten Phase verfolgt wird: Erstens das Modell des Tiefen Industrieakteurs zur Berechnung des industriellen Wasserverbrauchs, in welches das flache regionalökonomische Modell RIWU der ersten Projektphase zur Berechnung von wirtschaftlicher Entwicklung eingebunden wurde. Zweitens das Tiefe Modell des demographischen Haushaltsakteurs zur Simulation der regionalen Bevölkerungsentwicklung und deren Untergliederung in 50 Klassen mit den Charakteristika Haushaltsgröße, Kinderzahl und Sinus-Milieu. Und zu guter letzt ein flaches Modell zur Berechnung von Trinkwasserpreisen für Haushalte.

Inhaltlich stand in der zweiten Projektphase die Entwicklung des Tiefen Akteurs Industrieunternehmen und des Tiefen Demographie Akteurs sowie die Vorbereitung auf die Szenarienfähigkeit der Modelle im Vordergrund. In der dritten Projektphase steht nun neben der Generierung und Auswertung relevanter Szenarien vor allem die kontinuierliche Verbesserung und Erweiterung der Teilmodelle und so deren Anpassung an die Bedürfnisse möglicher *Stakeholder* im Fordergrund. Abgesehen von den Anpassungen an das neue DANUBIA *Framework* sind die in diesem Bericht gezeigten Ergebnisse und Erweiterungen des letzten Projektjahres mehrheitlich theoretischer Natur. Diese waren insbesondere notwendig da eine zukünftig tiefere Ausrichtung des ifo Instituts auf den Bereich der Klimaforschung neue langfristige Perspektiven zur Nutzung von DANUBIA ermöglichen. Deswegen werden auch in den nächsten Monaten noch weitreichende Erweiterung im Industrie- und Demographiemodell durchgeführt die außerhalb der ursprünglichen Planung liegen.

2. Organisatorisches

2.1 Personalien

Die Personalbesetzung hat sich seit dem letzten Bericht nicht geändert. Verstärkung hat das Projektteam durch Herrn Dr. Mario Larch und Herrn Christoph Jeßberger erhalten. Die volle Wissenschaftlerstelle teilt sich auf folgende Wissenschaftler auf:

- Prof. Dr. Peter Egger: Projektleitung und -bearbeitung, Bereich Umwelt, Regionen, Verkehr
- Dr. Mario Larch: Projektbearbeitung, Bereich Umwelt, Regionen, Verkehr
- Dipl. Volkswirt Markus Zimmer: Projektbearbeitung (Doktorandenstelle), Bereich Umwelt, Regionen, Verkehr

- Dipl. Volkswirt Christoph Jeßberger: Projektbearbeitung (Doktorandenstelle), Bereich Umwelt, Regionen, Verkehr (seit 01. Juni 2007)

2.2 Veranstaltungen

Die Mitglieder des Teilprojekts Umweltökonomie haben an diversen internen Veranstaltungen des Projekts sowie an zahlreichen bi- und multilateralen Gesprächen unter den Projektmitgliedern der andern Bereiche teilgenommen. Im Einzelnen sind die folgenden Treffen besonders hervorzuheben:

- 21.09.-24.09.2007 GLOWA-Danube Klausurtagung in Herrsching
Von dem Teilprojekt Umweltökonomie nahmen Markus Zimmer, Christoph Jeßberger und der Praktikant Fabian Schlatter an der Tagung teil. Die Teilnehmer stellten den aktuellen Arbeitsstand der Forschungsgruppe Umweltökonomie vor, beteiligten sich an den Diskussionen und Arbeitsgruppen zur Szenarienevaluierung sowie an der Abstimmung der einzelnen Teilmodelle auf ihre Szenarienfähigkeit. Außerdem wurde der Stakeholderprozess diskutiert und in Arbeitsgruppen konkretisiert. Dabei wurde beschlossen die Modelle für erste Teilszenarien fertig zu stellen mit Szenariendurchläufen, bereits vernetzt mit anderen Teilprojektgruppen, zu beginnen.
- 16.10.2007 Tourismus-Akteur und Umweltökonomie-Akteur Treffen in Regensburg
Von dem Teilprojekt Umweltökonomie nahmen Markus Zimmer, Christoph Jeßberger und der externe Informatiker Andreas Solti teil. Das Treffen mit Dr. Mario Sax und Dr. Alexander Dingeldey des Teilprojektes Tourismus diente der Abstimmung beider Akteursmodelle in Bezug auf die im Modell interagierenden Parameter. Das dabei entstandene integrierte Teilprojekt unterstütze somit weitere Kalibrierungsarbeiten der einzelnen Modellstrukturen.
- 14.12.2007 REMO-MM5-Klimagenerator-Meeting in Hamburg
Markus Zimmer und Christoph Jeßberger von der Forschungsgruppe Umweltökonomie nahmen an diesem Meeting teil. Die Vorstellung der einzelnen Klimasimulationsverfahren REMO, MM5 und der Klimagenerator brachten Aufschluss über die Vorzüge und Problematiken in der Klimagenerierung im oberen Donaeinzugsgebiet. So wurden unter anderem auch die für das Teilprojekt Umweltökonomie primären Klimavariablen Sonnenscheindauer und Niederschlagsmengen in ihrer Variation im Verlauf des GLOWA Zeithorizontes beschrieben.

2.3 Veröffentlichungen

Um die Außenwirkung von GLOWA-Danube über die Teilnahme an wissenschaftlichen Konferenzen hinaus zu verstärken, wurde und wird verstärkt auf die Publikation in referierten Zeitschriften Wert gelegt. Nachdem die bestehenden Modelle bereits in diversen referierten Zeitschriften vorgestellt wurden sind derzeit insbesondere die Ergebnisse der im Rahmen des GLOWA-Danube Projekts eingereichten Dissertation von Herrn Markus Zimmer hervorzuheben. Die Ergebnisse sind bereits teilweise in den Modellrahmen integriert und zur Präsentation auf diversen renommierten Fachkonferenzen akzeptiert.

3. Modellentwicklungen

Im Verlauf der dritten Projektphase stand bisher die weitere Ausarbeitung des Tiefen Akteursmodells Industrieunternehmen zur Modellierung industrieller Wassernachfrage (s. Kap. 4) und des Tiefen Akteursmodells Demography sowie die Konzeptionierung relevanter Szenarien und die Anpassung auf das neue *Framework* im Vordergrund.

Das regionalökonomische Modell RIWU diente in den jetzigen DANUBIA-Läufen dazu, die makroökonomischen Kenngrößen zu berechnen die nicht bereits durch die tiefen Modelle abgebildet werden.

Exkurs: Das regionalökonomische Modell RIWU

Um die Folgen der Industrieproduktion für lokale Bodenschätze zu bewerten, ist es notwendig, den komplexen Produktions- und Entscheidungsprozess innerhalb einer Produktionsstätte auf mikroökonomischer Ebene zu simulieren. Jedoch sind nicht alle wirtschaftlichen Prozesse, die zur Charakterisierung wirtschaftlicher Entwicklungen erforderlich sind, auf Unternehmensebene modelliert worden. Die Simulation der Industrieproduktion in DANUBIA besteht deshalb aus zwei getrennten Submodellen. Ein mikroökonomisches auf Agenten basierendes Modell, das ein repräsentatives Industrieunternehmen je industriell genutzten Quadratkilometer simuliert (s. Kapitel 3.1), und ein makroökonomisches Modell, welches die regionale Wirtschaft in Hinblick auf räumliche Spillover-Effekte und andere wirtschaftliche Indikatoren endogen nachbildet. Diese beiden Modelle arbeiten jedoch nicht getrennt, sondern bilden zusammen ein System simultaner Handlungen bzw. Reaktionen.

Die Implementierung des makroökonomischen Modells war der erste Entwicklungsschritt im Industrieakteursmodell innerhalb von DANUBIA. Es simuliert die überregionalen Tendenzen und die zentralen wirtschaftlichen Interdependenzen, die im tiefen Industrieakteursmodell nicht simuliert werden. Das Grundgerüst basiert auf die Entwicklungsarbeit von LANGMANTEL und WACKERBAUER (2003) und ist bis zur jetzigen Ausführung stetig weiter entwickelt worden. Im Groben weist es die Einflüsse von räumlichen Strukturen wie Agglomerationen auf die wirtschaftlichen Entwicklungen auf. So werden lokale Entwicklungen über räumliche Spillover-Effekte von ihren umliegenden Gebieten (Proxeln) beeinflusst und stellen einen Multiplikator-Effekt aufgrund interregionaler Reaktionen dar. Dies beschleunigt die Agglomerationseffekte, die wiederum durch Ballungs-Externalitäten (z.B. bei der Nutzung gemeinsamer Infrastruktur wie Straßen und der hierdurch hervorgerufene Stau) und lokale Ressourcen eingeschränkt werden. Infolgedessen steigen die Faktorpreise. Das makroökonomische Modell folgt hierbei einfachen ökonometrisch geschätzten Reaktionsfunktionen. Die Elastizitäten, die von LANGMANTEL und WACKERBAUER (2003) für die Reaktionsfunktionen geschätzt wurden sowie das Gleichungssystem wurden auf den aktuellen Stand gebracht und dahingehend angepasst:

$$G_i = GDP_{i,t-1}^{0.90} e^{-1.51} \quad (\text{I})$$

$$S_i = \bar{\pi}^{-0.67} I_i^{0.40} G_i^{0.46} \left(\sum_j w_{ij} GDP_{j,t-1} \right)^{0.42} \left(\sum_j w_{ij} \pi_j \right)^{-0.35} \quad (\text{II})$$

$$GDP_i = 16.88 + 1.32(I_i + S_i) \quad (\text{III})$$

$$P_i = (GDP_i / TA_i)^{0.73} (UA_i / TA_i)^{-0.86} \left(\sum_j w_{ij} P_j \right)^{0.66} e^{7.02} \quad (\text{IV})$$

$$C_i = GDP_i^{0.75} \left(\sum_j w_{ij} GDP_j / TA_j \right)^{0.15} e^{9.34} \quad (V)$$

$$\pi_i = d\pi_i \cdot \bar{\pi} \quad \text{mit} \quad \bar{\pi} = e^{-93.77+0.02t} \quad (VI)$$

Die staatlichen Subventionen werden als G_i , das Bruttoinlandsprodukt GDP_i , die Wertschöpfung des Dienstleistungssektors als S_i und die Wertschöpfung des Industriesektors als I_i bezeichnet. Während G_i und S_i vom makroökonomischen Modell bestimmt werden, wird die Industrieproduktion im Akteursmodell erzeugt. Der lokale Preisindex des Baulandpreise P_i hängt von der Agglomerationsintensität, vom Level der Urbanisierung sowie von den Spillover-Effekten der Baulandpreise der umliegenden Proxel ab. Die Intensität dieser Spillover-Effekte von Proxel i auf j werden über das räumliche Gewichtungsmaß w_{ij} bestimmt. Positive Gewichte deuten auf benachbarte Proxel hin. Proxel die nicht unmittelbar benachbart sind erhalten somit Null-Gewichte, während die Gewichte aller benachbarten Proxel i normalisiert werden und sich zu 1 aufaddieren. Zur Berechnung der Spillover-Effekte wird die Summe der gewichteten Charakteristika der benachbarten Proxel gebildet. π_i misst die lokale Arbeitsproduktivität des Industriesektors und besteht aus der durchschnittlichen Arbeitsproduktivität $\bar{\pi}$ und der lokalen Divergenz $d\pi_i$. Das Wirtschaftswachstum wird innerhalb der Arbeitsproduktivität exogen als jährlicher Trend von 2% modelliert.

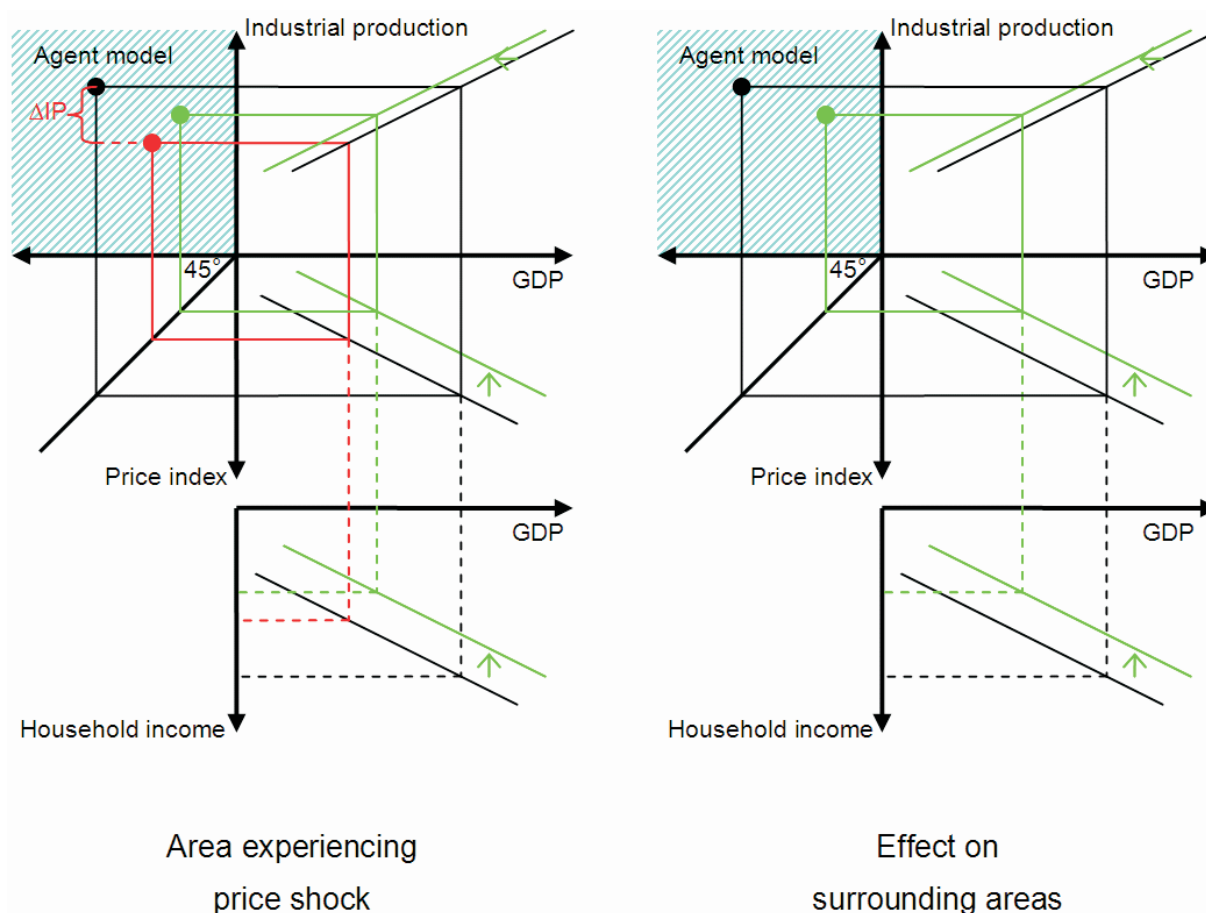


Abb. 1: Schematische Darstellung der Wirkungsweise des RIWU-Modells

Abbildung 1 zeigt die dynamische Interaktion zwischen dem tiefen Industrieaktorsmodell und dem makroökonomischen RIWU-Modell. Der schwarze Punkte des Diagramms oben links beschreibt das Gleichgewicht eines Proxels. Das zugehörige Quadrat oben links stellt das tiefe Industrieaktorsmodell dar. Ein exogener Schock, wie beispielsweise strengere

Auflagen der Nutzung natürlicher Ressourcen, senkt die Industrieproduktion um ΔIP . Ohne räumliche Spillover-Effekte würde die Ökonomie daraufhin zu dem neuen roten Gleichgewicht hin konvergieren. Mit räumlichen Interdependenzen beeinflusst der lokale Schock jedoch die umliegenden Proxel im rechten Diagramm. Diese beeinflussen wiederum das Proxel, aus dem der exogene Schock kam. Dieser dynamische Prozess verschiebt die Reaktionskurven beider Proxel, bis das neue grüne Gleichgewicht erreicht wird. Der genaue regionale Effekte hängen davon ab, wie stark der lokale Schock war und es kann durchaus sein, dass es eine Reduktion des GDP eines Proxels und eine GDP-Erhöhung im anderen Proxel zur Folge hat. Ein Beispiel regionaler Effekte einer Steuer für die Wasserentnahme in München ist in EGERER und ZIMMER (2006) zu finden.

3.1 Der Tiefe Akteur Industrieunternehmen

Ziel des Tiefen Akteurs Industrieunternehmen ist die möglichst realistische Simulation wasserspezifischer Entscheidungen jedes einzelnen, für den Wasserkreislauf bedeutenden, Betriebes. Um die Rendite eines Unternehmens zu maximieren, muss das Management im Wesentlichen zwei grundlegende Probleme lösen: Wie viel produziere ich optimal und wie produziere ich diese Menge zu minimalen Kosten? Eine Antwort auf diese Problemstellung liefert in der ökonomischen Forschung der Kostenminimierungsansatz. Die allgemeine Konzeptionierung des Tiefen Akteurs zur expliziten Modellierung von Entscheidungen wird damit in unserem Teilprojekt als ökonomischer Optimierungsansatz interpretiert und umgesetzt. Unser Interesse liegt hierbei auf der zugrunde liegenden Technologie, die von den Industrieunternehmen zur Effizienzsteigerung ihres Wasserverbrauchs genutzt wird. Diese Technologien, wie die Mehrfach- und Kreislaufnutzung des geförderten Wassers determiniert den sogenannten Nutzungsfaktor¹⁾. Anders ausgedrückt bedeutet dies: Wie oft wird ein Liter Wasser, der in den Produktionsprozess fließt, genutzt, bevor er das Unternehmen wieder verlässt. Primäre Zielsetzung unseres Tiefen Akteurs ist es, den wirklichen Entscheidungsprozessen möglichst nahe zu kommen. Die gewählte zeitliche Ausdehnung der Entscheidungsprozesse, die berücksichtigten Kostenfaktoren und -strukturen und die Modellierung der Produktionstechnologie für den dynamischen Kostenminimierungsansatz ergaben sich dabei aus der Analyse der empirischen Zusammenhänge, aus intensiven Gesprächen mit Unternehmern unterschiedlicher Branchen und dem Studium der relevanten Produktionsprozesse vor Ort (s. hierzu Modellgrundlagen in Kap. 3.1.2).

Die Umsetzung der technischen bzw. informatorischen Vorgaben im Modell zeigen zunächst die Ausführungen in Kapitel 3.1.1. Die konkrete inhaltliche Ausgestaltung des Tiefen Akteurs Industrieunternehmen wird in Kapitel 3.1.2 dargestellt. Dabei wird vor allem auf den aktuellen Stand der Modellentwicklung eingegangen. Die weitere Arbeitsplanung fasst Kapitel 3.1.3 kurz zusammen.

3.1.1 Die Umsetzung des Akteurskonzepts im DeepActorIndustry-Modell

Der Tiefe Akteur Industrieunternehmen (*DeepActorIndustry*) wurde in Einklang mit den informatorischen Vorgaben des *DeepActor-Frameworks* entwickelt. Das folgende UML-Strukturdiagramm beschreibt die technische Umsetzung des Tiefen ökonomischen Modells (Abb. 2).

Die *DeepActorIndustry* (DAI)-Klassen für das tiefe Modell, den Tiefen Akteur, die Pläne und die Aktionen erweitern die vom *Framework* vorgegebenen abstrakten Klassen *AbstractActorModel*, *AbstractActor*, *AbstractPlan* und *AbstractAction* um die modellspezifischen Attribute und Methoden. In der DAI_Model-Klasse sind die Tabellen zur Berechnung des Flächen (RIWU) und Tiefen Modells enthalten, ebenso wie die benötigten Utilities zum Schreiben und Auslesen der Parameter und Startwerte auf Proxel- und Kreisebene. Über die Schnittstel-

¹⁾ Der Nutzungsfaktor ist definiert als Verhältnis des insgesamt genutzten Wassers zur Menge des geförderten Wassers.

le *DAI_ActionEnv* (Action Environment) kommuniziert die Aktion mit ihrem Akteur. Der Datenaustausch mit den anderen Modellen erfolgt über die Schnittstellen *EconomyToActorController* (Datenexport) und *ActorControllerToEconomyDatenimport*). Insbesondere wurde nun das ursprüngliche RIWU-Modell als *DAI_District*-Klasse in das Tiefe Akteursmodell integriert.

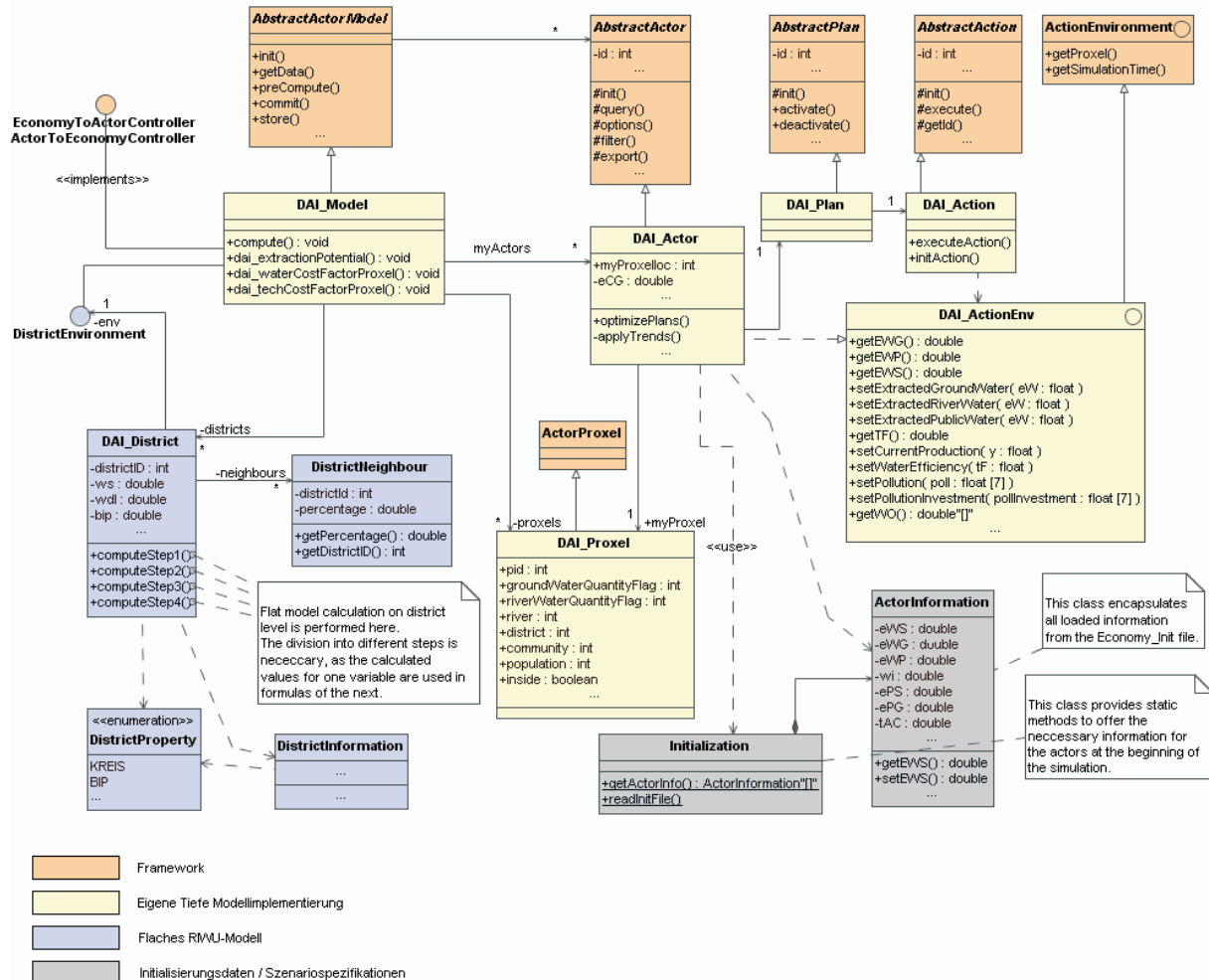


Abb. 2: Der Tiefe Akteur Industrieunternehmen im UML-Diagramm (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Durch die besondere Ausgestaltung von *DeepActorIndustry* weicht die Anwendung bzw. Interpretation des so genannten *computation cycles*, der den Ablauf des Entscheidungsprozess zur Auswahl der auszuführenden Pläne der Akteure beschreibt, von der sonst üblichen, sequentiellen Herangehensweise ab (Abb. 3). In der *preCompute-Methode* werden die flachen Berechnungen in der *DAI_District* Klasse durchgeführt. Die so genannten aktiven Pläne (*active plans*), d.h. die in einem Zeitschritt theoretisch von einem Tiefen Akteur ausführbaren Pläne, in der *a.options()*-Methode beinhalten in *DeepActorIndustry* in jedem Zeitschritt sämtliche Entscheidungsvariable des Akteurs. Bei den aktiven, theoretisch ausführbaren Plänen handelt es sich jedoch nicht um die Gesamtmenge aller durchführbaren Pläne; da diese unendlich ist, wird hier lediglich ein allgemeiner, abstrakter Plan jeder Entscheidungsvariable als Grundlage für jeden später tatsächlich ausgeführten, spezifischen Plan aktiviert. Durch die Interdependenzen aller Optionen untereinander (s. Kap. 3.1.2 sowie Abb. 5) ist die Methode *p.computeRating()* zur Bewertung der einzelnen Pläne Teil des *a.filter()*-Schrittes, welcher für jede Entscheidungsvariable den jeweiligen optimalen Plan aus der unendlichen Menge der hypothetisch möglichen Pläne ermittelt. In der *a.execute()*-Methode folgt dann die Ausführung und Umsetzung der konkret ausgewählten Pläne als Aktion (*action*).

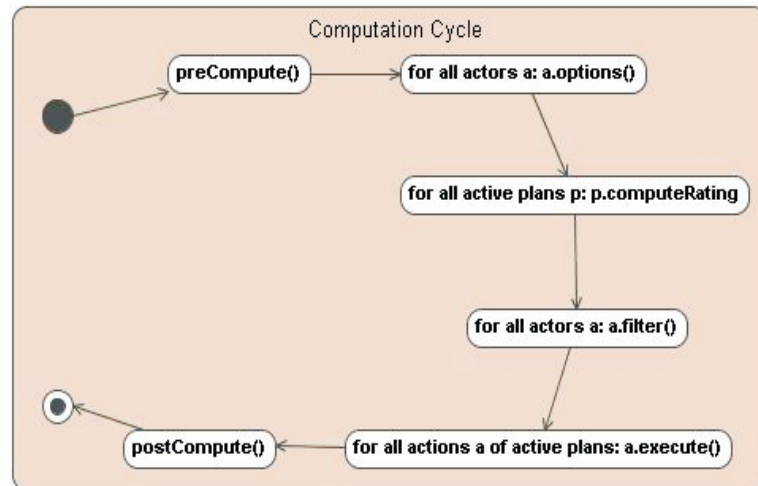


Abb. 3: Der computation cycle zur Auswahl der auszuführenden Pläne (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Abbildung 4 skizziert zunächst eine sequenzielle *rating*- und *filter*-Konzeption. Beispielfähig seien die beiden Parameter x_1 und x_2 als Entscheidungsvariablen angenommen. In der Methode *options* werden drei Pläne mit unterschiedlichen Kombinationen verschiedener Ausprägungen der beiden Parameter aktiviert. Diese werden in der *rating*-Methode anhand einer beliebigen Nutzenfunktion bewertet und können so implizit geordnet werden. In der Abbildung sind die Optionen in ihrem Nutzen absteigend geordnet, sodass in der *filter*-Methode die am höchsten bewertete, d.h. die oberste Option ausgewählt und über die *execute*-Methode umgesetzt wird.

