



GLOWA – Danube

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

Zwischenbericht 2009

über den Fortgang des Projektes GLOWA - Danube

Berichtszeitraum: 01.05.2009 – 30.04.2010

Zusammengestellt durch:

Prof. Dr. Wolfram Mauser

Dr. Sara Stöber

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

Inhaltsverzeichnis

I. Zusammenfassung und Überblick über den Fortgang des Projektes	I
II. Berichte der Teilprojekte	
Prof. Dr. Hennicker, LMU München, Lehr- und Forschungseinheit für Programmierung und Softwaretechnik DANUBIA: Ein Web-basiertes Modellierungs- und Entscheidungs-Unterstützungssystem zur integrativen „Global-Change“-Forschung im Bereich der oberen Donau	1
Prof. Dr. Mauser, LMU München, Lehrstuhl für Geographie und Geographische Fernerkundung Modellierung von Wasser- und Stickstoffflüssen an der Landoberfläche mit Fernerkundung	13
Dr. Barthel, Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Hydraulik und Grundwasser Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung, Wasserversorgung, Human Capacity Building	31
LBD Hans Weber, Bayerisches Landesamt für Umwelt Ref. 81 Klimawandel, Klimafolgen und Wasserhaushalt Praxisrelevante Analyse der Modellierungen mit DANUBIA für die Wasserwirtschaft	49
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. Daniela Jacob, Max-Planck-Institut für Meteorologie Regionale Klimamodellierung Entwicklung und Bereitstellung von REMO-Szenarien zum Klimawandel des Wasserkreislaufs im Einzugsgebiet der Oberen Donau	81
PD Dr. Zängl, LMU München, Lehrstuhl für Theoretische Meteorologie Mesoskalige Modellierung der Atmosphäre	93
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	101

Prof. Dr. Dabbert, Universität Hohenheim, Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre (410A) Sozioökonomische Analyse und Modellierung von Wassernutzung und Land- nutzung durch Landwirtschaft	119
Prof. Dr. Ernst, Universität Kassel, Wissenschaftliches Zentrum für Umweltsystemforschung Modellierung typischer Wassernutzer im Einzugsgebiet der Donau	137
Dr. Johann Wackerbauer, ifo Institut für Wirtschaftsforschung, München, Global Change Szenarien und deren Wirkung auf die Ökonomie und Demo- graphie des oberen Donau Einzugsgebiet	151
Prof. Dr. Schmude, Universität Regensburg, Lehrstuhl für Wirtschaftsgeographie Wechselbeziehungen zwischen dem Tourismus und der Ressource Wasser im Untersuchungsraum von GLOWA Danube	169

Zusammenfassung und Überblick über den Fortgang des Koordinationsprojektes

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

1. Überblick

Folgende Bereiche wurden vom Koordinationsprojekt während der Berichtsphase (01.05.2009-30.04.2010) schwerpunktmäßig bearbeitet:

Verwaltungstechnische Abwicklung des Projektes sowie Repräsentation

- Vorbereitung der Nationalen GLOWA-Konferenz (Oktober 2009 in Potsdam) sowie der Regionalkonferenz von GLOWA-Danube (April 2010 in München)
- Koordination des Szenario-Gestaltungsprozesses und der Szenarienläufe
- Vorbereitung der 3., 4. und 5. Auslieferung der Druckversion des Global Change Atlases und Aktualisierung der Online-Version
- Fortführung und Intensivierung des *Stakeholder*-Dialogs
- Weiterentwicklung von Analysetools zur Auswertung der DANUBIA-Läufe
- Vorbereitung der Überführung von DANUBIA in ein *Open Source*-Projekt
- Pflege und Update des Linux-Rechnerclusters
- Pflege des Geographischen Informationssystems und gemeinsamen Datenverbunds, Fortführung und Aufbereitung der meteorologischen Zeitreihen

2. Personelles

1. Die wissenschaftliche, technische und organisatorische Koordination während des Berichtszeitraumes wurde von Frau Dr. Sara Stöber durchgeführt.
2. Die Koordination wurde in allen sekretariatsrelevanten Belangen von Frau Andrea Ebner unterstützt.
3. Die Pflege des GLOWA-Danube GIS- und Datenbanksystems wurde von Frau Ruth Weidinger (ab 01.09.2009) und Frau Andrea Reiter bearbeitet.
4. Von Herrn Daniel Waldmann (siehe Projekt „Hydrologie und Fernerkundung“) wurden Analysetools zur Datenauswertung weiter entwickelt.
5. Die Betreuung des gemeinsamen GCDSS DANUBIA Systems sowie des Linux-Clusters oblag Herrn Dr. Christoph Heinzeller.

6. Die Aufbereitung von Daten sowie die Redaktion des Global Change Atlas für die Obere Donau haben Frau Ruth Weidinger (ab 01.09.2009) und Frau Andrea Reiter durchgeführt. Darüber hinaus unterstützte die Kartographin Frau Vera Falck die Redaktion hinsichtlich der Print-Version des Atlas. Die Online-Version wurde von Herrn Christian Michelbach weiterentwickelt und aktualisiert.
7. Die *Stakeholder*-Aktivitäten wurden von der Firma IFOK (Institut für Organisationskommunikation, Bensheim) unter der Leitung von Frau Dr. Hannah Büttner durchgeführt.

3. Meetings im Berichtszeitraum

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

- 16.-17.06.2009 Organisationstreffen zur Nationalen GLOWA-Konferenz, München
- 24.07.2009 Projektleitertreffen, München
- 11.09.2009 GLOWA-Danube *Stakeholder* Konferenz, Wien (Österreich)
- 17.-18.09.2009 Abstimmungstreffen mit GLOWA-Elbe, München
- 24.09.2009 Optionsworkshop "Wasserwirtschaft und Energie", München
- 12.-14.10.2009 Nationale GLOWA-Konferenz, Potsdam
- 18.-23.10.2009 Collaboration Workshop GLWOA-OURANOS, Montreal, Quebec (Kanada)
- 08.-09.11.2009 Brahmawinn International Symposium, Kathmandu (Nepal)
- 09.11.2009 Optionsworkshop "Wasserwirtschaft, Wasserversorgung und Tourismus", München
- 13.11.2009 Optionsworkshop "Wasserwirtschaft, Land- und Forstwirtschaft", München
- 03.-04.12.2009 4. KLIWA-Symposium, Mainz
- 17.-19.02.2010 GCI-Workshop, Bonn
- 18.02.2010 Workshop „Klimafolgenforschung im Nationalpark Berchtesgaden“, Berchtesgaden
- 08.03.2010 Projektleitertreffen, München
- 09.03.2010 Projektleitungstreffen, München
- 26.04.2010 Regionalkonferenz GLOWA-Danube, München

4. GLOWA-Danube Partnerprojekte

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

- Nach dem erfolgreichen Abschluss der Pilotstudie 'GLOWA-Ouranos - Integrative Einzugsgebietsmodellierung im Kontext des Klimawandels: Vergleich von Problemstellungen, Forschungsansätzen und Lösungstechniken aus Québec und Bayern' zum 31.03.08,

erarbeiteten die beteiligten Partner den Antrag zu einer Projektfortführung. Das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit, vertreten durch das Bayerische Landesamt für Umwelt, hat diesem Antrag im März 2009 zugestimmt und unterstützt das neue Projekt ‚Anpassung des regionalen Flussgebietsmanagements an den Klimawandel (KLIFLUM; das gemeinsame englische Projektakronym lautet Q-BIC³)‘ seit Mai 2009. Die Laufzeit des Projektes, an dessen Forschungs- und Entwicklungsarbeit von bayerischer Seite das Department für Geographie (LMU München), das Landesamt für Umwelt (LfU) sowie die Wasserwirtschaftsämter Weilheim und Ansbach beteiligt sind, ist zunächst bis 30.11.2011 angesetzt. Auf Seiten Québecs arbeiten das Consortium Ouranos, das Centre d’Expertise Hydrique du Québec (CEHQ) und Hydro-Quebec (HQ) zusammen. Hier steht die enge internationale Verzahnung von Wasserwirtschaft und angewandter Wissenschaft im Vordergrund, so dass neben neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen auch ein sehr konkreter Mehrwert für deren praktische Umsetzung auf Verwaltungsebene erwirtschaftet werden soll. Als Untersuchungsgebiete wasserwirtschaftlicher Fragestellungen wurden aus dem Donaunraum die Obere Isar sowie die Altmühl/Donau-Regnitz-Überleitung ausgewählt. Dieses neue Projekt profitiert damit in besonderem Maße von einem Wissenstransfer aus den Erkenntnissen von GLOWA-Danube. Neben regelmäßigen wissenschaftlichen Projekttreffen wird in KLIFLUM auch ein umfangreicher Ideen- und Methodenaustausch auf der Ebene der Wasserwirtschaftsbehörden stattfinden. Bislang haben zwei gemeinsame Projekttreffen stattgefunden: Einem Vorbereitungstreffen im April 2009 in München, an dem sieben Wissenschaftler aus Quebec beteiligt waren, folgte im Oktober 2009 das gemeinsame Kick-off-Meeting in Montreal und Quebec. Hier nahmen von Seiten des Departments für Geographie der LMU München die Professoren Ludwig (Projektleiter) und Mauser, sowie der Postdoktorand Dr. Markus Muerth und der Projektmitarbeiter Josef Schmid teil.

- 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 von Prof. Dr. W.-A. Flügel (Jena) koordiniert wird und nach einer Laufzeit von 3.5 Jahren am 31. Dezember 2009 abgeschlossen wurde. Ziel war die Übertragung von Know-how für nachhaltiges Wassermanagement von der Oberen Donau an den Oberen Brahmaputra. Die Projektarbeiten bezüglich der hydrologischen Modellierung wurden von Frau Monika Prash und Herrn Dr. Thomas Marke in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Wolfram Mauser in München 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. Die Ergebnisse der hydrologischen Modellierungen bestätigen die Übertragbarkeit des Systems auf andere Einzugsgebiete. In Zusammenarbeit mit der Kommission für Glaziologie (Dr. M. Weber) wurde das flächenverteilte Gletschermodell SURGES integriert und im Teileinzugsgebiet des Lhasa Rivers erfolgreich angewendet. Im aktuellen Berichtszeitraum wurden alle Modellierungen sowohl für die Vergangenheit als auch für die Zukunft unter verschiedenen Szenariobedingungen abgeschlossen. Schließlich fand im November 2009 in Kathmandu der abschließende Projektworkshop statt. Dazu wurde u.a. das Brahmatwinn International Symposium durchgeführt, auf dem von Frau Monika Prash sowohl DANUBIA als auch die Ergebnisse der Modellierungen rund 40 Stakeholdern überwiegend aus den Anliegerstaaten des Brahmaputra wie Indien, China, Bhutan und Nepal präsentiert wurden. DANUBIA als auch die Modelleregebnisse stießen bei den Stakeholdern auf großes Interesse.

5. Veröffentlichungen, Vorträge und Posterpräsentationen:

- BÜTTNER, H. (2010): Der *Stakeholderdialog* für GLOWA-Danube in der 3. Projektphase. In: GLOWA-DANUBE-PROJEKT (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, Kapitel E5, LMU München.
- KUHN, S., ERNST, A. und MAUSER, W. (2009): GLOWA-Danube-Szenarien. In: GLOWA-DANUBE-PROJEKT (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, Kapitel S1, LMU München.
- MAUSER, W., MARKE, T. und REITER, A. (2009): Die GLOWA-Danube Klimatrends. In: GLOWA-DANUBE-PROJEKT (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, Kapitel S2, LMU München.
- MAUSER, W. (2009): Der statistische Klimaantriebs-Generator. In: GLOWA-DANUBE-PROJEKT (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, Kapitel S 3, LMU München.
- MAUSER, W. (2009): Die GLOWA-Danube Klimavarianten aus dem statistischen Klimaantriebs-Generator. In: GLOWA-DANUBE-PROJEKT (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, Kapitel S 4, LMU München.
- MAUSER, W. (2009): GLOWA - Wasser-Perspektive für Deutschland. Nationale GLOWA-Konferenz, Potsdam (Vortrag).
- MAUSER, W. (2009): Donau-Perspektiven. Nationale GLOWA-Konferenz, Potsdam (Vortrag).
- MAUSER, W. (2009): GLOWA-Danube: Integrative Techniken, Szenarien und Strategien zum Globalen Wandel des Wasserkreislaufes am Beispiel des Einzugsgebietes der Oberen Donau. Nationale GLOWA-Konferenz, Potsdam (Vortrag).
- MAUSER, W. (2009): Der GLOWA-Danube *Stakeholder*-Prozess. Nationale GLOWA-Konferenz, Potsdam (Vortrag).
- MAUSER, W., MUERTH, M., ZABEL, F., PRASCH, M., STARGL, J. und BACH, H. (2009): Anforderungen und Ergebnisse des *Stakeholder*prozess in GLOWA-Danube. Nationale GLOWA-Konferenz, Potsdam (Vortrag).
- MAUSER, W. und ERNST, A. (2009): GLOWA-Danube - Zielsetzung und methodischer Ansatz. Nationale GLOWA-Konferenz, Potsdam (Poster).
- MAUSER, W., ERNST, A., HENNICKER, R., KUHN, S. und MUERTH, M. (2009): GLOWA-Danube Szenarien. Nationale GLOWA-Konferenz, Potsdam (Poster).
- MAUSER, W. und PRASCH, M. (2009): Globaler Wandel des Wasserkreislaufs am Beispiel der Oberen Donau, In: Arbeitskreis KLIWA (Hrsg.): 4. KLIWA-Symposium am 3. und 4.12.2009 in Mainz, KLIWA-Berichte. (mit Vortrag)
- MAUSER, W. und ERNST, A. (2010): GLOWA-Danube - Zielsetzung und methodischer Ansatz. Regionalkonferenz GLOWA-Danube, München (Poster).
- MAUSER, W., ERNST, A., HENNICKER, R., KUHN, S. und MUERTH, M. (2010): GLOWA-Danube Szenarien. Regionalkonferenz GLOWA-Danube, München (Poster).
- MAUSER, W. (2010): GLOWA-Danube -Klimawandel und Wasserperspektiven für die Obere. Regionalkonferenz GLOWA-Danube, München (Vortrag).
- MAUSER, W und STÖBER, S. (2010): Climate Change and Extreme Events: scenarios of changing flood frequencies in the Upper Danube River basin. Abstract, HydroPredict 2010, Prag, Tschechien (submitted, mit Vortrag).

- MAUSER, W und STÖBER, S. (2010): GLOWA-Danube - An Integrative Research Project on the Future of Water in the Upper Danube Basin. Parliament Magazine Regional Review 16, S. 47.
- MUERTH, M., HEINZELLER, CH., WALDMANN, D., REITER, A., ZABEL, F. und MAUSER, W. (2009): Entscheidungsunterstützung: Vom Prozess zum Ergebnis. Nationale GLOWA-Konferenz, Potsdam (Poster).
- MUERTH, M., HEINZELLER, CH., WALDMANN, D., REITER, A., ZABEL, F. und MAUSER, W. (2009): Entscheidungsunterstützung: Vom Prozess zum Ergebnis. Regionalkonferenz GLOWA-Danube, München (Poster).
- PRASCH, M., MARKE, T., WEBER, M., STRASSER, U. und MAUSER, W. (2009): Using the hydrological model DANUBIA for water availability scenarios in the Upper Brahmaputra basin. Brahmawinn International Symposium, Kathmandu, Nepal (Vortrag).
- PRASCH, M., WEBER, M. und MAUSER, W. (2010): GLOWA-Danube und die Supertestsite Nationalpark Berchtesgaden, Abstract zum Workshop „Klimafolgenforschung im Nationalpark Berchtesgaden“ (mit Vortrag).
- REITER, A., WEIDINGER, R., STÖBER, S. und MAUSER, W. (2010): Global Change Atlas Einzugsgebiet Obere Donau. Regionalkonferenz GLOWA-Danube, München (Poster).
- STÖBER, S. und MAUSER, W. (2010): GLOWA-Danube: Integrative Techniques, Scenarios and Strategies for the Future of Water in the Upper Danube Basin. Vortrag zum GCI-Workshop, Bonn, 17.-19.02.2010.
- STÖBER, S. (2010): The future of water – Climate change in Central Europe. Danube Watch. (submitted)
- WALDMANN, D., MUERTH, M., LUDWIG, R., SCHÄFFLER, U., HEINZELLER, CH. und MAUSER, W. (2009): Prozessierung, Analyse und Präsentation räumlich-zeitlich verteilter Datensätze des Decision Support Systems DANUBIA. FOSSGIS 2009 Anwenderkonferenz für Freie und Open Source Software für Geoinformationssysteme. Leibniz Universität Hannover 17.-19.03.2009. ISBN 978-3-00-027248-6.

6. Organisation und Durchführung von Konferenzen

6.1 Nationale GLOWA-Konferenz

Eine der wichtigsten Aufgaben innerhalb der Koordination im Berichtszeitraum war die Vorbereitung der Nationalen GLOWA-Konferenz „Globaler Wandel des Wasserkreislaufs -Perspektiven für Donau und Elbe“ von vom 12.-14. Oktober in Potsdam. Auf der Konferenz wurden die Ergebnisse der beiden deutschen GLOWA-Projekte (GLOWA-Elbe und GLOWA-Danube) vorgestellt. Die Konferenz richtete sich insbesondere an Entscheidungsträger aus Politik, Wirtschaft und Verwaltung sowie an Wissenschaftler und die interessierte Öffentlichkeit.

Nach den informellen Organisationstreffen von GLOWA-Elbe, GLOWA-Donau und DLR/BMBF zu Beginn des Jahres 2009 konnte anschließend mit der detaillierten Vorbereitung der Konferenz begonnen werden. Nach der finalen Festlegung des Konferenzprogramms sowie der einzuladenden externen Speaker, wurden im Juni die offiziellen Einladungen an potentielle Interessenten versendet. Gleichzeitig wurden auf der allgemeinen GLOWA-Homepage alle relevanten Informationen (Inhalte, Programm, Tagungsort etc.) zur Nationalen GLOWA-Konferenz sowie Möglichkeit zur Registrierung eingestellt. In den folgenden Monaten bis zur Konferenz erfolgten weitere Organisations- bzw. Abstimmungstreffen mit den an der Konferenz be-

teiligten Institutionen sowie Wissenschaftlern. Darüber hinaus informierte das Organisationsteam in regelmäßigen Abständen die registrierten Teilnehmer über den geplanten Ablauf der Konferenz sowie Aktualisierungen des Programms. Die wesentlichen Hauptaufgaben der Koordination lagen zudem darin, die Anfrage bzw. Verhandlungen mit den Moderatoren der Podiumsdiskussionen (u.a. Karsten Schwanke) durchzuführen sowie die Produktion der Konferenzmaterialien (wie Taschen, Tagungsmappen, Blöcke und Stifte) zu planen (BMB-konformes Layout etc.), Angebote einzuholen und schließlich die Produktion in Auftrag zu geben. Im Anschluss an die Konferenz wurden die Ergebnisse der Konferenz, wie Vorträge, Poster, Filmmitschnitte der Podiumsdiskussionen und Fotos, auf der Konferenzhomepage sowie einer Präsentations-DVD zur Nationalen GLOWA-Konferenz eingepflegt und an alle Konferenzteilnehmer versendet.

6.2 Regionalkonferenz GLOWA-Danube

Im Dezember 2009 wurde in sehr enger Zusammenarbeit mit der Firma IFOK (siehe Kap. 14) mit der Planung der Regionalkonferenz begonnen. Auf der Regionalkonferenz am 26. April 2010 im Deutschen Museum in München sollten zum Abschluss des GLOWA-Danube-Projektes in einer finalen Konferenz die Ergebnisse der an dem iterativen *Stakeholder*-Dialog beteiligten Entscheidungsträger aus Politik, Wirtschaft und Verwaltung präsentiert werden. Aufgabe der Koordination und der Firma IFOK war es zunächst, das Konzept und das entsprechende Programm zur Regionalkonferenz zu erstellen. In regelmäßigen Abständen erfolgten dann Organisationstreffen mit der Firma IFOK, um das weitere organisatorische Vorgehen zu spezifizieren.

Ende Januar wurden alle *Stakeholder*, die aktiv in den *Stakeholder*-Dialog von GLOWA-Danube eingebunden waren (u.a. über Rundgespräche, Workshops; siehe Kap. 14), elektronisch über die Konferenz, den Termin und das inhaltliche Konzept informiert. Gleichzeitig erfolgte die Anfrage von potentiellen Referenten sowie Podiumsdiskussionsteilnehmern. Hierbei wurden explizit ausgewählte *Stakeholder* kontaktiert, um diese aktiv in die Konferenz einzubinden (u.a. Statements zum *Stakeholder*-Dialog in GLOWA-Danube). Mitte März erfolgte die Versendung des vorläufigen Programms. Gleichzeitig bestand ab diesem Termin die Möglichkeit zur Registrierung über die GLOWA-Danube-Homepage, die zudem die wichtigsten, aktualisierten Informationen zur Regionalkonferenz enthielt. Aufgabe der Koordination war es des Weiteren die Vorlagen für Poster und die Vorträge zu erstellen und inhaltlich mit den Teilprojekten zu koordinieren sowie die Präsentation von DANUBIA und des Global Change Atlas Obere Donau (Fertigstellung der 5. Lieferung, Aktualisierung der Online-Version; siehe auch Kap. 12) auf der Regionalkonferenz vorzubereiten. Im weiteren Verlauf der Konferenzvorbereitung wurden die Diskutanten sowie Teilnehmer der Podiumsdiskussion intensiv gebrieft und die Pressearbeit vorbereitet. Im Anschluss an die Regionalkonferenz ist zudem geplant, die Ergebnisse der Konferenz für die Teilnehmer zu dokumentieren.

7. Gemeinsame Formulierung und Auswertung von komplexen Szenarien

Eine der zentralen Aufgaben 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. Die komplexe Szenarienstruktur in GLOWA-Danube wurde bereits 2008 auf projektinternen Klausurtagungen ausgearbeitet. Ein GLOWA-Danube-Szenario® beschreibt in groben Zügen einen möglichen Verlauf des Klimas und der gesellschaftlichen Entwicklung in der Zukunft. Es besteht immer aus einem möglichen Klimatrend (Temperatur- und Niederschlagsentwicklung im Zeitraum von 1990-2100), daraus ausgewählten Klimavarianten sowie einem angenommenen Trend in der Entwicklung der gesellschaftlichen Rahmenbedingungen. Die Kombination eines Klimatrends und einer Klimavariante bildet ein GLOWA-Danube-

Klimaszenario®. Als vierte, optionale Möglichkeit stehen verschiedene Handlungsoptionen bzw. Maßnahmen zur Verfügung. Prinzipiell gibt es unendlich viele GLOWA-Danube-Szenarien®. In Zusammenarbeit mit *Stakeholdern* von GLOWA-Danube aus unterschiedlichen Fachrichtungen und Interessensgruppen (Wasserwirtschaft, Landwirtschaft, Energiewirtschaft, Tourismus) wurden allgemeine sowie für bestimmte Fragestellungen besonders interessante Szenarien formuliert (siehe Abb. 1). Die Organisation und Moderation des Dialogs zwischen Wissenschaftlern und *Stakeholdern* wurde auch im aktuellen Berichtszeitraum dezentral von der Firma IFOK organisiert und durchgeführt (siehe Kap. 14).

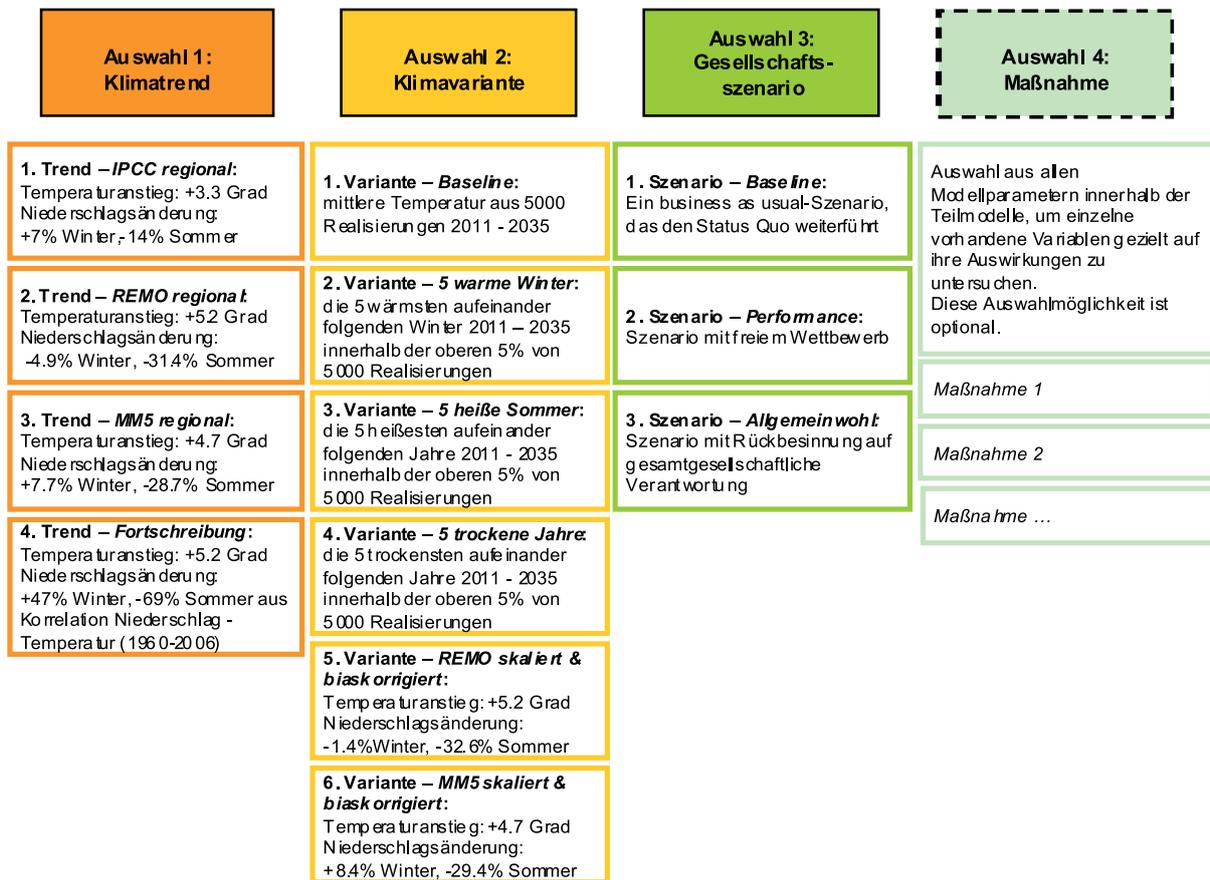


Abb. 1: Darstellung der erweiterten GLOWA-Danube-Szenarien®

Im Berichtszeitraum wurde die Szenariomatrix um zwei zusätzliche Klimavarianten erweitert. Die beiden Varianten *REMO skaliert und biaskorrigiert* sowie *MM5 skaliert und biaskorrigiert* stammen im Gegensatz zu den restlichen bisher berechneten Klimavarianten nicht aus dem statistischen Klimaantriebs-Generator KLIMAGEN. Sie wurden aus den Original-MM5- bzw. REMO-Daten gewonnen und mittels Biaskorrektur und Downscaling mit SCALMET (MARKE 2008) auf die für DANUBIA benötigte räumliche Auflösung von 1x1 km und zeitliche Auflösung von 1 h umgerechnet.

Wie im letzten Jahresbericht bereits angekündigt, konnten im Herbst 2009 drei weitere Optionsworkshops für die *Stakeholder* organisiert werden. Die drei Termine waren wieder in drei Themenkomplexe gegliedert (Energie, Tourismus, Landwirtschaft; siehe Kap. 14). Im Mittelpunkt stand bei diesen Workshops die Präsentation der von den *Stakeholdern* im November 2008 und Januar 2009 geforderten Erweiterungen und Auswertungen der GLOWA-Danube-Szenarien.

8. Betrieb des Cluster-Rechners

Der Linux-Cluster wird seit der erfolgreichen Erweiterung der Hardware (Installationen wurden Anfang 2009 abgeschlossen) intensiv von den Projektteilnehmern für Modellrechnungen verwendet. Die Hardware läuft stabil und es gab im Berichtszeitraum keine Ausfälle.

8.1 Zugriff auf Modellergebnisse

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

8.2 Sicherung der Modellergebnisse

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

9. Modellpflege und Datenmanagement

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

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

10. Transition von DANUBIA in ein *Open Source*-Projekt

Als Bezeichnung für das gesamte *Open Source*-Projekt wurde der Begriff *OpenDanubia* (OD) eingeführt. Für die Teilprojekte innerhalb *OpenDanubia* wird das Präfix *OD* verwendet, z.B.:

- *OD-SimulationFramework*, für das *Danubia Framework*
- *OD-SimulationModel*, wobei „*SimulationModel*“ durch den Namen des jeweiligen Simulationsmodells ersetzt wird

Auf der seit Anfang 2009 installierten und intern genutzten Projektplattform von DANUBIA (realisiert mit dem Programm *Trac (Integrated Source Code und Project Management)* auf dem GLOWA-Danube-File-Server) werden bereits Projektinhalte für den *OpenDanubia*-Auftritt gesammelt und verwaltet. Bei der Projektplattform handelt es sich um ein einfach zu bedienendes, webbasiertes Software-, Projektmanagement-, Fehler- und Ergebnis-*Tracking-System* (siehe auch: <http://trac.edgewall.org/>). Die Projektplattform bietet ein integriertes Wiki, ein Interface zu einem Versionskontrollsystem (*Subversion*) sowie eine Vielzahl von praktischen Möglichkeiten, um sich über den internen Status des Projekts zu informieren und sich aktuelle Änderungen anzeigen zu lassen.

Damit werden auf der Plattform bereits einige der benötigten Inhalte für *OpenDanubia* von den einzelnen Projektpartnern direkt erstellt oder hochgeladen. Die Benutzung der Projektplattform zur Erstellung der Dokumente und Unterlagen wird vorgegeben, um auf dem Weg zum *OpenDanubia*,

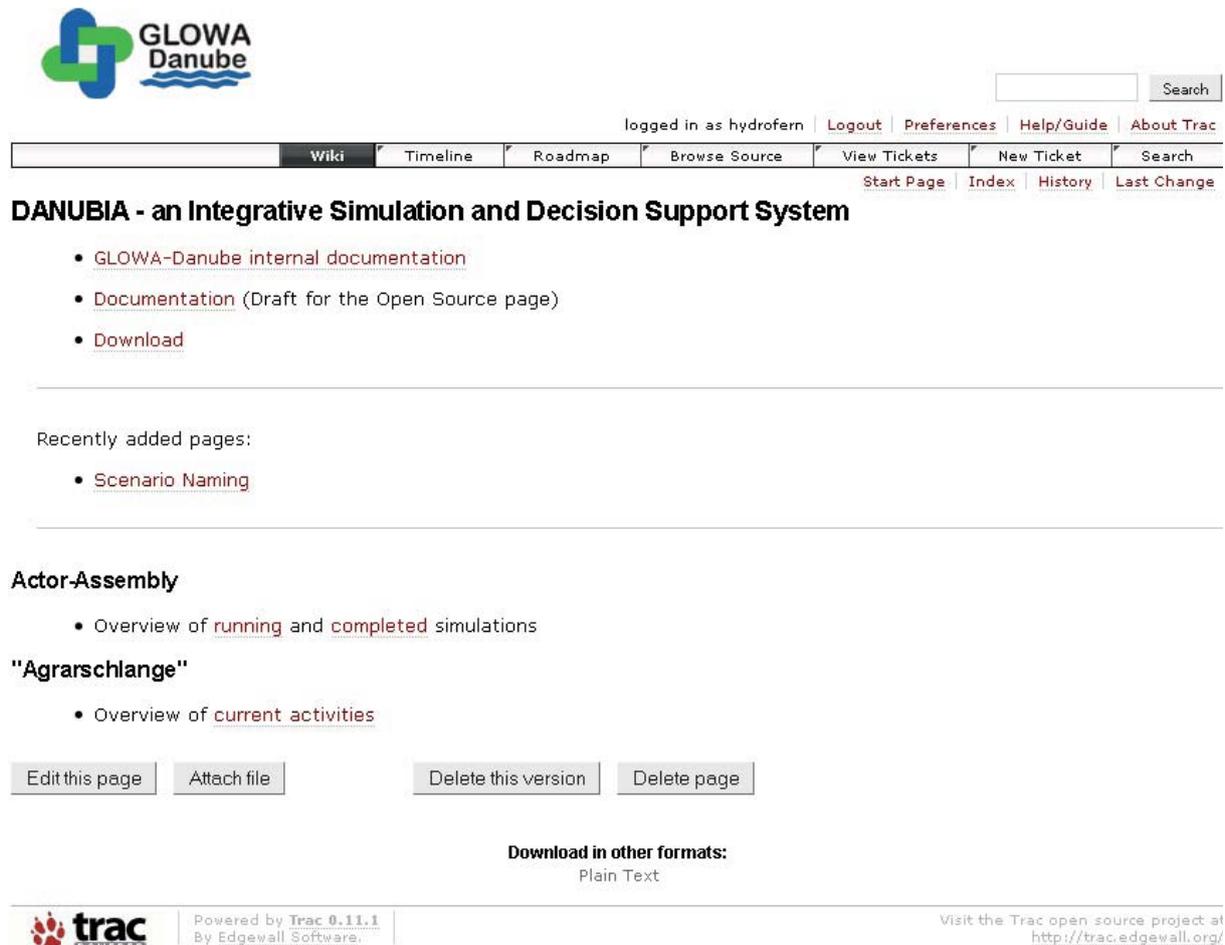
- zum einen eine einheitliche Struktur für alle Teilprojektmodelle zu erhalten
- und zum anderen den Arbeitsaufwand bei der Integration der Teilprojekte in *OpenDanubia* und für die anschließende Veröffentlichung zu minimieren.

Durch die Tatsache, dass jedem Projektteilnehmer Zugang zur internen Projektplattform gewährt wird, ist für alle Projektpartner stets ersichtlich, was die anderen Teilprojekte bereits erstellt und eingebunden haben. Sie dient somit sowohl als Orientierungshilfe als auch für eine verbesserte Kommunikation bei der Erstellung eines konsistenten *Open Source*-Projekts.

Die Nutzung einer Projektplattform wie *Trac* ist auch im Hinblick auf eine mögliche Veröffentlichung bzw. Verknüpfung der Projektinhalte auf einer renommierten internationalen Open Source Plattform, wie beispielsweise auf OS-Geo (www.osgeo.org) oder *Sourceforge* (<http://sourceforge.net/>), vorteilhaft.

Abbildung 2 zeigt die interne Website des GLOWA-Danube *Trac*-Systems, dargestellt in einem Webbrowser. Hinsichtlich der Überführung in ein *Open Source*-Projekt, erleichtert das System diese im Wesentlichen durch folgende Punkte:

- Das interne Wiki ermöglicht es jedem Teilprojekt, Dokumentationen und Informationen zentral abzulegen und für alle anderen Teilprojekte somit zugänglich zu machen. Dadurch, dass diese Informationen für jeden ersichtlich sind, können Unklarheiten schnell entdeckt und korrigiert werden. Des Weiteren wurde über das Wiki auch der aktuelle Stand der Dinge im Gesamtprojekt propagiert, d.h. es wurden Informationen über Modellweiterentwicklungen, aber auch laufende Simulationen angeboten.
- Die Anbindung des GLOWA-Danube *Trac* an den internen *Subversion*-Server ermöglicht das bequeme Einsehen der Quellcodes aller Teilprojekte über einen einfachen Webbrowser ohne zusätzliche Software. Ebenso kann die Historie der Modellentwicklung nachvollzogen werden.
- Über das integrierte *Bug-Tracking* System können Fehler schnell und einfach von einem DANUBIA Entwickler an einen anderen Teilmodellentwickler übermittelt werden.



GLOWA Danube

logged in as hydrofern | [Logout](#) | [Preferences](#) | [Help/Guide](#) | [About Trac](#)

[Wiki](#) | [Timeline](#) | [Roadmap](#) | [Browse Source](#) | [View Tickets](#) | [New Ticket](#) | [Search](#)

[Start Page](#) | [Index](#) | [History](#) | [Last Change](#)

DANUBIA - an Integrative Simulation and Decision Support System

- [GLOWA-Danube internal documentation](#)
- [Documentation](#) (Draft for the Open Source page)
- [Download](#)

Recently added pages:

- [Scenario Naming](#)

Actor-Assembly

- Overview of [running](#) and [completed](#) simulations

"Agrarschlange"

- Overview of [current activities](#)

[Edit this page](#) | [Attach file](#) | [Delete this version](#) | [Delete page](#)

Download in other formats:
Plain Text

Powered by [Trac 0.11.1](#)
By [Edgewall Software](#).

Visit the Trac open source project at <http://trac.edgewall.org/>

Abb. 2: Interne Website des GLOWA-Danube Trac-Systems

Bezüglich der Transition von DANUBIA in ein *Open Source*-Projekt wurde beim Projektleitertreffen am 08.03.2010 ein Netzplan für das weitere Vorgehen erstellt. Bis zum Ende des Berichtsjahres 2009 wurden bereits im Wesentlichen die folgenden Punkte im Rahmen des Projekts umgesetzt:

- Bis zum Ende dieses Berichtszeitraumes wurden die finalen DANUBIA-Modellversionen aller Teilprojekte in das interne Versionierungssystem eingecheckt.
- Die Teilprojekte haben die lizenzrechtlichen Fragen bzgl. der von ihnen verwendeten Datengrundlage geklärt. Bei lizenzrechtlich beschränkten Datensätzen die zur Initialisierung von Teilmodellen benötigt werden, wurde beschlossen für *OpenDanubia* entsprechende Testdatensätze bis zum Projektende bereit zu stellen, die die Originaldaten soweit entfremdet darstellen, so dass keine lizenzrechtlichen Probleme auftreten.
- Das Teilprojekt Informatik erstellte bis zum Ende dieses Berichtszeitraumes eine Vorlage zur technischen Dokumentation der Teilmodelle, welches die Dokumentationen aller Teilprojekte vereinheitlicht (siehe Bericht des Teilprojekts Informatik). Hinsichtlich der wissenschaftlichen Dokumentation wird angestrebt, die Modelle und deren Umsetzung in zitierfähigen wissenschaftlichen Zeitschriften zu veröffentlichen. Bis zum Ende dieses Berichtszeitraums wurde von den Teilprojekten eine Liste an geeigneten (z.T. web-basierten) Zeitschriften kompiliert.

Im weiteren Verlauf werden bis zum Projektende im Oktober 2010 die Quellcodes der Teilprojekte mit Hilfe der einheitlichen Dokumentationen zusammengeführt und mit der Trac-Website zusammen auf eine öffentlich betriebene Seite migriert. Dort sollen eben-

falls die Testdatensätze für die Teilmodelle zum Download zur Verfügung stehen. Damit wird ab Projektende eine wissenschaftlich und technisch vollständige Dokumentation des GLOWA-Danube Projektes für alle Interessierten abrufbar sein. Um sicherzustellen, dass die Modelle in seriösen, wissenschaftlichen Kreisen bleiben und andererseits, dass potentielle Weiterentwicklungen in das Projekt zurückfließen, wird angestrebt den Zugang zu den Quellcodes von *OpenDanubia* nur über ein Anmeldeformular zu genehmigen.

11. Konzeption der Ergebnisdarstellung

Für die Darstellung des wissenschaftlichen Ansatzes in der Modellierung des Wasserhaushalts und der Wassernutzung sowie der Aufbereitung der Ergebnisse für die Öffentlichkeit wurde für GLOWA-Danube im Rahmen der Nationalen Konferenz in Potsdam ein eigenes Konzept erstellt. Dabei wurde die Darstellung von DANUBIA und seiner Ergebnisse auf Basis der GLOWA-Danube-Szenarien auf drei grundlegende Zielgruppen ausgerichtet (siehe Abb. 3).



Abb. 3: Schema der Präsentation des Entscheidungs-Unterstützungs-Systems DANUBIA entwickelt für die Nationale GLOWA-Konferenz in Potsdam im Oktober 2009

Die folgenden drei Ansatzpunkte für die Auseinandersetzung mit den Zielen, Modellen und Ergebnissen des GLOWA-Danube Projekts wurden aus der Erfahrung des Dialogs mit anderen Wissenschaftlern, *Stakeholdern* und der Öffentlichkeit gewonnen:

- **Ansatzpunkt der Wissenschaft:** Für die wissenschaftliche Auseinandersetzung steht vor allem die Prozessbeschreibung des Wasserkreislaufs und der Wassernutzung mit ihrer zeitlichen und räumlichen Dynamik im Vordergrund, sowie ihre technische Umsetzung im Rahmen des DANUBIA *Frameworks*. In diesem Umfeld sind die Struktur des DANUBIA Systems, die eingebundenen Komponenten (Prozessbeschreibungen) und insbesondere die gekoppelte Simulation von besonderer Bedeutung. Die Präsentation von DANUBIA konzentriert sich in diesem Fall v.a. auf die Ebene des DANUBIA Systems mit der Beschreibung der Komponenten-Schnittstellen und der fachbezogenen Komplexität der implementierten Teilmodelle.
- **Ansatzpunkt der Fachleute:** Für die fachlich versierten *Stakeholder* und Interessenten ist besonders die zeitliche und z.T. auch die räumliche Dynamik der Änderungen im natürlichen und anthropogenen Wasserkreislauf unter Szenariobedingungen von besonderem Interesse. Deshalb wurde besonders für dieses Publikum eine visuelle Darstellung von Monats- oder Tageswerten, sowohl als räumlich verteilte „Filme“ als

auch in Diagrammform erstellt. Diese zeigt die Dynamik der DANUBIA Ergebnisse und verdeutlicht das Zusammenspiel einzelner Komponenten durch die parallele Darstellung von mehreren Variablen und Akteursflaggen.

- **Ansatzpunkt der Allgemeinheit:** Die generell an Wasserthemen interessierte Öffentlichkeit bzw. die nicht fachlich versierten *Stakeholder* sind besonders an klaren, überschaubaren Aussagen über die mögliche Veränderung der Verfügbarkeit und Nutzung von Wasser unter den gegebenen Szenariobedingungen interessiert. Für diese Zielgruppe eignet sich insbesondere der Global Change Atlas Obere Donau, der sowohl Karten als auch einzelne Zahlen zu den potentiellen Veränderungen bereit hält. Zusätzlich enthält er allgemein verständliche Beschreibungen der einzelnen Teilmodelle und der wichtigsten Komponenten des natürlichen und anthropogenen Wasserhaushalts.

Durch das Proxel-basierte Konzept von DANUBIA, die Rasterstruktur der Ein- und Ausgabedaten und die eindeutige zeitliche Zuordnung jedes Datensatzes können Ergebnisse leicht auf größere räumliche Bereiche (z.B. Landkreise oder Naturräume) oder zeitliche Einheiten (z.B. Monate, Jahre und Dekaden) zusammengefasst werden. Die Analyse und Aufbereitung der Daten erfolgt mit dem DANUBIA Data Analysis Tool (DDAT), das die unterschiedlichen wissenschaftlichen Auswertemethoden der Teilprojekte unterstützt (siehe Kap. 11.1). Die Auswertemethoden von DDAT werden u.a. dazu genutzt, die Datengrundlage für die visuelle Darstellung durch Filme (siehe Kap. 11.2) bzw. für die Erstellung von Karten für den Global Change Atlas Obere Donau (siehe Kap. 12) zu erzeugen. Somit kann auf Basis des Konzepts zur Aufbereitung der Ergebnisdaten in GLOWA-Danube (siehe Abb. 4) festgestellt werden, dass die Multimedia-Datenbank von DANUBIA nun für Präsentationszwecke für Fachleute der Hydrologie, um eine dynamische Ergebnisdarstellung erweitert wurde. Auf Grund der Komplexität der Interpretation der zeitlich-räumlichen Ergebnisse bleibt der Zugang den Nutzern und Entwicklern von DANUBIA vorbehalten.

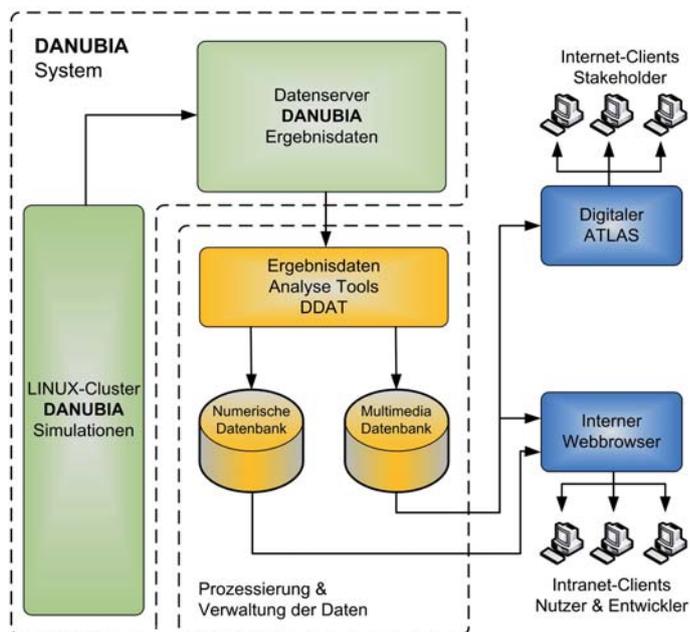


Abb. 4: Konzept der Datenprozessierung in GLOWA-Danube

11.1 Entwicklung von Analysetools zur einheitlichen Datenprozessierung

Das zur Datenauswertung und -analyse der DANUBIA Modellergebnisse entwickelte Werkzeug DDAT (DANUBIA Data Analysis Tool) bewährte sich bereits während der letzten Berichtsphasen zur Aufbereitung der Ergebnisse, u.a. bei der Erstellung der Atlasbeiträge (siehe Bericht HydFern-Teilprojekt). DDAT wurde im letzten Berichtszeitraum auf der Anwender-

konferenz für Freie und Open Source Software für Geoinformationssysteme FOSSGIS präsentiert und im anschließend erschienenen Tagungsband veröffentlicht (WALDMANN et al. 2009). Da die implementierte Funktionalität den Anforderungen der internen Nutzer genügte, wurde auf weitere Entwicklungen der *Basis*funktionalität verzichtet. Weiterentwicklungen an der Software beschränkten sich daher hauptsächlich auf Verbesserungen der Benutzerfreundlichkeit. Abbildung 5 zeigt die während des letzten Berichtszeitraumes neu implementierte Oberfläche zur Bedienung von DDAT. Die wesentlichen Elemente sind:

- Fenster zur Darstellung der räumlich-zeitlichen Datensätze:
 - Farbliche Aufspreizung der Datenwerte
 - Abspielfunktion der Datensätze
 - Überlagerung mehrerer Daten-Layer mit transparenter Darstellung
- Fenster zur Darstellung von Zeitreihen einzelner Proxel:
 - Graphische Darstellung der Werte
 - Tabellarische Darstellung der Werte mit Berechnung diverser Statistiken
 - Fenster zum Loggen von Nachrichten und Fehlern

Die bisherigen und im Folgenden gelistete Funktionen von DDAT wurden in die GUI integriert:

- Räumliche Aggregation
- Zeitliche Aggregation
- Ausführen und Aufzeichnen von Batches
- Konvertierung diverser Datenformate
- Berechnung von Skripten

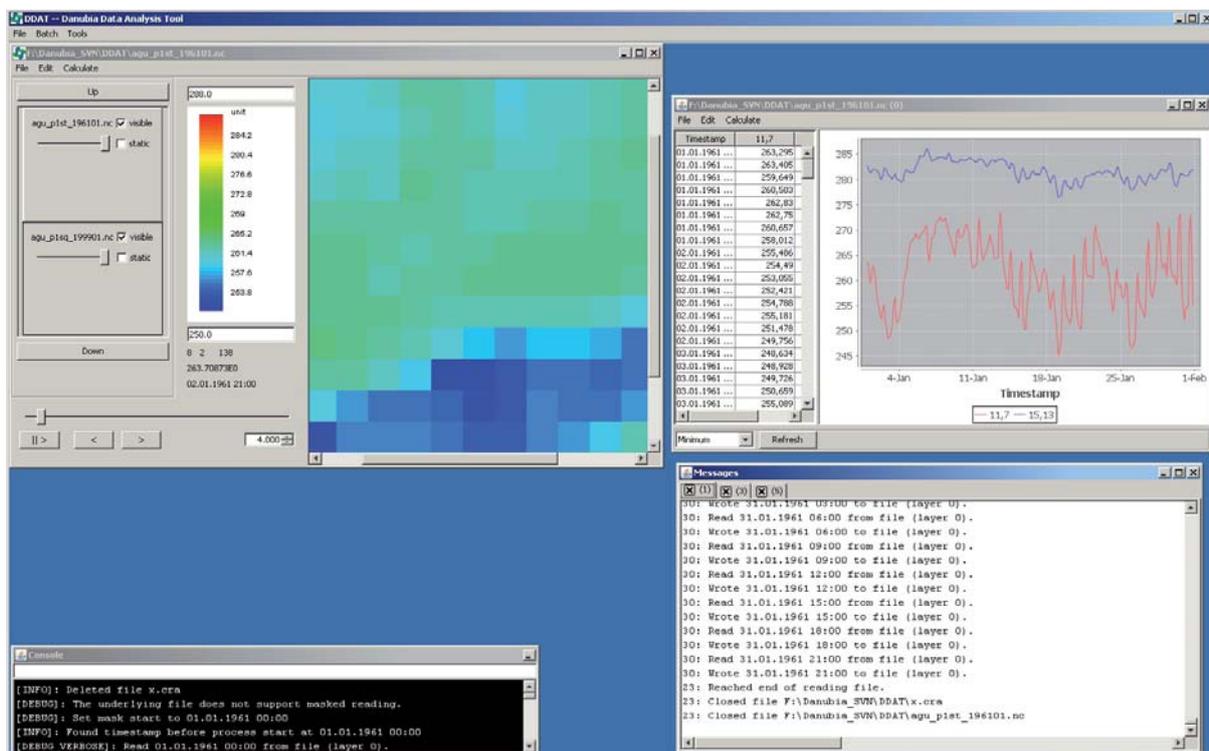


Abb. 5: Graphische Benutzeroberfläche des DDAT

11.2 Visuelle Darstellung der Szenarienergebnisse durch Filme

Für die Präsentation der Szenarienergebnisse für die *Stakeholder* sowie für die Öffentlichkeit wurde ein Visualisierungskonzept realisiert, das u.a. bei der GLOWA-Danube Abschlusskonferenz in Potsdam als interaktive Installation jedem Interessierten zur Verfügung stand. Dafür wurden für alle Teilprojekte die Szenarienergebnisse aufbereitet und daraus grafisch anspruchsvolle Filme erstellt, die die jeweiligen Szenarien sowohl räumlich als auch als XY-Diagramm gemittelt über das Einzugsgebiet im zeitlichen Verlauf von 2011 bis 2060 als dynamischen Film zeigen (siehe Abb. 6).

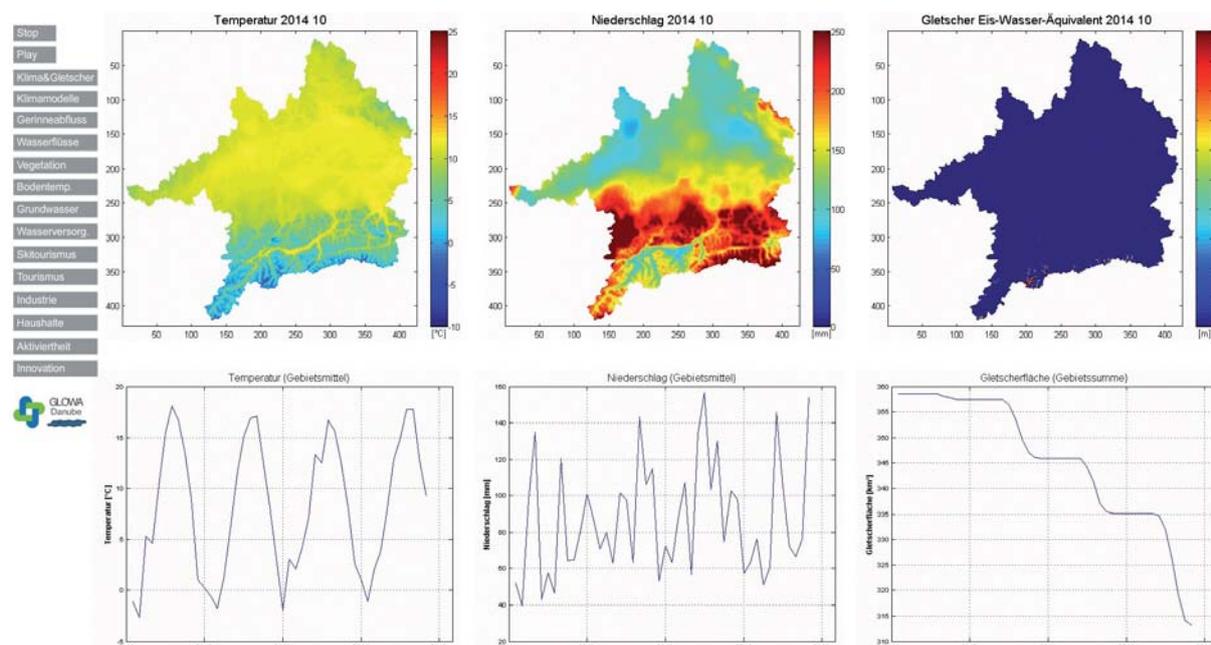


Abb. 6: Oberfläche der interaktiven Flash-Präsentation für das Themengebiet „Klima und Gletscher“

Die Filme wurden thematisch so zusammengestellt (z.B.: „Klima und Gletscher“, „Vegetation“, „Wasserversorgung“, „Tourismus“, „Industrie“, „Haushalte“), dass durch eine interaktive Auswahl des Benutzers relevante Szenarienergebnisse zu einem ausgewählten Thema als Filme gezeigt wurden.

Die einfache und verständliche Bedienung ermöglichte durch die Interaktivität der Benutzeroberfläche das Umschalten auf andere Themengebiete. Dies sollte dem Benutzer ein intuitives Begreifen der komplexen Zusammenhänge ermöglichen.

Die gesamte Oberfläche wurde in Flash programmiert, so dass eine plattformübergreifende und auch eine webbasierte Anwendung möglich sind.

12. Global Change Atlas der Oberen Donau

Der „Global Change Atlas Obere Donau“ existiert seit Mitte 2006 sowohl als Print- (GLOWA-Danube-Projekt 2010) als auch als Onlineversion (<http://www.glowa-danube.de>). Während in den ersten beiden Lieferungen im Juni 2006 und im Juni 2008 inhaltlich ein besonderes Augenmerk auf die Beschreibung des Natur- bzw. Sozialraums sowie die Simulationsmodelle der Teilprojekte gelegt wurde, wurde mit den drei weiteren Lieferungen im Berichtszeitraum die Grundlage für die Szenarienbildung in GLOWA-Danube beschrieben und damit die Präsentation der umfangreichen Ergebnisse aus dem Projekt vorangetrieben.

12.1 Print-Version des Global Change Atlas Obere Donau

12.1.1 Lieferung 3 (Juli 2009)

Wie bereits im letzten Zwischenbericht erwähnt, wurde bei der 3. Lieferung für den „Global Change Atlas Obere Donau“ Wert darauf gelegt, das Kapitel 3 mit Inhalten zu füllen. Dafür wurden sechs umfassende einleitende Kapitel erstellt (die sogenannten S-Kapitel für *Szenarien* in Anlehnung an die E-Kapitel der *Einleitung*), welche die komplexe Szenarienbildung in GLOWA-Danube ausführlich beschreiben. Nach Kapitel S1, welches einen Überblick über die GLOWA-Danube Szenarien gibt, folgen Beiträge, die die Klimatrends, Klimavarianten und Gesellschaftsszenarien im Detail beinhalten. Außerdem wird die Funktionsweise des stochastischen Klimaantriebs-Generators dargestellt, welcher für die Erstellung der verwendeten Klimaszenarien entwickelt wurde.

Im Anschluss an die Szenarien-Kapitel S1 bis S6 werden erste gekoppelte Modellergebnisse vorgestellt, die, angetrieben durch die GLOWA-Danube Klimaszenarien, mögliche Entwicklungen in einem zuvor definierten Zukunftszeitraum (2011-2060) aufzeigen. Kapitel 2 und 3 konnten mit Beiträgen zum organischen Kohlenstoffgehalt im Boden und zum Gletschermodell SURGES (Teilprojekt Glaziologie) sowie zum Bodenstickstoffmodell SNT (Teilprojekt Ökosysteme/ Pflanzenökologie) ergänzt werden.

12.1.2 Lieferung 4 (September 2009)

Bereits während des Entstehungsprozesses für die 3. Lieferung wurde mit der Planung und Produktion einer 4. Lieferung begonnen. Ziel war es, bis zur Nationale GLOWA-Konferenz von 12.-14.10.2009 in Potsdam, eine aktuelle Lieferung des Atlas mit den neuesten Ergebnissen vorzulegen.

Da die Beschreibung der bisherigen GLOWA-Danube Klima- und Gesellschaftsszenarien mit der 3. Lieferung abgedeckt wurde, konnten sich die Autoren darauf konzentrieren, ihre Ergebnisse im 3. Kapitel zu präsentieren. Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erreichen, wurde der Klimatrend *REMO regional* in Verbindung mit der Klimavariante *Baseline* verwendet (siehe Global Change Atlas Obere Donau, Kap. S2 und S4). Zudem wurde eine klare Strukturierung des Ergebniskapitels vorgenommen. In allen weiteren Lieferungen werden die Szenarienergebnisse in die drei Kategorien „Wassermenge“, „Wassernutzung“ und „Wasser und Landwirtschaft“ eingeteilt.

Ergänzend zu den vielfältigen Ergebnissen in Kapitel 3 wurden weitere Beiträge mit Karten für die ersten beiden Kapitel verfasst. Dazu gehört eine Beschreibung der vorliegenden Daten zur Grundwassermenge und Grundwasserqualität in Kapitel 1, Aktualisierungen der Modellbeschreibungen des Teilprojektes Pflanzenökologie (CO₂-Flüsse und Transpiration; Pflanzenwachstum und Biomasseproduktion) sowie die Beschreibung der Modellierung der Risikowahrnehmung des Teilprojektes Umweltpsychologie.

12.1.3 Lieferung 5 (April 2010)

Analog zur 4. Lieferung wurde eine Veröffentlichung weiterer Ergebnisse aus dem GLOWA-Danube Projekt zur Regionalkonferenz am 26.04.2010 in München angestrebt.

Für die 5. Lieferung wurden einige Karten- und Textblätter mit kleinen Fehlern überarbeitet und neu gedruckt, um zum Projektabschluss eine fehlerfreie Version des Atlas vorliegen zu haben. Voraussetzung hierfür war eine genaue Prüfung aller bisher veröffentlichten 86 meist doppelseitig bedruckten Blätter mit insgesamt 63 Beiträgen.

Die 5. Lieferung beinhaltet zudem eine Aktualisierung des vierseitigen Glossars, ein Kapitel über den *Stakeholderdialog* in GLOWA-Danube sowie die Validierung der hydrologischen

Modellierung in DANUBIA. Eine neue Folie mit den wichtigsten, im Atlas vorkommenden hydrologischen Teileinzugsgebieten wurde entworfen.

Kapitel 1 wurde mit einem Beitrag zu den vorhandenen Wasserkraftwerken im Einzugsgebiet der Oberen Donau ergänzt, welche als Grundlage für die Modellierung der Energiegewinnung aus Wasserkraft sowie der Talsperrenbewirtschaftung dienen. Eine genaue Modellbeschreibung des Wasserkraftmoduls wurde deshalb zusätzlich in Kapitel 2 eingefügt.

Besonderes Augenmerk lag wieder auf der Veröffentlichung neuer Modellergebnisse im 3. Kapitel.

Die Aufbereitung der Daten für die Kartendarstellungen wurde für alle Lieferungen wie zuvor von der Atlas-Redaktion in enger Zusammenarbeit mit den jeweiligen Autoren der Beiträge übernommen. Auch die Aufbereitung der Abbildungen für die Textseiten wurde ab der 3. Lieferung von der Redaktion übernommen, um eine einheitliche Darstellung zu erreichen. Die endgültige Gestaltung der Kartenlayouts sowie die Darstellung der Legende erfolgten unter Berücksichtigung fachlicher Gesichtspunkte und kartographischer Gestaltungsmöglichkeiten in Zusammenarbeit zwischen den Autoren, der Redaktion sowie der Abteilung Kartographie. Auch der projektinterne Review-Prozess wurde fortgeführt. Dieser Prozess wurde von der Redaktion organisiert, die endgültige Begutachtung und Endredaktion erfolgte durch den Projektleiter.

12.2 Online-Version des Global Change Atlas Obere Donau

Im Berichtszeitraum wurden alle Karten und Textbeiträge der 3., 4. und 5. Lieferung im Online-Atlas aufgenommen. Für die Nationale GLOWA-Konferenz in Potsdam sowie der Regionalkonferenz in München lagen alle zu dieser Zeit vorhandenen Beiträge online in digitaler Form vor (mit der Möglichkeit zum Download der Texte als pdf-Dateien). Durch die umfangreichen neuen Beiträge wurde der Online-Atlas in der Menüführung leicht modifiziert, um ohne Probleme zwischen den Beiträgen navigieren zu können. Zudem wurden kleine Verbesserungen und Korrekturen vorgenommen. Dazu gehörte beispielsweise eine Vereinheitlichung der Legendenanordnungen, eine Korrektur der Farbskalen (Differenzen zwischen Karten und Legenden wurden behoben) und die korrekte Einpassung der Karten in die Einzugsgebietsgrenzen. Im Hauptbereich der Website wurden die Einleitungstexte sowie die Texte aus dem Bereich „Szenarien und Ergebnisse“ aus der Printversion integriert und jeweils mit der Möglichkeit zum Download der Texte als pdf-Datei versehen. Insgesamt wurde der Online-Atlas der Print-Version stark angeglichen, so dass gleiche Inhalte in beiden Medien schneller zu finden sind.

Der Code des Online-Atlas wurde an die neueste ADOBE Flash Version angepasst. Dadurch kann die Erweiterung des Atlas auch in aktuellen und zukünftigen Flash-Versionen reibungslos fortgesetzt werden.

13. Pflege der Datenbank und GIS

Im Berichtszeitraum konnten weitere Daten in die Klimadatenbanken aufgenommen werden, so dass die Zeitreihen für Deutschland inzwischen bis Ende 2009 und für Österreich bis Ende 2008 reichen. Alle raumbezogenen Daten, die für den Global Change Atlas Obere Donau von den Teilprojekten geliefert wurden, werden zentral in einem Geographischen Informationssystem (GIS) verwaltet und gepflegt. Neben der zentralen Datenhaltung und -pflege durch das Koordinationsprojekt wurden die Klimadaten den Projektpartnern über den Projektserver zur Verfügung gestellt.

Zur Modellierung von Wassertemperaturen und zur Ermittlung von Einflüssen bei Stauhaltungsmaßnahmen im Zusammenhang einer Wasserkraftnutzung wurden weitere Pegeldaten

(Abfluss, Wasserstand, Wassertemperatur) von verschiedenen Institutionen organisiert. Für die umfangreichen Pegeldata in stündlicher und täglicher Auflösung, welche im Laufe des Projektes angeschafft wurden, wurde ein neues Konzept zur Datenhaltung erarbeitet, um sowohl die Transparenz als auch die Übersichtlichkeit des Datenbestandes zu erhöhen und um zukünftige Datenanfragen und -analysen zu erleichtern.

14. *Stakeholder-Dialog*

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

1. Formulierung und Bewertung der Szenarien(-ergebnisse) gemeinsam mit den *Stakeholdern* unter Nutzung des sukzessiv wachsenden „Global Change Atlas Obere Donau“.
2. Diskussion der Projektergebnisse mit den *Stakeholdern* zur Antizipierung von „Konflikten“ und der gemeinsamen Entwicklung von Lösungsoptionen, um die Entwicklung von Anpassungsstrategien zu unterstützen.
3. Frühzeitiges vertraut machen der potenziellen Anwender mit dem Instrument DANUBIA, um Rückmeldungen einzuholen und letztlich dafür Akzeptanz zu erreichen, um DANUBIA als Entscheidungsunterstützungssystem zu etablieren.

In Phase III wird der *Stakeholder-Dialog* im Auftrag von GLOWA-Danube extern von der Firma IFOK durchgeführt. Die Leitung des *Stakeholder-Dialogs* obliegt Frau Dr. Hannah Büttner, unterstützt wurde ihre Arbeit während des Berichtszeitraums von Frau Martina Richwien, Frau Inga Kröger und Frau Silke Schmitt. Im Berichtszeitraum stand die kontinuierliche Beratung, Durchführung eines Rundgesprächs mit *Stakeholdern* in Wien sowie die Organisation und Durchführung der drei *Stakeholder-Workshops* im Herbst 2009 und der Regionalkonferenz von GLOWA-Danube im April 2010 im Vordergrund.