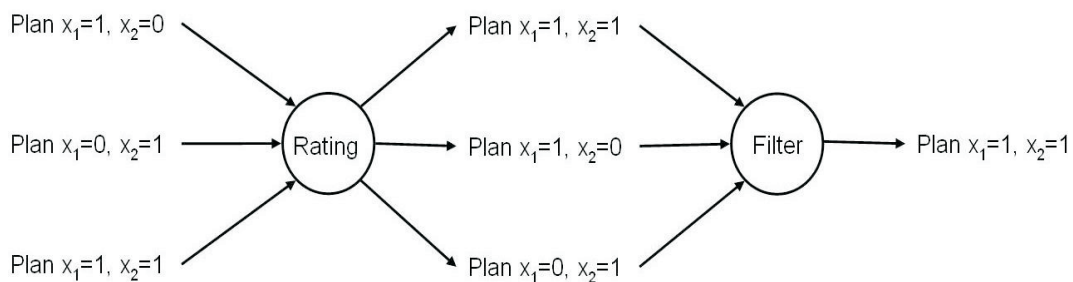


Abb. 4: Sequenzielle Ausführung der *rating*- und *filter*-Methoden (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Aus diesem Verfahren ergibt sich der Nachteile, dass lediglich Pläne realisiert werden können, welche bereits vorher festgelegt wurden. Damit scheiden zum einen unerwartete Handlungsalternativen aus, zum anderen ist es aufgrund der begrenzten Zahl von stetigen Alternativen unwahrscheinlich, das Optimum tatsächlich zu erreichen. Durch die im Tiefen Akteur Industrieunternehmen verwendete Methode der Optimierung wird versucht, diese Probleme zu überwinden. Die Kostenminimierung als stetiger Ansatz dient dabei gleichzeitig als *rating*- und *filter*-Element. Abbildung 5 illustriert dies für zwei Parameter über zwei Perioden. In der Kostenminimierung wird berücksichtigt, dass die Wahl einer Ausprägung für einen Parameter Auswirkungen auf andere Parameter sowie andere Perioden haben kann. Tätigt ein Betrieb beispielsweise in der aktuellen Periode Investitionen in die Erhöhung des Nutzungsfaktors des Wassers, so kommt ihm das auch in der nächsten Periode zu Gute.

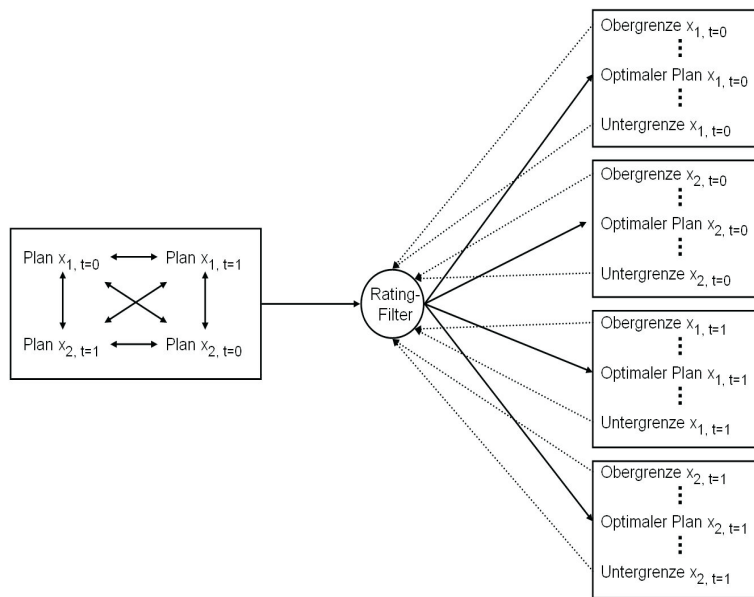


Abb. 5: Rating und Filter im *DeepActor-Industry*-Modell Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Bei der Wahl der optimalen Pläne müssen außerdem die Ober- und Untergrenzen der einzelnen Parameter berücksichtigt werden. Sie determinieren in welchem Rahmen die einzelnen Pläne ausgeführt werden können. Dabei kann die Wahl der Ausprägung eines Planes sowohl dessen Grenzen in einer anderen Periode als auch die Grenzen eines anderen Planes beeinflussen. Investiert der besagte Betrieb beispielsweise in die Erhöhung des Wassernutzungsfaktors, so hat er weniger Mittel zur Verfügung, die er für andere Investitionen ausgeben kann. Im Tiefen Industrieakteur können insbesondere die Potentiale der maximal einsetzbaren Technologie zur Mehrfachnutzung des Wassers als direkte obere Grenzwerte interpretiert werden.

3.1.2 Die Modellierung des Tiefen Akteurs

Modellgrundlagen

Der Tiefe Akteur Industrieunternehmen trifft optimale Entscheidungen, d.h. der Entscheidungsprozess des Akteurs erfolgt als dynamisch-adaptive Regelbildung in Reaktion auf die sich ändernde Umwelt in einem Wettbewerbsmarkt. Der gewählte Ansatz beschreibt das kognitive Potenzial des Entscheidungsträgers Alternativen zu bilden. Den Akteuren wird keine fixe Menge an Plänen vorgegeben, aus denen sie eine geeignete Auswahl treffen, sondern es wird ein Prozess umgesetzt, nach dem die Akteure sich selbst Regeln definieren können, die den spezifischen Umweltzuständen entsprechen. Damit ist es möglich, auf Zustände zu reagieren, die bisher noch nicht eingetreten sind und für die daher noch keine Regeln beobachtet werden konnten. Natürlich ist gerade dabei besonders schwer abzuschätzen, wie sich ein Akteur verhalten wird. Eine Szenarienanalyse ist jedoch kaum notwendig, wenn dem nicht so wäre.

Die entscheidungsrelevante Umwelt des Akteurs lässt sich in drei Kategorien unterscheiden: als nicht beeinflussbar wahrgenommene Faktoren, beeinflussbare Faktoren und die von ihm direkt gewählten Entscheidungsgrößen:

- Faktoren, die der Akteur als nicht beeinflussbar wahrnimmt, sind der allgemeine exogene technologische Fortschritt und der Wert der so genannten Flaggen. Die Flaggen repräsentieren in der Simulation auf einer Skala von 1 (grün, alles in Ordnung) bis 5 (schwarz, akuter Wassermangel) die Nachhaltigkeit der Wassernutzung. Die Flaggen sind derart angelegt, dass Sie von den einzelnen Akteurs-Gruppen individuell interpretiert werden können. Sie werden für Grund- und Oberflächengewässer von den jeweils zuständigen Modellen berechnet und den Akteurs-Modellen über

Schnittstellen zur Verfügung gestellt (*GroundwaterQuantityFlag* und *RiverWaterQuantityFlag* in Abb. 2). Entsprechend den Beobachtungen in der Praxis (s. unten in diesem Abschnitt) beziehen die einzelnen Betriebe den Flaggenwert jedoch nicht aus Nachhaltigkeitsbemühungen in ihre Kalkulation ein. Die Flaggen können vielmehr als Erhöhung der Extraktionskosten, sowie als steigender institutioneller bzw. sozialer Druck der Behörden und der allgemeinen Öffentlichkeit und steigende direkte Kosten durch vermehrtes Monitoring der Behörden interpretiert und umgesetzt werden. Steigende Flaggenwerte erhöhen damit direkt und vor allem indirekt (soziale Kosten) die Extraktionskosten des Wassers und senken so die Wassernachfrage des Unternehmens.²⁾

- Zu den Faktoren die der Akteur als von ihm beeinflussbar wahrnimmt zählt vor allem der Anteil der laufenden Extraktionskosten, der durch den technischen Aufwand zur Mehrfach- und Kreislaufnutzung des Wassers determiniert ist. Investitionen in die Erhöhung des Nutzungsfaktors des Wassers, der Schadstoffausstoß sowie die entnommene Wassermenge nehmen hierauf Einfluss.

Der Einsatz an Arbeitskräften oder die Produktionsmenge zählen zur letzten Kategorie der direkt gewählten Entscheidungsgrößen.

Dabei berücksichtigt die Kostenminimierung insbesondere die Interpendenzen zwischen allen vom Akteur beeinflussten und direkt gewählten Faktoren sowie den Erwartungen, die er über die nicht beeinflussbar wahrgenommenen Faktoren trifft. Diese bildet er aus den Erfahrungen der Vergangenheit für den zukünftigen Zeitraum, den er in seine Kostenminimierung mit einbezieht. Von essenzieller Bedeutung sind hier die Effekte, die durch Klimaänderungen und Umweltverschmutzungen hervorgerufen werden. Wie oben beschrieben wird, ist es ratsam, die resultierenden Auswirkungen auf die Unternehmen als regulatorische Grenzen zu modellieren. Der Tiefe Akteur Industrieunternehmen sollte nicht nur die Effekte auf Wassernachfrage und Verschmutzungsniveau simulieren, sondern auch die Einflüsse auf Arbeitsmarkt und lokales BIP erfassen. Aufgrund des integrativen Ansatzes von DANUBIA beeinflussen diese Kenngrößen das makroökonomische und fachspezifische Modell, wodurch wiederum eine Rückkopplung auf den Industrieakteur erzeugt wird. Die Modellergebnisse werden auf Basis eines repräsentativen Industrieakteurs je Industrie-Proxel des Einzugsgebietes berechnet. Die Zahl der modellierten Akteure entspricht somit der Zahl der anhand der Landnutzungsklassifizierung identifizierten Industrieproxel (aktuell 1354 Proxel). Die Attribute jedes Akteurs werden durch die natürliche Umwelt, die ökonomischen Bedingungen und die ökonometrischen Schätzparameter der eingesetzten Technologie auf dem entsprechenden Proxel bestimmt.

$$E_n = \sum_i p_{n,i} X_{n,i} + \sum_k p_{n,k} \bar{X}_{n,k}$$

Teil des Maximierungskalküls des Industrieakteurs ist die Minimierung der Produktionskosten zu einem gegebenen Produktionsniveau. Die Gesamtausgaben E_n setzen sich zu den jeweiligen Preisen p_n aus den aggregierten Kosten der variablen Produktionsfaktoren X_n und den quasi-fixen Produktionsfaktoren \bar{X}_n zusammen. Quasi-fixe Produktionsfaktoren sind vor allem Faktoren, die gesetzlichen Regelungen unterliegen und deshalb deren Mengen nicht vollständig frei gewählt werden können.

$$Y_n = f[X_n, \bar{X}_n, T] \quad (1)$$

Die Produktion Y_n eines Industrieakteurs ist eine Funktion bestehend aus dem Vektor der variablen und quasi-fixen Produktionsfaktoren sowie der eingesetzten Technologie zum

²⁾ Strategische Interaktion zwischen den einzelnen Akteurstypen wird in unserem Modell bisher nicht behandelt. Der einzelne Industrieakteur berücksichtigt nicht, dass sein Verhalten andere Akteure beeinflusst und damit indirekt wieder auf ihn selbst zurückwirken kann.

Zeitpunkt T . Diese Black-Box spiegelt den technischen Produktionsprozess eines Industrieunternehmens wieder.

$$\underset{x_n}{\text{Max}} \Pi_n = p_{n,Y} Y_n - E_n$$

Der Nutzen eines Unternehmens kann anhand des Gewinns Π_n gemessen werden, den es durch den Ertrag der Produktion generiert. Das Bestreben des Managements besteht darin, die Differenz der Einnahmen $p_{n,Y} Y_n$ und der Gesamtausgaben E_n zu maximieren.

Erweiterung der Translog-Produktionsfunktion

Im Folgenden möchten wir die einzelnen Besonderheiten unserer Modellspezifikationen des inversen Inputnachfrage-Systems, das von KIM (1992) entwickelt wurde, hervorheben. Während in diesem System bereits nicht-homothetische Produktionstechnologien und variable Skalenerträge vorgesehen sind, fokussieren wir uns außerdem auf die Implikationen, die bei quasi-fixen Produktionsfaktoren hinzukommen. Unser Interesse liegt hier vor allem in der Bestimmung der marginalen Schattenpreise der Unternehmen. Indem wir die oben beschriebene Produktionsfunktion (I) heranziehen und diese durch eine Translog Spezifikation beschreiben, erhalten wir die folgende Gleichung:

$$\begin{aligned} \ln Y_n &= \alpha_{n,0} + \sum_i \alpha_{n,i} \ln X_{n,i} + \sum_k \alpha_{n,k} \ln \bar{X}_{n,k} + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \beta_{n,ij} \ln X_{n,i} \ln X_{n,j} \\ &+ \frac{1}{2} \sum_i \sum_k \beta_{n,ik} \ln X_{n,i} \ln \bar{X}_{n,k} + \frac{1}{2} \sum_k \sum_l \beta_{n,kl} \ln \bar{X}_{n,k} \ln \bar{X}_{n,l} \\ &+ \sum_i \delta_{n,iT} \ln X_{n,i} T + \sum_k \delta_{n,kT} \ln \bar{X}_{n,k} T + \delta_{n,T} T + \frac{1}{2} \delta_{n,TT} \ln T^2 \end{aligned} \quad (\text{II})$$

Die Indizes i und j stehen für die variablen und k und l für die quasi-fixen Inputfaktoren. Zur Schätzung unterstellen wir Symmetrien wie folgt: $\beta_{n,ij} = \beta_{n,ji}$, $\beta_{n,ik} = \beta_{n,ki}$ und $\beta_{n,kl} = \beta_{n,lk}$. Wir wissen, dass im Grundmodell (I) die Bedingungen erster Ordnung des Ertragsmaximierungsansatzes bei einer gegebenen Ausgabenbeschränkung

$$\frac{\partial Y_n}{\partial X_{n,i}} = \lambda_n p_{n,i} \quad \text{ist. Für Unternehmen im Wettbewerbsfall gilt} \quad \frac{\partial E_n}{\partial Y_n} = \frac{\partial C_n}{\partial Y_n} = \frac{1}{\lambda_n} \quad (\text{III})$$

Wobei $p_{n,i}$ der Preis des i -ten Inputfaktors ist und der Lagrangemultiplikator den Kehrwert der marginalen Ausgaben darstellt, der zur Erhöhung des Ertrages in der kurzen Frist nötig ist. Da E_n die Gesamtausgaben und C_n die variablen Kosten sind, lässt sich leicht folgern, dass ein marginaler Anstieg der Kosten gleich einem marginalen Anstieg der variablen Kosten ist. Im Maximierungsproblem ist die Gesamtausgabenbeschränkung gleichermaßen auf die variablen Ausgaben zurückzuführen:

$$E_n = \sum_i p_{n,i} X_{n,i} + \sum_k p_{n,k} \bar{X}_{n,k} \quad \Rightarrow \quad C_n = \sum_i p_{n,i} X_{n,i} \quad (\text{IV})$$

Indem wir Gleichung (III) nach $p_{n,i}$ auflösen, dies in Gleichung (IV) einsetzen und dann nach λ_n auflösen, erhalten wir:

$$\lambda_n = \frac{1}{C_n} \sum_i \frac{\partial Y_n}{\partial X_{n,i}} X_{n,i} \quad (\text{V})$$

Die inverse Inputfaktorfrage wird abgeleitet, indem aus die Gleichung (V) wieder in Gleichung (III) eingesetzt und schließlich nach $p_{n,i}$ aufgelöst wird:

$$p_{n,i} = \frac{\frac{\partial Y_n}{\partial X_{n,i}}}{\sum_j \frac{\partial Y_n}{\partial X_{n,j}} X_{n,j}} C_n \quad (\text{VI})$$

Mit $\partial Y_n = Y_n \partial \ln Y_n$ und $\partial X_{n,i} = X_{n,i} \partial \ln X_{n,i}$ ist der Anteil der variablen Kosten $S_{n,i}$, der für den Inputfaktor i aufgewendet werden muss

$$S_{n,i} \equiv \frac{X_{n,i} p_{n,i}}{C_n} = \frac{\frac{\partial \ln Y_n}{\partial \ln X_{n,i}}}{\sum_j \frac{\partial \ln Y_n}{\partial \ln X_{n,j}}} \quad (\text{VII})$$

Wenn wir nun die Produktionsfunktion aus Gleichung (II) ableiten und dies in die Gleichung des Anteils der variablen Kosten (VII) einsetzen erhalten wir einen geeigneten Ausdruck für unsere Schätzungen:

$$S_{n,i} = \frac{\alpha_{n,i} + \sum_j \beta_{n,ij} \ln X_{n,j} + \sum_k \beta_{n,ik} \ln \bar{X}_{n,k} + \delta_{n,i} T}{\sum_j \alpha_{n,j} + \sum_i \sum_j \beta_{n,ij} \ln X_{n,j} + \sum_i \sum_k \beta_{n,ik} \ln \bar{X}_{n,k} + \sum_j \delta_{n,j} T} \quad (\text{VIII})$$

Hier sind nun auch die quasi-fixen Inputfaktoren als Summe ihrer logarithmierten Werte berücksichtigt. Um effiziente Schätzungen zu erhalten, ist es gebräuchlich simultan das nichtlineare multivariate Gleichungssystem (II) und die verfügbaren Kostenanteile aus (VIII) zu schätzen³⁾. KIM (1992) hebt hervor, dass sich die Kostenanteile nur innerhalb des Intervallmaßes bewegen kann, wodurch jedoch die Annahme der Normalverteilung des Störterms verletzt wird. Da die Kostenanteile jedoch logistisch normal verteilt sind ist es von Vorteil die folgende Gleichung zu schätzen, wenn mehr als ein Kostenanteil verfügbar ist⁴⁾:

$$\ln \left[\frac{S_{n,i}}{S_{n,h}} \right] = \ln \left[\frac{p_{n,i} X_{n,i}}{p_{n,h} X_{n,h}} \right] = \ln \left[\frac{\alpha_{n,i} + \sum_j \beta_{n,ij} \ln X_{n,j} + \sum_k \beta_{n,ik} \ln \bar{X}_{n,k} + \delta_{n,i} T}{\alpha_{n,h} + \sum_j \beta_{n,hj} \ln X_{n,j} + \sum_k \beta_{n,hk} \ln \bar{X}_{n,k} + \delta_{n,h} T} \right]$$

Das geschätzte System weist keinerlei Effizienzverluste auf, da der Ausdruck des ausgeschlossenen Kostenanteils als Denominator verwendet werden kann. Verglichen mit der Gleichung (VIII), ist diese Gleichung deutlich weniger komplex. Für unsere speziellen Anwendungen hat sie den zusätzlichen Vorteil, dass nicht alle variablen Kosten bekannt sein müssen, da diese in der Gleichung herausgekürzt werden.

Der Schattenwert z_n über den man im Stande ist, einen der quasi-fixen Faktoren der Produktion zu ändern, ist der marginalen Verminderung des Gesamtverbrauchs gleich, die sich aus einer marginalen Variation ergibt:

³⁾ Die zugehörigen STATA Befehle des nichtlinearen Gleichungssystems sind im Appendix zu finden.

⁴⁾ Das Gesamte System mit allen Kostenanteilen kann nicht geschätzt werden, da hier die Varianz-Kovarianz Matrix singular und nicht-diagonal ist. Dieses Problem tritt auf, weil sich alle variablen Kostenanteile zu 1 aufsummieren. Dies wird durch das simultane Schätzen der Produktionsfunktion und allen Kostenanteilen außer einem gelöst. CHRISTENSEN und GREENE (1976) zeigen, dass die Schätzergebnisse für Maximum Likelihood Schätzer unabhängig davon sind, welcher Kostenanteil ausgeschlossen wurde.

$$-z_{n,k} = \frac{\partial E_n}{\partial \bar{X}_{n,k}} \quad (\text{IX})$$

Gewöhnlich wird dieser Schattenwert aus der translog Kostenfunktion direkt abgeleitet. Das ist nicht immer wünschenswert, da Inputpreise im Gegensatz zu Faktor-Mengen nicht immer verfügbar sind. In unserer Analyse des industriellen Wassergebrauches besteht kein Markt für diese Bodenschätze, weshalb dieser Produktionsfaktor normalerweise überhaupt nicht bewertet wird. Wasser wird schließlich den Industrieunternehmen durch die Behörden zugeteilt. Dennoch ist es eine allgemeine Missdeutung, dass wegen des Zuweisungsprozesses Wasser als ein quasi-fixer Produktionsfaktor betrachtet wird. Da das Wasser im Produktionsprozess so gut wie nie verbraucht wird, kann die Gesamtmenge an verwendetem Wasser in einem Industrieunternehmen vergrößert werden, indem dieselbe Einheit Wasser mehrere Male innerhalb des Produktionsprozesses verwendet wird. Einerseits durch das Beobachten des Produktionsprozesses und andererseits durch die Ergebnisse der Interviews verschiedener Produktionsingenieure offenbarte, dass sie die Möglichkeit besitzen, die Grenzen ihrer Wasserkontingente zu überschreiten. Der Unterschied ist, dass der Kreislauf- oder Mehrfachnutzung kostspieliger ist als der einmalige Gebrauch. Um unser Produktionssystem entsprechend zu spezifizieren, definieren wir den ersten variablen Produktionsfaktor als das im Produktionsprozess verwendete Wasser:

$$\ln X_{n,l} \equiv \ln(\rho \bar{W}_n + W_n) \quad (\text{X})$$

Die Menge an Wasser, die das Unternehmen gemäß dessen Wasserkontingent extrahieren darf wird durch \bar{W}_n beschrieben, während $\rho \bar{W}_n$ das Pendant der Mehrfachverwendung dieses extrahierten Wassers darstellt. Dieser Ausdruck wird einbezogen, wenn, und nur wenn das Kontingent tatsächlich bindet⁵⁾. W_n ist dann entweder - für den Fall eines bindenden Kontingentes - der zusätzliche Betrag an Wasser, der im Produktionsprozess verwendet wird, oder - wenn das Kontingent nicht bindet - die Gesamtmenge an Wasser, die im Produktionsprozess verwendet wird. Die Umwandlung des festen Wasserkontingentes in den Mehrfachnutzungsfaktor $\rho \bar{W}_n$ ist dafür verantwortlich, dass das primär extrahierte Wasser für den Produktionsprozess, im Vergleich zum mehrfach genutzten Wasser, unterschiedlich bewertet wird. Um das das Wasser wieder in dieselbe Qualität wie bei der Extraktion zurückzuführen, müssten zusätzliche Reinigungstechniken angewandt werden. Demnach erwarten wir für ρ einen Schätzwert größer als eins. Die Unterscheidung zwischen variablen und quasi-fixen Produktionsfaktoren ist nicht nur notwendig, um den Schattenwert der Wasseraufnahme zu bewerten, sondern auch um den Wert der Wasserausflussverschmutzungen zu erhalten. Aus Sicht der Unternehmen sind die Schadstoffe genauso Produktionsfaktoren. Wenn der Schadstoffausstoß unbegrenzt wäre, würde das Unternehmen solange Schadstoffe ausstoßen, bis sich keine zusätzliche Verschmutzung mehr aus dem Produktionsprozess ergeben würde oder ab-sichtlich (und kostspielig) erzeugt werden würde.

Eine bekannte Methode, den Schadstoffausstoß zu reduzieren, wäre sanktionieren in Form einer Gebühr aufzuerlegen. Jedoch ist es für diese Ausstöße genauso üblich, das Verschmutzungsniveau direkt zu regeln. Da Industrieunternehmen keinen Anreiz besitzen, ihre Verschmutzungsniveaus zu reduzieren, und gesetzliche Grenzen niedrig genug sind, um einen bindenden Charakter aufzuweisen, können wir Schadstoffausstöße als quasi-fix betrachten. Um auf den Schattenwert der Verschmutzung der Gleichung (IX) zurückzukommen, müssen wir anmerken, dass wir die Produktionsfunktion und nicht die translog Kostenfunktion schätzen. Durch die einfache Umformung und Verwendung der Bedingungen der Gleichungen (III) und (V) können wir den Schattenwert wie folgt ausdrücken:

⁵⁾ Ob es sich um ein bindendes Kontingent handelt kann leicht überprüft werden, indem die bekannte Menge des im Produktionsprozess verwendeten Wassers mit dem gleichermaßen bekannten Wertes der Wassereextraktionsmenge verglichen wird. Ist das Verhältnis größer als eins, so kann das Kontingent als bindend definiert werden.

$$-z_{n,k} = \frac{\partial E_n}{\partial \bar{X}_{n,k}} = \frac{\frac{\partial Y_n}{\partial \bar{X}_{n,k}}}{\frac{\partial Y_n}{\partial E_n}} = \frac{\partial Y_n / \partial \bar{X}_{n,k}}{\lambda} = \frac{C_n}{\bar{X}_{n,k}} \frac{Y_n \frac{\partial \ln Y_n}{\partial \ln \bar{X}_{n,k}}}{\sum_i \frac{Y_n \partial \ln Y_n}{X_{n,i} \partial \ln X_{n,i}} X_{n,i}} \quad (\text{XI})$$

Indem wir die Bedingungen erster Ordnung der translog Produktionsfunktion aus (II) ableiten und sie in die obere Gleichung einsetzen, können wir die Schattenwerte der quasi-fixen Produktionsfaktoren als Funktion der geschätzten Parameter, der Inputfaktoren und der variablen Kosten formulieren:

$$-z_{n,k} = \frac{C_n}{\bar{X}_{n,k}} \frac{\alpha_{n,k} + \sum_i \beta_{n,ik} \ln X_{n,i} + \sum_l \beta_{n,kl} \ln \bar{X}_{n,l} + \delta_{n,kT} T}{\sum_j \alpha_{n,j} + \sum_i \sum_j \beta_{n,ij} \ln X_{n,j} + \sum_i \sum_k \beta_{n,ik} \ln \bar{X}_{n,k} + \sum_j \delta_{n,jT} T} \quad (\text{XII})$$

Um die variablen Kosten zu bestimmen ist es von Vorteil die Schadstoffausstöße als kostenfrei anzunehmen $\sum_k p_{n,k} X_{n,k} = 0$. Somit kann aus Gleichung (IV) gefolgert werden, dass $E_n = C_n$. Ähnlich kann der Schattenwert für eine Erhöhung der Wasserkontingente hergeleitet werden:

$$-z_{n,\bar{w}_n} = \rho \frac{C_n}{X_{n,l}} \frac{\alpha_{n,l} + \sum_i \beta_{n,li} \ln X_{n,i} + \sum_l \beta_{n,lk} \ln \bar{X}_{n,k} + \delta_{n,lT} T}{\sum_j \alpha_{n,j} + \sum_i \sum_j \beta_{n,ij} \ln X_{n,j} + \sum_i \sum_k \beta_{n,ik} \ln \bar{X}_{n,k} + \sum_j \delta_{n,jT} T} \quad (\text{XIII})$$

Aus den Gleichungen (VI) und (X) ist ersichtlich, dass $-z_{n,X_{n,l}} = p_{n,X_{n,l}}$. Daher ist der Schattenwert für eine Erhöhung der Wasserkontingente höher als die Kosten für Wasser, wenn ρ größer als eins ist.

In Tabelle 1 sind die Schätzergebnisse zu finden, wobei die für die Simulation des Industrieakteurs notwendigen Größen die Preiselastizitäten $\eta_{i,i}$ und Kreuzpreiselastizitäten $\eta_{i,j}$ sind.

Sie sind von den Kostenanteilen und den Allen-Uzawa partiellen Substitutionselastizitäten $\sigma_{i,j}^{(6)}$ abgeleitet worden. Negative bzw. positive Allen-Uzawa-Werte stellen substitutive bzw. komplementäre Produktionsfaktoren dar. Per Annahme gilt $\sigma_{i,j} = \sigma_{j,i}$. Arbeit, Energie und Wasser sind gemäß ihrer negativen Preiselastizitäten normale Güter. Jedoch scheint Wasser in Anbetracht des Preiselastizitätsbereiches sich zu den anderen variablen Produktionsfaktoren gegenläufig zu verhalten. Die Schätzungen für die Kosten der Wassernutzung reichen von unter einem Cent bis zu acht Cent pro m^3 Wasser für den Produktionsprozess. Der Schattenwert für die Erhöhung der Wasserkontingente bewegt sich auf leicht höherem Niveau zwischen einem und 14 Cent je m^3 Wasser. Die Ergebnisse des Schadstoffausstoßes sind nicht alle so wie erwartet, da einige Schattenwerte hier negativ werden. In Bezug auf den chemischen Sauerstoffbedarf (COD) steht der Schattenwert für die Zahlungsbereitschaft, gemessen in Euro, für die zusätzliche Verschmutzung der Abflüsse, so dass ein zusätzliches Milligramm an Sauerstoff zur Oxidation der organischen Substanzen des Ausflusses gebraucht wird. Ähnlich gilt dies auch für absorbierbare organische Halogenide (AOX), bei denen der Schattenwert den Verschmutzungsgrad des Schmutzwassers darstellt, der ein zusätzliches Mikrogramm Chlorid im chemischen Analyseprozess erzeugt.

⁶⁾ vgl. CHUNG (1994).

Tab. 1: Allen-Uzawa partielle Substitutionselastizitäten ($\sigma_{i,j}$), Preiselastizitäten ($\eta_{i,j}$), Kosten für Wasser (p_{water}) und Schattenwerte ($-z_k$)

	All production sites	Upper-Danube Catchment	Mining	Chemical industry
R^2	19.8	17.8	24.9	16.7
Observations	29485	4096	2014	2343
$\sigma_{labour,labour}$	-0.086***	-0.028***	-0.268***	0.118***
$\sigma_{labour,electricity}$	0.807**	0.837*	0.579	0.408
$\sigma_{labour,water}$	0.981	-3.033	1.193	5.469
$\sigma_{electricity,electricity}$	-4.991***	-7.822***	-3.645***	-49.103
$\sigma_{electricity,water}$	-0.094	-2.609	1.290	-10.048
$\sigma_{water,water}$	-29.869***	9.845	-23.326***	-484.144**
$\eta_{labour,labour}$	-0.071***	-0.024*	-0.218***	0.115***
$\eta_{labour,electricity}$	0.099	0.074	0.069	0.005
$\eta_{labour,water}$	0.044	-0.133	0.079	0.051
$\eta_{electricity,labour}$	0.670***	0.725***	0.470***	0.399***
$\eta_{electricity,electricity}$	-0.615***	-0.698***	-0.438***	-0.657
$\eta_{electricity,water}$	-0.004	-0.114	0.086	-0.095
$\eta_{water,labour}$	0.815***	-2.629***	0.969***	5.344***
$\eta_{water,electricity}$	-0.011	-0.232	0.155	-0.134
$\eta_{water,water}$	-1.367***	0.871	-1.560***	-4.590**
p_{water}	0.075	0.070	0.008	0.019
$-z_{water}$	0.139	0.134	0.011	0.048
$-z_{COD}$	0.142	2.742	0.054	-0.385
$-z_{AOX}$	-0.280	3.232	0.404	1.001

Signifikanzniveaus der Elastizitäten sind mit 1% (***), 5% (**) und 10% (*) angegeben.

Informationsgewinnung

Um die skizzierten unternehmerischen Entscheidungsprozesse über Wasserförderung und Wassernutzung besser verstehen und in dem Tiefen Modell abbilden zu können, führten wir eine intensive, mehrstufige Unternehmensbefragung durch. Ziel dieses Informationsbeschaffungsprozesses war die Identifikation der, aus Sicht der Firmen, relevanten wasser-spezifischen Fragestellungen und der damit verbundenen Problemlösungskonzepte, um diese in einer möglichst realitätsnahen Modellierung umzusetzen. Abbildung 6 illustriert diesen partizipatorischen Prozess der Informationsfindung.

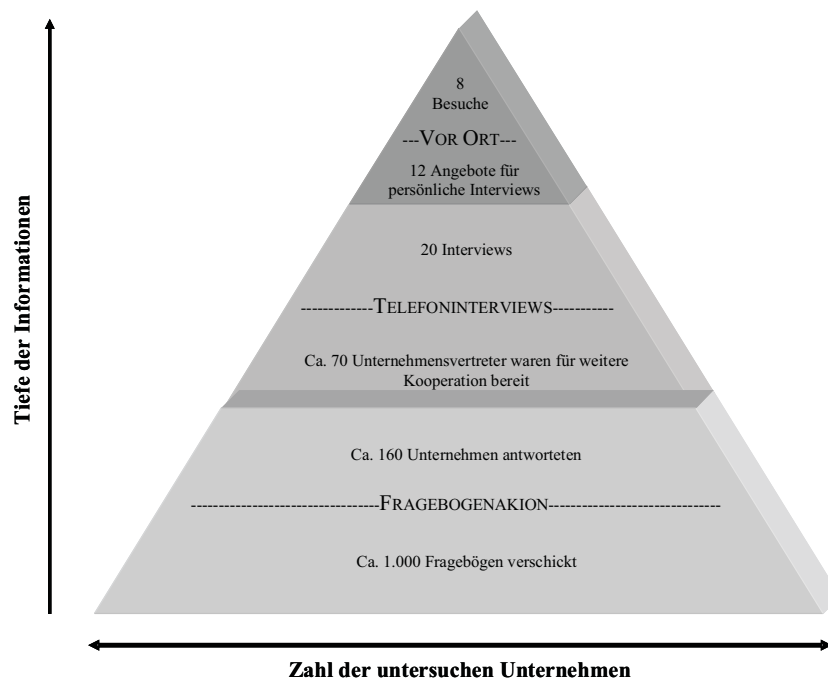


Abb. 6: Informationsbildung als dreistufiger Prozess (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Die Identifikation relevanter Unternehmen erfolgte vornehmlich nach zwei Kriterien: der Ansiedlung des Produktionsstandortes innerhalb des Einzugsgebietes und der Zugehörigkeit des Betriebs zu einer wasserintensiven Branche. Für das Einzugsgebiet sind dabei vornehmlich die chemische Industrie und die Papierherstellung relevant. Allen mittleren und großen, über Firmendatenbanken (Hoppenstedt) identifizierbaren, Betriebe wurde zunächst ein Fragebogen zugesandt (s. Abb. I in Appendix 3 als Beispiel für einen ausgefüllt zurückgesandten Fragebogen). Zusätzlich wurde einer zufällig ausgewählten Kontrollgruppe nicht wasserintensiver Betriebe der identische Fragebogen zugesandt. Auf etwa 70 der 160 zurückgesandten Fragebögen brachten Firmenvertreter ihre Bereitschaft zur weiteren Kooperation zum Ausdruck; 20 davon wurden zu einem erweiterten Fragenset telefonisch interviewt. Dabei wurde vor allem der Themenbereich der produktionsspezifischen Wassernutzung vertieft diskutiert, sowohl allgemein als auch fokussiert auf die Fragestellung einer nachhaltigen Nutzung der Ressourcen. Als letzter Schritt konnten in persönlichen Treffen bei insgesamt 8 Produktionsstätten aus den Bereichen Chemische Industrie, Papierherstellung und Zementherstellung praktische Einblicke in die Produktionsprozesse gewonnen werden.

Von den antwortenden Betrieben fördern etwa 47% das eingesetzte Wasser selbst. Die Mehrheit von Ihnen nutzt dabei Grundwasser (Abbildung II in Appendix 4). Das Wasser wird vornehmlich für Kühlzwecke verwendet. In den beiden wasserintensiven Branchen ist es als Produktionsmittel bedeutender als in seiner Verwendung zur Reinigung (Abb. III in Appendix 4). Deutlicher werden die Unterschiede zwischen wasserintensiven und andern Branchen in der Realisation von Investitionen zur Erhöhung des Nutzungsfaktors. So nutzt die Mehrheit von 60% der nicht wasserintensiven Betriebe das geförderte Wasser ausschließlich einmalig, während 46% der wasserintensiven Betriebe ihr Wasser mehrfach oder in einem Kreislauf nutzen und 23% sogar beide Technologien realisiert haben (Abb. IV in Appendix 4).

Im extrem heißen und trockenen Sommer des Jahres 2003 mussten lediglich 2,6% der Betriebe einen Produktionsrückgang aufgrund der klimatischen Bedingungen verzeichnen (Abb. V in Appendix 4). Jedoch 14% der Unternehmen, die Wasser nur einmalig nutzen sowie 25% der anderen Betriebe können sich vorstellen, dass in Zukunft nicht mehr genügend nutzbares Wasser für ihre Produktionszwecke vorhanden ist (Abb. VI in Appendix 4). Die Unternehmen, die

in Zukunft Probleme im verfügbaren Wasserdargebot erwarten, führen dies in 39% der Fälle auf die Wassermenge zurück, rund 21% gaben die Wasserqualität an, nur 4% die Wassertemperatur (Abb. VII in Appendix 4). Lediglich 5,2% aller Unternehmen gaben an, dass ein deutlicher Wandel in den klimatischen Bedingungen einen Einfluss auf ihre Standortwahl haben könnte (Abb. VIII in Appendix 4). Wie der weitere Verlauf der Informationsbeschaffung zeigte, würden die Unternehmen auf negative Änderungen in den klimatischen Randbedingungen vielmehr durch Investitionen in die Erhöhung des Nutzungsfaktors des Wassers reagieren. Dies sei darüber hinaus bereits jetzt, aufgrund behördlicher Restriktionen, die in den Unternehmen am häufigsten anzutreffende Strategie zur Reduzierung der Wasserförderung. In den Telefoninterviews und den Besuchen vor Ort, schloss folglich lediglich ein Unternehmensvertreter eine Standortschließung als Reaktion auf klimatische Veränderungen nicht aus.

Vor dem Hintergrund dieser Informationen wurde der Tiefe Akteur Industrieunternehmen als Kostenminimierungsmodell entworfen, bei dem Entscheidungen über den Einsatz von Technologien zur Nutzung des Wassers bei sich ändernden Rahmenbedingungen im Vordergrund stehen. Standortschließungen als weitere Entscheidungsmöglichkeit werden in dem Modell aufgrund nachrangiger Kontextrelevanz nicht berücksichtigt. Aufgrund der Ergebnisse der Fragebogenaktion (Abb. VII in Appendix 4) wurde das Modell zunächst für Änderungen in der nutzbaren Wassermenge entwickelt. Jedoch ist das Formelgerüst bereits jetzt mit einer Erweiterung für Fragestellungen der Wasserqualität entwickelt.

Besonders erfreulich ist, dass die Ergebnisse unserer Untersuchung zur Innovationstätigkeit der Industrieunternehmen durch die Ergebnisse des GLOWA-Elbe Projekts zu dieser Fragestellung voll bestätigt werden. Denn es hat in einem eigenen Teilprojekt jene Fragestellung sehr ausführlich untersucht und die Ergebnisse in dem in Kapitel 2.2 genannten Stakeholder Workshop am ifo-Institut vorgestellt.

Das GUI Tool

Weiterhin wurde auf Anregung der Stakeholderkonferenzen ein GUI entwickelt mit dem die Nutzer selber einfache Szenarien vorgeben können (Abb. 7). In diesem Szenario-Editor können Elastizitäten oder Wachstumstrends in der Form $1+X\%$ eingegeben werden (möchte man beispielsweise die Absatzpreise pro Jahr um 2% steigen lassen so würde im Szenario-Editor ein Wert von 1.02 für p eingetragen werden). Abgesehen davon, dass sich damit leicht beliebige Szenarien generieren lassen erweist sich dieses Tool als ausgesprochen nützlich für die Sensitivitätsanalyse des Modells.

Allgemeine Parameter	
Wachstum (gO)	0.0
Preisentwicklung (p)	1.0
Preiselastizität des Angebots (Betrag)	1.0
Preiselastizität der Nachfrage (Betrag)	1.0
Lohnelastizität des Arbeitsangebots (Betrag)	1.0
Lohnelastizität der Arbeitsnachfrage (Betrag)	1.0
Anpassungskosten für effizientere Wassernutzung (tAC)	1.0
Anpassungskosten für Anlagen zur Reduktion des Schadstoffausstoßes (twasteAC)	1.0
Nutzungsfaktorspezifische Anlagen-kosten (Unterhaltskosten) (tC)	1.0
Kosten für die Anlagen zur Reduktion des Schadstoffausstoßes (twasteC)	1.0

extraction trends	
Potential	
Flusswasserentnahme (ePS)	1.0
Grundwasserentnahme (ePG)	1.0
Kosten	
Flusswasserentnahme (eCS)	1.0
Grundwasserentnahme (eCG)	1.0
Leitungswasserentnahme (eCP)	1.0

waste trends		
	Potential	Kosten
chem. Sauerstoffbedarf	1.0	1.0
AOX-Gehalt	1.0	1.0
mech. Abwasserbehandlung	1.0	1.0
chem. Abwasserbehandlung	1.0	1.0
biol. Abwasserbehandlung	1.0	1.0
Andere 1	1.0	1.0
Andere 2	1.0	1.0

Abb. 7: Szenario-Editor für die Industrieunternehmen (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

3.1.3 Laufende Arbeiten zur Verbesserung des Modells

An dieser Stelle sollen abschließend auf die laufenden Arbeitsschritte zur ökonomischen Validierung des *DeepActorIndustry*-Modells hingewiesen werden. Im Wesentlichen ist eine weitere Vertiefung der Datenbasis geplant. Durch eine bereits initiierte Kooperation mit den Forschungsdatenzentren der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder konnte ein detaillierter Mikrodatensatz zu den wasserintensiven Industriebetrieben erstellt werden. Erste ökonomische Schätzungen haben bereits stattgefunden um unser Modell in Zukunft auf der Ebene des einzelnen Betriebes zu validieren, anstatt dem bisherigen repräsentativen Betrieb pro industriellen Proxel. Damit erfolgt auch die explizite Berücksichtigung der Branchenzugehörigkeit eines Unternehmens und des damit verbundenen spezifischen Verhaltens. Ein Datensatz zur proxelspezifischen Zuordnung wasserintensiver Betriebe wurde bereits erstellt. Bisher konnte lediglich vereinfachend unterstellt werden, dass auf Proxeln mit hoher Wasserentnahme Unternehmen wasserintensiver Branchen angesiedelt sind.

Außerdem ist eine Ausweitung der Datenbasis geplant. Durch den Einbezug des gesamten deutschen und österreichischen Gebiets werden die Reaktionen und Entscheidungsfindungen der Akteure auf einer umfassenderen Datenbasis berechnet und können anschließend für das eigentliche GLOWA-Einzugsgebiet verbessert genutzt werden. Auf diese Weise können für Entscheidungen von Akteuren aus Grenzgebieten des deutschen oder österreichischen Hoheitsgebietes noch effizienter kontrolliert werden. Diese, durch die Landesgrenze bedingten Abweichungen, können somit noch besser minimiert werden.

3.2 Ein neues Modell zur 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. Im Hinblick auf die Hauptzielsetzung der Wasserverbrauchsbestimmung wurden die Bevölkerungseinheiten anhand der für den Wasserverbrauch relevanten Kenngrößen bestimmt. Dabei ist die Auswahl der Kenngrößen durch deren Verfügbarkeit für kleinräumige Beobachtungseinheiten beschränkt, so dass letztlich folgende drei Charakteristika zur Bestimmung einer Bevölkerungseinheit (im Folgenden Haushalt genannt) gewählt wurden: Das soziale Milieu des Haushalts, die Haushaltsgröße in Personen und die Anzahl der Kinder im Haushalt. Um die Einheitlichkeit über die administrativen Grenzen im Beobachtungsgebiet zu gewährleisten wurde als kleinster gemeinsamer Nenner eine 4x4x5 Matrix der Haushaltseigenschaften entwickelt.

Die demographische wurde bewusst in eine exogene und eine endogene Komponente aufgeteilt. Die exogene Komponente bilden die verfügbaren statistischen Vorhersagen für die internationale Nettomigration und die natürliche Bevölkerungsbewegung durch Geburten und Sterbefälle. Die endogene Komponente bildet die räumliche Verteilung der Bevölkerung. Diese resultiert aus einem Entscheidungsprozess in dem der Haushalt seinen Wohnsitz bestimmt. Entscheidend für die Wahl des Wohnsitzes sind nicht nur die Unterschiede in den Eigenschaften zwischen Ziel und Herkunft, sondern auch die Eigenschaften der Regionen in der Nähe der potenziellen Binnenmigrationsziele. Dadurch wird die Tatsache berücksichtigt, dass beispielsweise eine Familie die wegen der guten Arbeitsmarktbedingungen nach München zieht dennoch ihren Wohnsitz in einer der ländlicheren Regionen des münchener Umlands wählt um so von den günstigeren Mieten zu profitieren. Die Migrationsflüsse kumulieren nun die Individuen welche ihren Wohnsitz aufgrund des erwarteten Nutzenzugewinns wechseln. Sie bilden einen wesentlichen Bestandteil des strukturellen Wandels in der privaten Wassernutzung indem sie regional sowohl die Anzahl der Einwohner als auch die Zusammensetzung der Bevölkerung bezüglich der für den Wasserverbrauch relevanten Bezugsgrößen beeinflussen.

Die Bevölkerung in DANUBIA

Die meisten sozioökonomischen Simulationsmodelle in DANUBIA benötigen eine akkurate Modellierung der Bevölkerung damit sie zuverlässige Szenarienergebnisse erzeugen können. Die Bereitstellung der benötigten Informationen stellt nicht zuletzt aufgrund der mangelnden Verfügbarkeit der Daten sowohl auf Ebene des einzelnen Haushalts als auch in der hohen räumlichen Auflösung eine Herausforderung dar. Die verfügbaren Daten der statistischen Ämter basieren üblicherweise auf der linearen Interpolation der lokalen Trends. Diese werden gegebenenfalls noch für die überregionalen demographischen Entwicklungen korrigiert welche maßgeblich durch das Verhältnis von Geburten zu Sterbefällen und durch die Zuwanderung bestimmt werden. Für die Simulation der Bevölkerung in DANUBIA wird jedoch eine tiefere Modellierung benötigt um eine plausible Verteilung der Bevölkerung zu generieren und so eine Abschätzung in der lokalen Veränderung der Trinkwassernachfrage zu ermöglichen. Eine endogene Simulation der Bevölkerung auf einer solch kleinräumigen Basis stellt eine echte Pionierleistung dar und erfordert zu allererst die Lösung der Probleme die eine solche programmiertechnische Implementierung mit sich bringt. Diese Grundlegende Problematik wurde bereits in den ersten beiden Projektphasen adressiert und validiert, so dass im aktuellen Projektabschnitt die kontinuierliche weitere Verbesserung der empirischen Grundlagen und die Entwicklung und Auswertung relevanter Szenarien im Vordergrund stehen.

Die Szenarien werden über die bereits genannten Kenngrößen definiert. Dazu können die exogenen nationalen Trends der natürlichen Bevölkerungsbewegung und der Nettomigration vorgegeben werden. Das Bevölkerungsmodell nutzt dann diese Entwicklungen in den Fertilitäts- und Mortalitätsraten, sowie der Außenmigration zur endogenen Generierung der räumlichen Bevölkerungsverteilung und deren Aufgliederung in die für die Wassernutzung relevanten Bevölkerungseinheiten. Eine regionale lineare Interpolation wäre als Basis für die Simulationsläufe in DANUBIA ungeeignet da diese nicht die Rückwirkungen der anderen naturwissenschaftlichen und sozioökonomischen Modellkomponenten auf die Wohnortswahl eines Haushalts berücksichtigen könnte.

Da die Bevölkerungsverteilung von den anderen Modellkomponenten in DANUBIA genutzt wird muss sich das Demographiemodell ebenso nach deren Bedürfnissen richten. Dabei wurde im Rahmen des Projekts neben der Größe insbesondere die psychologische Ausrichtung eines Haushalts als maßgeblich für die Wassernutzung identifiziert. Diese Ausrichtung wird durch die sogenannten SINUS-Milieus bestimmt. Der Grundgedanke ist, dass beispielsweise ein konservativer konsumorientierter Haushalt weniger wahrscheinlich in wassersparende Technologien (wie eine Wasserspartaste in der Klospülung) investieren wird als ein ökologisch orientierter Haushalt. Die SINUS-Milieus charakterisieren die Bevölkerung anhand der Kriterien soziale Position und soziale Werte. Die unterschiedlichen SINUS-Milieus die in DANUBIA verwendet werden sind in Abbildung 8 dargestellt. Sie charakterisieren gemeinsam mit der Kinderzahl und der Haushaltsgröße eine Bevölkerungseinheit.

Die Abbildung der Bevölkerung in einer 4x4x5-Matrix

Erstes Ziel des neuen Bevölkerungsmodells ist die proxelbezogene, simultane Unterteilung der Bevölkerung nach den drei Kriterien Haushaltsgröße, Zahl der Kinder in einem Haushalt sowie Zugehörigkeit zu einem Sinus-Milieu. Diese drei Informationsbestandteile liegen jedoch lediglich isoliert und auf unterschiedlichen Aggregationsniveaus vor. Informationen über Haushaltsgröße und Zahl der Kinder liefert die jeweilige amtliche Statistik der Länder, die prozentuale Unterteilung der Bevölkerung nach Sinus-Milieus wurde für den deutschen Teil des Einzugsgebiets vom Anbieter dieser Informationen (Sinus-Sociovision) gekauft und auf das Proxel verteilt. Für Österreich liegt lediglich eine landesdurchschnittliche prozentuale Verteilung der Bevölkerung nach Milieus vor. Die Informationen der amtlichen Statistik liegen für Österreich auf der Ebene der Landkreise vor, für Bayern und Baden-Württemberg

auf der größeren Ebene der Regionen. Da die Daten über Kinderzahl und Haushaltsgröße für Bayern und Baden-Württemberg lediglich für jeweils vier Klassen vorliegen - in Österreich sind es 5 bzw. 6 Klassen - wird aus Gründen der Einheitlichkeit für das gesamte Einzugsgebiet, quasi als kleinster gemeinsamer Nenner, eine 4x4x5-Matrix entwickelt (Abb. 8).

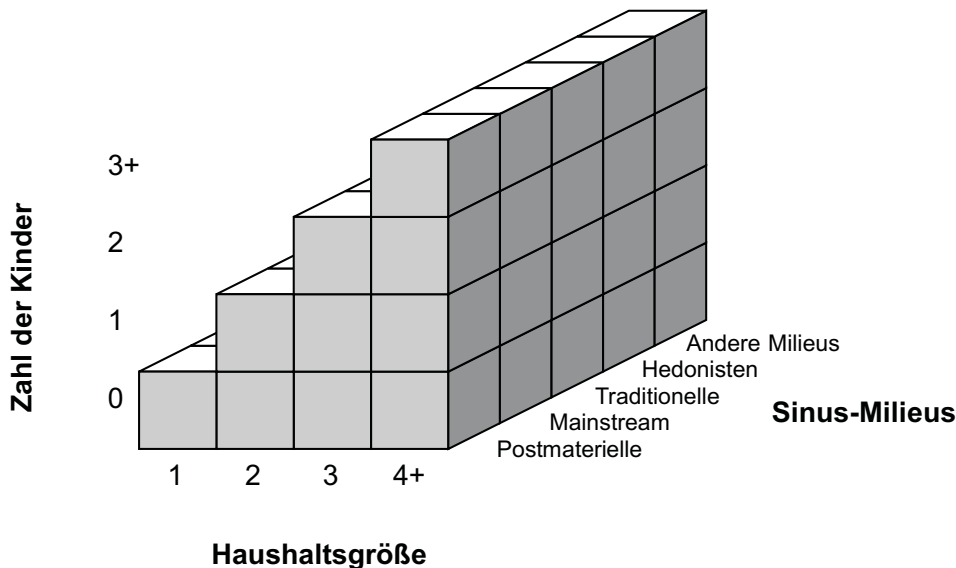


Abb. 8: Unterteilung der Bevölkerung in eine 4x4x5-Matrix (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Das entwickelte Verfahren zur Generierung einer proxelbasierten Bevölkerungsverteilung in die beschriebene 4x4x5-Matrix, basiert im Wesentlichen auf den folgenden drei Schritten:

- Bildung einer 4x4-Matrix aus Haushaltsgröße und Zahl der Kinder auf der feinsten verfügbaren Ebene der amtlichen Daten (s.o.): Die hierbei zur Verfügung stehenden Rohdaten der bayerischen und baden-württembergischen Landesämter unterscheiden sich, neben der räumlichen Auflösung, auch in ihren konkreten Inhalten von den österreichischen, sodass das entwickelte Verteilungsverfahren jeweils leicht abgewandelt werden musste.
- Disaggregation der so ermittelten 4x4-Matrizen auf das Proxel, anhand der bekannten Informationen der Landnutzungsklassifizierung: Die relative, prozentuale Verteilung der Bevölkerung innerhalb der einzelnen Proxel-Matrizen eines Landkreis bzw. einer Region ist dabei identisch.
- Erweiterung der 4x4-Matrix um die 5 Sinus-Milieus: Die prozentuale Verteilung der Bevölkerung in die Milieus liegt auf der Proxelebene vor. Für den bundesdeutschen Durchschnitt ist darüber hinaus die relative Bedeutung der einzelnen Haushaltsgrößen in den Milieus bekannt. Die Zahl der Kinder wird dabei nicht berücksichtigt und innerhalb der einzelnen Haushaltsgrößenklassen- und Milieukombinationen konstant gelassen. Beide Informationen zusammen ermöglichen die Erweiterung der 4x4-Matrix.

Um die Haushalte in die unterschiedlichen Milieus aufteilen zu können musste aufgrund der mangelnden Datenverfügbarkeit eine einfache Methode zur Verteilung nach den wahrscheinlichen Erwartungswerten entwickelt werden. Die Methode muss sicherstellen, dass die erzeugte Verteilung additiv neutral sind, also sich wieder zu den ursprünglichen Aggregaten aus den verfügbaren Statistiken aufsummieren. Angenommen T ist eine Matrix welche die relativen Anteile der unterschiedlichen Haushaltstypen $t_{i,j}$ an der Gesamtpopulation enthält. Dabei charakterisiert $i = \{1, 2, \dots, 10\}$ die zehn möglichen Kombinationen

der Haushaltsgröße und Kinderzahl und $j = \{1, 2, \dots, 5\}$ teilt diese wiederum den fünf Milieus zu.

$$T = \begin{pmatrix} t_{1,1} & t_{1,2} & \cdots & t_{1,5} \\ t_{2,1} & t_{2,2} & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ t_{10,1} & \cdots & \cdots & t_{10,5} \end{pmatrix}$$

Wenn nun a_i die Anzahl der Personen in einer der durch die Personenzahl, die Kinderzahl und b_j die Anzahl der Personen in einer durch das Milieu gekennzeichneten Gruppen darstellt, dann ist $t_{i,j}$ das Produkt der beiden Werte geteilt durch das Produkt der Summe der durch a_i und durch b_j gekennzeichneten Gruppen:

$$T = \begin{pmatrix} \frac{a_1 b_1}{\sum a_i \sum b_j} & \frac{a_1 b_2}{\sum a_i \sum b_j} & \cdots & \frac{a_1 b_5}{\sum a_i \sum b_j} \\ \frac{a_2 b_1}{\sum a_i \sum b_j} & \frac{a_2 b_2}{\sum a_i \sum b_j} & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ \frac{a_{10} b_1}{\sum a_i \sum b_j} & \cdots & \cdots & \frac{a_{10} b_5}{\sum a_i \sum b_j} \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} \sum t_{1,j} = \frac{a_1}{\sum a_i} \\ \sum t_{2,j} = \frac{a_2}{\sum a_i} \\ \vdots \\ \sum t_{10,j} = \frac{a_{10}}{\sum a_i} \end{array}$$

$$\sum t_{i,1} = \frac{b_1}{\sum b_j} \quad \sum t_{i,2} = \frac{b_2}{\sum b_j} \quad \cdots \quad \sum t_{i,5} = \frac{b_5}{\sum b_j} \quad \sum \sum t_{i,j} = 1$$

Die Summe über die durch a_i oder b_j gekennzeichneten Gruppen ist gleich der Gesamtbevölkerung. Demnach sind die Elemente $t_{i,j}$ gleich dem Produkt der entsprechenden Anteile von a_i und b_j an der Gesamtbevölkerung. Daraus folgt, dass sich die Spaltensummen zu b_j 's und die Zeilensummen zu a_i 's Anteil an der Gesamtbevölkerung aufsummieren.

Datenbasis der amtlichen Statistiken im Vergleich

Bei der Erstellung der 4x4-Matrix werden die Haushalte durch die beiden Attribute Anzahl der Kinder (0, 1, 2, 3 und mehr) und Anzahl der Personen in einem Haushalt (1, 2, 3, 4 und mehr) beschrieben. Tabelle 2 zeigt die Datenbasis der drei Länder in einem zusammenfassenden Vergleich. Die bayerischen und baden-württembergischen Daten unterscheiden sich dabei von den österreichischen, sodass es notwendig war, zwei unterschiedliche Lösungsansätze zu entwickeln.

Tab. 2: Datenbasis zur Ermittlung der 4x4-Matrix (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

	Bayern	Baden-Württemberg	Österreich
Basisjahr	2001	2001	2001
Ebene	Region	Region	Politische Bezirke (entspr. Landkreise)
Definition Haushalt	Als Haushalt (Privathaushalt) zählt jede zusammenwohnende und eine wirtschaftliche Einheit bildende Personengemeinschaft (Mehrpersonenhaushalt) sowie jede für sich allein wohnende und wirtschaftliche Einzelperson (Einpersonenhaushalt). Zu einem Haushalt können verwandte und familiefremde Personen gehören; Untermieter bilden einen eigenen Haushalt. Gemeinschafts- und Anstaltsunterkünfte sind keine Haushalte, können aber solche in ihrem Bereich umfassen (z.B. Haushalt des Hausmeisters oder des Heimleiters).		
Daten allgemein	Hochgerechnete Werte auf 1.000 gerundet (1%-ige Mikrozensus-Stichprobe, hochgerechnet von den Ergebnissen aus 1993)	Hochgerechnete Werte auf 1.000 gerundet (1%-ige Flächenstichprobe der Repräsentativstatistik Mikrozensus)	Volkszählung 2001 (STATISTIK AUSTRIA 2005a)
adjustright Daten HH-Größe	Privathaushalte nach den Merkmalen Einpersonenhaushalt und Mehrpersonenhaushalt (1 bis 4 oder mehr)	Privathaushalte nach den Merkmalen Einpersonenhaushalt und Mehrpersonenhaushalt (1 bis 4 oder mehr)	Privathaushalte nach den Merkmalen Einpersonenhaushalt und Mehrpersonenhaushalt (1 bis 6 oder mehr)
Daten Kinder	Privathaushalte nach der Zahl der Kinder im Haushalt (0 bis 3 oder mehr)	Privathaushalte nach der Zahl der Kinder im Haushalt (0 bis 3 oder mehr)	Familien nach Familientyp (Ehepaar, Lebensgemeinschaft, Alleinerziehend) und Zahl der Kinder (0 bis 4)
Daten Familien	Familien nach Familientyp (Ehepaare, Alleinerziehende) und Anzahl der Kinder	Familien nach Familientyp (Ehepaare, Alleinerziehende) und Anzahl der Kinder	Familien nach Familientyp (Ehepaar, Lebensgemeinschaft, Alleinerziehend) und Zahl der Kinder (0 bis 4)

3.2.1 Die Umsetzung des Akteurskonzepts im *Demography*-Modell

Nachdem in den letzten Projektphasen bereits eine sinnvolle Ausgangsverteilung der Bevölkerung entwickelt werden konnte, bleibt weiterhin die Verbesserung der Modellierung der Bevölkerungsentwicklung und die Erstellung relevanter Szenarien die zentralen Arbeitsschwerpunkte. Den konzeptionellen Ausgangspunkt für die exogenen Szenarien bilden dabei die Bevölkerungsvorausberechnungen der verschiedenen statistischen Ämter, die im Wesentlichen alle nach einem ähnlichen Prinzip arbeiten.