Folgende Leistungen wurden von IFOK im Berichtszeitraum im Detail erbracht:

- Kontinuierliche Begleitung:
 - Beratung und Abstimmung mit der Projektleitung.
 - Teilnahme und Mitwirkung an zwei GLOWA-Danube Projektleiter-Sitzungen, Präsentation von Ergebnissen, konzeptionelle Entwicklung der weiteren Vorgehensweise, Synchronisation des *Stakeholder*prozesses mit dem Forschungsprozess.
- Arbeitspaket 1 - wurde bereits im Jahr 2008 abgeschlossen (siehe Zwischenbericht 2008).
- Arbeitspaket 2 - Rundgespräche („*Road Show*“):
 - Vorbereitung und Durchführung eines Rundgesprächs in Wien (10.09.2009) mit ca. 20 Teilnehmenden (Auswahl und Ansprache der *Stakeholder*, Terminkoordination, Klärung von Erwartungen, Inhalten und Ablauf, Dokumentation der Gesprächsergebnisse für alle Beteiligten).
- Arbeitspaket 3 - *Stakeholder-Workshops*:
- Weiterentwicklung der Konzeption der *Stakeholder-Workshops* und Abstimmung mit der GLOWA-Projektleitung.
- Kontinuierliche Aktualisierung der *Stakeholder*liste, Recherche und Ansprache weiterer Akteure, Versendung von Einladungen zu den *Stakeholder-Workshops* an über

200 Personen, mehrmalige Nachfassaktionen durch persönlichen Kontakt bzw. per E-mail, Anmeldungs- und Teilnehmermanagement.

- Vorbereitung und Durchführung von drei *Stakeholder*-Workshops (24.09.2009; 09.11.2009; 13.09.2010) mit insgesamt ca. 45 *Stakeholdern*, Dokumentation der Ergebnisse.

Die Vorbereitung und Durchführung der *Stakeholder*-Workshops im Herbst 2009 waren im Berichtszeitraum, neben der Regionalkonferenz, ein zentraler Bestandteil des *Stakeholder*-Dialogs in GLOWA-Danube. Die Workshops ermöglichten eine kontinuierliche Kommunikation mit den involvierten *Stakeholdern*, insbesondere im Hinblick auf die Ergebnispräsentation und -bewertung. So wurden z.B. die Anregungen einiger *Stakeholder* aus den ersten Workshops im letzten Berichtszeitraum zur Entwicklung weiterer Klimaszenarien intensiv geprüft, so z.B. der Wunsch, die Szenarien zur Einhaltung des 2°C-Ziels (B1) und ein „Worst-case“-Szenario (A1F) zu berechnen, was aber nach intensiver Prüfung der Wissenschaftler als nicht sinnvoll erachtet wurde. Im ersten Workshop „Energie“ konnten die Anregungen der *Stakeholder* berücksichtigt werden, Ergebnisse zu den Themengebieten Niedrigwasser, Hochwasser, Grundwasserneubildung, Sensitivität des Modells bei Landnutzungsänderungen, Waldbrandgefahr, Energieerzeugung aus Wasserkraft, Wassertemperatur und der Veränderung der Eisreserve und des Anteils der Gletscherschmelze am Abfluss zu liefern. Auch bei dem Workshop zum Thema „Wasserwirtschaft, Wasserversorgung und Tourismus“ wurden die vorangegangenen Wünsche der *Stakeholder* aufgegriffen und die Ergebnisse der Szenariorechnungen präsentiert. Es wurde beispielsweise die Möglichkeit von Vernetzungen im Bereich der Wasserversorgung aufgezeigt, der sich ändernde Wasserverbrauch privater Haushalte sowie die Verbreitung von Wassersparenden Innovationen in der Zukunft vorgestellt und auf die sich ändernde Schneesicherheit in Verbindung mit sogenannten „optimalen Skitagen“ und die Auswirkungen des Klimawandels auf den Sommertourismus eingegangen. Im dritten Workshop wurden Ergebnisse aus dem Bereich „Wasserwirtschaft, Land- und Forstwirtschaft“ vorgestellt, wie beispielsweise der Anstieg der Ernteerträge durch höhere Temperaturen und CO₂-Anstieg, eine verbesserte Wassernutzungseffizienz der Vegetation sowie die Änderung der Einkommenssituation für Landwirte hinsichtlich des Klimawandels und unterschiedlicher Gesellschaftsszenarien.

Im Zuge der Diskussionen der vorgestellten Ergebnisse aller drei Workshops zeigte sich, dass ein generelles Interesse an den zukünftigen Entwicklungen im Untersuchungsgebiet besteht. Zudem sind konkrete Anliegen zu weiteren Modellergebnissen vorhanden, wie beispielsweise zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Schifffahrtsverhältnisse oder die Ausbauplanungen in Bezug auf die Energieerzeugung.

- Arbeitspakete 4/5 - Reflektion und Multiplikation der Ergebnisse:
- Vorbereitung und Abstimmung eines Vortrags für die Nationale GLOWA-Konferenz in Potsdam.
- Präsentation und Diskussion des *Stakeholder*projektes auf der Nationalen GLOWA-Konferenz in Potsdam (12.-14. Oktober 2009).
- Aufarbeitung und Auswertung des *Stakeholder*prozesses für einen Beitrag im GLOWA-Danube Atlas Obere Donau.
- Konzeptionelle und organisatorische Vorbereitung der GLOWA-Regionalkonferenz am 26. April 2010 in München in enger Abstimmung mit der GLOWA-Danube Koordination (Entwicklung und Abstimmung der Konzeption, Auswahl der Location, Auswahl, Abstimmung und Ansprache von Referenten und Diskutanten, Einbindung von *Stakeholdern*, Erstellung von Briefing- und Einladungsunterlagen, Moderation etc.; siehe Kap. 6.2).

Zurzeit erfolgt in enger Zusammenarbeit mit der Projektleitung die Nachbereitung zur Regionalkonferenz. Es ist geplant, die auf der Regionalkonferenz präsentierten Projektergebnisse

sowie u.a. die Ergebnisse der Podiumsdiskussion zu dokumentieren und allen innerhalb des *Stakeholder-Dialogs* beteiligten *Stakeholdern* zum Abschluss des GLOWA-Danube Projektes zur Verfügung zu stellen.

15. Literatur

GLOWA-DANUBE-PROJEKT (2010): Global Change Atlas Einzugsgebiet Obere Donau. München. ISBN 978-3-00-026548-8.

MARKE, T. (2008): Development and Application of a Model Interface to couple Land Surface Models with Regional Climate Models for Climate Change Risk Assessment in the Upper Danube Watershed, Dissertation der Fakultät für Geowissenschaften, Digitale Hochschulschriften der LMU München, München. 188 S.

WALDMANN, D., MUERTH, M., LUDWIG, R., SCHÄFFLER, U., HEINZELLER, CH., und MAUSER, W. (2009): Prozessierung, Analyse und Präsentation räumlich-zeitlich verteilter Datensätze des Decision Support Systems DANUBIA. FOSSGIS 2009 Anwenderkonferenz für Freie und Open Source Software für Geoinformationssysteme. Leibnitz Universität Hannover 17.-19.03.2009. ISBN 978-3-00-027248-6.

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 prinzipielle Architektur von DANUBIA ist in Abbildung 1 dargestellt und zeigt eine typische Kombination von Simulationsmodellen mit ihrer Einbindung in das DANUBIA-Framework.

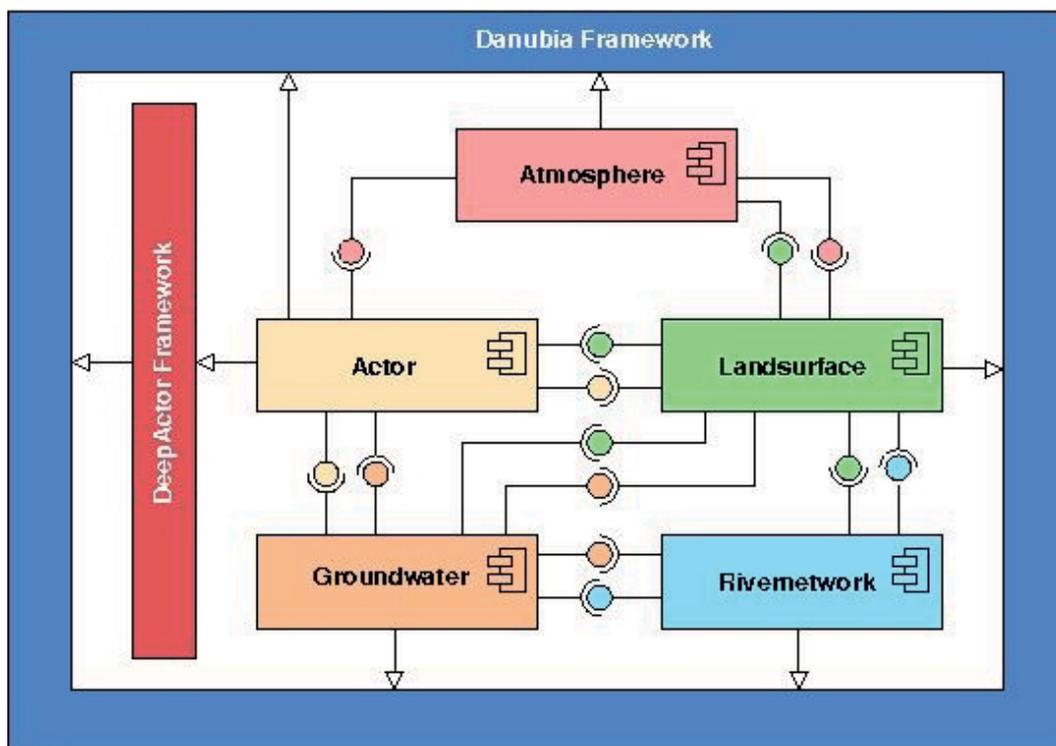


Abb. 1: Architektur des DANUBIA-Systems

Im Berichtszeitraum wurden folgende grundlegende Arbeiten im Teilprojekt Informatik durchgeführt:

- Durchführung zahlreicher Simulationsläufe zur Realisierung der GLOWA-Danube-Szenarien, insbesondere zur Vorbereitung der nationalen GLOWA-Konferenz in Potsdam auf dem DANUBIA-Cluster.
- Überarbeitung und Erweiterung der grafischen Benutzeroberfläche DANUBIA-Monitor.

- Vorbereitung des *OpenSource*-Übergangs für das DANUBIA-*Framework* sowie der Dokumentationsgrundlage einzelner Simulationsmodelle.
- Entwicklung einer Methodik zur detaillierten programmiersprachenunabhängige Spezifikation der Konzepte eines generischen Umweltsimulations*frameworks*.
- Fortsetzung der Forschungsarbeiten im Bereich der formalen Spezifikation komponentenorientierter Softwaresysteme.

Die einzelnen Punkte werden in den Abschnitten 3 bis 7 dieses Berichts näher erläutert. Des Weiteren hat die Gruppe Informatik kontinuierlich die einzelnen Fachgruppen bei der Entwicklung und Wartung ihrer Simulationsmodelle, bei der Durchführung lokaler Testläufe mit dem DANUBIA-System und bei Fragen und Problemen im Zusammenhang mit dem DANUBIA-System unterstützt. Das Teilprojekt Koordination wurde bei der technischen Vorbereitung der nationalen GLOWA-Konferenz in Potsdam unterstützt. Ferner wurde die Überführung von DANUBIA in ein *Open-Source*-Projekt in enger Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt Koordination vorangetrieben.

2. Organisation

2.1 Personal

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

- Dipl.-Math. Sebastian Bauer: 01.05.2009-31.10.2009, 1 Stelle (TV-L 13)
- Dipl.-Inf. Stephan Janisch: 01.05.2009-30.04.2010, 1 Stelle (TV-L 13Ü)
- Dipl.-Math. Matthias Ludwig: 01.05.2009-30.04.2010, 1 Stelle (TV-L 13Ü)

2.2 Veranstaltungen und Konferenzen

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

- 23.-26.03.2009 GLOWA Danube Klausurtagung, Wildbad Kreuth (Bauer, Hennicker, Ludwig)
- 24.07.2009 GLOWA-Danube Projektleitertreffen, München (Hennicker)
- 12.-14.10.2009 Nationale GLOWA-Konferenz, Potsdam (Bauer, Hennicker, Janisch, Ludwig)
- 08.03.2010 GLOWA-Danube Projektleitertreffen, München (Hennicker)
- 09.03.2010 GLOWA-Danube Projektleitungstreffen, München (Hennicker)
- 26.04.2010 GLOWA-Danube Regionalkonferenz, München (Hennicker, Janisch, Ludwig)

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

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

- 11.05.2009 Vortrag über DANUBIA bei der Gesellschaft für Informatik und dem German Chapter of the ACM, Regionalgruppe München, München (R. Hennicker).
- 06.-10.09.2009 Teilnahme (mit Vortrag) an CALCO'09 (Conference on Algebra and Coalgebra in Computer Science), Udine, Italien (S. Bauer).
- 06.-10.09.2009 Teilnahme an CALCO'09 (Conference on Algebra and Coalgebra in Computer Science) als PC Mitglied, Udine, Italien (R. Hennicker).
- 11.-12.09. 2009 Teilnahme am „IFIP Working Group Meeting: Foundations of System Specification“, Udine, Italien (R. Hennicker).
- 08-09.10.2009 Teilnahme am European Computer Science Summit (ECSS'09) mit Vortrag über DANUBIA, Paris (R. Hennicker).
- 02.-03.11.2009 Teilnahme (mit Vortrag) am FACS'09 Workshop (Formal Aspects of Component Software), Eindhoven, Niederlande (S. Bauer).
- 02.-03.11.2009 Teilnahme am FACS'09 Workshop (Formal Aspects of Component Software) als PC Mitglied, Eindhoven, Niederlande (R. Hennicker).
- 02-03.12.2009 S. Bauer: Teilnahme (mit Vortrag) am SCOOP Workshop (Simple Concurrent Object-Oriented Programming), Zürich, Schweiz (S. Bauer).
- 28.02.-06.03.2010 Teilnahme an JAIST Advanced School on Formal Specification and Systems Verification 2010 (JAIST-FSSV2010), Kanazawa, Japan (S. Bauer).

2.3 Veröffentlichungen, Technische Berichte und Poster

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

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*, Vol 23 (9), Sep 2008, S. 1095-1121.

KNAPP, A., JANISCH, S., HENNICKER, R., CLARK, A., GILMORE, S., HACKLINGER, F., BAUMEISTER, H. und WIRSING, M. (2008): Modelling the CoCoME with the Java/A Component Model. In: RAUSCH, A., REUSSNER, R., MIRANDOLA, R. and PLASIL, F. (eds.): *The Common Component Modeling Example: Comparing Software Component Models*, volume 5153 of *Lect. Notes Comp. Sci.*, 2008, S. 207-237.

HENNICKER, H. und BAUER, S. (2009): Views on Behaviour Protocols and Their Semantic Foundation. 3rd International Conference on Algebra and Coalgebra in Computer Science (CALCO 2009), volume 5728 of *Lect. Notes Comp. Sci.*, Springer Verlag, S. 367-382.

WIRSING, M., HAMMER, M., SCHROEDER, A. und BAUER, S. (2009): A Contract-Based Approach to Adaptivity in User-Centric Pervasive Applications. 3rd Workshop on Formal Languages and Analysis of Contract-Oriented Software (FLACOS 2009), Research Report No. 385, 53-60, University of Oslo, Dept. of Informatics.

- BAUER, S., HENNICKER, R., JANISCH, S. und LUDWIG, M. (2009): DANUBIA - Ein integratives Simulations- und Entscheidungsunterstützungssystem. Poster, Nationale GLOWA-Konferenz Potsdam, Oktober 2009.
- JANISCH, S., KUHN, S., BARTHEL, R., HENNICKER, R. MAUSER, W. und ERNST, A. (2009): DeepActor-Framework und Modelle in DANUBIA. Poster, Nationale GLOWA-Konferenz Potsdam, Oktober 2009.
- HENNICKER, R., BAUER, S., JANISCH, S. und LUDWIG, M. (2009): Konfiguration und Ausführung verteilter Simulationsläufe mit DANUBIA. Poster, Nationale GLOWA-Konferenz Potsdam, Oktober 2009.
- HENNICKER, R., BAUER, S., JANISCH, S. und LUDWIG, M. (2010): Principles of Integrative Environmental Simulations, European Computer Science Summit (ECSS) 2010.
- BAUER, S., MAYER, P., SCHROEDER, A. und HENNICKER, R. (2010): On Weak Modal Compatibility, Refinement, and the MIO Workbench. 16th International Conference on Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems (TACAS 2010), volume 6015 of Lect. Notes Comp. Sci., Springer Verlag, 2010.
- BAUER, S., MAYER, P. und SCHROEDER, A. (2010): A Strict-Observational Interface Theory for Analysing Service Orchestrations. Proceedings 7th International Workshop on Formal Engineering approaches to Software Components and Architectures (FESCA 2010), erscheint in: Electronic Notes in Theoretical Computer Science, 2010.
- HENNICKER, R., JANISCH, S. und KNAPP, A. (2010): Refinement of Components in Connection-Safe Assemblies wit Synchronous and Asynchronous Communication. In: CHOPPY, C. and SOKOLSKY, O. (eds.): Monterey Workshop 2008, volume 6028 of Lect. Notes Comp. Sci. Springer, Heidelberg (2010), S. 154-180.
- BARTHEL, R., JANISCH, S., NICKEL, D., TRIFKOVIC, A. und HÖRHAN, Th. (2010):. Using the Multiactor-Approach in GLOWA-Danube to Simulate Decisions for the Water Supply Sector Under Conditions of Global Climate Change. Water Resources Management, Vol 24 (2) 2010, S. 239-275.
- HENNICKER, R., JANISCH, S. und KNAPP, A. (2010): On the Observable Behaviour of Composite Components. Electronic Notes in Theoretical Computer Science (5th FACS'08), Vol 260 (1) Jan 2010, S. 125-153.

Diplomarbeiten und Fortgeschrittenenpraktika

SCHNEIDER, A. (2010): Evaluation und Einsatz von Systemen zur kontinuierlichen Integration von Software. Projektarbeit. Institut für Informatik, Ludwig-Maximilians- Universität München.

3. DANUBIA-Simulationsläufe und Szenariorechnungen

Gekoppelte Simulationsläufe mit dem DANUBIA-System werden auf dem zentralen Clusterrechner durchgeführt, der vom Teilprojekt Koordination verwaltet wird. Im Berichtszeitraum wurden durch das Teilprojekt Informatik auf dem Cluster zahlreiche Simulationsläufe zur Realisierung der GLOWA-Danube-Szenarien, insbesondere zur Vorbereitung der nationalen GLOWA-Konferenz in Potsdam durchgeführt. Die Durchführung beinhaltet die Vorbereitung (Erstellen geeigneter Verzeichnisstrukturen, Übertragen von Komponenten und Daten auf den Cluster), Integrationstests, die Überwachung während und die Bereitstellung der Ergebnisse nach dem Simulationslauf. Im Vorfeld der gekoppelten Simulationsläufe wurden die Hauptkomponentenschnittstellen und die DANUBIA-Datentypen in Zusammenarbeit mit den betroffenen Modellentwicklern aktualisiert.

4. DANUBIA-Monitor

Aus Sicherheitsgründen wurde das ursprüngliche Ziel, als Web-Applikation mit einer Web-basierten Benutzerschnittstelle über das Internet verfügbar zu machen, nicht weiter verfolgt. Stattdessen wurde die bisher zu Testzwecken verwendete graphische Benutzeroberfläche DANUBIA-Monitor überarbeitet, erweitert und verbessert, und basierend auf dem Standard Widget Toolkit (SWT) neu implementiert. Die Erweiterung des DANUBIA-Monitors ist auch im Hinblick auf OpenDANUBIA (siehe Abschnitt 5) von Bedeutung. Um Sicherheitsprobleme auszuschließen, erfolgt die Netzwerkübertragung des DANUBIA-Monitors an das Simulationssystem verschlüsselt (SSH). In der neuen Version des DANUBIA-Monitors wurden folgende Funktionalitäten hinzugefügt:

- Neben der Möglichkeit zur Überwachung bereits gestarteter Simulationsläufe und deren ordnungsgemäßer Beendigung ist nun auch das Konfigurieren und Starten neuer Simulationen möglich, was bisher ausschließlich skriptbasiert erfolgte. Ein Konfigurationsdialog (siehe Abb. 2) erlaubt sowohl die Angabe des Simulationszeitraums, des Simulationsgebiets und eines geeigneten Basisdatensatzes, als auch die Auswahl eines GLOWA-Danube-Szenarios. In Abhängigkeit des gewählten Szenarios werden die kompatiblen Simulationsmodelle angezeigt und können der Simulationskonfiguration hinzugefügt werden. Schließlich erlaubt der Konfigurationsdialog, die Verteilung der ausgewählten Simulationsmodelle auf Rechnerknoten zu definieren.

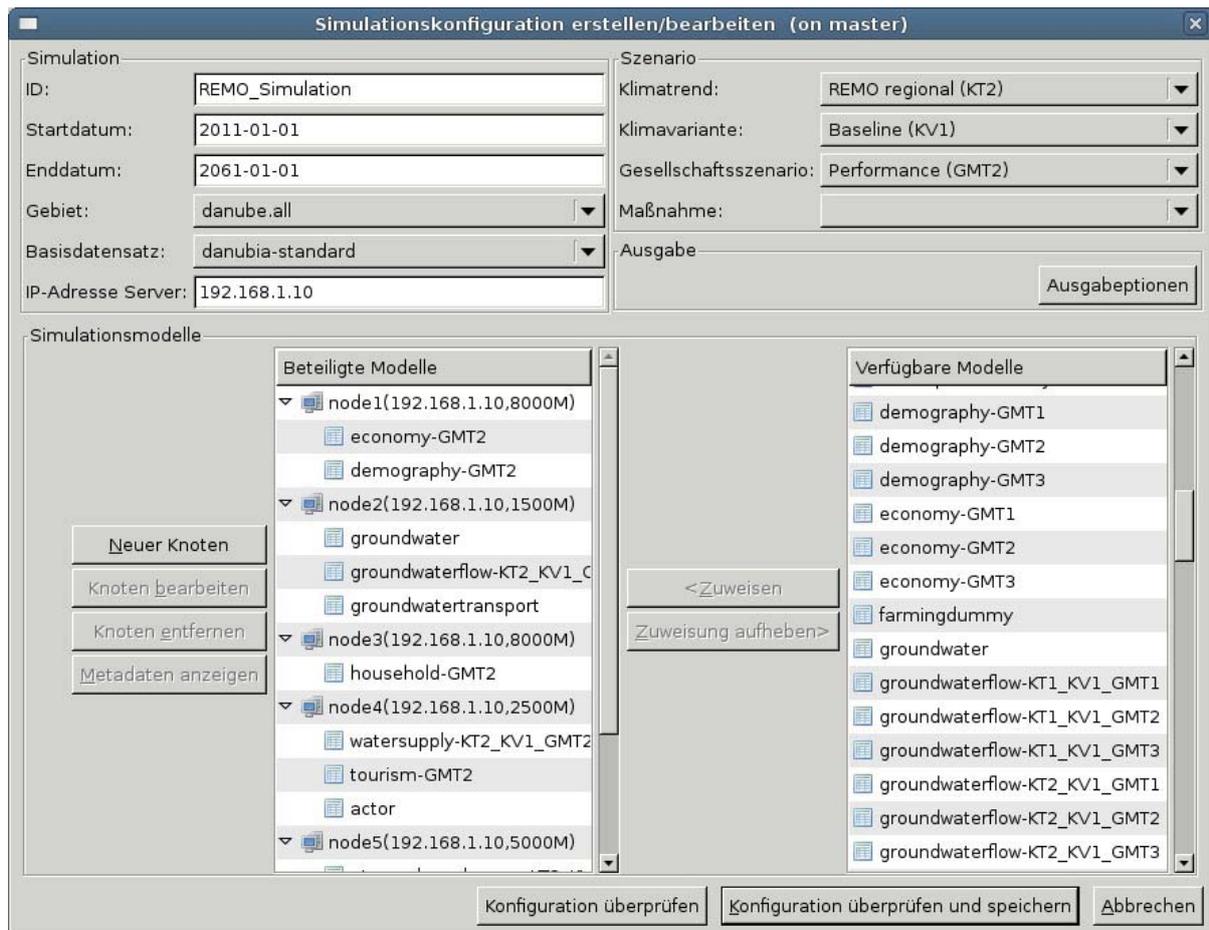


Abb. 2: Konfigurationsdialog des DANUBIA-Monitor

- Die Verwaltung der Metadaten- und Konfigurationsdateien der Simulationsmodelle bzw. Simulationen erfolgt nun lokal zum DANUBIA-Monitor (und nicht mehr lokal zum DANUBIA-Server). Dadurch lassen sich die Simulationskonfigurationen und Verteilungsinformationen im lokalen Dateisystem ablegen und später wiederverwenden. Beim Start eines Simulationslaufs wird dann die ausgewählte Simulationskonfiguration an die entsprechenden Rechnerknoten weitergeleitet.
- Die Visualisierung einer laufenden Simulation wurde verbessert. Neben der detaillierten Darstellung der Konfiguration werden ein Fortschrittsbalken angezeigt und die aktuellen Berechnungsphasen der einzelnen Simulationsmodelle verschiedenfarbig dargestellt (siehe Abb. 3).

GLOWA Danube Danubia Monitor (on master) Version 2.5

Verbindungsstatus: Verbunden mit 192.168.1.10, Simulation Sept-KT2_KV1_GMT2

Buttons: [Simulationsassistent](#) [Verbindung beenden](#) [Monitor schließen](#)

Konfiguration

Simulation		Szenario	
Start:	01.01.2011 00:00	Klimatrend:	REMO regional (KT2)
Ende:	01.01.2061 00:00	Klimavariante:	Baseline (KV1)
Gebiet:	Upper Danube Catchment 1 km	Gesellschaftsszenario:	Performance (GMT2)
Teilgebiet:	whole catchment	Maßnahme:	
Basisdatensatz:	danubia-standard		

Simulationsstatus: RUNNING Fortschritt: 7 %

Buttons: [Simulation starten](#) [Simulation anhalten](#) [Aktualisieren](#) [Beende Server](#) [Beende Knoten](#)

Modellstatus

Modellname	Zustand	Modellzeit	Knoten
atmospheredummy-KT2_KV1	waitForGet	01.09.2014 00:00	node5
demography-GMT2	prov	01.09.2014 00:00	node1
economy-GMT2	prov	01.09.2014 00:00	node1
farmingdummy	waitForGet	01.09.2014 00:00	node5
groundwaterflow-KT2_KV1_GMT2	compute	31.08.2014 00:00	node2
groundwatertransport	waitForGet	01.09.2014 00:00	node2
household-GMT2	prov	01.09.2014 00:00	node3
landsurfacedummy-KT2_KV1	waitForGet	01.09.2014 00:00	node5
rivernetworkdummy-KT2_KV1	waitForGet	01.09.2014 00:00	node5
tourism-GMT2	compute	31.08.2014 00:00	node4
traffictimmy	waitForGet	01.09.2014 00:00	node5
watersupply-KT2_KV1_GMT2	waitForGet	01.09.2014 00:00	node4

Abb. 3: Simulationslaufüberwachung mit dem DANUBIA-Monitor

5. OpenDANUBIA und Dokumentationsvorlagen

Bei einem projektinternen Treffen mit Partnern aus dem Teilprojekt Koordination wurde für den Übergang von DANUBIA in ein *Open-Source*-Projekt, im Folgenden als OpenDANUBIA bezeichnet, eine Aufspaltung in drei Bereiche vereinbart, DANUBIA-/*DeepActor-Framework*, DANUBIA-Analysistool, DANUBIA-Simulationsmodelle.

Das vom Teilprojekt Koordination entwickelte Analysistool wurde in Zusammenarbeit mit der Informatikgruppe vollständig von DANUBIA entkoppelt und soll durch das Teilprojekt Koordination als Datenverarbeitungs- und Analysetool für DANUBIA-Daten in ein eigenständiges *Open-Source*-Projekt überführt werden.

Das vom Teilprojekt Informatik entwickelte DANUBIA- und *DeepActor-Framework* wird als grundlegendes und eigenständiges *Open-Source*-Projekt (*OpenDANUBIA-Framework*) veröffentlicht. Die konkrete Überführung befindet sich derzeit in Vorbereitung. Zentral ist hierbei die Auswahl einer geeigneten Lizenz sowie einer Web-Plattform zur Veröffentlichung des Projekts. Zur näheren Auswahl stehen derzeit an Lizenzen *GPL*, *LGPL* und *BSD* und an Plattformen *Sourceforge* sowie *Google code*. Die Lizenzformen unterscheiden sich im Wesentlichen durch unterschiedliche Rechte zur kommerziellen Nutzung der veröffentlichten Software. Die genannten Plattformen sind nur zwei Kandidaten einer Vielzahl möglicher Anbieter und wurden in erster Linie aufgrund der guten Einbindungsmöglichkeit verschiedener Entwicklungswerkzeuge sowie ihrer grundsätzlich klaren und einfachen Strukturierung ausgewählt. Die konkrete Auswahl ist noch mit der Koordination abzustimmen. Anschließend können Quellcode und Dokumentation schrittweise veröffentlicht werden. Das *OpenDANUBIA-Framework* soll folgende Inhalte umfassen:

- Quellcode (bereinigt und mit Javadoc kommentiert)
- Externe Bibliotheken/Programme bzw. entsprechende Referenzen
- Anleitungen und Dokumentationen
- Initialisierungs- und Konfigurationsdaten
- Beispielmodelle

Zu Anleitungen und Dokumentationen gehören die Dokumentation zur Verwendung des Systems (Installation, Durchführung von Simulationsläufen, etc.), die Dokumentation für Modellentwickler (Verwendung der Entwicklerschnittstelle des *Frameworks*) und die Dokumentation für das *Framework* selbst (Architektur). Die Initialisierungs- und Konfigurationsdaten sollen für eine Beispielanwendung bereitgestellt werden. Zur Illustration der *Framework*-Verwendung soll sowohl ein einfaches nicht-gekoppeltes Simulationsmodell als auch ein komplexeres gekoppeltes Simulationsmodell beispielhaft beschrieben werden.

Der *Open-Source*-Übergang einzelner Simulationsmodelle wird von Seiten der Informatik durch eine Vorlage zur einheitlichen Dokumentation und Darstellung der Modelle unterstützt und von Seiten der Koordination koordiniert. Eine solche Dokumentationsvorlage befindet sich derzeit in Vorbereitung und umfasst Vorgaben zur Gliederung und inhaltlichen Ausgestaltung bezüglich folgender Aspekte:

- Allgemeine Beschreibung und Datengrundlage
- Integrative Aspekte
- Konzeptionelle Modellbeschreibung
- Technische Beschreibung
- Hintergrund, Publikationen und Referenzen

Zur allgemeinen Beschreibung zählt der grundsätzliche Anwendungskontext mit Antworten zu Fragen wie: Welche Prozesse werden simuliert? Mit welchem Ziel? Auf welcher Grundlage (konzeptionell, Daten)? Integrative Aspekte betreffen Beziehungen zu anderen Simulationsmodellen: Welche Modelle sind relevant und worin besteht die Relevanz? Gibt es Kopplungsaspekte? Die konzeptionelle Modellbeschreibung soll eine möglichst formale Beschreibung der Modellkonzeption umfassen, wie sie beispielsweise auch zur Veröffentlichung von Simulationsmodellen in Konferenzbänden üblich sind. Je nach Modell sollen hier mathematische Gleichungssysteme oder auch agentenbasierte Modelle verwendet werden, die das zugrunde liegende Simulationsmodell hinreichend genau beschreiben. Ein Abschnitt mit technischer Beschreibung enthält einerseits UML-Diagramme zur Spezifikation der Import/Export-Schnittstellen eines Simulationsmodells, aber andererseits auch Dokumentation zu erforderlichen statischen Datensätzen (Eingabedaten), zu Konfigurationsdaten sowie zu technischen Aspekten der Kopplung mit anderen Simulationsmodellen. Die Java-Quellcode Dokumentation (Javadoc) der Implementierung zählt ebenfalls zur technischen Beschreibung eines Simulationsmodells. Schließlich sollte ein Abschnitt zu Hintergrund und Publikationen sowohl hinführende als auch weiterführende Informationen zum gegebenen Simulationsmodell enthalten.

6. Methodik der *Framework*-Spezifikation

Innerhalb von OpenDANUBIA kommt dem OpenDANUBIA-*Framework* eine besondere Bedeutung zu: Einerseits kann das *Framework* prinzipiell unabhängig vom Untersuchungsgebiet „Obere Donau“ und von den konkreten OpenDANUBIA-Simulationsmodellen zur Entwicklung und Kopplung von prozessbasierten, zeitdiskreten und räumlich aufgelösten Modellen, die zur Laufzeit Daten austauschen, verwendet werden; andererseits sollen Wartung und Weiterentwicklung des *Frameworks* selbst durch Anwender von OpenDANUBIA ermöglicht werden.

Für die Wartung und Weiterentwicklung des *Frameworks* ist ein genaues Verständnis der dem *Framework* zugrunde liegenden Konzepte und Software-Entwürfe erforderlich. Daher wurde im Berichtszeitraum eine detaillierte programmiersprachenunabhängige Spezifikation dieser Konzepte und Entwürfe auf der Basis der *Unified Modeling Language* (UML) entwickelt, die nach einer bestimmten Methodik dargestellt wird. Diese Methodik wird im Folgenden erläutert.

Zunächst werden die Systemanwendungsfälle spezifiziert und die grundlegende Architektur des *Frameworks* dargestellt. Auf dieser aufbauend werden dann die einzelnen zentralen Systemaspekte „Datenaustausch zwischen Simulationsmodellen“, „Modellierung eines gemeinsamen Simulationsraums“ und „zeitliche Koordination unterschiedlicher Modellzeitschritte“ getrennt voneinander behandelt. Die Entwurfsmodelle der einzelnen Systemaspekte werden schließlich zum Entwurf des Gesamt*frameworks* integriert. In Abbildung 4 ist der Zusammenhang der einzelnen Aspekte (*space*, *dataexchange*, *time*) mit der grundlegenden Architektur (*basic*) und der Integration (*integration*) durch eine UML-Paketverschmelzung (*package merge*) dargestellt

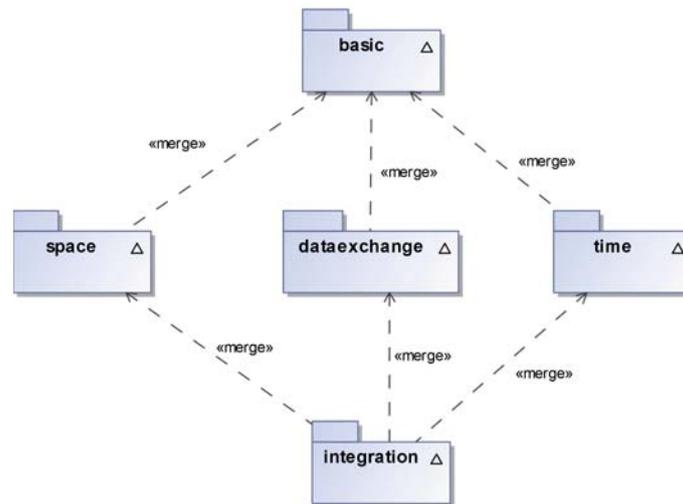


Abb. 4: Übersicht über die Entwurfsmethodik

Der Modellierung der grundlegenden Architektur sowie der einzelnen Systemaspekte erfolgt auf verschiedenen Abstraktionsstufen. Zunächst werden die grundlegenden Konzepte in Form von Klassendiagrammen modelliert und Anforderungen sowohl informell als auch formal durch Invarianten in der Sprache Object Constraint Language (OCL, siehe WARMER und KLEPPE 2003) spezifiziert. Soweit erforderlich werden für die Modellierung des dynamischen Verhaltens geeignete UML-Diagramme sowie formale Spezifikationstechniken, wie zum Beispiel Finite State Processes (FSP, siehe MAGEE und KRAMER 2006), verwendet.

Der Systementwurf wird auf zwei Stufen modelliert. Zunächst wird ein erstes Entwurfsmodell in Form eines Klassendiagramms dargestellt, der sogenannte Klassenentwurf. Im Klassenentwurf sind bereits sämtliche Attribute und Operationen der einzelnen Klassen mit Typen und Sichtbarkeiten modelliert (Attribute ggf. mit Multiplizität), sowie die Assoziationsenden mit Multiplizitäten und Rollennamen (im Fall eines navigierbaren Assoziationsendes) versehen. Die Interaktionen zwischen den einzelnen Klassen werden durch Sequenzdiagramme modelliert.

Die zweite Stufe des Entwurfs bildet der sogenannte Komponentenentwurf. Dieser verdeutlicht die Aufteilung des *Frameworks* in verschiedene Komponenten, die über Schnittstellen miteinander verbunden sind und denen die Klassen des Klassenentwurfs hinsichtlich ihrer Funktion zugeordnet wurden. Die Sequenzdiagramme des Klassenentwurfs können systematisch an den Komponentenentwurf angepasst werden. Um ein komplexes System wie das vorliegende *Simulationsframework* übersichtlich darstellen zu können, werden die Komponentendiagramme hierarchisch dargestellt, das heißt, es werden in einem Diagramm jeweils nur die Schnittstellen und die interne Struktur einer Komponente dargestellt, für etwaige Subkomponenten werden eigene Diagramme angefertigt.

Schließlich erfolgt auf der Stufe des Komponentenentwurfs die Integration der einzelnen Aspekte zu einer Gesamtarchitektur des *Simulationsframeworks*, die im Komponentendiagramm in Abbildung 5 dargestellt ist. Die Komponente *Simulation* repräsentiert eine integrative Simulation, auf die über die Schnittstelle *SimulationAccess* mit Hilfe einer graphischen Benutzerschnittstelle, wie z.B. DANUBIA-Monitor, zugegriffen werden kann. Die Klasse *SimulationAdmin* stellt die zentrale Steuerung der Simulation dar. Die Subkomponenten *ModelLinking*, *Basedata* und *TimeCoordination* erfüllen spezifische Aufgaben, die sich aus den Anforderungen der einzelnen Aspekte ergeben. So sorgt *ModelLinking* für die Verknüpfung der Datenschnittstellen der beteiligten Modelle, *Basedata* für die konsistente Initialisierung des gemeinsamen Simulationsraums und *TimeCoordination* für die korrekte Koordination der verschiedenen Modellzeitschritte während der Simulation. Die Komponente *Model* ist eine sogenannte generische Komponente, die ein abstraktes Simulationsmodell repräsentiert. Durch Bindung einer konkreten Simula-

tionsmodellimplementierung an diese Komponente wird das Modell in das *Framework* eingebunden. Die genannten Komponenten sowie deren Schnittstellen werden jeweils in gesonderten Diagrammen dargestellt und erläutert.

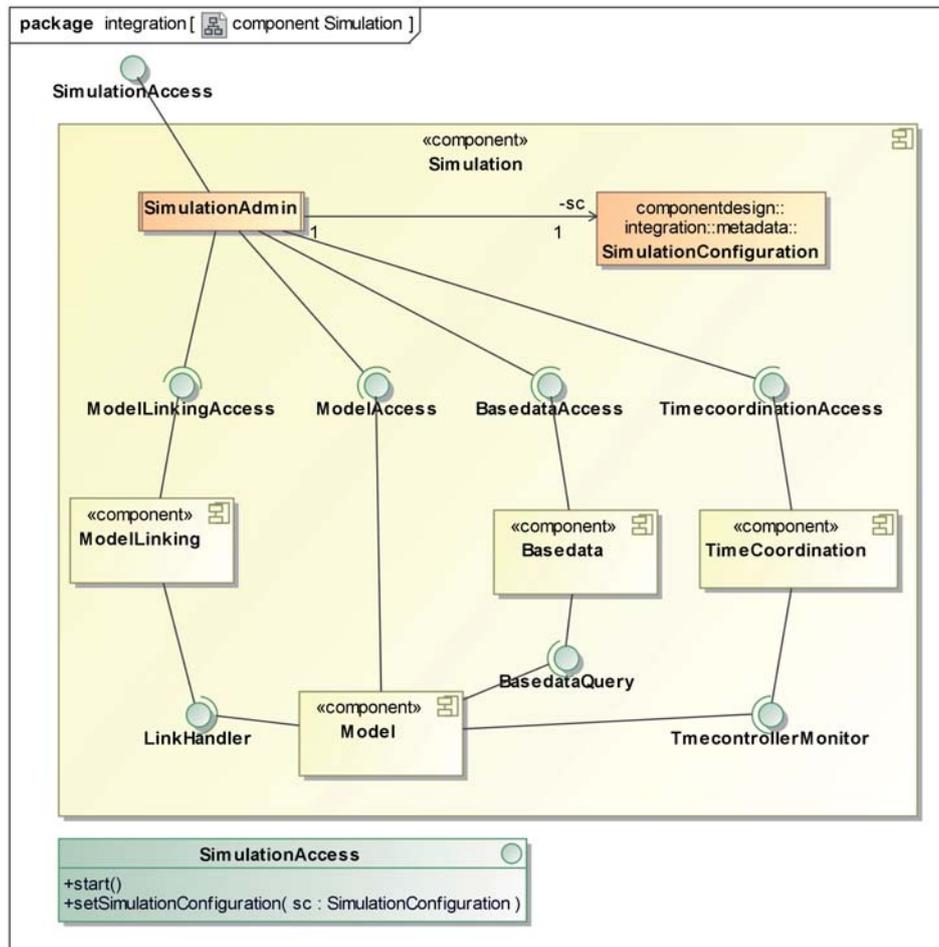


Abb. 5: Gesamtarchitektur des Simulationsframeworks

Neben der programmiersprachenunabhängigen Dokumentation des *Framework*-Entwurfs wurde ein Muster zur Implementierung der Komponenten der Entwurfsspezifikation in Java angegeben, das für die Implementierung des *Framework*s verwendet wurde. Damit wird das Verständnis des Quellcodes für zukünftige Entwickler erleichtert.

7. Komponentenbasierte Systeme

Die Forschungsarbeiten im Bereich der formalen Spezifikation komponentenorientierter Softwaresysteme wurden fortgesetzt. Es wurden Kompatibilitäts- und Verfeinerungsbegriffe für offene Systeme synchron kommunizierender Komponenten entwickelt wie sie beispielsweise in DANUBIA vorkommen. Insbesondere wurden bereits vorhandene formale Modelle zur Beschreibung des Event-basierten Ablaufverhaltens von Komponenten um die Betrachtung von Datenzuständen erweitert (vgl. BAUER und HENNICKER 2009; BAUER et al. 2009).

In BAUER und HENNICKER 2009 wurde eine formale Semantik für eine Variante von UML Protokollzustandsmaschinen definiert. UML Protokollzustandsmaschinen können als Spezifikationen von Schnittstellen verwendet werden und spezifizieren sowohl einen Ab-

lauf von Operationsaufrufen als auch Zustandsinvarianten und Vor- und Nachbedingungen von Operationen. Dieser Formalismus wurde im Berichtszeitraum für Verhaltensspezifikationen von Komponenten in BAUER et al. 2009 angepasst. Ein zentraler Aspekt komponentenbasierter Software-Entwicklung ist die unabhängige Implementierbarkeit von Komponenten. Komponenten sollen entkoppelt, ohne Wissen über Implementierungsdetails anderer Komponenten, entwickelt werden. Auf diese Weise lässt sich eine bessere Wiederverwendbarkeit bereits existierender Komponenten gewährleisten. Ein zentrales Ergebnis in BAUER et al. 2009 ist der formale Nachweis der Unterstützung unabhängiger Implementierbarkeit durch die dort entwickelte Theorie. Der Ansatz wurde für synchron kommunizierende Komponenten betrachtet. Datenbehaftete Systeme mit asynchroner Kommunikation sind Gegenstand zukünftiger Untersuchungen.

Des Weiteren wurden modale Ein/Ausgabe-Automaten, die so genannte may/must-Modalitäten in der Spezifikation der Zustandsübergänge erlauben, untersucht. Dazu wurde in BAUER et al. 2010 ein neuer Kompatibilitätsbegriff entwickelt, der es ermöglicht, diese allgemeineren Automaten als formale Grundlage zur Verhaltensspezifikation von Komponenten zu verwenden. Insbesondere haben sich die Ideen modaler Transitionssysteme als geeignete Grundlage für die Untersuchung der Kompatibilität und Verfeinerung asynchron kommunizierender Komponenten erwiesen. Bis zum Abschluss des Projekts wird hierzu eine ausführliche Theorie zur Verfügung stehen.

8. Literatur

- BAUER, S. und HENNICKER R. (2009): Views on Behaviour Protocols and Their Semantic Foundation. Proc. 3rd Conference on Algebra and Coalgebra in Computer Science, Udine, Italy. Volume 5728 of Lecture Notes in Computer Science, S. 367-382, Springer Verlag.
- BAUER, S., HENNICKER R. und JANISCH, S. (2009): Behaviour Protocols for Interacting Stateful Components with Ports. Proceedings of 6th International Workshop on Formal Aspects of Component Software, November 2-3, 2009, Eindhoven.
- BAUER, S., MAYER, P., SCHROEDER, A. und HENNICKER, R. (2010): On Weak Modal Compatibility, Refinement, and the MIO Workbench. 16th International Conference on Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems, March 20-28, 2010, Paphos, Cyprus.
- MAGEE, J. und KRAMER, J. (2006): Concurrency : state models & Java programming. Wiley, Chichester.
- WARMER, J. und KLEPPE A. (2003): The Object Constraint Language - Second Edition. Addison-Wesley.

Modellierung von Wasser- und Energieflüssen an der Landoberfläche mit Fernerkundung

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

1. Überblick

Folgende Bereiche wurden vom Projekt Hydrologie und Fernerkundung während der Berichtsphase (01.05.2009-30.04.2010) schwerpunktmäßig bearbeitet:

- Gekoppelte Modellierung von Landoberflächen- und Atmosphären-Prozessen
- Erstellung von Klimavarianten aus Szenariendaten regionaler Klimamodelle
- Validierung des Erosionsmodells in DANUBIA
- Modellierung von Wasserkraftanlagen zur Simulation der Jahresarbeit
- Implementierung eines Waldbrand-Indikator-Modells
- Auswertung von Ergebnissen der GLOWA-Danube-Szenarien

2. Personelles

Als Doktoranden waren und sind beschäftigt: Daniel Waldmann (seit 16.03.2005, Modellierung der Bodenerosion) und Florian Zabel (seit 01.02.2008, bidirektionale Modellkopplung Landoberfläche - Atmosphäre).

Herr Dr. Thomas Marke (seit 01.03.2005, *Downscaling* Atmosphäre zur Landoberfläche) hat seine Mitarbeit am Teilprojekt Hydrologie und Fernerkundung zum 31.05.2009 beendet.

Frau Dipl.-Geogr. Franziska Koch arbeitet seit dem 01.08.2009 am Themengebiet „Simulation der Wasserkraftanlagen in der Oberen Donau“.

Frau Dipl.-Geogr. Monika Prasch unterstützt das Teilprojekt seit dem 01.01.2010 beim Thema Schneedecken-Modellierung.

Frau Judith Stagl befasste sich im Zeitraum vom 25.01.2010 bis 25.04.2010 mit der Implementierung eines Waldbrand-Indikator-Modells.

3. Meetings im Berichtszeitraum

Neben einer Anzahl von kleineren Treffen innerhalb des Projekts wurden im Berichtszeitraum folgende öffentliche Konferenzen besucht:

- 24.07.2009 Projektleitertreffen, München
- 03.-04.08.2009 Gletscherworkshop Obergurgl, Österreich
- 11.09.2009 GLOWA-Danube *Stakeholder* Konferenz, Wien (Österreich)
- 24.09.2009 Optionsworkshop “Wasserwirtschaft und Energie”, München
- 12.-14.10.2009 Nationale Konferenz von GLOWA-Danube + GLOWA-Elbe, Potsdam
- 08.11.2009 Brahmawinn International Symposium, Kathmandu, Nepal
- 09.11.2009 Optionsworkshop “Wasserwirtschaft, Wasserversorgung und Tourismus”, München
- 13.11.2009 Optionsworkshop “Wasserwirtschaft, Land- und Forstwirtschaft”, München
- 03.-04.12.2009 4. KLIWA-Symposium, Mainz
- 18.02.2010 Workshop „Klimafolgenforschung im Nationalpark Berchtesgaden“
- 08.-09.03.2010 Projektleitertreffen, München
- 14.-16.04.2010 15. Deutsches Talsperrensymposium, Eurogress, Aachen
- 26.04.2010 GLOWA-Danube Regionalkonferenz, Deutsches Museum, München
- 28.-30.04.2010 Workshop „Cold Regions Hydrology“, Innsbruck, Österreich

4. Veröffentlichungen

HANK, T. (2009): Entwicklung der Evapotranspiration heterogener Landoberflächen unter Szenariobedingungen. In: GLOWA-Danube-Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, Kapitel 3.1.6, LMU München.

HEINZELLER, C. (2009): Grundwasserneubildung unter Szenariobedingungen. In: GLOWA-Danube-Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, Kapitel 3.1.7, LMU München.

KOCH, F., REITER, A. und BACH, H. (2010): Wasserkraftwerke. In: GLOWA-Danube-Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, Kapitel 1.19, LMU München.

KOCH, F., REITER, A. und BACH, H. (2010): Simulation der Jahresarbeit von Wasserkraftwerken und Talsperrenbewirtschaftung. In: GLOWA-Danube-Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, Kapitel 2.7.1, LMU München.

KOCH, F., REITER, A. und BACH, H. (2010): Auswirkungen des Klimawandels auf die Energiegewinnung aus Wasserkraft und auf die Talsperrenbewirtschaftung. In: GLOWA-Danube-Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, Kapitel 3.2.1, LMU München. In: GLOWA-Danube-Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, Kapitel S 3, LMU München.

- MAUSER, W. (2010): Validierung der hydrologischen Modellierung in DANUBIA. In: GLOWA-Danube-Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, Kapitel E 4, LMU München.
- MAUSER, W. (2009): Der statistische Klimaantriebs-Generator. In: GLOWA-Danube-Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, Kapitel S 3, LMU München.
- MAUSER, W. (2009): Die GLOWA-Danube Klimavarianten aus dem statistischen Klimaantriebs-Generator. In: GLOWA-Danube-Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, Kapitel S 4, LMU München.
- MAUSER, W. (2009): Szenarien zur Entwicklung des Hochwassers an der Oberen Donau. In: GLOWA-Danube-Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, Kapitel 3.1.3, LMU München.
- MAUSER, W. und BACH, H. (2009): PROMET – a physical hydrological model to study the impact of climate change on the water flows of medium sized, complex watersheds. *Journal of Hydrology* 376 (3-4), S. 362-377.
- MAUSER, W., ZABEL, F., MARKE, T. und REITER, A. (2009): Szenarien zur Entwicklung des Niedrigwassers an der Oberen Donau. In: GLOWA-Danube-Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, Kapitel 3.1.2, LMU München.
- MUERTH, M. (2009): Szenarien zur Temperatur der obersten Bodenschicht. In: GLOWA-Danube-Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, Kapitel 3.3.2, LMU München.
- MUERTH, M. und MAUSER, W. (2010): Soil temperature and regional climate change - Part 1: Validation of a process-based heat transfer module. *Agricultural & Forest Meteorology*, submitted.
- MUERTH, M., HANK, T., HEINZELLER, C. und MAUSER, W. (2010): Soil temperature and regional climate change - Part 2: Potential impacts on the Upper Danube region. *Agricultural & Forest Meteorology*, submitted.
- PRASCH, M. und MAUSER, W. (2009): Globaler Wandel des Wasserkreislaufs am Beispiel der Oberen Donau, In: Arbeitskreis KLIWA (Hrsg.): 4. KLIWA-Symposium am 3. und 4.12.2009 in Mainz, KLIWA-Berichte.
- STAGL, J., PRASCH, M. und WEIDINGER, R. (2010): Klimatisches Waldbrandrisiko. In: GLOWA-Danube-Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, Kapitel 3.3.5, LMU München.
- WALDMANN, D. (2010): Large-scale process-oriented modelling of soil erosion by water in complex watersheds. Dissertation der Fakultät für Geowissenschaften, Digitale Hochschulschriften der LMU München, 227 S. (eingereicht).
- ZABEL, F. (2009): Änderung des Wasserhaushalts im Zuge des Klimawandels. In: GLOWA-Danube-Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, Kapitel 3.1.1, LMU München.

5. Kurzfassungen, Vorträge und Posterpräsentationen:

- BACH, H., OHL, N., APPEL, F., KOCH, F. und MAUSER, W. (2010): Runoff and Hydropower Modeling based on Operational Snow Cover Mapping from Polar View Snow Service. Abstract, Workshop „Cold Regions Hydrology“, Innsbruck (mit Poster).

- KOCH, F., BACH, H. und MAUSER, W. (2010): Climate Change effects on hydro-power plants in the Upper Danube watershed. Abstract, HydroPredict 2010, Prag, Tschechien (mit Vortrag).
- KOCH, F., BACH, H. und MAUSER, W. (2010): Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserkraft im Einzugsgebiet der Oberen Donau. Abstract, Workshop der AG Hydrologische Modellierung (mit Vortrag).
- Mauser, W. (2009): Vom globalen Klimawandel zum regionalen Klimaantrieb. Nationale Konferenz von GLOWA-Danube + GLOWA-Elbe, Potsdam (Vortrag).
- MAUSER, W. (2009): Die Natur in DANUBIA. Nationale Konferenz von GLOWA-Danube und GLOWA-Elbe, Potsdam (Vortrag).
- MAUSER, W. (2010): Regionale Auswirkungen des Klimawandels im Gebiet der Oberen Donau - Klima und Gesellschaft. GLOWA-Danube Regionalkonferenz, München (Vortrag).
- MAUSER, W. und PRASCH, M. (2009): Globaler Wandel des Wasserkreislaufs am Beispiel der Oberen Donau, In: Arbeitskreis KLIWA (Hrsg.): 4. KLIWA-Symposium am 3. und 4.12.2009 in Mainz, KLIWA-Berichte (Vortrag).
- MAUSER, W. und STÖBER, S. (2010): Climate Change and Extreme Events: Scenarios of changing flood frequencies in the Upper Danube River basin. Abstract, HydroPredict 2010, Prag, Tschechien (mit Vortrag).
- MAUSER, W., PRASCH, M., WEBER, M., KUHN, M., BARTHEL, R. und BACH, H. (2009): Modellierung des Wasserhaushalts. Nationale Konferenz von GLOWA-Danube und GLOWA-Elbe, Potsdam (Poster).
- MAUSER, W., PRASCH, M., WEBER, M., KUHN, M., BARTHEL, R. und BACH, H. (2010): Modellierung des Wasserhaushalts. Regionalkonferenz GLOWA-Danube, München (Poster).
- MAUSER, W., PRASCH, M., REITER, A., MUERTH, M., WEBER, M., KUHN, M. und BARTHEL, R. (2009): Wasserhaushalt und Energie. Nationale Konferenz von GLOWA-Danube und GLOWA-Elbe, Potsdam (Poster).
- MAUSER, W., PRASCH, M., REITER, A., MUERTH, M., WEBER, M., KUHN, M. und BARTHEL, R. (2010): Wasserhaushalt und Energie. Regionalkonferenz GLOWA-Danube, München (Poster).
- MUERTH, M., HANK, T. und MAUSER, W. (2010): Potential effect of changing soil temperature within an integrated biophysical-hydrological modelling system. Geophysical Research Abstracts, Vol. 12, EGU2010-9181, EGU General Assembly 2010, Wien (mit Poster).
- MUERTH, M., HANK, T. und MAUSER, W. (2010): Effects of potential climate change on soil water content and evapotranspiration - A study in the Upper Danube basin. Abstract, Water 2010 Conference, Montreal, PQ, Kanada (mit Vortrag).
- MUERTH, M., MAUSER, W. und HEINZELLER, C. (2010): Impact of potential climate change on plant available soil water and percolation in the Upper Danube basin. Abstract, HydroPredict 2010, Prag, Tschechien (mit Vortrag).
- PRASCH, M. (2009): Wasserhaushalt - Wasserkraft. Nationale Konferenz von GLOWA-Danube und GLOWA-Elbe, Potsdam (Vortrag).
- PRASCH, M. (2010): Regionale Auswirkungen des Klimawandels im Gebiet der Oberen Donau - Wasserhaushalt, Energie und Infrastruktur. GLOWA-Danube Regionalkonferenz, München (Vortrag).

- PRASCH, M., MARKE, T., WEBER, M., STRASSER, U. und MAUSER, W. (2009): Using the hydrological model DANUBIA for water availability scenarios in the Upper Brahmaputra basin. Brahmatwinn International Symposium, Kathmandu, Nepal. (Vortrag)
- PRASCH, M., WEBER, M. und MAUSER, W. (2010): GLOWA-Danube und die Supertestsite Nationalpark Berchtesgaden, Abstract zum Workshop „Klimafolgenforschung im Nationalpark Berchtesgaden“ (mit Vortrag).
- WALDMANN, D. und MAUSER, W. (2010): Large-scale modelling of soil erosion by water and potential Global Change impacts in the Upper Danube basin. Abstract, HydroPredict 2010, Prag, Tschechien (mit Vortrag).
- ZABEL, F., WASTL, C., PFEIFFER, A., MARKE, T., ZÄNGL, G. und MAUSER, M. (2010): Two-way coupling the hydrological model PROMET with the regional climate model MM5. Geophysical Research Abstracts, Vol. 12, EGU2010-3140, EGU General Assembly 2010, Wien (mit Vortrag).

6. Gekoppelte Modellierung von Landoberflächen- und Atmosphärenprozessen

6.1 Einleitung

Neben Klimastationsdaten stehen für die Komponente *Landsurface* in DANUBIA auch Ausgaben von Atmosphärenmodellen als Input zur Verfügung. Sie bieten neben dem statistischen Klimaantriebsgenerator eine weitere Möglichkeit, GLOWA-Danube-Szenarien® zu erstellen. Das Programm SCALMET (Model to SCALe METeorological Variables; MARKE 2008) wurde entwickelt, um einen Antrieb des Landoberflächenmodells durch verschiedene Klimamodelle zu ermöglichen. Kernstück von SCALMET ist das *Downscaling* der meteorologischen Größen von deren ursprünglicher Auflösung auf die höher aufgelöste Landoberfläche (1x1km).

Es ist in SCALMET zusätzlich möglich, im Zwei-Wege-Modus die Modelle der Landoberfläche und der Atmosphäre zu koppeln. Dabei werden die Energieflüsse der Landoberfläche zurück an das regionale Klimamodell gegeben. Somit profitiert das regionale Klimamodell von der räumlich hoch aufgelösten Landoberfläche. Es ist mit der Zwei-Wege-Kopplung nicht nur möglich, die Reaktion der Landoberfläche auf die Veränderungen in der Atmosphäre zu modellieren, sondern auch die dadurch stattfindenden Rückkopplungseffekte mit der Atmosphäre zu simulieren. Die Zwei-Wege-Modellkopplung kann somit dazu beitragen, das Verständnis für Rückkopplungen im komplexen System von Atmosphäre und Landoberfläche zu verbessern.

6.2 Entwicklungen 2009

Die Entwicklungen im Projektjahr 2009 konzentrierten sich vorwiegend auf die Weiterentwicklung der Zwei-Wege-Kopplung.

Für eine feinere Abstimmung zwischen den Modellen wurde der Austausch vom Landoberflächenmodell zum regionalen Klimamodell ergänzt. So wird nun zusätzlich zum fühlbaren Wärmestrom, zum latenten Wärmestrom, zur langwelligen- und kurzwelligen Ausstrahlung und zum Impulsfluss, die Strahlungstemperatur übergeben. Sie dient dem regionalen Klimamodell dazu, eine geeignete Grenzschichtparametrisierung zu wählen. Geeignete Mechanismen zum Hochskalieren der Strahlungstemperatur von 1km auf die Rasterweite des regionalen Klimamodells MM5 (45km) wurden in SCALMET implementiert. Nachdem die Zwei-Wege-Modellkopplung technisch funktionierte, wurde der Zeitschritt von 60 Minu-

ten, auf 9 Minuten erhöht. Das neue Kopplungsintervall von 9 Minuten (540 Sekunden) ergibt sich aus einem vielfachen des MM5-internen Zeitschritts von 135 Sekunden. Diese Umstellung erforderte eine umfangreiche Anpassung der Modelle SCALMET und DANUBIA-Light (hydrologischen Modellkomponente in DANUBIA).

Bisher wurde im Zwei-Wege-Modus auf ein „Downscaling“ verzichtet und lediglich eine Interpolation von 45km auf 1km vorgenommen, um die unterschiedlichen Skalen der Modelle zu überbrücken. Die Umstellung auf individuelle Downscaling-Optionen, je nach meteorologischer Größe für das gesamte Rechengebiet (im Zwei-Wege-Modus: 1170 x 1170km) führte zu deutlichen Verbesserungen der meteorologischen Eingaben für DANUBIA-Light.

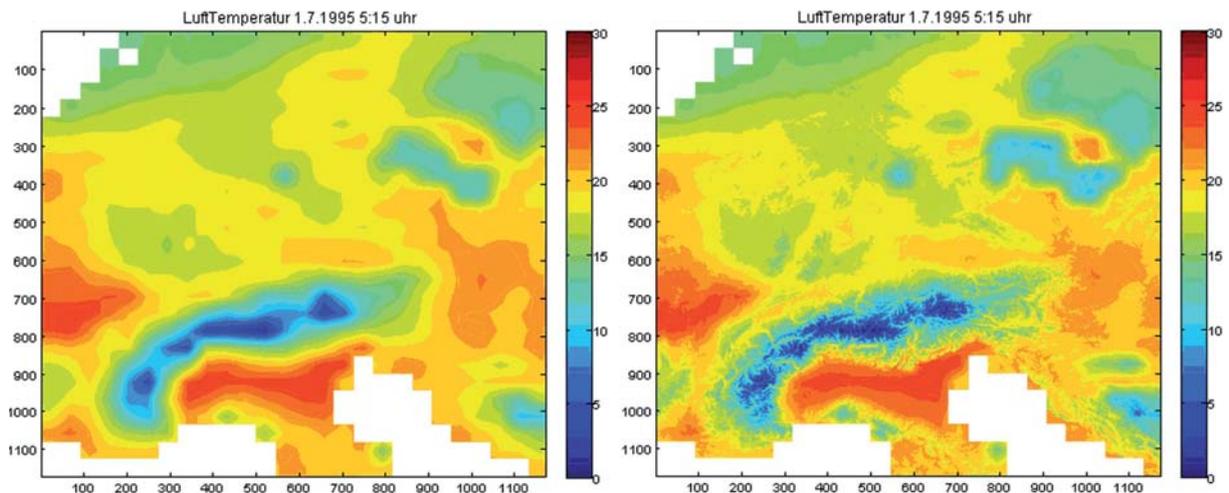


Abb. 1: Lufttemperatur zu einem Rechenzeitschritt auf 1km Auflösung direkt interpoliert (links) und Downscaling mit Regression (rechts)

So wird z.B. die Temperatur durch einen dynamisch berechneten Höhengradienten für jeden Zeitschritt neu berechnet. Dies geschieht mit Hilfe einer Regressionsanalyse, die aus den Daten des regionalen Klimamodells für jeden Zeitschritt erstellt wird. Um für das sehr große Rechengebiet unterschiedliche Gradienten zu erhalten, können unterschiedlich große Regressionsfenster für die Analyse benutzt werden. Bei allen verwendeten Downscaling-Verfahren ist die Erhaltung von Energie und Masse gewährleistet (MARKE 2008).

Es zeigte sich, dass für lange Simulationsläufe eine Recoveryfähigkeit der beteiligten Modelle notwendig ist. Die Modelle wurden dahingehend erweitert, dass ein aufeinander abgestimmtes Recovery im Zwei-Wege-Modus möglich ist. Testläufe über einzelne Monate wurden im Zwei-Wege-Modus bereits erstellt - vor allem zum Testen verschiedener Downscaling-Optionen.

Ein Lauf über mehrere Jahre wurde bereits gestartet. Die Ergebnisse dieses Laufs für das Simulationsjahr vom 01.07.1995 bis 01.07.1996 sind bereits ausgewertet. In diesem voll gekoppelten Lauf erfolgt der Antrieb des regionalen Modells MM5 mit Hilfe von ERA-40 Reanalysedaten. Bei einem Vergleich der Verdunstung desselben Zeitraums von dem MM5-internen Landoberflächenmodul im nichtgekoppelten Modus, mit der Verdunstung von DANUBIA-Light im voll gekoppelten Modus auf der groben Auflösung des regionalen Klimamodells MM5 von 45 km, zeigt sich, dass die zeitlichen Verläufe über das Jahr, sowie die Größenordnung der Verdunstung gut zueinander passen (siehe Abb. 2). Im Detail sind dennoch deutliche Unterschiede zu erkennen, wofür u.a. die unterschiedlichen Landoberflächen der beiden Modelle und deren Parametrisierungen verantwortlich sind. Im Jahresmittel liegt der latente Wärmestrom (latent heatflux) von MM5 ($39,9 \text{ W/m}^2$) leicht höher als der von PROMET ($37,9 \text{ W/m}^2$).