Modellierung der Bevölkerungsentwicklung

Das Demographie Modell nutzt beispielsweise die 11. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes, „Bevölkerung Deutschlands bis 2050“ für Deutschland (STATISTISCHES BUNDESAMT 2006). Sie setzt sich aus den Vorausberechnungen der einzelnen Bundesländer zusammen, sodass auch für diese separate Vorhersagen zu Verfügung stehen. Dabei werden anhand unterschiedlicher Annahmen über die Fertilitätsrate, die Lebenserwartung und die Außenwanderung neun Szenarien über die Entwicklung der Bevölkerung Deutschlands bis 2050 entworfen. Abbildung 9 fasst die Annahmen der Ausgangsbasis, der niedrigsten, der mittleren und der höchsten Prognosevariante zusammen. Die mittlere Variante wird als die wahrscheinlichste angesehen.

In allen Varianten geht der Bevölkerungsstand zurück. Grund hierfür sind die unterstellten niedrigen Geburtenzahlen, die wiederum zur Folge haben, dass weniger potentielle Mütter heranwachsen, was die Geburtenzahlen nochmals verringert. Auch die Zuwanderung kann demnach den Bevölkerungsrückgang langfristig nicht kompensieren.

	Ausgangsbasis (2001)	Niedrigste Annahme (2050)	Mittlere Annahme (2050)	Höchste Annahme (2050)
Fertilität	1,4	1,4	1,4	1,4
Lebenserwartung	74,8 Jahre Männer/ 80,8 Jahre Frauen	78,9 / 85,7 Jahre*	81,1 / 86,6 Jahre*	82,6 / 88,1 Jahre*
Wanderung	+200.000 Personen / Jahr	+100.000 Personen/ Jahr	+ 200.000 Personen / Jahr	+200.000, ab 2011 +300.000 Personen / Jahr
Bevölkerungsstand	82.440.300	67.046.200	75.117.300	81.252.500

*Lebenserwartung für Neugeborene (Männer / Frauen) im Jahr 2050

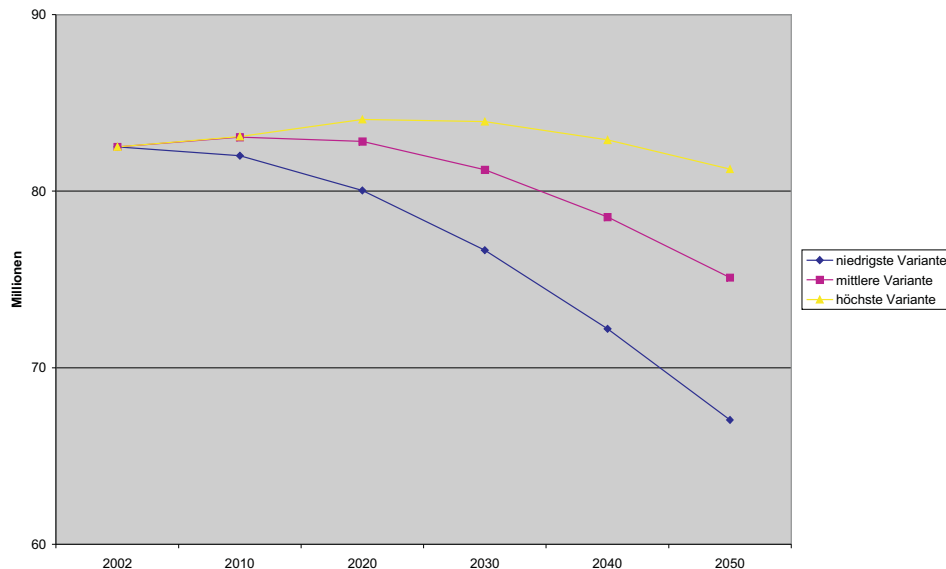


Abb. 9: Annahmen und Ergebnisse der 10. koordinierten Bevölkerungsvorausrechnung (Quelle: Darstellung des ifo Instituts nach STATISTISCHES BUNDESAMT 2003)⁷⁾

Neben der Größe der Bevölkerung verändert sich auch deren Alterstruktur. Nach der mittleren Prognosevariante geht der Anteil der Bevölkerung unter 20 Jahren von einem Fünftel (2001) auf ein Sechstel im Jahr 2050 zurück. Der Anteil der Bevölkerung über 60 Jahren steigt von einem Viertel auf ein Drittel. Besonders stark vergrößert sich der Anteil der über 80-jährigen. Er verdreifacht sich bis 2050 auf 12% der Gesamtbevölkerung. So verändert sich der Altenquotient, d.h. das Verhältnis von über 60-jährigen zu 20-59-jährigen, von 44:100 auf 78:100.

Ziel des zu entwickelnden Modells ist die Kalkulation ähnlicher Szenarien auf der Basis der entwickelten 4x4x5-Matrix. Eine besondere Herausforderung an die Modellierung bildet dabei die proxelbasierte Ausgangsverteilung. Durch die Abbildung von Haushalten wird die Problematik der Alterskomponente in den einzelnen Matrizen deutlich vereinfacht.

Das Modell

Unterschiedlich zu den Sterberaten welche sich weitgehend der aktiven Entscheidung der Akteure entziehen und auch im Gegensatz zu den Geburtenraten, deren Tiefe Modellierung in unserem Modellkontext als wenig sinnvoll erscheint, so ist die Migration sehr wohl durch Entscheidungsprozesse geprägt. Dementsprechend sind auch die Generierung der Bevölkerung und deren räumliche Verteilung bewusst in zwei Bereiche gegliedert. Zum Einen wird die natürliche Bevölkerungsbewegungen, welche ausschließlich durch Sterbefälle und Geburten, nicht aber durch Migration bestimmt wird, exogen vorgegeben und entspre-

⁷⁾ Die analoge Prognose für Österreich befindet sich im Appendix 5, Abbildung IX.

chend den Bevölkerungsszenarien der Statistischen Ämter generiert. Zum Anderen wird die Migration und damit insbesondere die räumlich Verteilung innerhalb des Einzugsgebietes durch die Entscheidungsprozesse des Tiefen Akteurs *Demography* bestimmt.

Insbesondere muss dabei die Problematik der Datenverfügbarkeit nach administrativen Grenzen und deren Abbildung auf das Einzugsgebiet welches durch die Wasserscheide der Donau bestimmt wird berücksichtigt werden. Für die Migrationsentscheidung sind dabei nicht ausschließlich die Bedingungen in der Zielregion ausschlaggebend, sondern ebenso die in den umliegenden Gebieten. So mag es sein, dass eine Familie wegen der guten Arbeitsmarktbedingungen in die Nähe Münchens zieht, aber als Wohnsitz einen der umliegenden Kreise wählt um die Vorteile einer niedrigeren Bevölkerungsdichte zu nutzen. Abbildung 10 verdeutlicht diese Problematik anhand zweier Einflussgrößen. Dabei zeigt sich deutlich, dass die Sonnenscheindauer überregional stark zusammenhängt und so die Berücksichtigung der umliegenden Kreise weniger bedeutend ist als im Falle der Bevölkerungsdichte. Die schwarze Grenzlinie gibt auf den Abbildungen den Verlauf der Wasserscheide des Oberen Donau Einzugsgebietes wider und zeigt somit den Bereich welcher durch das Entscheidungsunterstützungssystem DANUBIA analysiert werden kann. Insbesondere für die beiden Länder Österreich und der hier dargestellten Bundesrepublik Deutschland, welche den Hauptteil des Einzugsgebietes ausmachen zeigt sich deutlich das Problem der einheitlichen Datenumsetzung auf einen gemeinsamen Naturraum. Zusätzlich lassen sich sozialökonomische Zusammenhänge oft nur ungenügend darstellen, wenn Teile der administrativen Gesamtheit (z.B. der Bundesrepublik Deutschland) außer acht gelassen werden müssen. Dies zeigt sich insbesondere für die Binnenwanderung. Hier sind Wanderungsströme aus einem Teil Deutschlands, welcher im Einzugsgebiet der Donau liegt, in einen Teil, welcher nicht im Einzugsgebiet liegt, deutlich wahrscheinlicher als Strömungen vom deutschen in den österreichischen Teil innerhalb des Einzugsgebietes.

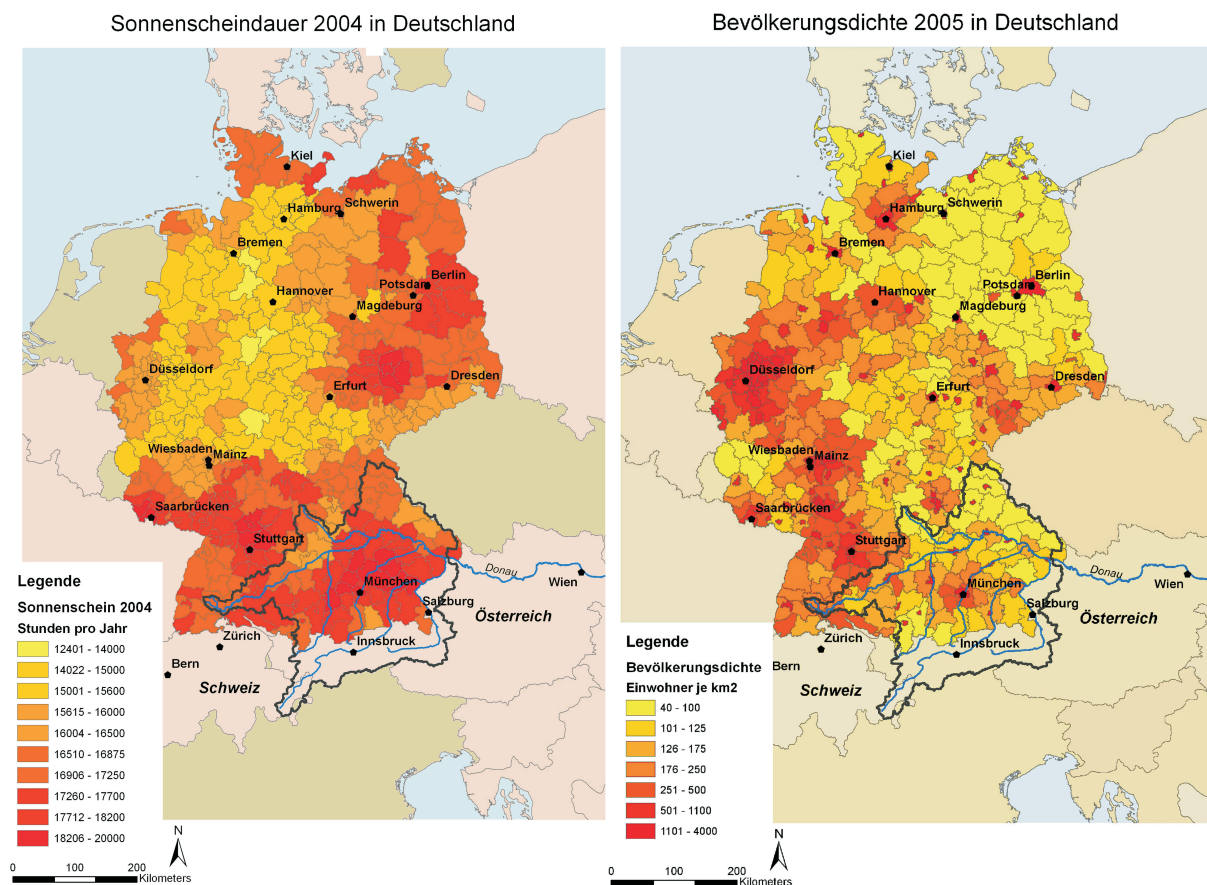


Abb. 10: Einflussgrößen Sonnenscheindauer und Bevölkerungsdichte (Quelle: Darstellung des ifo Instituts nach Daten des Deutschen Wetterdienstes und der Statistischen Landesämter)

Dabei bestimmt jeder der 50 Akteurshaushaltstypen für jeden besiedelten Proxel seinen Migrationswunsch. Dieser kann also als Nutzen des Zuzuges in einen Proxel interpretiert werden. Je mehr Haushalte netto in einen Proxel migrieren möchten, desto höher wird dieser bewertet. Die Nettomigration setzt sich dabei im Modell aus den beiden Komponenten Zuzüge und Wanderungsverhältnis zusammen, welche sich im Tiefen Akteur für jeden Haushaltstyp auf jedem bewohnten Proxel aus zwei getrennten kognitiven Prozessen ergeben. Die Nettomigration auf einem Proxel ergibt sich aus den Zuzügen abzüglich der Fortzüge, wobei sich die Fortzüge wiederum aus der Division der Zuzüge durch das Wanderungsverhältnis ergeben. Zur Modellierung wurde der Umweg über das Wanderungsverhältnis gewählt, statt direkt die Fortzüge als Entscheidungsprozess zu modellieren, da sich diese nur schwer in einem empirischen Modell schätzen lässt. Die folgenden Gleichungen geben den Entscheidungsprozess für die Pläne eines Haushaltstypen eines Proxels wieder:

$$\begin{aligned} inmove_{type\ i, proxel\ j} &= \beta_{0, type\ i}^{inmove} + \sum_{n=1}^N (x_{n, proxel\ j} \beta_{n, type\ i}^{inmove}) \\ outmove_{type\ i, proxel\ j} &= \beta_{0, type\ i}^{outmove} + \sum_{n=1}^N (x_{n, proxel\ j} \beta_{n, type\ i}^{outmove}) \\ net\ migration_{type\ i, proxel\ j} &= exp(inmove_{type\ i, proxel\ j}) - exp(outmove_{type\ i, proxel\ j}) \end{aligned}$$

Dabei gibt $x_{n, Proxel\ j}$ die Charakteristika eines Proxels wie beispielsweise die Bevölkerungsdichte, die Übernachtungen in Fremdenverkehrsbetrieben der Region oder die Durchschnittliche Sonnenscheindauer wieder. Die Koeffizienten $\beta_{n, Type\ i}$ bezeichnen wie der Akteur auf diese Charakteristika reagiert und wie stark diese dann in die Bewertung des einzelnen Proxels eingehen. Die Koeffizienten können nun Anhand der verfügbaren Daten geschätzt werden. Die geschätzten Koeffizienten können je nach gewünschtem Schwerpunkt im weiter unten erläuterten *Demography* Modell-Editor eingegeben werden. Dadurch können auch weitere Variablen wie Sonnenscheindauer oder Niederschläge zusätzlich in das Modell integriert werden. Auch können so verschiedene Schätzmethode in den Szenarioläufen miteinander verglichen.

Theoretische Grundlagen

Die regionalen Migrationsflüsse setzen sich größtenteils aus der Binnenmigration zusammen. Dennoch beschränkt sich das wissenschaftliche Interesse bisher hauptsächlich auf die internationale Migration. Dies ist nicht zuletzt verwunderlich, da die Binnenmigration in Deutschland 95% der gesamten Migrationsereignisse ausmacht welche eine Kreisgrenze überschreiten. Für die Darstellung der Migrationsflüsse in DANUBIA mussten zusätzlich die räumlichen Zusammenhänge in der Migration untersucht werden. Dies ist insbesondere notwendig, da die Migration einen stärkeren Einfluss auf die räumliche Verteilung der Bevölkerung hat als die natürliche Bevölkerungsbewegung. Dies folgt daraus, dass bereits ein einzelnes Binnenmigrationsereignis die Bevölkerung von zwei Kreisen beeinflusst, während eine Geburt oder ein Sterbefall lediglich einen Kreis beeinflussen. Zusätzlich sind Geburten und Sterbefälle, im Vergleich zur Migration, relativ homogen über die verschiedenen Kreise hinweg. Die Betrachtung des gesamten multiregionalen Gebietes in DANUBIA generiert eine detaillierte Matrix von Migrationsströmen zwischen den Herkunfts- und Zielregionpaaren. Die Zielsetzung der ökonometrischen Analyse besteht darin die Determinanten dieser Migrationsströmung zu identifizieren.

Aus der Sicht des einzelnen Migranten hängt die Entscheidung den Wohnort zu wechseln von dem Nettonutzenzuwachs des Umzugs ab. Dieser ergibt hauptsächlich aus der Differenz

zwischen dem erwarteten Einkommenszugewinn und den ökonomisch und psychologischen Kosten des Ortswechsels. Da bei hängen bei risikoaversen Individuen die Erwartung stark von der Unsicherheit über die zu erwartenden Umstände ab. Soziale Netzwerke können helfen diese Unsicherheit zu reduzieren und gleichzeitig das erwartete Einkommen erhöhen. Weiterhin reduzieren Netzwerke die Migrationskosten indem den Zugang zu günstigen Wohnungen erleichtern und die Integration in eine bekannte soziale Gemeinschaft und ein vertrautes ethnisches Umfeld ermöglichen. Da Migranten eines gemeinsamen ethnischen oder regionalen Hintergrunds positive Netzwerkeexternalitäten aufeinander ausüben, lässt sich daraus eine rationale Begründung für die Existenz von Herdenverhalten ableiten. Folgerichtig ist es effizienzfördernd (aus Sicht der Migranten) die Migration zeitlich und räumlich zu koordinieren. Die Koordination findet dabei nicht bewusst statt sondern indirekt durch das positive Signal welches die Vorangehenden Migranten durch ihre Wohnortwahl ausstrahlen.

Es ist plausibel anzunehmen, dass Phänomene die eine räumliche Bewegung aufweisen auch durch räumliche Strukturen beeinflusst werden. In diesem Zusammenhang ist es ebenfalls wahrscheinlich, dass die beobachteten Einheiten Ähnlichkeiten in ihrer Entwicklung aufweisen wenn sie nahe beieinander liegen und sich sogar gegenseitig beeinflussen. In dem für die Analyse gewählten Modellrahmen werden unterschiedliche Möglichkeiten der räumlichen Beeinflussung berücksichtigt. Neben der räumlichen Gewichtung der exogenen Variablen wird ebenfalls die Möglichkeit von endogenen räumlichen Strukturen berücksichtigt und ein entsprechender ökonometrischer Schätzer entwickelt⁸⁾. Der Schätzer erlaubt sowohl räumliche Spillover sowohl in der Endogenen Variable als auch räumliche Autokorrelation im Fehlerterm. Des Weiteren wird für Heteroskedastie in den Innovationen korrigiert⁹⁾. In der bestehenden Terminologie für räumliche Schätzer und angelehnt an KELEJIAN und PRUCHA (2008) wird der neu entwickelte Schätzer aufgrund der Berücksichtigung von unterschiedlichen räumlichen Gewichtungsmatrizen für die Herkunfts- und die Zielregion sowohl im autoregressiven endogenen als auch im autoregressiven Fehlerprozess als SARAR(2,2) Modell bezeichnet.

Der Hintergrund des ökonomischen Modells

Die Hauptmotivation zur Kontrolle der räumlichen Strukturen ist die Existenz von Migrantennetzwerken welche sich über Kreisgrenzen hinweg erstrecken können. Durch die Wahl geeigneter empirischer Methoden ist es nicht nur möglich die Schätzergebnisse zu verbessern sondern auch möglich das Ausmaß der Netzwerkeffekte zu bestimmen. Diese Netzwerke wurden zwar in der Fachliteratur bereits ausführlich besprochen aber bisher nicht in ihrer räumlichen Struktur untersucht. Sollten die Fehler die durch eine Vernachlässigung dieser Strukturen entstehen auf Ebene ganzer Staaten noch vernachlässigbar sein, so werden die dadurch entstehenden Fehler umso bedeutender je kleiner die untersuchten Einheiten in ihrer geografischen Ausdehnung werden. Bei der Untersuchung von Migration in kleinräumigen Strukturen werden Migranten in zwei benachbarten Kreisen typischerweise nur einige Kilometer voneinander entfernt leben und wahrscheinlich sogar täglich in den gleichen Kreis zur Arbeit pendeln. Aus der Migrationsliteratur sind zwei Hauptkanäle bekannt durch die räumliche Phänomene Migrationsverhalten auslösen können. Die traditionell berücksichtigten Effekte durch Familien- und Freundesnetzwerke oder durch Gruppen gleichen sozialen, ethnischen oder regionalen Hintergrunds einerseits und das erst kürzlich in die Diskussion gebrachte Argument des Herdenverhaltens andererseits. Letzteres wird mit der unvollständigen Information der Migranten, mit Signalling (Signalwirkung anderer Migranten) und dem Einfluss des eigenen Migrationsverhaltens auf die Wohnortwahl der nachfolgenden Migranten motiviert.

⁸⁾ Die Beschreibung des ökonometrischen Schätzers wird ausführlich in M. Zimmer (2008) „Assessing Global Change from a Regional Perspective - An Economic Close-Up of Climate Change and Migration“ (Dissertation Ludwig-Maximilians Universität München) dargestellt.

⁹⁾ Der Term Innovation bezeichnet in der Räumlichen Ökonometrie den Rest im Fehlerterm der nicht durch die räumliche Autokorrelation bestimmt wird.

Bisher fokussiert sich die Fachliteratur hauptsächlich auf die internationale Migration. Ein prominentes Beispiel dafür stellt die autoregressive Dynamik mexikanischer Migranten in die USA dar. Sie ist das Untersuchungsobjekt zahlreicher empirischer Studien wie beispielsweise MUNSHI (2003). Weitere empirische Studien bestätigen den Einfluss von Migratennetzwerken auf die Binnenmigration in den USA (BARTEL, 1989; FREY 1995), auf die internationale Migration nach Großbritannien (NIGEL and PAIN 2003), nach Australien (CHISWICK LEE and MILLER 2001 und nach Canada McDONALD 2002) oder für die ethnische Klusterbildung deutschstämmiger Aussiedler in Deutschland (BAUER and ZIMMERMANN 1997). Diese Netzwerke wirken durch unterschiedliche Kanäle. Sie können das erwartete Einkommen erhöhen indem sie die Wahrscheinlichkeit einen Arbeitsplatz zu finden erhöhen (COCORAN, DATCHER and DUCAN 1980), sie können die Unsicherheit über die Bedingungen am Arbeitsmarkt der Zielregion verringern (MASSEY 1987) oder die Suchkosten nach einer Arbeitsstelle senken (MORTENSEN and VISHWANATH 1994). Weiterhin können Netzwerke die Kosten die durch den Ortswechsel entstehen reduzieren. Diese können sowohl von finanzieller als auch von psychologischer Natur sein, wie beispielsweise der Verlust der ethnischen Integration oder die räumlichen Trennung von der Familie und vom Freundeskreis (SCHWARTZ 1973; MINCER 1978; CHURCH and KING 1993; CHISWICK and MILLER, 1996). Und Schlussendlich ist es aufgrund der Unsicherheit über die Arbeitsmarktbedingungen und wegen der Zunahme der positiven Netzwerkexternalität mit der Größe des Migratennetzwerkes ein gewisses Maß an Herdenverhalten rational. Bei unvollkommener Information wird die Ortswahl der andern Migranten als positives Signal über die Bedingungen am Zielort gewertet. Dabei wird den anderen Migranten impliziert ein Informationsvorsprung unterstellt (EPSTEIN and HILLMAN 1998). Deshalb kann dieses Signal nicht nur die räumliche, sondern auch die zeitliche Struktur der Migration bestimmen (BURDA 1995). Aus der Perspektive einer sozialen Gemeinschaft ist diese unbewusste räumliche und zeitliche Koordination sinnvoll. Daraus resultiert eine Verstärkung der positiven Netzwerkexternalität und der Wert des Signals den die eigene Ortswahl ausstrahlt wird erhöht indem es weitere Migranten dazu bewegt das gleiche Ziel zu wählen. Daraus resultiert eine regionale Konzentration der Migranten welche sich auf den ersten Blick kaum von der die aus reinen Netzwerkeffekten resultiert unterscheidet. Jedoch kann durch Herdenverhalten die zeitliche Dynamik der Migrationsströme erklärt werden die häufig widersprüchlich erscheint wenn sie mit traditionellen Ansätzen betrachtet werden (EPSTEIN and GANG 2004). Ein empirischer Vergleich der Einflüsse von Netzwerk- und Herdeneffekten findet sich in Bauer, EPSTEIN and GANG (2007). Eine Zusammenfassung der Wirkungsweisen von Netzwerk- und Herdeneffekten ist in Tabelle 3 dargestellt.

Tab. 3: Abgrenzung von Netzwerk- und Herdeneffekten

	Netzwerkeffekte	Herdeneffekte
Beitrag der Migranten	Bereitstellung von Informationen und Bereitstellung ethnischer und ökonomischer Ressourcen	Informeller gruppenspezifischer Prozess der zur Internalisierung der positiven Externalität von Migratennetzwerken führt und dadurch die Migrationsströme koordiniert
Vorteil für die Migranten	Reduction of economic and psychological migration costs and increase in the expected benefits from migration	Signalling reduces subjective amount of uncertainty and positive externalities of migrant networks increase
Folgen für die Ökonomie	Migranten mit gleichem Hintergrund bilden lokale räumliche Cluster	Effiziente Zahl an Migranten

Üblicherweise werden Kräfte die die Migrationsströme treiben in mikroökonomische und makroökonomische Effekte eingeteilt. Aus der mikroökonomischen Sicht des Individuums ist die Wahrscheinlichkeit zu migrieren eine monoton steigende Funktion des zu erwartenden Einkommenszuwachses aus einem Ortswechsel. Dabei hängt der zu erwartende Nutzenzuwachs von den relativen Unterschieden zwischen der Herkunfts- und der Zielregion ab. Der Faktor welcher am Häufigsten zur Erklärung der Migrationsströme genutzt wird ist das Verhältnis des Bruttoinlandsprodukts pro Kopf der beiden Regionen. Dieser „Relative

Size“ wird für die einzelnen Determinanten in der spätern Schätzung bestimmt. Aus der makroökonomischen Perspektive hängt die Gesamtzahl der Migranten auch noch von der Bevölkerung der beiden Kreise ab. Dieser Größeneffekt wird üblicherweise durch ein ökonomisches Gravitationsmodell erfasst welches vorhersagt, dass die Migrationsströme mit dem Produkt der Kreispopulationen anwachsen. Diese „Joint Size“ Effekte werden in der folgenden Schätzung ebenfalls bestimmt. In der log-linearen Spezifikation des gewählten Modellrahmens stellt sich der Joint Size Effekt eines Regionspaares als die Summe der entsprechenden logarithmierten Eigenschaften dar. Entsprechend ergeben sich die Relative Size Effekte aus der Differenz der beiden logarithmierten Eigenschaften. Die Modelgleichung lautet demnach folgendermaßen:

$$\ln(mig_{OD}) = (\ln(x_O) - \ln(x_D)) \beta_R + (\ln(x_O) + \ln(x_D)) \beta_J$$

In dieser Spezifikation ist mig_{OD} der Migrationsstrom von der Herkunftsregion O in die Zielregion D . x_O ist der Vektor der Eigenschaften der Herkunftsregion und x_D der entsprechende Vektor für die Zielregion. β_R ist der Vektor der Exponenten aus dem Gravitationsmodell für die Relative Size Effekte und β_J der entsprechende Vektor für die Joint Size Effekte.