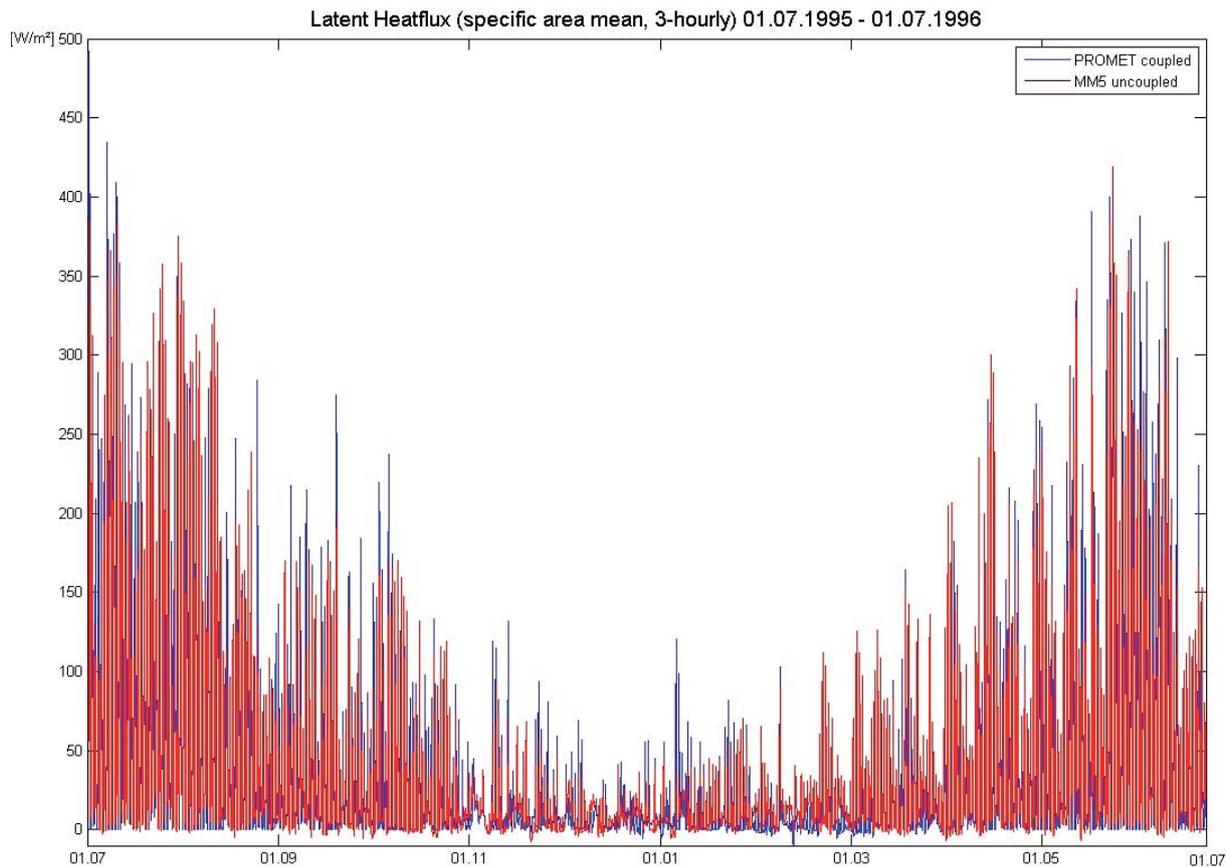


Abb. 2: Latenter Wärmestrom der Modelle MM5 (ungekoppelt) und DANUBIA-Light im voll gekoppelten Modus. Abgebildet sind 3h Mittelwerte vom 01.07.1995 bis zum 01.07.1996

7. Erstellung von Klimavarianten aus Szenarien der regionalen Klimamodelle MM5 und REMO

Zusätzlich zu den Klimavarianten, die mit Hilfe des Klimaantriebsgenerators aus den Trends der regionalen Klimamodelle erstellt wurden, bot das GLOWA-Danube Projekt dank seiner Projektpartner die Möglichkeit, direkt auf Klimaszenario-Daten der regionalen Klimamodelle MM5 sowie REMO zurückzugreifen. Die modellbedingt überschätzten Niederschläge in den meteorologischen Simulationen beider regionalen Klimamodelle führten jedoch zu einer deutlichen Abflussüberschätzung. Erst durch Hinzunahme einer Bias-Korrektur in die Skalierung, konnte der tatsächliche Verlauf der Dauerganglinie am Auslass realitätsnah modelliert werden. Die korrigierten Datensätze ergänzen entsprechend der Szenariomatrix in GLOWA-Danube (siehe Bericht des Teilprojekts Koordination) die Klimavarianten mit den Bezeichnungen *MM5 skaliert & biaskorrigiert* sowie *REMO skaliert & biaskorrigiert*. MM5 skaliert & biaskorrigiert zeigt von 1990 bis ins Jahr 2100 eine mittlere Temperaturerhöhung von 4,7°C im Einzugsgebiet der Oberen Donau, REMO skaliert & biaskorrigiert eine Erhöhung um 5,2°C (siehe Abb. 3). Die zeitlichen Verläufe der Temperatur der beiden Klimavarianten sind sehr ähnlich, da der Antrieb durch das globale Klimamodell ECHAM-5 der Gleiche ist. Die linearen Trends der Niederschlagsentwicklung im Einzugsgebiet der Oberen Donau zeigen im Fall beider Klimavarianten eine Abnahme der Jahresniederschläge bis zum Jahr 2100 (siehe Abb. 3). Im Fall von s24 MM5 skaliert & biaskorrigiert, fällt die Abnahme mit -6,2% jedoch geringer aus als bei *REMO skaliert & biaskorrigiert* (-12,4%).

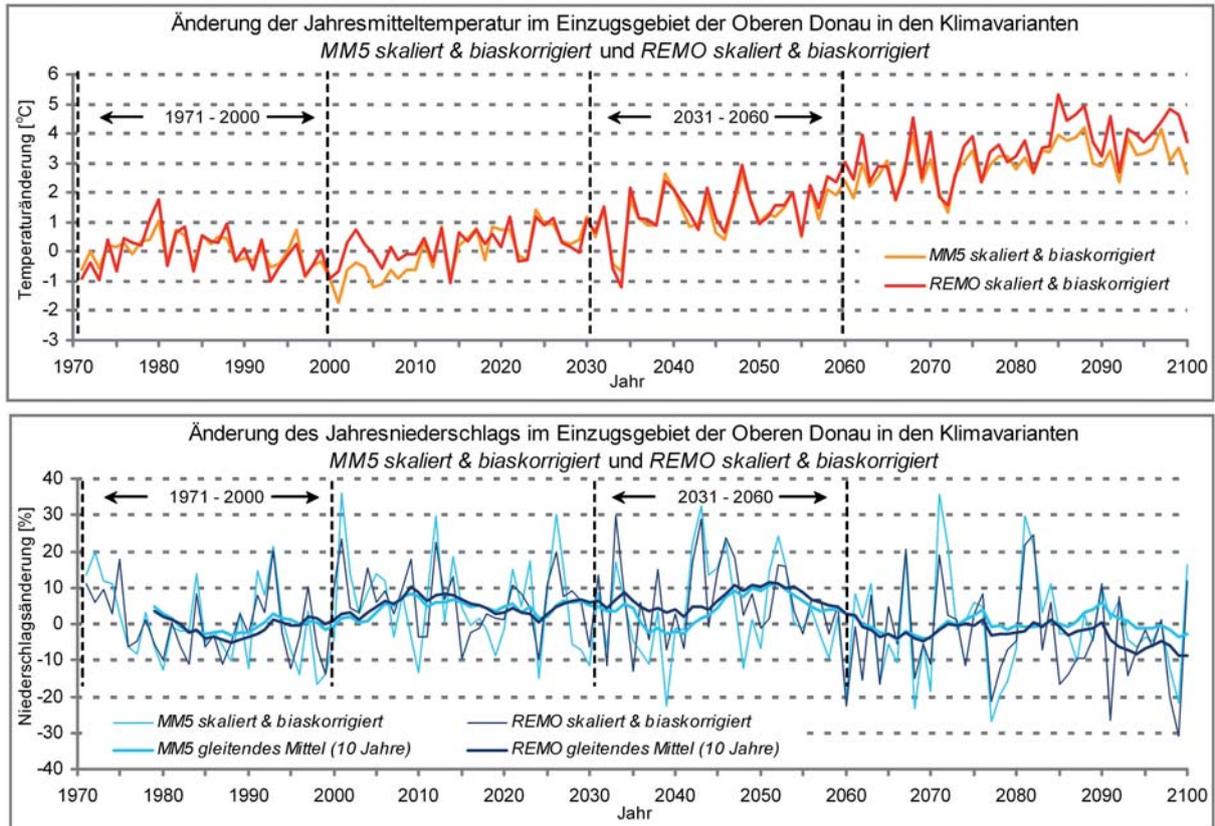


Abb. 3: Entwicklung des Klimaänderungssignals von Temperatur und Niederschlag über die Jahre 1971 bis 2100 nach den skalierten und biaskorrigierten Berechnungen der regionalen Klimamodelle MM5 und REMO

Die Änderungen des Wasserhaushalts wurden u.a. mit den aus den Klimamodellen erstellten Klimavariablen ausgewertet (siehe Abb. 4). Für den Prognosezeitraum bis 2060 zeigt der mit Ergebnissen der skalierten und biaskorrigierten regionalen Klimamodelle simulierte Trend der mittleren jährlichen Abflüsse eine Abnahme sowohl für *REMO skaliert & biaskorrigiert* als auch für *MM5 skaliert & biaskorrigiert*. Da die Ergebnisse der regionalen Klimamodelle bis 2100 vorliegen, wurde der Verlauf des mittleren Abflusses bis 2100 ergänzt. Man erkennt deutlich, dass bedingt durch den Antrieb der regionalen Klimamodelle mit dem globalen Klimamodell ECHAM5 (Simulation A1B, Member 1) ab 2060 ein sprunghafter Abfall des jährlichen MQ stattfindet. Von 2011 bis 2100 reduziert sich der MQ in Achleiten für die Klimavariante *REMO skaliert & biaskorrigiert* um $560\text{m}^3/\text{s}$ bzw. für die Klimavariante *MM5 skaliert & biaskorrigiert* um $450\text{m}^3/\text{s}$.

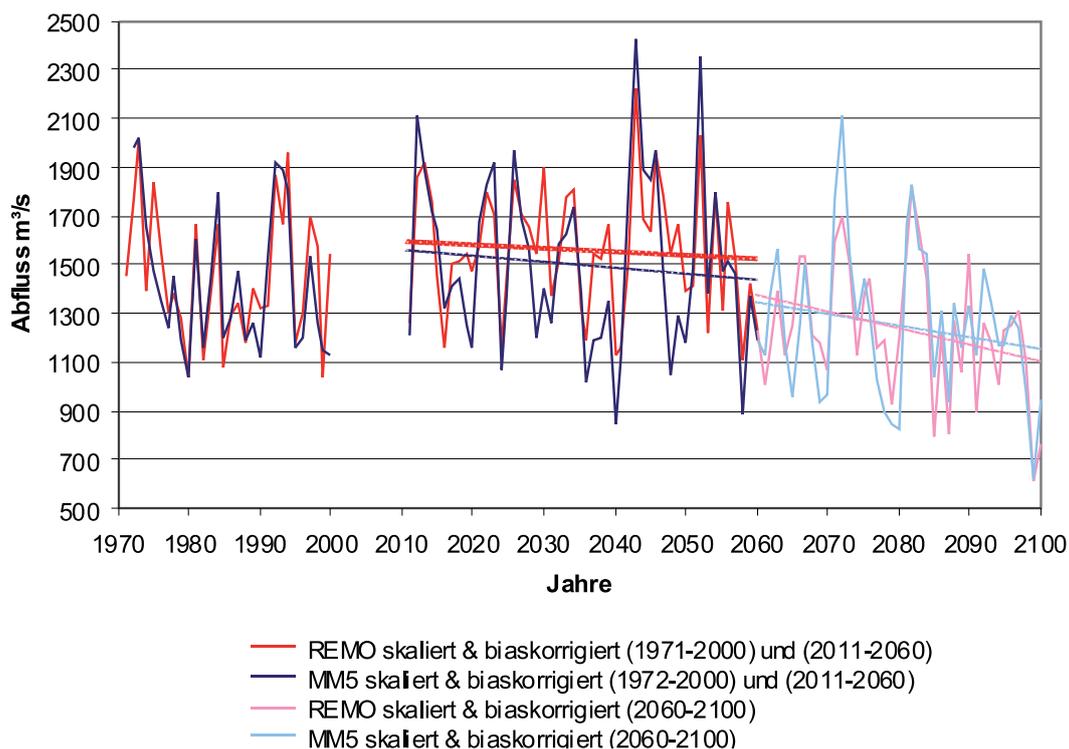


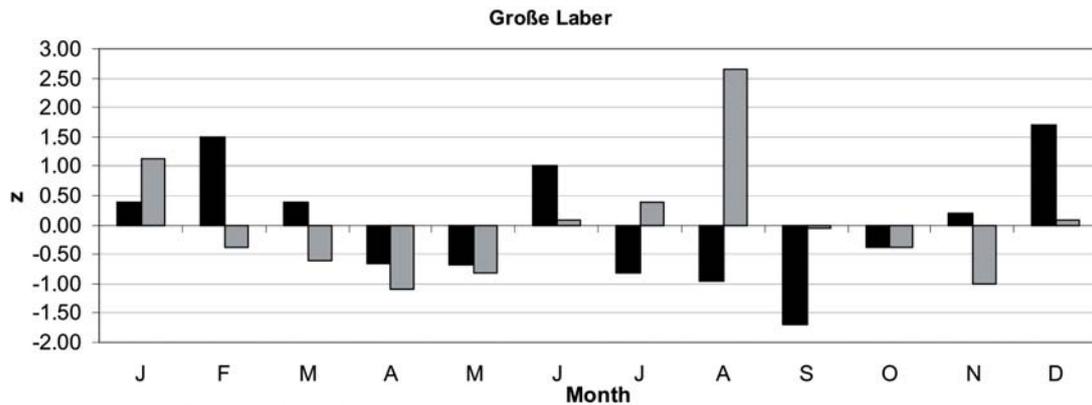
Abb. 4: Mittlerer jährlicher Abfluss (MQ) am Pegel Achleiten unter Verwendung der Klimavarianten *MM5 skaliert & biaskorrigiert* und *REMO skaliert & biaskorrigiert*

Ausführliche Beiträge über die Erstellung der Klimavarianten, sowie die Auswertungen der Klimavarianten wurden 2009 im Global Change Atlas Obere Donau in Zusammenarbeit mit anderen Projektgruppen verfasst.

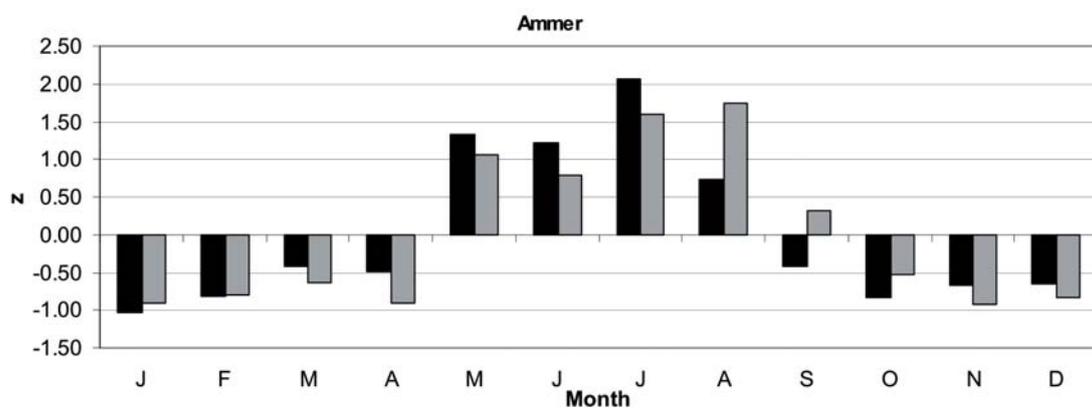
8. Validierung des Erosionsmodells

Die im Rahmen der Erosionsmodellierung laufenden Arbeiten konnten im letzten Berichtszeitraum weitestgehend abgeschlossen werden. Die integrierte Erosionskomponente konnte erfolgreich im Einzugsgebiet der Oberen Donau angewendet werden.

Es wurde eine Parametrisierung für das gesamte Einzugsgebiet entwickelt. Eine Evaluierung des Modells erfolgte anhand der Schwebstoffdaten des Projektpartners LfU. Zusätzlich wurde eine ereignisbasierte Untersuchung der zeitlichen Muster des Bodenabtrags in den Teileinzugsgebieten der Großen Laber und der Ammer vorgenommen, welche zeigte, dass die erosionswirksamen Faktoren vom Modell abgebildet werden können. Die Berücksichtigung von Prozessen wie z.B. den Einfluss der Bodengefrorenis oder der Durchwurzelung auf die Stabilität des Bodengefüges, ermöglicht die Reproduktion der zeitlichen Muster, der an den Pegeln gemessenen Schwebstofffrachten. Eine langjährige Evaluierung von 1990–2005 der beiden Teileinzugsgebiete konnte dies bestätigen. Abbildung 5 zeigt die standardisierten mittleren monatlichen Schwebstoffeinträge und die modellierten Bodenabträge. Während mit der verwendeten Modellparametrisierung die Abtragsdynamik in der Ammer relativ gut abgebildet werden kann, zeigen sich bei der Großen Laber deutliche Abweichungen. Diese sind größtenteils darauf zurückzuführen, dass das Erosionsmodell eine starke Abhängigkeit von externen Eingabegrößen wie z.B. dem Oberflächenabfluß aufweist. Analysen ergaben, dass letztere in dem landwirtschaftlich stark genutzten Gebiet der Großen Laber von den zugehörigen Teilmodellen leider nicht mit ausreichender Güte ausgegeben werden, was die korrekte Berechnung des Bodenabtrags im Teileinzugsgebiet verhindert.



(a) Große Laber watershed



(b) Ammer watershed

Abb. 5: Standardisierte, langjährige (1990-2005) mittlere monatliche Schwebstoffeinträge (schwarz) und modellierte Bodenabträge (grau) im den Einzugsgebieten der Großen Laber und der Ammer

Um die räumlichen Muster des Bodenabtrags beurteilen zu können, wurde ein Simulationslauf über das gesamte Einzugsgebiet der Oberen Donau von 1961-2005 durchgeführt (siehe Abb. 6). Diese Muster wurden mit Literaturwerten und den Ergebnissen andere Studien (u.a. PESERA (KIRBY et. al 2004)), Atlas der Erosionsgefährdung in Bayern (AUERSWALD und SCHMIDT 1986), ABAG (eigene Berechnung nach SCHWERTMANN 1981) verglichen, und stimmen mit diesen größtenteils überein (siehe Abb. 7).

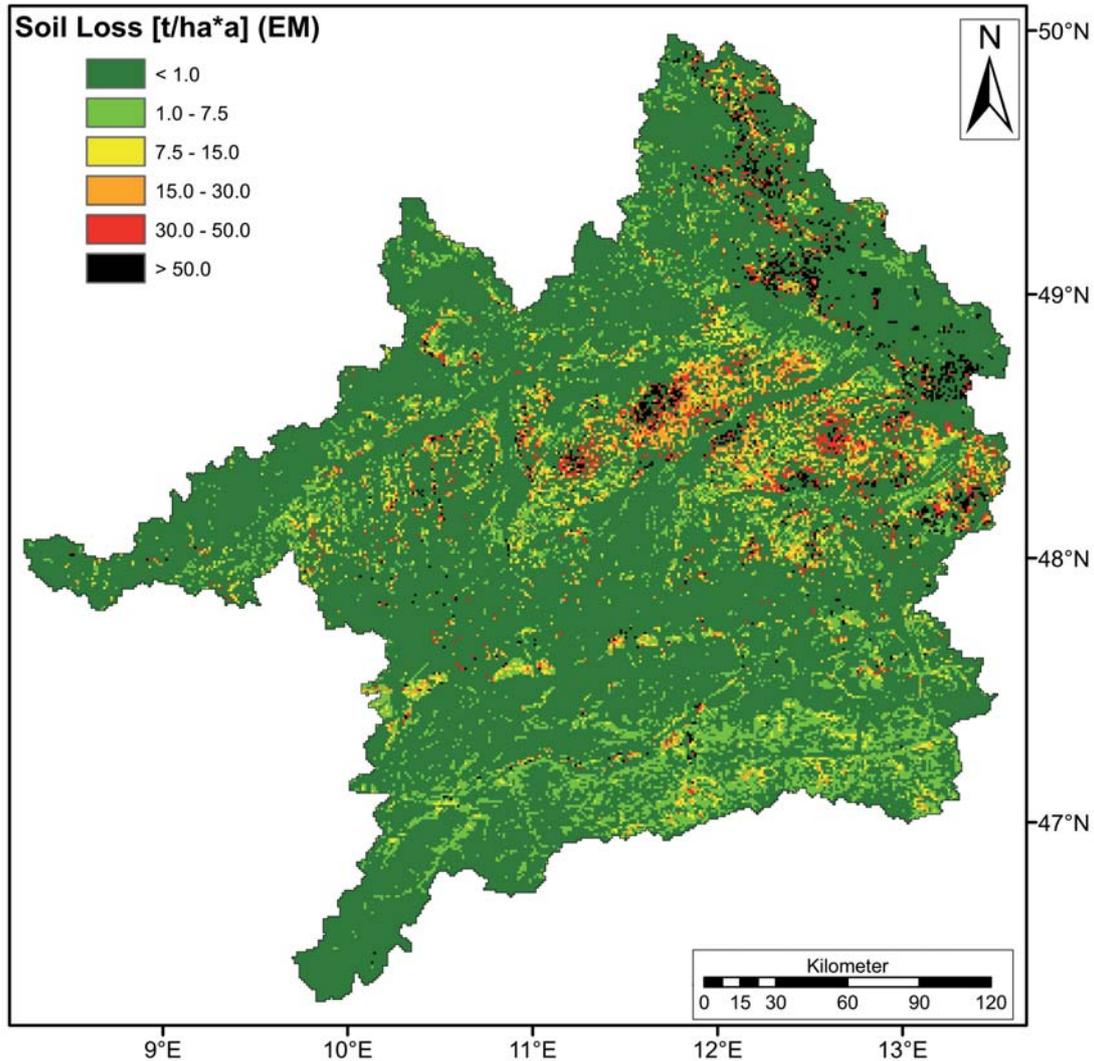


Abb. 6: Mittlerer langjähriger (1961-2005) Bodenabtrag [t/ha] im Einzugsgebiet der Oberen Donau, simuliert mit dem Erosionsmodul von DANUBIA

Die Validierung von Monatsmittelwerte über die Jahre 1990-2005 mit Hilfe der Schwebstoffdaten des LfU, führte zu guten Ergebnissen (siehe Tab. 1). Die Ergebnisse weisen in den ackerbaulich gering genutzten Einzugsgebieten hohe Werte des Bestimmtheitsmaßes auf, wohingegen die stark landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebiete schlechter abschneiden. Dies ist auf die schwierige Abbildung der anthropogenen Eingriffe (Ernte, Pflügen, konservierende Maßnahmen) zurückzuführen.

Tab. 1: Bestimmtheitsmaße der ausgewerteten Teileinzugsgebiete (monatliche Mittelwerte der Jahre 1990-2005). Verglichen wurde der modellierte Abtrag mit gemessenen Schwebstoffeinträgen an den Pegeln

TEZG	Ammer	Große Laber	Naab	Glonn	Iller	Inn	Saalach	Inn
Pegel	Weilheim	Hohenkammer	Duggendorf	Hohenkammer	Kempton	Oberaudorf	Unterjettenberg	Ingling
R2	0.8	0.09	0.38	0.26	0.46	0.3	0.56	0.48

Hinsichtlich des Kaskadenmodells zur zeitlichen Disaggregation des Niederschlags lässt sich sagen, dass dieses, wie erwartet, deutliche Auswirkungen auf das Erosionsmodell hat. So können ohne Verwendung des Kaskadenmodells nahezu keine erosiven Ereignisse modelliert werden, wohingegen die Einbindung des Modells zu höheren Oberflächenabflüssen

und damit Bodenabträgen führt. Die modellierten Abträge bilden dadurch in ihrer zeitlichen Dynamik die gemessenen Schwebstoffeinträge in die Gewässer ab.

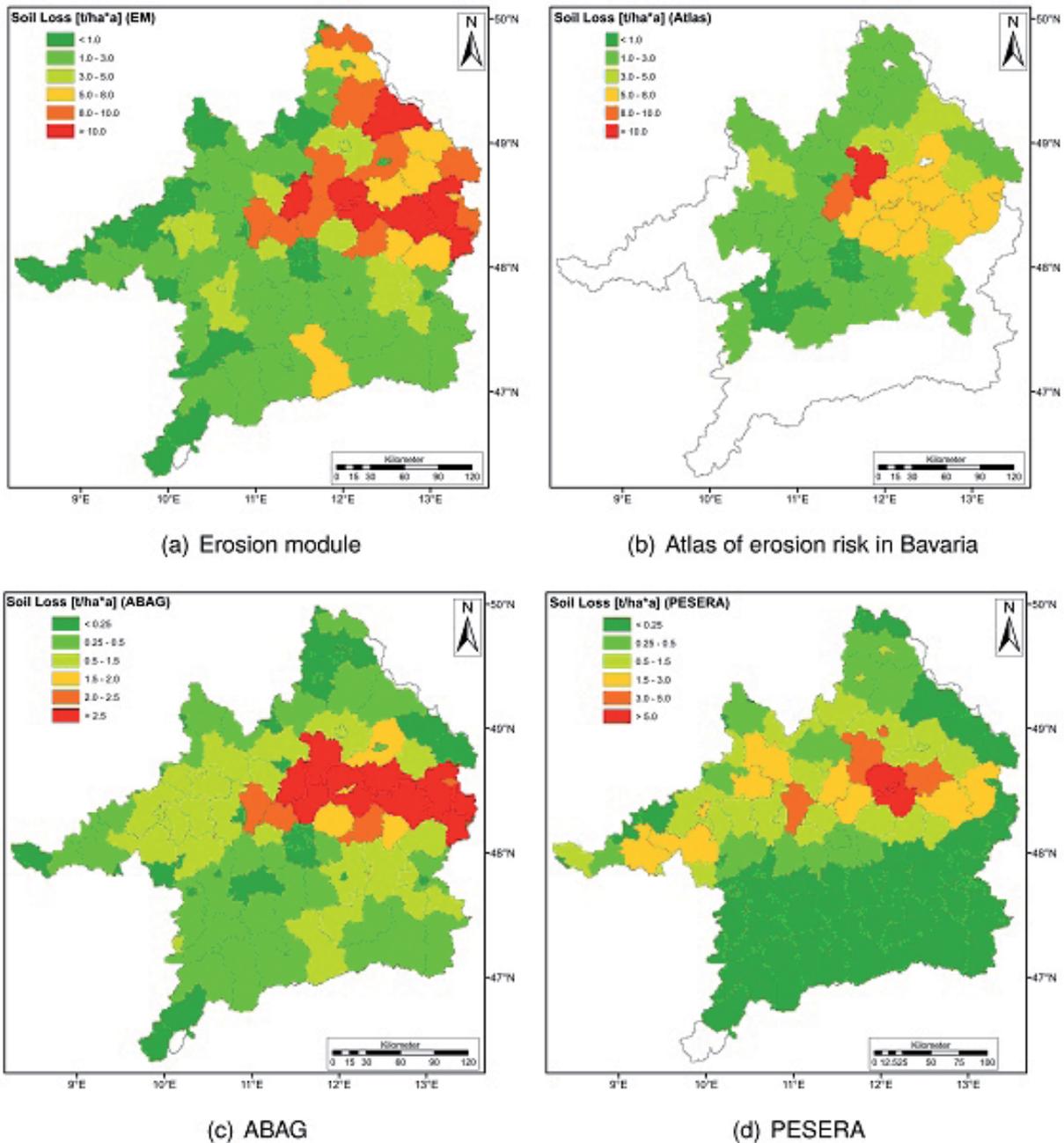


Abb. 7: Mittlerer jährlicher Bodenabtrag [t/ha] je Landkreis im Einzugsgebiet der Oberen Donau

9. Modellierung von Wasserkraftanlagen

Im Berichtszeitraum wurde im Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung die Komponente Wasserkraft in DANUBIA ergänzt und stetig ausgebaut, die die Leistung für jedes betrachtete Wasserkraftwerk pro Zeitschritt berechnet. Es wurden nahezu alle größeren Wasserkraftanlagen mit einer Engpassleistung von mindestens 5 MW im Einzugsbereich der Oberen Donau implementiert und deren Jahresarbeit modelliert. Insgesamt sind dies 17 Speicherkraftwerke, meist im hochalpinen, südlichen Bereich des Untersuchungsgebiets und 115 Laufwasser-

kraftwerke an der Donau und den größeren Nebenflüssen Inn, Salzach, Isar, Lech und Iller sowie an deren Ausleitungsstrecken und Kanälen.

Bei der Energieerzeugung aus Wasserkraft spielen v.a. Fallhöhe und Abflussmenge eine wichtige Rolle, wobei potentielle und kinetische Energie genutzt werden. Die Parameterangaben zu Fallhöhe, Abflussmenge und Effizienz dienen zur Simulation der Leistung der jeweiligen Wasserkraftanlage, welche sich mit folgender Formel berechnen lässt (STROBL und ZUNIC 2006):

$$P = \eta \cdot \rho \cdot Q \cdot g \cdot H [W]$$

- η = Gesamtwirkungsgrad
- ρ = Dichte des Wassers [kg/m^3]
- Q = Abfluss [m^3/s]
- g = Erdbeschleunigung [m/s^2]
- H = Fallhöhe [m]

Abbildung 8 und Abbildung 9 zeigen schematisch die Modellabbildung der Energieproduktion in Abhängigkeit des Abflusses für Laufwasser- und Speicherkraftwerke. Ab einem festgelegten minimalen Abfluss Q_{min} , der auch gesetzlich geregelte Restwasserabgaben beinhaltet, beginnen die im Modell implementierten Laufwasserkraftwerke mit der Energieerzeugung. Die Leistung nimmt mit zunehmendem Abfluss bis zum Ausbauabfluss Q_{opt} zu, bei dem schließlich die maximale Leistung P_{max} und der maximale Turbinendurchfluss erreicht werden (siehe Abb. 8). Die Laufwasserkraftwerke produzieren weiterhin bis zu einem festgelegten maximalen Abfluss Q_{max} im Gewässer Energie, allerdings vermindert sie sich, da im Unterwasser der Wasserspiegel theoretisch ansteigt und somit die Fallhöhe reduziert wird. Bei extremen Hochwasserereignissen wird ab Q_{max} die Produktion eingestellt, um den Schutzmechanismus der Anlagen vor Hochwasserschäden zu simulieren.

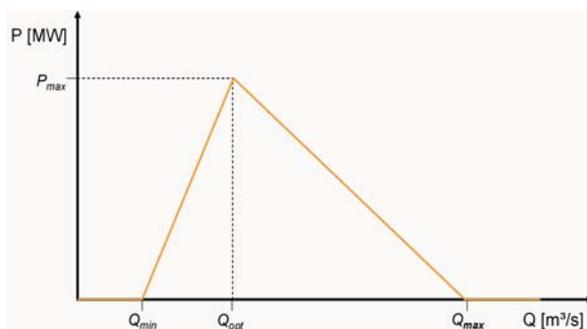


Abb. 8: Schematische Darstellung des modellierten Zusammenhangs zwischen Durchfluss und elektrischer Leistung eines Laufwasserkraftwerks

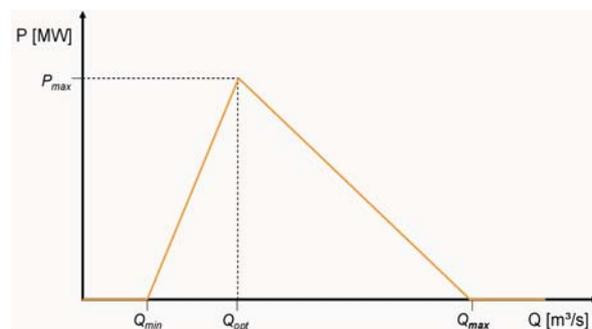


Abb. 9: Schematische Darstellung des modellierten Zusammenhangs zwischen Durchfluss und elektrischer Leistung eines Speicherkraftwerks

Bei Speicherkraftwerken ist die Funktionsweise mit einer Leistungssteigerung bis zum Ausbauabfluss im Modell identisch (siehe Abb. 9). Die maximale Leistung wird allerdings bei ansteigendem Abfluss, der über dem Ausbauabfluss liegt, auf einem konstanten Niveau gehalten, da die Höhendifferenz meist so groß ist, dass der Anstieg im Unterwasser keine Rolle spielt. Ab einem festgelegten maximalen Abfluss wird die Energieerzeugung v.a. wegen des Hochwasserschutzes eingestellt.

Integriert man die erbrachte Leistung über ein Jahr, erhält man die Jahresarbeit der Anlage. Für den Zeitraum 2000 bis 2006 wurde die mittlere simulierte Jahresarbeit aller Anlagen mit der von den Betreibern angegebenen Regeljahresarbeit mit einem Bestimmtheitsmaß

von über 0.9 validiert (siehe Abb. 10). Ein relatives Maß für die Wasserkraftproduktion ist die Hydraulizität, die das Verhältnis der simulierten Arbeit für ein bestimmtes Jahr zum langjährigen Mittel darstellt (siehe Abb. 11). Der tendenzielle Anstieg der simulierten Jahresarbeit ist darauf zurückzuführen, dass im Laufe der Zeit immer mehr Kraftwerke an das Stromnetz angeschlossen wurden und somit auch in das Modell zur Simulation aufgenommen wurden.

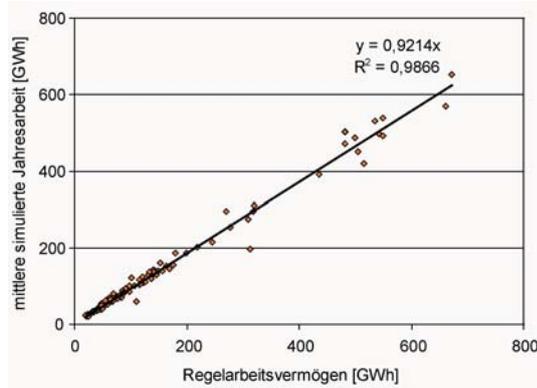


Abb. 10: Validierung der Wasserkraftanlagen der simulierten Jahresarbeit der Wasserkraftanlagen für den Zeitraum 2000 bis 2006

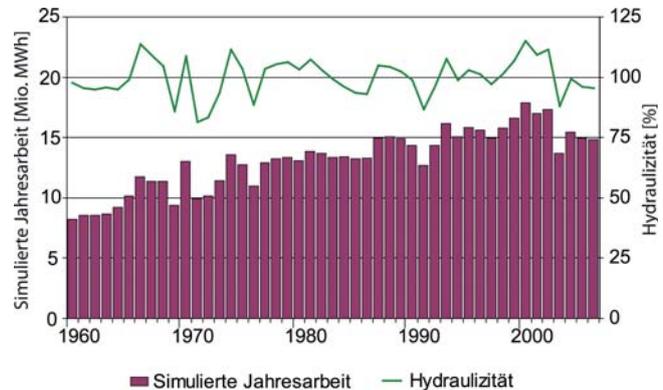


Abb. 11: Hydraulizität und simulierte Jahresarbeit der Energieproduktion aus Wasserkraft für die Zeitspanne 1960 bis 2006 im Einzugsgebiet der Oberen Donau

Im Folgenden wurde die simulierte Jahresarbeit für die zwei Zukunftszeiträume 2011-2035 und 2036-2060 für die 16 GLOWA Danube Klimavarianten ermittelt. Alle Klimavarianten deuten in Zukunft auf eine mehr oder weniger gravierende Abnahme der Energieerzeugung aus Wasserkraft im Vergleich zum gewählten Referenzzeitraum 1971-2000 hin, die v.a. auf eine Verringerung der Abflüsse zurückzuführen ist. Beispielsweise für das Klimaszenario *REMO regional - Baseline* nimmt die Wasserkraft für das gesamte Einzugsgebiet der Oberen Donau im ersten Zeitraum um ca. -2%, im zweiten Zeitraum sogar um ca. -10% ab. Im weniger gebirgig geprägten Alpenvorland und in den Donauniederungen wird sie allerdings stärker reduziert, als in den hochalpin geprägten Gebieten der Kopfeinzugsgebiete Inn und Salzach. Trotz Gletscherrückgang und mengenmäßiger und zeitlicher Änderung des Schneespeichers puffert der Gletscher- und Schneehaushalt die Abnahme der Energiegewinnung in Zukunft dennoch etwas ab. Da sich jahreszeitliche Veränderungen des gesamten Wasserhaushalts auf den Abfluss abzeichnen, ändert sich somit auch die Energieerzeugung aus Wasserkraft im Jahresverlauf. Bei Speicherkraftwerken könnte dies aufgrund ihrer Speicherfähigkeit und eines Talsperrenbewirtschaftungsplans größtenteils gesteuert werden.

Als nächster Schritt ist vorgesehen, die im Einzugsgebiet der Oberen Donau aktuell geplanten Neu- und Ausbauten der Wasserkraftanlagen mit einer Engpassleistung von mindestens 5 MW zu implementieren und zudem das momentan und zukünftig vorhandene Potential der Wasserkraft im Untersuchungsgebiet abzuschätzen.

Im Berichtszeitraum wurden drei Beiträge zur Wasserkraft im Global Change Atlas Obere Donau verfasst.

10. Implementierung eines Waldbrand-Indikator-Modells

Zur Beurteilung der aktuellen wie zukünftigen klimatischen Waldbrandgefahr im Untersuchungsgebiet wurde im Berichtszeitraum ein Waldbrandindikator-Modell in DANUBIA implementiert. Es beruht auf dem empirisch erstellten Waldbrandindex nach BAUMGARTNER et al. (1967), welcher auch vom Deutschen Wetterdienst operationell verwendet wird. Dieser

errechnet Waldbrandgefahrenklassen als Funktion der Differenz der potentiellen Verdunstungssummen minus der Niederschlagsmenge der letzten fünf Tage. Die Einteilung bezieht auch die jahreszeitliche Verteilung der Waldbrände mit ein. Die Verdunstungs- und Niederschlagssummen werden von DANUBIA für jedes Proxel stündlich berechnet und an das Waldbrandindikator-Modul übergeben. Für die Vergangenheit wird dabei auf räumlich und zeitlich interpolierte Messwerte zurückgegriffen. Für die Zukunftsprognose werden die in GLOWA-Danube mit dem statistischen Klimagenerator erstellten Klimaszenarien benutzt. Als Ergebnis wird die Waldbrandgefahr für jeden Tag als eine von fünf Gefahrenstufen von *schwach* (1) bis *außergewöhnlich hoch* (5) ausgegeben.

Zur Verifikation des Modells wurden die mit DANUBIA modellierten Werte (auf der Basis des Klimatrends *REMO regional* und der Klimavariante *Baseline*) für die Jahre 2002 und 2003 mit den Ergebnissen des Modells des Deutschen Wetterdienstes verglichen. Um durch Interpolation entstehende Fehler auszuschließen, wurde dafür ein Vergleich auf der Punktskala für elf ausgewählte Klimamessstationen durchgeführt. Dabei zeigen die beiden Modelle insgesamt eine gute Übereinstimmung der klassifizierten Gefahrenstufen.

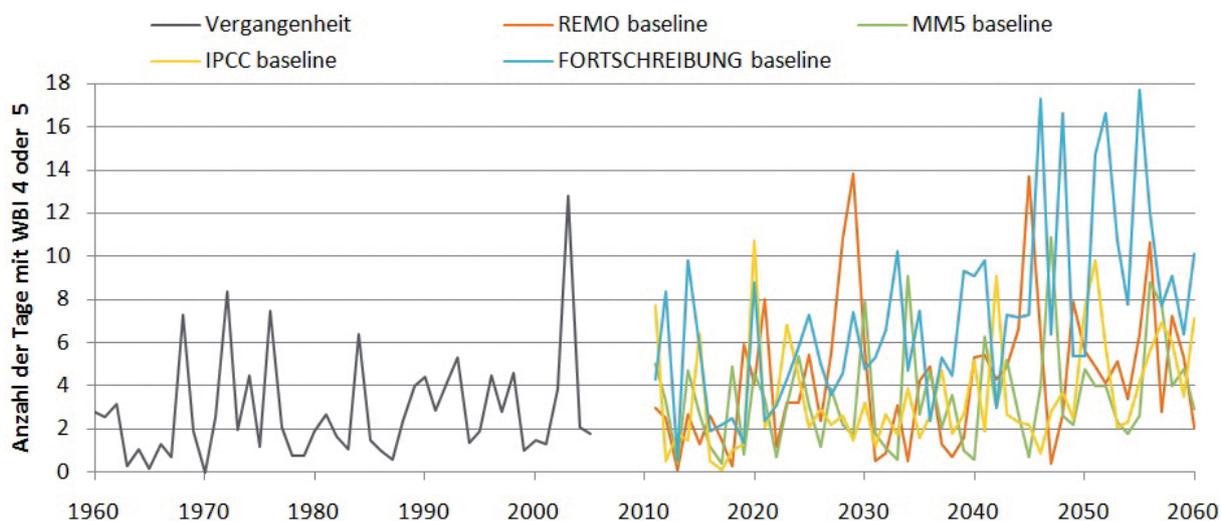


Abb. 12: Gebietsmittel der Anzahl der Tage pro Jahr mit einer Waldbrandgefahrenstufe nach BAUMGARTNER et. al (1967) von 4 oder 5 (signifikant hohes Waldbrandrisiko) im Einzugsgebiet der Oberen Donau für die Jahre 1960-2005 und 2011-2060

Die Modellierungen wurden für verschiedene GLOWA-Danube-Szenarien durchgeführt. Alle bisher mit DANUBIA durchgeführten Szenariorechnungen weisen auf eine Verschärfung der Waldbrandgefahrenlage hin, wie Abbildung 12 beispielhaft für die *Baseline* Klimavarianten zeigt. Für den Szenariozeitraum wird im langjährigen Durchschnitt eine Verdopplung des Waldbrandrisikos im Untersuchungsgebiet festgestellt. Dabei vergrößert sich primär die Variabilität der Jahre untereinander. Weiterhin werden viele Jahre mit einer nur geringen klimatischen Waldbrandgefahr prognostiziert. Sehr trockene Jahre - mit einer in der Vergangenheit noch nicht erreichten Anzahl an stark waldbrandgefährdeten Tagen - werden häufiger. In der Zukunft ist besonders in den Sommermonaten mit einem starken Anstieg der klimatischen Waldbrandgefahr zu rechnen. Bis zum Jahr 2060 wird für die Monate Juni bis August eine Zunahme der stark waldbrandgefährdeten Tage um mehr als das Vierfache prognostiziert. Ein Ansteigen der Waldbrandgefahr konnte auch für die Frühjahrsmonate (März-Mai) im langjährigen Mittel festgestellt werden. Dieser Trend resultiert vor allem aus der Zunahme von Extremjahren mit einer starken Frühjahrstrockenheit.

11. Auswertung von Szenarienergebnissen der Landoberfläche

Im Rahmen der nationalen und regionalen Konferenzen, die von GLOWA-Danube durchgeführt wurden, konzentrierte sich die Bearbeitung von Szenarienergebnissen auf die Analyse und Darstellung grundlegender und bedeutsamer hydrologischer Größen auf Basis der zuvor definierten GLOWA-Danube-Szenarien. Neben dem Wasserhaushalt der Landoberfläche (Verdunstung, Grundwasserneubildung, Schneedecke), wurden vor allem die von Stakeholdern gewünschten Auswertungen zur Hoch- und Niedrigwasserentwicklung unter Szenariobedingungen durchgeführt. Aufgrund ihrer Bedeutung für den biochemischen Kreislauf der Landoberfläche und ihre Indikatorfunktion für den Energiehaushalt der Landoberfläche wurden die räumlichen Muster der Bodentemperatur und ihre zeitliche Entwicklung in den GLOWA-Szenarien analysiert.

Die zu erwartenden klimatischen Veränderungen, also die Erhöhung der Lufttemperatur mit einer mehr oder weniger starken Verschiebung des Niederschlags von den Sommer- in die Wintermonate, hat direkte Auswirkungen auf die Verdunstung und die Schneedeckendauer. Eine tendenziell höhere Verdunstung, eine früher einsetzende Vegetationsperiode und eine Reduktion der Speicherung von Wasser in der festen Phase führen zu einer deutlichen Reduktion des sommerlichen Abflusses in der Oberen Donau in den untersuchten Klimaszenarien. In der zweiten Hälfte des Szenariozeitraums (2036-2060) verschiebt sich das Minimum der monatlichen Abflüsse vom Winter in den August und es treten deutlich geringere Niedrigwasserabflüsse (NM7Q) auf als im Referenzzeitraum. Das frühzeitigere Einsetzen der Schneeschmelze führt zu einer Verschiebung der Abflussmaxima in die Monate April und Mai. Auch der Rückgang in der Grundwasserneubildung zeigt sich am deutlichsten während der Monate Juni, Juli und August. Betrachtet man den alpinen Teil des Einzugsgebiets haben die klimatischen Veränderungen der GLOWA-Danube-Szenarien allerdings einen anderen Einfluss auf das Abflussverhalten der alpinen Flüsse. Zwar erhöht sich hier die Verdunstung (v.a. der alpinen Wälder) besonders stark durch die Verlängerung der Vegetationsperiode, jedoch werden die winterlichen Niedrigwasserabflüsse durch häufigere Schneeschmelze aufgehört, während die Wasserverfügbarkeit im Sommer durch insgesamt höhere Niederschlagssummen erhalten bleibt.

Die Analyse der Szenarienergebnisse wurde in erster Linie mit dem im Koordinationsprojekt entwickelten DANUBIA Data Analysis Tool (DDAT) durchgeführt. Es ermöglicht die Erstellung von Zeitreihen über beliebige Flächenanteile des Einzugsgebiets zur Trendanalyse und die Erstellung von flächenverteilten Datensätzen statistischer Werte über beliebige Zeiträume. Eine Vielzahl von klimatischen und hydrologischen Ausgabevariablen der DANUBIA Landoberflächenkomponente wurden zu monatlichen Werten aggregiert und aufbereitet und als Grundlage für die Ergebnisdarstellung auf den GLOWA-Danube Konferenzen genutzt. Mit der Visualisierung von flächenverteilten Ergebnissen der Landoberfläche und der Akteursmodelle konnte den interessierten Besuchern gezeigt werden, wie die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt und die implementierten Akteursmodelle in DANUBIA realisiert wurden. Die technische Umsetzung des Analysetools und der Visualisierung ist im Zwischenbericht des Teilprojekts Koordination beschrieben.

12. Literatur

- AUERSWALD, K. und SCHMIDT, F. (1986): Atlas der Erosionsgefährdung in Bayern. Karten zum Xächenhaften Bodenabtrag durch Regen. GLA-Fachbericht 1, Bayerisches Geologisches Landesamt, München.
- BAUMGARTNER, A., KLEMMER, L., RASCHKE, E. und WALDMANN, G. (1967): Waldbrände in Bayern 1950-1959. Mitteilungen der Staatsforstverwaltung Bayern 36, München.

- GLOWA-DANUBE-PROJEKt (2009): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, LMU München.
- KIRKBY, M.J., JONES, R.J.A., IRVINE, B., GOBIN, A., GOVERS, G., CERDAN, O., VAN ROMPAEY, A.J.J., LE BISSONNAIS, Y., DAROUSSIN, J., KING, D., MONTANARELLA, L., GRIMM, M., VIELLEFONT, V., PUIGDEFABREGAS, J., BOER, M., KOSMAS, C., YASSOGLOU, N., TSARA, M., MANTEL, S., VAN LYNDEN, G.J. und HUTING, J. (2004): Pan-European Soil Erosion Risk Assessment: The PESERA Map, Version 1 October 2003. Explanation of Special Publication Ispra 2004 No.73 (S.P.I.04.73). Research Report 16, European Soil Bureau, Luxembourg.
- MARKE, T. (2008): Development and application of a model interface to couple land surface models with regional climate models for climate change risk assessment in the Upper Danube watershed, Dissertation der Fakultät für Geowissenschaften, Digitale Hochschulschriften der LMU München, München, S.188.
- SCHWERTMANN, U. (1981): Die Vorausschätzung des Bodenabtrages durch Wasser in Bayern. Tech. Rep., Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.
- STROBL, T. und ZUNIC, F. (2006): Wasserbau. Aktuelle Grundlagen - Neue Entwicklungen. Berlin.

Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung, Wasserversorgung, Human Capacity Building

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

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

Im Bereich „Human Capacity Building“ werden einerseits hochqualifizierte Studenten aus Drittländern mittels Stipendien gefördert und andererseits soll ein wissenschaftlicher Austausch zwischen den an GLOWA-Danube beteiligten Wissenschaftlern und Doktoranden, 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 2009 beschreibt die vom 01.01.2009 bis 01.03.2010 durchgeführten Arbeiten und deren Ergebnisse. Die Schwerpunkte im Berichtszeitraum lagen wie im vorausgegangenen Berichtszeitraum in den Bereichen:

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

Hierzu kamen im Berichtszeitraum verstärkt:

4. Einarbeitung von Stakeholderwünschen und Verbesserungsvorschlägen in die Modelle
5. Verbesserung der Struktur und Dokumentation der Modell-Codes als Vorbereitung für die Veröffentlichung als *Open Source* Projekt
6. Umsetzung eines neuen Konzepts zur Betrachtung der Grundwasserqualität

Am DANUBIA-Objekt *WaterSupply* wurden im Berichtsjahr 2009 bedeutende Änderungen vorgenommen. Diese waren vorwiegend durch Verbesserungsvorschläge und Wünsche der *Stakeholder*, die in den Szenarien- und Optionenworkshops geäußert wurden, begründet. Insbesondere wurden geändert: Die Art und Möglichkeiten der Vernetzung von *WaterSupply-Companies* (WSC), die Wasserpreisberechnung und die Bewertungsberechnung.

Das DANUBIA-Objekt *GroundwaterFlow* wurde, ebenfalls zum Teil als Folge von Diskussionen mit *Stakeholdern* und Fachleuten, hier insbesondere der Fachleute des bayerischen Landesamts für Umwelt (LfU), in mehrerer Hinsicht stark überarbeitet. Zum Einen wurden Vorschläge zur Vereinfachung der Modellgeometrie umgesetzt. Die Parametrisierung des

Modells erfolgt inzwischen vollständig über die „Zonen“, die auch für die Berechnung der Bewertung und die Validierung des Modells herangezogen werden. Grundlegende Veränderungen wurden im Modell-Code vorgenommen: Insbesondere wurde alle bislang zur Ausführung erforderlichen batch-files (bzw. shell-scripts in der UNIX-Umgebung) sowie die zur Datenkonvertierung und für externe Berechnungen bislang erforderlichen Fortran-Routinen, durch entsprechenden JAVA-Code ersetzt. Damit werden auch Lese- und Schreibvorgänge auf Massenspeichern reduziert und die Performance erhöht. Vor allem aber reduziert diese Maßnahme die Fehleranfälligkeit, die bei der Ausführung auf unterschiedlichen Plattformen gegeben war, und erhöht die Verständlichkeit des Codes. Dies stellt im Hinblick auf *Open Source* eine entscheidende Maßnahme dar.

Das Stickstofftransportmodul (Objekt *GroundwaterTransport*) wurde fehlerbereinigt und auf die neuesten Erkenntnisse hin angepasst. Da nach wie vor Probleme bei der Bereitstellung flächenhaft belastbarer Datensätze für die maßgeblichen Inputwerte (NLeaching) bestehen, wurde im Bereich Grundwasserqualität ein neuer Weg eingeschlagen. Dieser besteht in der Kopplung eines dynamischen Vulnerabilitätsindex mit einem Grundwasserqualitätsindex, belastbaren NLeaching-Werten an ausgewählten Stellen und gemessenen Grundwasserqualitätsdaten.

Im Bereich Human Capacity Building wurden im Berichtszeitraum vier weitere Stipendien vergeben und betreut.

Zu allen Projektbereichen, wurden weiterhin, mit Ausnahme von *GroundwaterTransport* (s.o.), Artikel in internationalen, peer-reviewten Fachzeitschriften eingereicht bzw. stehen kurz vor der Einreichung oder sind in Planung. Alle Konzepte wurden auf verschiedenen internationalen Tagungen vorgestellt. Weiterhin waren die Arbeiten der Projektgruppe Gegenstand vieler *Stakeholderaktivitäten*, wo ein sehr großes Interesse an den Arbeiten zur Grundwasserbewirtschaftung und zur Wasserversorgung gezeigt wurde.

1.2 Personal

1.2.1 Wissenschaftler

Leider hat das Jahr 2009 erneut große Veränderungen des Projektpersonals mit sich gebracht. Herr Dipl.-Ing. Thomas Hörhan verließ das Institut zum 31.08.2009, um eine Anstellung am österreichischen Umweltministerium anzutreten. Herrn Dipl.-Hydrol. Jan van Heyden verließ das Projekt zum 31.08.2009, zugunsten einer Anstellung am bayerischen Landesamt für Umwelt. Herr Dipl.-Hydrol. Thorben Römer verließ das Institut zum 14.09.2009 und ist nun bei der r+v Rückversicherung in Wiesbaden beschäftigt. Grund für das Ausscheiden waren in allen Fällen private Gründe, sowie die mangelnde Perspektive für den Abschluss einer Promotion.

Herr Dr. Roland Barthel war im Berichtszeitraum bis zum 30.11.2009 im Rahmen der Elternzeit in Teilzeit beschäftigt. Hierfür und als Ausgleich für die ausgeschiedenen Mitarbeiter, wurden Herr Dipl.-Ing. Ralf Ziller und Frau Dipl.-Geografin Anita Gundel jeweils zum 01.02.2009 eingestellt. Am 15.08.2009 wurde Herr Dipl.-Ing David Bendel in Vollzeit eingestellt, um den Ausfall von Herrn van Heyden und Herrn Römer zu kompensieren.

Die Personalentwicklung war also ungünstig, hat aber insgesamt keine gravierenden Auswirkungen auf den Erfolg des Projekts, da die Neueinstellungen die Ausfälle inhaltlich gut kompensieren konnten. Es werden allerdings voraussichtlich keine weiteren Promotionen im Rahmen von GLOWA-Danube / Uni Stuttgart abgeschlossen werden können.

1.2.2 Studentische und wissenschaftliche Hilfskräfte

Die wissenschaftlichen Mitarbeiter wurden im Berichtszeitraum von studentischen und wissenschaftlichen Hilfskräften unterstützt. Diese Unterstützung war sehr maßgeblich dafür verantwortlich, dass der Ausfall der Wissenschaftler (s.o.) gut kompensiert werden konnte. Hilfskräfte haben in großem Umfang im Berichtszeitraum auch sehr anspruchsvolle, wissenschaftliche Tätigkeiten übernommen. Studentische und wissenschaftliche Hilfskräfte unterstützen weiterhin auch den Teilbereich HCB.

1.2.3 Stipendien (Human Capacity Building)

Im Jahr 2009 wurden die verbleibenden vier der neun beantragten Stipendien an Studierende des Studiengangs WAREM vergeben. Die Stipendien haben eine Laufzeit von vier Semestern und werden bis September 2011 laufen, weswegen Rückstellungen von Projektmitteln erforderlich sind.

Es ist leider zu berichten, dass zwei der Studenten des Jahrgangs 2009 ihr Studium mittlerweile wieder beenden mussten. In beiden Fällen liegt die Begründung im persönlichen Bereich und kann hier nicht wiedergegeben werden (der Projektträger ist informiert). Tabelle 1 beschreibt kurz Herkunft und Vorbildung der derzeitigen Stipendiaten sowie die Ausrichtung ihrer Studien in WAREM.

Wie der Wahl der Studienschwerpunkte (vgl. Tab. 1-3) zu entnehmen ist, haben sich die meisten Studenten für die Schwerpunkte „Grundwasser“ und „River Basin Management“ entschieden, eine Studentin für den Wasserversorgungssektor. Sechs der sieben derzeitigen Stipendiaten haben die Module „Geohydrology“ und „Hydrogeological Investigations“, die von Dr. Barthel unterrichtet werden, belegt. Es ist geplant, dass die Studenten über Studienarbeiten (Independent Studies) und später Master's Theses weiter in das Projekt eingebunden werden.

Tab. 1: GLOWA-Danube HCB Stipendiaten des Jahrgangs 2008 *(Erläuterung siehe Tab. 3)

Stipendiat	Asya Ivanova Drenkova	Edom Melesse Moges	Tigstu Tsige Dullo	Elias Tedla Shiferaw	Jiaying Liang
Geburtsdatum	23.06.1981	04.04.1986	01.04.1985	01.09.1982	21.08.1985
Herkunftsland	Bulgarien	Äthiopien	Äthiopien	Äthiopien	China
Sections*	S2, S3	S1, S2	S1, S2	S1, S2	S1, S2

Tab. 2: GLOWA-Danube HCB Stipendiaten des Jahrgangs 2009; *(Erläuterung siehe Tab. 3)

Stipendiat	Brighton Austin Chunga	Angeli D. Cabaltica	Ashagrie Kassahun Assefa	Jent Justin Robert
Geburtsdatum	24.09.1980	15.02.1980	23.07.1980	13.03.1986
Herkunftsland	Malawi	Philippinen	Äthiopien	USA
Ausbildung	Irrigation Engineering	1) Bachelor Degree in Civil Engineering 2) Masters Degree in Environmental Sanitation	Hydraulic and <i>Water Resources Engineering</i>	B.Sc. Civil Engineering
Heimat-Universität	University of Malawi	1) University of the Philippines June 1996-April 2001 2) Ghent University, Belgium, Sept 2005-Sept. 2007	Arba Minch University	Rose-Hulman Institute of Technology
Sections*	S1, S2	S1, S2	abgebrochen (März 2010)	abgebrochen (Nov. 2009)

Tab. 3: Übersicht über die in Tabelle 1 genannten thematischen Schwerpunkte im Studiengang WAREM

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

1.3 Investitionen

Keine (Mittel wurden nicht beantragt)

1.4 Veranstaltungen

1.4.1 Konferenzen

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

- IAH/IAHS 2009, Hyderabad, Indien, (ein Vortrag, ein Poster)
- Tag der Hydrologie, Kiel (zwei Vorträge)
- Nationale GLOWA-Konferenz, Potsdam (ein Vortrag, Beteiligung an 5 Postern)

Für das Jahr 2010 wurden bislang fünf Tagungsbeiträge (zwei Vorträge, 3 Poster) für die Jahrestagung der FH-DGG, ein Vortrag und ein Poster für die HydroPredict in Prag und ein Vortrag für die Tagung "Towards Sustainable Groundwater in Agriculture - An Internatio-

nal Conference Linking Science and Policy.” June 15-17. 2010 in San Francisco, California, USA akzeptiert. Zu letzterer Tagung wurde Herr Dr. Barthel eingeladen um Ergebnisse aus dem Bereich Grundwasser vorzustellen.

1.4.1.1 Vorträge der Projektgruppe in 2009

- 12.05.2009 BARTHEL, R.: Klimawandel und Geothermie: Aktuelle Forschungsfelder für die Angewandte Hydrogeologie - zwei Projektbeispiele aus Bayern. Invited lecture, Autoren: Barthel, R., Vortragsreihe Hydrogeologie und Geothermie Fakultät für Bauingenieur und Vermessungswesen der TU München (München).
- 29.06.2009 BARTHEL, R.: Beiträge der Wissenschaft zum Integrierten Wasserressourcenmanagement - Projektbeispiele aus Mitteleuropa, Westafrika und Zentralasien. Invited lecture, Autoren: Barthel, R., Kolloquium Fakultät für Bauingenieurwesen der Universität Siegen (Siegen).
- 06.-12.09.2009 BARTHEL, R.: Understanding and modeling the interaction of *Groundwater* and *Surface Water* on large spatial and temporal scales. 7. September 2009, Konferenzbeitrag, Autoren: Barthel, R., Joint IAHS & IAH International Convention, Hyderabad (Indien).
- 12.-14.10.2009 BARTHEL, R.: Die Integration von Akteuren in DANUBIA. 13. Oktober 2009, Konferenzbeitrag, Autoren: Barthel, R., Ernst, A., Janisch, S., Mauser, W., Dabbert, S., Schmude, J. und R. Hennicker, Nationale GLOWA-Konferenz (Potsdam).

1.5 Veröffentlichungen des Teilprojekts in 2009

Im Jahr 2009 wurde ein Artikel der Arbeitsgruppe zum Thema GLOWA in einer internationalen Fachzeitschriften veröffentlicht. Ein weiterer Artikel wurde eingereicht, einer steht unmittelbar vor der Einreichung. Darüber hinaus wurden insgesamt zwei Textbeiträge (Langfassungen) in Tagungsbänden veröffentlicht. Die entsprechenden Veröffentlichungen können - soweit rechtlich möglich - direkt eingesehen bzw. abgerufen werden^{1,2)}.

1.5.1 Veröffentlichungen in Zeitschriften, Buchbeiträge, Tagungsbände

BARTHEL, R., JANISCH, S., NICKEL, D., TRIFKOVIC, A. und T. HÖRHAN (2010): Using the Multiactor-Approach in GLOWA-Danube to Simulate Decisions for the Water Supply Sector under Conditions of Global Climate Change. *Water Resources Management* 2,24 (2010) 239-275. DOI: 10.1007/s11269-009-9445-y.

RÖMER, T., BARTHEL, R., VAN HEYDEN, J. und A. BÁRDOSSY (2009): Untersuchungen zur zeitlichen Entwicklung der Grundwasserqualität im Einzugsgebiet der Oberen Donau. Tag der Hydrologie 2009, Hydrologische Systeme im Wandel (26.-27. März 2009, Kiel). Heft 26.09. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, S. 73-79.

¹⁾ www.glowa-danube.de

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

VAN HEYDEN, J., BARTHEL, R., RÖMER, T. und A. BÁRDOSSY (2009): Untersuchung der längerfristigen Wechselwirkung zwischen Klima und Grundwasserständen auf der regionalen Skala. Tag der Hydrologie 2009, Hydrologische Systeme im Wandel (26.-27. März 2009, Kiel). Konferenzbeitrag Heft 26.09. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, S. 129-135.

1.5.2 Veröffentlichungen in Zeitschriften, Buchbeiträge eingereicht bzw. im Druck

BARTHEL, R. (2010): An indicator approach to assessing and predicting the quantitative state of groundwater bodies on the river basin scale with a special focus on the impacts of climate change. Hydrogeology Journal. - revised manuscript submitted.

1.5.3 Dissertationen

Im Jahr 2009 konnte Frau Darla Nickel als nunmehr vierte Doktorandin ihre Promotion im Rahmen des Projekts GLOWA-Danube, Teilprojekt Grundwasser und Wasserversorgung abschließen:

Dr.-Ing. Darla NICKEL: Faktoren der Wasserpreisbildung im Einzugsgebiet der Oberen Donau (Prüfung 02.07.2009) (mit Prof. Bardossy, Prof. Rott).

1.5.4 Diplomarbeiten

Im Jahr 2009 wurde eine Master's Thesis im Rahmen von GLOWA-Danube abgeschlossen:

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

Eine weitere Master's Thesis wurde begonnen:

CEYHAN, S.: Development and regionalization of a transfer model to predict groundwater levels and groundwater recharge from percolation data provided by a physically-based soil water balance model (mit Prof. Bardossy).

2. Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurden Ergebnisse in vier unterschiedlichen Projektbereichen erarbeitet:

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

2.1 Modellierungsergebnisse

Im Laufe des Jahres 2009 wurden mit den von der Projektgruppe entwickelten Objekten zahlreiche Modellläufe durchgeführt. Da Modellläufe mit dem Gesamtmodell DANUBIA nicht möglich waren, wurden diese Modellläufe in verschiedenen gekoppelten Konstellationen durchgeführt. Aus technischer Sicht ergeben sich hierzu gegenüber dem Bericht für 2008, in dem die Konstellationen im Detail beschrieben wurden, keine wesentlichen Neuerungen, so dass für die Beschreibung der Kopplungsvarianten auf diesen Bericht verwiesen wird. Abbildung 1 zeigt die derzeit für das Teilprojekt wichtigste Kopplungsvariante in einer Übersicht.

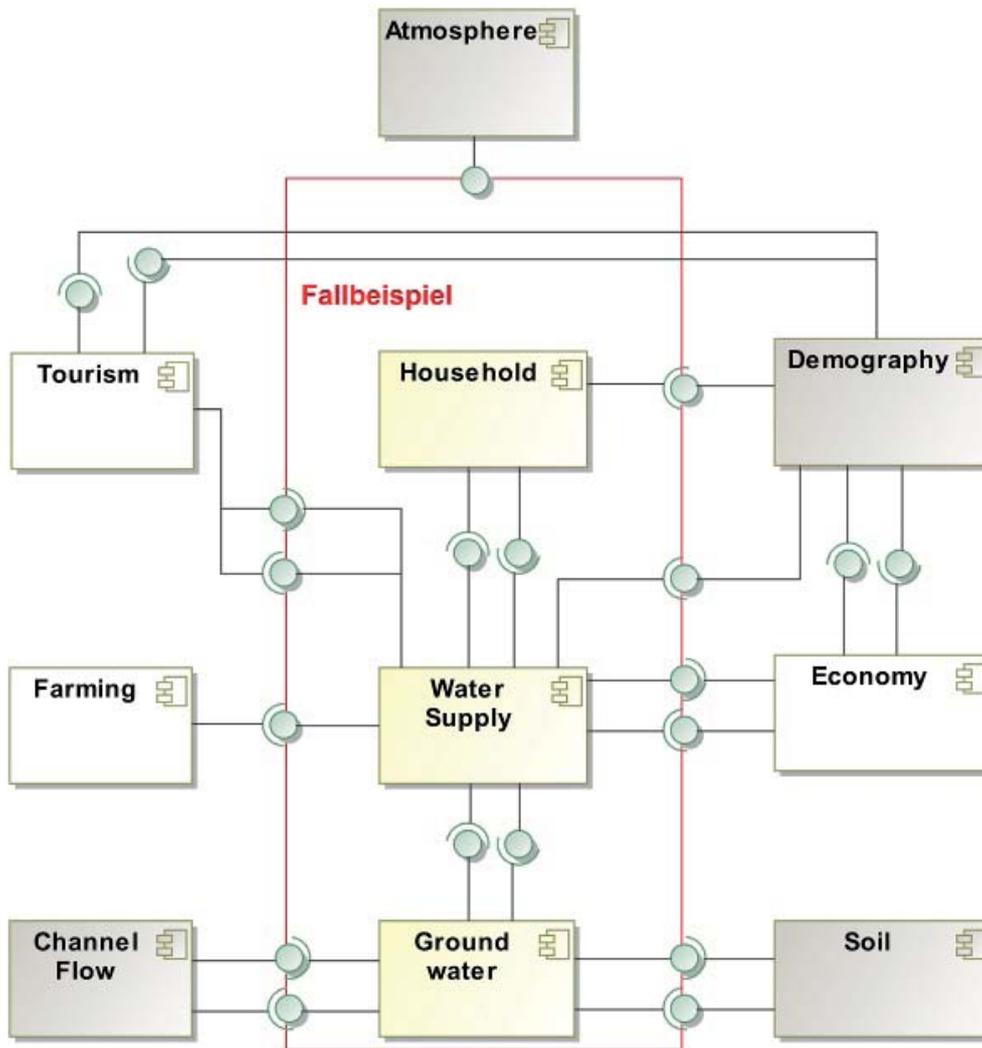


Abb. 1: Modellverbund „ActorsAssembly“ und Fallbeispiel *Groundwater-Water-Supply-Household* (Grau: indirekt beteiligte Komponenten (vorgefertigte Daten-offline Kopplung), weiß: direkt beteiligte Komponenten (online Kopplung), gelb: betrachtetes Fallbeispiel)

2.1.1 Modellierungsergebnisse: Teilbereich Grundwasser - Übersicht

Für das Objekt GroundwaterFlow (basierend auf MODFLOW, McDONALD und HARBAUGH, 1988) wurde im Berichtszeitraum weiterhin an der Verbesserung der Parametrisierung gearbeitet. Weitere Anpassungen an die Änderungen der Partnermodelle mussten durchgeführt werden. Insbesondere war zu berücksichtigen, dass die Komponente Landsurface stark umstrukturiert wurde (siehe Abb. 2).

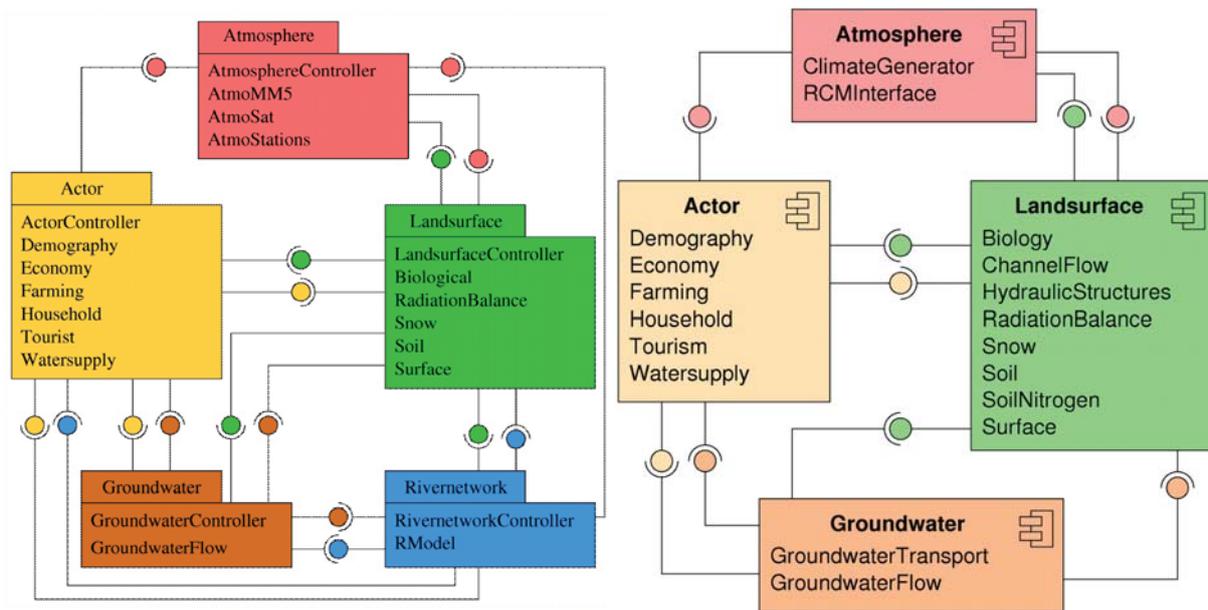


Abb. 2: DANUBIA Gesamtsystem, Stand 2009. Links: alte Struktur, rechts neue Struktur der Hauptkomponenten. Die Komponente RiverNetwork wurde aufgelöst und in die Komponente LandSurface integriert. Die Objekte *Soil*, *Surface*, *Snow*, *ChannelFlow*, *RadiationBalance* und *HydraulicStructures* werden jetzt durch das Fortran-Modell PROMET (MAUSER und BACH, 2009) repräsentiert

Für das Objekt *GroundwaterTransport* standen in 2009 noch keine belastbaren Eingabedaten von anderen Projektgruppen zur Verfügung, so dass hier keine inhaltlich sinnvollen Ergebnisse gezeigt werden können. Im Bereich Grundwasserqualität wurde wegen der bereits in früheren Berichten beschriebenen Schwierigkeiten ein neuer Weg eingeschlagen, der auch schon im Jahresbericht 2008 als mögliche Alternative genannt wurde. Die zugrundeliegende Idee entstand auf einem *Stakeholder-Workshop*. Statt zu versuchen, Eintrag, Transport und Abbau von Stickstoff in Boden und Grundwasser direkt prozessbasiert zu simulieren, was sich als extrem aufwändig und schwierig erwiesen hat, wird nun ein Konzept zur Risikoabschätzung eingesetzt. Dieses beruht auf den klassischen Ansätzen zur Vulnerabilitätsberechnung (DRASTIC, Details siehe Kap. 2.1.3) sowie einer Risikoabschätzung für die Eintragungswahrscheinlichkeit von Stickstoff und PSM in das Grundwasser für verschiedene Landnutzungsarten. Auf diese Weise ist für jede Landnutzungsänderung die Abschätzung der Veränderung der Grundwasserqualität möglich. Weiterhin wird ein Grundwasserqualitätsindex weiterentwickelt, der auch die natürliche Grundwasserqualität berücksichtigt, so dass insgesamt Aussagen zur Grundwasserqualität unter Szenarienbedingungen möglich sind. Es sollte aber angemerkt werden, dass eine Betrachtung der Auswirkungen von Klimawandel auf die Grundwasserqualität für ein derart großes Gebiet eine Herausforderung darstellt, die heute noch nicht wissenschaftlich belastbar lösbar erscheint.

2.1.2 Modellierungsergebnisse *GroundwaterFlow* - Details

Wie in der Übersicht erläutert, bestanden die wesentlichen Arbeiten an der Komponente *GroundwaterFlow* in der Verbesserung der Parametrisierung und der vollständigen Umsetzung des Zonenkonzepts. Alle Modellein- und -ausgaben sowie die Modellparameter lassen sich nun direkt auf diese Zonen beziehen. Dies hat große Vorteile, sowohl für den Betrieb des Modells als auch für die Präsentation und Verwendung der Ergebnisse. Es wird damit auch klar, dass das Modell keine punktgenauen Ergebnisse liefern kann und soll.

Zonenbasierte Anpassung der Modellparameter

k_f Werte und Speicherkoeffizienten wurden zunächst anhand aller verfügbaren Daten und Literaturwerte sowie durch Abschätzungen anhand der Hydrologischen Übersichtskarten

(HÜK200) den Zonen neu zugeordnet und anschließend durch manuelle Anpassung schrittweise angepasst. Diese Neuparametrisierung erforderte im Nachgang auch eine Anpassung der Interflow-Koeffizienten, die für die Berechnung der Grundwasserneubildung aus der Perkolatation erforderlich sind.

Zonenbasierte Validierung

Die Umsetzung des Zonenkonzepts erfordert, dass für jede Zone gemessene Daten zur Kalibrierung und Validierung zur Verfügung stehen. Da dies für viele Zonen im Gebiet nicht der Fall ist, wurden sogenannte repräsentative Grundwasserstandszeitreihen für alle Zonen erstellt. Dies geschah anhand von Ähnlichkeitsbetrachtungen, durch Übertragung aus benachbarten Zonen oder durch Generieren von Zeitreihen aus mehreren Datenquellen (siehe ausführliche Darstellung im Jahresbericht 2008).

Technische Änderungen

Wie bereits in der Zusammenfassung erwähnt, wurden alle bislang nicht in JAVA implementierten Programmteile (batch, shellscript, Fortran) nach Java portiert, so dass nur noch das Modflow-Executable als Nicht-JAVA Komponente bestehen bleibt. Dies erleichtert den Umgang mit dem Modell wesentlich und schließt zahlreiche Fehlerquellen aus. Das ist vor allem wichtig für die Überführung in das *Open Source* Projekt.

Weitere Veränderungen betreffen Details der Ein- und Ausgabe und werden hier nicht im Einzelnen aufgelistet. Erwähnenswert ist hierbei nur, dass zahlreiche Berechnungsoptionen nunmehr konfigurierbar sind und so eine höhere Flexibilität hinsichtlich der Nutzung des Modells erreicht wurde.

2.1.3 Modellierungsergebnisse *GroundwaterTransport* - Details

Wie in der Übersicht erwähnt, wird nun parallel zum Transportmodell, das bislang noch keine inhaltlich verwendbaren Ergebnisse liefern konnte, ein risikoorientierter Ansatz verwendet, der auf den klassischen Vulnerabilitätskonzepten beruht (siehe VRBA and ZAPOROZEC, 1994; GOGU and DASSARGUES, 2000; HISCOCK, 1995). Die (intrinsische) Vulnerabilität drückt aus wie stark ein Grundwasservorkommen gefährdet wäre, wenn an der Oberfläche eine Kontamination eingetragen würde (im deutschen Sprachraum wird statt von der Vulnerabilität häufig auch vom „Kehrwert“ der sogenannten „Schutzfunktion“ der Grundwasserüberdeckung gesprochen). In einem weiteren Schritt kann die intrinsische Vulnerabilität mit tatsächlich vorhandener oder potentieller Kontamination verschnitten werden (Punktquellen, diffuse Quellen aus Landwirtschaft etc.). Dieser Schritt dient zur Validierung und zur Abschätzung der tatsächlichen Verunreinigung des Grundwassers.

In die Berechnung der intrinsischen Vulnerabilität gehen im Allgemeinen Größen ein, welche die Tiefenverlagerung (Sickerung) eines Schadstoffs von der Oberfläche bis ins Grundwasser maßgeblich beeinflussen. Hierbei können je nach Datenlage und Konzeption unterschiedliche Größen und Gewichtungen verwendet werden.

Der am weitesten verbreitete Ansatz zur Berechnung der intrinsischen Vulnerabilität ist der sogenannte DRASTIC Index (Depth to water table, (net) Recharge, Aquifer media, Soil media, Topography (Slope), Impact to vadose (unsaturated) zone, (hydraulic) Conductivity of the aquifer). Jeder der Faktoren (z.B. D für Depth to the water table = Grundwasserflurabstand) erhält ein Rating „r“ und ein Gewicht „w“, die als „Dr“ und „Dw“ in folgende Gleichung eingehen:

$$DRASTIC\ Index = DrDw + Rr * Rw + Ar * Aw + Sr * Sw + Tr * Tw + Ir * Iw + Cr * Cw. \quad [1]$$

mit r (1...10) und w (1...5)

Die Ratings r und Gewichte w werden anhand von Literatur- bzw. Erfahrungswerten vergeben bzw. klassifiziert, was das Verfahren notwendigerweise subjektiv macht. Die Vulnerabilität kann für unterschiedliche Schadstoffe bzw. unterschiedliche Schadstoffgruppen mit verschiedenen Ratings und Gewichten berechnet werden. Das Verfahren ist nicht unumstritten und führt zu unterschiedlichen Ergebnissen je nach Konzept, räumlicher Auflösung (Aggierung der Eingangswerte) etc. Deswegen wird von der Projektgruppe derzeit viel Arbeit in eine Validierung mit gemessenen Grundwasserqualitätsdaten investiert, die noch nicht abgeschlossen ist. Weitere Ausführungen zu praktischen Aspekten der Implementierung des Konzepts sowie die auftretenden Probleme werden z.B. von PANAGOPOULOS et al. (2005), SECUNDA et al. (1998) und LAKE et al. (2003) beschrieben.

Für das Einzugsgebiet der oberen Donau wurde die Vulnerabilität mit den in Tabelle 4 gezeigten Parametern berechnet (siehe Abb. 3).

Tab. 4: Initiale Parameter und Gewichte (ohne Kalibrierung und Validierung) für die Berechnung des Vulnerabilitätsindex in GLOWA-Danube, jeweils für die mittlere Gesamtvulnerabilität und die Pestizid-Vulnerabilität (Vorläufige Ergebnisse!)

Parameter	Gewicht	Gewicht für Pestizide
D: Grundwasserflurabstand	5	5
R: Grundwasserneubildung	4	4
A: Aquifermaterial	3	3
S: Bodenart	2	5
T: Hangneigung	1	3
I: Ungesättigte Zone	5	4
C: Hydraulische Leitfähigkeit	3	2

Abbildung 3 zeigt das Ergebnis der Berechnung der intrinsischen Vulnerabilität (ohne Eichung und Validierung) für das Einzugsgebiet der oberen Donau unter Verwendung der in Tabelle 4 gezeigten Werte.

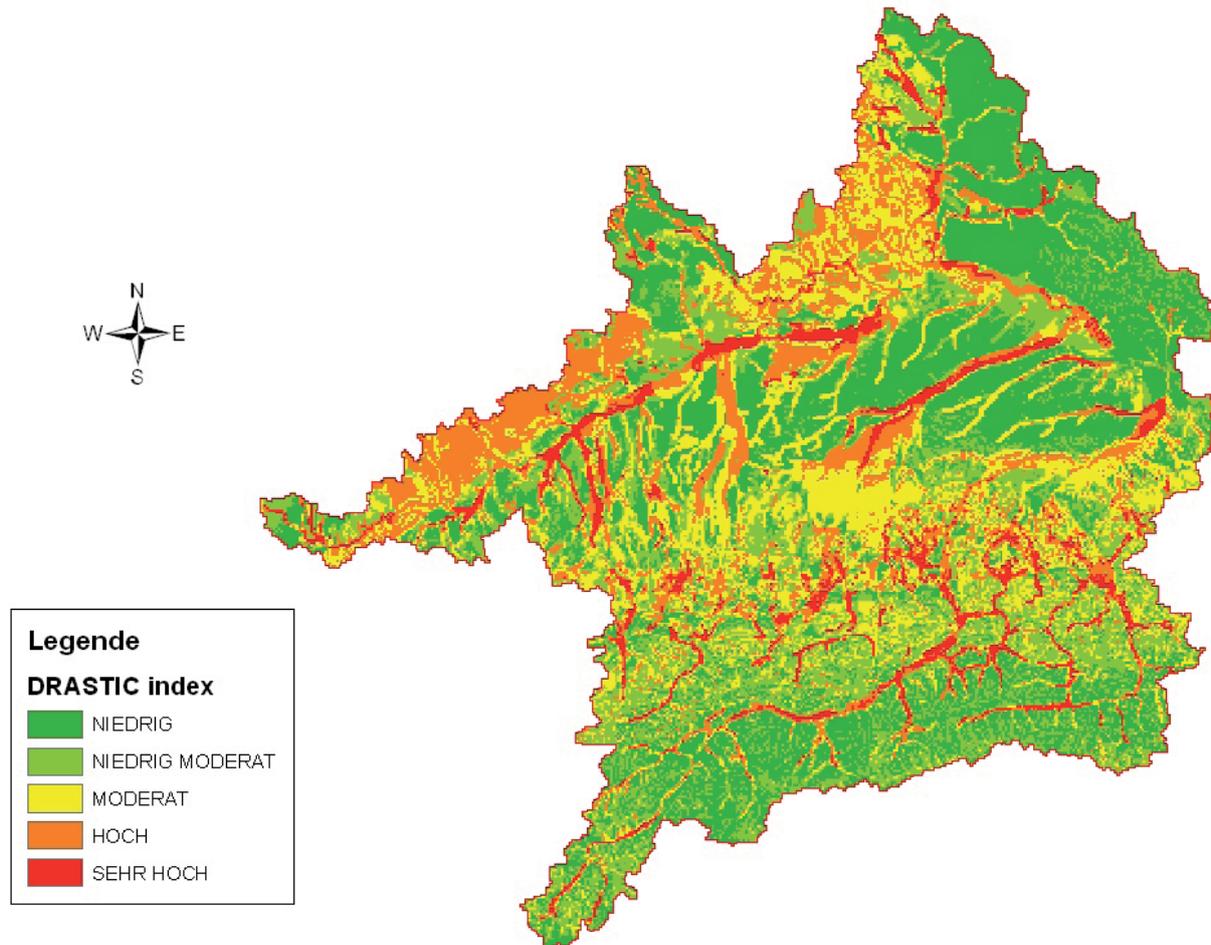


Abb. 3: Intrinsische Grundwasservulnerabilität im Einzugsgebiet der Oberen Donau nach dem DRASTIC Verfahren (Vorläufige Ergebnisse!)

2.1.4 Modellierungsergebnisse: Teilbereich Wasserversorgung - Übersicht

Im Jahr 2009 wurden nochmals deutliche konzeptionelle Veränderungen am Modell *Water-Supply* durchgeführt. Die Änderungen sind vorwiegend auf Vorschläge und Wünsche zurückzuführen, die von den beteiligten *Stakeholdern* der Szenarien- und Optionsworkshops gemacht wurden.

2.1.4 Modellierungsergebnisse: Teilbereich Wasserversorgung - Details

Die bedeutendste Modelländerung, die als Resultat des *Stakeholderdialogs* zu sehen ist, besteht in der Schaffung von erweiterten Vernetzungsoptionen. Vernetzung bedeutet, dass zwei oder mehrere Wasserversorger sich zusammenschließen, um so besser auf Engpässe reagieren zu können (wirtschaftliche Aspekte solcher Zusammenschlüsse werden im Modell nicht betrachtet). Der konkrete Wunsch einiger *Stakeholder* war hierbei, diese Zusammenschlüsse durch das Modell selbst ermitteln zu lassen. Dies wurde aber nach einigen Erwägungen nicht realisiert, da technische und vor allem inhaltliche Probleme bestehen. Die Hauptschwierigkeit liegt in der Wahl der Kriterien für solche Zusammenschlüsse, die einerseits problemorientiert sein müssen und andererseits sinnvollen Zusammenschlüssen im Hinblick auf eine Reihe von Gesichtspunkte erlauben müssten. Solche Gesichtspunkte sind z.B. Entfernung, Größenverhältnisse (kleine, große Versorger), bereits bestehende Vernetzungen (Fern-, Gruppenwasserversorgungen), verfügbares Dargebot oder Erweiterungspotential.

Die erforderlichen Kriterien für eine Vernetzung so zu setzen, dass einerseits bestehende Probleme in der Versorgung gelöst, andererseits aber nicht unsinnige Zusammenschlüsse entstehen und eine sinnvolle Gesamtstruktur erhalten bleibt, erweist sich als unmöglich. Es wurde deshalb der Lösung der Vorzug gegeben, bei der die Vernetzung der Wasserversorger konkret vorgegeben werden muss. Die Vorgehensweise ist dann beispielsweise wie folgt: Zunächst werden in Szenariensimulationen Regionen und Zeiträume ermittelt, in denen es zu Engpässen kommt. Für diese Bereiche wird dann ab einem bestimmten Zeitraum die Verbindung von WVUs durch den Nutzer vorgegeben. Mit weiteren Szenariensimulationen wird dann das Resultat dieser neuen Struktur untersucht. Alternativ hierzu ist es auch möglich, in bestimmten Regionen Vernetzungen vorzugeben ohne vorher Szenariensimulationen durchzuführen und die Wirkung zu untersuchen. Im Sinne der Definition der Szenarienbegriffe in GLOWA-Danube ist die Vernetzung als eine „Handlungsoption“ bzw. „Maßnahme“, die explizit vom Nutzer festzulegen ist (im Unterschied zu Klima- und Gesellschaftsszenarien, die nur die generelle Entwicklung vorgeben). Eine grundlegende Veränderung der Wasserversorgungsstruktur kann damit nicht Folge eines Klimaszenarios sein. Die Vernetzung dient dazu, strukturelle Veränderungen gezielt auf ihre Wirkung zu untersuchen. Eine gemeinsame Definition solcher Handlungsoptionen für konkrete Beispiele mit *Stakeholder* steht leider noch aus.

Im Zusammenhang mit der Vernetzung waren auch Veränderungen in anderen Bereichen notwendig. Alle wesentlichen Veränderungen sind im Folgenden aufgelistet:

- Vernetzung: Wasserversorger können Wasser von anderem Wasserversorger beziehen. Die Konfiguration erfolgt hierbei in eine Richtung, d.h. Wasserversorger A versorgt B. Die Verknüpfung bedeutet aber nicht, dass B auch A versorgen kann. Diese Verbindung muss separat konfiguriert werden. Es sind auch n:m-Beziehungen möglich, wodurch komplexere Netzwerke aufgebaut werden können: A versorgt B, C, D und E. E wird von A, C, F und G versorgt, etc.
- Die Festlegung des Wasserpreises erfolgt nun auf der Ebene der Wasserversorger (statt wie bisher auf Ebene der Gemeinden). Dadurch können jetzt Aktionen den Wasserpreis ändern. Bei Vernetzung kann der Wasserpreis des übergeordneten Versorgers einberechnet werden.
- Bislang führte die nicht genau bekannte Situation bzgl. Kapazitäten und der Nachfrage zum Zeitpunkt der Modell-Initialisierung zu starken Aktivitäten (Planausführung) in den ersten Jahren nach Modellstart. Dies wurde durch eine Anpassung der Initialisierung anhand der tatsächlichen Nachfrage in den ersten Zeitschritten angepasst.
- Eine neue Flagge wurde eingeführt, die die Fähigkeit des Versorgers, die Nachfrage zu decken beschreibt (die bisherige Flagge berücksichtigte nur den Zustand der Ressourcen und nicht eine (ggf. sinkende) Nachfrage). Die neue Flagge beinhaltet zusätzlich eine Trendkomponente, die den erwarteten Verlauf von Nachfrage und Kapazität einbezieht.

Änderungen die nicht mit der Vernetzung im Zusammenhang stehen:

Die Anregung von Fachleuten des Landesamts für Umwelt, zu berücksichtigen, dass die Bewertung des Zustands sich auf den tatsächlich genutzten Aquifer beziehen sollte, wurde angenommen. Bislang wurde bei der Bewertung angenommen, dass der oberste aktive Aquifer genutzt wird. Die Bewertung dieses Aquifers ging dann in die Planbestimmung ein und wurde der Flaggenberechnung für die Akteurmodelle zugrunde gelegt. Es gibt aber in der Realität viele Fälle, wo nicht der oberste, sondern tiefere Stockwerke (oder mehrere) genutzt werden. Dort würde diese Berechnung zu irreführenden Ergebnissen führen. Da allerdings derzeit für viele der implementierten Brunnen nicht exakt bekannt ist, welcher Aquifer tatsächlich zur Entnahme genutzt wird, ergeben diese Änderungen momentan kaum sichtbare Veränderungen der Resultate. Im Einzelnen wurden folgende Änderungen implementiert:

- Gelayerte Entnahmen. Ein Brunnen kann so konfiguriert werden, dass er aus einem bestimmten Layer entnimmt. Die Entnahmen können dann direkt an *Groundwater-Flow* weitergegeben werden (bisher wurde die Konfiguration der Entnahmelayer im Grundwassermodell statisch vorgegeben).

Die *GroundwaterQuantityFlag* wird nun für alle Layer, nicht nur den obersten aktiven berechnet.

- Diverse Konstanten wurden aus dem Code entfernt und über die Config-Dateien konfigurierbar gemacht (z.B. Pfade zu Datendateien, Sicherheitsfaktoren für Wasserversorger).

Über die genannten Änderungen hinaus wurden allgemeine Verbesserungen und Korrekturen am Code durchgeführt, mit dem Ziel die Übersichtlichkeit für andere Entwickler (*Open Source*) zu erhöhen und die Performance zu verbessern.

2.1.6 Validierung

2.1.7 Szenarien

Im Vergleich zu den bereits von vorangegangenen Berichten gezeigten Szenarienergebnissen unterscheiden sich die Ergebnisse aus dem Jahr 2009 nur noch geringfügig, da in den Modellen i.w. nur noch Optionen implementiert wurden, die aber nicht alle zum Tragen kommen. Deshalb wird auf eine umfangreiche Darstellung von Einzelaspekten verzichtet.

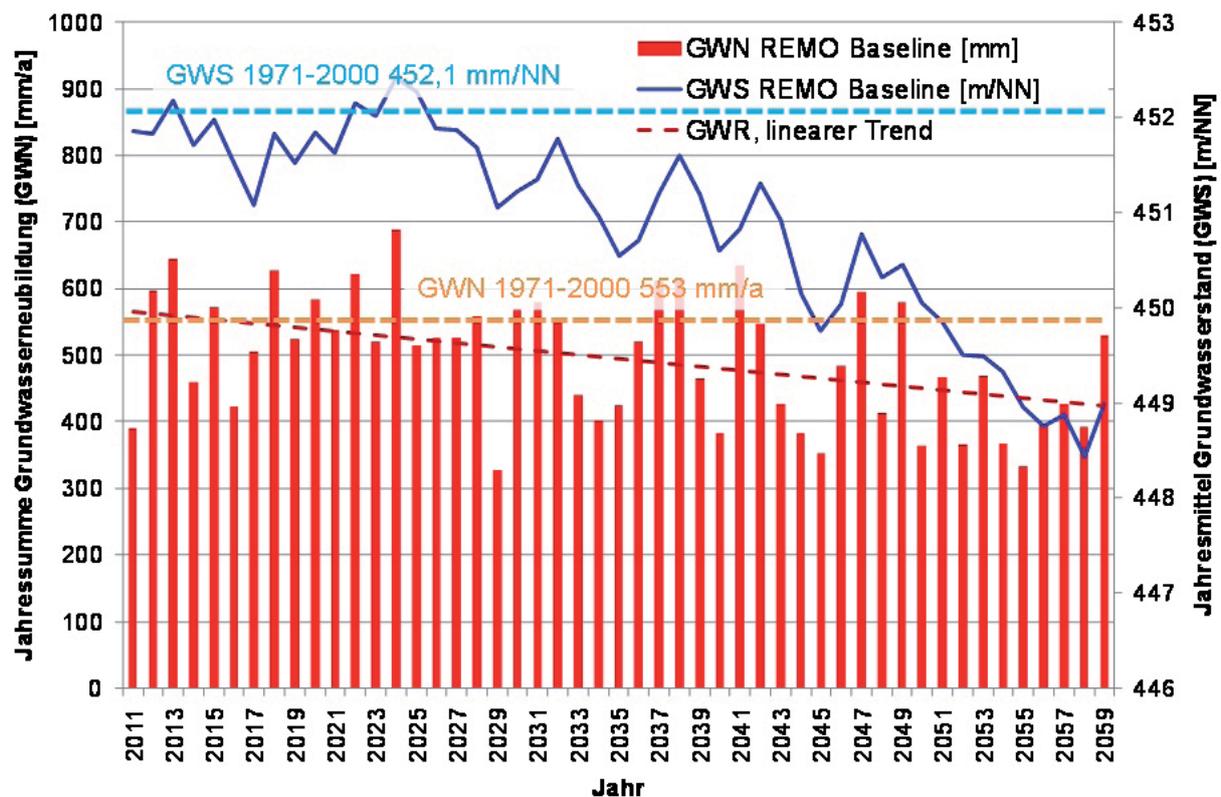


Abb. 4: Entwicklung von Grundwasserneubildung und Grundwasserständen (Gebietsmittel) für das Beispielszenario REMO-Baseline, verglichen mit den Mittelwerten dieser Größen für den Referenzzeitraum 1971-2000

Abbildung 4 zeigt die Entwicklung von Grundwasserneubildung und Grundwasserständen (Gebietsmittel) für das Beispielszenario REMO-Baseline im Vergleich zu den Mittelwerten des Referenzzeitraums. Die deutliche Abnahme der Grundwasserneubildung macht sich, vor allem gegen Ende des Simulationszeitraums, durch eine deutliche Abnahme der Grund-

wasserstände bemerkbar. Dies spiegelt sich letztlich, in unterschiedlicher Deutlichkeit, in der Entwicklung der *DrinkingWaterQuantityFlag* (Gebietsmittel) für das Beispielszenario REMO-Baseline verschnitten mit den drei Gesellschaftsszenarien wieder (Abb. 5). Die Bewertung der Trinkwasservorkommen wird schlechter, wobei die Bewertung im Szenario „Allgemeinwohl“, wo besonders viel Wert auf Nachhaltigkeit gelegt wird, am schlechtesten ausfällt. Sehr deutliche Unterschiede zum Zustand der Trinkwasserressourcen im Referenzzeitraum sind erkennbar (Klimadaten des Zeitraums 1960-2006 kombiniert mit dem Gesellschaftsszenario „Baseline“).

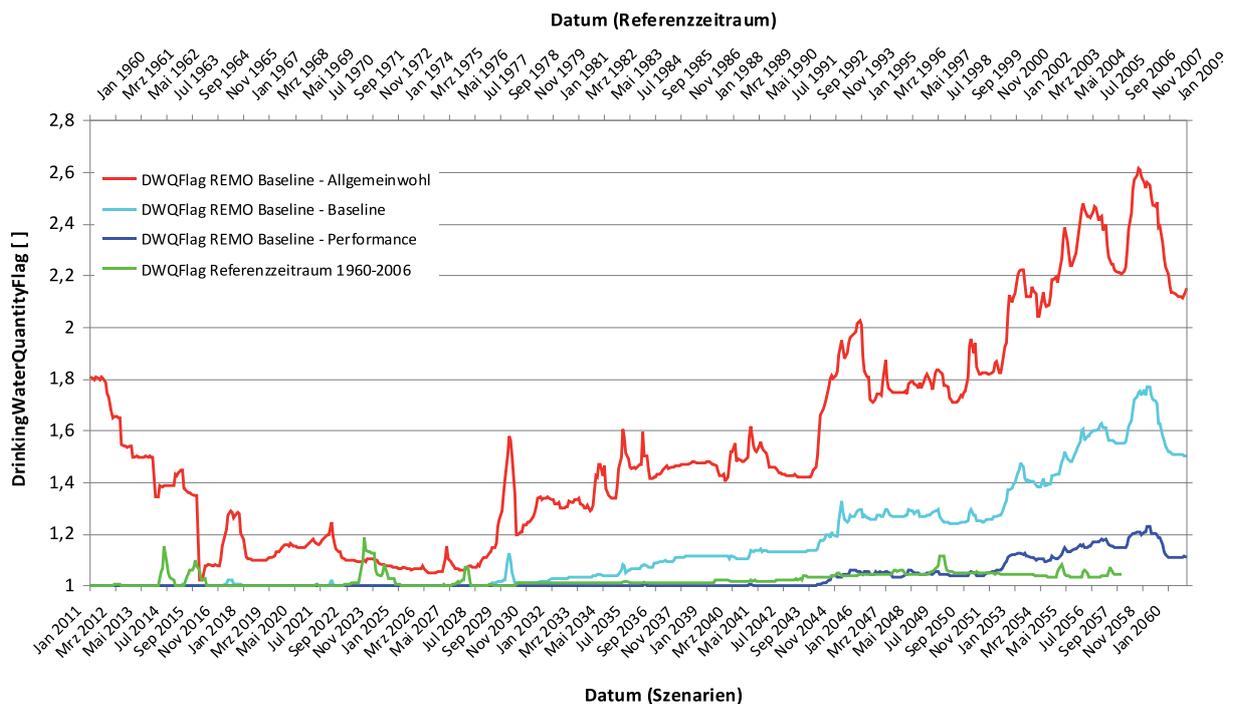


Abb. 5: Entwicklung der *DrinkingWaterQuantityFlag* (Gebietsmittel) für das Beispielszenario REMO-Baseline und die drei Gesellschaftsszenarien verglichen mit den *DrinkingWaterQuantityFlag* für den Referenzzeitraum

2.2 Auswertung historischer Messdaten

Die im Jahresbericht 2007 und 2008 bereits erläuterte Auswertung der Messdaten wurde weiter vorangetrieben. Die Arbeiten dienen der Verbesserung der Modell-Parametrisierung des Grundwasserströmungsmodells, zur Erstellung des Grundwasserqualitäts-Index und der Validierung des Grundwasservulnerabilitätsindex (siehe Kap. 2.1.3).

2.2.1 Grundwasserquantität

Ein wichtiger Aspekt war die Ermittlung und Validierung der Grundwasserneubildung aus Grundwasserständen mit Hilfe der Water Table Fluctuation Method (WTF) im Rahmen einer Masterarbeit (siehe Kap. 1.5.4). Ein zweiter großer Arbeitsbereich stellte die systematische Zeitreihenanalyse von Grundwasserstandsdaten dar. Die folgenden Arbeiten wurden in diesem Zusammenhang durchgeführt:

- Deskriptive statistische Untersuchung
- Trendanalyse (lineare Regression)
- Ermittlung des mittleren Jahresgang

- Clusteranalyse (Ward) basierend auf dem Jahresgang
- Spektralanalyse nach Blackmann-Tukey
- Empirical Mode Decomposition
- Kolmogorof-Zurbenko Filter
- Untersuchung und Ermittlung von Standortfaktoren aus Sekundärdaten
- Abhängigkeitsuntersuchung (zw. Klima, Oberflächengewässern und Grundwasserständen mit dem Kolmogorof-Zurbenko-Filter)
- Visuelle Klassifizierung (zur Ermittlung anthropogen beeinflusster Messstellen)
- Visuelle Klassifikation (Form)
- Mathematische Klassifikation basierend auf visueller Klassifikation

2.2.2 Grundwasserqualität

Analog wurden Grundwasserqualitätsdaten analysiert. Es wurden zum einen Untersuchungen zu den Grundwasserqualitätsmessnetzen und Qualitäts- und Plausibilitätskontrollen durchgeführt. Den Schwerpunkt der Grundwasserqualitätsuntersuchungen stellte jedoch die Analyse der Daten selbst da:

- Visualisierung und Klassifizierung
- Bestimmung des Jahresgang verschiedener Parameter
- Analyse der Variabilität einzelner Parameter
- Analysen zum Einfluss verschiedener Faktoren (z.B. Änderung der Landnutzung)
- Abhängigkeit Grundwasserstand und Grundwasserqualität
- Nachweis anthropogener Faktoren (Indikatoren)
- Trendumkehruntersuchungen (Lowess)
- Untersuchung der Skalenproblematik

2.3 Stakeholderdiskurs

2.3.1 Stakeholderaktivitäten in Zusammenarbeit mit Koordination/IFOK

Die Projektgruppe war in vollem Umfang am *Stakeholder*diskurs beteiligt, sowohl an den Szenarienworkshops, als auch den Optionenworkshops. In den Beschreibungen der Ergebnisse der einzelnen Projektbereiche wurde bereits dargestellt, wie die Ergebnisse der *Stakeholder*diskussionen in die Modellentwicklung eingeflossen sind.

2.3.2 Kooperation mit dem bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU)

Die bereits in 2008 begonnene intensive Zusammenarbeit wurde im Verlauf des Jahres 2009 fortgesetzt. Neben den *Stakeholder*workshops, an denen jeweils auch Vertreter der LfU beteiligt waren, fanden drei Gespräche des Teilprojekts mit der LfU in Hof statt. Am 11.02., 05.05. und am 23.07.2009 reiste die Projektgruppe zu jeweils ganztägigen Diskussionen über das Grundwassermodell und das Wasserversorgungsmodell nach Hof. Ende Juni 2009 wurde der LfU eine Sammlung von Daten überstellt. Der Datensatz enthält nahezu alle Modellparameter und -geometrien sowie zahlreiche Ergebnisse aus Referenzläufen und Szenarien.

3. Gesamtausblick und weitere Vorgehensweise

Im Jahr 2010 werden die laufenden Arbeiten an den Modellen abgeschlossen. Letzte Modellverbesserungen werden durchgeführt und die Ergebnisse validiert. Besonderes Augenmerk gilt jetzt der Dokumentation der Modellcodes und die Vorbereitung für das *Open Source* Projekt. Inhaltlich wird vor allem noch am Bereich Grundwasserqualität gearbeitet.

4. Literatur

- GOGU, R.C., und DASSARGUES, A. (2000): Current trends and future challenges in groundwater vulnerability assessment using overlay and index methods. *Environmental Geology*, 39, S. 549-559.
- HISCOCK, K.M., LOVETT, A., BRAINARD, J. und PARFITT, J. (1995). Groundwater vulnerability assessment: two case studies using GIS methodology. - *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 1995, S. 28, 179-194.
- LAKE, I.R., LOVETT, A.A., HISCOCK, K.M., BETSON, M., FOLEY, A., SÜNNENBERG, G., EVERS, S. and FLETCHER, S., (2003): Evaluating factors influencing groundwater vulnerability to nitrate pollution: Developing the potential of GIS. *Journal of Environmental Management* 68 3, S. 315-328.
- MAUSER W. und BACH H. (2009): PROMET - a Physical Hydrological Model to Study the Impact of Climate Change on the Water Flows of Medium Sized Mountain Watersheds. In: *Journal of Hydrology*, Volume 376, Issues 3-4, 15 October 2009, S. 362-377.
- McDONALD, M.G. und HARBAUGH, A.W. (1988): A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book 6, chap. A1, 586 S.
- PANAGOPOULOS, G., ANTONAKOS, A. und LAMBRAKIS, N. (2005): Optimization of the DRASTIC method for groundwater vulnerability assessment via the use of simple statistical methods and GIS. *Hydrogeology Journal*, Volume 14, Number 6, S. 894-911.
- SECUNDA, S., COLLIN, M.L. und MELLOUL, A. (1998): Groundwater vulnerability assessment using a composite model combining DRASTIC with extensive agricultural land use in Israel's Sharon region. *Journal of Environmental Management* 54, S. 39-57.
- VRBA, J. und ZAPOROZEC, A. (1994): Guidebook on mapping groundwater vulnerability. *Int Contrib Hydrogeol* 16.

5. Danksagungen

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

- Bayerische Vermessungsverwaltung
- Bayerisches Landesamt für Umwelt
- Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

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

Praxisrelevante Analyse der Modellierungen mit DANUBIA für die Wasserwirtschaft

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

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 mit seinem breit gefächerten Fachpersonal einen wichtigen Kooperationspartner in der Projektphase III von GLOWA-Danube dar. Dabei soll die Verwendbarkeit des Modellkomplexes, einzelner Modellierungen und Modellansätze sowie 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 sind 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

1.2.2 Wissenschaftler

Für die Durchführung des Projektvorhabens wird die zugewiesene Personalstelle seit Oktober 2009 durch Frau Johanna Danneberg besetzt (Nachfolgerin von Dr. Harald Morscheid: 01.10.2008-31.08.2009, Wiss. Angest. TVL 13).

1.2.3 Wissenschaftliche Hilfskräfte

Entfällt

1.3 Anschaffungen

Im Berichtszeitraum wurden keine größeren Anschaffungen getätigt.

1.4 Veranstaltungen / Aktivitäten

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

Veranstaltungen und Aktivitäten des Projektpartners LfU im Zeitraum Mai 2009 - April 2010

- 05.05.2009 Arbeitsgespräch mit AG Grundwasser (Dr. Barthel und Team) in Hof (16 Pers.)
- 26.06.2009 Internes Treffen Wasserversorgung mit Hr. Engler und Team
- 23.07.2009 Treffen AG Grundwasser (Dr. Barthel und Team) zu Wasserversorgung/Flaggenkonzept in Hof
- 17.-18.09.2009 Projektleiter Abstimmungstreffen Abschlusskonferenz München
- 24.09.2009 *Stakeholder-Workshop* Ergebnisse Abfluss, Energie in München
- 12.-14.09.2009 GLOWA-Abschlusskonferenz Potsdam: Teilnehmer seitens des Kooperationspartners LfU: Hr. Hans Weber, Dr. Michael Altmayer, Dr. Harald Morscheid, Fr. Johanna Danneberg
- 09.11.2009 *Stakeholder-Workshop* Ergebnisse Wasserwirtschaft, Wasserversorgung, Tourismus in München
- 13.11.2009 *Stakeholder-Workshop* Ergebnisse Land- und Forstwirtschaft in München
- 04.12.2009 Treffen in München mit Prof. Mauser wegen Daten für Modellvergleich
- 01.02.2010 Ankunft der GLOWA-Danube Szenariodaten per Festplatte am LfU und Beginn der Bearbeitung
- 08.03.2010 Projektleitertreffen Abstimmung Regionalkonferenz
- 26.04.2010 Regionalkonferenz GLOWA-Danube und *Stakeholder* in München

2. Ergebnisse

2.1 Formulierte Ziele der Dritten Förderphase

Sie Ziele entsprechen den in Punkt (siehe Kap. 1.1) formulierten Zielen des Teilprojektes.

2.2 Stand der Koordinationsarbeit und Kooperation im LfU

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

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

Die **Ebene I.** wurde in diesem Projektabschnitt durch zusammenfassende Informationen in Form von Emails zum Projektfortschritt informiert. Insbesondere wurden Informationen zur GLOWA-Abschlusskonferenz in Potsdam zusammenfassend weitergeleitet. Vorträge der GLOWA-Abschlusskonferenz sowie der *Stakeholder* Veranstaltungen in München wurden allgemein zugänglich im GLOWA-Danube-Austauschverzeichnis im LfU-Intranet zugänglich gemacht, wobei die entsprechenden Links verschickt wurden.

Die durch GLOWA-Danube betroffenen Fachreferate und ihre Mitarbeiter, die in der LfU-Projektarbeit als **Ebene II.** angesprochen werden, sind im Berichtszeitraum ebenfalls über Projektfortschritt und -ergebnisse informiert worden. Auch hier erfolgte der Hinweis auf die Informationen im GLOWA-Danube-Austauschverzeichnis im LfU-Intranet. Im Vorfeld der *Stakeholder*veranstaltungen wurden betroffene Fachreferate über die Veranstaltungen und deren Themen informiert, so dass bei Bedarf Fragen und Anmerkungen formuliert werden konnten.

Im Bereich der Fachgespräche in kleineren Gruppen (**Ebene III.**) erfolgte insbesondere mit der GLOWA-Arbeitsgruppe Grundwasser und Wasserversorgung eine engere Zusammenarbeit. So fanden im Mai und Juli im LfU 2 Veranstaltungen speziell zu diesem Themenkomplex statt, bei denen jeweils der Projektgruppenleiter Dr. Roland Barthel von der Uni Stuttgart mit seinen Mitarbeitern, sowie zahlreiche Vertreter der interessierten Referate aus dem LfU teilnahmen. Bei der Veranstaltung am 05.05.2009 ging es schwerpunktmäßig um Grundwassermodellierung sowie Fragen aus der GLOWA-Arbeitsgruppe zu ihrer Validierung von Ergebnissen und der Problematik der Datenverfügbarkeit. Die Veranstaltung am 23.07.2009 beschäftigte sich mit den Themen Wasserversorgung und Wasserverbrauch, sowie dem GLOWA-internen Flaggenkonzept, welches in diesem Zusammenhang die Verknüpfung der Ergebnisse aus dem physikalischen Grundwassermodell mit dem aktorsbezogenen Wasserversorgungsmodell ermöglicht.

Hinzu kam ein LfU-internes Treffen am 26.06.2009, bei dem Fragen und gemeinsame Standpunkte hinsichtlich der Grundwasser-Veranstaltungen geklärt werden konnten.

Bei den Veranstaltungen waren die formulierten Anforderungen seitens des LfU an das GLOWA-Projekt hilfreich als Leitfaden für eine Einschätzung der vorgestellten Vorgehensweisen und Ergebnisse. Diese formulierten Anforderungen sind das Ergebnis der Auswertung eines LfU-internen Fragebogens, der nach der letzten Informationsveranstaltung am LfU im Februar 2009 an interessierte Fachreferate verteilt worden war.

Eine vergleichbare Auflistung von Fragen und Wünschen der Arbeitsgruppe von Dr. Barthel an die jeweiligen Fachkräfte im LfU zu verschiedenen offenen Fragestellungen bei der Modellierung und Bewertung der Ergebnisse konnte leider nicht in einer für die AG Barthel zufriedenstellenden Weise im LfU bearbeitet werden. Unter Hinweis auf die Auslastung der Referate mit ihren Arbeitsgebieten konnte diese bedauerliche Entwicklung mit Dr. Barthel jedoch einvernehmlich geklärt werden.

Als Fazit der Zusammenarbeit mit dem GLOWA-Projektbereich Grundwasser und Wasserversorgung ist die Bedeutung des intensiven Austauschs als Gewinn für beide Seiten hervorzuheben. Verschiedene grundwasserrelevante Daten des LfU sind an den GLOWA-Projektpartner weitergegeben worden. Ansätze zur Modellierung des komplexen Grundwassersystems in GLOWA wurden durch kritische Anmerkungen des LfU hinterfragt. Konkrete Bewertungen der von GLOWA-Danube bereit gestellten Ergebnisse konnten jedoch durch das LfU nicht in detaillierter Form durchgeführt werden. Dies ist vor Allem dadurch begründet, dass bei den verschiedenen Informations- und Austauschveranstaltungen deutlich wurde, dass der Ansatz der Modellierung der Grundwasserströme und Wasserversorgung in GLOWA-Danube in der gewählten Form nicht mit den LfU-Fragestellungen einher geht. So sind z.B. die Tagesspitzenverbräuche im DANUBIA-Modell nicht abgebildet - dies jedoch ist eine der drängenden Fragestellungen im betroffenen Fachreferat. Dennoch ist das Aufzeigen von Bandbreiten möglicher durch den Klimawandel beeinflusster Veränderungen im Grundwassersystem und daraus folgenden Auswirkungen auf die Wasserversorgung als wichtige Information zu werten. Für zukünftige Zusammenarbeiten ist somit auf die Bedeutung von vorab explizit formulierten Fragestellungen und Anforderungen für die wasserwirtschaftliche praktische Arbeit am LfU hinzuweisen.

Ein direkter (bilateraler) Austausch (**Ebene IV.**) fand zunächst im Oktober und November 2009 zur Einarbeitung in die bisherige Projektarbeit durch Frau Danneberg, Ref. 81, mit Mitarbeitern betroffener Fachbereiche im LfU statt. Eine Auflistung bisher erfolgter Datenlieferungen durch das LfU an GLOWA, sowie durch GLOWA an das LfU konnte fertig gestellt werden. Die GLOWA-Datenpakete, die am LfU vorliegen, wurden sortiert, allgemein dokumentiert und interessierte Fachreferate wurden - unter Hinweis auf die Nutzungsbeschränkungen - über die vorhandenen Daten informiert.

Darüber hinaus waren der geplante Modellvergleich (s. unten) und die hierfür erforderlichen Datenbereitstellung durch GLOWA-Danube ein Schwerpunkt des direkten Austauschs mit GLOWA-Danube. Details zu der erforderlichen Datenlieferung konnten im Dezember 2009 im Gespräch mit der Projektleitung geklärt werden. Anfang Februar 2010 trafen die Daten am LfU ein, wo in der Folge die Umformatierung auf das WaSiM-ETH Format eingeleitet werden konnte. Ab März konnte mit den vergleichenden Modellrechnungen begonnen werden.

2.3 Integration in die Öffentlichkeits- und Stakeholderarbeit des Projektes

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

- Mitarbeit am Poster zur *Stakeholder* Beteiligung für die GLOWA-Abschlusskonferenz in Potsdam
- Vortrag von Referatsleiter 81, Hr. Weber, zur Projekt-Beteiligung des LfU bei der GLOWA-Abschlusskonferenz in Potsdam; Beteiligung von Abteilungsleiter Abt. 8, Dr. Altmayer, bei der Moderierung der Beiträge zur GLOWA-Abschlusskonferenz und Beteiligung an der abschließenden Podiumsdiskussion

- Review neuer Atlas-Beiträge
- Beteiligung bei allen *Stakeholder*-Veranstaltungen des Projektes und Einbeziehung des jew. LfU-Fachpersonals sowie von Sachbearbeitern des StMUGV
- Pflege und Aktualisierung des GLOWA-Danube Informations- und Austauschverzeichnisses auf dem internen LfU-Server und dahingehende Information aller interessierten Fachreferate

2.4 Intensive Beschäftigung mit GLOWA-Ergebnissen und Bewertung aus wasserwirtschaftlicher Sicht

2.4.1 Bewertung von Trenduntersuchungen in GLOWA im Vergleich mit Trenduntersuchungen in KLIWA

Um die GLOWA-Ergebnisse zutreffend bewerten zu können, bietet es sich an, sie vergleichbaren Ergebnissen aus anderen Forschungsaktivitäten gegenüber zu stellen. Ein wichtiger Projektbestandteil von GLOWA ist die Analyse von Klimamessdaten im Einzugsgebiet der Oberen Donau, um über Trenduntersuchungen Rückschlüsse auf bereits vorhandene Trends in der klimatischen Entwicklung ziehen zu können. Darüber hinaus liefern die Trends in Messdaten die Grundlage für die Erstellung einer der Klimaszenarien, die in GLOWA-Danube erstellt und verwendet werden.

Im Rahmen des Kooperationsprojektes KLIWA zwischen den Ländern Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland Pfalz und dem DWD wird der Einfluss des Klimawandels auf den Wasserhaushalt in Süddeutschland untersucht. Hierbei wird ein langfristiges Monitoring der bisherigen Klimaentwicklung durch Analyse langjähriger Klimamessreihen im Untersuchungsgebiet durchgeführt. In diesem Rahmen erfolgt ebenfalls eine Trendanalyse der vorhandenen Messreihen von Temperatur und Niederschlag.

Daher wurden die Vorgehensweisen und Ergebnisse beider Forschungsprojekte im Berichtszeitraum gegenüber gestellt und verglichen. Hierbei wurde deutlich, dass eine Vergleichbarkeit aufgrund unterschiedlicher methodischer Ansätze nur sehr eingeschränkt vorhanden ist. Die Unterschiede beginnen bereits bei der Auswahl der Daten und der Länge der betrachteten Zeitreihen und gehen weiter bei der zugrunde gelegten Methodik der räumlichen Regionalisierung der Trends und schließlich der linearen Trendanalyse selbst. In einem zusätzlichen Vergleich wurden die Zeitreihen verschiedener Klimastationen im Einzugsgebiet der Oberen Donau stichprobenartig ausgewählt und durch lineare Trenduntersuchungen auf vorhandene Trends in Niederschlags- und Temperaturdaten ausgewertet.

Die Auswertungen zeigen, dass z.B. für die Temperaturmesswerte der Reihen von 1961-2006 an den 12 ausgewählten Stationen bei eigenen Trendanalysen zwar in der Richtung ähnliche Trends - nämlich steigend - ermittelt werden können, die Trendbeträge jedoch voneinander abweichen. So beträgt z.B. der ermittelte jährliche Temperaturtrend in den Messdaten bei GLOWA im Mittel $1,6^{\circ}\text{C}$, bei den eigenen Auswertungen $1,4^{\circ}\text{C}$. Da die Trenduntersuchungen der Messdaten bei GLOWA-Danube Einfluss auf die Formulierung der Szenarien nehmen, können somit die GLOWA-Danube Klimaszenarien unter dieser Voraussetzung aus Sicht des LfU als eher extrem bewertet werden, ein Befund, der bei der Ergebnisbewertung zu berücksichtigen ist.

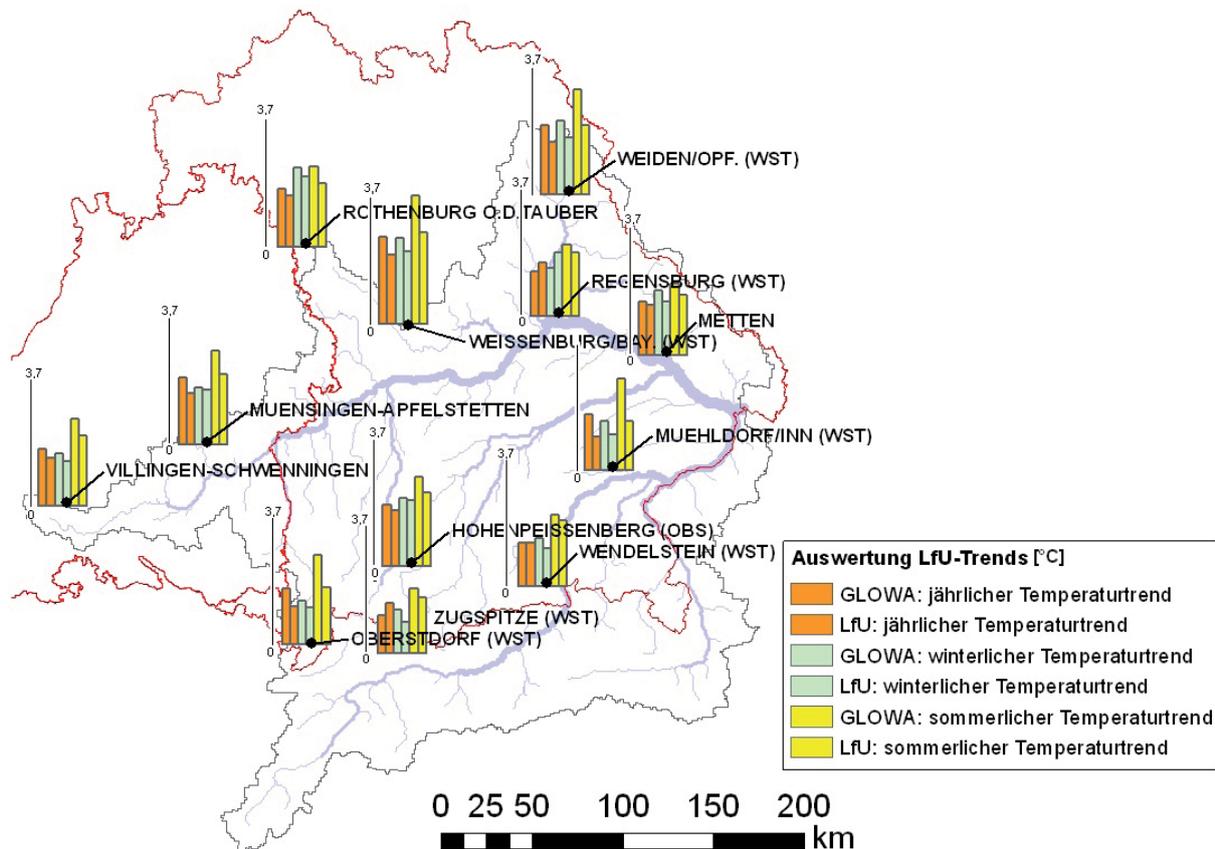


Abb. 1: Überblick über Temperaturtrends [°C] im Zeitraum 1961-2006 bei den Auswertungen durch GLOWA und durch das LfU

Als Ergebnis der Untersuchungen lässt sich zusammenfassen, dass die berechneten Klimatrends für Temperatur und Niederschlag der Vergangenheit im sich überschneidenden Untersuchungsgebiet von GLOWA-Danube und KLIWA durchaus Unterschiede aufweisen. Auch der Vergleich der eigenen Auswertungen mit den GLOWA-Ergebnissen zeigt abweichende Ergebnisse. Hinsichtlich der Temperatur sind die Ergebnisse hierbei vergleichsweise robust, es wird grundsätzlich von einem Anstieg der Mitteltemperaturen im Sommer und Winter in der Vergangenheit ausgegangen. Hinsichtlich des Niederschlags sind die Ergebnisse kleinräumig eher heterogen, so dass bei dem Vergleich regional teilweise deutlich abweichende Trends berechnet werden. Überregional ergeben sich jedoch auch beim Parameter Niederschlag ähnliche Trendrichtungen in beiden Projekten sowie in den eigenen Auswertungen, nämlich im Sommer eher sinkende und im Winter eher steigende Niederschläge. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die Auswahl der Daten und Wahl der Methodik entscheidenden Einfluss auf die Ergebnisse von Trenduntersuchungen nimmt und beides daher bei Interpretationen berücksichtigt werden muss.

2.4.2 Ein ausführlicher Bericht zu den Ergebnissen ist angefertigt worden

Vergleich von GLOWA-Ergebnissen zur Modellierung der Wasserhaushalts und der Grundwasserneubildung mit LfU / KLIWA-Ergebnissen

Ein weiteres Beispiel für die fachliche Bewertung von GLOWA-Ergebnissen durch Vergleich mit KLIWA-Ergebnissen ist die Modellierung des Wasserhaushalts und der Grundwasserneubildung im bayerischen Teil des Donau-Einzugsgebietes. Die Modellierungen für KLIWA wurden hierbei mit dem Bodenwasserhaushaltsmodell GWN-BW am LfU durchgeführt.

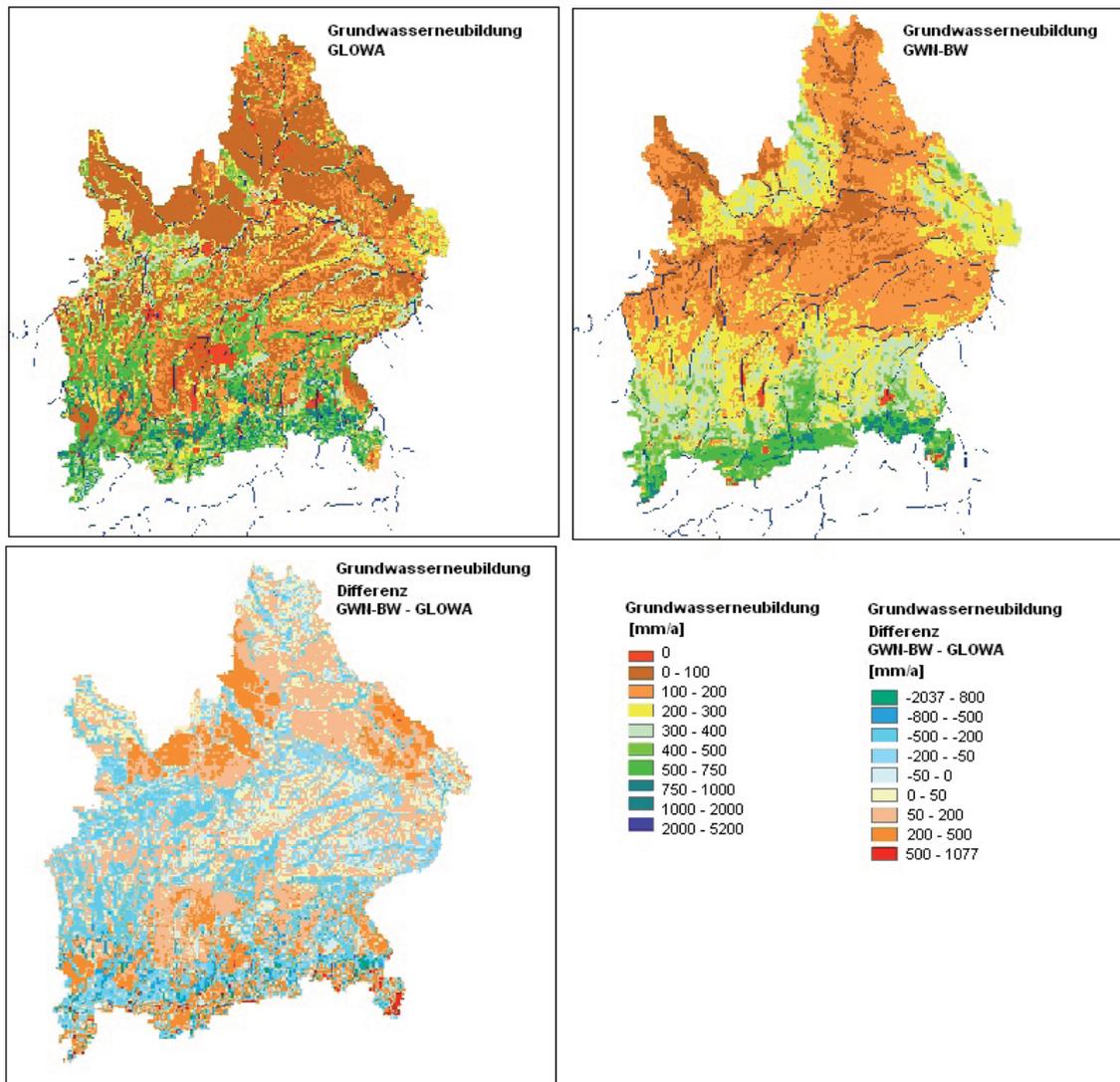


Abb. 2: Mittlere jährliche Grundwasserneubildung im Zeitraum 1971-2000 aus GLOWA und GWN-BW (KLIWA), sowie die absoluten Differenzen (in mm/a)

Beim Vergleich treten die Unterschiede, die sich z.B. in der Modellierung der mittleren jährlichen Grundwasserneubildung durch die beiden Modellsysteme ergeben, deutlich zu Tage. Während die mittleren Jahreswerte der Grundwasserneubildung in beiden Modellen für den Zeitraum 1971-2000 bei ca. 235 mm/Jahr liegen, sind die Abweichungen bei der räumlichen Verteilung offensichtlich. Im Norden produziert das GLOWA-Modell deutlich weniger Grundwasserneubildung, im Voralpenland hingegen deutlich mehr als das GWN-BW-Modell, welches am LfU im Rahmen von KLIWA eingesetzt wird. Die Ergebnisse verdeutlichen die Unsicherheit von Modellierungen, die bei der Bewertung von Szenariensimulationen mit berücksichtigt werden müssen.

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

Im Rahmen des Kooperationsprojektes KLIWA werden flächendeckend Wasserhaushaltsmodelle für alle bayerischen Flussgebiete aufgestellt und mit Eingangsdaten verschiedener regionaler Klimamodelle verknüpft, um aussagefähige regionale Klimawandel-Szenarien zu ermitteln. 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 Was-

serhaushaltsszenarien durch Ensemble-Betrachtungen einzugrenzen. Hierzu wurde schon im Vorfeld des jetzigen Berichtszeitraumes ein detailliertes Konzept zum Vergleich der Flussgebiete Naab und Regen aufgestellt. Für diese Flussgebiete sind im Rahmen von KLIWA bereits Wasserhaushaltsmodelle unter Nutzung des Modells WaSiM-ETH aufgestellt worden. Hierbei wurden sowohl der Wasserhaushalt in einem Referenzzeitraum der Vergangenheit modelliert, als auch die Einflüsse des Klimawandels auf den Wasserhaushalt durch Nutzung verschiedener in KLIWA integrierter regionaler Klimaprojektionen modelltechnisch ausgewertet. Die im Zuge dieser Arbeiten erstellten Wasserhaushaltsmodelle, sowie die erforderlichen Eingangsdaten und Ergebnisdokumentationen liegen im LfU vor.