Beschreibung der Daten

Die Daten für die empirische Validierung wurden vom Forschungsdatenzentrum der statistischen Landesämter bereitgestellt. Abgesehen von den Autoregressiven Variablen wurden für alle Eigenschaften die Werte für das Jahr vor der betrachteten Querschnittsdatenperiode von 2002-2005 genutzt. Die Schätzung berücksichtigt den Effekt der Distanz eines Regionspaares, der Bevölkerungsgröße, des Bruttoinlandsprodukts, der Anzahl der Arbeitslosen, die Anzahl der Beschäftigten gegliedert nach den Sektoren Primärgüterproduktion, Verarbeitendes Gewerbe, Dienstleistung und Residuale Beschäftigung der beispielsweise die Fischerei einschließt. Um die landschaftliche Beschaffenheit zu charakterisieren sowie ländliche von urbanen Regionen abzugrenzen wird für die Schätzung die Kreisfläche in landwirtschaftlich genutzte Fläche, Siedlungs- und Verkehrsfläche, Erholungsfläche, Waldfläche und Wasserfläche eingeteilt. Um weitere Effekte möglicher Amenities¹⁰⁾ abzudecken werden zusätzlich noch die Anzahl der Studenten, die Übernachtungen in Fremdenverkehrsbetrieben zur Erfassung der allgemeinen nicht-ökonomischen Attraktivität, die Anzahl der Ferienwohnungen als Maß der landschaftlichen Attraktivität und die Anzahl der Ärzte als Maß für die Gesundheitsausgaben berücksichtigt. Die zusätzlichen Daten die zur Erstellung der Gewichtungsmatrizen notwendig waren wurden von Shape Files¹¹⁾ abgeleitet welche vom Bundesministerium für Geodäsie und Kartographie bereit gestellt wurden. Diese Shape Files beinhalten die Grenzlinien und Flächen der Land- und Stadtkreise und dienen zur Bestimmung der Kreismittelpunkte.

Die räumliche Struktur der Migrationsströme

Die im Modell verwendete Methodik der räumlichen Interaktion stammt ursprünglich aus der Analyse der internationalen Handelsströme und wurde kürzlich in einer Arbeit von LESAGE und PACE (2007) das erstmals im Kontext der Migrationsanalyse verwendet. Solche Modelle haben die Eigenschaft, dass die Anzahl der Beobachtung quadratisch zur Anzahl der beobachteten Regionen zunimmt. Die Gewichtungsmatrizen für die räumlichen Strukturen ergeben sich aus den Reihennormalisierten Nachbarschaftsverhältnissen der möglichen Paarungen von Herkunfts- und Zielregionen. Nachbarschaft zweier Kreise wird dadurch definiert, dass die Entfer-

¹⁰⁾ Der Begriff Amenities bezeichnet in der Migrationsliteratur weitere „softe“ Faktoren die die Migrationsentscheidung beeinflussen können.

¹¹⁾ Ein Shape File ist ein für Geo Informationssystem übliches Austauschformat.

nung der Kreismittelpunkte unterhalb einer kritischen Entfernungsschwelle liegt. Durch Variation dieser Entfernungsschwelle kann die Sensitivität auf die Wahl der kritischen Entfernung geprüft werden¹²⁾.



Abb. 11: Kreisgrenzen in Deutschland

¹²⁾ Eine tiefere Analyse dazu findet sich in M. Zimmer (2008) „Assessing Global Change from a Regional Perspective – An Economic Close-Up of Climate Change and Migration“ (Dissertation Ludwig-Maximilians Universität München).

Eine oberflächliche visuelle Inspektion der Kreisgrenzen in Abbildung 11 zeigt bereits, dass die Kreise im Nordosten Deutschlands wesentlich größere Ausdehnungen haben als die im Südwesten. Demnach würde ein detaillierteres Gewichtungsschema basierend auf der Distanz der Kreise keinen Sinn machen, da es durch die Größe der Kreise verzerrt wäre. Eine einfache Reihennormalisierte Nachbarschaftsdefinition hingegen definiert zumindest einen Konsistenten Durchschnittswert der Eigenschaften der umliegenden Kreise in einem fixen Radius.

Schätzergebnisse

In Tabelle 4 werden die Ergebnisse der Schätzung als Grundlage für die DANUBIA Szenarienläufe dargestellt¹³⁾. Die Tabelle zeigt in den aufeinanderfolgenden Spalten die Ergebnisse für die unterschiedlichen Schätzverfahren von der einfachen Kleinste Quadrate Schätzung (OLS) über die räumliche Autokorrelation in der Endogenen (SARAR(2,0)) und im Fehlerterm (SARAR(0,2)) bis zum für die in DANUBIA genutzten, neu entwickelten Schätzmodell mit autoregressiven Strukturen im Fehlerterm und in der Endogenen Variable (SARAR(2,2)). Die Koeffizienten geben dabei die Elastizität der Anzahl der Migranten gegenüber einer Änderung der entsprechenden exogenen Variable wider.

¹³⁾ Für eine tiefe Diskussion der Ergebnisse und Methodik und eine weitere Gliederung des Migrationsverhaltens nach unterschiedlichen Migrantengruppen siehe M. Zimmer (2008) „Assessing Global Change from a Regional Perspective - An Economic Close-Up of Climate Change and Migration“ (Dissertation Ludwig-Maximilians Universität München).

Tab. 4: Darstellung der Schätzergebnisse und Vergleich verschiedener Schätzverfahren

Model	OLS		SARAR(2,0)		SARAR(0,2)		SARAR(2,2)	
Innovation errors	-		-		Heteroskedastic		Heteroskedastic	
R2	0.7874		0.7877		0.3989		0.4913	
Observations	192721		192721		192721		192721	
Sargan overid			0.3607				0.8228	
Anderson Identification			0.0000				0.0000	
Moran's I Ori.			0.1071 ***		0.2884 ***		0.1071 ***	
Moran's I Des.			0.0992 ***		0.2849 ***		0.0992 ***	
	Coef.	SE	Coef.	SE	Coef.	SE	Coef.	SE
Ori. rho					0.4527		0.3680	
Des. rho					0.4737		0.4351	
Ori. gamma	0.4632 ***	(0.0037)	0.4399 ***	(0.0142)			0.4313 ***	(0.0375)
Des. gamma	0.4521 ***	(0.0035)	0.4147 ***	(0.0114)			0.4124 ***	(0.0285)
Distance	-0.3358 ***	(0.0047)	-0.3998 ***	(0.0252)	-0.2851 ***	(0.0023)	-0.1972 ***	(0.0161)
Rel. population	-0.0038	(0.0102)	0.0007	(0.0102)	-0.0219	(0.0196)	-0.0159	(0.0182)
Rel. employed rest	-0.0155 ***	(0.0033)	-0.0183 ***	(0.0035)	-0.0411 ***	(0.0064)	-0.0217 ***	(0.0059)
Rel. employed prim. Industry	0.0185 ***	(0.0062)	0.0168 ***	(0.0062)	0.0307 **	(0.0119)	0.0182 *	(0.0107)
Rel. employed manufacturing	-0.0024	(0.0057)	-0.0134 **	(0.0064)	-0.0388 ***	(0.0122)	-0.0192 *	(0.0112)
Rel. employed services	-0.0275	(0.0174)	-0.0624 ***	(0.0201)	-0.1701 ***	(0.0371)	-0.0771 **	(0.0347)
Rel. unemployed	0.0556 ***	(0.0199)	0.1240 ***	(0.0288)	0.3216 ***	(0.0503)	0.1389 ***	(0.0498)
Rel. GDP (districts)	-0.0477 ***	(0.0099)	-0.0651 ***	(0.0123)	-0.1368 ***	(0.0209)	-0.0597 ***	(0.0203)
Rel. medics	0.0149	(0.0095)	0.0145	(0.0099)	0.0221	(0.0176)	0.0272 *	(0.0162)
Rel. students	-0.0013 ***	(0.0004)	-0.0011 ***	(0.0004)	-0.0020 ***	(0.0007)	-0.0012 **	(0.0006)
Rel. tourist overnight stays	-0.0169 ***	(0.0023)	-0.0153 ***	(0.0024)	-0.0303 ***	(0.0042)	-0.0184 ***	(0.0042)
Rel. welfare recipients	0.0018	(0.0032)	0.0025	(0.0033)	0.0056	(0.0068)	-0.0002	(0.0060)
Rel. holiday homes	0.0026 *	(0.0014)	0.0009	(0.0015)	0.0017	(0.0027)	0.0032	(0.0024)
Rel. recreational area	0.0000	(0.0028)	-0.0001	(0.0028)	0.0092	(0.0061)	0.0026	(0.0052)
Rel. agricultural area	0.0051 *	(0.0029)	0.0082 ***	(0.0030)	0.0188 ***	(0.0061)	0.0092 *	(0.0054)
Rel. forest area	0.0080 ***	(0.0014)	0.0092 ***	(0.0015)	0.0190 ***	(0.0030)	0.0103 ***	(0.0026)
Rel. bodies of water	-0.0028 *	(0.0016)	-0.0030 *	(0.0016)	-0.0061 *	(0.0034)	-0.0026	(0.0029)
Rel. urban area	0.0078	(0.0078)	0.0033	(0.0079)	0.0044	(0.0171)	0.0074	(0.0147)
Joint population	0.1128 ***	(0.0103)	0.1340 ***	(0.0132)	0.6208 ***	(0.0197)	0.3127 ***	(0.0278)
Joint employed rest	-0.0168 ***	(0.0033)	-0.0158 ***	(0.0033)	0.0110 *	(0.0064)	-0.0121 **	(0.0057)
Joint employed prim. Industry	-0.0783 ***	(0.0062)	-0.0820 ***	(0.0064)	-0.2052 ***	(0.0119)	-0.1113 ***	(0.0124)
Joint employed manufacturing	-0.2719 ***	(0.0056)	-0.2822 ***	(0.0069)	-0.2163 ***	(0.0122)	-0.1897 ***	(0.0127)
Joint employed services	-0.4264 ***	(0.0171)	-0.4092 ***	(0.0183)	0.2126 ***	(0.0372)	-0.0727 **	(0.0325)
Joint unemployed	0.7481 ***	(0.0191)	0.7392 ***	(0.0194)	0.1299 **	(0.0504)	0.3599 ***	(0.0400)
Joint GDP (districts)	0.1056 ***	(0.0099)	0.1227 ***	(0.0120)	0.1683 ***	(0.0209)	0.0628 ***	(0.0203)
Joint medics	0.2930 ***	(0.0094)	0.3016 ***	(0.0099)	0.2199 ***	(0.0177)	0.1844 ***	(0.0162)
Joint students	0.0079 ***	(0.0004)	0.0081 ***	(0.0004)	0.0099 ***	(0.0007)	0.0057 ***	(0.0007)
Joint tourist overnight stays	0.0819 ***	(0.0022)	0.0789 ***	(0.0024)	0.0728 ***	(0.0042)	0.0617 ***	(0.0038)
Joint welfare recipients	-0.0733 ***	(0.0032)	-0.0742 ***	(0.0032)	-0.0281 ***	(0.0068)	-0.0326 ***	(0.0058)
Joint holiday homes	-0.0126 ***	(0.0014)	-0.0084 ***	(0.0021)	-0.0016	(0.0028)	-0.0039	(0.0026)
Joint recreational area	-0.0120 ***	(0.0028)	-0.0106 ***	(0.0029)	0.0180 ***	(0.0061)	0.0033	(0.0052)
Joint agricultural area	0.0717 ***	(0.0029)	0.0756 ***	(0.0033)	0.0321 ***	(0.0061)	0.0326 ***	(0.0054)
Joint forest area	-0.0125 ***	(0.0014)	-0.0133 ***	(0.0014)	-0.0149 ***	(0.0030)	-0.0159 ***	(0.0027)
Joint bodies of water	0.0212 ***	(0.0017)	0.0250 ***	(0.0022)	0.0200 ***	(0.0034)	0.0225 ***	(0.0032)
Joint urban area	-0.0982 ***	(0.0079)	-0.1147 ***	(0.0102)	-0.1151 ***	(0.0172)	-0.0697 ***	(0.0162)
Constant	5.7145 ***	(0.1741)	6.2472 ***	(0.2696)	2.0957 ***	(0.4727)	1.2424 ***	(0.3868)

Die Umsetzung des Demographie Akteurs im DANUBIA Framework

Der Tiefe Akteur *Demography (Demography_Actor)* wurde in Einklang mit den informativischen Vorgaben des *DeepActor-Frameworks* entwickelt. Das folgende UML-Klassendiagramm zeigt das Zusammenspiel der Klassen im Paket *demography*. Als steuernde und initialisierende Klasse fungiert die Klasse *Demography*. Sie bietet dem Tiefen Akteur die Schnittstelle *DemographyActorEnvironment* an, über die der Akteur Informationen über seinen Kreis abfragen kann, die für seine Migrationsentscheidung bedeutend sind. Jede Rechenperiode wählt der Akteur den Plan *Demography_Plan* aus. Dieser beinhaltet die *Demography_Action*. Diese Aktion entscheidet über die tatsächliche Bevölkerungsmigration des Akteurs und wird, nachdem der Akteur sein Migrationsvorhaben berechnet hat, durchgeführt. Die Trennung von Plan und Aktion ist sinnvoll, da diese unterschiedlich sein können. So kann es vorkommen, dass etwa alle Akteure wegen einer schlechten globalen Bedingung planen auszuwandern. Hier greift die Aktion ein, und normiert die lokalen Pläne der Aktion, damit sie dem gegebenen Bevölkerungsszenario *PopulationScenario* entsprechen. Jeder Akteur speichert in seiner *Actor_Information* die Bevölkerungszahl pro

inmove % of population - coefficients		inmove/outmove - coefficients	
	coefficient		coefficient
beta0 regression constant	-10.878535	beta0 regression constant	-2.318163
beta1 gdp/head	0.076068	beta1 gdp/head	0.005881
beta2 gdp growth	0.0	beta2 gdp growth	0.0
beta3 population density	-0.300249	beta3 population density	-0.03875
beta4 industry share	0.116282	beta4 industry share	0.033018
beta5 service share	0.167138	beta5 service share	0.033904
beta6 state share	0.0	beta6 state share	0.0
beta7 industrial emission	0.0	beta7 industrial emission	0.0
beta8 industrial wage	0.0	beta8 industrial wage	0.0
beta9 building land prices	0.002218	beta9 building land prices	8.6E-5
beta10 beds in tourism	2.060592	beta10 beds in tourism	0.15799
beta11 accomodation tourism	0.0	beta11 accomodation tourism	0.0
beta12 sunshine duration	0.0	beta12 sunshine duration	0.0
beta13 precipitation	0.0	beta13 precipitation	0.0

Buttons: Lade Szenario, Speichern, Als Szenario verwenden, Verlassen

Abb. 13: Modell-Editor für die Demographie-Akteure (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

milieu	trend in percent and year
Etablierte	1.0
Postmaterielle	-1.0
Moderne Performer	0.0
Konservative	0.0
Traditionsverwurzelte	0.0
DDR-Nostalgiker	-3.0
Bürgerliche Mitte	3.0
Konsummaterialisten	0.0
Hedonisten	0.0
Experimentalisten	0.0

Buttons: Lade Szenario, Speichern, Als Szenario verwenden, Verlassen

Abb. 14: Szenario-Editor für die Demographie-Akteure (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

4. Auswertung der Szenarien

Um unter anderem die Funktionsfähigkeit der Tiefen Akteure zu überprüfen, wurde in DANUBIA, nach zahlreichen Testläufen, ein Szenariolauf gestartet, bei dem relativ heiße und trockene klimatische Bedingungen hinterlegt wurden. Dadurch soll gewährleistet werden, dass die einzelnen Akteursmodelle, über das erwartete Normalmaß hinaus, reagieren. Aus Sicht des *DeepActorIndustry*-Modells ist mit relativ hohen Flaggenwerten zu rechnen, die zu erheblichen Schwankungen in der industriellen Wasserförderung führen. Zur Auswertung des Szenariolaufes stehen Daten der Jahre 2000 bis 2013 zu Verfügung.

Bevölkerungsentwicklung

Die Gesamtbevölkerung sank im Verlauf des Szenarios von 9,7 Mio. um rund 2% auf ca. 9,5 Mio. Einwohner. Vergleicht man dieses Ergebnis mit den Prognosen der amtlichen Statistik (Abb. 9 und IX in Appendix 5), so bewegen sich die erzielten Ergebnisse jeweils in etwa im Rahmen der mittleren Prognoseszenarien (in Deutschland leicht sinkend, in Österreich leicht steigend). Die Bevölkerung auf einem einzelnen Proxel wuchs dabei maximal um 3% und sank im Extremfall um rund 8%. Die regionale Verteilung der Bevölkerungsveränderung zeigt Abbildung 15. Man sieht dabei sehr deutlich, dass die Bevölkerung vor allem im strukturstarken Süden Münchens wächst, im österreichischen Teil des Einzugsgebietes annähernd konstant bleibt und in dem, in der Vergangenheit eher strukturschwachen, Norden stärker zurückgeht.

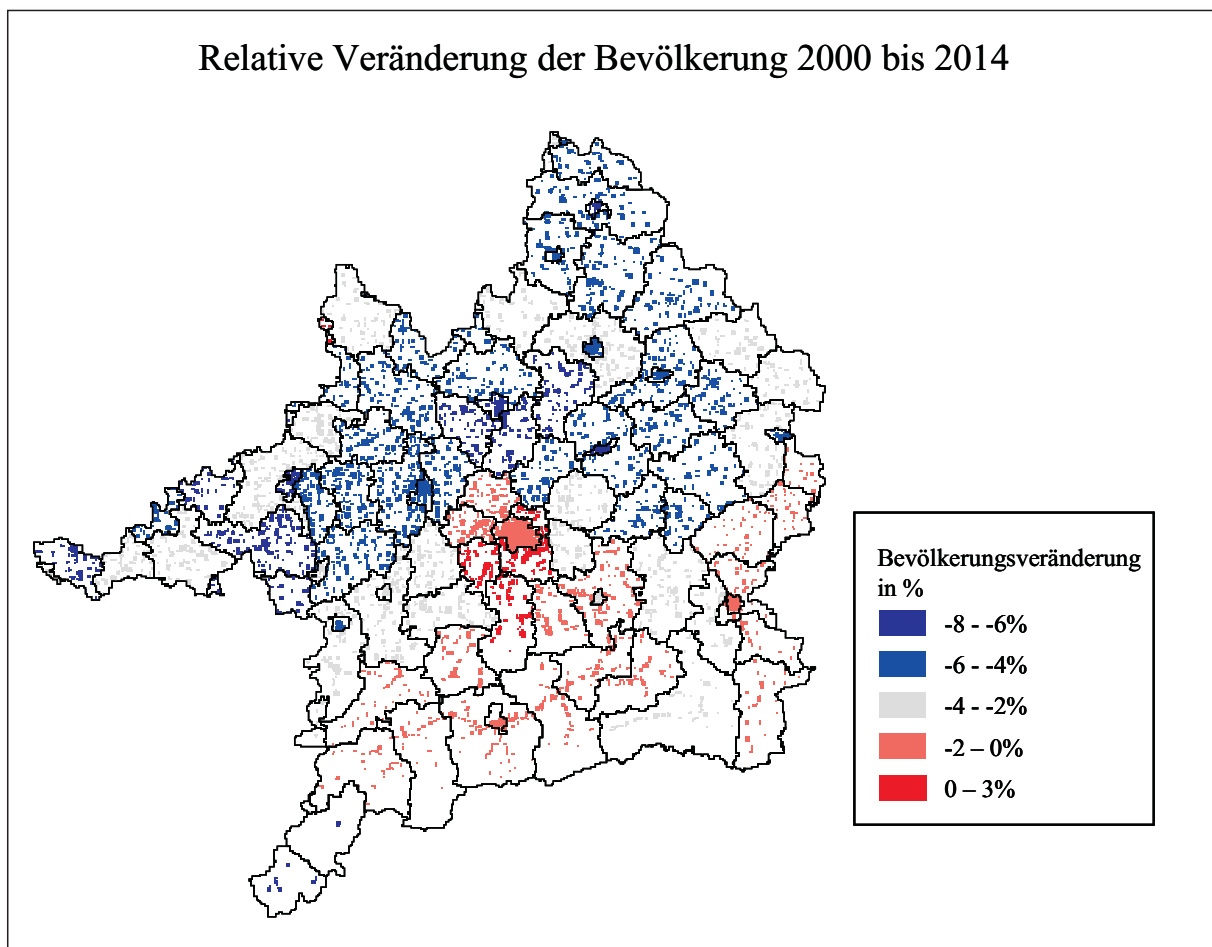


Abb. 15: Veränderung der Bevölkerung auf dem Proxel (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Entwicklung der industriellen Wasserentnahme

Die Grundwasserförderung steigt im Szenariozeitraum von $10,46\text{m}^3/\text{sec}$ auf $11,92\text{m}^3/\text{sec}$ leicht an. Eine ähnliche Entwicklung zeigt auch die Flusswasserförderung. Sie stieg von $22,56\text{m}^3/\text{sec}$ auf $23,17\text{m}^3/\text{sec}$ ebenfalls leicht an. Technischer Fortschritt, d.h. die effizientere Nutzung des Wassers, und wirtschaftliche Entwicklung halten sich damit fast annähernd die Waage. Vergleicht man dieses Ergebnis mit der Entwicklung der industriellen Wasserförderung in der Vergangenheit (Abb. 16), so wäre eher mit einem Rückgang der Wasserentnahmen zu rechnen. Wichtiger als die Gesamtveränderung der Wasserentnahme ist jedoch ihr Verlauf. Anders als in der bisherigen Modellierung in RIWU, folgt die Wasserförderung der Unternehmen keinem linearen Trend, sondern ist vielmehr durch erheblich Einschnitte und Wiederanstiege gekennzeichnet. Abbildung 17 zeigt die über alle Proxel summierte Grund- und Oberflächenwasserentnahme. Der durchschnittliche Nutzungsfaktor des Wassers stieg dabei von 3,4 auf 5,1 an.

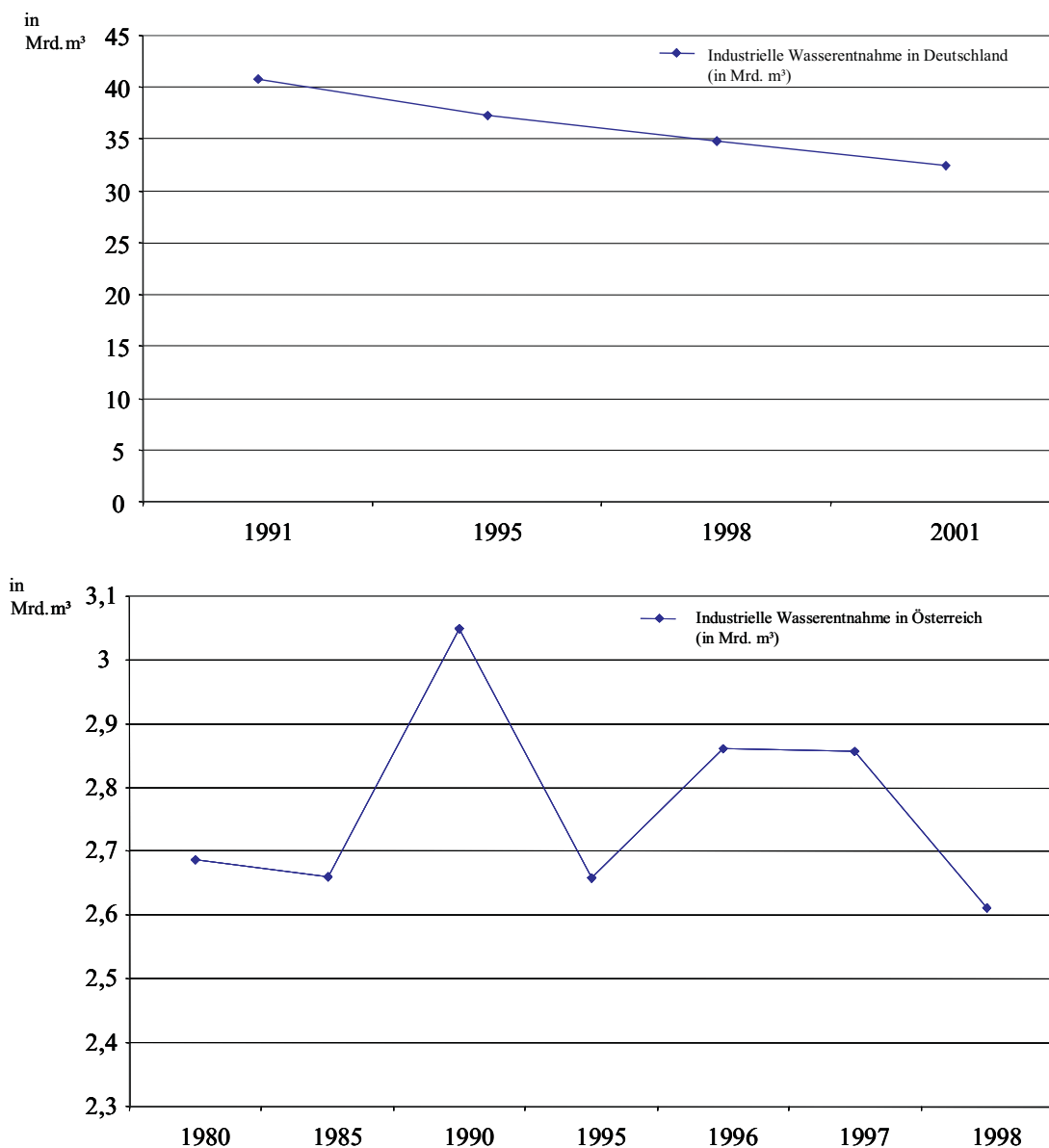


Abb. 16: Entwicklung der industriellen Wasserförderung in den letzten Jahren (Quelle: STATISTIK AUSTRIA 2002; STATISTISCHES BUNDESAMT 2005)

Das Modell bringt durch den leichten Anstieg der Wasserförderung die bei den Telefoninterviews und Besuchen der Unternehmen vor Ort gemachten Erfahrungen zum Ausdruck (s. Kap 3.1.2). Gerade die Vertreter der Papierindustrie sahen kaum Spielraum für grundlegende Innovationen im Bereich der Wassernutzung, die ohne großen äußeren Druck umgesetzt werden würden. Vertreter der chemischen Industrie äußerten sich ähnlich skeptisch gegenüber grundlegenden, wassersparenden Innovationen. In dem Szenariolauf war damit offenbar genügend Wasser vorhanden, um flächendeckend grundlegende Innovationen in der Industrie zu verhindern.

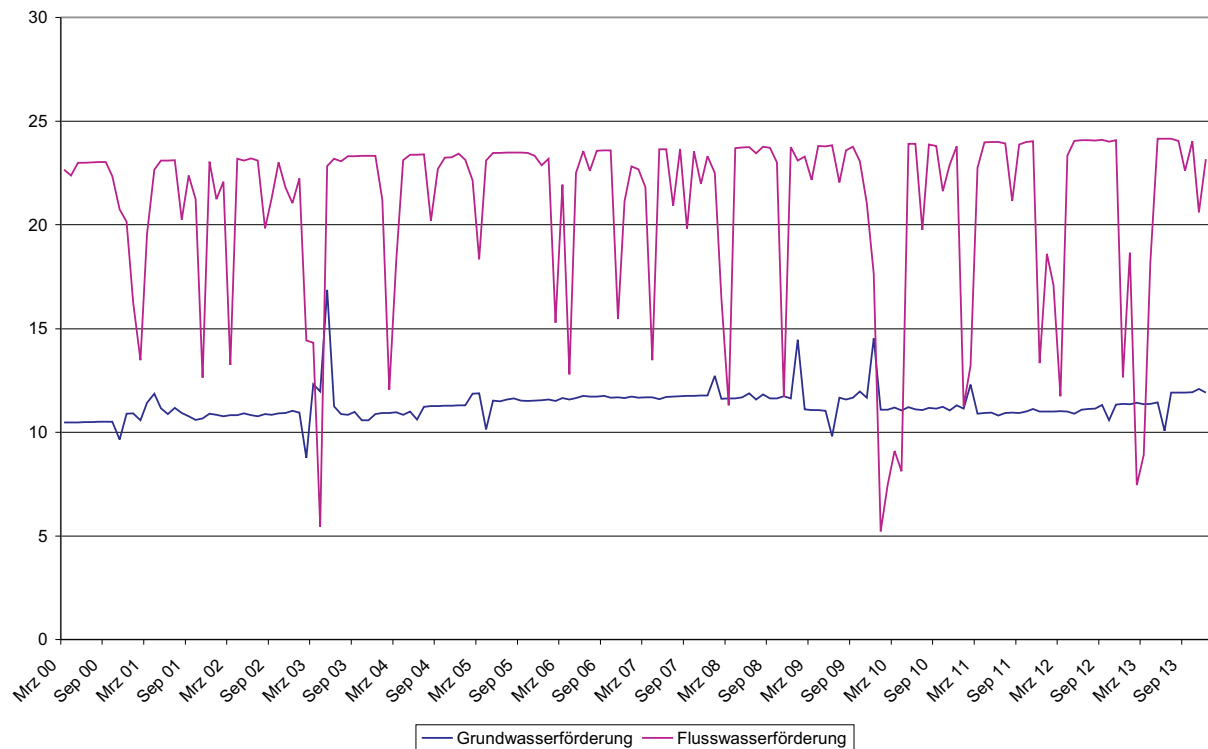


Abb. 17: Entwicklung der industriellen Wasserförderung im Szenariolauf (m^3/sec) (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

5. Umstellung der Modelle auf die *Framework-Version 2.0*

Zur Gewährleistung integrativer Szenarioläufe aller Teilprojekte des GLOWA-Danube Projektes ist eine einheitliche Programmierung, der innerhalb eines Szenariolaufes zu berechneten Größen, nötig. Als Programmgrundlage dient hierbei die Programmiersprache Java. Das Teilprojekt Informatik stellt diesbezüglich eine Plattform, bzw. das so genannte *Framework*, bereit, über die ein gemeinsames Rechnen der Szenarien ermöglicht werden soll. Die Implementierung von DANUBIA-Simulationskomponenten sowie die Konfiguration der Web-basierten Benutzeroberfläche für integrative Simulationen sind Bestandteil der Programmierarbeiten, die für das *DeepActorIndustry*-Modell und *DeepActorDemography*-Modell durchgeführt werden müssen.