Das Konzept zum Vergleich der Ergebnisse von Wasserhaushaltsmodellierungen in GLOWA-Danube durch DANUBIA (bzw. das darin integrierte Wasserhaushaltsmodell PROMET) und in KLIWA durch Nutzung von WaSiM-ETH beinhaltet verschiedene Vorschläge zur Auswertung und zum Vergleich der Ergebnisse. Im Zuge der Projektarbeit im Berichtszeitraum wurde dieser Modellvergleich zunächst nur auf das Einzugsgebiet der Naab begrenzt. In diesem Testeinzugsgebiet, sowie dem Teileinzugsgebiet der Haidenaab, können somit detaillierte, räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Vergleiche von GLOWA-Danube Ergebnissen mit den KLIWA-Ergebnissen durchgeführt werden. Die möglichen Vergleiche umfassen zum Beispiel die Interpolation der klimatischen Eingangsdaten in der Vergangenheit, die Klimaprojektionen verschiedener Klimaszenarien im Szenariozeitraum, die Modellierung des Wasserhaushalts im Szenariozeitraum aufgrund von GLOWA- oder KLIWA-Szenarien und die Ableitung von wasserwirtschaftlichen Kenngrößen und deren Veränderungen aufgrund von Klimaprojektionen.

Einen Überblick über das ca. 5500km² große Flussgebiet der Naab in Nordbayern bietet Abbildung 3.

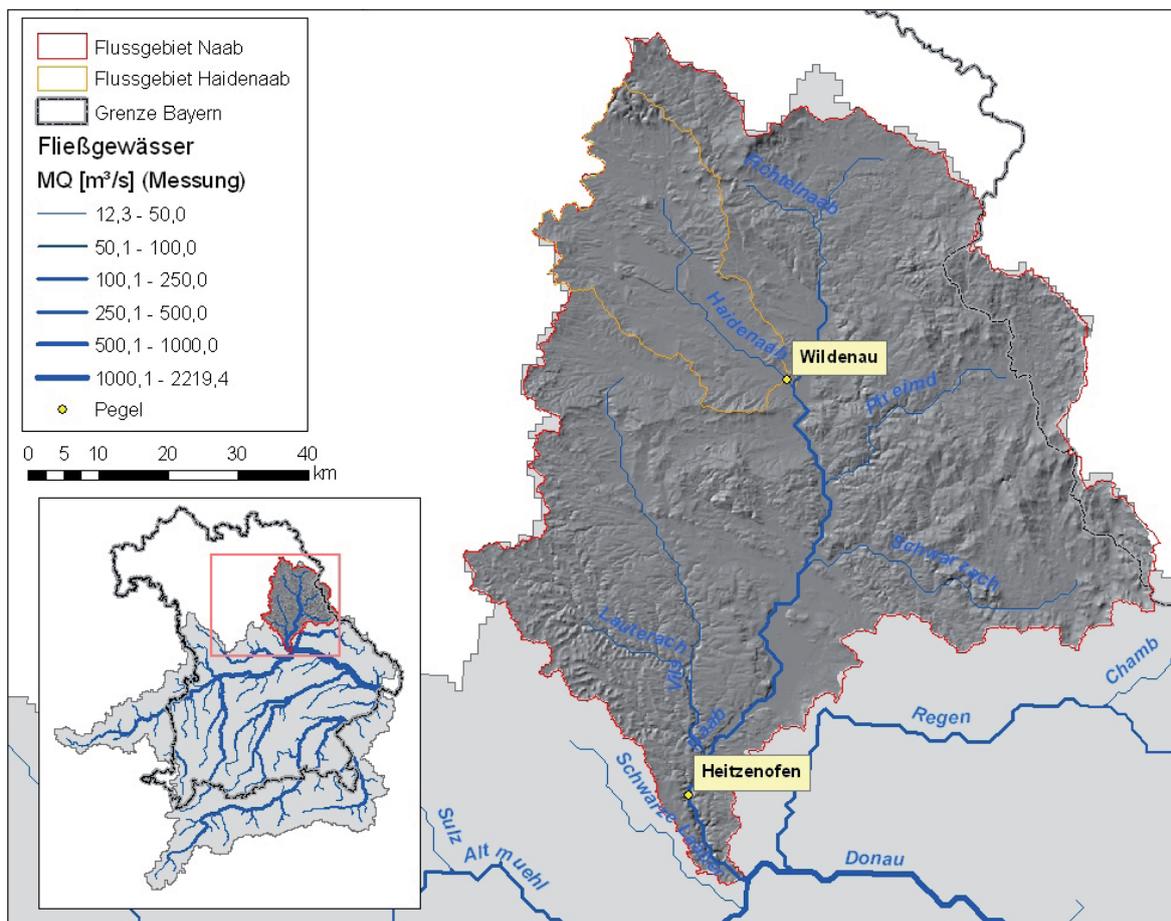


Abb. 3: Testeinzugsgebiet der Naab zur Wasserhaushaltsmodellierung am LfU mit WaSiM-ETH und GLOWA-Daten

Nach der Eingrenzung und Formulierung der Datenanforderung an die Arbeitsgruppe von Prof. Mauser im Dezember 2009 trafen die Daten Anfang Februar 2010 am LfU ein. In den folgenden Wochen erfolgte zunächst eine Umformatierung des rasterbasierten GLOWA-Datenformats in das stationsbasierte Format von Zeitreihen, welches das Wasserhaushaltsmodell WaSiM-ETH als Input benötigt. Die Umformatierung, sowie die Modellierung mit den umfangreichen Datenmengen, sind zeitaufwendig, so dass zum jetzigen Zeitpunkt noch keine umfangreichen Auswertungen dargestellt werden können. Dies ist eine wesentliche Aufgabe für die verbleibende Projektlaufzeit.

Erste Auswertungen beziehen sich auf die Eingangsdaten und die Modellierung des Referenzzeitraumes 1971-1999. Bezüglich der Eingangsdaten sind bereits Unterschiede zwischen den aus DANUBIA entnommenen und im WaSiM-Modell verwendeten GLOWA-Daten und den am LfU verwendeten Daten erkennbar.

Tab. 1: Vergleich von Eingangsdaten und modellierten Größen bei Interpolation bzw. Modellierung mit WaSiM-ETH, Einzugsgebiet Naab, Zeitraum, 1971-1999

Parameter	GLOWA-Daten	LfU-Daten	Mess. Heitzenhofen
Niederschlag [mm]	740,74	853,48	
Temperatur [°C]	7,27	2,29	
Akt. Verdunstung [mm]	492,53	543,51	
Abfluss [mm]	256,55	317,63	291,72

So ist der mittlere Jahresniederschlag aus den GLOWA-Daten im Untersuchungsgebiet mit 740mm um ca. 100mm geringer als der aus den LfU-Daten interpolierte Niederschlag mit ca. 850mm, was durch die Niederschlagskorrektur der LfU-Daten zu erklären ist. Der unter diesen Voraussetzungen mit den GLOWA-Daten modellierte mittlere Jahresabfluss von 255mm im Einzugsgebiet des Pegel Heitzenhofen fällt entsprechend niedriger aus als der gemessene Abfluss (290mm) bzw. der mit den LfU-Daten modellierte Abfluss (317mm).

Abfluss - mittlere monatliche Summen (1971 - 1999) (Einzugsgebiet Naab, Pegel Heitzenhofen)

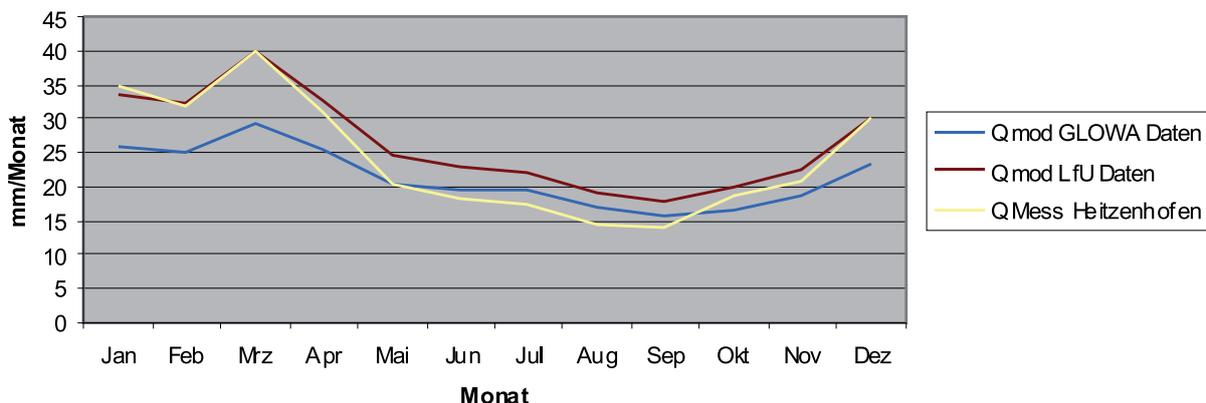


Abb. 4: Vergleich mittlerer monatlicher Abfluss (Nabb-EZG, WaSiM-ETH, 1971-1999)

Die Ableitung von Abflusskennwerten aus den modellierten Daten zeigt, dass die extremen Ereignisse durch die GLOWA-Daten nicht so gut abgebildet werden können, wie bei der Modellierung mit den LfU-Daten (Abb. 5).

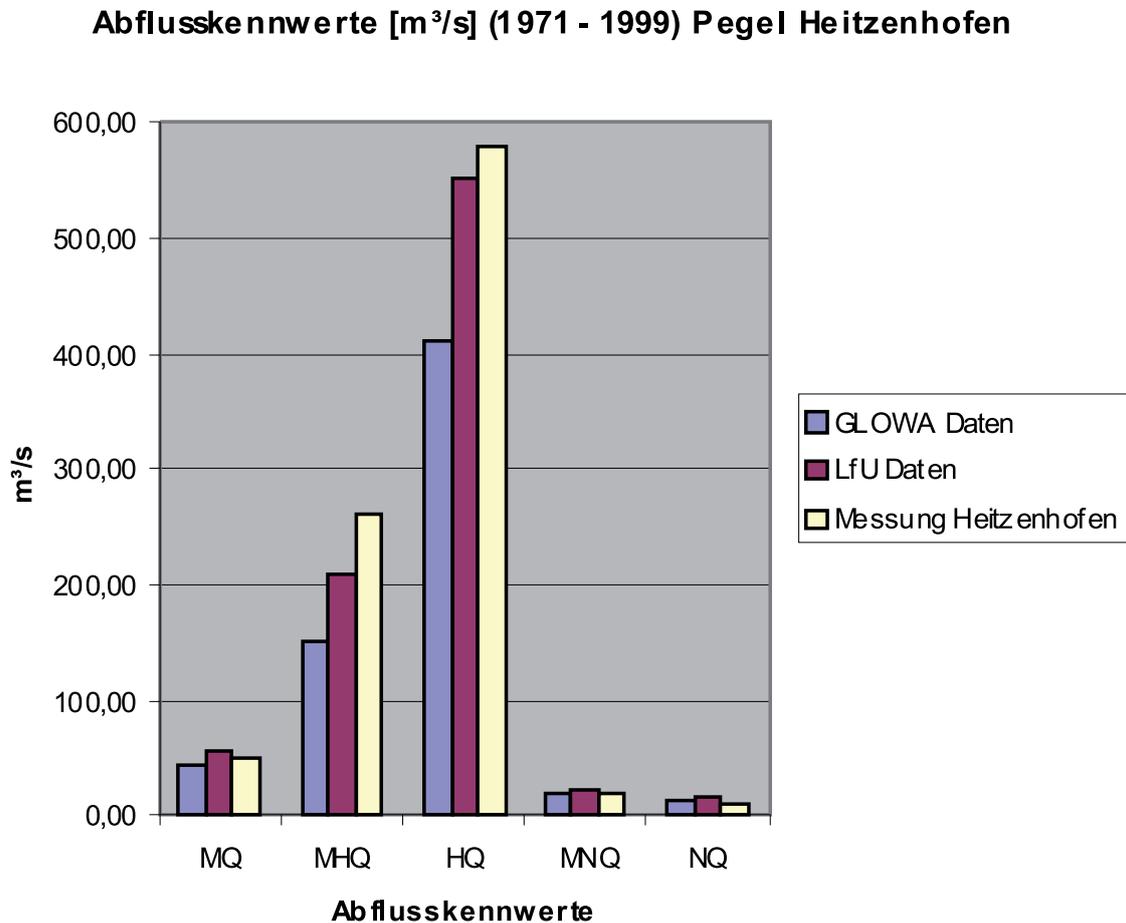


Abb. 5: Vergleich Abflusskennwerte aus Abflussmodellierungen (Nabb-EZG, WaSiM-ETH, 1971-1999)

Diese ersten Ergebnisse werden in der Projektschlussphase durch Auswertungen zu den Klimaszenarien ergänzt. Die detaillierten Untersuchungen in einem kleineren Testeinzugsgebiet bieten vielversprechende Auswertungsmöglichkeiten zur vergleichenden Bewertung der wasserwirtschaftlichen Abflussprojektionen aus GLOWA-Danube.

2.4.4 Zusammenfassung bisheriger Projektaktivitäten und -ergebnisse in Berichtsform in Hinblick auf Ende des Projektes

Um die bisher im Rahmen der Projektbeteiligung des LfU erzielten Auswertungen und Ergebnisse zusammen zu fassen, wurde mit der Arbeit an einem abschließenden Bericht begonnen. Dies geschieht durchaus in Hinblick auf das nahende Projektende und den dann fälligen Abschlussbericht. Hierbei wird auf die verschiedenen Auswertungen von GLOWA-Ergebnissen durch das LfU im gesamten Projektzeitraum eingegangen, die insbesondere durch Vergleich mit KLIWA-Ergebnissen durchgeführt wurden.

Die Themenbereiche in diesem Bericht umfassen:

- Gegenüberstellung der Daten- und Modellierungsgrundlagen in GLOWA-Danube und bei den in KLIWA am LfU verwendeten Modellen

- die Ergebnisse von langjährigen wasserhaushaltlichen Berechnungen in Bayern durch GLOWA-Danube und KLIWA
- die Bewertung von GLOWA-Danube Klimaszenarien zur Einschätzung und Interpretation der GLOWA-Ergebnisse
- die Ergebnisse von Klimaprojektionen in Hinblick auf Veränderungen des Wasserhaushaltes, insbesondere der Grundwasserneubildung in Bayern

Zusätzlich sollen in diesem abschließenden Bericht auch die bereits erwähnten Auswertungen zu Trends in KLIWA und GLOWA sowie zum Modellvergleich im Testeinzugsgebiet der Naab integriert werden. Auch die Ergebnisse der LfU-internen Zusammenarbeit von GLOWA-Arbeitsgruppen mit beteiligten Fachreferaten sollen, in Hinblick auf das Teilprojektsziel der Bewertung der GLOWA-Ergebnisse aus wasserwirtschaftlicher Sicht, integriert werden.

3. Ausblick: Geplante Aktivitäten im um 6 Monate verlängerten Projektsförderzeitraumes

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

1. Weitere intensive Beteiligung an der *Stakeholderarbeit* des Projektes unter Einbeziehung entsprechenden Fachpersonals des LfU und Information des StMUG.
2. Fortführung der Arbeit in den fachbezogenen Arbeitsgruppen im LfU (Bereich Abfluss, Grundwasser, Wasserversorgung und Bewässerung), insbesondere in Hinblick auf abschließende Bewertungen der GLOWA-Ergebnisse aus wasserwirtschaftlicher Sicht.
3. Fortführung der detaillierten Untersuchungen im Testeinzugsgebiet der Naab.
4. Weiteres Zusammenfassen der Ergebnisse der Projektbeteiligung des LfU in Form eines ausführlichen Berichts.
5. Verstärkte Filterung, Wertung und Bereitstellung der Projektergebnisse für die Entwicklung wasserwirtschaftlicher Anpassungsstrategien.

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

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

1. Organisation

1.1 Kurzbeschreibung der Arbeiten im Teilprojekt

Im letzten Zwischenberichtszeitraum der 3. Phase des Projekts GLOWA-Danube wurden die Untersuchungen der Arbeitsgruppe Glaziologie zum Wasserhaushalt und der Vergletscherung im 77'000km² großen Einzugsgebiet der oberen Donau unter der Bedingung eines Klimawandels abgeschlossen. Die Arbeiten erfolgten weiterhin in enger Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Hydrologie und Fernerkundung der LMU-München (Prof. Mauser, Monika Prasch). In einer großen Anzahl von Modellläufen wurden anhand von Klimaszenarien mit unterschiedlichen Trends und Varianten für den Zeitraum 2011 bis 2060 die Folgen des Gletscherschwundes für den Wasserhaushalt an der Donau untersucht. Der Schwerpunkt der Aktivitäten der Arbeitsgruppe Glaziologie bestanden im Berichtszeitraum 2009/10 primär

- in der Durchführung und Auswertung von Modellläufen zur Modellierung der Schneedecke auf der 1x1km²-Skala und der Gletscher im gesamten Einzugsgebiet der Donau unter gemeinsam im Projekt erarbeiteten (Klima-) Szenarien,
- der Überprüfung dieser Modellergebnisse auf formale Fehler und Plausibilität (Validierung) anhand gut mit Beobachtungsdaten belegter Beispiele
- und der Darstellung von Ergebnissen und deren Interpretation.

Das Gletschermodell Surges (**Subscale Regional Glacier Extension Simulator**) und das Schneemodell Snow wurde wie in den Vorjahren in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Hydrologie und Fernerkundung der LMU München (M. Prasch) in der Umgebung DANUBIA/PROMET (DANUBIA-*Light*) (MAUSER und BACH 2009) betrieben. Es wurden Rechnungen sowohl an einzelnen Punkten als auch für das gesamte Einzugsgebiet mit unterschiedlichen zweckorientierten Konfigurationen durchgeführt.

Die am Punkt erhaltenen Modellergebnisse für die nähere Vergangenheit wurden für den Vernagtferner im Ötztal und der Gletscher auf dem Zugspitzplatt anhand der dort verfügbaren Messungen u.a. der Kommission für Glaziologie validiert. Im Rahmen dieser Arbeiten wurden außerdem die zukünftigen Gletschergrenzen des Vernagtferners und der Zugspitzgletscher analysiert, wie sie sich im Rahmen der GLOWA-Danube Szenarien 2011-2060, generiert auf der Basis von Stationsdaten mit dem stochastischen Klimagenerator (MAUSER 2009), entwickeln. Durch den Vergleich der in unterschiedlich konfigurierten Modellläufen berechneten Abflüsse wurde der Einfluss der Schnee- und der Gletscherschmelze sowie des

Regens auf die Wasserführung der Flüsse und das Abflussregime in der Gegenwart und unter der Bedingung von Klimaszenarien untersucht.

Die Ergebnisse wurden für die *Stakeholder* aufbereitet und in den Rundgesprächen, Workshops, der nationalen GLOWA-Konferenz in Potsdam und diversen wissenschaftlichen Tagungen präsentiert. Die Auswertungen zum Szenario REMO-regional Baseline wurden im Global-Change-Atlas Einzugsgebiet obere Donau in Form neuer Karten und Beiträge aufbereitet. Weitere Teilergebnisse auch anderer Szenario-Varianten sind (z.B. WEBER et al. 2009) und werden in Fachbeiträgen publiziert.

Die Ergebnisse wurden für die *Stakeholder* aufbereitet und in den Rundgesprächen, Workshops, der nationalen GLOWA-Konferenz in Potsdam und diversen wissenschaftlichen Tagungen präsentiert. Die Auswertungen zum Szenario REMO-regional Baseline wurden im Global-Change-Atlas Einzugsgebiet obere Donau in Form neuer Karten und Beiträge aufbereitet. Weitere Teilergebnisse auch anderer Szenario-Varianten sind (z.B. WEBER et al. 2009) und werden in Fachbeiträgen publiziert.

1.2 Personal

1.2.1 Wissenschaftler

- 01.05.2009- 30.04.2010: Dr. Markus Weber E13UE / 4+

1.2.2 Diplomanten

- (bis Januar 2010) Kathrin Marowsky

1.2.3 Anschaffungen

keine

1.3 Veranstaltungen

1.3.1 Interne Projekttreffen

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

- 24.07.2009 Projektleitertreffen in München (M. Weber)
- 17.-18.09.2009 Abstimmungstreffen zur Nationalen Konferenz, München (M. Weber)
- 08.03.2010 Projektleitertreffen in München (M. Weber)

1.3.2 *Stakeholder-Rundgespräche und Workshops*

- 10.09.2009 Rundgespräch „Energie“ in Wien mit Vortrag (M. Weber, M. Kuhn)
- 24.09.2009 Workshop „Wasserwirtschaft, Energie, Infrastruktur“ in München (M. Weber)
- 9.11.2009 Workshop „Wasserwirtschaft, Wasserversorgung und Tourismus“ in München (M. Weber)

1.3.3 GLOWA- Abschlusskonferenzen

- 11.-14.10.2009 Nationale GLOWA-Konferenz in Potsdam (M. Weber, M. Kuhn)
- 26.04.2010 Regionale GLOWA-Konferenz in München (M. Kuhn, M. Weber)

1.3.4 Konferenzen

- 03.-04.08.2009 Gletscherworkshop Obergurgl (M. Kuhn, M. Prasad, M. Weber)
- 26.-27.03.2010 Alpine Glaciology Meeting, Mailand (K. Marowsky, M. Kuhn)

1.4 Veröffentlichungen

BRAUN, L.N., PRASCH, M. und WEBER, M. (2009): „Mechanismus des beschleunigten Gletscherrückgangs in der nahen Zukunft: Neuere Erkenntnisse aufgrund regionaler Klimaszenarien-Modellierung (Glowa-Danube)“, Gletscherworkshop Obergurgl 2009, 3.-4. August 2009, Obergurgl, Austria, Abstract, published

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

ESCHER-VETTER, H. und WEBER, M. (2009): „Determination of snow accumulation in high mountains based on data from climate stations“, ext. abstract, 30th ICAM, Raastatt, May 2009, *Annalen der Meteorologie* 44, S. 104-105.

HAGG, W., WEBER, M., MAYER, Ch. und PRASCH, M. (2010): „The future of glaciation on Zugspitzplatt, Germany (in Vorbereitung).“

MAROWSKY, K. (2010): „Die Validierung des Gletschermodells Surges am Beispiel von Vernagtferner sowie Nördlichem und Südlichem Schneeferner“. Diplomarbeit an der Mathematisch-Geographischen Fakultät der Kath. Univ. Eichstätt-Ingolstadt, Lehrstuhl für Physische Geographie, 147 S.

PRASCH, M., MARKE, TH., WEBER, M., STRASSER, U. und MAUSER, W. (2009): “Using the hydrological model DANUBIA for water availability scenarios in the Upper Brahmaputra basin”, Presentation at the Brahmatwinn International Symposium, November 2009, Kathmandu, Nepal, Abstract, published

PRASCH, M., WEBER, M. und MAUSER, W. (2010): Glowa Danube und die Supertestsite Nationalpark Berchtesgaden, Presentation at the Workshop „Klimafolgenforschung im Nationalpark Berchtesgaden“, February 2010, Berchtesgaden, Abstract, published.

WEBER, M. (2010): „Das Gletschermodell Surges“, Funktionsbeschreibung und Dokumentationsschrift, 25 S.

WEBER, M. (2010): „Gletscher - Bedeutung im Wasserkreislauf und Wasserspende“, in Müller, Troge, Töpfer (Hrsg) „Klimareport Alpen“, Verlag C.H. Beck München, ISBN 3406573711, 272 S.

WEBER, M. and PRASCH, M. (2009a): „Mittlere Schneedeckendauer von November bis Juni unter dem Klimatrend Remo regional und der Klimavariante Baseline“, Kapitel 3.1.1, GLOWA-Danube-Projekt, LMU München (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, München.

WEBER, M. und PRASCH, M. (2009b): „Einfluss der Gletscher auf das Abflussregime (des Einzugsgebiets der Oberen Donau) und dessen Veränderung unter Szenariobedingungen“, Kapitel 3.1.8, GLOWA-Danube-Projekt, LMU München (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, München, 5. Lieferung.

- WEBER, M., PRASCH, M. und KUHN, M. (2009a): „Veränderung der Eisreserve (des Einzugsgebiets der Oberen Donau) in der Zukunft“, Kapitel 2.4.2, GLOWA-Danube-Projekt, LMU München (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, München.
- WEBER, M., BRAUN, L., MAUSER, W. und PRASCH, M. (2009b): „Die Bedeutung der Gletscherschmelze für den Abfluss der Donau gegenwärtig und in der Zukunft“, Mitteilungsblatt des hydrographischen Dienstes in Österreich, Nr. 86, S. 1-29, Wien.
- WEBER, M. und PRASCH, M. (2010): „Einfluss der Schneedecke auf das Abflussregime (des Einzugsgebiets der Oberen Donau) in der Vergangenheit und der Zukunft“, Kapitel 3.1.4, GLOWA-Danube-Projekt, LMU München (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, München, 4. Lieferung.

2. Ergebnisse

2.1 Formuliere 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 für den Anstieg der bodennahen Lufttemperatur in den Alpen
- Anpassung und Dokumentation der Modellkomponente Snow und Surges zur gemeinsamen Überführung in ein *Open Source*-Projekt, welches den Fortbestand und die Option zur Weiterentwicklung nach Abschluss des Projektes sichert

2.2 Sektorale Arbeiten

Im Berichtsjahr 2009/10 standen sektoral die Validierung des Gletschermodells an aussagefähigen Beispielen und die detaillierte Untersuchung der Szenarien im Vordergrund. Auch diese Arbeiten wurden in enger Zusammenarbeit mit Projekten des Lehrstuhls für Geografie und geografische Fernerkundung (LMU, M. Prash) in der Umgebung DANUBIA/PROMET und mit Unterstützung einer Diplomarbeit durchgeführt.

Dabei wurden spezielle Datensätze Flächen-Höhen-Eisdicken-Verteilungen des Vernagtferners und der Gletscher auf dem Zugspitzplatt erstellt, anhand derer die Ergebnisse von Surges im Detail validiert wurden. In diesem Zusammenhang wurde auch die im Modell vorgesehene Parametrisierung der Auswirkungen der Eisumverteilung untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Gletscherdynamik in der am Ende des GLOWA-Danube-Projekts verfügbaren Modells in für hydrologische Fragestellungen befriedigender Weise dargestellt wird. Ein Modell jedoch, welches darüber hinaus die Untersuchung von Detailfragen gestattet, erfordert noch erheblichen Forschungsbedarf. Trotz der verfügbaren Kenntnisse zu den Anforderungen (z.B. JOUVET et al. 2008) auf der Subskala fehlen bislang brauchbare Lösungen zur Überwindung des Skalensprungs.

Die wohl größten Erfolge konnten im Teilprojekt mit der Koppelung von *Surges* an das Abflussmodell und den anschließend ermöglichten Analysen zu der Bedeutung der Gletscher- und Schneeschmelze auf das Abflussregime beliebiger Teileinzugsgebiete erreicht werden. Es handelt sich dabei um eine der wichtigsten im Antrag formulierten wissenschaftlichen Fragestellungen. Die im Modell, anders als in der Wirklichkeit, mögliche wechselseitige Deaktivierung des Langfristspeichers Gletscher und des temporären Schneespeichers er-

laubt zusammen mit dem Gerinne-Routing (MAUSER und BACH 2009) quantitative Aussagen zur lokalen Bedeutung dieser Speicher im Wasserhaushalt in hoher Auflösung. Damit lässt sich die Funktion des „Wasserschloss Alpen“ darstellen und verstehen. Die 50 Jahre in die Zukunft reichenden Szenarien erlauben auch Aussagen zur weiteren Entwicklung, wonach mit dem schrumpfenden Volumen des Schneespeichers die Bergregionen in ihrer Funktion als Wasserlieferant für das Tiefland zukünftig deutlich nachlassen werden, diese aber nicht ganz aufgeben werden. Die Gletscherschmelze hat in diesem Zusammenhang jedoch nicht die Bedeutung, die ihr bislang zugesprochen wurde.

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, Niederschlag, Feuchte, Wind, Globalstrahlung, Schneehöhe und Albedo an Klimastation Vernagtbach seit 1974, welche homogenisiert und im Fall von Lücken vervollständigt werden.
- kontinuierliche Messungen der Schneehöhe und der Eisablation mittels Ultraschallabstandsmessung und der Luft- und Schneetemperatur auf dem Vernagtferner in 2995 m NN in den Jahren 2005 bis 2008.
- neue modellspezifische Aufbereitung der Flächen- und Eisdickenverteilung in den Jahren 1990, 1991 und 2006 am Vernagtferner und Auswertungen im Rahmen der Diplomarbeit Kathrin Marowsky.
- modellspezifische Auswertung der Gelände- und Eisdickendaten der Bayerischen Gletscher an der Zugspitze 1979, 1990, 1991 und 2006, bereitgestellt durch das DFG-Projekt „Bayerische Gletscher“ (W. Hagg) im Rahmen der Diplomarbeit (K. Marowsky).

2.2.2 Modellentwicklung

Eine Beschreibung der Funktionen des Gletschermodell *Surges* (**Subscale Regional Glacier Extension Simulator**) und seiner Erweiterung findet sich bereits im Jahresbericht 2007/2008 und im Beitrag GC-Atlas WEBER et al. (2009a und 2009b). Ausführlicher ist die aktuelle Dokumentation in WEBER (2010). Die primär auf den Untersuchungen von WEBER 2007 und 2009b basierenden Algorithmen zur Berechnung der physikalischen Prozesse von Akkumulation und Ablation an der Gletscheroberfläche konnten anhand von punktuellen Messdaten am Vernagtferner validiert werden (siehe dazu auch den Jahresbericht 2008/2009). Die Ergebnisse des Gesamtmodells wurden für die letzten 3 Dekaden anhand einem großen, mehrere Proxel bedeckenden Gletscher (Vernagtferner in den Öztaler Alpen) und den kleinen Gletschern auf dem Zugspitzplatt validiert. Die Resultate dieser Validierung sind in einer Diplomarbeit (MAROWSKY 2010) publiziert und zeigen die hervorragende Eignung des Modellansatzes im hydrologischen Modell (siehe auch Abschnitt 2.3.1). Ferner erlauben die Modellergebnisse über die Anforderungen von DANUBIA hinausgehend im Verbund mit einem hochaufgelösten digitalen Gittermodell des Eiskörpers die detaillierte Visualisierung der zukünftigen Veränderung der Gletschergeometrie (siehe Abschnitt 2.3.2).

Diese müssen bei Langzeitmodellierungen berücksichtigt werden, da die Flächen-Höhen-Verteilung der wichtigste Parameter für die Schmelzwasserproduktion ist. Letztere kann

zwar allein durch das Massenhaushaltsmodell berechnet werden, ist aber von der Gletschergeometrie abhängig.

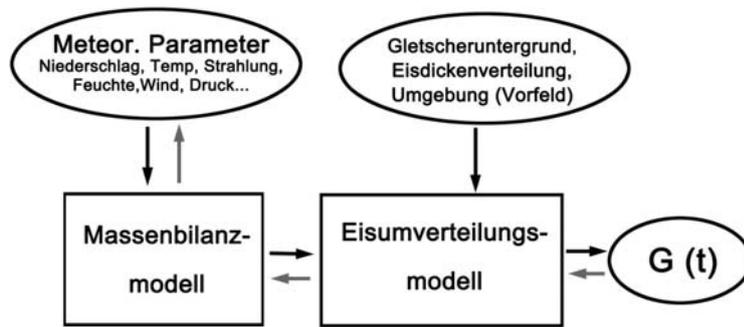


Abb. 1: Allgemeines Schema der Funktion eines Modells zur Berechnung der Gletscherentwicklung über längere Zeiträume (nach OERLEMANS 2001, verändert)

Das Schema in Abbildung 1 verdeutlicht die Notwendigkeit einer Eisumverteilungskomponente, sofern auch nichtstationäre Fälle gerechnet werden sollen. Ist die Eisbewegung klein oder gar zum Stillstand gekommen, verändern sich die Gletscherumrisse entsprechend der anfänglichen Eisdickenverteilung. Dies ist der einfachste Fall, der für die meisten kleineren Gletscherflächen zutrifft. Bei größeren Gletschern kommt es jedoch zu einer Umverteilung der Eismassen aus dem hochgelegenen Akkumulationsgebiet in den Zungenbereich. Dies verhindert ein übermäßiges Anwachsen des Gletschers im oberen Bereich, sorgt aber für eine größere Fläche nahe dem Zungenende, wo die Schmelze in der Regel maximal wird. Die Eisbewegung verstärkt die Ablation und führt und bewirkt eine höhere Schmelzwasserbildung (WEBER 2009). Das Nichtberücksichtigen dieses Prozesses hat somit eine systematische Überschätzung des Flächenrückgangs und eine Unterschätzung der Gletscherschmelze zur Folge. Zudem wird in einem wärmer werdenden Klima eine längere Lebensdauer modelliert. Der Effekt ist jedoch nur schwer zu quantifizieren, der Fehler wächst jedoch mit Sicherheit mit der Gletschergröße und der Steilheit des Geländes.

Im Detail ist die Eisbewegung zu komplex, um sie explizit berechnen zu können. Praktische Ansätze mit Hilfe von finiten Elementen zeigen JOUVET et al. 2008 und 2009. Die Anwendung in Promet/DANUBIA erfordert dagegen eine Parametrisierung über die Auswirkungen. Die wichtigste Auswirkung ist eine Hebung der Oberfläche im Ablationsbereich (Emergenz) gegenüber einer Absenkung (Submergenz) im Akkumulationsbereich. Entlang der Gefällelinie x des Gletschers gilt daher für die Änderung der Höhe h der Oberfläche

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\bar{h} \partial v}{\partial x} + \frac{\bar{n} \partial h}{\partial x} = \frac{b}{\rho}$$

mit v Geschwindigkeit der Eisbewegung, b spez. Massenänderung, ρ Eisdichte. Diese Gleichung lässt sich entsprechend der Parametrisierung der Gletschergeometrie in *Surges* durch Eisstufen auf der Höhe z_i weiter parametrisieren durch

$$\Delta h(z_i) = \frac{b(z_i)}{\rho} + e(z_i) \text{ mit } \int_0^N e(z) dz = 0$$

Man benötigt somit eine empirische Funktion $e(z)$ zur Flächen-Höhenverteilung, um die aktuelle Höhe der Oberfläche durch den Eistransport zu korrigieren. Die „Emergenz-Funktion“ ist jedoch wahrscheinlich nicht universell, sondern muss für jeden Gletscher individuell angegeben werden. Nach Beobachtungsdaten (MAROWSKY 2010) entspricht ihr Verlauf am Vernagtferner der Abbildung 2.

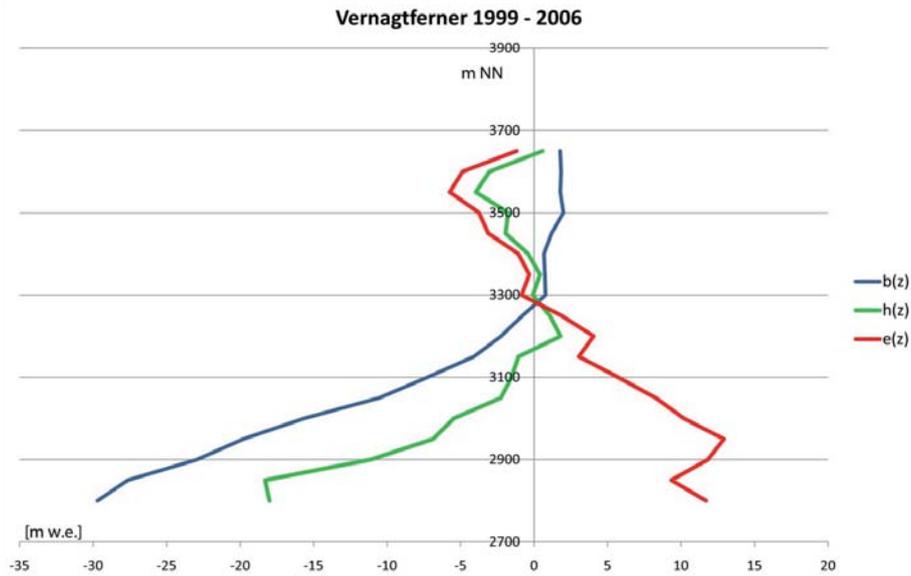


Abb. 2: Emergenz $e(z)$ des Vernagtferners aus der Differenz der geodätisch bestimmten Änderung der Oberflächenhöhe $h(z)$ und der nach der glaziologischen Methode an der Oberfläche bestimmten Änderung der Eisdicke $b(z)$. Positive Werte zeigen eine Hebung, negative ein Einsinken

Die Abbildung 2 suggeriert eine besonders einfache lineare Parametrisierung in der Art

$$e(z) = 0.017 \cdot (z - 3300) \left[\frac{m}{a} \right]$$

Der Zahlenwert 3300m entspricht der mittleren Gleichgewichtshöhe im betrachteten Zeitraum. Unter der groben Annahme, dass die Eisumverteilung stationär bleibt, ist für den Vernagtferner ein einfaches Modell der Auswirkungen der Eisbewegung möglich, wie es in Abbildung 3 skizziert wird:

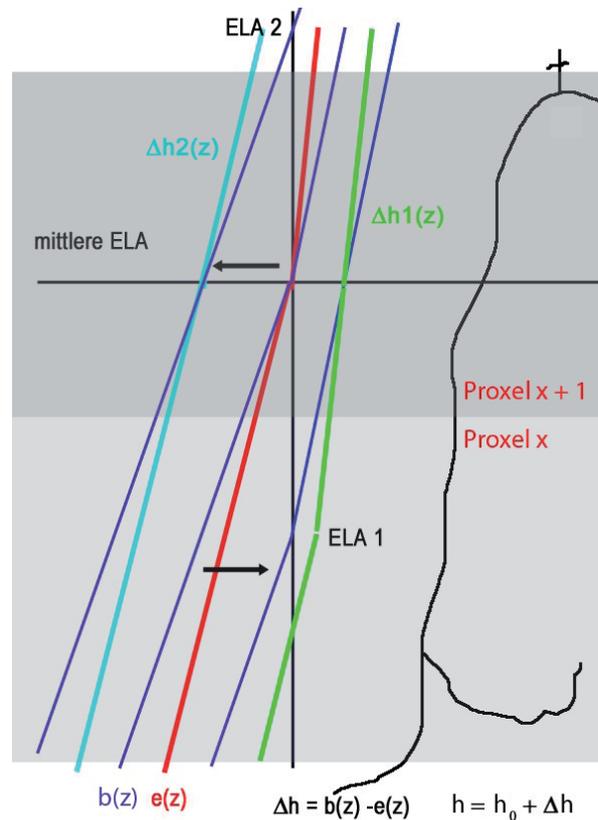


Abb. 3: Lineares Modell zur Berechnung der Auswirkung der Eisbewegung in Abhängigkeit von der aktuellen Höhenlage der Gleichgewichtslinie ELA. Im Falle von ELA1 ist die aktuelle Gleichgewichtslage tiefer als die mittlere Lage über 10 Jahre, im Fall ELA2 dagegen höher

Die Voraussetzungen für die Anwendbarkeit dieses einfachen Umverteilungsmodells sind sehr streng. Auf Einzelheiten dazu kann an dieser Stelle nicht eingegangen werden, es wird auf WEBER (2010) und MAROWSKY (2010) verwiesen. Das Problem besteht darin, dass die Funktion $e(z)$ in der Regel stark von der individuellen Massenverteilung des Gletschers abhängt, folglich nicht zwingend unter der Nebenbedingung des verschwindenden Integrals auch einer linearen Funktion gehorcht. Es fehlen außerdem noch Erfahrungen zur Übertragbarkeit dieses einfachen Ansatzes auf andere Gletscher. Ist der Verlauf von $e(z)$ jedoch bekannt, können die Auswirkungen des Eistransports mit *Surges* realistisch modelliert werden. Zur Bestimmung von $e(z)$ bleiben prinzipiell drei alternative Optionen: Bestimmung anhand von

- Beobachtungsdaten der Massenänderung nach der Glaziologischen und der Geodätischen Methode.
- Resultaten eines detaillierten Umverteilungsmodells wie beispielsweise bei JOUVET et al. 2009 beschrieben.
- Anpassung auf Grund der Abweichungen der Ergebnisse von *Surges* ohne die Berücksichtigung der Emergenz.

Desweiteren ist zu beachten, dass $e(z)$ sich mit der Zeit ändert. Im Laufe von anhaltendem Gletscherschwund kann sie bei kleineren Gletschern vernachlässigt werden.

2.2.3 Validierung des Gletschermodells am Beispiel des Vernagtferners in den Ötztaler Alpen und den Gletschern auf dem Zugspitzplatt

Der im Arbeitsbericht 2007/2008 beschriebene Initialisierungsdatensatz der subskaligen Flächen-Höhen- Eisdickenverteilung der Gletscher im Untersuchungsgebiet ist auf das Jahr 2000 referenziert. Er bildet die Basis für alle Rechnungen in die Zukunft, ist aber zur Validierung der Modellrechnungen in die Vergangenheit nicht geeignet, da sämtliche empirischen Flächen-Höhen-Verteilungen auf die Gletscheroberfläche zum Zeitpunkt der Erhebung bezogen sind. Bei den verfügbaren Beobachtungsdaten bleiben die Grenzen der Höhenklassen für alle Zeitpunkte fest und die Fläche der Höhenbänder variiert. Die Modellarchitektur von *Surges* häkelt dagegen die Basisflächen konstant und liefert als Ergebnis neue Höhen für deren Klassengrenzen. Damit sind die empirischen bestimmten Eisdicken nicht unmittelbar mit denen vom Modell auf den festgelegten Höhenbändern berechneten vergleichbar. Die für den operationellen Betrieb ermittelten Initialisierungsflächen werden dagegen in der Regel durch die 50m-Isohypsen der Oberfläche im Jahr 2000 abgegrenzt.

Zur Validierung der Modellergebnisse über mehrere zurückliegende Dekaden wurden daher auf der Basis von digitalen Höhenmodellen (DHM) der Gletscheroberfläche und der Umgebung (Rasterweite zwischen minimal 1m und maximal 20m) und Eisdickenkartierungen (nach Messungen in 2006 und 2007) neue problemorientierte Initialisierungsdatensätze erstellt. Wie in Abbildung 4 verdeutlicht, dient dort im Gegensatz zu den operationellen Initialisierungsdaten eine äquidistante Flächen-Höhenverteilung des Gletscherbetts als Basis. Als Eismächtigkeit der Stufen wurde wahlweise der Mittelwert über das Höhenband und für spezielle Zwecke auch der Maximalwert bzw. Minimalwert bestimmt.

Derartige Validierungsdatensätze der Eisdicken auf der Basis der Flächen-Höhenverteilung des Gletscherbetts wurden für den nördlichen und den südlichen Schneeferner an der Zugspitze, repräsentativ für kleine Gletscher am Nordrand der Alpen, und für den 8km² großen, über 15 Proxel verteilten Vernagtferner am Alpenhauptkamm erstellt. Für die Zugspitze standen dazu DHM aus den Jahren 1979, 1990, 1999 und 2006 zur Verfügung, für den Vernagtferner die Vermessungen der Oberfläche 1990, 1999 und 2006. Ein Validierungslauf von *Surges* wurde mit Stationsdaten als meteorologischen Treiberdaten auf den jeweiligen Proxeln mit der entsprechenden Initialisierung für die Zugspitze im Jahr 1979, für den Vernagtferner 1990 gestartet. Die Höhenbänder wurden dabei zum Zweck der korrekten zeitlichen Wiedergabe des Abschmelzens mit den maximalen Eisdicken initialisiert.

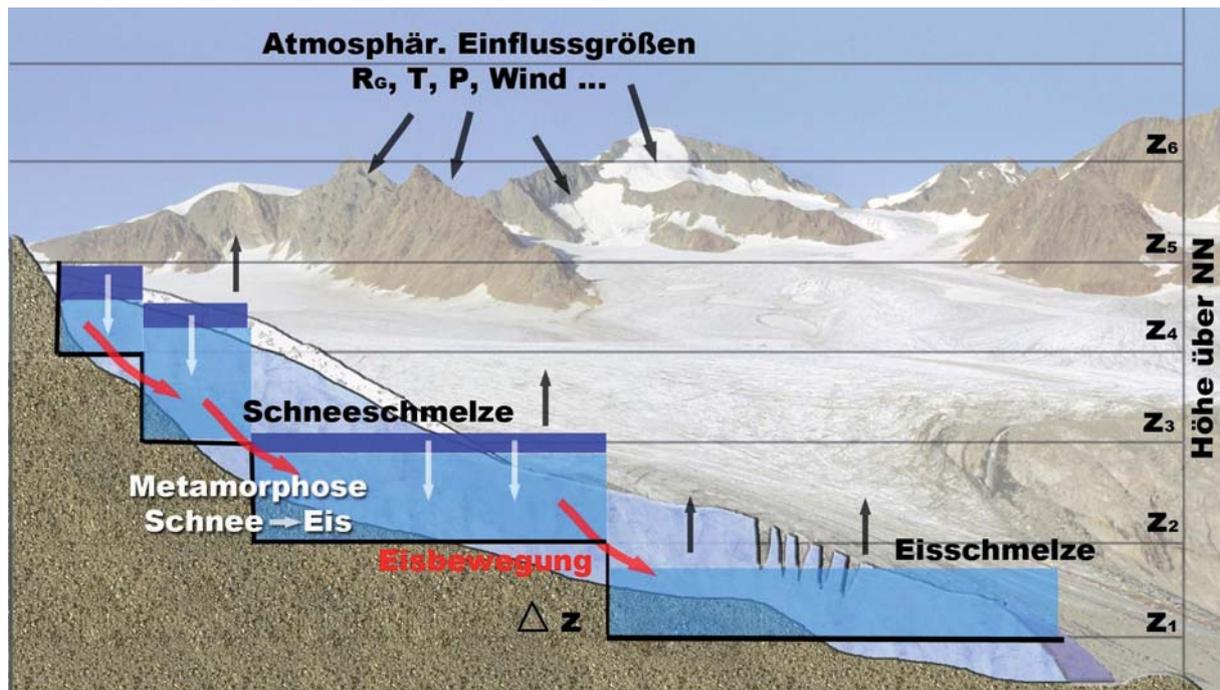


Abb. 4: Schema der subskaligen Parametrisierung des Eiskörpers in Surges durch Unterteilen des Gletscherbetts in äquidistante Höhenbänder zur Validierung der Veränderung des Vernagtferners und der Gletscher auf dem Zugspitzplatt. Auf diesen Stufen werden die Eisdickenänderungen durch das Massenhaushaltsmodell und gegebenenfalls zusätzlich die Eisumverteilung berechnet (MAROWSKY 2010)

Die auf Stundenbasis bereitgestellten Resultate der Höhenänderungen wurden zu den Terminen der Gletscheraufnahmen mit GIS auf die subskaligen Daten übertragen und diese in analoger Weise wie die Referenzdaten ausgewertet. Weitere Einzelheiten zu der Vorgehensweise bei diesen Arbeiten finden sich bei MAROWSKY (2010). Verglichen wurden sowohl die berechneten Gesamtflächen und Eismassen als auch die ermittelten Flächen- und Eisdickenverteilungen mit der Höhe. Abbildung 5 zeigt die Höhenverteilung der Eismasse des Vernagtferners nach 16 Modelljahren im Vergleich zu Messungen, die angesichts der Genauigkeit der Vermessung und der Eisdickenbestimmung ein breites Fehlerband aufweisen.

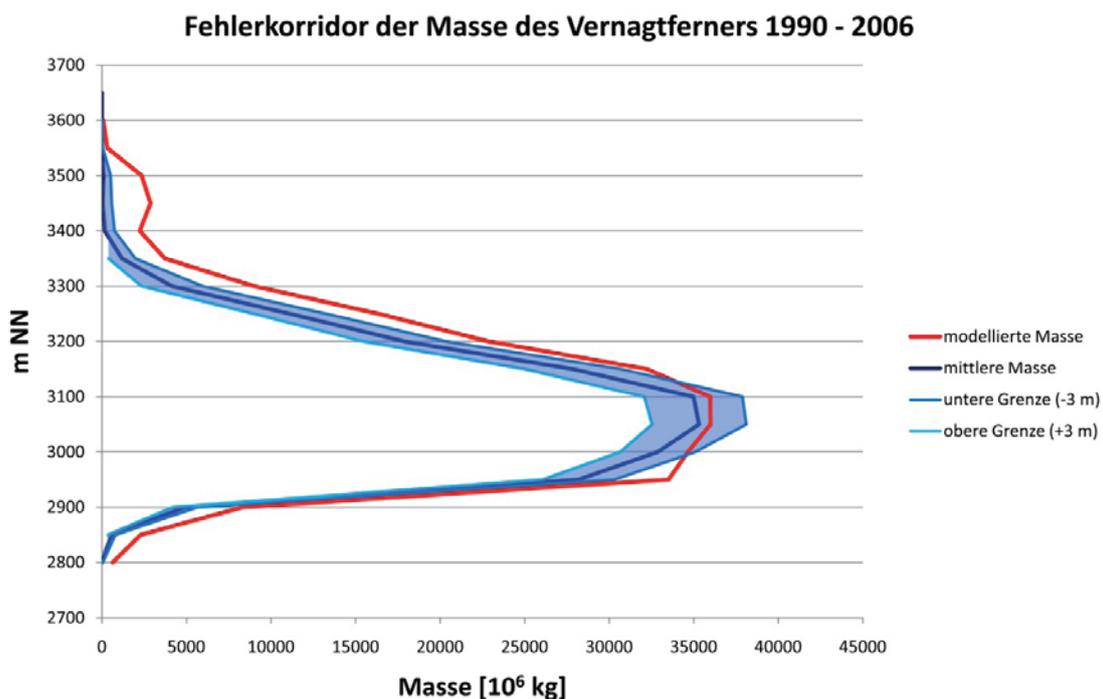


Abb. 5: Fehlerbandbreite des für das Jahr 2006 empirisch bestimmten Höhenprofils der Eismasse (blau) im Vergleich zum Ergebnis von Surges nach 16 Modelljahren (rot), gestartet mit der Eisverteilung von 1990 (MAROWSKY, 2010)

Die Ergebnisse dieser Vergleiche der drei Beispielgletscher sind für die einzelnen Abschnitte des Validierungszeitraums ausführlich in der Diplomarbeit von MAROWSKY (2010) dokumentiert. Im Hinblick der erforderlichen Parametrisierungen der *Subskala* und den Vereinfachungen der Prozessbeschreibung im Gletschermodell *Surges* stimmen die Flächenänderungen, die Eisdickenänderungen und auch die spezifischen Massenänderungen über 10 bis 30 Jahre gut mit den Beobachtungen überein. Die Modellkomponente ist somit zur Berechnung der Schmelzwasserproduktion aller Gletscherflächen im Einzugsgebiet bestens geeignet.

Dies gilt nicht nur für die Ergebnisse über den längeren Zeitraum von ca. 10 Jahren, welcher in der Regel zwischen zwei geodätischen Vermessungsaufnahmen liegt. Die Ergebnisse von *Surges* erlauben auch die Berechnung der Höhenprofile der jährlichen spezifischen Massenbilanz. Sofern vorhanden, können diese mit Messungen nach der Glaziologischen Methode verglichen werden. Für den Vernagtferner sind detaillierte Massenbilanzreihen verfügbar, die sogar für Teilbereiche des Gletschers mit unterschiedlicher Exposition bestimmt wurden. Diese sind mit subskalig auf den einzelnen Rasterelementen berechneten Höhenprofilen der spezifischen Massenbilanz vergleichbar. Abbildung 6 zeigt ein Beispiel für das Haushaltsjahr 1.10.2002 bis 30.9.2003 unter den extremen Verlustbedingungen des Sommers 2003.

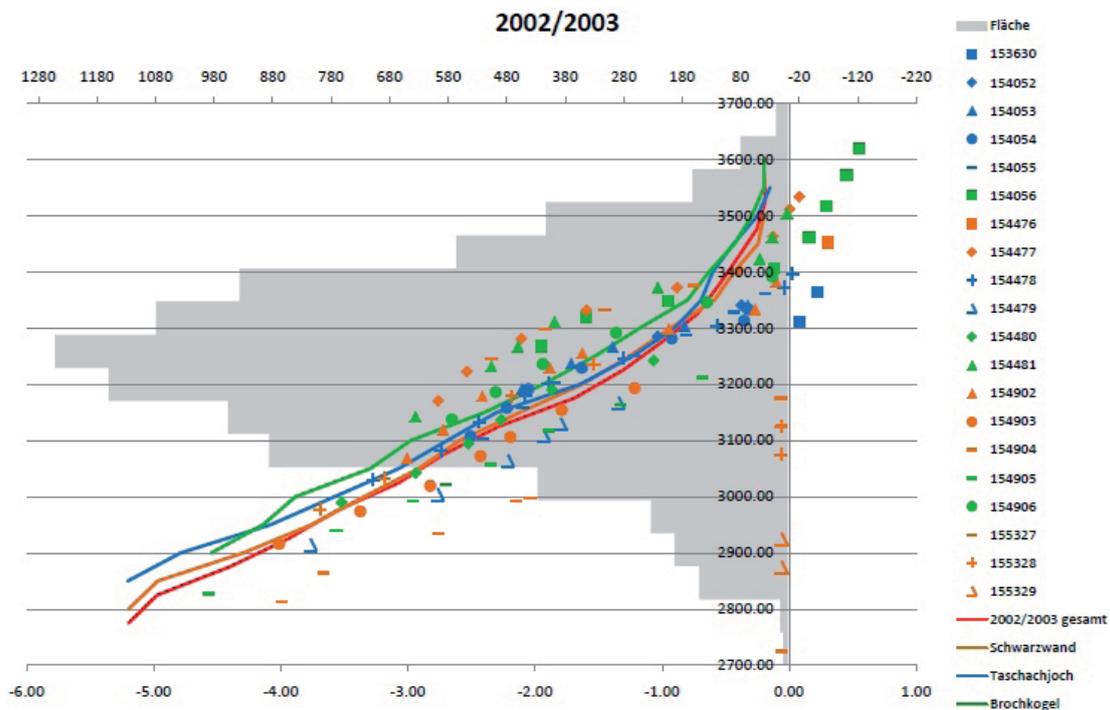


Abb. 6: Beispiel für den Vergleich des Höhenprofils der spezifischen Massenbilanz des extremen Haushaltsjahres 2002/03 gemessen nach der glaziologischen Methode (Linien) und proxelweise berechnet durch *Surges* (Symbole) für drei unterschiedlich exponierte Teilbereiche des Vernagtferners und dem Gesamtgletscher. Im Hintergrund in grau die empirische Flächen-Höhen-Verteilung der Gletscheroberfläche (MAROWSKY 2010)

Die Übereinstimmung der berechneten und der gemessenen Profile ist für ein Modellergebnis gut, insbesondere angesichts der Unsicherheiten bei der empirischen Massebilanzbestimmung einerseits und denen der extrapolierten meteorologischen Eingangsdaten des Modells andererseits. Dies gilt nicht nur für die absoluten Werte, sondern auch für deren Änderung mit der Höhe. Die Abweichungen in den tiefsten und höchsten Bereichen haben ein geringes Gewicht, da dort die betroffenen Flächenanteile minimal sind (Abb. 6).

Dennoch zeigt die Validierungsstudie systematische Abweichungen in den Gletscherarealen, in denen kleinräumige Prozesse (Lawinenakkumulation, Schattenwirkung) wirksam sind, die durch das Konzept der *subskaligen* Parametrisierung nicht erfasst werden können.

2.2.4 Detaillierte Visualisierung der Modellergebnisse auf der Subskala

Die Auswertung der der *Surges*-Resultate mit einem DHM des Eiskörpers auf subskaliger Ebene ermöglicht die detaillierte Bestimmung der Gletschergrenze, was die operationellen Modellergebnisse von DANUBIA allein auf der Basis der Höhenstufen nur näherungsweise erlauben (siehe auch WEBER et al. 2009a; WEBER und KUHN 2009).

Danach ist nicht nur eine Überprüfung der dynamischen Berechnung der Gletschergeometrie im Sinne der Validierung (Abb. 7) möglich, sondern auch die Visualisierung einzelner Stadien des Gletscherzerfalls unter der Bedingung einer fortschreitenden Klimaerwärmung.

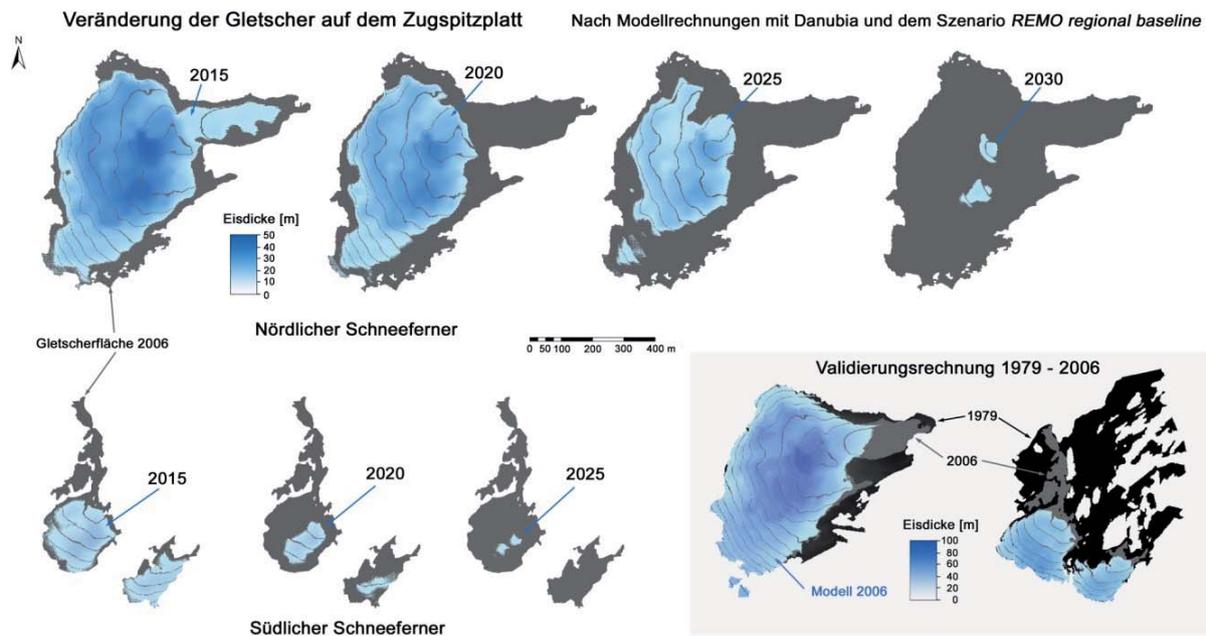


Abb. 7: Veränderung der Gletschergrenzen und der Eisdickenverteilung des nördlichen und des südlichen Schneeferners innerhalb von 5 Dekaden unter der Randbedingung des GLOWA-Danube-REMO-regional-Baseline- Szenario (MAROWSKY 2010)

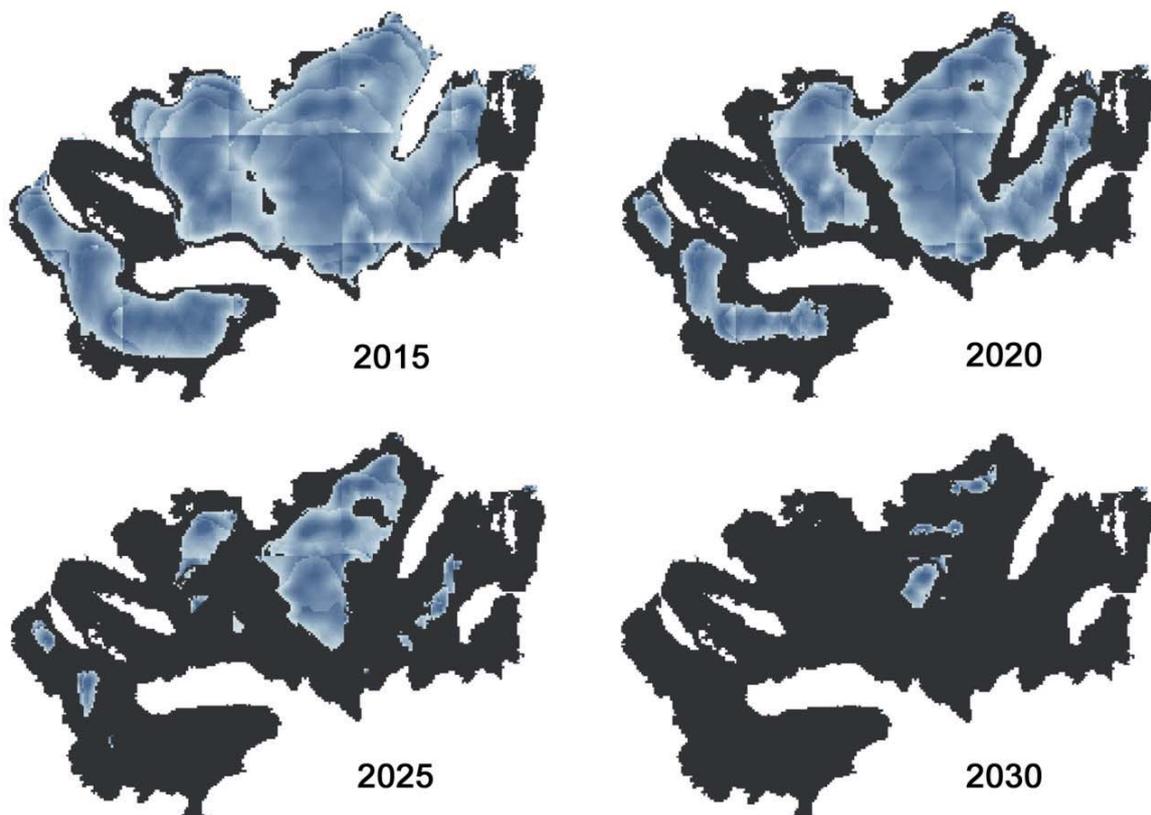


Abb. 8: Veränderung der Gletschergrenzen und der Eisdickenverteilung des Vernagtferners in den Ötztaler Alpen unter der Randbedingung des GLOWA-Danube-REMO-regional-Baseline- Szenario (2MAROWSKY 2010)

Abbildung 7 zeigt das Zurückschmelzen der Gletscher auf dem Zugspitzplatt unter der Bedingung des GLOWA-Danube Szenario REMO Regional Baseline im Abstand von 5 Modelljahren, Abbildung 8 den Zerfall des Vernagtferners. Dort zeichnen sich relativ deutlich die 1x1km²-Rasterelemente des Rahmenprogramms DANUBIA ab, für die unterschiedliche Treiberdaten bereitgestellt werden und auf denen die Teilbereiche des Gletschers unabhängig voneinander berechnet werden.

Das rasche Abschmelzen auch des „großen“ Beispielgletscher erscheint zunächst überraschend, ist aber unter den Annahmen des gewählten Szenario mit deutlich höheren Sommertemperaturen und vor allem einem Rückgang des Sommerniederschlags von 30% gegenüber der Referenzperiode durchaus plausibel.

2.3 Integrative Arbeiten

Im Mittelpunkt der integrativen Arbeiten des Teilprojektes Glaziologie standen im Berichtsjahr 2009/10 die Auswertung und Bewertung der operationellen Langzeitrechnungen für den Referenzzeitraum 1970-2000 und der im Rahmen des Stakeholderprozesses entwickelten Szenarien. Auch die integrativen Arbeiten erfolgten in enger Zusammenarbeit und Unterstützung des Lehrstuhls für Geografie und geografische Fernerkundung der LMU München, namentlich von *Monika Prasch*. Es wurden spezielle Läufe mit unterschiedlicher Konfiguration durchgeführt, um die lokale Bedeutung des Schnee- und Eisspeichers in der Abflussgenese beliebiger Teileinzugsgebiete und dessen Veränderungen in einem sich verändernden Klima zu untersuchen. Die quantitative Beantwortung dieser bislang nur unvollständig gelösten Fragestellung ist das primäre Antragsziel der Arbeitsgruppe Glaziologie.

Die Untersuchung basiert auf der These, dass besonders im Einzugsgebiet der oberen Donau die Alpen einen substanziellen Wasserlieferanten („Wasserschloss“) für das vorgelagerte Tiefland darstellen, dessen Wasser über das Flussnetz zur Donau transportiert wird (WEHREN et al. 2010). Die Anlieger im Alpenvorland profitieren u.a. vom Wasserreichtum der Alpen in Form einer relativ ausgeglichenen Wasserführung der Flüsse. Nach WEHREN et al. (2010) produziert der in den Alpen gelegene Anteil des Donaueinzugsgebietes die 2.6 fache Abflussmenge wie im außeralpinen Bereich, der im Einzugsgebiet der Oberen Donau bei Passau ca. 2/3 der 76660km² umfasst. Dort erreicht der spezifische Abfluss der Donau nach der Einmündung des Inns das Maximum.