Zwischen gekoppelten DANUBIA-Komponenten werden Daten ausgetauscht, die unterschiedliche Strukturen aufweisen. Zudem haben die ausgetauschten Daten immer einen räumlichen Bezug zu dem gerade betrachteten Simulationsgebiet. Für diese beiden Aspekte wurde vom Teilprojekt Informatik ein Datentyp- und Datentabellenkonzept entwickelt. Es erlaubt die Trennung der Ebenen Spezifikation und Implementierung. Während auf Spezifikationsebene die Strukturen der einzelnen Datenelemente festgelegt werden, werden auf

Implementierungsebene die räumliche Struktur der Daten, sowie geeignete Zugriffs- und Manipulationsoperationen für die Daten berücksichtigt. Die Simulationskomponenten, bzw. die sich daraus ergebenden Datenstrukturen, werden durch allgemeine Datentyp-Klassen repräsentiert. Der Entwurf konkreter Datentypen erfolgt durch die Definition von Klassen, die von den allgemeinen Datentyp-Klassen abgeleitet sind. Diese Entwurfsdatentypen enthalten die eigentlichen Struktur- und Typinformationen. Um auf die Daten zuzugreifen sind Zugriffsoperationen nötig, die in einem Generierungsprozess erzeugt werden und bei der Implementierung von Simulationskomponenten verwendet werden.

Hier setzen wir mit der Implementierung, der sich gegenüber der vorherigen *Framework*-version geänderten Operatoren und Strukturen an. Die betreffenden relevanten Programmfragmente sind bereits umgeschrieben und an das neue *Framework* angepasst worden, so dass der Java-Quellcode der beiden Modelle *DeepActorIndustry* und *DeepActorDemography* die Anforderungen der Framework-Version 2 erfüllt. Das Einrichten der Web-basierte Benutzeroberfläche ist nun der nächste Schritt, um die einen integrativen Simulationslauf durchführen zu können.

Literatur

- BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN GAS- UND WASSERWIRTSCHAFT (1994):
105. Wasserstatistik Bundesrepublik Deutschland - Berichtsjahr 1993, Bonn.
- BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN GAS- UND WASSERWIRTSCHAFT (1997):
Wassertarife 1997, Bonn .
- BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN GAS- UND WASSERWIRTSCHAFT (2001a):
112. BGW-Wasserstatistik Bundesrepublik Deutschland - Berichtsjahr 2000, Bonn.
- BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN GAS- UND WASSERWIRTSCHAFT (2001b):
Tarife 2001, Bonn .
- ANSELIN, L. (1988): *Spatial Econometrics - Methods and Models*, Boston.
- BARTEL, A.P. (1989). Where do New U.S. Immigrants Live? *Journal of Labor Economics*. Volume 7, S. 371-91.
- BAUER, T. und ZIMMERMANN, K.F. (1997). Network Migration of Ethnic Germans. *International Migration Review*, Volume 31, S.143-149.
- BAUER, T., EPSTEIN, G.S. und GAN, I.N.g (2007). Herd Effects or Migration Networks? The Location Choice of Mexican Immigrants in the U.S.. *Research in Labor Economics*, Volume 26, S.199-229.
- BURDA, M.C. (1995). Migration and the Option Value of Waiting. *The Economic and Social Review*, Volume 27, S. 1-19.
- CHISWICK, B.R., LEE, Y.L. und MILLER, P.W. (2001). The Determinants of the Geographic Concentration Among Immigrants: Application to Australia. *Australasian Journal of Regional Studies*. Volume 7, S. 125-150.
- CHISWICK, B.R. und MILLER, P.W. (1996). Ethnic Networks and Language Proficiency among Immigrants. *Journal of Population Economics*, Volume 9, S.19-35.
- CHURCH, J. und KING, I. (1993). Bilingualism and Network Externalities. *Canadian Journal of Economics*, Volume 26, S. 337-45.
- CORCORAN, M., DATCHER, L. -nd DUNCAN, G. (1980). Most Workers Find Jobs through Word of Mouth. *Monthly Labor Review*, Volume 103, S. 33-35.

- CHRISTENSEN, L.R. und GREENE, W.H. (1976) Economies of Scale in U.S. Electric Power Generation, *Journal of Political Economy*, Vol. 84, No. 4, Part 1 (Aug., 1976), S. 655-676
- CHUNG, J.W. (1994): *Utility and Production Functions. Theory and Applications*. Blackwell. Cambridge. UK.
- CLIFF, A. und ORD, J.N (1973): *Spatial Autocorrelation*, London3.
- Cliff, Andrew; Ord John (1981): *Spatial Processes, Models and Applications*, London 1981.
- EGERER, M. und ZIMMER, M. (2006). Weiterentwicklung des Regionalmodells RIWU zu einem „tiefen“ Akteursmodell. In: MAUSER, W. und U. STASSER (eds). *GLOWA-Danubue - Integrative Techniken, Szenarien und Strategien zur Zukunft des Wassers im Einzugsgebiet der Oberen Donau*. www.glowa-danube.de .
- EPSTEIN, G.S. und HILLMAN, A.L. (1998). Herd Effects and Migration. CEPR Discussion Paper No. 1811.
- EPSTEIN, G.S. und GANG, I.N. (2006). The Influence of Others on Migration Plans. *Review of Development Economics*, Volume 10, S. 652–665.
- FREY, W.H. (1995). The New Geography of US Population Shifts: Trends toward Balkanization. In: FARLEY, R. (Ed.): *The State of the Union: Social Trends*, S. 271-336. Russell Sage, New York. USA.
- KELEJIAN, H. und PRUCHA, I. (1999): A Generalized Moments Estimator for the Autoregressive Parameter in a Spatial Model, *International Economic Review* 40(2), 1999, S. 509-533.
- KELEJIAN, H. und PRUCHA, I. (2005): *Specification with Autoregressive and Heteroskedastic*, University of Maryland, unveröffentlichtes Manuskript.
- KELEJIAN, H. und PRUCHA, I. (2008). *Specification and Estimation of Spatial Autoregressive Models with Autoregressive and Heteroskedastic Disturbances*. Forthcoming in *Journal of Econometrics*.
- KIM, Y.H. (1992). The Translog Production Function and Variable Returns to Scale The *Review of Economics and Statistics*, Volume 74, S. 546-552.
- KNIEPS, G. (2000): Der disaggregierte Regulierungsansatz der Netzökonomie. In: KNIEPS, G. und BRUNEKREEFT, G. (Hrsg.), *Zwischen Regulierung und Wettbewerb*, Heidelberg 2000, S. 7-22.
- KRUGMAN, P. (1998): What's New about the New Economic Geography?, *Oxford Review of Economic Policy* 14 (2), 1998, S. 7-17.
- LÜBBE, E. (2002): Jahreswasserbericht der Wasserwirtschaft : gemeinsamer Bericht der mit der Wasserwirtschaft befassten Bundesministerien - Haushaltsjahr 2001, *Wasser & Boden* 54 (7/8), 2002, S. 5-13.
- LESAGE, J.P. und PACE, R.K. (2007). *Spatial Econometric Modeling of Origin-Destination Flows*. SSRN Working Paper.
- MASSEY, D.S. (1987). Do Undocumented Migrants Earn Lower Wages than Legal Immigrants? New Evidence from Mexico. *International Migration Review*, Volume 21, S. 236-274.
- McDONALD, J.T. (2002). The Location Choice of New Immigrants to Canada: The Role of Ethnic Networks. In: BEACH, C., GREEN, A. J. REITZ, and (Eds.): *Canadian Immigration Policy for the 21st Century*, John Deutsch Institute for the Study of Economic Policy, Queen's University. Kingston. Canada.

- MINCER, J. (1978). Family Migration Decisions. *The Journal of Political Economy*, Volume 86, S.749-773.
- MORTENSEN, D.T. und VISHWANATH, T. (1994). Personal Contacts and Earnings: It is Who You Know! *Labour Economics*, Volume 1, S. 187-201.
- MUNSHI, K. (2003). Identification of Network Effects: Mexican Migrants in the U.S. Labor Market. *Quarterly Journal of Economics*, Volume 118, S. 549-599.
- ÖSTERREICHISCHE VEREINIGUNG DES GAS- UND WASSERFACHES (2002): Daten - Wasser; Betriebsergebnisse der Wasserwerke Österreichs, Wien.
- ROTHENBERGER, D. (2003): Report zur Entwicklung des Versorgungssektors Wasser, Sektorreport Siedlungswasserwirtschaft für das Projekt "Integrierte Mikrosysteme der Versorgung" im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, Centre for Innovation Research in the Utility Sector, Kastanienbaum (Schweiz).
- SCHNURRER, N. (2001): Liberalisierung : der Griff nach dem Wasser, *Arbeit & Wirtschaft* 55 (9), S. 24-28.
- SCHWARTZ, A. (1973). Interpreting the Effect of Distance in Migration. *The Journal of Political Economy*, Volume 81, S. 1153-1169.
- STATISTIK AUSTRIA (2002): Regionale Wasser-, Abwasser, und Abfalldaten 1980-1999, *Statistische Nachrichten* 5, S. 374-380.
- STATISTIK AUSTRIA (2005a): Volkszählung 2001 - Haushalte und Familien, Wien.
- STATISTIK AUSTRIA (2005b): Zukünftige Bevölkerungsentwicklung Österreichs 2005-2050 (2075), *Statistische Nachrichten* 11/2005.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2003): Bevölkerung Deutschlands bis 2050 - 10. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung, Wiesbaden.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2005): Umweltnutzung und Wirtschaft - Tabellen (Band 1) zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 2005, Wiesbaden.

Appedix

1. Das Gleichungssystem des RIWU-Modells

Die folgenden Variablen finden in dem novellierten Modell Verwendung:

- BIP Bruttoinlandsprodukt (Mrd. Euro in jeweiligen Preisen)
- WI Wertschöpfung Industrie (Produzierendes Gewerbe, Mrd. Euro in jeweiligen Preisen) (Entspricht Parameter Y im Tiefen Modell Industrieunternehmen)
- WDL Wertschöpfung Dienstleistungsbereich (Mrd. Euro in jeweiligen Preisen)
- WS Wertschöpfung Staat (Mrd. Euro in jeweiligen Preisen)
- BLAP Baulandpreis (Euro je Quadratmeter) (Entspricht Parameter oI3 im Tiefen Modell Industrieunternehmen)
- B Einwohner
- FL Fläche (Quadratkilometer)
- SVFL Siedlungs- und Verkehrsfläche (Quadratkilometer)
- YH Haushaltseinkommen (Mrd. Euro in jeweiligen Preisen)
- WAUF Wasserverbrauch der Industrie
- PEWA Wasserpreis (geschätzte Kosten der Eigenförderung von Wasser durch die Industrie) (Entspricht Parameter eC0 im Tiefen Modell Industrieunternehmen)
- π Arbeitsproduktivität in der Industrie
- $d\pi$ Abweichung der Produktivität vom Durchschnitt des gesamten Einzugsgebiets ($\bar{\pi}$)
- T Zeittrend
- D1 Dummy für Altötting, Pfaffenhofen, Dingolfing und Rhön-Grabfeld
- D2 Dummy für München
- D3 Dummy für Kitzingen

Das RIWU-Gleichungssystem besteht aus den insgesamt sechs folgenden Modellgleichungen:

$$(1) \quad WS_i = BIP_{i,t-1}^{0.90} e^{-1.51};$$

$$(2) \quad WDL_i = \bar{\pi}^{0.67} WI_i^{0.40} WS_i^{0.46} \left(\sum_j n_{ij} BIP_{j,t-1} \right)^{0.42} \left(\sum_j n_{ij} \pi_j \right)^{-0.35} e^{1.05D2+0.67D3};$$

$$(3) \quad BIP_i = 16.88 + 1.32(WI_i + WDL_i);$$

$$(4) \quad BLAP_i = (BIP_i / FL_i)^{0.73} (SVFL_i / FL_i)^{-0.86} \left(\sum_j n_{ij} BLAP_j \right)^{0.66} e^{7.02};$$

$$(5) \quad YH_i = BIP_i^{0.75} \left(\sum_j n_{ij} BIP_j / FL_j \right)^{0.15} e^{9.34};$$

$$(6) \quad \pi_i = d\pi_i \cdot \bar{\pi}; \quad \text{wobei:} \quad \bar{\pi} = e^{-93.77+0.04T};$$

2. STATA code der Schätzungen

```

use „C:\translog\translog“, clear
*****
* log output: y
* log kapital: x01      (currently not available = 0)
* log labor: x02
* log intermediate: x03 (currently not available = 0)
* log electricity: x04
* log CSB-pollution: x05
* log AOX-pollution: x06
* water total/residual: x07
* water contingent if utilization > 1: x08
* year: x09
* labor cost share: s2
*****
* Note that water employment is equal to: log(x07+rho*x08)
*****
gen x11 = x01*x01/2
gen x22 = x02*x02/2
gen x33 = x03*x03/2
gen x44 = x04*x04/2
gen x55 = x05*x05/2
gen x66 = x06*x06/2
gen x99 = x09*x09/2
gen x12 = x01*x02
gen x13 = x01*x03
gen x14 = x01*x04
gen x15 = x01*x05
gen x16 = x01*x06
gen x19 = x01*x09
gen x23 = x02*x03
gen x24 = x02*x04
gen x25 = x02*x05
gen x26 = x02*x06
gen x29 = x02*x09
gen x34 = x03*x04
gen x35 = x03*x05
gen x36 = x03*x06
gen x39 = x03*x09
gen x45 = x04*x05
gen x46 = x04*x06
gen x49 = x04*x09
gen x56 = x05*x06
gen x59 = x05*x09
gen x69 = x06*x09
* Estimation of non-linear multivariate equation system for all industries:
nlstur (s2=({b2=0.1}+{b12}*x01+{b22}*x02+{b23}*x03+{b24}*x04+{b25}*x05+{b26}*x06+{b27}>*ln(x07+{rho}
)*x08)+{b29}*x09)/({b1=0.1}+{b2}+{b3=0.1}+{b4=0.1}+{b5=0.1}+{b6=0.1}+{b7}>=0.1)+{b9=0.1}+{b11}* (x01
)+{b12}* (x01+x02)+{b13}* (x01+x03)+{b14}* (x01+x04)+{b15}* (x0>1+x05)+{b16}* (x01+x06)+{b17}* (x01+ln(x
07+{rho}*x08))+{b19}* (x01+x09)+{b22}* (x02)+{b23}* (x02+x03)+{b24}* (x02+x04)+{b25}* (x02+x05)+{b26}*
(x02+x06)+{b27}* (x02+ln(x07+{rho}>*x08))+{b29}* (x02+x09)+{b33}* (x03)+{b34}* (x03+x04)+{b35}* (x03+x0
5)+{b36}* (x03+x06)+{
>b37}* (x03+ln(x07+{rho}*x08))+{b39}* (x03+x09)+{b44}* (x04)+{b45}* (x04+x05)+{b46}* (x04+x06)+{b47}* (
x04+ln(x07+{rho}*x08))+{b49}* (x04+x09)+{b55}* (x05)+{b56}* (x05+x06)+{b57}>*(x05+ln(x07+{rho}*x08))+
{b59}* (x05+x09)+{b66}* (x06)+{b67}* (x06+ln(x07+{rho}*x08))+{
>b69}* (x06+x09)+{b77}* (ln(x07+{rho}*x08)*ln(x07+{rho}*x08)/2)+{b79}* (ln(x07+{rho}*x08)+x09)) (y=
{b0}+{b1}*x01+{b2}*x02+{b3}*x03+{b4}*x04+{b5}*x05+{b6}*x06+{b7}*ln(x07+{rho}*x08))+{b9}*x09+{b11}*
x11+{b22}*x22+{b33}*x33+{b44}*x44+{b55}*x55+{b66}*x66+{b77}>*(ln(x07+{rho}*x08)*ln(x07+{rho}*x08)/
2)+{b99}*x99+{b12}*x12+{b13}*x13+{b14}*x14+{b15}*x15+{b16}*x16+{b17}* (x01*ln(x07+{rho}*x08))+{b19
}*x19+{b23}*x23+{b24}*x24+{b25}*x25+{b26}*x26+{b27}* (x02*ln(x07+{rho}*x08))+{b29}*x29+{b34}*x34+{
b35}*x35+{b36}*x36+{>b37}* (x03*ln(x07+{rho}*x08))+{b39}*x39+{b45}*x45+{b46}*x46+{b47}* (x04*ln(x07+
{rho}*x08))+{b48}*x48+{b49}*x49+{b56}*x56+{b57}* (x07*ln(x07+{rho}*x08))+{b59}*x59+{b67}* (x06*ln(x
07+{rho}*x08))+{b69}*x69+{b79}*x79), ifgnls
* Estimation of non-linear multivariate equation system by watersheds:
sort weg
by weg: nlstur (s2=({b2=0.1}+{b12}*x01+{b22}*x02+{b23}*x03+{b24}*x04+{b25}*x05+{b26}*x06+{b27}>*ln(x07+{rho}
)*x08)+{b29}*x09)/({b1=0.1}+{b2}+{b3=0.1}+{b4=0.1}+{b5=0.1}+{b6}>=0.1)+{b7=0.1
)+{b9=0.1}+{b11}* (x01)+{b12}* (x01+x02)+{b13}* (x01+x03)+{b14}* (x01+x04)+
>{b15}* (x01+x05)+{b16}* (x01+x06)+{b17}* (x01+ln(x07+{rho}*x08))+{b19}* (x01+x09)+{b22}* (x02)+
{b23}* (x02+x03)+{b24}* (x02+x04)+{b25}* (x02+x05)+{b26}* (x02+x06)+{b27}* (x02+ln(x07+{rho}*x08
))+{b29}* (x02+x09)+{b33}* (x03)+{b34}* (x03+x04)+{b35}* (x03+x05)+{b36}* (x03+x06)+{b37}* (x03+l
n(x07+{rho}*x08))+{b39}* (x03+x09)+{b44}* (x04)+{b45}* (x04+x05)+{b46}* (x04+x06)+{b47}* (x04+ln
(x07+{rho}*x08))+{b49}* (x04+x09)+{b55}* (x05)+{b56}* (x05+x06)+{b57}* (x05+ln(x07+{rho}*x08))+
{b59}* (x05+x09)+{b66}* (x06)+{b67}* (x06+ln(x07+{rho}*x08))+{b69}* (x06+x09)+{b77}* (ln(x07+{rh
o}*x08)*ln(x07+{rho}*x08)/2)+{b79}* (ln(x07+{rho}*x08)+x09)) (y={b0}+{b1}*x01+{b2}*x02+{b3}
*x03+{b4}*x04+{b5}*x05+{b6}*x06+{b7}>*ln(x07+{rho}*x08))+{b9}*x09+{b11}*x11+{b22}*x22+{b33}*x
33+{b44}*x44+{b55}*x55+{b66}*x66+{b77}* (ln(x07+{rho}*x08)*ln(x07+{rho}*x08)/2)+{b99}*x99+{b
12}*x12+{b13}*x13+{b14}*x14+{b15}*x15+{b16}*x16+{b17}* (x01*ln(x07+{rho}*x08))+{b19}*x19+{b2
3}*x23+{b24}*x24+{b25}*x25+{b26}*x26+{b27}* (x02*ln(x07+{rho}*x08))+{b29}*x29+{b34}*x34+{b35
}*x35+{b36}*x36+{b37}* (x03*ln(x07+{rho}*x08))+{b39}*x39+{b45}*x45+{b46}*x46+{b47}* (x04*ln(x
07+{rho}*x08))+{b48}*x48+{b49}*x49+{b56}*x56+{b57}* (x07*ln(x07+{rho}*x08))+{b59}*x59+{b67}

```



```

*(x06*ln(x07+(rho)*x08))+{b69}*x69+{b79}*x79), ifgnls
* Estimation of non-linear multivariate equation system by industrial sectors:
sort wsz
by wsz: nlsur (s2=({b2=0.1}+{b12}*x01+{b22}*x02+{b23}*x03+{b24}*x04+{b25}*x05+{b26}*x06+{b27}>*ln(x07+(rho)*x08)+{b29}*x09) / ({b1=0.1}+{b2}+{b3=0.1}+{b4=0.1}+{b5=0.1}+{b6}>=0.1}+{b7=0.1}+{b9=0.1}+{b11}* (x01)+{b12}* (x01+x02)+{b13}* (x01+x03)+{b14}* (x01+x04)+{b15}* (x01+x05)+{b16}* (x01+x06)+{b17}* (x01+ln(x07+(rho)*x08)))+{b19}* (x01+x09)+{b22}>*(x02)+{b23}* (x02+x03)+{b24}* (x02+x04)+{b25}* (x02+x05)+{b26}* (x02+x06)+{b27}* (x02+ln(>x07+(rho)*x08)))+{b29}* (x02+x09)+{b33}* (x03)+{b34}* (x03+x04)+{b35}* (x03+x05)+{b36}* (x03+x06)+{b37}* (x03+ln(x07+(rho)*x08))+{b39}* (x03+x09)+{b44}* (x04)+{b45}* (x04+x05)+{b46}* (x04+x06)+{b47}* (x04+ln(x07+(rho)*x08))+{b49}* (x04+x09)+{b55}* (x05)+{b56}* (x05+x06)+{b57}* (x05+ln(x07+(rho)*x08))+{b59}* (x05+x09)+{b66}* (x06)+{b67}* (x06+ln(x07+(rho)*x08))+{b69}* (x06+x09)+{b77}* (ln(x07+(rho)*x08)*ln(x07+(rho)*x08)/2)+{b79}* (ln(x07+(rho)*x08)+x09)) (y={b0}+{b1}*x01+{b2}*x02+{b3}*x03+{b4}*x04+{b5}*x05+{b6}*x06+{b7}>*ln(x07+(rho)*x08))+{b9}*x09+{b11}*x11+{b22}*x22+{b33}*x33+{b44}*x44+{b55}*x55+{b66}>*x66+{b77}* (ln(x07+(rho)*x08)*ln(x07+(rho)*x08)/2)+{b99}*x99+{b12}*x12+{b13}*x13+{b14}>*x14+{b15}*x15+{b16}*x16+{b17}* (x01*ln(x07+(rho)*x08))+{b19}*x19+{b23}*x23+{b24}*x24+{b25}*x25+{b26}*x26+{b27}* (x02*ln(x07+(rho)*x08))+{b29}*x29+{b34}*x34+{b35}*x35+{b36}>*x36+{b37}* (x03*ln(x07+(rho)*x08))+{b39}*x39+{b45}*x45+{b46}*x46+{b47}* (x04*ln(x07+(rho)*x08))+{b48}*x48+{b49}*x49+{b56}*x56+{b57}* (x07*ln(x07+(rho)*x08))+{b59}*x59+{b67}* (x06*ln(x07+(rho)*x08))+{b69}*x69+{b79}*x79), ifgnls
* Estimation of non-linear multivariate equ. system by comb. sector and watershed:
sort wgwz
by wgwz: nlsur (s2=({b2=0.1}+{b12}*x01+{b22}*x02+{b23}*x03+{b24}*x04+{b25}*x05+{b26}*x06+{b27}>*ln(x07+(rho)*x08)+{b29}*x09) / ({b1=0.1}+{b2}+{b3=0.1}+{b4=0.1}+{b5=0.1}+{b6}>=0.1}+{b7=0.1}+{b9=0.1}+{b11}* (x01)+{b12}* (x01+x02)+{b13}* (x01+x03)+{b14}* (x01+x04)+{b15}* (x01+x05)+{b16}* (x01+x06)+{b17}* (x01+ln(x07+(rho)*x08)))+{b19}* (x01+x09)+{b22}>*(x02)+{b23}* (x02+x03)+{b24}* (x02+x04)+{b25}* (x02+x05)+{b26}* (x02+x06)+{b27}* (x02+ln(>x07+(rho)*x08)))+{b29}* (x02+x09)+{b33}* (x03)+{b34}* (x03+x04)+{b35}* (x03+x05)+{b36}* (x03+x06)+{b37}* (x03+ln(x07+(rho)*x08))+{b39}* (x03+x09)+{b44}* (x04)+{b45}* (x04+x05)+{b46}* (x04+x06)+{b47}* (x04+ln(x07+(rho)*x08))+{b49}* (x04+x09)+{b55}* (x05)+{b56}* (x05+x06)+{b57}* (x05+ln(x07+(rho)*x08))+{b59}* (x05+x09)+{b66}* (x06)+{b67}* (x06+ln(x07+(rho)*x08))+{b69}* (x06+x09)+{b77}* (ln(x07+(rho)*x08)*ln(x07+(rho)*x08)/2)+{b79}* (ln(x07+(rho)*x08)+x09)) (y={b0}+{b1}*x01+{b2}*x02+{b3}*x03+{b4}*x04+{b5}*x05+{b6}*x06+{b7}>*ln(x07+(rho)*x08))+{b9}*x09+{b11}*x11+{b22}*x22+{b33}*x33+{b44}*x44+{b55}*x55+{b66}>*x66+{b77}* (ln(x07+(rho)*x08)*ln(x07+(rho)*x08)/2)+{b99}*x99+{b12}*x12+{b13}*x13+{b14}>*x14+{b15}*x15+{b16}*x16+{b17}* (x01*ln(x07+(rho)*x08))+{b19}*x19+{b23}*x23+{b24}*x24+{b25}*x25+{b26}*x26+{b27}* (x02*ln(x07+(rho)*x08))+{b29}*x29+{b34}*x34+{b35}*x35+{b36}>*x36+{b37}* (x03*ln(x07+(rho)*x08))+{b39}*x39+{b45}*x45+{b46}*x46+{b47}* (x04*ln(x07+(rho)*x08))+{b48}*x48+{b49}*x49+{b56}*x56+{b57}* (x07*ln(x07+(rho)*x08))+{b59}*x59+{b67}* (x06*ln(x07+(rho)*x08))+{b69}*x69+{b79}*x79), ifgnls
exit

```

3. Die Fragebogenaktion als Teil eines dreistufigen Informationsgewinnungsprozesses

ifo Institut

für Wirtschaftsforschung

Forschungsbereich Umwelt, Regionen und Verkehr
 Poschingerstraße 5 81679 München
 E-mail: egerer@ifo.de Internet: http://www.ifo.de
 Telefon: (089) 9224-0 bei Rückfragen: Fr. Gnegel App. 1244
 Telefax: (089) 9224-2346 Hr. Egerer App. 1346

ifo Institut für Wirtschaftsforschung
 Umwelt, Regionen und Verkehr
 Herrn Matthias Egerer
 Poschingerstraße 5
 81679 München

GLOWA-DANUBE

Verarbeitendes Gewerbe

Ihre Angaben werden **streng vertraulich** behandelt.
 Der gesetzliche Datenschutz ist voll gewährleistet

Fragebogen-Nr.: 2005031036

Freiwillige Angaben:

Name des Betriebs: _____

Ansprechpartner: _____

Telefon: _____

E-mail: _____

<p>Allgemeine Angaben</p> <p>1) Die Produktionsstandorte unseres Unternehmens in Süddeutschland befinden sich in (bitte die 3 wichtigsten)</p> <p><u>89584 Ehingen</u></p> <p>PLZ Ort</p> <p>PLZ Ort</p> <p>PLZ Ort</p> <p>2) Wir fördern selbst</p> <p>ja <input checked="" type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/></p> <p>↳ Wenn ja:</p> <p>3) Wir fördern</p> <p>Grundwasser <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Oberflächenwasser (z. B. Fluss, See) <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>4) Wieviel m³ Wasser fördern Sie insgesamt durchschnittlich pro Jahr?</p> <p>ca. <u>10 Mio</u></p> <p>5) Wir fördern Wasser zur</p> <p>einmaligen Nutzung <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>mehrfachen Nutzung <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Kreislaufnutzung <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>↳ Bei Mehrfach- oder Kreislaufnutzung:</p> <p>6) Wieviel m³ Wasser nutzen Sie insgesamt durchschnittlich pro Jahr?</p> <p>ca. <u>55 Mio</u></p> <p>7) Wir verwenden das geförderte Wasser in erster Linie...</p> <p>zur Kühlung <input type="checkbox"/></p> <p>als Betriebsmittel <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>zur Reinigung/Spülung <input type="checkbox"/></p> <p>Sonstiges _____</p> <p>Relevanz von Wassermangel</p> <p>8) Können Sie sich vorstellen, dass innerhalb der nächsten Jahre Wasser nicht mehr in der erforderlichen Qualität oder Quantität für Ihre Produktion vorhanden ist?</p> <p>ja <input type="checkbox"/> nein <input checked="" type="checkbox"/></p>	<p>9) Welcher Faktor wäre Ihrer Meinung nach für diese Situation ausschlaggebend?</p> <p>geringe Wassermenge <input type="checkbox"/></p> <p>erhöhte Wassertemperatur <input type="checkbox"/></p> <p>mangelnde Wasserqualität <input type="checkbox"/></p> <p>Sonstiges _____</p> <p>I Wassermenge</p> <p>10) Wird die Produktion Ihres Betriebs beeinträchtigt, wenn zu wenig Wasser vorhanden ist?</p> <p>ja <input checked="" type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/></p> <p>↳ Wenn ja:</p> <p>11) Wassermangel wirkt sich, außerhalb der üblichen Schwankungen, auf die Produktion Ihres Betriebs ab einem Zeitraum von...aus.</p> <p>bis zu einer Woche <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>bis zu sechs Wochen <input type="checkbox"/></p> <p>über 6 Wochen <input type="checkbox"/></p> <p>12) Wird die Produktion Ihres Betriebs beeinträchtigt, wenn zu viel Wasser vorhanden ist?</p> <p>ja <input type="checkbox"/> nein <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>↳ Wenn ja:</p> <p>13) Eine zu hohe Wassermenge wirkt sich, außerhalb der üblichen Schwankungen, auf die Produktion Ihres Betriebs ab einem Zeitraum von...aus.</p> <p>bis zu einer Woche <input type="checkbox"/></p> <p>bis zu sechs Wochen <input type="checkbox"/></p> <p>über sechs Wochen <input type="checkbox"/></p> <p>II Wassertemperatur</p> <p>14) Wird die Produktion Ihres Betriebs beeinträchtigt, wenn die Wassertemperatur zu hoch ist?</p> <p>ja <input type="checkbox"/> nein <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>↳ Wenn ja:</p> <p>15) Die Produktion wird beeinträchtigt ab einer Temperatur des geförderten Wassers von ____ Grad.</p>	<p>III Wasserqualität</p> <p>16) In welcher Form könnte die Qualität des Wassers die Produktion Ihres Betriebs beeinträchtigen?</p> <p>Wasserqualität spielt keine Rolle <input type="checkbox"/></p> <p>Bei einer Verschmutzung durch...</p> <p>- Schwebstoffe <input type="checkbox"/></p> <p>- Schadstoffe <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>- Algen <input type="checkbox"/></p> <p>- Sonstiges _____</p> <p>Folgen von Wassermangel</p> <p>17) In welchem Umfang musste Ihr Betrieb während der Trockenperiode im Sommer 2003 die Produktion zurückfahren?</p> <p>um ____ Prozent</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> keine Auswirkungen auf die Produktion</p> <p>18) Eine klimatische Veränderung hätte Auswirkungen auf Ihre Kosten/Technologien:</p> <p><input type="checkbox"/> wenn eine Trockenperiode wie im Sommer 2003 alle ____ Jahre zu erwarten wäre</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> keine Auswirkungen</p> <p>19) Eine klimatische Veränderung hätte Auswirkungen auf Ihre Standortwahl:</p> <p><input type="checkbox"/> wenn eine Trockenperiode wie im Sommer 2003 alle ____ Jahre zu erwarten wäre</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> keine Auswirkungen</p> <p>20) Wenn Sie aufgrund klimatischer Veränderungen in Technologien investieren würden, welche wären das?</p> <p>Mehrfache Nutzung des Wassers <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Kreislaufnutzung <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Sonstiges _____</p> <p>21) Wie würden Sie reagieren, wenn noch extremere klimatische Verhältnisse eintreten würden?</p> <p>Standortschließung <input type="checkbox"/></p> <p>Standortverlegung <input type="checkbox"/></p> <p>Sonstiges _____</p> <p>Keine Auswirkung <input checked="" type="checkbox"/></p>
--	---	--

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

GESAMTSEITEN 01

Abb. I: Ein beispielhaft ausgefüllter Fragebogen (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

4. Ausgewählte Ergebnisse der Unternehmensbefragung

Eigenförderung

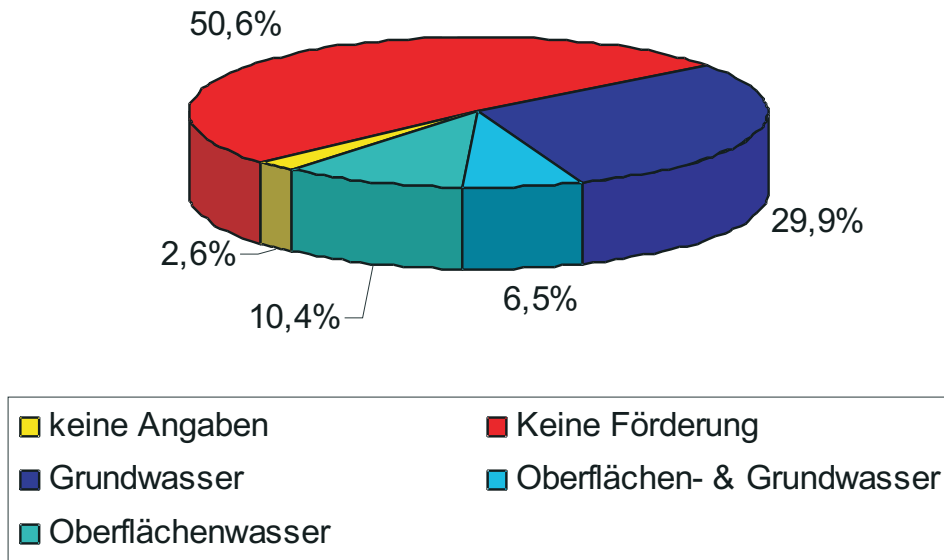


Abb. II: Herkunft des geförderten Wassers (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Nutzungsart nach Branchen

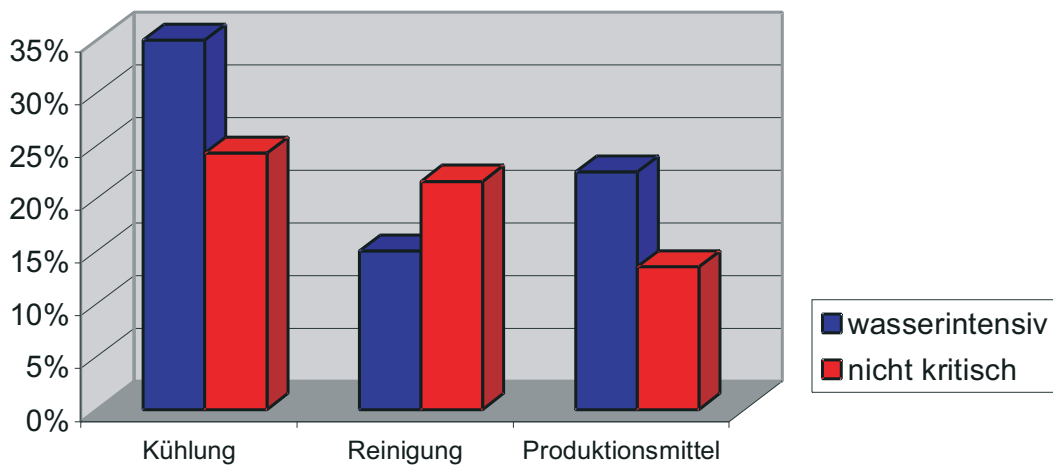


Abb. III: Nutzungsart des Wassers, differenziert nach wasserintensiven und nicht wasserintensiven Branchen (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

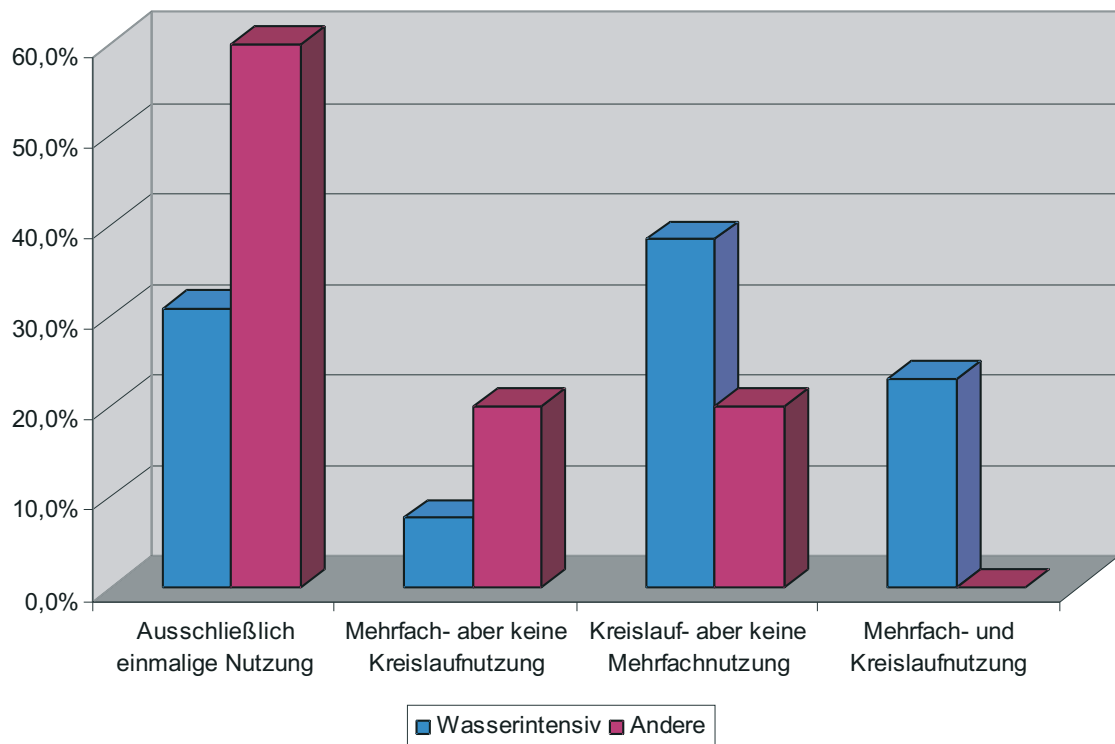


Abb. IV: Technologische Maßnahmen zur Reduktion des Frischwasserbedarfs nach wasserintensiven und nicht wasserintensiven Branchen (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Produktionsrückgang 2003

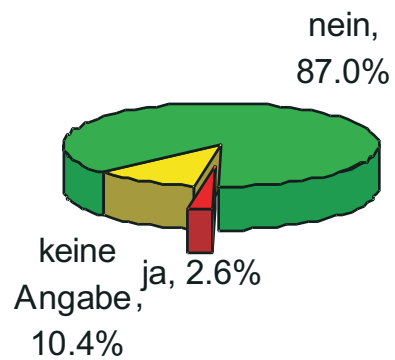


Abb. V: Klimatisch bedingter Produktionsrückgang im Jahr 2003 (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Problembewusstsein / Möglichkeit eines Wassermangels

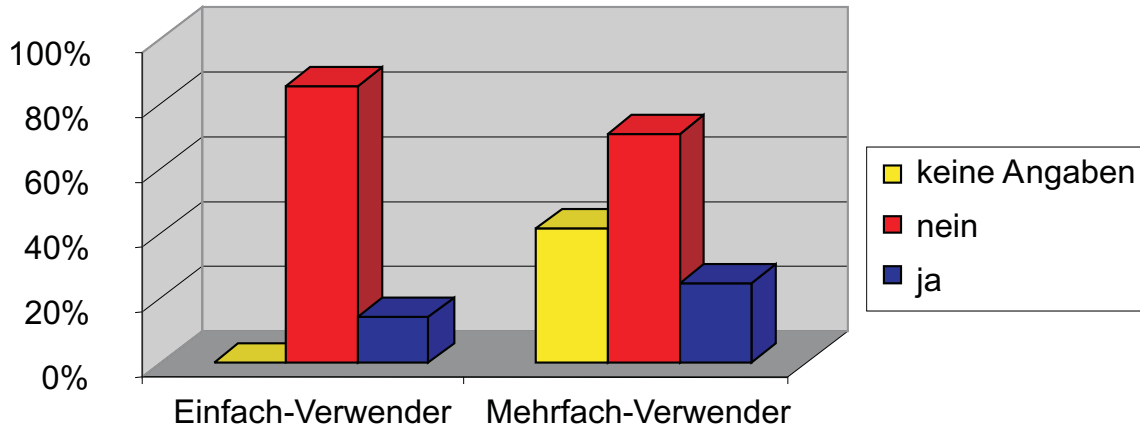


Abb. VI: Relevanz von Wassermangel (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Erwartete wasserspezifische Problemfelder

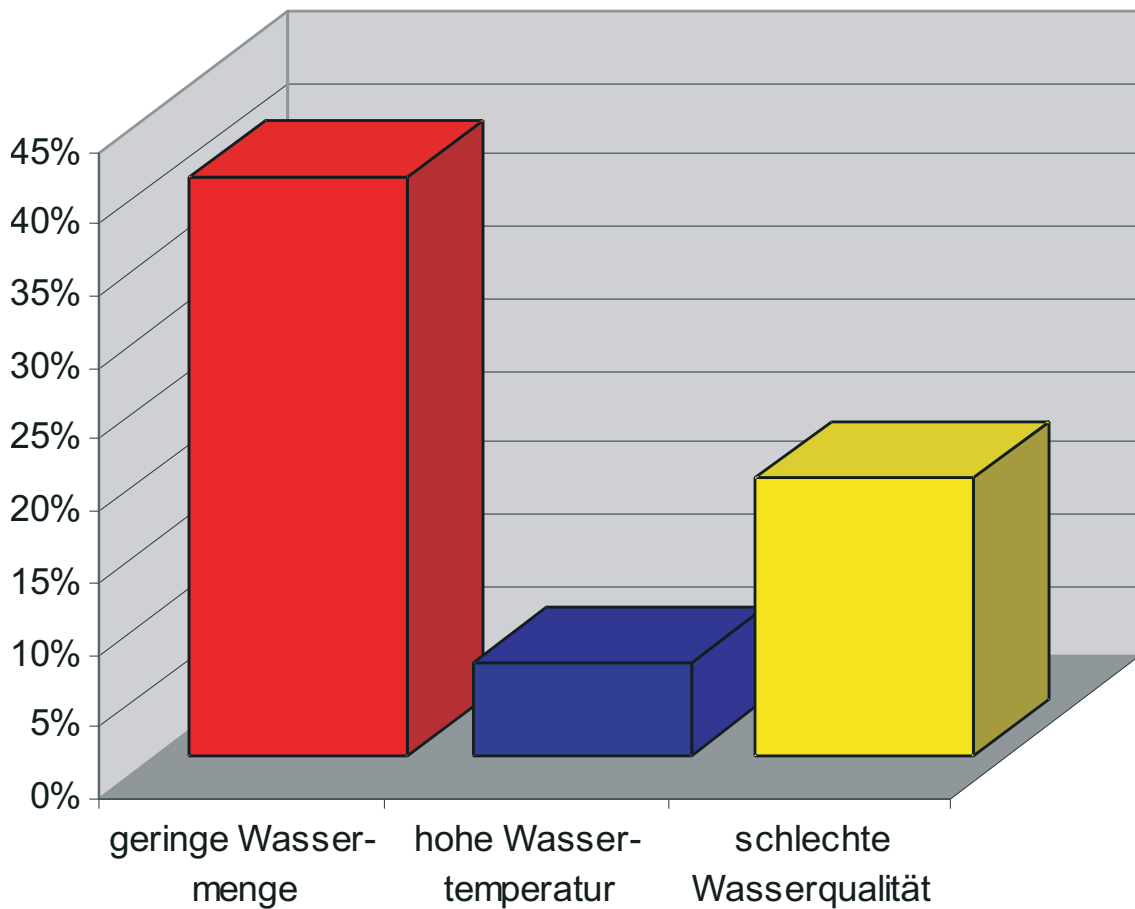


Abb. VII: Erwartete wasserspezifische Problemfelder (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Auswirkungen einer Veränderung des Klimas auf die Standortwahl

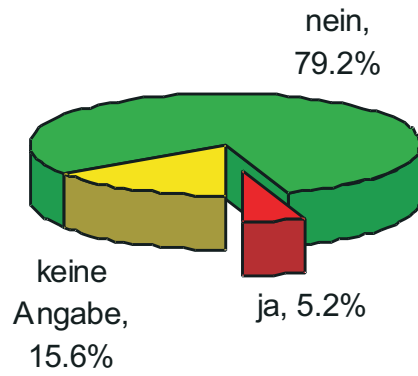


Abb. VIII: Betriebe, deren Standortwahl durch eine kontinuierliche, negative Änderung der klimatischen Bedingungen beeinflusst wäre (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

5. Bevölkerungsvorausberechnung der amtlichen Statistik in Österreich

Die aktuellste österreichische Bevölkerungsprognose, „Zukünftige Bevölkerungsentwicklung Österreichs 2005-2050 (2075)“, stammt von 2005 (STATISTIK AUSTRIA 2005b). Die Studie trifft ihre Prognose anhand derselben Parameter wie die deutsche. Die folgende Tabelle fasst die Daten der Ausgangsbasis, sowie die niedrigsten, mittleren und höchsten Annahmen zusammen. Die Studie prognostiziert mehrere Szenarien. Das Hauptszenario¹⁴⁾, das Wachstumsszenario¹⁵⁾, sowie das Alterungsszenario¹⁶⁾ werden in der folgenden Grafik dargestellt.

	Ausgangsbasis (2004)	Niedrigste Annahme (2050)	Mittlere Annahme (2050)	Höchste Annahme (2050)
Fertilität	1,4	1,4; 1,1 ab 2030	1,4; 1,5 ab 2030	1,4; 1,9 ab 2030
Lebenserwartung	76,4 Jahre Männer/ 82,1 Jahre Frauen	80,3 / 86 Jahre*	84,3 / 89 Jahre*	88,3 / 92 Jahre*
Wanderung	+50.582 Personen / Jahr	+5000-10.000 Per- sonen/ Jahr	+ 30.000, ab 2020 +20.000 Personen / Jahr	+30.000 Personen / Jahr
Bevölkerungsstand	8.174.733	7.576.597	8.986.033	10.974.237

* Lebenserwartung für Neugeborene (Männer / Frauen) im Jahr 2050



Abb: IX: Ergebnisse der österreichischen Bevölkerungsvorausberechnung von 2005 (Quelle: Darstellung des ifo Instituts nach Statistik Austria (2005b))

¹⁴⁾ Mittlere Gesamtfertilität Fertilität, Lebenserwartung und Wanderung.

¹⁵⁾ Hohe Gesamtfertilität Fertilität, Lebenserwartung und Wanderung.

¹⁶⁾ Niedrige Gesamtfertilität Fertilität, hohe Lebenserwartung, niedrige Wanderung.

1.3 Finanzielles

Um bei der Entwicklung von Szenarien im Rahmen von GLOWA-Danube zusätzliches Wissen zu schaffen, wurde im Rahmen der Diplomarbeit von Frau Verena Isenberg (vgl. Kapitel 1.1 eine explorative Befragung durchgeführt. Durch diese Arbeit ist es möglich, das Verhalten von Touristen in Bezug auf den Klimawandel besser einzuschätzen, wodurch ein wichtiger Beitrag für die Formulierung von Szenarien geleistet wird. Um diese Befragung zu finanzieren, wurden 470 aus Position 0843 Sonstige Allgemeine Verwaltungsaufgaben umgewidmet.

1.4 Teilnahme an 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.

- 22.-24.09.2007 **GLOWA-Workshop in Herrsching in Herrsching:** Der GLOWA-Workshop in Herrsching wurde von Prof. Dr. Jürgen Schmude, Dr. Alexander Dingeldey und Dr. Mario Sax besucht. Die Forschungsgruppe Tourismus beteiligte sich daran, die Anwesenden über den Stand der Dinge im Projekt zu informieren. Darüber hinaus wurden neben der planmäßigen Diskussion zur Gestaltung der Szenarien sowie des Stakeholderdialogs mit Mitgliedern anderer Forschungsgruppen auch Absprachen zur Verbesserung der bisherigen Modellansätze getroffen (vgl. auch Kap. 2.2.1). Hinsichtlich einer Aktualisierung des GLOWA- Danube Atlas verpflichtete sich die Forschungsgruppe Tourismus zur Überarbeitung der bisherigen Beiträge.
- 19.10.2007 **Projektleitungstreffen in München:** Beim Projektleitungstreffen war von der Forschungsgruppe Tourismus Dr. Mario Sax anwesend. Gegenstand dieses Treffens war unter anderem die Diskussion darüber, welche Szenarien in der aktuellen Projektphase berechnet werden sollen, bzw. wie sich die Berechnung von Szenarien realisieren lässt.
- 19.11.2007 **Telefonkonferenz zum Stakeholderdialog:** Für die Abstimmung beim Vorgehen des Stakeholderdialogs wurde eine Telefonkonferenz einberufen, an der sich von der Forschungsgruppe Tourismus Prof. Dr. Jürgen Schmude und Dr. Mario Sax beteiligten. Dieser Termin diente der Abstimmung der weiteren Durchführung des Stakeholderdialogs.
- 14.12.2007 **Workshop zu Klimamodellen am Max-Planck-Institut in Hamburg:** An dem Workshop zu Klimamodellen am Max-Planck-Institut in Hamburg, ausgerichtet von der Forschungsgruppe Regionale Klimamodellierung, beteiligten sich von der Forschungsgruppe Tourismus Dr. Alexander Dingeldey und Dr. Mario Sax. Die Mitglieder dieser Arbeitsgruppe informierten sich über den Stand der Möglichkeiten der regionalen Klimamodellierung sowie möglicher Vorgehensweisen bei der Berechnung von Szenarien mit DANUBIA.
- Sonstige Treffen Darüber hinaus fanden mit den Mitgliedern der Forschungsgruppe Tourismus sowie der Forschungsgruppe Umweltökonomie ein informelles Treffen in Regensburg statt. Die Zielsetzung dieses Treffens bestand in der Kopplung der DANUBIA-Modelle ECONOMY, DEMOGRAPHY und TOURISM. Dadurch konnten gekoppelte Testläufe zur Bereinigung von Fehlern und Überprüfung der Modellfunktionalität vorgenommen werden.

2. Arbeitsschritte im Berichtszeitraum

Seit dem Beginn der Phase III des Forschungsprojekts GLOWA-Danube wurde eine Vielzahl von Arbeitsschritten durchgeführt. Diese umfassen

- die Aktualisierung der Beiträge zum GLOWA-Danube Atlas,
- die kontinuierliche Modellerweiterung und Verfeinerung,
- die Entwicklung von Szenarien,
- die Mitwirkung an der Vorbereitung des Stakeholderdialogs.

Auf diese Punkte wird in diesem Kapitel jeweils kurz eingegangen.

2.1 Aktualisierung des GLOWA-Danube Atlas

Die Forschungsgruppe Tourismus beteiligt sich an einer Erweiterung des GLOWA-Danube-Atlas. Dabei wurden die beiden bestehenden Artikel der Forschungsgruppe Tourismus aktualisiert und erweitert, so dass nunmehr die Fähigkeiten des in der zweiten Projektphase entwickelten Modellansatzes dargestellt sind.

2.2 Kontinuierliche Modellerweiterung und Verfeinerung

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 ausgebaut. Dies betrifft sowohl die inhaltliche als auch die technische Seite. Bei der kontinuierlichen Modellerweiterung und Verfeinerung werden folgende Punkte bearbeitet:

- Ausarbeitung eines Konzepts zur Verfeinerung der Beschneifungsfunktionalität in Zusammenarbeit mit der Forschungsgruppe Glaziologie
- Einführung einer Schmelzfunktion für Kunstschnee im Modell TOURISM
- Entwicklung und Implementierung eines Konzepts zur Integration des Ausbaus der künstlichen Beschneifung in das Modell TOURISM
- Verbesserung der Berechnung Übernachtungsnachfrage
- Integration von tourismusklimatischen Indizes zur Beurteilung der Auswirkungen des Klimawandels auf das touristische Aktivitätsspektrum
- Update auf das neue *Framework* DANUBIA 2.0
- Ausbau der Auswertungsroutinen

Im Folgenden wird auf die einzelnen Aspekte näher eingegangen.

2.2.1 Ausarbeitung eines Konzepts zur Verfeinerung der Beschneifungsfunktionalität in Zusammenarbeit mit der Forschungsgruppe Glaziologie

Das zum Ende der Förderphase II vorliegende Modellkonzept wies hinsichtlich der Konzeption der Modellierung der Skigebiete mit Beschneifung noch zwei Schwachstellen auf. Einerseits konnte der Kunstschnee bei einem Wärmeeinbruch nicht abtauen. Ausgehend von den Ereignissen im Winter 2006/07 ist ein derartiger Vorgang entweder mit einer verschlechterten Pistenqualität oder mit wirtschaftlichen Einbußen auf Seiten der Betreiber der Skigebiete zu rechnen. Andererseits konnten durch die Nutzung des Proxelrasters mit einer Kantenlänge von einem Kilometer die Höhenunterschiede innerhalb eines Skigebiets nicht berücksichtigt werden. Aufgrund der Ergebnisse der Arbeiten der Forschungsgruppe

Glaziologie kann nun eine bessere Darstellung der künstlichen Beschneigung ermöglicht werden. Dazu wurde mit der Forschungsgruppe Glaziologie ein Konzept entwickelt, das im Projektverlauf in das Entscheidungsunterstützungssystem DANUBIA integriert wird.

Grundsätzlich basiert die Idee auf der Tatsache, dass die Gruppe Glaziologie bei der Modellierung von Schnee die größte Expertise besitzt und die Schneebedeckung und die Schmelzprozesse in Bezug auf die räumliche Auflösung der Proxel *subskalig* modellieren kann. Darüber hinaus rechnet das Modell SNOW im Stundentakt, so dass eine feinere Abbildung der Beschneigungsbedingungen gegeben ist im Gegensatz zum Modell TOURISM, welches die simulierten Umweltbedingungen in DANUBIA im Tagestakt verarbeitet. Um die Funktionalität des Modell der Forschungsgruppe Glaziologie zu nutzen und eine feinere Abbildung der Verteilung eines Skigebiets auf unterschiedliche Höhenstufen zu ermöglichen, wurden diejenigen Proxel, auf denen Skigebiete angesiedelt sind, in Teilräume unterteilt, die jeweils einen Höhenunterschied von 20 Metern aufweisen (vgl. Abb. 1).

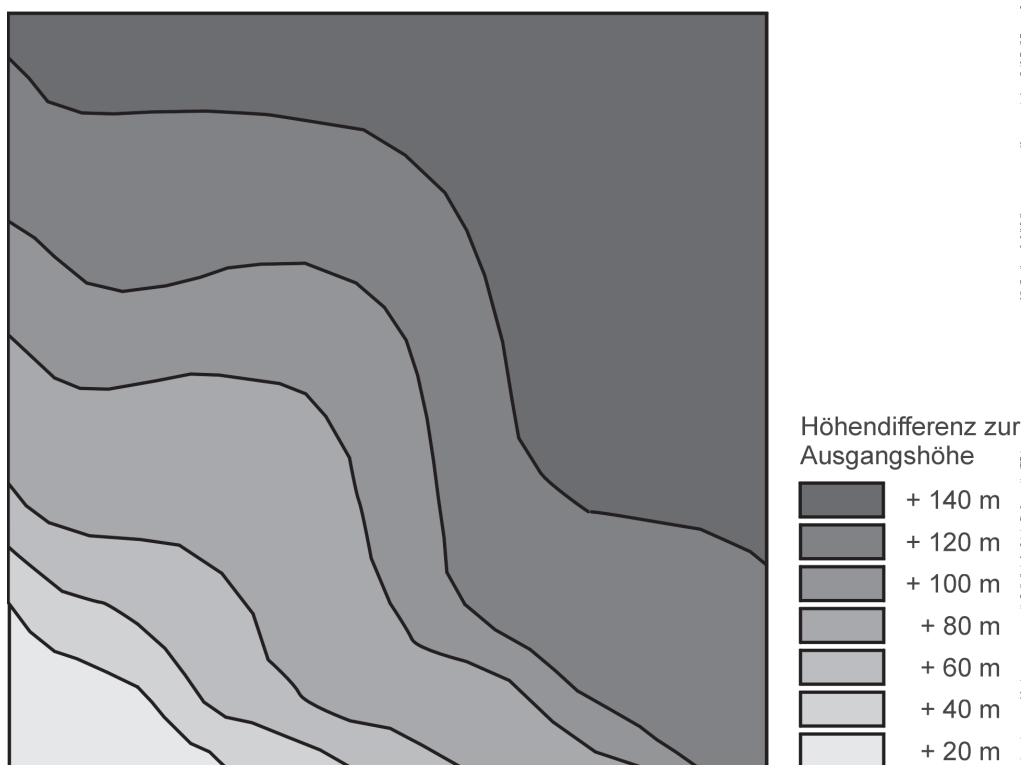


Abb. 1: Schematische Höhenaufteilung eines Skigebietsproxels (Quelle: Eigene Darstellung)

Aufgrund der feineren Darstellung der Geländeoberfläche nähert man sich im Vergleich zur mittleren Höhe eines Proxels noch genauer an die reale Höhenverteilung und damit auch an die Temperaturbedingungen für die künstliche Beschneigung in einem Skigebiet an.

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 wird das Modell SNOW eine Mitteilung erhalten, dass die Schneekanonen in Betrieb gehen können (vgl. Abb. 2). Basierend auf dem von der Forschungsgruppe Tourismus ermittelten Zusammenhang zwischen der Feuchttemperatur und der erzeugbaren Schneemenge (vgl. SAX, in Druck) kann bei geeigneten Schneebedingungen detailliert die auszubringende Kunstschneemenge berechnet werden, 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 (vgl. Abb. 2). Mit diesen Informationen auf Seiten des Modells TOURISM der Wasserbedarf berechnet und aus der Umwelt entnommen werden.

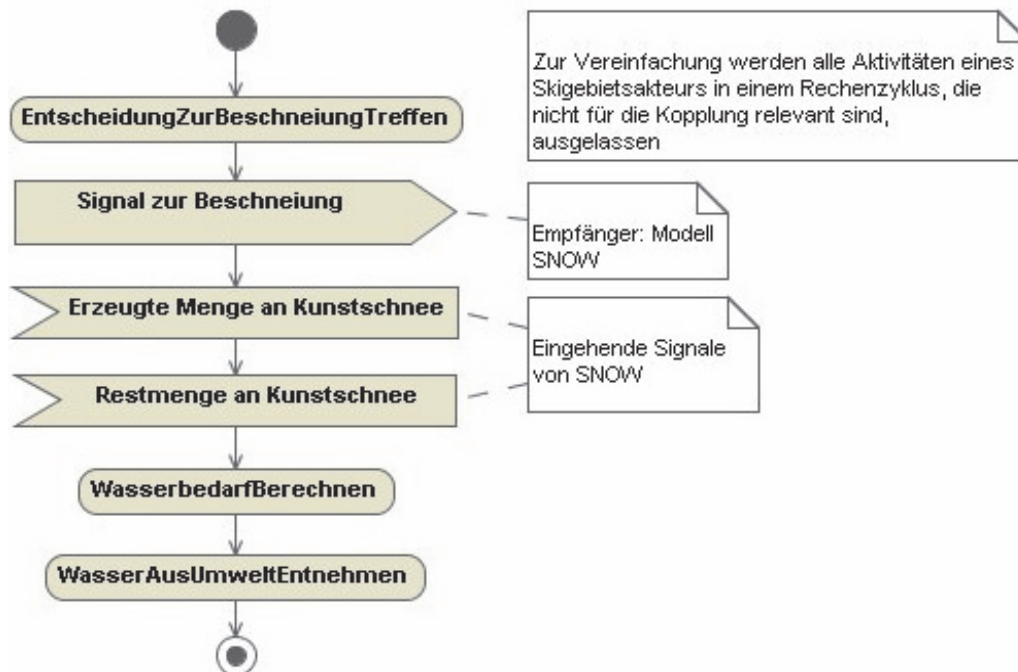


Abb. 2: Schematische Darstellung der Kopplung der Modelle SNOW und TOURISM (Quelle: Eigene Darstellung)

Durch dieses Konzept ist eine im Vergleich zur aktuellen Modellkonzeption realistischere Darstellung der künstlichen Beschneieung in DANUBIA möglich und die Güte der Ergebnisse von Szenarioberechnungen kann verbessert werden.

2.2.2 Einführung einer Schmelzfunktion für Kunstschnee im Modell TOURISM

Bis zu einer endgültigen Einführung der oben angesprochenen Kopplung zwischen dem DANUBIA-Modell SNOW sowie TOURISM wurde bei der Forschungsgruppe Tourismus die Funktionalität der Skigebietsakteure dahingehend erweitert, dass der Kunstschnee auch ohne Kopplung mit dem Modell der Forschungsgruppe Glaziologie abtauen kann. 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. Bis zur endgültigen Realisierung der Kopplung mit dem Modell der Forschungsgruppe Glaziologie wird der Schmelzprozess des Kunstschnees näherungsweise mit diesem Verfahren dargestellt.

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. EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR SCHNEE- UND LAWINENFORSCHUNG 2002, S. 3). Die Parametrisierung erfolgte für die Skigebietsakteure auf gleicher Höhenlage im Untersuchungsgebiet, so dass 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, so dass eine realistischere Abbildung der Wintersportinfrastruktur des Untersuchungsgebiets gewährleistet ist. Sobald die in Kapitel 2.2.1 dargestellte Kopplung des Tourismusmodells mit dem Modell SNOW der Gruppe Glaziologie fertig gestellt ist, wird der in diesem Abschnitt beschriebene Ansatz abgelöst und durch das in Kapitel 2.2.1 beschriebene Vorgehen ersetzt.

2.2.3 Entwicklung und Implementierung eines Konzepts zur Integration des Ausbaus der künstlichen Beschneigung in das Modell TOURISM

In der Phase II des Projekts GLOWA-Danube wurde, basierend auf den Primärerhebungen in der ersten sowie zu Beginn der zweiten Projektphase, mit den Skigebietsakteuren der Betrieb von Skigebiet und die künstliche Beschneigung im Modell abgebildet. Bei der in der zweiten Förderphase erarbeiteten Modellkonzeption ist die Fähigkeit, künstliche Beschneigung durchzuführen fest vorgegeben. In der Realität ist jedoch ein kontinuierlicher Ausbau der Beschneigungskapazität zu beobachten. Auch ist für die Zukunft zu erwarten, dass sich dieser Trend fortsetzt (vgl. SAX, in Druck). Daher wurde eine Methode entwickelt, womit der Ausbau der künstlichen Beschneigung während der Laufzeit einer Simulation im Modell abgebildet werden kann.

Ausgangspunkt der Überlegungen war, dass der Einsatz von künstlicher Beschneigung einerseits an ausreichende Finanzmittel für die notwendigen technischen Investitionen geknüpft ist, andererseits die lokalklimatischen Bedingungen einen sinnvollen Einsatz der künstlichen Beschneigung zulassen müssen (vgl. http://www.skigebiet-schanze.de/informationen/inf_kunstschnee/inf_kunstschnee_03.htm; KRÖLL 2000, S. 33). Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich durch die mit dem Klimawandel einhergehende Erwärmung die Bedingungen für die künstliche Beschneigung tendenziell verschlechtern.

Um diese Aspekte im Modell zu berücksichtigen, wurden die Skigebietsakteure derart erweitert, dass Skigebietsakteure ohne die Fähigkeit der künstlichen Beschneigung das Beschneien während eines Zeitraums von zehn Jahren nur „simulieren“. Dies stellt eine Übertragung der in der Realität stattfindenden Analysen des Lokalklimas vor der Einrichtung von Anlagen zur künstlichen Beschneigung dar (vgl. KRÖLL 2000, S. 33). Sofern der Testbetrieb die erforderlichen Kriterien erfüllt, kann die künstliche Beschneigung bei einem Skigebietsakteur eingerichtet werden. Die Kriterien orientieren sich daran, ob sich in einem Skigebiet einerseits die sinnvolle mittlere Anzahl von Beschneigungstagen realisieren bzw. eine ausreichende Schneedecke (Schneemenge) ausbringen und erhalten lässt. Der Zeitraum von 10 Jahren zur Beobachtung der klimatischen Verhältnisse wurde deshalb gewählt, um nicht aufgrund jährlicher Schwankungen zu falschen Entscheidungen zu gelangen.

Würde man dieses Konzept direkt umsetzen, hätte dies in einem Simulationslauf zur Folge, dass nach Ablauf der Beobachtungsphase von 10 Jahren im elften Simulationsjahr alle Skigebietsakteure, die für eine Beschneigung geeignet sind, diese zeitgleich einführen würden. Als Konsequenz daraus käme es zu einem sprunghaften Anstieg des Wasserbedarfs für die künstliche Beschneigung. Dies erscheint jedoch nicht realitätsnah. Außerdem könnten wegen der Kopplung mit anderen DANUBIA-Modellen unter Umständen Artefakte bei der Berechnung der Wasserverfügbarkeit auftreten und aufgrund der Modellkopplungen die Ergebnisse der Berechnungen auch anderer DANUBIA-Modelle verfälschen.

Um zu vermeiden, dass alle Skigebietsakteure, bei denen der Ausbau der künstlichen Beschneigung möglich ist, diese Option zum selben Zeitpunkt auswählen, wurde die Modellannahme getroffen, dass von allen Kandidaten nur 20 Prozent in einem Jahr die künstliche Beschneigung einführen. Innerhalb eines Zeitraums von fünf Jahren kann dadurch die Beschneigungsfunktion flächendeckend eingeführt. Die Auswahl, welche Skigebietsgebiete zu den 20 Prozent ausbauwilliger und ausbaufähiger Skigebietsgebiete gehören, wird durch den Zufallszahlengenerator bestimmt. Die Verwendung eines Zufallszahlengenerators führt dazu, dass

keine räumlichen oder inhaltlichen Ballungen (z.B. Skigebiete einer gewissen Größenklasse) bei der Erweiterung der Funktionalität auftreten.

In der Realität ist nicht davon auszugehen, dass die Prozesse einer Erweiterung eines Skigebiets zufallsgesteuert laufen. Jedoch ist zu erwarten, dass der Prozess der Erweiterung nicht flächendeckend zum selben Zeitpunkt stattfindet. Aufgrund fehlenden Detailwissens über die jeweiligen konkreten Schritte auf dem Weg zur Einführung von Beschneiungsanlagen (Planung Finanzierung, Genehmigungsverfahren), die in der Realität zu unterschiedlichen Zeitpunkten bei der Realisierung derartiger Vorhaben führen würden, wird die Modellierung mittels Zufallszahlen im Rahmen von Szenarioberechnungen als sinnvolle Möglichkeit angesehen.

Das vorgestellte Konzept wurde als zusätzliche Handlungsoption der Skigebietsakteure in das bestehende Modell integriert sowie in JAVA implementiert und steht für Szenarioberechnungen zur Verfügung. Ob Skigebiete ohne künstliche Beschneigung diese technische Maßnahme einführen oder nicht, kann für jedes Szenario mittels einer Stellschraube festgelegt werden.

2.2.4 Verbesserung der Berechnung der Übernachtungsnachfrage

Für das Übernachtungsmodell wurde die auf der amtlichen Statistik beruhende Datenbasis aktualisiert, um die Entwicklung der touristischen Übernachtungen im Untersuchungsgebiet noch detaillierter darstellen zu können. Aufgrund des seit Beginn des Projekts GLOWA-Danube vergangenen Zeitraums (sechs Jahre) ist es notwendig, möglichst aktuelle Übernachtungsdaten bei der Ermittlung der Basisgleichungen zu verwenden, um bei Beginn des Simulationszeitraums eine möglichst genaue Darstellung des touristischen Entwicklungspfades des Untersuchungsraums zu erhalten. Durch die Aktualisierung stehen jetzt für den Zeitraum von 1983 bis 2004 getrennt nach Sommer- und Wintersaison Daten für etwa 80% der Gemeinden im Untersuchungsgebiet zur Verfügung. Für den Rest stehen aufgrund von Datenschutzbestimmungen wie bisher für die Beobachtung der touristischen Entwicklung nur jährliche Daten zur Verfügung. Aufgrund der geringen touristischen Bedeutung dieser Gemeinden stellt dies aber kein Problem für die Modellierung der touristischen Übernachtungsnachfrage sowie dem damit verbundenen Wasserbedarf im Beherbergungswesen dar.

Verknüpft mit der Aktualisierung der Datenbasis ist die Verbesserung der Modellierung der Übernachtungsnachfrage. Wie von SCHUCKERT et al. (2007, S. 131f) dargestellt, ergibt sich in Tirol bei einer langfristigen Analyse der Übernachtungsdaten (1960 bis 2005) auf Gemeindeebene die Situation, dass Gemeinden die in der Wintersaison erfolgreich sein können dies nicht unbedingt auch für die Sommersaison zutrifft. Diese Entwicklungen, vor allem im Hinblick auf die in Zukunft veränderte klimatische Situation, die einen Einfluss auf die naturräumliche Eignung für den Tourismus ausübt, sind bei der Modellierung der Übernachtungsdaten zu berücksichtigen. Daher wird das bisherige von DINGELDEY (2008) entwickelte Modellkonzept zur Modellierung der Übernachtungsnachfrage soweit möglich auf die Abbildung von zwei Saisonen (Sommer und Winter) umgestellt. Dadurch stehen für die Abbildung der Übernachtungsnachfrage pro Gemeinde zwei Teilmodelle zur Verfügung anstatt wie bisher nur eines. Durch dieses Vorgehen kann eine detaillierte Darstellung der Übernachtungszahlen im Modell TOURISM erreicht werden. Dieser Ansatz befindet sich derzeit in der Entwicklungsphase und wird im Laufe des Jahres implementiert.

2.2.5 Integration von tourismusklimatischen Indizes zur Beurteilung der Auswirkungen des Klimawandels auf das touristische Aktivitätsspektrum

Die bisherige Modellkonzeption der Forschungsgruppe Tourismus konzentrierte sich bisher auf die Modellierung der touristischen Infrastruktur sowie der Quantifizierung des touristischen Wasserbedarfs und der touristischen Nachfrage. Trotz der einsatzfähigen Modelle tritt bei der Berechnung von Szenarien das Problem zu Tage, dass mit zunehmender Entfernung

vom Startpunkt der Berechnungen die Unsicherheiten bezüglich der zukünftigen Entwicklung größer werden, da z.B. neue Trends in der Zukunft mangels Wissen über die Zukunft nicht prozesshaft im DANUBIA-Modell Tourism berechnet werden können.

Um diese Wissenslücke zu schließen wurde die Berechnung von tourismusklimatischen Indizes in das Tourismusmodell integriert. Dabei wird das Wettergeschehen hinsichtlich der Eignung für touristische Aktivitäten (z.B. Wandern) durch die Dimensionen Temperatur (Sommertag) und Niederschlag (Regentag) untersucht und bewertet. Für unterschiedliche touristische Aktivitäten (z.B. Skifahren, Wandern etc.) wird die Anzahl der Tage pro Jahr ermittelt, an denen jeweils günstige Bedingungen vorherrschen. Auf diese Weise lässt sich die zukünftige Eignung des Untersuchungsraums für bestimmte touristische Aktivitäten ermitteln. Die Ausprägung der Indizes im Rahmen von Szenarioberechnungen kann die Grundlage für Entscheidungen zu einer langfristigen Umgestaltung des touristischen Angebots, z.B. in Richtung Stärkung des Sommertourismus in Gebieten die von der Klimaerwärmung profitieren, darstellen.

2.2.6 Update auf das neue *Framework* DANUBIA 2.0

Im Hinblick auf die technische Weiterentwicklung von DANUBIA beteiligte sich die Forschungsgruppe Tourismus an der Anpassung an das neue *Framework* in der Version 2.0. Dazu sind umfangreiche Umstrukturierungen und Modelltests notwendig, die derzeit noch andauern.

2.2.7 Ausbau der Auswertungsroutinen

Begleitend zum Ausbau des Modells Tourism wurden Auswerterroutinen entwickelt, die es erlauben, die Ergebnisdaten nach Abschluss eines Simulationslaufs mit SPSS auszuwerten. Damit kann das Verhalten der touristischen Akteure sowohl in räumlicher als auch in zeitlicher Perspektive nach Simulationsläufen ausgewertet werden.

2.3 Entwicklung von Szenarien

Für die Arbeit dieser Projektphase ist es unerlässlich, mit gut durchdachten und ausformulierten Szenarien die Berechnungen mit DANUBIA zu starten. Die Entwicklung von Szenarien ist dabei ein mehrstufiger Prozess, der sowohl sektorale als auch integrale Aspekte berücksichtigen muss. Dabei ist es von großer Bedeutung, dass sich sektorale Fragestellungen die mit einem DANUBIA-Teilmodell bearbeitet werden können, inhaltlich konsistent in ein Gesamtszenario einfügen. Daher wurde von der Forschungsgruppe Tourismus zunächst ein Konzept entwickelt, mit dem konsistente sektorale Bündel von Szenarioparametern ermittelt werden können (vgl. Kap. 2.3.1). In einem weiteren Schritt wurden im Rahmen der Szenariogestaltung des Gesamtprojekts ermittelt, welche Szenariobedürfnisse in Bezug auf die klimatische Entwicklung aus Sicht der Tourismusforschung bestehen (vgl. Kap. 2.3.2). Zunächst wird auf die Bündelung von sektoralen Szenarioparametern für das Modell TOURISM eingegangen.

2.3.1 Entwicklung eines Konzepts zur Bündelung von sektoralen Szenarioparameter für das Modell TOURISM

Das von der Forschungsgruppe Tourismus entwickelte Model ist in der Lage, an Szenarioberechnungen teilzunehmen. Dabei sind zwei Stufen der Szenariofähigkeit zu erwähnen, die passive und die aktive Szenariofähigkeit (vgl. SAX, in Druck). Die passive Szenariofähigkeit besteht darin, dass im Rahmen eines mit DANUBIA berechneten Szenarios die vom DANUBIA-Modell Tourism bezogenen Werte einen Einfluss auf das simulierte Tourismussystem ausüben. Im Tourismusmodell werden an den Modellparametern keine Veränderungen vorgenommen. Damit lässt sich der Einfluss des Klimawandels auf das Tourismussystem im Einzugsgebiet der oberen Donau untersuchen.

Bei der aktiven Szenariofähigkeit hingegen werden im Modell Tourism ebenfalls Szenarioeinstellungen vorgenommen. Dies geschieht aus der sektoralen, fachwissenschaftlichen Perspektive. Dazu wurden am Modell Tourism bestimmte Stellschrauben definiert, an denen Szenarioeinstellungen vorgenommen werden können. Dadurch ist es möglich, auch Fragestellungen aus dem Stakeholderdialog zu integrieren.

Eine interne Analyse des Tourismussystems hat gezeigt, dass nicht unbedingt katastrophale Ereignisse im Rahmen des Klimawandels notwendig sind, um einen nennenswerten Einfluss auf das Tourismussystem auszuüben. Bereits relativ moderate Veränderungen zur aktuellen klimatischen Situation, könnten dazu führen, dass die touristische Infrastruktur und dementsprechend auch die touristische Nachfrage negativ beeinflusst werden könnten.

Um nun sinnvolle Szenariofragestellungen zu berechnen wurde zunächst in der einschlägigen Literatur analysiert, welche Aspekte für eine Berechnung relevant sind, bzw. mit welchen Rahmenbedingungen der Tourismus voraussichtlich in Zukunft konfrontiert ist (vgl. Abb. 3, schwarze Felder). Dabei stellen die Themenkomplexe ‚Wirtschaft/Globalisierung‘, ‚Technischer Fortschritt‘, ‚Umweltbewusstsein‘ und die ‚Demographische Entwicklung‘ aus sektoraler Sicht die Haupteinflussfaktoren auf das Tourismussystem dar. Diese üben beispielsweise einen Einfluss auf den Szenarioparameter ‚Ausbau der Beschneigungskapazitäten‘ aus (vgl. Abb. 3). Anschließend wurde ermittelt welche Szenarien aus Sicht des Tourismus denkbar und sinnvoll sind. Darüber hinaus wurde analysiert, in welcher Weise sich die Szenarioparameter gegenseitig beeinflussen (vgl. Abb. 3).

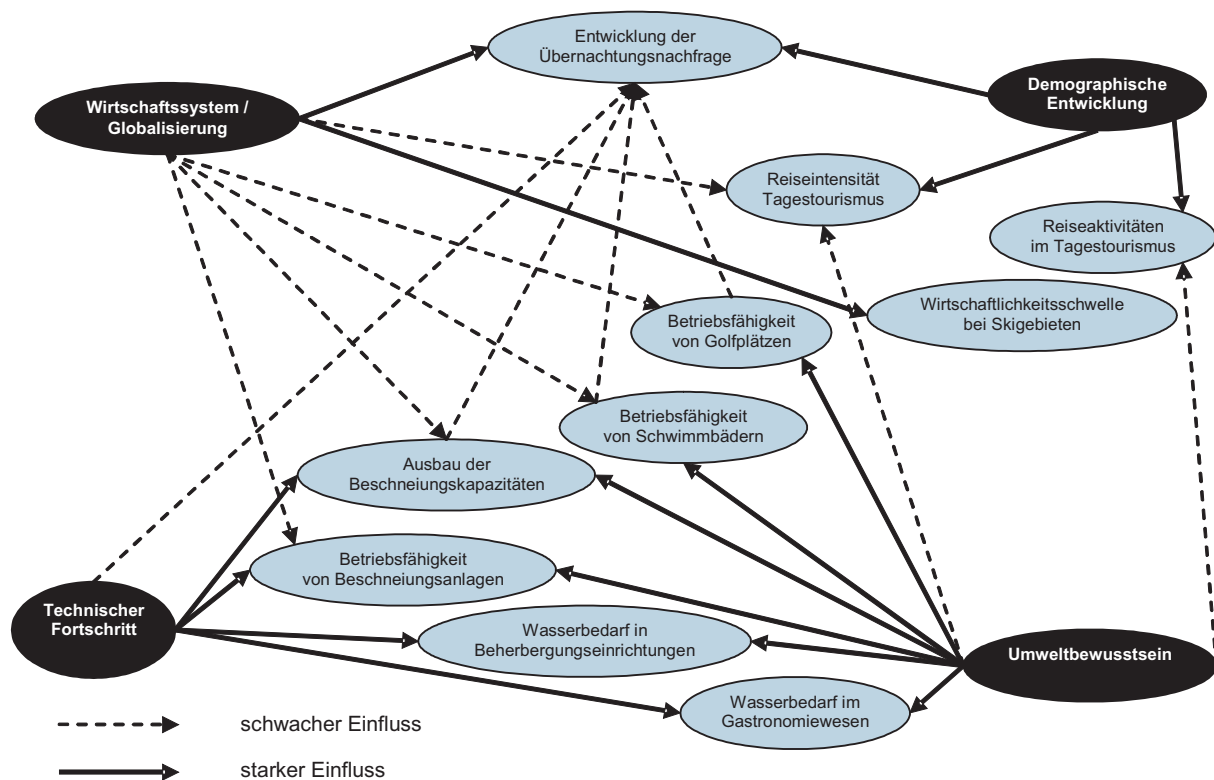


Abb. 3: Beziehungen zwischen Szenarioparametern (Quelle: Eigene Darstellung)

Aufbauend auf diesem Arbeitsschritt erfolgte eine Analyse, welche dieser Szenarioparameter miteinander konsistent sind, da aus forschungsökonomischen Gründen nur eine relativ geringe Anzahl an Szenarien berechnet werden kann. Aufgrund der Vielzahl der Trends ist eine intuitive Bündelung der touristischen Trends nicht mehr möglich. Zunächst wird daher eine Konsistenzmatrix erstellt, bei der die Vereinbarkeit der einzelnen Szenarioparameter (vgl. Abb. 3) bewertet wird. Um konsistente Bündel an Szenarioparametern zu entwickeln, wird auf Basis der Konsistenzmatrix die Korrelationskoeffizient nach Pearson für jede

denkbare Kombination berechnet. Für die Bündelung dieser Matrix in konsistente und anwendbare Szenarios wird die Hauptkomponentenanalyse verwendet. Bei den für die Forschungsgruppe Tourismus relevanten sektoralen Fragestellungen lassen sich mit diesem Vorgehen vier Szenariobündel ermitteln, die mit folgenden Schlagworten belegt wurden:

- Touristische Investitionsspirale,
- Moderat ökologische Zukunft,
- Streng ökologische Zukunft,
- Moderate, stagnative wirtschaftliche Entwicklung.

Mit dem vorgestellten Arbeitsschritt besitzt die Forschungsgruppe Tourismus ein Instrument, um, eingebettet in die gesamte Szenarienentwicklung in DANUBIA, aus sektoraler Sicht konsistente Szenarien zu entwickeln.

2.3.2 Beteiligung an der Formulierung von Szenarien

Neben der Beschäftigung mit dem sektoralen Aspekt der Szenarioentwicklung beteiligt sich die Forschungsgruppe Tourismus auch an der integrativen, teilprojektübergreifenden Gestaltung von Szenarien für die Berechnungen mit DANUBIA. In diesem Zusammenhang wurde von der Forschungsgruppe Tourismus ein kurzes Paper verfasst, welche Szenariobedürfnisse aus Sicht der Tourismusforschung bestehen. Aufgrund der Umweltsensibilität des Tourismussystems konnte folgende Witterungsverhältnisse identifiziert werden, bei denen ein merklicher Einfluss auf das Tourismussystem (Beeinflussung der Funktionsfähigkeit der touristischen Infrastruktur, der touristischen Nachfrage sowie des Wasserbedarfs des Tourismussystems) zu erwarten und deren Analyse aus sektoraler Sicht besonders interessant ist:

- Warmer Sommer,
- Kühler Sommer,
- Warmer Frühling
- Kühler Frühling,
- Warmer Winter,
- Kalter Winter.

2.4 Mitwirkung an der Vorbereitung des Stakeholderdialogs

Die Forschungsgruppe Tourismus beteiligt sich in der aktuellen Projektphase am Stakeholderdialog, der von der Gruppe Stakeholder federführend durchgeführt wird. Dies betrifft die Vorbereitungen der Ansprache der Stakeholder, die Präsentation des eigenen Projekts auf Modelldatenblättern sowie die Abstimmung von zu interviewenden Stakeholdern bzw. die Festlegung von Terminen.

3. Zukünftige Arbeitsschritte

Für die Zukunft werden bei der Forschungsgruppe Tourismus folgende Arbeitsschritte auszuführen:

Abschluss der *Framework*umstellung auf DANUBIA 2.0,

- Fertigstellung der Verfeinerung des Übernachtungsmodells,

- Aktive Beteiligung am *Stakeholderdialog*,
- Erstellung und Berechnung von Szenarien,
- 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 gewahrt bleiben. Die in diesem Bericht beschriebenen Tätigkeiten stellen die Basis für einen weiteren erfolgreichen Projektverlauf dar.

Literatu

DINGELDEY, A. (in Druck): Modellierung der touristischen Attraktivität zur Bestimmung der Übernachtungsnachfrage im Einzugsbereich der Oberen Donau unter Berücksichtigung von Umwelteinflüssen. Dissertation an der Universität Regensburg.

EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR SCHNEE- UND LAWINENFORSCHUNG (SLF) (2002): Kunstschnee und Schneezusätze: Eigenschaften und Wirkungen auf Vegetation und Boden in alpinen Skigebieten. Zusammenfassung eines Forschungsprojektes am Eidgenössischen Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos.

http://www.skigebiet-schanze.de/informationen/inf_kunstschnee/inf_kunstschnee_03.htm
(Stand: 25.03.2008).

KRÖLL, A. (2000): Künstliches oder besser technisches Beschneien Möglichkeiten und Grenzen. In: Bayerisches Landesamt für Umwelt (2000): Technische Beschneigung und Umwelt, S. 29-38.

SAX, M. (in Druck): Entwicklung eines Konzepts zur computergestützten Modellierung der touristischen Wassernutzung im Einzugsgebiet der oberen Donau unter Berücksichtigung des Klimawandels. Dissertation an der Universität Regensburg.

SCHUCKERT, M., MÖLLER, C. und WEIERMEIER, K. (2007): Alpine destination life cycles: Challenges and implications. In: CONRADY, R. und BUCK, M. (2007): Trends and Issues in Global Tourism 2007, S. 121-138.

WEBER, M. (2004): Mikrometeorologische Prozesse bei der Ablation eines Alpengletschers. Dissertation an der Universität Innsbruck.