Der deutlich höhere spezifischen Abfluss alpiner Einzugsgebiete hat seine Ursachen in einer Reihe von Besonderheiten im Wasserhaushalt, die im hydrologischen Modell berücksichtigt werden: Das Bergland empfängt insbesondere wegen orographischer Effekte deutlich mehr Niederschlag (BARRY 2008), die Verdunstung und die Speicherfähigkeit des Bodens sind in höheren Lagen reduziert, die Schneeschmelze bezuschusst den Abfluss besonders im Frühjahr und Frühsommer und die Eisschmelze liefert insbesondere in Zeiten des Gletscherschwund zusätzliche Abflussspenden im Hoch- und Spätsommer. Die temporäre Speicherung des Niederschlags in der Schneedecke und die langfristige Speicherung in Form von Gletschereis prägt insbesondere das Abflussregime. Neben der Veränderung des Niederschlagseintrags infolge des Klimawandels wird die Abnahme des Volumens des Schnee- und Eisspeichers im Alpenraum den größten Einfluss auf die Wasserverfügbarkeit in den Flüssen haben. Deshalb ist zum Verständnis des Wasserhaushalts nicht nur die Höhe des Abfluss von Interesse, sondern auch dessen Aufteilung nach Herkunft aus Regen, Schnee- und Eisschmelze.

2.3.1 Beitrag der Gletscherschmelze zum Abfluss

Wie bereits im Jahresbericht 2008/09 erläutert, ermöglicht das Konzept von *Surges* die Bestimmung des Beitrages der Gletscher zum Abfluss in beliebigen Teileinzugsgebieten (>100km²) aus der Differenz des in zwei jeweils mit und ohne Gletschereis initialisierten Läufe berechneten Abflusses. Der erste Lauf berechnet den Beitrag zum Abfluss durch Regen, Schneeschmelze und speziell die Eisschmelze von den Gletscherflächen. Der zweite berechnet mit iden-

tischen meteorologischen Treiberdaten auch auf den Gletscherflächen nur Regen- und Schneeschmelzabfluss.

Die auf diese Weise bestimmte Eisschmelze ist tatsächlich das an der schneefreien Gletscheroberfläche gebildete Schmelzwasser und nicht die häufig aus der Abnahme des Eisvolumens innerhalb eines längeren Zeitraums abgeschätzte Gletscherspende. Letztere deckt nur den Anteil an der Schmelzwassermenge ab, welcher dem Massenverlust an der anfänglichen Eisressource entspricht. Sie tritt also nur bei einer negativen Massenbilanz überhaupt in Erscheinung. Aber selbst unter der Bedingung eines Massenzuwachses im Haushaltsjahr wird Eis geschmolzen und dessen Schmelzwasser im Gletscherbach dem Abfluss zugeführt, sobald die tiefsten Flächen des Gletschers ausapern. Die verlorene Eismasse wird in diesem Fall im oberen Bereich des Akkumulationsgebietes durch Metamorphose von Teilen der Schneedecke ersetzt, die in diesem Haushaltsjahr nicht geschmolzen wurden. Prinzipiell kann das Areal mit Eisschmelze bis zu einem Drittel der Gletscherfläche umfassen, ohne dass dieses Schmelzwasser als Gletscherspende in Erscheinung tritt. Bei einem Eintrag über die Winterschneedecke von 1000mm w.e. entspräche dieser maximale Beitrag bezogen auf die Gletscherfläche immerhin einem spezifischen Abfluss von 300mm.

Anteil Eisschmelze am Abfluß [%]

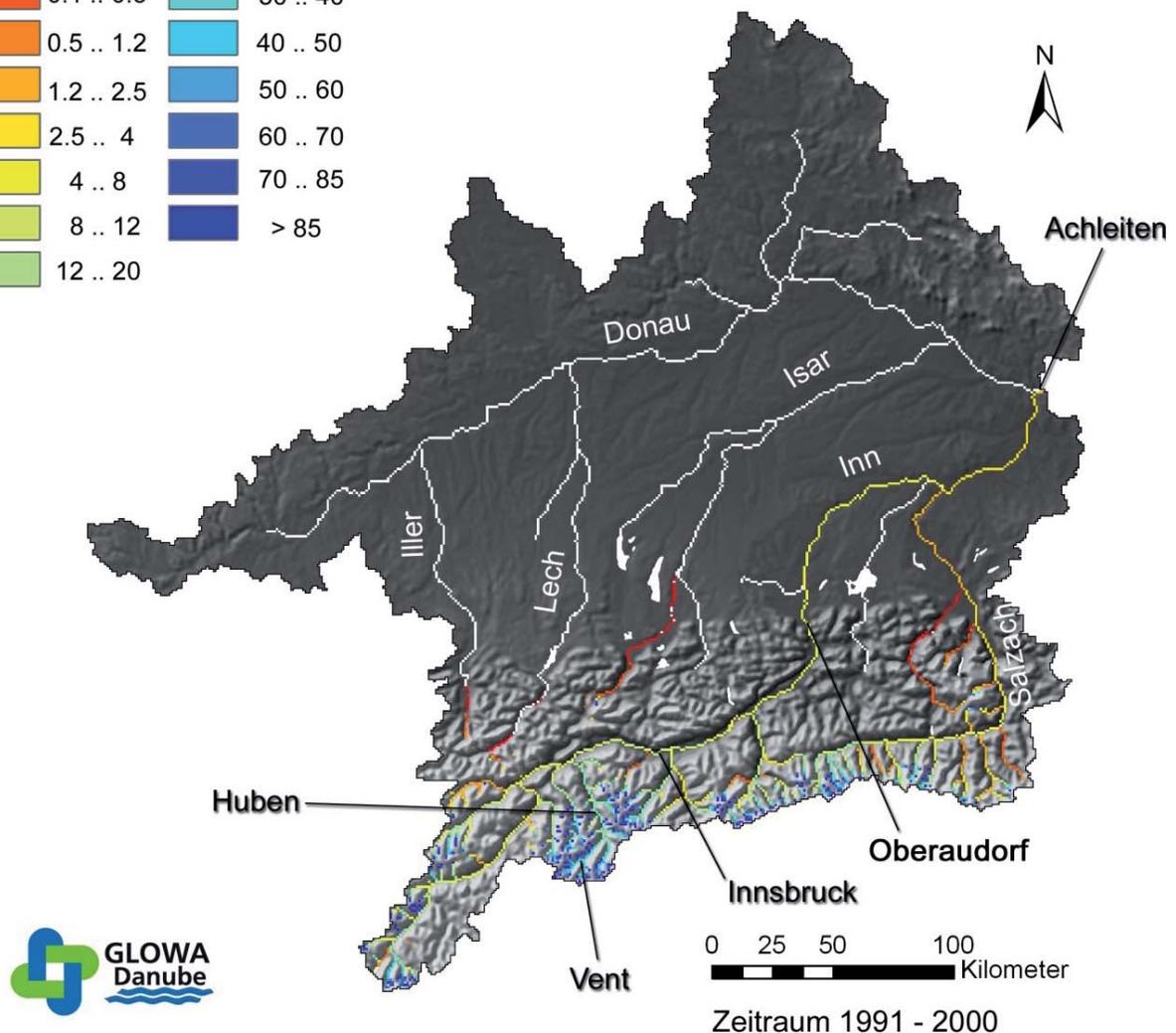
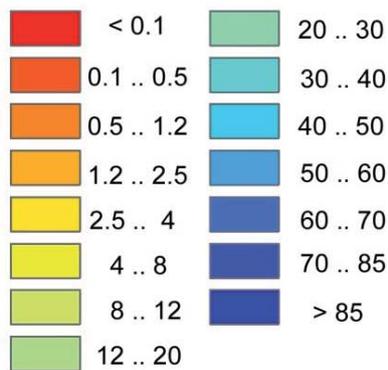


Abb. 9: Mittlerer jährlicher Anteil der Eisschmelze am Abfluss im Einzugsgebiet der oberen Donau für den Zeitraum 1991-2000

In der Abbildung 9 ist der so ermittelte mittlere jährliche Anteil des Eisschmelzwassers am Abfluss für die Dekade 1991-2000 im gesamten Donaeinzugsgebiet dargestellt. Die Farbgebung vermittelt, dass nur im Inn und seinen Zuflüssen nennenswerte Anteile an Eisschmelzwasser vorhanden sind. In weiten Abschnitten des Gerinnes ist der Beitrag der Gletscher zum Abfluss mit unter 5% auch inneralpin erstaunlich gering. Wirklich bedeutsam mit über 50% ist er nur im Bereich der hochgelegenen Kopfeinzugsgebiete, in denen sich die Gletscher selbst befinden. Andererseits lässt sich das Gletscherwasser im Gebirgsbach auch bei sehr kleinen Gletschern an der Alpennordseite nachweisen, wie beispielsweise das Schmelzwasser der Zugspitzgletscher in der Loisach.

Wie der Abbildung 10 mit Beispielen des mittleren monatlichen Jahresgang des Abflusses und der Eisschmelze für ausgewählte Teileinzugsgebiete entnommen werden kann, fällt der Hauptbeitrag der Gletscher in den Monaten Juli und August an, wenn große Areale der Gletscher schneefrei sind und dort die absorbierte kurzweilige Einstrahlung maximale Werte annimmt. Dann wachsen die Beiträge auf ca. das dreifache des Jahresmittelwerts an. Während in Kopfeinzugsgebieten wie Vent der Anteil Gletscherschmelze am Abfluss im August deutlich über 50% beträgt, erreicht er im Inn bei Innsbruck maximal nur noch ca. 20%. Mit wachsendem Abstand von den Alpen sinkt er bis auf maximal 5% an der Einmündung des Inn in die Donau. Eine kompensatorische Wirkung der Eisschmelze auf die Wasserführung in Trockenzeiten bleibt daher die Kopfeinzugsgebiete beschränkt. Für die Donau an der Einzugsgebietsgrenze unterhalb von Passau dagegen kann das Schmelzwasser der Gletscher mit einem Beitrag zwischen 1 und maximal 5% schon heute keinen ausreichenden Ausgleich bieten.

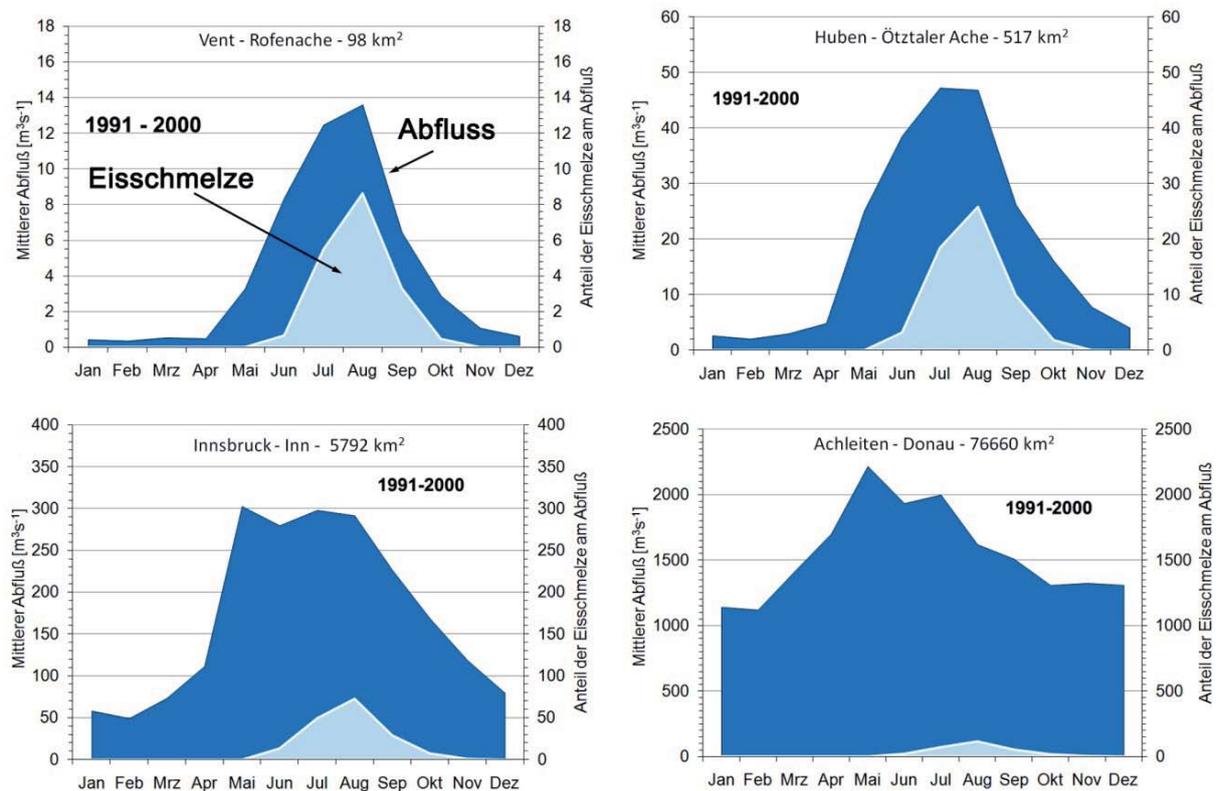


Abb. 10: Mittlere Monatsmittel des Abflusses und des Anteils an Eisschmelzwasser für vier Teileinzugsgebiete der oberen Donau für den Zeitraum 1991-2000

Die Abbildung 10 zeigt demonstriert anhand des Jahresgangs des Abflusses auch die wichtigsten Prototypen des Abflussregimes: Während die Einzugsgebiete Vent und Huben ein ausgeprägtes glaziales Regime - also durch die Glazialabflüsse dominiert - zeigen, ist es in Innsbruck nivo-glazial - Schnee- und Eisschmelze- und in Achleiten nivo-pluvial, also primär durch Schneeschmelze und Regen bestimmt.

Untersucht wurden ferner die Auswirkungen des Gletscherschwunds im Rahmen des durch die GLOWA-Danube-Szenarien aufgespannten „Trichter“ der Erwärmungs- und Niederschlagstrends. Die Auswirkungen des etwa in der Mitte liegenden REMO-Regional-Baseline-Szenario sind detailliert in dem Beitrag WEBER und PRASCH (2009b) dargestellt, Ergebnisse zu dem den unteren Rand der Bandbreite begrenzenden Szenario IPCC-Baseline in der Veröffentlichung WEBER et al. (2009b). Die Auswirkungen für die Gletscher sind in allen Szenarien ähnlich, da sie mit einer raschen Abnahme von deren Fläche verbunden sind. Unter der Bedingung eines wärmeren Klimas nimmt die Bedeutung der Gletscher für den Wasserhaushalt über die beiden ersten Dekaden bis etwa 2030 sogar noch etwas zu. Dies liegt an der zunächst weiter gesteigerten Gletscherschmelze, die im Modell mit einer deutlich längeren Ablationsperiode und der Erstreckung des Eisgebietes auf den Gesamtgletscher erklärt wird. Mit dem Verbrauch der Eisreserven ist jedoch eine drastische Flächenabnahme verbunden, so dass der Beitrag am Abfluss in Zukunft deutlich abnimmt. In der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts wird er selbst am Pegel Innsbruck maximal im einstelligen Prozentbereich liegen und somit in Trockenzeiten eine nur unwesentliche kompensatorische Wirkung zeigen.

2.3.2 Beitrag der Schneeschmelze zum Abfluss

Der Beitrag zum Abfluss durch die Eisschmelze ist in weiten Teilen des Einzugsgebietes unbedeutend, sehr viel mehr prägen dagegen Regen und Schnee das Abflussregime in den Teileinzugsgebieten. Im Gegensatz dem Anteil der Eisschmelze ist der der Schneeschmelze und des Regens sehr viel schwieriger zu bestimmen, da dessen Wege über das Abflusssystem sehr viel komplexer sind. In einem nichtstationären System ändern sich somit die Bodenspeicherungsinhalte. Auch unterscheidet sich die Verdunstung über Schneeflächen erheblich von der über schneefreiem Gelände mit Vegetation. Folglich müsste eigentlich das Schicksal eines irgendwo durch Schneeschmelze oder Regen entstandenes Wasserpaket auf seinem Weg in und durch das Gerinnenetzwerk im Lagrange's Sinne verfolgt werden, was aber auch in DANUBIA/Promet nicht möglich ist.

Wie bei den Gletschern den Schneespeicher auszublenden und die Differenz der Abflüsse zu analysieren, führt daher nicht unmittelbar zum Ergebnis, da ohne Schneespeicher deutlich andere Bedingungen bei der Abflussgenese herrschen wie bei Anwesenheit einer Schneedecke. Die Analysen zeigten jedoch, dass eine derartige Vorgehensweise bei einer quasistationären Betrachtungsweise wenigstens näherungsweise zu einem aussagefähigen Resultat führt. Der Schneedeckenspeicher lässt sich einfach dadurch deaktivieren, indem die Schwellentemperatur zur Unterscheidung des Aggregatzustands des Niederschlags im Schneemodell auf 0°K gesetzt wird. In der Folge fällt im Modell kein Schnee mehr. Die integrale Abweichung der Hydrographen mit und ohne Schneespeicher (ohne Gletscher) ist ein Maß für dessen Bedeutung bei der Abflussgenese. Angesichts der nur geringen Abweichungen der mittleren Abflusssummen von unter 5% sind die Einflüsse der anderen Größen vertretbar klein für eine direkte Interpretation der Indexgröße als Anteil der Schneeschmelze am Gesamtabfluss.

In der Synthese der Ergebnisse mit den im Abschnitt 2.3.3 beschriebenen Resultaten ergibt sich nun ein Gesamtbild der hydrologischen Bedingungen, wie es in Abbildung 11 für die Dekade 1991-2000 präsentiert wird. Die Farbgebung des Gerinnenetzes repräsentiert den relativen Anteil der Schneeschmelze am Abfluss im Bereich der oberen Donau. In außeralpinen Teileinzugsgebieten liegt dieser überall unter 20% (Orange). In den Alpen dagegen ist die Bedeutung der Schneedecke hoch, am höchsten in den Tälern des Alpennordrandes, kenntlich an den blauen Farbtönen. In den vergletscherten Kopfeinzugsgebieten dagegen konkurriert die Schneeschmelze mit der Eisschmelze. Dadurch ist dort relative der Anteil aus der Schneedecke kleiner als in den gletscherfreien Regionen. Der insgesamt hohe Anteil an Schneeschmelze in den Alpen wird über Donauzuflüsse mit einer Quellregion innerhalb der Alpen in das Alpenvorland exportiert. Im Wasser der Isar oder des Lech ist der Anteil an Schneeschmelze mit über 30% deutlich höher wie in den benachbarten Einzugs-

gebieten im Tiefland, erkennbar an der gelben Farbe. Ähnliches gilt auch für den Export aus den Hochlagen des Bayerischen Waldes.

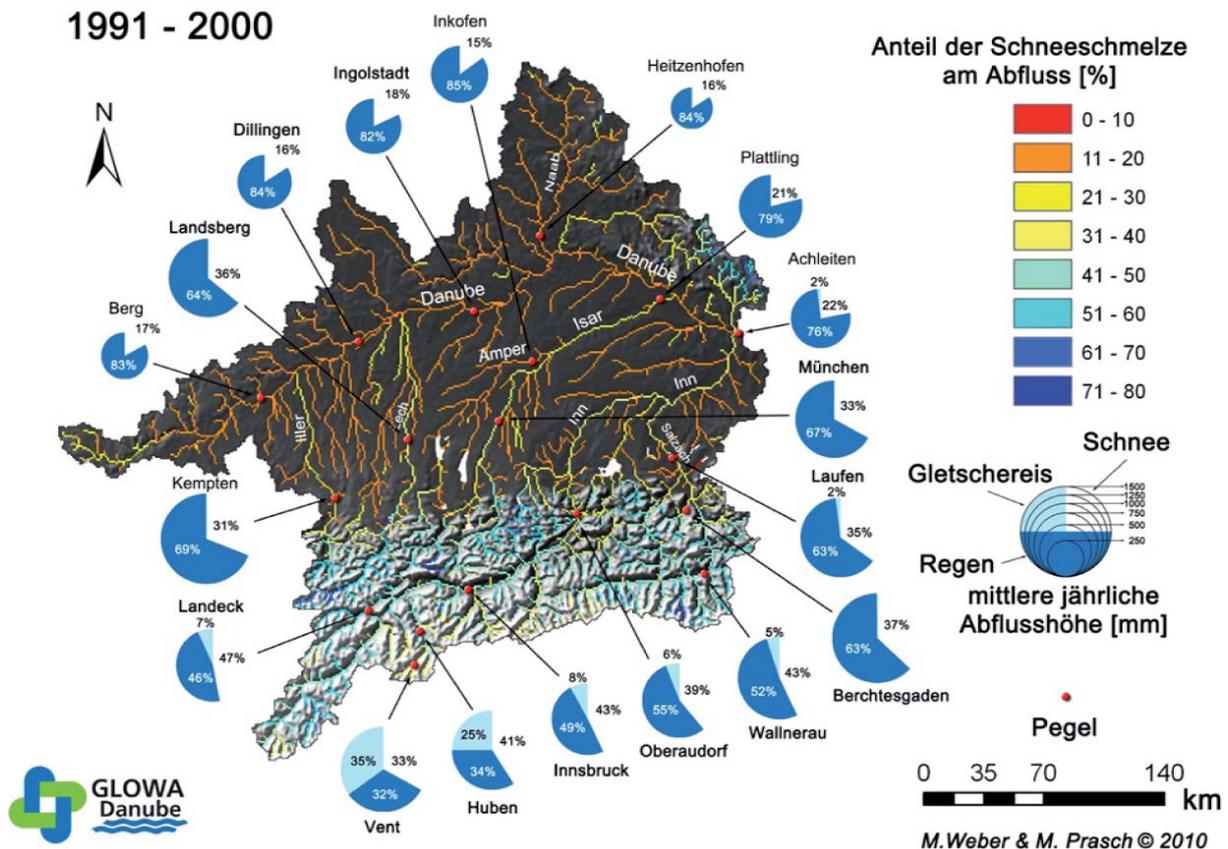
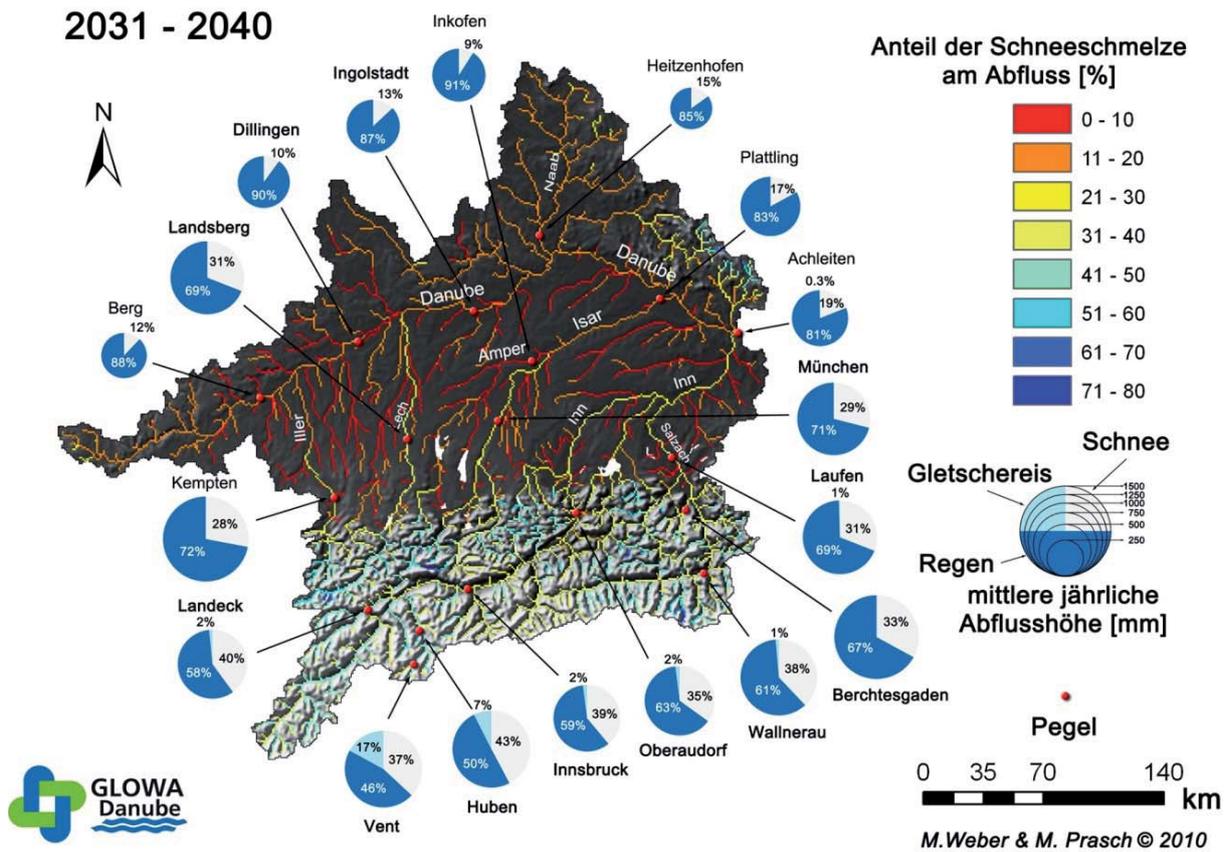


Abb. 11: Ungefährer prozentualer Beitrag der Schneeschmelze am mittleren jährlichen Abfluss im Gerinnenetz der Oberen Donau und für ausgewählte Teileinzugsgebiete der mittlere spezifische Abfluss, aufgeteilt in die Anteile aus Regen, Schnee- und Eisschmelze für die Dekade 1991-2000

Als ein weiterer wichtiger Indikator für die hydrologische Produktivität eines Einzugsgebietes gilt dessen spezifischer Abfluss. Er ist in Abbildung 11 für eine Reihe von Teileinzugsgebieten als Kuchendiagramm beigefügt, das die Höhe des mittleren Abflusses anhand der Fläche repräsentiert. Die jeweiligen Anteile aus Regen, Schnee- und eventuell Eisschmelze sind durch Segmente gekennzeichnet. Prinzipiell zeigen die inneralpinen Einzugsgebiete hohe spezifische Abflüsse bis zu 1500 mm mit einem hohem Anteil an Schnee- oder gegebenenfalls Eisschmelze, während die vergleichbaren außeralpinen Einzugsgebiete nur zwischen 300 und 600 mm an Abfluss liefern. Der Anteil an der Schneeschmelze liegt dort nur bei etwa 15%. Die Flussläufe mit Quellgebiet in den Alpen exportieren diese Wassermengen in Richtung Donau. Dies ist besonders klar ersichtlich an der Isar bei München. Der mittlere Jahresabfluss liegt mit 1000 mm sogar über dem örtlichen Niederschlag, der Anteil von 33% Schneeschmelze liegt nur wenig unterhalb der dem inneralpinen Einzugsgebiete direkt am Alpennordrand. Das ähnlich große benachbarte Einzugsgebiet von Inkofen an der Amper liefert dagegen nur etwa 600 mm Abfluss bei einem Anteil der Schneeschmelze von 15%. Diese Fernwirkung ist allen Flüssen mit Alpenanschluss gemeinsam. Richtung Donau wird diese Fernwirkung zwar deutlich schwächer, das Schneeschmelzwasser wird durch größere Regenanteile „verdünnt“, dennoch sind sowohl die spezifischen Abflüsse als auch die Anteile an Schneeschmelzwasser auch unmittelbar vor der Einmündung deutlich höher als in den Gewässern der Umgebung. Selbst in der Donau steigt der Anteil des Wassers aus dem Alpenschnee in Richtung Passau mit der Einmündung jedes Nebenflusses aus den Alpen, was ein wichtiger Hinweis auf dessen Bedeutung als Wasserlieferant ist.

**Scenario REMO regional baseline
2031 - 2040**



**Scenario REMO regional baseline
2051 - 2060**

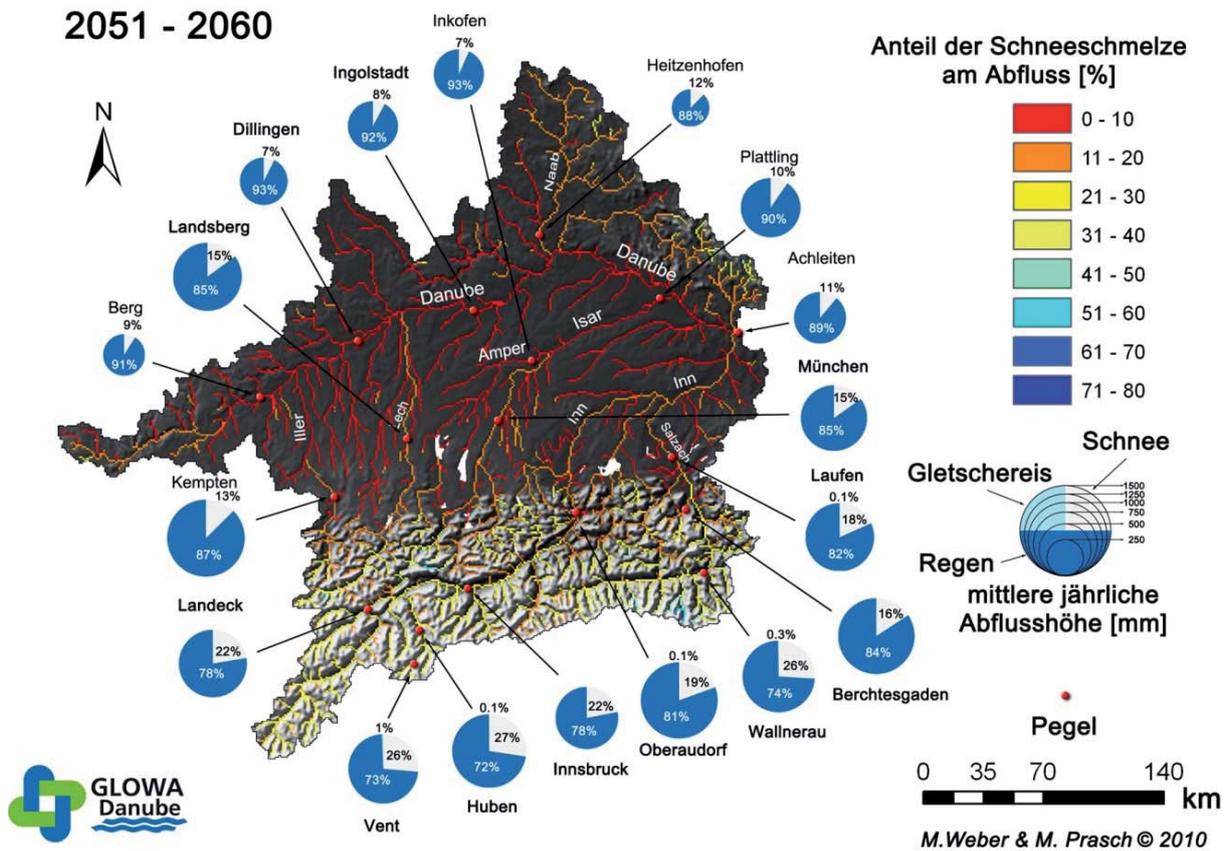


Abb. 12: Wie Abbildung 11, jedoch Zukunftssimulation mit dem Szenario REMO Regional Baseline für die Dekade 2031-2040 (oben) und 2051-2060 (unten)

Wie verändert sich dieses Bild in einer Zukunft mit einer weiteren Klimaerwärmung? Abbildung 12 zeigt zwei Auswertungen der Modelldekaden 2031-2040 und 2051-2060 auf der Basis von Simulationen mit dem Klimaszenario REMO-Regional-Baseline. In der ersten Phase ab 2031 (Abb. 12 oben) macht sich das geringere Volumen des Schneespeichers auf Grund der Erwärmung bereits im gesamten Einzugsgebiet bemerkbar. In weiten Bereichen des Alpenvorlands sinkt der Anteil der Schneeschmelze am Abfluss unter 10%. Doch auch innerhalb der Alpen gibt es bereits drastische Veränderungen: In den hochgelegenen Kopfeinzugsgebieten fehlt mit dem Flächenrückgang der Gletscher ein wesentlicher Beitrag durch die Eisschmelze. Dadurch gewinnen sowohl die Schneeschmelze als auch der Regenabfluss zunächst an Bedeutung, können aber die Gletscherspende nicht kompensieren. Folglich nehmen die spezifischen Abflüsse ab. Dies gilt auch für die inneralpinen Tallagen, hier verliert jedoch der Schneespeicher zugunsten der Regenniederschläge allmählich an Bedeutung. Insgesamt wird in der Dekade 2031-2040 immer noch Wasser aus den Alpen exportiert. Der Anteil an Schneeschmelze ist in den Zuflüssen mit Gebirgsanschluss im Vergleich zu den Einzugsgebieten in der Umgebung unverändert hoch. Mit dem allgemeinen Rückgang der Jahressummen des Niederschlags nehmen jedoch die spezifischen Abflüsse überall ab. Im Vergleich zu den Zuflüssen von Süden sind die Änderungen bei denen aus Norden (Heitzenhofen) vergleichsweise moderat.

In der letzten Phase der Simulation, der Dekade 2051-2060 sind die Veränderungen gegenüber der gegenwärtigen Situation sowohl in den Alpen als auch außerhalb drastisch. Die Zuflüsse des Schmelzwassers von den Gletschern sind nur noch unbedeutende Rinnsale. Der Anteil des Wassers aus der Schneeschmelze entspricht inneralpin in weiten Bereichen in etwa den gegenwärtigen Verhältnissen im Alpenvorland. Fast im gesamten Einzugsgebiet hat sich das Abflussregime in ein überwiegend pluviales gewandelt, d.h. der Abfluss folgt weitgehend dem lokalen Niederschlag. Wegen dessen Abnahme besonders im Sommer verringert sich der spezifische Abfluss im gesamten Einzugsgebiet der oberen Donau. Sehr deutlich nehmen jedoch die Leistung des „Wasserschlosses Alpen“ und seine Fernwirkung zur Donau ab. Sie ist nur noch geringfügig im Bereich des Inn und des Lech und im Oberlauf der Isar vorhanden. Die Isar bei München profitiert zwar immer noch von den Alpen, die mittlere Abflussspende ist jedoch um 20% niedriger als heute, und nur noch 15% davon ist Schneeschmelzwasser. An der Donau dagegen wird der Abfluss durch die Zuflüsse aus den Alpen kaum modifiziert.

Dies zeigt, dass das Wasserschloss Alpen seine Fähigkeiten zum Wasserexport in besonderem Maße dem Schneespeicher verdankt. Mit dessen Einschränkung im Rahmen des Klimawandels ist mit deutlichen Änderungen im Abflussregime im Einzugsgebiet der oberen Donau zu rechnen, selbst wenn der Rückgang der Wassermenge insgesamt moderat bleiben sollte.

3. Fazit und Ausblick

Mit der Integration des Schneemodells und dem Gletschermodell Surges in das DANUBIA-System wurde ein wertvolles und mächtiges Werkzeug zur Untersuchung hydrologischer Fragestellung in Hochgebirgsregionen geschaffen. Es ist zudem bestens geeignet, um Fragestellungen bezüglich des Globalen Klimawandels zu bearbeiten.

Die im Rahmen von GLOWA-Danube gewonnene Erfahrung zur Langzeitmodellierung der Gletscher liefert einen wichtigen Baustein für das Verständnis der Gletscher-Klima-Beziehung und ist vor allem für zukünftig geplante Forschungsarbeiten der am Teilprojekt Glaziologie beteiligten Institutionen sehr wertvoll. Der Erfolg der bisherigen Arbeiten ist jedoch primär der interdisziplinären neuartigen Zusammenarbeit der Vielzahl der universitären und außeruniversitären Einrichtungen geschuldet, die sich für das Projekt GLOWA-Danube zusammengeschlossen haben. Über die Ergebnisse des Projektes kann sich

jedermann auf der Internetseite www.Glaziologie.de und unter www.Glowa-Danube.de informieren. Sie wurden zudem allgemeinverständlich in der Druck- und Onlineausgabe des „Global Change Atlas obere Donau“ veröffentlicht. Bei der Bewertung der Ergebnisse gilt es zu bedenken, dass es sich um Modellrechnungen auf der Basis von Szenarien und nicht um Prognosen handelt.

In der gegenwärtig noch verbleibenden Restzeit der Projektarbeit gilt es, neben der Überführung der Software in „Open Source“ möglichst viel der Erkenntnisse in Form von Veröffentlichungen für die Zeit nach GLOWA-Danube zu dokumentieren.

4. Literatur

- BARRY, R.G. (2008): „Mountain Weather and Climate“, Cambridge University Press, ISBN 978-0-521-86295-0,
- BRAUN, L.N., ESCHER-VETTER, H., HEUCKE, E., SIEBERS, M. und WEBER, M. (2004): „Experiences with the new ‘Vernagtbach’ hydro-meteorological station“. In: OERLEMANS and TIJM-REIJMER: Book of extended abstracts of presentation at the Workshop „Automatic Weather Stations on Glaciers“, Pontresina, 28 to 31 March 2004, IMAU, pp. 38-44. Im Internet auch unter http://www.glaziologie.de/download/aws_abstracts_v2.pdf herunterladbar.
- JOUVET G., PICASSO M., RAPPAZ J. und BLATTER, H. (2008): „A new algorithm to simulate the dynamics of a glacier: theory and applications“, Journal of Glaciology", Volume 54(188), S. 801-811.
- JOUVET, G., HUSS, M., BLATTER, H., PICASSO, M. and RAPPAZ, J. (2009): Numerical simulation of Rhonegletscher from 1874 to 2100 . Journal of Computational Physics, 228(17), 6426-6439, doi:10.1016/j.jcp.2009.05.033
- MAUSER, W., (2009): „Die GLOWA-Danube Klimavarianten aus dem statistischen Klimagenerator“, Kapitel S4, GLOWA-Danube-Projekt, LMU München (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, München.
- MAUSER, W. und BACH, H. (2009): „PROMET – a Physical Hydrological Model to Study the Impact of Climate Change on the Water Flows of Medium Sized, Mountain Watersheds“, Journal of Hydrology, 376, S. 362-377.
- KUHN, M. und OLEFS, M.,(2007): „Auswirkungen von Klimaänderungen auf das Abflussverhalten von vergletscherten Einzugsgebieten in Hinblick auf Speicherkraftwerke“, Bericht StartClim2007.E, IMGI, 49S.
- OERLEMANS, J., (2001): „Glaciers and Climate Change“, A.A. Balkema Publishers, Lisse/Abingdon/ Exton/ Tokyo, ISBN 90 265 1813 7, 148 S.
- WEBER, M., (2007): „A parameterization for the turbulent fluxes over melting surfaces derived from eddy correlation measurements“, In: Strasser, U. and Vogel, M. (Eds.): Proceedings of the Alpine*Snow*Workshop (www.alpinesnowworkshop.org), Munich, October 5-6, 2006, Germany. Berchtesgaden National Park research report, Nr. 52.
- WEBER, M., (2009): „Gletscher - Mikrometeorologische Prozesse bei der Ablation eines Alpengletschers“, Abhandlungen der Math.-Naturwissenschaftl. Klasse, 40 Tafeln. XL, 258 S., Verlag C.H.Beck, München, ISBN 978-3-7696-2564-6.
- WEBER, M. und KUHN, M., (2008), Jahresbericht Teilprojekt Glaziologie 2007/8.
- WEBER, M. und KUHN, M., (2009), Jahresbericht Teilprojekt Glaziologie 2008/9

WEHREN, B., WEINGARTNER, R., SCHÄDLER, B. und VIVIROLI, D. (2010): „General Characteristics of Alpine Waters“. In: BUNDI, U. (ed.), Alpine Waters, Hdb Env Chem (2010) 6: 17-58, DOI 10.1007/978-3-540-88275-6_2, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010.

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

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

1. Allgemein

1.1 Organisation

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

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

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

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

1.2 Personelles

Keine Veränderung zum vorhergehenden Berichtszeitraum

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

1.3 Meetings im Berichtszeitraum

- 08.2009 Projektleitertreffen, München (i.V. Preuschmann)
- 10.2009 Nationale GLOWA Abschlusskonferenz, Potsdam (Jacob, Pietikäinen, Preuschmann)
- 03.2010 Projektleitertreffen, München (Jacob)

1.4 Veröffentlichungen, Vorträge und Posterpräsentationen

Glowa-Atlas

MAUSER W., MARKE, T., REITER, A., JACOB, D. und PREUSCHMANN, S. (2009): GLOWA-Danube Klimatrends, Kapitel S2; Global Change Atlas, Einzugsgebiet Obere Donau, Hsg: GLOWA-Danube Projekt, Ludwig-Maximilians-Universität München, 2009.

MARKE, T., MAUSER, W., PFEIFFER, A., ZÄNGL, G., JACOB, D. und PREUSCHMANN, S. (2009): Klimavarianten der regionalen Klimamodelle MM5 und REMO, Kapitel S5; Global Change Atlas, Einzugsgebiet Obere Donau, Hsg: GLOWA-Danube Projekt, Ludwig-Maximilians-Universität München, 2009.

Vorträge

- 12.-14.10.2009 Vom globalen Klimawandel zum regionalen Klimaantrieb; Vortrag, Nationale GLOWA-Konferenz (W. Mauser, A. Pfeiffer, D. Jacob, S. Preuschmann, T. Marke, F. Zabel, C. Wastl und G. Zängl)

Poster

- 12.-14.10.2009 Klima-Szenarien und deren Umsetzung für die Klimafolgenmodelle; Poster, Nationale GLOWA-Konferenz (D. Jacob D., W. Mauser, A. Pfeiffer, S. Preuschmann, G. Zängl und T. Marke)

2. REMO Datenauswertung und Vergleich

In der ersten Nestungsstufe wurden beide im GLOWA-Danube Projekt benutzen regionalen Klimamodelle (REMO und MM5) mit dem gleichen globalen Datensatz angetrieben. Dabei wurde als Antrieb für die Simulation des Jetztzeit- und des möglichen Zukunftsklimas der Regionalmodelle eine vom gekoppelten Atmosphären-Ozean-Zirkulationsmodell ECHAM5-MPIOM berechnete globale Simulation verwendet, die am Max-Planck-Institut für Meteorologie erstellt wurde. Dabei liegen dem globalen Modell für den vergangenen Zeitraum

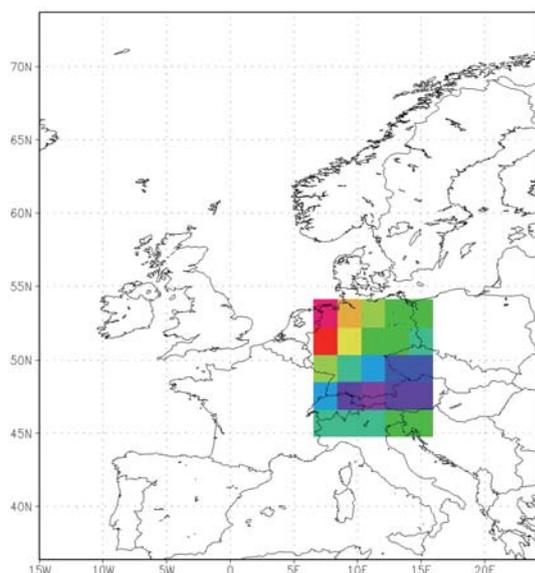


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes zur regionalen Auswertung der globalen ECHAM5-MPIOM Daten

(1950-2000) tatsächliche beobachtete Treibhausgaskonzentrationen vor, für zukünftige Zeiträume (2001-2100) aber, wurden die vom IPCC postulierten Emissionsszenarien verwendet. Den Auswertungen hier liegen die Ergebnisse der ersten von drei Rechnung mit dem A1B-Szenario zugrunde (1 Member). Die Ergebnisse des spektral rechnenden Klimamodells ECHAM5-MPIOM werden auf ein Gitter mit ungefähr 180km Gitterpunktsauflösung umgerechnet. Das Modell ist nicht gitterpunktsgenau, für regionale Betrachtungen muss stets ein Mittel über mehrere Gitterboxen gewählt werden. Um einer effektiven Modellauflösung nahe zu kommen (SKAMAROCK 2004), aber gegensätzliche Trendentwicklungen Nord- und Südeuropas auszugrenzen, wurde für die hier gezeigten Auswertungen ein Mittel über 5x5 Gitterboxen gewählt, wobei das obere Donau Einzugsgebiet im Zentrum der 25 Gitterboxen liegt (siehe Abb. 1).

In Abbildung 2 dargestellt ist der Verlauf des Klimaänderungssignals von Temperatur und Niederschlag für das ca. 900km x 900km umfassende Gebiet um das Einzugsgebiet der Oberen Donau nach den Berechnungen des gekoppelten Atmosphären-Ozean-Zirkulationsmodell ECHAM5-MPIOM. Es ist gut ersichtlich, dass sich in der Simulation des Klimas unter dem Emissionsszenario A1B für die mittlere Jahrestemperatur ein mittlerer Anstieg über den Zeitraum 1990-2100 ergibt. Dieser linear angenommene Trend ist saisonal aufgeschlüsselt, sowie für das Jahresmittel in Tabelle 1 dargestellt. In der relativen Niederschlagsänderung ist kein eindeutiger Trend ersichtlich. Ein linearer Zusammenhang der Ausgabegröße Niederschlag und ihre zeitliche Änderung ist nicht eindeutig feststellbar. Dennoch wurde unter der Annahme eines linearen Trends auch für den Niederschlag eine saisonale und Jahresgemittelte Trendanalyse durchgeführt. Die Ergebnisse sind auch in Tabelle 1 gelistet.

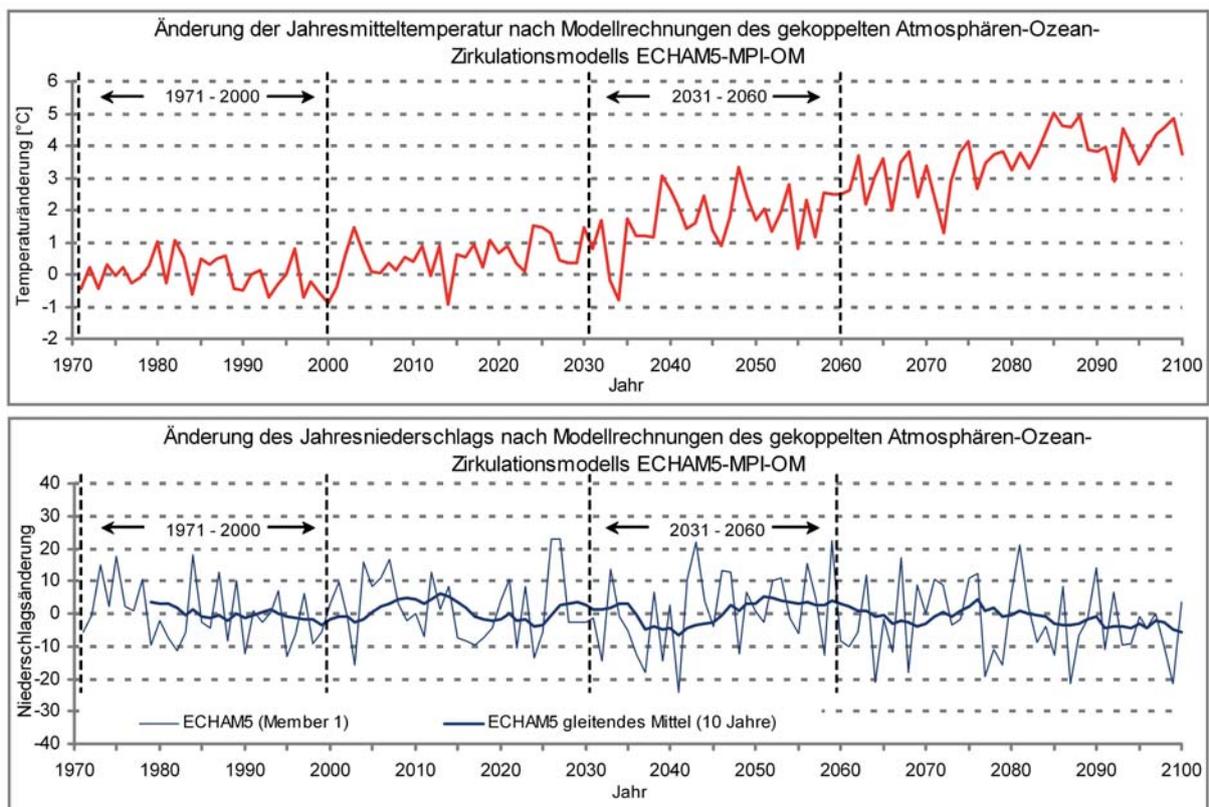


Abb. 2: Entwicklung des Klimaänderungssignals von Temperatur und Niederschlag über die Jahre 1971 bis 2100 nach Berechnungen des gekoppelten Atmosphären-Ozean-Zirkulationsmodell ECHAM5-MPIOM (Member 1, 5 x 5 Pixel mit Zentrum im Einzugsgebiet der Oberen Donau)

Tab. 1: Regionaler Klimatrend über 25 Gitterboxen um das Einzugsgebiet der Oberen Donau aus Ergebnissen des globalen Klimamodells ECHAM5 für den Zeitraum 1990-2100

	Temperaturtrend ECHAM5 1990-2100 (°C)	Rel.Niederschlagstrend ECHAM5 1990-2100 (%)
DJF	+ 6.4	+12.8
MAM	+ 3.3	+3.5
JJA	+ 5.5	- 34.1
SON	+ 5.0	- 1.1
Jahresmittel	+ 5.0	- 3.6

Die Ergebnisse dieser Datenanalyse sind Teil des projektbezogenen Klimaatlas, für den die Gruppe des MPI als Co-Autorenschaft auftritt und im internen Reviewprozess eingebunden ist.

Die Ergebnisse der Auswertungen und unsere Mitarbeit in der Ergebnisdarstellung sind Bestandteil der Präsentationen auf der nationalen sowie regionalen Głowa-Abschlusskonferenz, und entstanden in Kooperation mit der Hydrologischen Gruppe und der meteorologischen Gruppe der Ludwig-Maximilians Universität.

2.1 REMO *Landsurface* und Weiterentwicklung

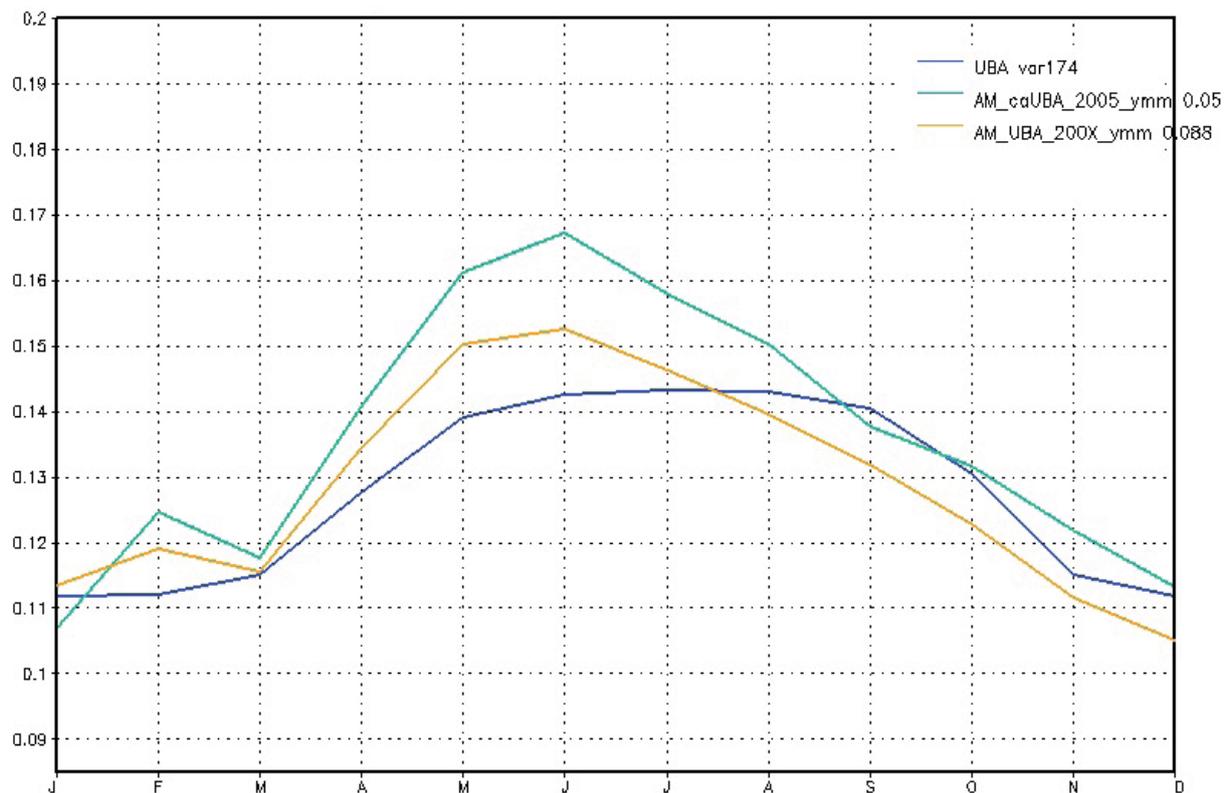


Abb. 3: ALBEDO-Klimatologie der Datensätze REMO-UBA 0.088° (Backgroundalbedo: var174), Albedomap interpoliert auf das UBA Gebiet (AM_UBA_200X_yymm 0.088°) und Albedomap in seiner Originalauflösung 0.05° in monatlicher Klimatologie (AM_caUBA_2005_yymm_0.05).

Mit dem Hintergrund einer Integration und der Untersuchung der Bedeutung von Landnutzungsänderungen im Klimasystem, wurde die REMO-Modellsensitivität auf Änderungen in der Albedo untersucht. Um in regionaler und möglichst auch auf lokaler Skala Landnutzungsänderungen im Modell beschreibbar zu machen ist eine eindeutige Zuordnung der Charaktereigenschaften an spezielle Landnutzungen erforderlich. Es sollte sich dabei um eine bijektive Zuordnung von Charaktereigenschaften und der horizontalen Verteilung von Landnutzungstypen handeln. Derzeit ist das in REMO angenommene Boden-Schema weitgehend eine surjektive Zuordnung. Die Erstellung einer bijektiven Variablenzuweisung ist kein Trivialproblem und hat gerade in der Variablen der Rückstrahlungseigenschaft einen wesentlichen Knackpunkt. Dabei spielt eine Rolle der Prozessierungsweg einer Beobachtungsdatenbasis, von der Datenerfassung, über den Ausschluss von Datenartefakten bis hin zu einem lückenlosen Datensatz. Es hat sich gezeigt, dass durch räumliche und zeitliche Interpolation regional ein Offset der Variabilität produziert werden kann, der jeweils in gleicher Größenordnung ist wie die anuelle Variabilität dieser Region. In Abbildung 3 ist ein Vergleich gezeigt, der zwei verschieden aufbereitete Albedomap-Daten (FISCHER et al.

2007) REMO-Modelldaten gegenüberstellt. Die Problematik einer Offsetproduktion durch zeitliche sowie räumliche Interpolation und einer Artefaktbereinigung sieht man allein im Vergleich der grünen und gelben Kurve. Die Artefaktbereinigung der Datengrundlage der gelben Kurve entspringt einem reinen Ausschluss Verfahren, während die Artefaktbereinigung der Datengrundlage der grünen Kurve auf einem Referenz-Ausschluss-Verfahren beruht. Darüber hinaus wurde die Datengrundlage der gelben Kurve auf das UBA-Gebiet (JACOB et al. 2008) von einer Auflösung von 0.05° in eine Auflösung von 0.088° mit gleichzeitiger Rotation bilinear interpoliert. Die zeitliche Interpolation ist hier als monatliches Mittel über die Jahre 2003, 2004 und 2005 zu verstehen; dargestellt ist das Gebietsmittel des gesamten Gebietes. Die grüne Kurve stellt ausschließlich ein monatliches Mittel des Jahres 2005 dar, dass auf der Datenursprungsauflösung von 0.05° , unrotiert seiner Ausdehnung ungefähr dem UBA-Gebiet entsprechend ausgeschnitten ist. Zeitlich wurde dabei ein 16d Intervall auf eine monatliche Klimatologie interpoliert.

Tab. 2: Extremwerte der Albedoklimatologien und ihre Differenz

	REMO_UBA_0.08°	AMAP_UBA_0.08°	AMAP_0.0°
Max	0.143	0.153	0.167
Min	0.111	0.105	0.107
Differenz (anuelle Variabilität)	0.031	0.048	0.060

Wie in Tabelle 2 ersichtlich ist im Vergleich zur mittleren anuellen Variabilität der Albedo in REMO, die Differenz der Extrema der Beobachtungsdaten (in diesem Fall Albedomap) doppelt so groß. Die Differenz in der Variabilität entspricht ungefähr der maximalen Abweichung über dem Zeitschritt Juni, die bei ungefähr 0.025 Albedoprozentpunkten liegt (siehe Abb. 3). Auch wenn diese Abweichungen in einer sehr kleinen Größenordnung zu liegen scheinen, zeigen die Abbildungen 4 und 5, dass konstante Änderungen in gleicher Größenordnung durchaus das Regionalklima in der Simulation beeinflussen. In einer Sensitivitätsstudie wurde dazu REMO auf Albedoabweichungen von ± 0.01 und ± 0.05 Albedoprozentpunkten untersucht. Diese Werte wurden konstant von der Backgroundalbedo entsprechend subtrahiert bzw. addiert. Im Modell wird dann fraktionell Meer und Seen ein konstanter Wert von 0.07 zugeordnet, und bei entsprechender Witterung die Albedo mit einer modellierten Schneeralbedo verrechnet. In Für die Simulation wurden sechs Jahre gerechnet. Das erste Jahr wurde dabei als Einschwingphase genutzt, für die Auswertung wurden ausschließlich die letzten fünf Jahre verwandt.

Hier dargestellt sind Ergebnisse für die Sommersaison Juni, Juli und August (JJA). Die Auswirkungen der Änderung in der Albedo auf die 2m - Temperatur kann lokal, im Vergleich zu einem ungeänderten Referenzlauf, eine Differenz von bis zu zwei Grad entstehen. Auch wenn keine eindeutige Systematik aus dieser Abbildung für die 2m - Temperatur ersichtlich ist, zeichnet sich durch eine Albedoerhöhung in der Größenordnung von 0.01 und 0.05 Prozentpunkten schon deutlich eine Temperaturabnahme ab, während eine Albedoabsenkung gleicher Größenordnung eine Temperaturzunahme nach sich zieht. Die relative Niederschlagsänderung verhält sich unsystematisch. Lokal betrachtet zeigen sich jeweils relative Niederschlagsänderungen von bis zu $\pm 50\%$. Während hier ein systematischer Zusammenhang zwischen Albedoabnahme beziehungsweise -zunahme kaum ersichtlich ist, lässt sich eher eine Systematik sensibler Regionen ausmachen. So z.B. reagieren die Küstengebiete im Mittelmeerraum deutlich stark auf die Änderung, meist in gleicher Tendenz, obgleich die Albedo addiert oder subtrahiert wurde.

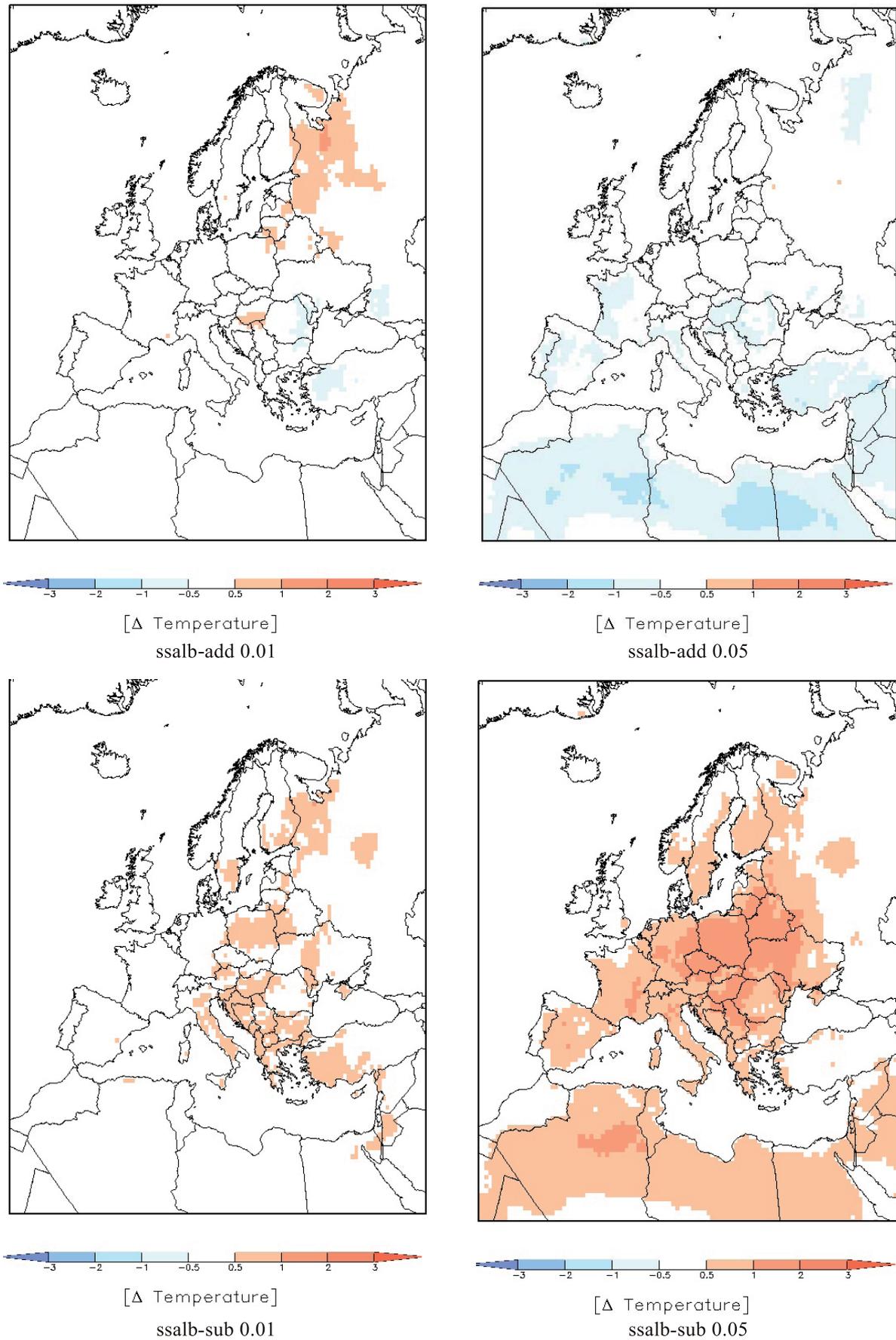


Abb. 4: JJA Temperaturdifferenzen Sensitivitätsstudie-Albedo (ssalb), Addition 0.01 und 0.05 oben, Subtraktion 0,01 und 0.05 unten im Vergleich zum Referenzlauf

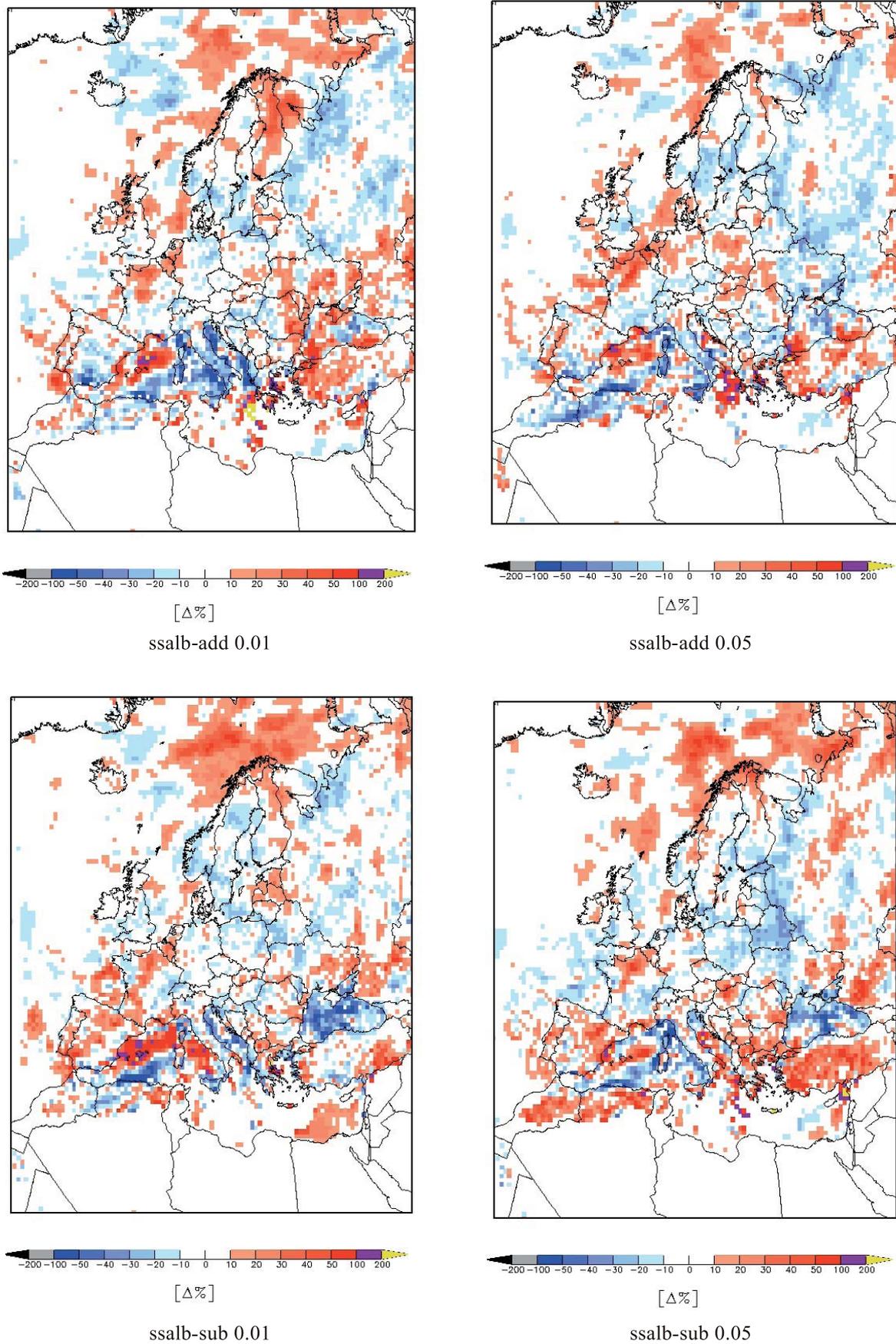


Abb. 5: JJA Relative Niederschlagsdifferenz Sensitivitätsstudie-Albedo (ssalb), Addition (add) 0.01 und 0.05 oben, Subtraktion (sub) 0.01 und 0.05 unten im Vergleich zum Referenzlauf

Das Simulationsset verfolgt auch das Ziel die Bedeutung der Albedo in REMO auf regionaler Skala hinsichtlich der Ausbildung einzelner meteorologischer Entwicklungen wie z.B. das Ausbilden konvektiver Zellen zu überprüfen. Untersucht wird dazu der Einfluss der horizontalen Verschiebungen der Albedo die durch die Interpolation der Eingangsdaten auf die Modellskala entstehen. Hier nicht gezeigt lassen sich regionale Verschiebungen, die im Zuge der modellinternen Generierung der Bodendaten entstehen, erkennen. Dabei werden prägnante Strukturen, wie z.B. der Harz, Schwarzwald und Vogesen und der Alpenbereich bei der REMO-Albedo Initialisierung für Auflösungen kleiner 0.5° nivelliert. Die Unterschiede zum Vergleichsdatensatz aus Meris Sattelitedaten Albedomap (FISCHER et al. 2007) liegen dabei auch innerhalb der jährlichen Variabilität der REMO-Albedo; ihre Relevanz ist in RECHID et al. 2006, 2008 und 2008a dokumentiert. Die Untersuchung der regionalspezifischen Auswirkung ist Teil dieser Projektarbeit.

Literatur (zum Teil 1)

- FISCHER, J., PREUSKER, R., MULLER, J.-P. und ZÜHLKE, M. (2007): ALBEDOMAP -Validation Report - ESA AO/1-4559/04/I-LG, Online-Publikation: <http://www.brockmann-consult.de/albedomap/pdf/MERIS-AlbedoMap-Validation-1.0.pdf>.
- JACOB, D., GÖTTEL, H., KOTLARSKI, S., LORENZ, Ph. und K. SIECK (2008): Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland - Phase1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland; Abschlussbericht zum UFOPLAN-Vorhaben 204 41 138, im Auftrag des Umweltbundesamtes; Climate Change 11/08 (Online-Publikation: <http://www.umweltbundesamt.de>), Dessau-Roßlau.
- RECHID, D. und JACOB, D. (2006): Influence of monthly varying vegetation on the simulated climate in Europe; Meteorologische Zeitschrift, 15, S. 99-116.
- RECHID, D., HAGEMANN, S. und JACOB, D. (2008): Sensitivity of climate models to seasonal variability of snow-free land surface albedo; Theor. Appl. Climatol., DOI 10.1007/s00704-007-0371-8.
- RECHID, D., RADDATZ, T. und JACOB, D. (2008a): 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., DOI 10.1007/s00704-008-0003-y.
- SKAMAROCK, W.C. (2004): Evaluating mesoscale NWP models using kinetic energy spectra. In: Monthly Weather Review, Amer Meteorological Soc, 2004, 132, S. 3019-3032.

3. Background to investigations on aerosols-modelling

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) has reported that the most uncertain factor among all radiative forcings in climate models is the anthropogenic influence on clouds (IPCC, 2007). Anthropogenic influence is due to aerosol particles which act as cloud condensation nuclei (CCN) for cloud droplets. The increase in the number concentration of aerosol particles usually leads into the increase of CCN number concentration in the atmosphere, and thus it affects cloud properties (TWOMEY 1974). As the number of cloud droplets increases (due to increase of CCN), the mean size of cloud droplets decreases as the amount of liquid water is not dependent on the amount of cloud droplets in a non-raining cloud. Increased cloud droplet concentration increases clouds reflectance (albedo) and this will cool atmosphere as more incoming solar radiation will be reflected back to the space. This is called the first indirect effect of aerosol impact on the climate and the estimates of the global annual mean cloud albedo enhancement from this range between -0.3 to -1.8 Wm^{-2} (FORSTER 2007). If a cloud has the same liquid water content but higher droplet concentration, the lifetime of a cloud increases (ALBRECHT 1989). This happens be-

cause the formation of drizzle and rain takes on average longer time in clouds with smaller droplets. Increase in a lifetime is termed as the second indirect effect of aerosols. The estimates for the global annual mean cloud albedo enhancement ranges between -0.3 and -1.4 Wm^{-2} for the prolongation of cloud lifetime due to the reduction of drizzle production of the smaller cloud droplets (LOHMANN and FEICHTER, 2005).

Aerosol particles originate both from natural and anthropogenic sources (SEINFELD and PANDIS1998). Besides working as CCN, aerosol particles influence to the climate directly by scattering the incoming solar radiation. Tropospheric aerosol particles are either formed from the gas phase through nucleation, or directly emitted from the surface of Earth. There is also some transport of aerosol particles from stratosphere but this has only minor contribution to the tropospheric aerosols (KAZIL et al. 2008). If we consider aerosols emitted from the Earth's surface, major sources are oceans, arid and semi-arid regions, volcanoes, wildfires and combustion of fossil and biomass fuels. Many of the sources occur everywhere on the globe but the regional differences can change significantly. As for the nucleation, the behaviour is the same.

The aerosol effects on warm clouds have been considered in climate models for years (JONES et al. 1994). The first climate models used sulfate aerosols as a surrogate for all anthropogenic aerosols. During the development of the climate models also the major global aerosol components (such as sulfate, particulate organic matter, black carbon, sea salt and mineral dust) has been included (STIER et al. 2005). Recently, climate models have more and more detailed descriptions of aerosol particles. Max Planck Institute's General Circulation Model ECHAM5 is very sophisticated climate model and it includes complex aerosol microphysics model. With models like ECHAM5-HAM (-HAM denotes the use of aerosol microphysics packages) it is possible to study the effects of the aerosols to our climate present day and in the future.

In global models, the used horizontal grid size varies usually from 50km to 500km. The used grid size effects the simulation time and the computing resources are the limiting factor for increasing the spatial resolution in the models. One possibility to study climate processes with more details is to use regional climate models. With regional models the horizontal grid size usually varies from hundreds of meters to tens of kilometers (CHRISTENSEN et al. 1997). Regardless of the higher resolution, the calculation time of regional models stays within reasonable limits. Regional models need driving fields from outside sources (JACOB and PODZUN 1996). This can be obtained using (usually) global model data or measured data. Regional models have been useful tools also for getting new information (parameterizations) for global models. In addition, the process studies, for example, of heavy precipitation events are one of the things that has been studied with regional models (e.g. KUNKEL et al. 2002). In this and similar kind of studies, it has been shown that individual heavy precipitation events are usually highly localized both in time and space. This is an example of a meteorological process which can be simulated more accurately with regional climate model. However, the high spatial resolution is not the only thing needed for a more detailed simulation of heavy precipitation. The physics inside the model, as well as the dynamics, has to be fitted for the higher resolution. Then the question arises, which subprocesses are important for certain process and how does the model grid size affect? If we take a look of the aerosols and cloud droplets, scales differ from nanometers to millimeters and they directly affect the cloud properties. Therefore it is very reasonable to include aerosols coupled with clouds in to a regional model.

3.1 REMO regional model - technical aspects for aerosol modelling

The regional model REMO is a hydrostatic, three-dimensional atmospheric model, that has been developed at the Max Planck Institute for Meteorology in Hamburg. It is based on the Europa Model, the former numerical weather prediction model of the German Weather Service (for more details, see JACOB and PODZUN (1996); JACOB et al. (2001)). REMO

uses the physical package of the global circulation model ECHAM4 (ROECKNER 1996). Prognostic variables are the horizontal wind components, surface pressure, temperature, specific humidity, cloud liquid water and ice. The vertical levels in REMO are represented in a hybrid coordinate system. Hybrid coordinates follow the surface orography in the lower levels and become independent from surface orography in higher atmospheric model levels. REMO uses one-moment cloud scheme and this means that it can provide information only about masses and mixing ratios of the considered hydrometeor species but is missing all information about number concentrations. In this work, the new two-moment cloud microphysics scheme (see LOHMANN et al. 2007) will be implemented to REMO. The two-moment scheme increases the prognostic equations by two: the number concentrations of cloud droplets and ice crystals will be also available. Due to the coupling of aerosols physics and cloud physics inside the model, information about number concentrations inside the cloud is needed. Also, the information about number concentration is naturally important part when comparing the model results against measurement data.

3.1.1 Aerosol physics and chemistry

The REMO models has no detailed aerosol module included. Only the background aerosols are treated and the information is used for example in the current cloud scheme. In order to use the two-moment cloud scheme, we have to implement a better aerosol treatment in REMO. We will implement HAM-M7 aerosol module (see VIGNATI et al. 2004; STIER et al. 2005). HAM-M7 predicts the evolution of an ensemble of microphysically interacting internally- and externally-mixed aerosol population as well as their size-distribution and composition. The size-distribution is represented by a superpositioning of log-normal modes. HAM as a module includes the following processes for aerosol particles: gas- and liquid phase sulfur chemistry, dry deposition, sedimentation and wet deposition (also some other properties which are not implemented to REMO). The M7 microphysical core includes the following processes: coagulation, condensation, nucleation, thermodynamical equilibrium with water vapour and the inter modal transfer. Implementing HAM-M7 will improve REMO's aerosol treatment substantially and opens doors for further development of the model (for example new radiation scheme, SOA (Secondary Organic Aerosols) model and implementation of SALSA, a Sectional Aerosol module for Large Scale Applications (KOKKOLA et al. 2008).

3.2 The progress of the work

The implementation has been started in March, 2008. Since that, all the needed part have been implemented and the model is working. The new aerosol module and cloud microphysics has been implemented in a parallel version of the REMO model. During the coding process, all new parts has been also parallelized in order to run the model with supercomputers. The Fig. 6 shows the model domains used in this project. The $0.44^\circ \times 0.44^\circ$ resolution simulation is first used to run the boundary data for the $0.088^\circ \times 0.088^\circ$ resolution simulation. In order to use the aerosol model, we have prepared aerosol emission from AEROCOM emissions inventory and for the boundaries, we have used the global climate model ECHAM5-HAM. The simulations for ECHAM5-HAM has been done for two different time periods: 01.04.1998-31.12.1999 and 01.04.2004-31.12.2005. From this data, we have preprocessed the boundary data for the $0.44^\circ \times 0.44^\circ$ resolution simulations. The time periods for these simulations are: 01.10.1998-31.12.1999 and 01.10.2004-31.12.2005. This data has been preprocessed to work as a boundary data for the $0.088^\circ \times 0.088^\circ$ resolution simulations. The final simulations will be made for the time periods: 01.12.1998-31.12.1999 and 01.12.2004-31.12.2005. These simulations has been done and the analysis has been started.

The boundary data for the meteorological values will be from the ERA40-reanalysis data for all the year 1999 related simulations. For the year 2005, we will use the analysis data (ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) operational data). The data will be used also in the aerosol simulations for the meteorological forcing in the boun-

daries. In addition, the ECHAM5-HAM simulations were nudged to corresponding forcing data for both of the years. In this way, we will have good basis to compare our results to measurement data.

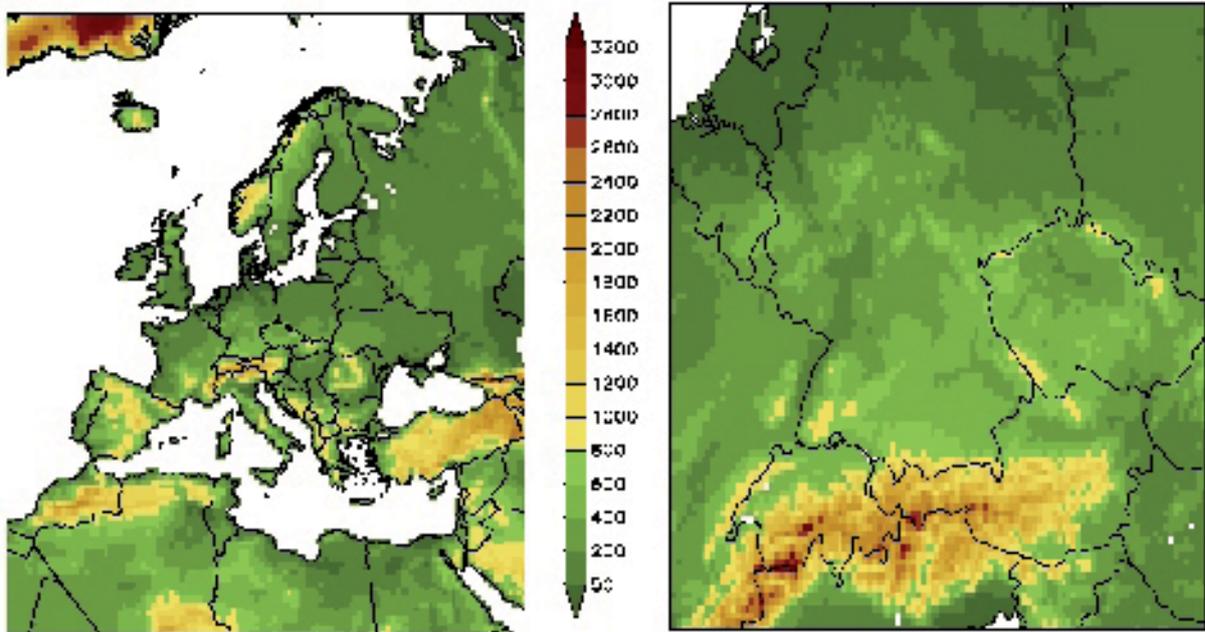


Abb. 6: The model domains (orography [m]) for both steps of the dynamical downscaling. The left side shows the $0.44^\circ \times 0.44^\circ$ resolution (50km) model domain and on the right hand side the $0.088^\circ \times 0.088^\circ$ resolution (10km) model domain

3.3 Future plans

The model data is now available in two different resolutions. We have also obtained meteorological data from GLOWA-Danube project partners and for the aerosols, we have measurement data from measurement stations Hohenpeißenberg. If needed, more aerosols measurement data will be used. We are currently doing data-analysis for both data sets and writing publications about them.

The model development is still an ongoing project. Detailed gas phase chemistry model has been implemented and testing phase has been started. The aerosols model will also have some changes: the HAM part will be updated as well as the double moment cloud cheme and the SOA model will be included.

Literature (for part 2)

- ALBRECHT, B.A. (1989): Aerosols, cloud microphysics, and fractional cloudiness. *Science*, 245(1229), S. 1227-1230.
- CHRISTENSEN, J., MACHENHAUER, B., JONES, R., SCHÄR, C., RUTI, P., CASTRO, M. and VISCONTI, G. (1997): Validation of present-day regional climate simulations over Europe: LAM simulations with observed boundary conditions. *Climate Dynamics*, 13, S. 489-506.

- FORSTER, P., RAMASWAMY, V., ARTAXO, P., BERNTSEN, T., BETTS, R., FAHEY, D., HAYWOOD, J., LEAN, J., LOWE, D., MYHRE, G., NGANGA, J., PRINN, R., RAGA, G., SCHULZ, M. and VAN DORLAND, R. (2007): Radiative Forcing of Climate Change, in: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by: SOLOMON, S., QIN, D., MANNING, M., CHEN, Z., MARQUIS, M., AVERYT, K. B., TIGNOR, M. and MILLER, H. Cambridge Univ. Press, New York, S. 129-234.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007): *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Cambridge Univ. Press.
- JACOB, D. (2001): A note to the simulation of the annual and inter-annual variability of the water budget over the Baltic Sea drainage basin. *Meteorol. Amtos. Phys.*, 77, S. 61-73.
- JACOB, D. and PODZUN, R. (1996): Sensitivity Studies with the Regional Climate Model REMO. *Meteorol. Amtos. Phys.*, 63, S. 119-129.
- JONES, A., ROBERTS, D.L. and SLINGO, A. (1994): A climate model study of indirect radiative forcing by anthropogenic sulphate aerosols. *Nature*, 370, S. 450-453.
- KAZIL, J., HARRISON, R.G. and LOVEJOY, E.R. (2008): Tropospheric new particle formation and the role of ions. *Space. Sci. Rev.*, 137, S. 241-255.
- KOKKOLA, H., KORHONEN, H., LEHTINEN, K.E.J., MAKKONEN, R., ASMI, A., JÄRVENOJA, S., ANTTILA, T., PARTANEN, A.-I., KULMALA, M., JÄRVINEN, H., LAAKSONEN, A. and KERMINEN, V.-M. (2008): SALSIA - a Sectional Aerosol module for Large Scale Applications. *Atmos. Chem. Phys.*, 8, S. 2469-2483.
- KUNKEL, K.E., ANDSAGER, K., LIANG, X.-Z., ARRITT, D.W., TAKLE, E.S., GUTOWSKI JR., W.J. and PAN, Z. (2002): Observations and Regional Climate Model Simulations of Heavy Precipitation Events and Seasonal Anomalies: A Comparison. *Journal of Hydrometeorology*, 3, S. 322-334.
- LOHMANN, U. and FEICHTER, J. (2005): Global indirect aerosol effects: A review. *Atmos. Chem. Phys.*, 5, S. 715-737.
- ROECKNER, E., ARPE, K., BENGTSSON, L., CHRISTOPH, M., CLAUSSEN, M., DUMENIL, L., ESCH, M., SCHLESE, U. and SCHULZWEIDA, U. (1996): The atmospheric general circulation model ECHAM4: Model description and simulation of present-day climate. Max Planck Institute for Meteorology report series, Report No. 218.
- SEINFELD, J. and PANDIS, S. (1998): *Atmospheric Chemistry and Physics*. John Wiley & Sons inc.
- STIER, P., FEICHTER, J., KINNE, S., KLOSTER, S., VIGNATI, E., WILSON, J., GANZVELD, L., TEGEN, I., WERNER, M., BALKANSKI, Y., SCHULZ, M., BOUCHER, O., MINIKIN, A. and PETZOLD, A. (2005): The aerosol-climate model ECHAM5-HAM. *Atmos. Chem. Phys.*, 5, S. 1125-1156.
- TWOMEY, S. (1974): Pollution and the planetary albedo. *Atmos. Environ.*, 8: S. 1251-1256.
- VIGNATI, E., WILSON, J. and STIER, P. (2004): M7: An efficient size-resolved aerosol microphysics module for large-scale aerosol transport models. *J. Geophys. Res.*, 109, D22202, doi: 10.1029/2003JD004485.

Mesoskalige Modellierung der Atmosphäre

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

1. Überblick

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

Arbeitsschwerpunkte im Berichtszeitraum:

- Zwei-Wege-Kopplung von MM5 mit PROMET
- Ein-Wege-gekoppelte Simulationen MM5-PROMET und Auswertung unter hydrologischen Gesichtspunkten
- Klimaszenario A1B (simuliert mit MM5 unter ECHAM5-Antrieb), vertiefte Analyse
- Systematische Untersuchung von mit MM5 simuliertem Niederschlag in Abhängigkeit vom verwendeten Globalmodell (ERA40 bzw. ECHAM5)
- Erstellung wissenschaftlicher Publikationen
- Beteiligung an Abschlusskonferenz in Potsdam (Vortrag, Poster)
- Mitarbeit am Atlas (Beitrag, Reviewprozess)
- Mitarbeit am *Stakeholder*-Dialog

2. Organisation

2.1 Personal

2.1.1 Wissenschaftler

Für das Teilprojekt Meteorologie-Modellierung (Zängl) waren in Phase III ursprünglich Mittel für 1,5 Wissenschaftler-Stellen bewilligt. Eine Stelle hiervon ist seit Projektbeginn von Herrn Andreas Pfeiffer besetzt. In Absprache mit der Projektkoordination und dem Projektträger wurde die halbe Stelle kostenneutral in eine ganze Stelle für einen Zeitraum von 1,5 Jahren umgewandelt und seit 1. Oktober 2008 mit Herrn Clemens Wastl besetzt. Mit Wirkung zum 15.10.2009 ist Herr Clemens Wastl jedoch leider aus dem Teilprojekt Meteorologie/München ausgeschieden. Wir bedauern dies sehr, verstehen jedoch Herrn Wastls Motivation zu diesem Schritt (Eintritt in ein längerfristiges Beschäftigungsverhältnis) und wünschen ihm auf seinem weiteren beruflichen Weg viel Erfolg. Die Anwerbung einer weiteren qualifizierten Kraft für die verbleibende Laufzeit des Projekts erschien illusorisch. Für das Teilprojekt Meteorologie/München bedeutet dies einen gravierenden Ein-

schnitt, da für die noch durchzuführenden umfangreichen Arbeiten nunmehr nur noch Herr Andreas Pfeiffer zur Verfügung steht. Im Rahmen der kostenneutralen Verlängerung des Projekts konnte die Stelle von Herrn Pfeiffer jedoch bis zum Projektende verlängert werden. Die benötigten Mittel hierzu können im Wesentlichen aus den ursprünglich für Herrn Wastl eingeplanten Personalkosten und aus nicht abgerufenen Mitteln für Reisen bestritten werden.

2.1.2 Wissenschaftliche Hilfskräfte

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

2.2 Anschaffungen

Im Berichtszeitraum wurden keine Anschaffungen getätigt

2.3 Veranstaltungen

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

- 24.07.2009 Projektleitertreffen, München (Pfeiffer)
- 17.-18.09.2009 Abstimmungstreffen mit Projekt GLOWA-Elbe, München (Pfeiffer, Zängl)
- 24.09.2009 GLOWA-Danube *Stakeholder-Workshop* „Wasserwirtschaft, Energie und Infrastruktur“, München (Pfeiffer)
- 12.-14.10.2009 Nationale GLOWA-Konferenz, Potsdam (Pfeiffer, Wastl, Zängl)
- 13.11.2009 GLOWA-Danube *Stakeholder-Workshop* „Wasserwirtschaft, Land- und Forstwirtschaft“, München (Pfeiffer)
- 08.03.2010 Projektleitertreffen, München (Pfeiffer)
- 26.04.2010 Regionalkonferenz, München (Pfeiffer)
- div. bilaterale Treffen mit der Gruppe HydFern (Pfeiffer, Wastl, Zängl)

2.4 Veröffentlichungen

SCHIPPER, J.W., FRÜH, B., PFEIFFER, A. und ZÄNGL, G. (2009): Wind Direction-Dependent Statistical *Downscaling* of Precipitation Applied to the Upper Danube Catchment, *Int. J. Clim.*, akzeptiert

PFEIFFER, A. und ZÄNGL, G. (2009): Validation of climate-mode MM5-simulations for the European Alpine Region, *Theor. Appl. Climatol.*, akzeptiert.

ZABEL, F., WASTL, C., PFEIFFER, A., MARKE, T., ZÄNGL, G. und MAUSER, W. (2010): Two-way coupling the hydrological model PROMET with the regional climate model MM5., *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 12, EGU2010-3140, EGU General Assembly 2010. Wien.

3. Ergebnisse

3.1 Zwei-Wege-Kopplung MM5/Promet

Ein zentraler Schwerpunkt auch dieses Berichtszeitraums sind die Arbeiten an der interaktiven Zwei-Wege-Kopplung von MM5 (GRELL 1994; DUDHIA 1993) mit dem Landoberflächen-/Vegetationsmodell PROMET (MAUSER und SCHÄDLICH 1998) der Gruppe Hyd-Fern. Nachdem die rein technische Kopplung schon seit geraumer Zeit im Wesentlichen vollzogen werden konnte, zeigten sich noch deutliche Unzulänglichkeiten in der physikalisch-inhaltlichen Abstimmung der beiden Modelle aufeinander, wie es auch im letzten Jahresbericht kurz umrissen wurde. So zeigten sich eindeutig zu große Diskrepanzen z.B. bei Flüssen fühlbarer und latenter Wärme zwischen der auch im Kopplungsgebiet parallel mitlaufenden, MM5-eigenen Landoberflächenmodellierung (NOAH-LSM, CHEN und DUDHIA 2001) und den entsprechenden Variablen, die vom PROMET an das MM5 weitergegeben wurden. Zusätzlich musste als weitere Variable auch die Boden- bzw. Strahlungstemperatur an MM5 übergeben werden, um dem MM5 in konsistenter Weise die Bestimmung des korrekten Grenzschicht-Regimes zu ermöglichen. Mittlerweile jedoch konnten in allen kopplungsrelevanten Übergabegrößen durchaus realitätsnahe Werte erzielt werden und es zeichnet sich eine Verbesserung bzgl. der Gesamt-Simulationsgüte aus der Verwendung des PROMET zur Berechnung der Verhältnisse im bzw. am Boden und in der Vegetation gegenüber dem bisher im Kopplungsgebiet verwendeten NOAH-LSM ab. Zusätzlich konnte die Modellierung noch durch den bereits länger geplanten, jedoch zunächst noch zurückgestellten Umstieg auf eine deutlich höhere Kopplungsfrequenz von nunmehr 9 Minuten (bislang 60 Minuten) entscheidend verbessert werden. Dies wurde durchaus so erwartet, da z.B. die typische Zeitskala von Konvektion, also etwa die Entwicklung eines sommerlichen Gewitters, deutlich unterhalb von 60 Minuten anzusiedeln ist. Als Beispiel der guten Übereinstimmung zeigt Abbildung 1 die bodennahe Lufttemperatur für das Untersuchungsgebiet im Verlauf über den Sommer 1995 sowohl im interaktiv gekoppelten Modus (MM5+PROMET, „bilateral coupled“) als auch für das Standard-MM5 (MM5+NOAH-LSM, „unilateral coupled“). Während das Standard-MM5 die sommerlichen Temperaturen eher etwas unterschätzt, ergibt sich mit der interaktiven Kopplung an PROMET tendenziell eine Verbesserung. Weitere Ansätze zur Verfeinerung der gekoppelten Simulationen ergeben sich aus den vielfältigen Möglichkeiten, die das Kopplungsmodul SCALMET (MARKE 2008), das den Datenaustausch zwischen MM5 und PROMET bewerkstelligt, bezüglich der Skalierung der Daten zwischen den unterschiedlichen Modellauflösungen (45km bzw. 1km) bietet. Als eine rein technische aber für die Praktikabilität des gekoppelten Systems für lange Simulationszeiträume unabdingbare Maßnahme wurde die Möglichkeit zum gemeinsamen Restart bzw. Recovery im interaktiv gekoppelten Modus geschaffen, die sich bereits mehrfach vor dem Hintergrund externer technischer Probleme (z.B. Netzwerkausfall) bewährt hat.

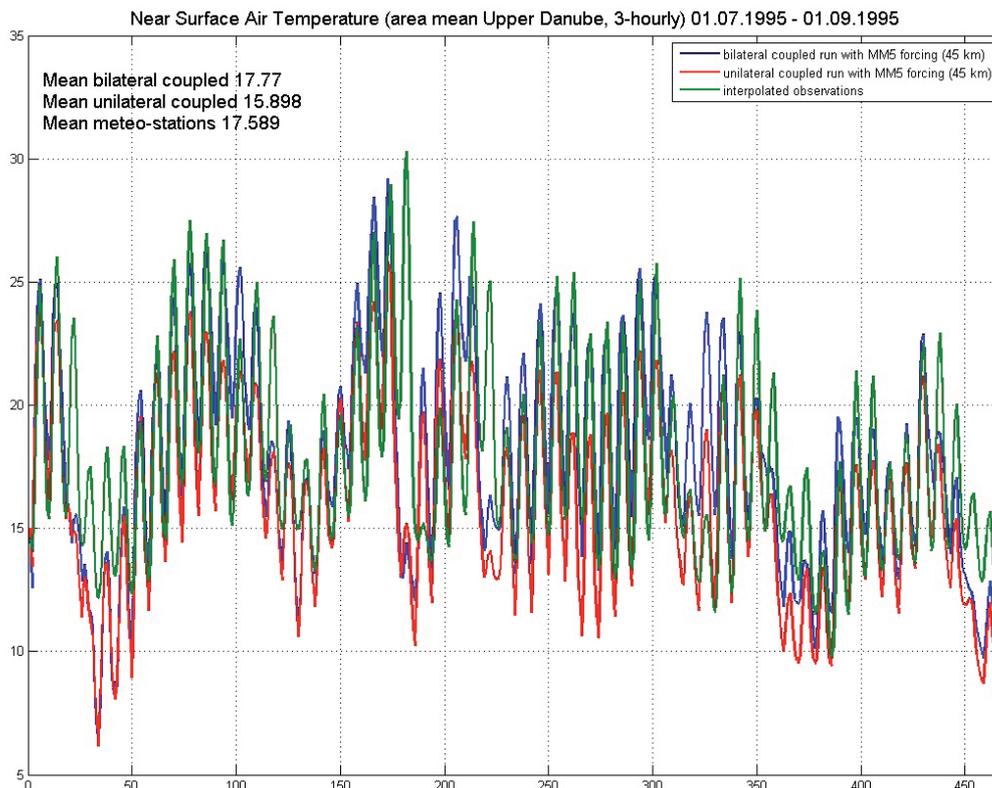


Abb. 1: Lufttemperatur (°C) über dem Boden im Sommer 1995, simuliert im Ein-Wege- und Zwei-Wege-Modus und aus Beobachtungen, 3-stündlich aufgetragen; MM5 unter ERA40-Antrieb

3.2 Ein-Wege-gekoppelte Simulationen MM5-PROMET - Auswertung unter hydrologischen Gesichtspunkten

Auch im aktuellen Berichtszeitraum lag einer der Schwerpunkte auf der hydrologischen Modellierung unter Antrieb eines regionalen Klimamodells, d.h. aus der Sicht der Gruppe Meteorologie/München mit Simulationsdaten des MM5. Nachdem sich frühere gemeinsame Untersuchungen in diesem Kontext auf von ERA40-Daten (SIMMONS et al. 2000) angetriebene MM5-Simulationen stützten, wurde in Hinblick auf die durchzuführenden Klimaänderungsszenarien auf ECHAM5-Antrieb (RÖCKNER et al. 2006) umgestellt. Systematisch wurden weitere Analysen der Ergebnisse des gekoppelten Modellsystems aus hydrologischer Sicht durchgeführt. Hier stand insbesondere auch der Einfluss des gewählten Skalierungsverfahrens auf die Güte der hydrologischen Modellierung im Fokus des Interesses. Als Beispiel zeigt Abbildung 2 die Dauerlinie des Abflusses am Pegel Achleiten für die Ergebnisse der Modellierung mit MM5 gegen die Messungen für den Zeitraum der Jahre 1972 bis 2000. Zum einen wurden hier MM5-Ergebnisse lediglich unter Berücksichtigung der subskaligen Variabilität von ihrer ursprünglichen horizontalen Auflösung von 45km auf die von der hydrologischen Modellierung benötigte Auflösung von 1km skaliert (siehe Kurve „MM5 Variabilität“). Zum anderen wurde noch zusätzlich eine Biaskorrektur in der Skalierung ‚zugeschaltet‘, die die vor allem im Winter auftretenden, systematischen Abweichungen der simulierten Niederschläge bzgl. der Beobachtungen ausgleicht (siehe Abb. 3). Die korrigierten Niederschlagsdaten führen schließlich zu einem nahezu optimalen Verlauf der simulierten Dauerlinie. Für Klimaänderungsszenarien (d.h. für die Jahre 2001 bis 2100) unter ECHAM5-MM5 Antrieb wird folglich die identische, über einen Jahresgang verfügende Bias-Korrektur verwendet, was letztlich zu belastbaren Ergebnissen der gekoppelten Simulationen für ein in der Zukunft geändertes Klima führen sollte. Detailliertere Ausführungen zur Verifikation aus hydrologischer Sicht sind auch dem Atlas im Kapitel S5 zu entnehmen.

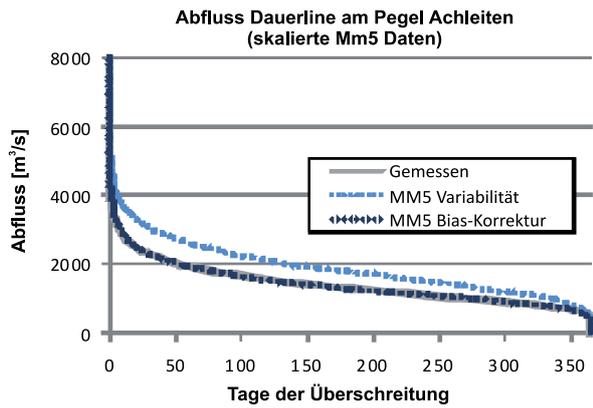


Abb. 2: Dauerlinie des Abflusses am Auslass des Einzugsgebietes in Achleiten (1972-2000) berechnet aus Abflussmessungen und DANUBIA Simulationen mit Klimamodellantrieb ohne Bias- Korrektur (lediglich Aufprägung der subskaligen Variabilität, „MM5 Variabilität“) und zusätzlich mit Biaskorrektur („MM5 Bias-Korrektur“)

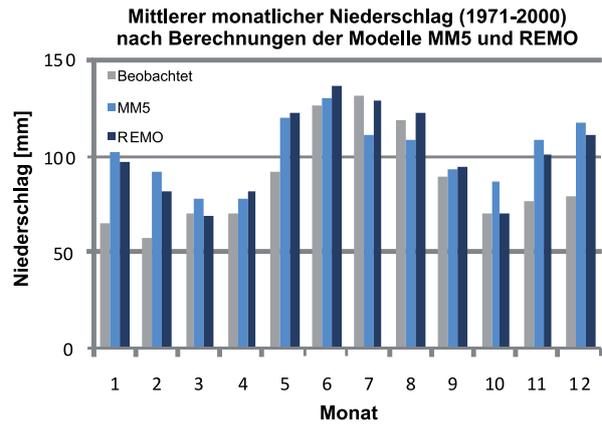


Abb. 3: Mittlerer monatlicher Niederschlag im Einzugsgebiet der Oberen Donau für den Zeitraum (1971-2000) nach unkorrigierten Berechnungen (d.h. ohne Biaskorrektur) der regionalen Klimamodelle MM5 und REMO im Vergleich zu Beobachtungen

3.3 Klimaszenario A1B, simuliert mit MM5 unter ECHAM5-Antrieb

Bereits bei früherer Gelegenheit wurden Vergleiche zwischen Jetztzeit- und Zukunfts-Szenario des Klimas im Bereich des Einzugsgebiets der oberen Donau, wie es sich auf Basis von MM5-Simulationen unter ECHAM5-Antrieb darstellt, gezogen. Diese Analyse wurde weiter fortgeführt. Hierbei zeigte sich, dass sich das jeweilige Klimasignal durchaus unterschiedlich je nach den betrachteten Zeiträumen und den verwendeten Analysemethoden darstellen kann. Dieser Umstand ist zwar im Prinzip zu erwarten, muss dem jeweiligen Nutzer der Daten jedoch deutlich bewusst gemacht werden. So sind in der schon in einem früheren Bericht gezeigten Abbildung 4 die mittleren monatlichen Niederschläge der Zeiträume 1971-2000 und 2031-2060 gegenübergestellt. Hier ist z.B. im Herbst eine leichte Zunahme des Niederschlags von 19 mm zu verzeichnen. In Tabelle 1 ist dagegen der lineare Trend der Niederschlagsänderung im Untersuchungsgebiet für die Jahre 1990 bis 2100 wiedergegeben, aus dem sich für MM5 (skaliert & biaskorrigiert) eine leichte Abnahme für den Herbst im Vergleich zum Bezugszeitraum 1971-2000 ergibt.

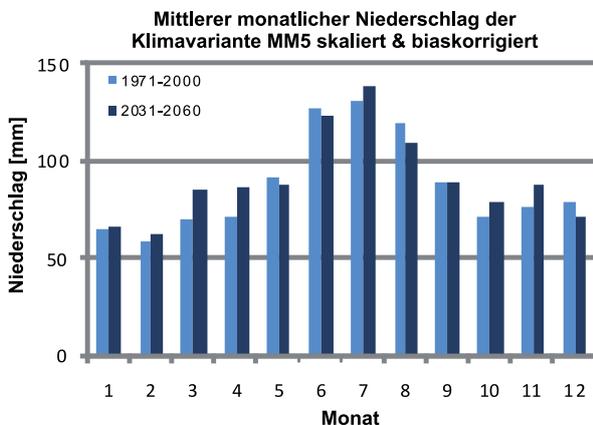


Abb. 4: Mittlerer monatlicher Niederschlag im Einzugsgebiet der Oberen Donau für den Referenzzeitraum (1971-2000) und den Szenariozeitraum (2031-2060) nach MM5 skaliert und biaskorrigiert

Tab. 1: Linearer Trend der Niederschlagsänderung im Einzugsgebiet der Oberen Donau (1990-2100) relativ zum Mittel 1971-2000 aus Simulationen mit MM5 und REMO

Niederschlagsänderung 1990-2100 [%]		
Zeit	MM5 skaliert & biaskorrigiert	REMO skaliert & biaskorrigiert
Winter	+ 8.4	-1.4
Frühjahr	+14.5	+10.7
Sommer	-29.4	-32.6
Herbst	-2.7	-12.6
Jahr	-6.2	-12.4

Weitere Ergebnisse zur Analyse des Klimaszenarios - auch für das Regionalmodell REMO - sind wiederum im Atlas unter Kapitel S5 ausführlich und ergänzt um entsprechende Karten dargestellt.

3.4 Systematische Untersuchung von mit MM5 simuliertem Niederschlag in Abhängigkeit vom verwendeten Globalmodell (ERA40 bzw. ECHAM5)

Die deutlichen systematischen Abweichungen des mit MM5 unter ECHAM5-Antrieb simulierten Niederschlags von der Realität gab Anlass zu einer detaillierteren Ursachenforschung. Der Verdacht, dass insbesondere der massiven Überschätzung des winterlichen Niederschlags eine etwas von der Realität abweichende Simulation des großskaligen Strömungsfeldes im globalen Klimamodell ECHAM5 zugrunde liegt, hat sich in der tiefer gehenden Analyse erhärtet. In Abbildung 5 zeichnen sich die Unterschiede im auf Meeresebene reduzierten Luftdruck am Boden für die beiden Antriebsdatensätze deutlich ab. Die veränderten Strömungsverhältnisse haben gerade im Alpenraum mit seiner markant erhöhten Orographie unvermeidliche Auswirkungen auf die simulierten Niederschläge. Eine umfangreiche, detaillierte Analyse hierzu wird gegenwärtig für eine wissenschaftliche Publikation aufbereitet. Das Problem der Niederschlagsüberschätzung wird im Rahmen der gekoppelten Simulation mit DANUBIA bzw. PROMET mit der bereits mehrfach erläuterten und in SCALMET implementierten Bias-Korrektur (FRÜH et al. 2006; SCHIPPER et al. 2009) angegangen.

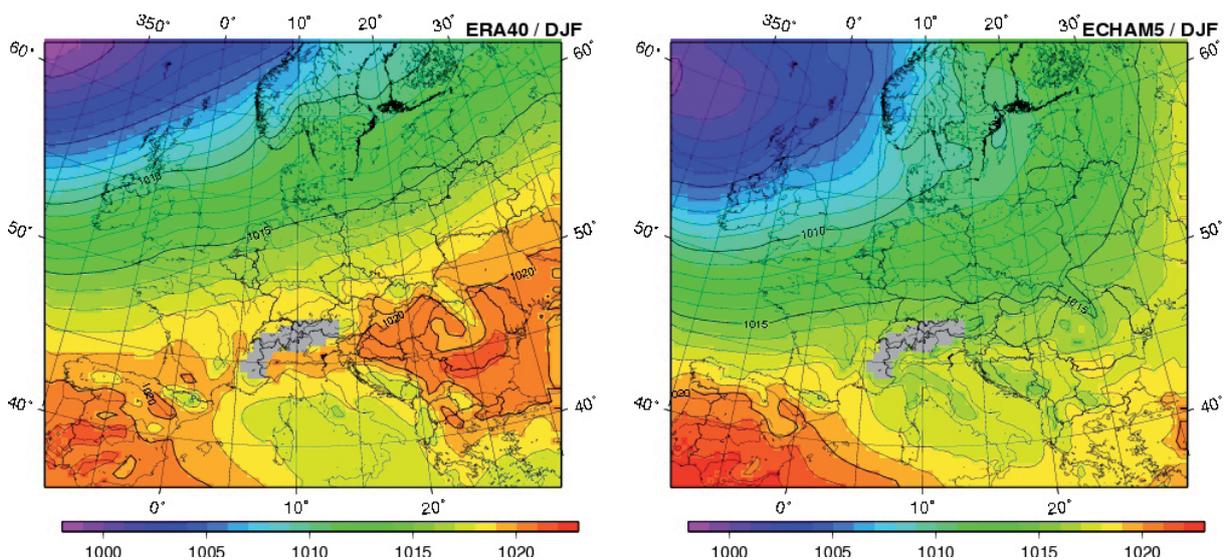


Abb. 5: Auf Meeresebene reduzierter mittlerer Bodendruck im Winter der Jahre 1971-2000, simuliert mit MM5 unter ERA40 (links) bzw. ECHAM5-Antrieb (rechts). Der Alpenraum wurde durch graue Schattierung hervorgehoben

4. Diverses

4.1 Atlas

Im Berichtszeitraum wurde in enger Zusammenarbeit mit den Gruppen HydFern und Meteorologie/Hamburg der Beitrag S5 „Klimavarianten der regionalen Klimamodelle MM5 und REMO“ erstellt. Für weitere Beiträge im Kapitel „Szenarien“ wurden Simulationsergebnisse des MM5 für das A1B-Szenario bereitgestellt.

4.2 *Stakeholder*

Im Rahmen der durchgeführten *Stakeholder*-Workshops konnte aus Sicht des Teilprojekts Meteorologie/München an der weiteren Abstimmung bzgl. „Wünschenswertes und Machbares“ im Bereich der regionalen Klimamodellierung im Projekt GLOWA-Danube konstruktiv mitgewirkt werden.

4.3 **GLOWA-Konferenz**

Für die in Potsdam abgehaltene Nationale GLOWA-Konferenz hat sich das Teilprojekt Meteorologie/München in Form des gemeinsam mit den Gruppen Meteorologie/Hamburg und HydFern erstellten Posterbeitrags einbringen können. Des Weiteren wurde ein Kurzvortrag zu Fragen, Problemen und Ergebnissen der Regionalen Klimamodellierung beigesteuert.

5. **Zusammenfassung und Ausblick**

Die Zwei-Wege-Kopplung der Modelle MM5 und PROMET stellte auch in dem diesem Bericht zugrunde liegenden Berichtszeitraum den zentralen Arbeits-Schwerpunkt dar. Es konnten hierbei bedeutende und äußerst erfreuliche Fortschritte erzielt werden und ein für realistische Anwendungen gut geeignetes Gesamtsystem erstellt werden. Im weiteren Verlauf des Projekts wird dieses gekoppelte System noch weiter analysiert und gegebenenfalls einem weiteren ‚Feintuning‘ unterzogen werden. Die bereits laufenden Langzeitsimulationen werden hierbei noch weiter ausgedehnt und um weitere Varianten ergänzt werden.

Auch die unilateral gekoppelten Simulationen des MM5 mit dem hydrologischen Modell der Gruppe HydFern haben trotz der Problematik des systematischen Niederschlagsbias unter ECHAM5-Antrieb sehr gut brauchbare Ergebnisse geliefert (siehe Atlas Kapitel S5), die unter Einsatz der während des Projekts entwickelten Bias-Korrektur auch für das z.B. angenommene zukünftige A1B-Klima realitätsnah simulierte Änderungsszenarien insbesondere der hydrologischen Verhältnisse erwarten lassen.

Die tiefgehende vergleichende Analyse der mit den Regionalmodellen MM5 und REMO für das Jetztzeit-Klima erstellten regionalen Klimasimulationen unter ECHAM5-Antrieb haben neben zahlreichen Details auch nochmals deutlich erkennen lassen, dass für die Beurteilung des untersuchten Änderungssignals auch explizit auf die jeweilige Methodik des Vergleichs und die zugrunde liegenden Zeiträume hingewiesen werden muss (siehe Atlas Kapitel S5).

Die im Verlauf des Projekts immer wieder zu Tage tretende und teilweise engagiert diskutierte Problematik der im Winter deutlich überschätzten Niederschläge unter ECHAM5-Antrieb gab Anlass zu einer tiefer gehenden Analyse der Ursachen. Hierbei konnten systematische Defizite des ECHAM5 in der Simulation der großskaligen Zirkulation identifiziert werden, die auch in einem praktisch perfekt arbeitenden Regionalmodell grundsätzlich zu Problemen gerade im Alpenraum führen müssen. In Kürze wird eine vertiefte Analyse dieses Sachverhalts bei einem einschlägigen Fachjournal zur Veröffentlichung eingereicht werden.

6. **Literatur**

CHEN, F. und DUDHIA, J. (2001a): Coupling an advanced land-surface/hydrology model with the Penn State/NCAR MM5 modeling system. Part I: Model implementation and sensitivity. Mon. Wea. Rev., 129, 569-585.

- CHEN, F. und DUDHIA, J. (2001b): Coupling an advanced land-surface/hydrology model with the Penn State/NCAR MM5 modeling system. Part II: Preliminary Model validation. *Mon. Wea. Rev.*, 129, 587-604.
- DUDHIA, J. (1993): A nonhydrostatic version of the Penn State/NCAR mesoscale model: Validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front. *Mon. Wea. Rev.*, 121, S. 1493-1513.
- FRÜH, B., SCHIPPER, J.W., PFEIFFER, A. und WIRTH, V. (2006): A pragmatic approach for downscaling precipitation in alpine-scale complex terrain, *Meteorol. Zeitschrift*, 15, S. 631-646.
- GRELL, G. (1993): Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. *Mon. Wea. Rev.*, 121, S. 764-787.
- GRELL, G.A., DUDHIA, J. und STAUFFER, D.R. (1994): A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). NCAR/TN-398+STR (1994), 138 S.
- MARKE, T. (2008): Development and application of a model interface to couple regional climate models with land surface models for climate change risk assessment in the Upper Danube watershed. Dissertation der Fakultät für Geowissenschaften, Digitale Hochschulschriften der LMU München, S. 188, München.
- MAUSER, W. und SCHÄDLICH, S. (1998): Modelling the spatial distribution of evapotranspiration on different scales using remote sensing data, *J. of Hydrology*, S. 212-213, 250-267.
- SCHIPPER, J.W., FRÜH, B., PFEIFFER, A. und ZÄNGL, G. (2009): Wind Direction-Dependent Statistical Downscaling of Precipitation Applied to the Upper Danube Catchment, *Int. J. Clim.*, akzeptiert.
- RÖCKNER, E., BROKOPF, R., ESCH, M., GIORGETTA, M., HAGEMANN, S., KORNBLUEH, L., MANZINI, E., SCHLESE, U. and SCHULZWEIDA, U. (2006): Sensitivity of Simulated Climate to Horizontal and Vertical Resolution in the ECHAM5 Atmosphere Model, *Journal of Climate*, 19, S. 3771-3791.
- SIMMONS, A.J. und GIBSON, J.K. (2000): The ERA-40 project plan. ERA-40 Project Report Series, No.1, ECMWF.

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

Teilprojekt: Ökosysteme
 Leiter: Prof. Dr. Karl Schneider
 Ausführende Stelle: Geographisches Institut der Universität zu Köln
 Lehrstuhl für Hydro- und Klimageographie
 Universität zu Köln
 Albertus-Magnus-Platz, 50923 Köln
 Berichtersteller: Dr. C. Klar, Dr. 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 Modells Biological sowie die Modellierung der Stickstoffumsatzprozesse innerhalb des Modells *SNT*. 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. 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 Dr. Christian Klar (0,5 x 13 TV-L, wiss. Mitarbeiter):
 Herr Klar beschäftigte sich im Projektteil „Stickstoffumsatz“ mit der Durchführung von Szenariorechnungen, um Auswirkungen des Globalen Wandels auf die Bodensstickstoffverfügbarkeit und die Nitratauswaschung in das Grundwasser abzuschätzen.
- Frau Dr. Victoria Lenz-Wiedemann (0,5 x 13 TV-L, wiss. Mitarbeiterin, 01.05.2009-31.12.2009):

Frau Lenz-Wiedemann beschäftigte sich im Projektteil „Pflanzenwachstum“ mit der prozessbasierten Wachstumsmodellierung landwirtschaftlicher Nutzpflanzen und der Analyse der Auswirkungen des globalen Wandels auf das Pflanzenwachstum.

- Herr Dipl.-Geogr. Marius Schmidt (0,5 x 13 TV-L, wiss. Mitarbeiter):
Herr Schmidt führte die Arbeiten zu Betrieb und Wartung der Eddy-Kovarianz-Station und der zugehörigen mikrometeorologischen Messungen fort. Insbesondere überarbeitete und vervollständigte Herr Schmidt die Auswertung der Eddy-Kovarianz Messungen zur Berechnung von Kohlenstoff- und Wasserflüssen. Die Daten werden zur Validierung der Pflanzenwachstumsmodelle auf der Feldskala eingesetzt und beziehen sich auf die im Antrag unter 2.2. aufgeführten Validierungsmessungen.
- Herr Dr. Tim Reichenau (1 x 13 TV-L, wiss. Mitarbeiter):
Herr Reichenau koordinierte die Arbeiten im Rahmen des Teilprojektes Ökosysteme. Er beschäftigte sich mit der technischen und inhaltlichen Koppelung der Komponenten des Teilprojekts mit der agrarökonomischen Komponente innerhalb von DANUBIA Light 2, der Erstellung und Parametrisierung von Laufzeitumgebungen und der Durchführung und Auswertung von Simulationsläufen.

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

1.2.2 Studentische Hilfskräfte

Folgende studentische Hilfskräfte wurden aus Projektmitteln finanziert:

JAVA-Programmierung, Administration der Testumgebung, Systemadministration:

- Anja Stadler (01.02.2010-30.04.2010)
- Norman Barth (01.05.2009-31.12.2009)

Zur Durchführung von Pflanzen- und Bodenmessungen im Gelände sowie Laboranalysen wurden folgende Hilfskräfte aus der Grundausrüstung finanziert:

- Dennis Imer (1.5.2009- 31.10.2009, 4.1.2010-31.3.2010)
- Alexander Schlote (1.5.2009-30.9.2009)
- Hannes Laermanns (1.10.2009-31.12.2009)

1.3 Veranstaltungen

1.3.1 GLOWA-Danube (intern)

- 30.01.2009 GLOWA-Danube Szenarioveranstaltung Wasserwirtschaft, Land- und Forstwirtschaft
- 23.-26.03.2009 GLOWA-Danube Klausurtagung Wildbad Kreuth
- 24.07.2009 GLOWA Projektleiterbesprechung
- 17.-18.09.09 Workshop zur Vorbereitung der Abschlusskonferenz
- 13.11.2009 GLOWA-Danube *Stakeholder* Workshop Wasserwirtschaft, Land- und Forstwirtschaft
- 08.03.2010 GLOWA Projektleiterbesprechung

1.3.2 Andere Veranstaltungen

- 12.-14.10.2009 Nationale GLOWA-Konferenz - Globaler Wandel des Wasserkreislaufs - Perspektiven für Donau und Elbe, Potsdam (C. Klar, V. Lenz-Wiedemann, T. Reichenau, M. Schmidt, K. Schneider).
- 09.02.2010 1st TERRABITES Symposium, MPI für Meteorologie, Hamburg (T. Reichenau).

1.4 Veröffentlichungen und Berichte

1.4.1 Publikationen

KLAR, C.W., REICHENAU, T.G. und SCHNEIDER, K. (2010): Integrative and dynamic modelling of climate change and agro-economic effects on nitrate leaching in southern Germany (in prep.).

KLAR, C.W., REICHENAU, T.G. und SCHNEIDER, K. (2010): Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Nitratauswaschung. In: GLOWA-Danube-Projekt, Universität München (LMU) (Hrsg.): Global Change Atlas, Einzugsgebiet Obere Donau. Eigenverlag LMU München, 5. Erweiterung. [im Druck].

LENZ-WIEDEMANN, V.I.S., KLAR, C.W. & K. SCHNEIDER (2010): Development and test of a crop growth model for application within a Global Change decision support system. *Ecological Modelling* 221, S. 314-329.

REICHENAU, T.G., KLAR, C.W. und SCHNEIDER, K. (2010): Auswirkungen von agrarökonomischen Entscheidungen auf die Nitratauswaschung. In: GLOWA-Danube-Projekt, Universität München (LMU) (Hrsg.): Global Change Atlas, Einzugsgebiet Obere Donau. Eigenverlag LMU München, 5. Erweiterung [im Druck].

KLAR, C.W. (2009): Prozessbasierte und räumlich verteilte Modellierung der Bodenstickstoffflüsse zur Abschätzung der Auswirkungen des Klimawandels auf Stickstoffverfügbarkeit und Nitratauswaschung im Einzugsgebiet der Oberen Donau. *Dissertation*. Universität zu Köln, 216 S.

KRIMLY, T., APFELBECK, J., HUIGEN, M., DABBERT, S., REICHENAU, T.G., LENZ-WIEDEMANN, V.I.S., KLAR, C.W. und SCHNEIDER, K. (2009): Ertragsentwicklung und Landnutzungsänderung unter Klimawandel. In: GLOWA-Danube-Projekt, Universität München (LMU) (Hrsg.): Global Change Atlas, Einzugsgebiet Obere Donau. Eigenverlag LMU München, 4. Erweiterung.

1.4.2 Poster und Präsentationen

- APFELBECK, J., HUIGEN, M., KRIMLY, T., DABBERT, S., KLAR, C.W., LENZ-WIEDEMANN, V.I.S., REICHENAU, T.G. und SCHNEIDER, K. (2009): Landwirtschaft und Landnutzung. Nationale GLOWA Konferenz "Globaler Wandel des Wasserkreislaufs - Perspektiven für Donau und Elbe". 12.-14. Oktober 2009, Potsdam. Poster.
- KLAR, C.W., LENZ-WIEDEMANN, V.I.S., REICHENAU, T.G., SCHNEIDER, K., APFELBECK, J., HUIGEN, M., KRIMLY, T., DABBERT, S. und MAUSER, W. (2009): Pflanzenwachstum und Agrarsektor. Nationale GLOWA Konferenz "Globaler Wandel des Wasserkreislaufs - Perspektiven für Donau und Elbe". 12.-14. Oktober 2009, Potsdam. Poster.

2. 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.

Vorrangige Ziele für den Berichtszeitraum war die Koppelung der Komponenten *Biological*, *SNT* und *Farming* und deren inhaltlichen Validierung. Mit dem durch die Koppelung mit *NaturalEnvironment* erstellten Modellverbund Landwirtschaft sollten Simulationsläufe bis 2060 durchgeführt werden. Die Ergebnisse der Modellläufe sollten im Hinblick auf Veränderung von Wasser-, Stickstoff- und Kohlenstoffflüssen in der Szenariosituation ausgewertet werden. Räumliche Muster und deren Ursachen sollten analysiert werden.

Außerdem sollten Untersuchungen zum zusätzlichen Wasserbedarf der ackerbaulichen Kulturen unter Szenariobedingungen durchgeführt werden.

3. Material & Methoden

3.1 Die Laufzeitumgebungen

Nach Fertigstellung und ausgiebigen Tests der Koppelung der naturwissenschaftlichen Komponenten mit der Komponente *Farming* wurden entsprechende Laufzeitumgebungen konfiguriert und auf Servern in Köln, Hohenheim und München installiert. Um sicherzustellen, dass bei der Konfiguration von *Farming* keine Inkonsistenzen auftreten, wurde ein Konfigurationstool entwickelt. Einfache Konfigurationsdateien erleichtern nun nicht nur die Auswahl von Einstellungen bezüglich der zu bearbeitenden Flächen, der einzustellenden Agrarpolitik und des Modus der Bewirtschaftungsmodellierung, sondern sind auch im Kontext der Nutzbarmachung des Modells von großer Bedeutung. Diese Umgebungen wurden für die Berechnung der vorgestellten Ergebnisse verwendet.

3.2 Modellverbund Landwirtschaft

Zur Untersuchung von Klimafolgen im Agrarbereich und zur Auslotung des Einflusses von Managemententscheidungen und Änderungen des agrarökonomischen Rahmenwerks wurde der aufgabenspezifische Modellverbund Landwirtschaft etabliert (Abb. 1). Mit diesem Werkzeug lässt sich das Zusammenspiel von Umweltfaktoren und Akteursentscheidungen in Agrarökosystemen volldynamisch modellieren.



Abb. 1: Wesentliche Wechselwirkungen im Modellverbund „Landwirtschaft“.

Im Modellverbund „Landwirtschaft“ ist die Integration von sozioökonomischen und naturwissenschaftlichen Modellen erfolgreich umgesetzt worden. Der Modellverbund liefert damit die Voraussetzungen für die Abschätzung der Auswirkungen des Globalen Wandels auf die im Rahmen des Teilprojekts „Ökosysteme“ untersuchten Wasser-, Kohlenstoff- und Stickstoffflüsse in Agrarökosystemen unter Berücksichtigung landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsentscheidungen.

Wesentliche Eigenschaften des Modellverbunds:

- Prozessbasierte Modellierung natürlicher Prozesse
- Akteurbasierte Modellierung sozioökonomischer Prozesse
- Volldynamische Kopplung und Interaktion natürlicher Prozesse mit Entscheidungen landwirtschaftlicher Akteure
- Modellierung von 15 unterschiedlichen Kulturen im Ackerbau und zwei Grünlandnutzungen
- *Subskalige* Modellierung mit mehreren agrarischen Nutzungen pro Proxel
- Verbindung unterschiedlicher zeitlicher Skalen (stündlich bis jährlich) und räumlicher Skalen (Blatt, 1km², Landkreise)

Die am Modellverbund „Landwirtschaft“ beteiligten Modelle und die wesentlichen Interaktionen werden in KRIMLY et al. (2009) beschrieben. Ausführlichere Informationen über Funktionsweise und Validierung des Pflanzenwachstums- (*Biology*) sowie des Bodenstickstoffmodells (*SNT*) sind in LENZ-WIEDEMANN et al. (2010) bzw. in KLAR et al. (2008) dargestellt.

3.3 Technische Neuentwicklungen

3.3.1 Ein allgemein anwendbares Modul zur Ausgabe von Modellergebnissen

Zur *subskaligen* und flächengewichtet hochskalierten Ausgabe von Modellergebnissen wurde das Modul *OutputCoordinator* im Paket *CologneTools* erstellt. Mit diesem Werkzeug ist es möglich flächenhaft Modellergebnisse aus beliebigen Klassen des Modellcodes auszugeben. Diese Entwicklung war notwendig, um bei der Auswertung der Ergebnisse den Datenbedarf zur Analyse der komplexen Zusammenhänge und Rückkoppelungen zu ermöglichen. Die Möglichkeit, Daten landnutzungsspezifisch (*subskalig*) oder als flächengewichtetes Mittel eines Proxels auszugeben, erlaubt die Differenzierung einzelner ackerbaulicher Kulturen und die Bewertung ihrer jeweiligen Beteiligung an aufgetretenen Effekten. *OutputCoordinator* wird durchgängig in den Komponenten *Biological* und *SNT* angewendet.

3.3.2 Entwicklung von Werkzeugen zur automatisierten Auswertung der Modellergebnisse

Die flächenhafte Ausgabe der Ergebnisse erfolgt in DANUBIA auf verschiedene Art und Weise. Eine zeitliche Aggregation der Ergebnisse während des Modelllaufs ist dabei nicht immer für alle Ausgabegrößen gegeben. Daher wird diese in der Nachbearbeitungsphase durchgeführt. Hierzu wurden Werkzeuge für die automatisierte Kontrolle und Aggregation von Daten zu Stickstoffauswaschung, zur Evaporation aus Boden und Interzeptionsspeicher und zum lateralen Abfluss erstellt.

Desweiteren wurden Werkzeuge zur räumlichen Aggregation der Modellausgaben entwickelt. Auf diese Weise ist es möglich automatisiert Zeitreihen von Landkreismittelwerten aus flächenverteilten Daten zu bestimmen. Diese können anschließend in Kalkulationstabellen importiert und dort mit Ergebnissen anderer Simulationsläufe verglichen werden. Dort geschieht auch die flächengewichtete Zusammenfassung landwirtschaftlicher Kulturen zu Kulturrengruppen.

3.4 Entwicklung einer Methode für „gap filling“ und „flux partitioning“ von Eddy Kovarianz Messungen

Für die Füllung von Datenlücken („gap filling“) und die Zerlegung des *NEE* („flux partitioning“) in seine Einzelkomponenten, (s.o.) wurde ein eigenständiger Algorithmus entwickelt.

Dabei wird zunächst ein vollständiger Datensatz der Ökosystematmung (R_{eco}) ermittelt. Basierend auf der Annahme, dass in der Nacht keine Aufnahme von CO_2 durch Pflanzen stattfindet und der gemessene Netto- CO_2 -Austausch (*NEE*) somit R_{eco} entspricht, wurden die nächtlichen *NEE* Messungen als R_{eco} definiert. Über den funktionellen Zusammenhang zwischen R_{eco} und der Lufttemperatur (T_{air}) werden anschließend die Lücken im nächtlichen R_{eco} gefüllt. Ausgehend davon, dass der Zusammenhang zwischen R_{eco} und Lufttemperatur tags und nachts gleich ist, wurde für den Tageszeitraum dasselbe Modell (LLOYD und TAYLOR, 1994) verwendet:

$$R_{eco} = R_{ref} \cdot e^{E_0 \left(\frac{1}{T_{ref}-T_0} - \frac{1}{T_{air}-T_0} \right)} \quad (1)$$

Mit R_{ref} ($\mu mol m^{-2} s^{-1}$), der Atmung bei Referenztemperatur, E_0 (K), der Aktivierungsenergie und T_{air} (K), der Lufttemperatur. Die Basistemperatur T_0 wurde konstant bei 227.13 K gehalten um eine Überparametrisierung zu vermeiden.

Da der Zusammenhang zwischen R_{eco} und Lufttemperatur jedoch saisonalen Schwankungen unterliegt, welche insbesondere durch das Vorhandensein von Pflanzen bestimmt werden,

wurde ein sogenanntes „moving window“ verwendet. In diesem wird das beschriebene Regressionsmodell für viele aufeinanderfolgende kurze Zeitabschnitte angewendet, so dass letztendlich Modellparameter-Zeitreihen bestimmt werden können, über welche ein saisonal variierendes R_{eco} ermittelt werden kann.

Nach der Ermittlung einer vollständigen Zeitreihe von R_{eco} kann über folgende Gleichung die Bruttoprimärproduktivität (GPP) berechnet werden:

$$GPP = -NEE + R_{eco} \quad (2)$$

Da aber NEE wiederum Datenlücken aufweist, muss für die Bestimmung eines vollständigen GPP erneut ein „gap filling“ erfolgen. In diesem Fall wird der funktionale Zusammenhang zwischen GPP und Strahlung verwendet. Hierbei kam ein Regressionsmodell basierend auf RABINOWICH (1951) zum Einsatz:

$$GPP = \frac{1}{2\theta} (\alpha Q + A_{max} - \sqrt{(\alpha Q + A_{max})^2 - 4\alpha A_{max} \theta Q}) \quad (3)$$

mit θ der Wölbung der Lichtreaktionskurve, α ($\mu\text{mol } \mu\text{E}^{-1}$) der Quantenausbeute, A_{max} ($\mu\text{mol } m^{-2}s^{-1}$) der maximalen Brutto Photosynthese und Q ($\mu\text{E } m^{-2}s^{-1}$) der photosynthetischen Photonenflussdichte. Auch hier kam bei der Anwendung des Modells ein „moving window“ zum Einsatz.

Als letzter Schritt wird Gleichung 2 mit den erhaltenen vollständigen Zeitreihen von GPP und R_{eco} verwendet um eine lückenlose Zeitreihe des NEE zu erhalten.

3.5 Festlegung der Regionen für die Intensivauswertung

Aufgrund des hohen Zeitbedarfs gekoppelter Modellläufe und der für die Komponente Farming benötigten *subskaligen* Abbildung der Landnutzung wurden zur Untersuchung der Zukunft der Landwirtschaft Teile des Einzugsgebietes ausgewählt. Da das agrarökonomische Modell ACRE für administrative Einheiten arbeitet, werden Teilgebiete als Landkreise und nicht als hydrologische Einzugsgebiete ausgewählt. Es wurden drei Landkreise ausgewählt, die einen Gradienten landwirtschaftlicher Nutzung und meteorologischer Bedingungen darstellen: Dingolfing, Landsberg und Ostallgäu. Der Landkreis Günzburg wurde hinzugenommen, da dort bereits im Vorfeld zahlreiche Simulationsläufe durchgeführt wurden. Eine Charakterisierung der Bedingungen in den ausgewählten Landkreisen findet sich in Tabelle 1.

Tab. 1: Eigenschaften der ausgewählten Landkreise

	Höhe (m a.s.l.)	Niederschlag (mm/a)	Lufttemperatur (°C)	Ackerfläche (%)*	Grünland (%)*
Dingolfing	330-450	650-750	7.0-8.0	89.9	10.1
Günzburg	440-517	660-910	7,5	61,0	39,0
Landsberg	540-740	972	6,0-7,5	52,3	47,7
Ostallgäu	582-2000	1000-1400	6.4-7.4	9.2	90.8

* Anteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche

Die Lage der für die Auswertung zum Stickstoffaustrag intensiv untersuchten Landkreise im Einzugsgebiet der Oberen Donau ist in Abbildung 2 dargestellt.

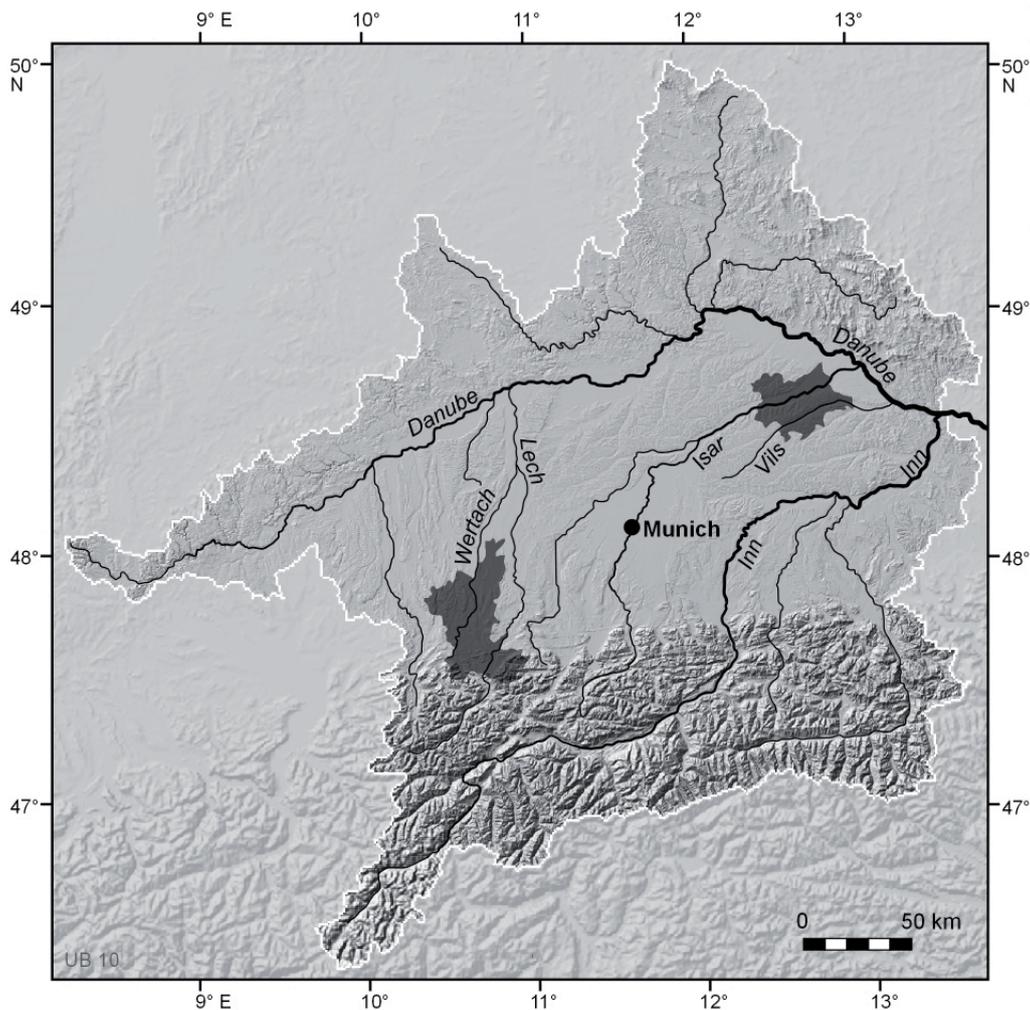


Abb. 2: Lage der Landkreise Dingolfing (im Osten) und Ostallgäu (im Westen) im Einzugsgebiet der Oberen Donau. Dargestellt sind nur die in der Auswertung zum Stickstoffausstrag berücksichtigten Landkreise

3.6 Szenarien

3.6.1 Klimaszenario

Das für die durchgeführten Studien verwendete Klimaszenario basiert auf dem IPCC-Emissionsszenario A1B. Aus den verfügbaren GLOWA-Danube-Szenarien wurde die folgende Kombination aus Klimatrend und Klimavariation eingesetzt:

- Klimatrend *REMO* regional (KT2)
- Klimavariante *Baseline* (KV1)

Die Entwicklung der Klimaparameter Niederschlag und Lufttemperatur sind für den gesamten modellierten Zeitraum (1996-2058) in Abbildung 3 landkreisspezifisch dargestellt.

Dingolfing ist durch geringere Niederschläge und höhere Lufttemperaturen charakterisiert, während das Klima in Ostallgäu im Alpenvorland feuchter und kühler ist. Der Zeitraum 2011 bis 2060 ist durch einen Temperaturanstieg um 3°C in beiden Landkreisen gekennzeichnet. Die jährlichen Niederschlagssummen zeigen im modellierten Zeitraum keinen eindeutigen Trend.

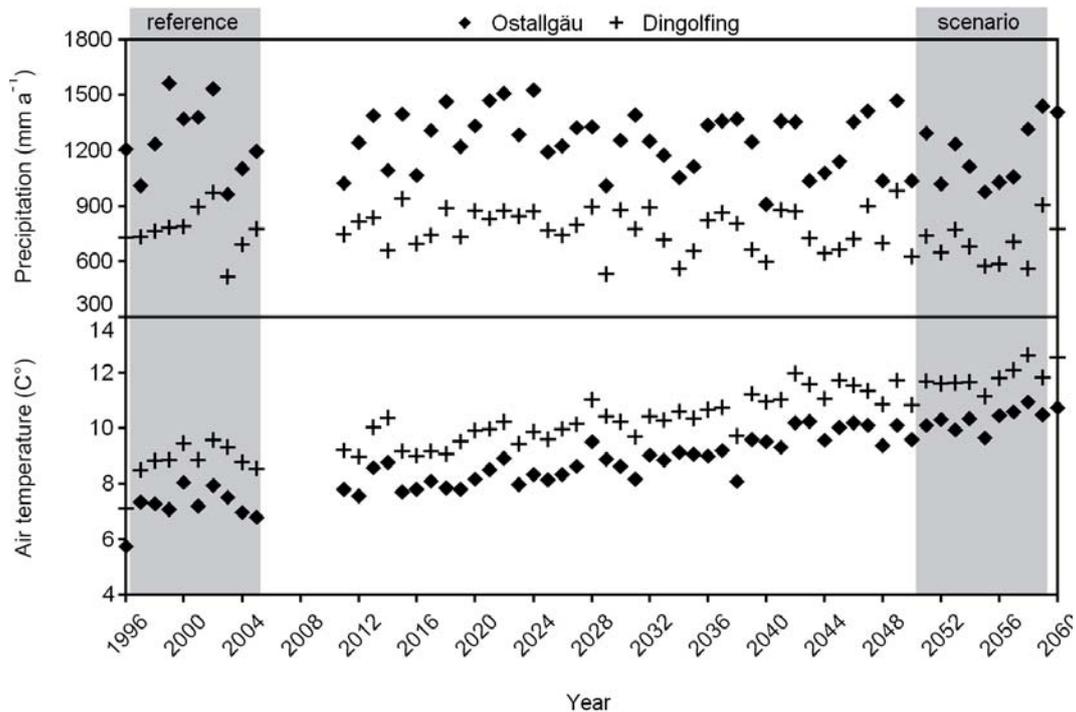


Abb. 3: Entwicklung der jährlichen Niederschlagssummen und der mittleren jährlichen Lufttemperatur in Dingolfing und Ostallgäu zwischen 1996 und 2058 für das GLOWA-Danube Szenario KT2KV1

3.6.2 Gesellschaftsszenarien *Baseline* und *Performance*

In diesen Szenarien werden die agrarökonomischen Bedingungen ausschließlich durch die EU-Agrarpolitik definiert. Die Marktpreise bleiben konstant auf dem Niveau von 1995. Der EU-Agrarreform entsprechend werden die Regeln zur Zahlung von Prämien (z.B. cross compliance) im Modell angepasst. Nach Beendigung des Anpassungsprozesses im Jahre 2015 werden zwei gegensätzliche agrarökonomische Entwicklungen in den Szenarien abgebildet:

1. Szenario *Baseline*, Fortführung der Prämienzahlungen wie in der EU-Agrarreform vereinbart (Angleichung der Prämien für alle Nutzungen)
2. Szenario *Performance*, Wegfall sämtlicher Prämienzahlungen nach 2015

3.6.3 Vergleichsszenario *constant-area*

Im Vergleich zu den Gesellschaftsszenarien wurde ein Modelllauf durchgeführt, bei dem die Verteilung der landwirtschaftlichen Nutzfläche auf der Situation des Jahres 1995 belassen wurde. Durch die Modellierung des *constant-area*-Szenarios wurde der alleinige Einfluss des Klimas auf die Nitratauswaschung quantifiziert. Änderungen der Flächenzusammensetzung wurden hier nicht modelliert.

4. Ergebnisse

4.1 Szenariorechnungen

4.1.1 Szenarioergebnisse Stickstoffhaushalt: Auswirkungen des Klimawandels auf die Nitratauswaschung

Im Berichtszeitraum wurde eine umfangreiche Studie zur Quantifizierung der Effekte des Globalen Wandels auf die Nitratauswaschung durchgeführt. Dabei konnten durch die voll-dynamische, gekoppelte Modellierung klimatische und agrarökonomische Effekte in den Szenariorechnungen untersucht werden.

Um direkte Klimaeffekte von den indirekten Effekten des agrarökonomisch induzierten Landnutzungswandels zu unterscheiden, kam ein gestuftes Auswertungsverfahren zum Einsatz:

1. Abschätzung der Klimaeffekte durch den Vergleich einer Referenzperiode (1996-2005) mit einer Szenarioperiode (2049-2058); die Zusammensetzung der Landnutzung blieb konstant (*constant-area*).
2. Abschätzung der agrarökonomischen Effekte durch die Modellierung zweier unterschiedlicher agrarpolitischer Szenarien; die Szenarioergebnisse (2049-2058) wurden mit den Szenarioergebnissen des *constant-area*-Laufs verglichen.

Insgesamt wurden moderate Änderungen der Nitratauswaschung auf Landkreisebene berechnet. Für Ostallgäu und Dingolfing zeigen die Modellergebnisse einen Anstieg der Nitratkonzentration im Sickerwasser um 47 bzw. 22%. Die um etwa 10 bis 15 mg/l höhere Nitratkonzentration in Dingolfing erscheint vor dem Hintergrund der wesentlich intensiveren ackerbaulichen Landnutzung und geringeren Perkulationsraten (Konzentrationseffekt) plausibel (Abb. 4). Hohe Grünlandanteile sowie die größere Perkolation (Verdünnungseffekt) sind die Ursache für die geringeren Konzentrationen in Ostallgäu. Bis 2058 wird eine leichte jährliche Zunahme der Nitratkonzentration im Sickerwasser für beide Landkreise berechnet. Im Mittel beträgt sie in Dingolfing $0,23 \text{ mg l}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und in Ostallgäu $0,18 \text{ mg l}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

Auffällig ist die ähnlich hohe Nitratauswaschung aus der durchwurzelteten Bodenzone (Abb. 4) in beiden Landkreisen, deren Variabilität im Verlauf der Szenarioperiode zunimmt. Die Stickstoffzufuhr auf die Felder durch die intensive Düngung der ackerbaulich genutzten Flächen bestimmt in Dingolfing die Nitratauswaschung. Dagegen wirkt in Ostallgäu die ganzjährige Bedeckung der Flächen durch die Wiesen den hohen Perkulationsraten entgegen. In der Jahresbilanz ergibt sich im Modell eine vergleichbare Menge der Nitratauswaschung trotz der unterschiedlichen Landkreiseigenschaften.

Geringe Perkulationsraten verursachen die Spitzen der Nitratkonzentration wie z.B. in 2046 (44 mg/l) in Dingolfing (Abb. 4). Ganz allgemein zeigen die Modellergebnisse einen Rückgang der Perkolation durch den gestiegenen Wasserbedarf für die Evapotranspiration und den leicht rückläufigen Niederschlägen im Szenario.

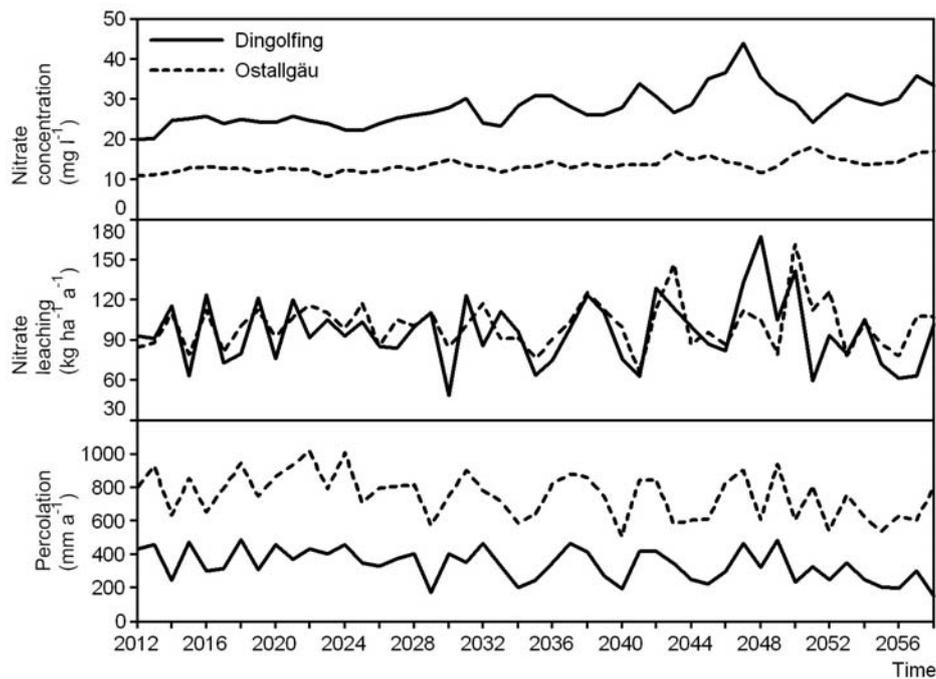


Abb. 4: Zeitreihen der mittleren jährlichen Nitratkonzentration im Sickerwasser, der jährlichen Nitratauswaschung und Perkolations für Ostallgäu und Dingolfing unter den Bedingungen des *Constant-Area*-Szenarios

Die Ergebnisse auf der Landkreisebene integrieren über die unterschiedlichen Kulturgruppen. Die ausführlichere Analyse der Klimaeffekte auf die einzelnen Kulturgruppen dient der Ermittlung der systemischen Ursachen für die modellierten Änderungen auf der Landkreisebene.

Die kulturgruppenbezogene Auswertung der Modellergebnisse zeigt gegensätzliche Reaktionen. In Abbildung 5 sind die im Vergleich zur relativen Referenz Abweichungen der Nitratauswaschung und der Nitratkonzentration im Sickerwasser dargestellt. Am Beispiel von Winterweizen in Dingolfing und von Grünland in Ostallgäu werden im Folgenden die Wechselwirkungen zwischen Klima und Stickstoffhaushalt erklärt.

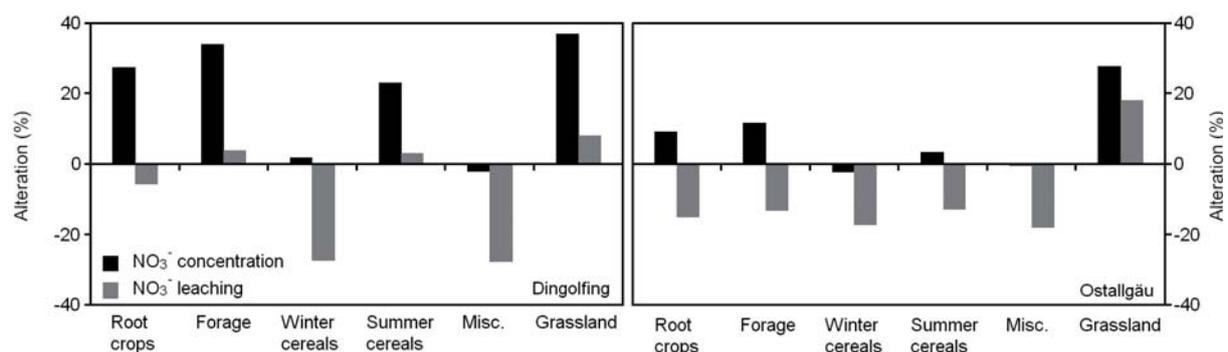


Abb. 5: Änderungen der Nitratfracht und der Nitratkonzentration im Sickerwasser in der Szenarioperiode 2049-2058 relativ zur Referenz (1996-2005) für die Landkreise Dingolfing und Ostallgäu

Wintergetreide nimmt als Folge der Temperaturerhöhung und der damit einhergehenden Zunahme der Biomasseproduktion deutlich mehr Stickstoff auf. Der Stickstoffbedarf wird größtenteils durch eine höhere Mineralisierung aus der organischen Bodensubstanz (+40%) gedeckt. Dabei übertrifft die zusätzliche Stickstoffaufnahme die Menge des zusätzlich freigesetzten Stickstoffs. In der Bilanz führt dieser Effekt zu einer Verringerung der Nitratfracht. Infolge des Perkolationsrückgangs um bis zu -30% (Abb. 6) steigt die Nitratkonzentration unter Wintergetreide dennoch an.

Im Gegensatz zu Wintergetreide wird für Grünland in Ostallgäu eine Zunahme der Nitratfracht berechnet (Abb. 5). Im Modell wurde ein leichter Rückgang der Stickstoffaufnahme für Wiesen berechnet. Ursächlich dafür sind wahrscheinlich die an die aktuellen klimatischen Verhältnisse angepassten Düngungstermine. Im Szenario wachsen die Wiesen schneller, wodurch sich die Phase der Stickstoffaufnahme verkürzt. Zum Düngungszeitpunkt befinden sich die Wiesen dann schon im Entwicklungsstadium der Reife, in dem der Stickstoffbedarf und damit die Stickstoffaufnahme gering sind. In Kombination mit den etwas höheren Mineralisierungsraten im Szenariozeitraum steht daher mehr Nitrat für die Auswaschung zur Verfügung.

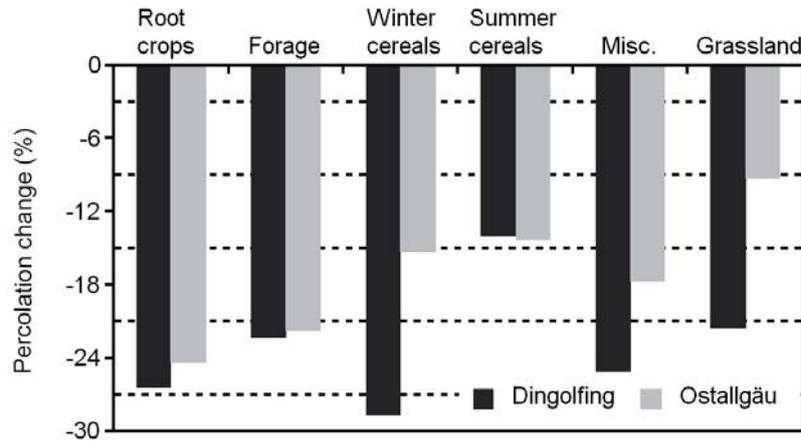


Abb. 6: Änderungen der mittleren Perkolation im Szenariozeitraum (2049-2058) relativ zur Referenz (1996-2005) für die Landkreise Dingolfing und Ostallgäu

Allgemein zeigen die Modellergebnisse, dass die Klimaänderungen allein zu keinen gravierenden Änderungen bei der Nitratauswaschung führen. Aus Sicht des Gewässerschutzes ist davon auszugehen, dass durch geeignete Adaptionen beim Düngungsmanagement (z.B. angepasste Düngungstermine) die Klimafolgen kompensierbar sind.

Die Ergebnisse der Gesellschaftsszenarien Baseline und Performance zeigen nur geringe Unterschiede in den Auswirkungen der Agrarpolitik auf die Nitratauswaschung. Die durch die Agrarpolitik verursachten Landnutzungsänderungen und die Fruchtfolgeeffekte haben keine deutlichen Änderungen der Nitratauswaschung zur Folge (nicht dargestellt).

4.1.2 Szenarioergebnisse Wasserbedarf

Zur Abschätzung des nicht bedienten Wasserbedarfs landwirtschaftlicher Kulturen wurde ein Simulationslauf durchgeführt, bei dem eine unbegrenzte Wasserversorgung angenommen wurde. Zu diesem Zweck wurde der Bodenwassergehalt konstant auf die Feldkapazität gesetzt. Das Pflanzenwachstum wird hier nur durch Wetter und Stickstoff- und Kohlendioxidangebot begrenzt. In Abbildung 7 ist die auf dieser Basis modellierte Transpiration als Mittel von Kulturgruppen für die vier ausgewählten Landkreise (siehe Abschnitt 3.5) dargestellt.

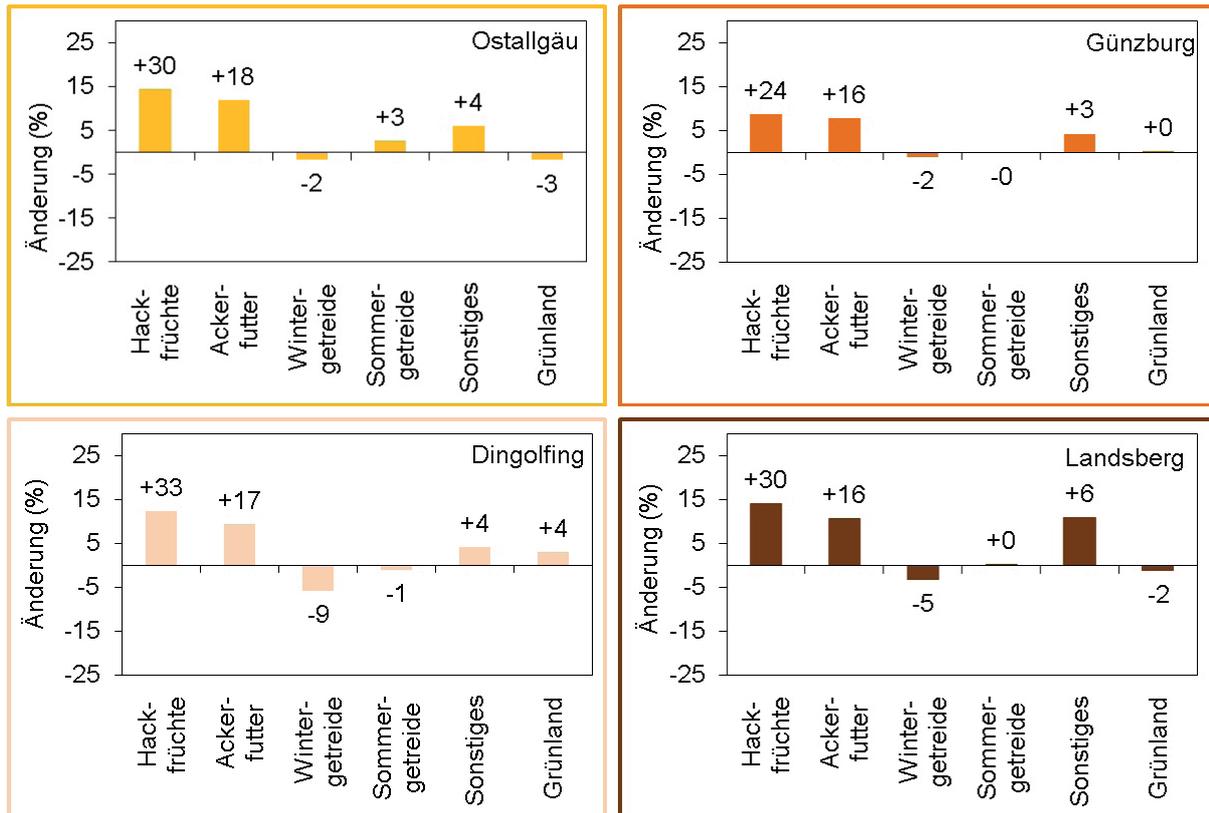


Abb. 7: Abweichung der Transpiration im Szenariozeitraum (2049-2058) bei unbegrenzter Wasserversorgung im Vergleich zur Szenariosituation bei dynamisch modellierter Wasserversorgung für vier Landkreise. Die Zahlen über den Säulen geben die absoluten Abweichungen in mm an

Zwischen den Landkreisen zeigen sich keine erheblichen Unterschiede. Für Getreide, Grünland und sonstige Kulturen ist der Wasserbedarf weitestgehend gedeckt. Hier ist im Szenario keine Limitierung des Wachstums durch Wassermangel zu verzeichnen. Hackfrüchte und Ackerfutter hingegen zeigen einen gegenüber dem Angebot ungedeckten Wasserbedarf von bis zu 33%. Negative Werte können sich bei Kulturen ergeben, bei denen der Verlauf der phänologischen Entwicklung durch das konstant hohe Wasserangebot beeinflusst wird.

Die Ergebnisse legen nahe, dass bei Hackfrüchten ein Bewässerungsbedarf bestehen könnte.

4.1.3 Szenarioergebnisse Biomasse, Wasser- und Stickstoffnutzung

Es wurde für vier ausgewählte Landkreise (siehe Abschnitt 3.5) ein Simulationslauf mit dem Klimaszenario KT2KV1 (siehe Abschnitt 3.6) in Kombination mit dem Gesellschaftsszenario *Baseline* durchgeführt. Aus den Ergebnissen wurden relative Änderungen von Poolgrößen und Flüssen für den Szenariozeitraum 2049 bis 2058 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1996 bis 2005 bestimmt (siehe Abb. 8 und 9).

Biomasse und Stickstoffaufnahme steigen in dieser Simulation für alle Kulturregruppen und alle untersuchten Landkreise an. Auftretende Verkürzungen der Wachstumsperiode durch erhöhte Temperaturen können durch den CO₂-Düngeeffekt überkompensiert werden. Die geringsten Änderungen ergeben sich in der Gruppe der Hackfrüchte. Diese wird von der C4-Pflanze Silomais dominiert, wodurch sich hier der Effekt der erhöhten CO₂-Konzentration nur sehr gering auswirken kann. Ein besonders starker Anstieg der Stickstoffaufnahme wurde für die Gruppe der sonstigen Kulturen berechnet. Dieser wird durch die Leguminosen verursacht, deren Stickstoffaufnahme aus der Atmosphäre durch die erhöhte Photosynthese deutlich verstärkt werden kann.

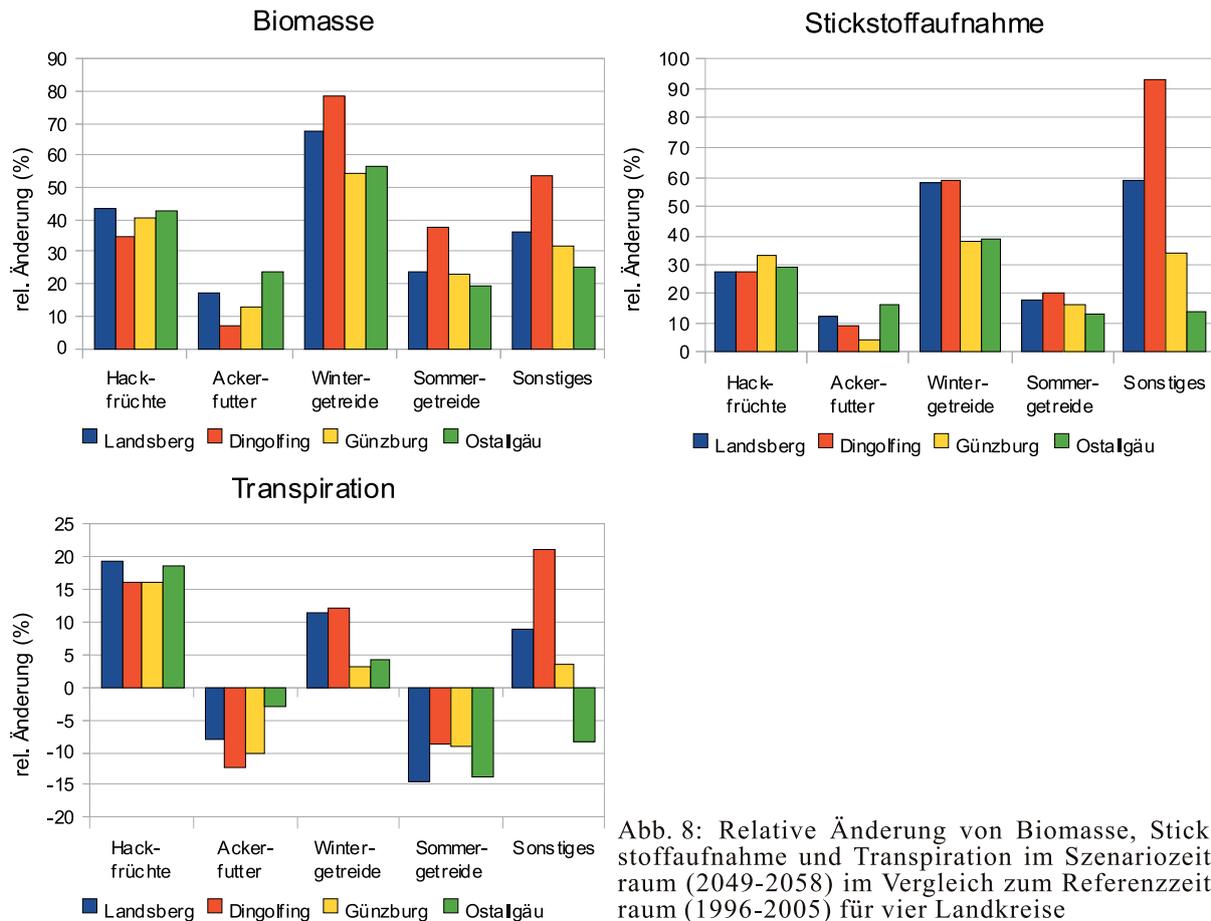


Abb. 8: Relative Änderung von Biomasse, Stickstoffaufnahme und Transpiration im Szenariozeitraum (2049-2058) im Vergleich zum Referenzzeitraum (1996-2005) für vier Landkreise

Für die Transpiration ergibt sich ein abweichendes Bild. Sie steigt bei Hackfrüchten und Wintergetreide und sinkt bei Ackerfutter und Sommergetreide. Bei den sonstigen Kulturen zeigt sich ein uneinheitliches Verhalten. Verringerte Transpiration geht mit geringen Zuwächsen bei der Stickstoffaufnahme einher. Sie tritt bei denjenigen Kulturgruppen auf, die geringere Biomassezuwächse aufweisen. Die Vergrößerung der Blattfläche ist hier nicht so stark ausgeprägt, als das sie den reduzierten Wasserverbrauch, der durch die verringerte Leitfähigkeit der Stomata bei erhöhten CO_2 -Konzentration auftritt, überkompensieren würde.

Durch die veränderte Wasser- und Stickstoffaufnahme und die Unterschiede in der gebildeten Biomasse ändern sich im Szenario auch die Effizienzen der Nutzung von Wasser und Stickstoff (Abb.9). Die Wassernutzungseffizienz (water use efficiency, WUE) steigt bei allen Kulturgruppen in allen untersuchten Landkreisen. Entweder geht die Erhöhung der gebildeten Biomasse mit einer Verringerung der Transpiration einher, oder sie übersteigt die Erhöhung der Transpiration. Maximale Anstiege finden sich beim Wintergetreide mit Werten um bis zu 60%. Am geringsten fällt die Erhöhung bei den Hackfrüchten aus, dort liegt sie in Dingolfing nur bei ca. 15%.

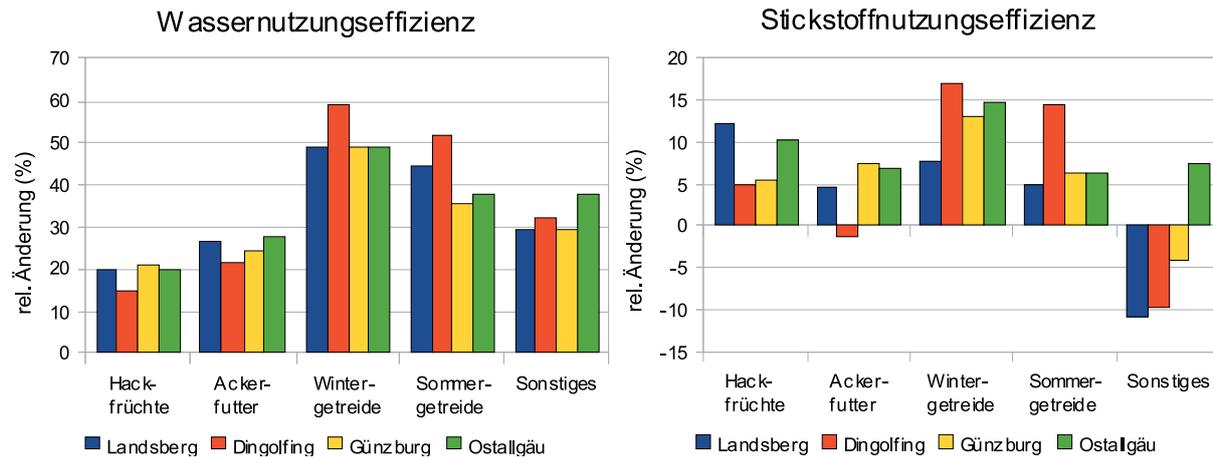


Abb. 9: Relative Änderung von Wasser- und Stickstoffnutzungseffizienz im Szenariozeitraum (2049-2058) im Vergleich zum Referenzzeitraum (1996-2005) für vier Landkreise

Auch die Stickstoffnutzungseffizienz (nitrogen use efficiency, NUE) steigt nahezu durchgängig. Ausnahmen sind die sonstigen Kulturen ohne den Landkreis Ostallgäu sowie Ackerfutter in Dingolfing. Auch hier zeigen sich die höchsten Anstiege bei Wintergetreide. Sie liegen jedoch mit Werten unter 18% deutlich unter denen für die WUE. Ein Rückgang der NUE zeigt sich, wenn der Anstieg der N-Aufnahme den Anstieg der Biomassebildung übersteigt.

4.2 Messung von flächenhaften Kohlenstoff- und Wasserflüssen

Die kontinuierlichen Messungen meteorologischer und bodenspezifischer Parameter, die Messungen der Kohlenstoff- und Energieflüsse mittels der Eddy Kovarianz Methode und die Messung der Bodenrespiration (siehe Jahresbericht 2007-2008, Jahresbericht 2008-2009) wurden auf dem Untersuchungsfeld in Selhausen bei Jülich fortgeführt. Darüber hinaus wurden zweiwöchige Pflanzen-Messkampagnen zur Dokumentation von Phänologie, Pflanzenhöhe, und -dichte und anschließende Laboruntersuchungen zur Bestimmung von Frisch- und Trockenbiomasse, Kohlenstoff-Gehalt und Blattflächenindex durchgeführt. Gesonderte Boden-Messkampagnen zur Bestimmung des Kohlenstoff-Stickstoff-, sowie des Nitrat-Ammonium-Verhältnisses wurden ebenfalls durchgeführt.

Die Auswertung der kontinuierlichen Eddy Kovarianz Messungen hatte nach wie vor eine zentrale Bedeutung im Berichtszeitraum. Das in den vorangegangenen Zwischenberichten vorgestellte Bearbeitungsschema zur Prozessierung, Korrektur und Qualitätssicherung wurde um einen eigenständigen Algorithmus zum „gap filling“ und „flux partitioning“ erweitert.

In einer aktuellen Auswertung wurde insbesondere der zweijährige Zeitraum von Oktober 2007 bis Oktober 2009 betrachtet. In diesem Zeitraum wurde zweimal in Folge Winterweizen auf dem Untersuchungsfeld kultiviert. Diese Konstellation ermöglicht vergleichende Betrachtungen zwischen den beiden Jahren bezüglich der Kohlenstoffflüsse und den maßgeblichen Einflussfaktoren welche den saisonalen Verlauf der Kohlenstoffflüsse beeinflussen.

Abbildung 10 zeigt für den oben genannten Zeitraum die Datenverfügbarkeit 30-minütiger Flussmessungen des Netto-CO₂-Austauschs (NEE), welche die Datenbasis der nachfolgenden Analysen darstellen. Über den gesamten zweijährigen Zeitraum betrachtet waren 4,9% der NEE Messungen aufgrund von Stromausfällen nicht vorhanden. Weitere 24,9% wurden aufgrund fehlerhafter Messungen der beteiligten Sensoren ausgeschlossen. Durch nachträgliche Qualitätstests (ITC+ST) bezüglich des Vorhandenseins eines turbulenten Regimes (Voraussetzung für EC-Methode) wurden 25,8% ausgeschlossen. Im letzten Schritt wurden durch die Anwendung eines „Footprint Filters“ (Zwischenbericht 008-2009) nochmals 5% der Messungen verworfen.

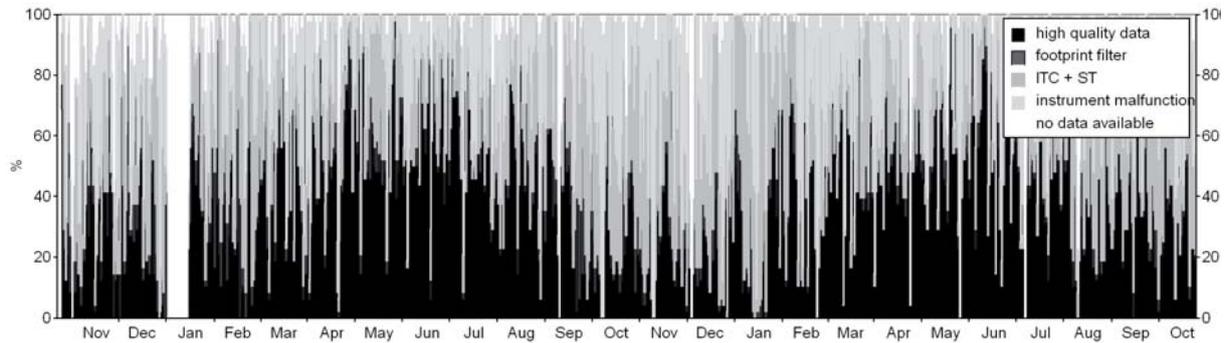


Abb. 10: Tägliche und saisonale Verteilung der Verfügbarkeit 30-minütiger Flussmessungen des Netto- CO_2 -Austauschs im Zeitraum von Oktober 2007 bis Oktober 2008. Auf der Y-Achse sind die täglichen prozentualen Anteile verfügbarer oder aufgrund verschiedener Kriterien ausgeschlossener Daten abgetragen

Zur Auswertung gelangten ausschließlich Messungen welche als „high quality data“ eingestuft wurden (siehe Zwischenbericht 2008-2009). Wie Abbildung 10 zeigt, führt die strikte Handhabung der Qualitätssicherung zu einer beträchtlichen Datenreduzierung. Die Datenverfügbarkeit variiert sowohl von Tag zu Tag als auch im saisonalen Verlauf. Im Sommer ist die Datenlage im Allgemeinen günstiger. Für die Berechnung von jährlichen und saisonalen Bilanzen sind vollständige Datenreihen notwendig. Darüber hinaus ist der gemessene Nettokohlenstoff-Fluss (NEE) nicht die geeignete Größe um Modellvergleiche durchzuführen. Zu diesem Zweck ist es notwendig den gemessenen NEE in seine Einzelkomponenten, die Bruttoprimärproduktion (GPP) und die Ökosystematmung (R_{eco}) zu zerlegen. Die GPP ist dann unmittelbar mit der modellierten Kohlenstoffassimilation vergleichbar und kann in einem späteren Schritt zur Validierung des Photosynthesemodells verwendet werden.

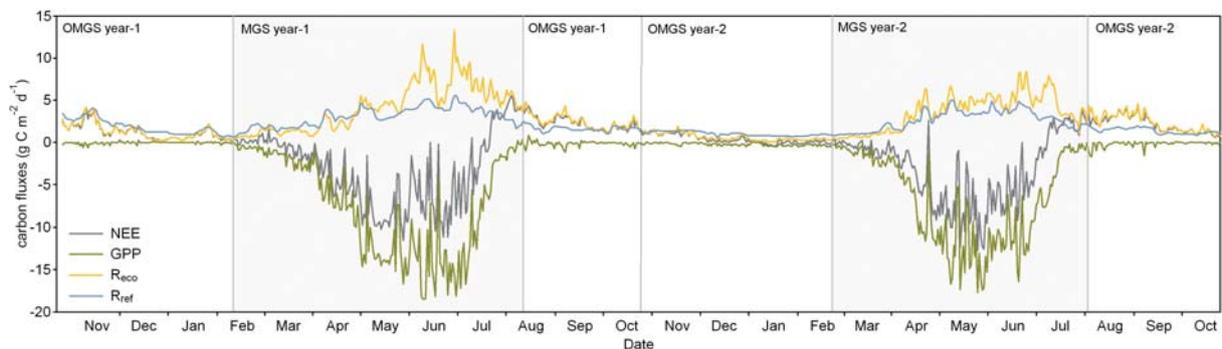


Abb. 11: Tagessummen des Netto- CO_2 -Austauschs (NEE), der Bruttoprimärproduktion (GPP), der Ökosystematmung (R_{eco}) und der Referenzatmung bei 10°C (R_{ref}) zwischen dem 19. Oktober 2007 und dem 18. Oktober 2009 auf dem Selhausener Untersuchungsfeld

Es zeigt sich ein deutlicher saisonaler Verlauf mit geringen Flüssen während der Wintermonate und hohen Flüssen während der Sommermonate. Im Winter dominiert die Ökosystematmung den Kohlenstoffaustausch und das Feld agiert als Kohlenstoffquelle. Dies ändert sich etwa im März, mit einem nun verstärkt voranschreitenden Pflanzenwachstum. Mit zunehmenden Blattflächenindex (LAI) beziehungsweise zunehmender photosynthetisch aktiver Blattfläche steigt auch GPP . Sobald die Amplitude von GPP jene von R_{eco} übertrifft, wechselt NEE das Vorzeichen und das Feld wird zur Kohlenstoffsenke. NEE und GPP erreichen maximale Werte zwischen Mai und Juni von -10 beziehungsweise -18 g C m^{-2} , während der Winterweizen den maximalen Blattflächenindex von knapp $4\text{ m}^2\text{ m}^{-2}$ erreicht.

Maximale Werte der R_{eco} von bis zu 12 g C m^{-2} im ersten Jahr und 8 g C m^{-2} im zweiten Jahr werden erst im Juni gegen Ende der Vegetationszeit erreicht. Auf diesen Zeitraum fällt nun wieder der Vorzeichenwechsel des NEE und das Feld wandelt sich erneut in eine Kohlenstoffquelle. Durch weiterhin hohe Temperaturen in Verbindung mit dem Abbau organischen

Materials werden anschließend noch erhöhte Werte bei R_{eco} von über $3\text{ g C m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ bis in den Oktober gemessen.

In Abbildung 12 werden die Kohlenstoffflüsse der beiden Jahre miteinander verglichen. Die kurzzeitigen Schwankungen in den Flüssen (Abb. 12a) sind Folge der von Tag zu Tag variierenden meteorologischen Einflussgrößen, wie Temperatur und Strahlung. Die Unterschiede im Verlauf des NEE zwischen beiden Jahren lassen sich aus dem Zusammenspiel von GPP und R_{eco} erklären. Wie aus dem Verläufen der kumulativen GPP (Abb. 12 b) zu entnehmen ist, treten erst gegen Ende der Vegetationsperiode signifikante Unterschiede zwischen den beiden Jahren auf. Dies ist dadurch zu erklären, dass der Rückgang des LAI, also der photosynthetisch aktiven Blattfläche, im zweiten Jahr etwa einen Monat früher eingesetzt hat.

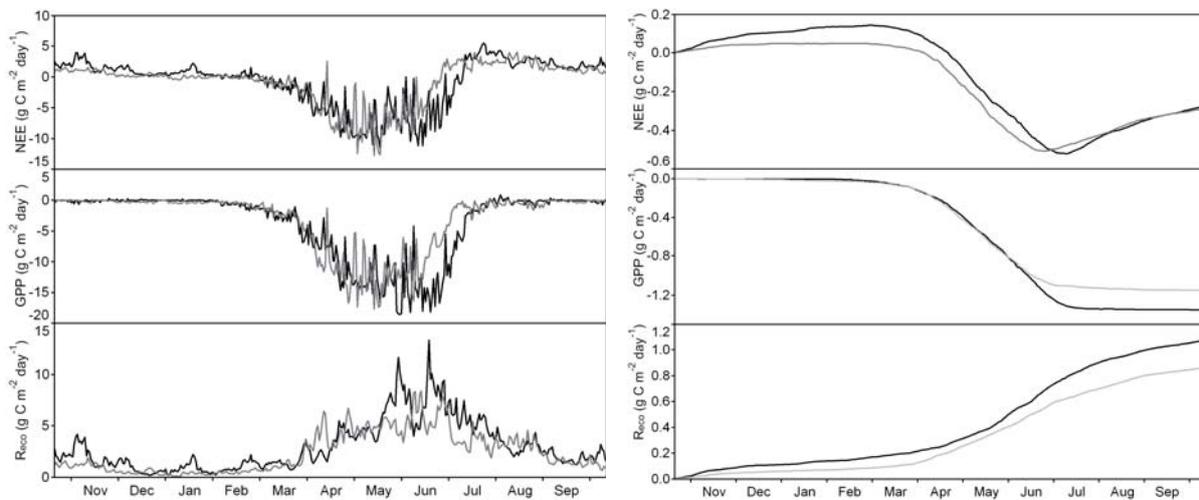


Abb. 12: a) Vergleich der täglich integrierten Flüsse von Nettokohlenstofffluss (NEE), Bruttoprimärproduktion (GPP) und Ökosystematmung (R_{eco}) zwischen den beiden Untersuchungsjahren 2007/2008 (schwarze Linie) und 2008/2009 (graue Linie); b) Vergleich der kumulierten Flüsse von NEE , GPP und R_{eco} zwischen den beiden Untersuchungsjahren 2007/2008 (schwarze Linie) und 2008/2009 (graue Linie)

Im Unterschied zu GPP und NEE zeigt R_{eco} von Beginn an im ersten Jahr höhere Werte. Dies ist hauptsächlich auf die höheren Temperaturen im Winter sowie im Mai und Juni zurückzuführen.

Obwohl die beiden Verläufe des NEE über das Jahr viele Unterschiede aufweisen, ist die Bilanz ab August zwischen beiden Jahren wieder ausgeglichen (siehe b). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die hohe GPP im ersten Jahr durch eine ebenfalls hohe R_{eco} kompensiert wurde, sowie im zweiten Jahr eine niedrige GPP durch eine ebenfalls niedrige R_{eco} kompensiert wurde.

Tab. 2: Aus Eddy Kovarianz Messungen ermittelte Bilanzen des Netto- CO_2 -Austauschs (NEE), der Bruttoprimärproduktion (GPP) und der Ökosystematmung (R_{eco}) für unterschiedliche Teilzeiträume zweier aufeinanderfolgender Jahre mit Winterweizen auf dem Untersuchungsgebiet in Selhausen. Das Vorzeichen orientiert sich an der mikrometeorologischen Konvention, dass Flüsse von der Atmosphäre zur Erdoberfläche als negativ definiert werden und umgekehrt

CO_2 -Fluss (g C m^{-2})	2007 / 2008	2008 / 2009
NEE	-270	-270
GPP	-1351	-1131
R_{eco}	1081	861

Tabelle 2 zeigt die jährlichen Bilanzen, sowie die Bilanzen verschiedener Teilzeiträume der Kohlenstoffflüsse in den beiden Untersuchungsjahren

In beiden Jahren beläuft sich der jährliche *NEE* auf -270g Cm^{-2} . Deutliche Unterschiede sind bei *GPP* und R_{eco} zu verzeichnen. Während sich die *GPP* des ersten Jahres auf -1351g Cm^{-2} beläuft, werden im zweiten Jahr lediglich -1131g Cm^{-2} erreicht. Um den gleichen Betrag unterscheiden sich auch die jährlichen Bilanzen von R_{eco} , welcher im ersten Jahr 1081g Cm^{-2} und im zweiten Jahr 861g Cm^{-2} betragen hat.

5. Zusammenfassung und Ausblick

In der Zeit bis zum Projektende sollen die vorgestellten Studien mit der endgültigen Version der Komponente *Farming* wiederholt werden. Es wird dadurch möglich, Düngemengen dynamisch zu modellieren und so eine bessere Anpassung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung an den Klimawandel zu simulieren.

Vorbereitete Publikationen sollen abgeschlossene und weitere über die Resultate der neuen Läufe erstellt werden.

6. Literatur

- KLAR, C.W., FIENER, P., NEUHAUS, P., LENZ-WIEDEMANN, V.I.S. und SCHNEIDER, K. (2008): Modelling of soil nitrogen dynamics within the decision support system DANUBIA. *Ecological Modelling* 217, S. 181-196.
- KRIMLY, T., APFELBECK, J., HUIGEN, M. und DABBERT, S. (2009): Entscheidungsmodell zur Land- und Wassernutzung landwirtschaftlicher Betriebe – Das Modell DeepFarming. In: GLOWA-Danube Projekt, Universität München (LMU) (Ed): *Global Change Atlas, Einzugsgebiet Obere Donau*. GLOWA-Danube Projekt, Universität München.
- LENZ-WIEDEMANN, V.I.S., KLAR, C.W. und SCHNEIDER, K. (2010): Development and test of a crop growth model for application within a Global Change decision support system. *Ecological Modelling* 221, S.3 14-329.
- LLOYD, J. und TAYLOR, J.A. (1994): On the Temperature-Dependence of Soil Respiration. *Functional Ecology*, 8.
- RABINOWITCH, E. (1951): *Photosynthesis and Related Processes*, Interscience Publishers, New York.

Sozioökonomische Analyse und Modellierung von Wassernutzung und Landnutzung durch Landwirtschaft

Teilprojekt: Agrarökonomie
 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* (5/2009-4/2010)
- Dipl. Ing. agr. Josef Apfelbeck: Akteur-Modellierung, Ökonomische Modellierung (5/2009 -04/2010)
- Dr. Marco Huigen: Programmierung und Implementierung *DeepFarming* Konzept (5/2009- 4/2010)

1.2 Anschaffungen

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

1.3 Veröffentlichungen, Vorträge

1.3.1 Vorträge, Konferenzen

- 13.-17.07.2009 Simulation of climate change effects on the agricultural sector in the Danubia catchment in South Germany with a generic modeling *framework*. Vortrag auf dem IMACS-MODSIM World Congress, Cairns, Australia (M. Huigen, J. Apfelbeck, T. Krimly und S. Dabbert).
- 24.-26.09.2009 Agentenbasierte Modellierung der Abhängigkeit des pflanzenbaulichen Managements von Wetter- und Klimaeinflüssen. Vortrag auf der 19. Jahrestagung der ÖGA (Österreichische Gesellschaft für Agrarökonomie) „Rollen der Landwirtschaft in benachteiligten Regionen“, Innsbruck (J. Apfelbeck, T. Krimly, M. Huigen. und S. Dabbert).
- 30.09.-2.10.2009 Managemententscheidungen im Pflanzenbau in Abhängigkeit von Klima-/Wettereinflüssen. Posterpräsentation auf der 49. Jahrestagung der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus e.V. „Agrar- und Ernährungsmärkte nach dem Boom“, Kiel ((J. Apfelbeck, T. Krimly, M. Huigen. und S. Dabbert).
- 12.-14.10.2009 GLOWA Abschlusskonferenz in Potsdam.

- 11.-12.12.2009 Modellierung von Mensch-Umwelt-Interaktionen aus sozio-ökonomischer und planerischer Sicht: Ökologisch-sozioökonomische Modellierung. Vortrag auf dem Workshop „Perspektiven integrierter Modellierung von Mensch-Umwelt-Systemen“ in Karlsruhe (S. Dabbert).
- 26.03.2010 Regionale *Stakeholder*konferenz in München (Vortrag und Posterpräsentation).

1.3.2 Teilnahme an Projektinternen Treffen

- 10.06.2009 Treffen der Akteurmodellierer in Stuttgart Vaihingen.
- 24.07.2009 Projektleitertreffen in München.
- 17.-18.09.2009 Vorbereitungstreffen der Projektleiter mit GLOWA-Elbe für die Abschlusskonferenz.
- 13.11.2009 *Stakeholder*workshop „Landwirtschaft“ in München.
- 8.03.2010 Projektleitertreffen in München.

1.3.3 Veröffentlichungen

APFELBECK, J., KRIMLY, T., HUIGEN, M. und DABBERT, S. (2009): Agentenbasierte Modellierung der Abhängigkeit des pflanzenbaulichen Managements von Wetter- und Klimaeinflüssen. 19. Jahrestagung der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie, Tagungsband, S. 97-98.

APFELBECK, J., HUIGEN, M. und KRIMLY, T. (2009): Bewirtschaftungsentscheidungen auf einzelbetrieblicher Ebene und deren Abhängigkeit von Wettereinflüssen: Ein Fallbeispiel aus dem oberen Donaueinzugsgebiet. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band. 44, S. 451-453.

Henseler, M., Wirsig, A., Herrmann, S., Krimly, T. and Dabbert, S. (2009): Modeling the impact of global change on regional agricultural land use through an activity based non-linear programming approach. *Agricultural Systems* 100 (2009), p. 31-42.

KRIMLY, T., REICHENAU, T.G., APFELBECK, J., LENZ, V.I.S, HUIGEN, M., KLAR, C.W., DABBERT, S. und SCHNEIDER, K. (2009): Auswirkungen zukünftiger klimatischer Entwicklungen auf die Erträge, die Landnutzung und das Einkommen in der Landwirtschaft. In: GLOWA-Danube Projekt, Universität München (LMU) (Hrsg.): *Global Change Atlas, Einzugsgebiet Obere Donau*. GLOWA-Danube Projekt, Universität München.

LIPPERT, C., KRIMLY, T. und Aurbacher, J. (2009): A Ricardian Analysis of the Impact of Climate Change on Agriculture in Germany. *Climatic Change* (2009) 97, S. 593-610.

WIRSIG, A. (2009): *Global Change and regional agricultural land use, Impact estimates for the Upper Danube basin based on scenario data from European studies*. Europäische Hochschulschriften, Reihe 5: Volks- und Betriebswirtschaft, Vol. 3344, Peter Lang Publishing Group, Frankfurt am Main, Berlin, Bern, Bruxelles, New York, Oxford, Wien.

1.3.4 Laufende Doktorarbeiten

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

2. GLOWA Atlas

Für den GLOWA Atlas wurde gemeinsam mit der Arbeitsgruppe Agrarökologie aus Köln ein Beitrag zu den Auswirkungen zukünftiger klimatischer Entwicklungen auf die Erträge, die Landnutzung und das Einkommen in der Landwirtschaft verfasst. Des Weiteren wurden zur Erweiterung des Glossars für den GLOWA-Danube Atlas weitere wesentliche Fachbegriffe, die in den Beiträgen des agrarökonomischen Teilprojektes verwendet werden näher erklärt. Es ist weiterhin geplant für die letzte Atlaslieferung Mitte dieses Jahres noch einen Beitrag zu liefern.

3. Stakeholder

Vertreter des Teilprojekts nahmen an dem Stakeholder-Workshop Landwirtschaft teil. Hierbei wurden Szenarienergebnisse vorgestellt und mit den Stakeholdern über mögliche weitere interessante Szenarien sowie aus ihrer Sicht interessante Fragestellungen diskutiert. Hierbei äußerten die Stakeholder besonderes Interesse an einem Szenario in dem die Preisprognosen der FAO für landwirtschaftliche Produkte berücksichtigt werden. Dies wurde als Handlungsoption für Szenariorechnungen aufgenommen. Ebenso wurde Interesse an weiteren Berechnungen zur Handlungsoption Bewässerung bekundet.

4. Einbindung des Teilprojekts in das Gesamtvorhaben

Im Berichtszeitraum wurden umfangreiche Szenarienzläufe mit den gekoppelten Modellen , *Biological*, PROMET und *DeepFarming* in DANUBIA *Light* 2.0 durchgeführt. Für die Bewässerung wurden hierbei weitere Interfaces implementiert und in den *ActorController* integriert (Tab. 1). Zudem wurde die Abstimmung zwischen dem Pflanzenwachstum in *Biological* und den Managementmaßnahmen in *DeepFarming* noch weiter verfeinert.

Tab. 1: Interfaces für die Handlungsoption Bewässerung

getIrrigationApplyCollection	MassPerAreaCollectonTable	Actor to Landsurface
getDailyTranspirationCollection	MassPerAreaCollectionTable	Landsurface to Actor
getPrecipitationDailySum	MassPerAreaTable	Landsurface to Actor
getGroundWaterQuantityFlag	IntegerDataTable	Actor to Farming

5. Weiterentwicklungen im Modell *DeepFarming*

Es wurde generell an der Verfeinerung der Interaktionen zwischen dem Pflanzenwachstumsmodell *Biological* und *DeepFarming* gearbeitet. Im Folgenden werden die weiteren Anpassungen im Bereich der Stickstoffdüngung und der Bewässerung dargestellt.

5.1 Ertragsabhängige Düngung

Im Zuge der Abstimmungen zwischen *Biological* und *DeepFarming* wurde die Stickstoffdüngung weiter an die komplexen Interaktionen zwischen den Modellen angepasst und verfeinert. So wird der Ertrag einer Kultur zum Einen von den klimatischen Voraussetzungen in einer Region beeinflusst und zum Anderen ist die Ausschöpfung eines hohen Ertragspo-

tentials vom Nährstoffangebot abhängig. Die Agenten im Modell *DeepFarming* reagieren auf den Wachstumsverlauf der einzelnen Kulturen im Modell *Biological* und führen Düngemaßnahmen nur durch, wenn bestimmte Entwicklungsstadien erreicht werden. Zudem wird die Höhe der Stickstoffgabe in *DeepFarming* an die von *Biological* übermittelten Ertragsmengen angepasst. Betriebstypen, die keine Tiere halten, können nur mineralischen Dünger einsetzen. Bei Betrieben mit Tierhaltung werden die verschiedenen Tierarten und deren Fütterungsweise bzw. Landnutzung des Betriebstyps bei der Berechnung der vorhandenen organischen Stickstoffmenge zum Düngungszeitpunkt berücksichtigt. Ein Agent mit Tierhaltung setzt bei Durchführung einer Düngeaktion zuerst den vorhandenen organischen Dünger ein und ergänzt dann die noch fehlende Düngemenge mit mineralischem Dünger. In Tabelle 2 sind die unterschiedlichen Nährstoffgehalte an organischem Stickstoff in Abhängigkeit von der Landnutzung/Fütterungsweise aufgelistet. Die Daten wurden aus der KTBL-Datensammlung Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/2005 entnommen und mit dem LEL-Kalkulator Nährstoffvergleich Feld-Stall 2006 Version 1.0 (Stand 28.02.2007) abgeglichen und angepasst. Für Betriebstypen mit Milchkühen wurde eine durchschnittliche Milchleistung zwischen 6000kg und 1000 kg Milch pro Kuh und Jahr unterstellt.

Tab. 2: Stickstoffgehalte verschiedener Tierexkreme in kg pro Tier und Jahr in Abhängigkeit von der Landnutzung/Fütterungsweise

Tierart	Landnutzung	Anteil an Stickstoff in kg/Tier/Jahr
Milchkuh	Ackerland	112
Milchkuh	Ackerland/Grünland	118
Milchkuh	Grünland intensiv	121
Milchkuh	Grünland extensiv	130
Mutterkuh	Grünland extensiv	90
Mastbulle	Ackerland, Ackerland/Grünland, Grünland intensiv, Grünland extensiv	71
Zuchtfärse	Ackerland	61
Zuchtfärse	Ackerland/Grünland	69
Zuchtfärse	Grünland intensiv, Grünland extensiv	77
Kälber	Ackerland, Ackerland/Grünland, Grünland intensiv, Grünland extensiv	0,25
Zuchtsau	Ackerland	27
Mastschwein	Ackerland	4,6
Pferd	Ackerland/Grünland	48
Schaf	Grünland extensiv	17

Der Stickstoffdüngbedarf der Pflanzen wird in Abhängigkeit von der Ertragshöhe der drei vorausgegangenen Jahre bestimmt. Bei der Berechnung des Düngedarfs wird zwischen ertragsabhängiger Düngung und ertragsunabhängiger Düngung unterschieden. Der ertragsunabhängige Teil bleibt für jedes Jahr konstant, wohingegen der ertragsabhängige Teil an das durchschnittliche Ertragsniveau der vorausgegangenen drei Jahre im Verhältnis zum Ausgangsertrag angepasst wird. Dabei wird eine relative Ertragsänderung von $\pm 20\%$ innerhalb eines Jahres gegenüber dem Ausgangsertrag in *DeepFarming* nicht als Änderung, sondern als natürliche Ertragschwankung, die immer einmal vorkommen kann, interpretiert. Änderungen über 20% fließen in den Drei-Jahres-Durchschnitt ein und bewirken eine Änderung des ertragsabhängigen Düngungsanteils für das kommende Erntejahr. Der ertragsabhängige Teil bezieht sich auf Angaben aus dem KTBL-Taschenbuch (1995), wobei der

erreichte Ertrag in dt pro Hektar mit dem Stickstoffwert in kg/ha (wie in Tab. 3 angegeben) multipliziert wird.

Tab. 3: Ertragsabhängiger und ertragsunabhängiger N-Bedarf pro Kultur in kg/ha

Kultur	N-Düngung	
	Ertragsunabhängiger Teil kg N/ha	Ertragsabhängiger Teil kg N/dt Ertrag
Kartoffel	70	0.2
Hafer	40	1.0
Dauerkulturen	0	5.0
Ackerfutter	80	1.5
Leguminosen	-200	0
Körnermais	40	2.0
Raps	60	5.0
Silomais	-40	0.4
Sommergerste	40	1.0
Summerweizen	0	2.5
Wintergerste	2	2.0
Winterweizen	0	2.5
Zuckerrüben	80	0.2
Roggen	20	1

Die Formel für den Gesamtstickstoffbedarf einer Kultur ist im Folgenden in allgemeiner Form dargestellt:

$$NN = YDF * Ertrag + YIDF$$

NN = Gesamtstickstoffbedarf einer Kultur

YDF = ertragsabhängiger Faktor

YIDF = ertragsunabhängiger Faktor

5.2 Bewässerung

Die Agenten in *DeepFarming* können als mögliche Handlungsoption eine Entscheidung darüber treffen, ob eine Kultur bewässert wird oder nicht. Die Entscheidungsfindung stützt sich hierbei auf das Geisenheimer System der Bewässerungssteuerung (PASCHOLD et al. 2009). Das Geisenheimer System berechnet auf der Basis der täglichen Transpiration und dem täglichen Niederschlag eine tägliche klimatische Wasserbilanz, die anhand von Schwellenwerten die Entscheidung herleitet, an welchen Tagen bewässert wird. Ausgehend von einem wassergesättigten Boden, was in den meisten Fällen im zeitigen Frühjahr gegeben ist, beginnt der Agent mit der Kalkulation der Wasserbilanz:

Die tägliche klimatische Wasserbilanz ergibt sich aus der Transpiration der spezifischen Kultur, welche von Biological übermittelt wird, abzüglich der Niederschlagsmenge an dem entsprechenden Tag, die von PROMET geliefert wird. Die fortlaufende Bilanzierung verdeutlicht Tabelle 4.

Tab. 4: Beispielsberechnung über 7 Tage mit einem „Berechnungstag“ an Tag 5 (Schwellenwert = 30)

	Transpiration [mm]	Niederschlag [mm]	Tägliche Bilanz	Bilanzwert	Berechnungsmenge [mm]
Tag 1	8.0	-2	=8.0-2	6.0	
Tag 2	7.0		=6+7	13	
Tag 3	5.0		=13+5	18	
Tag 4	8.0		=18+8	26	
Tag 5	4.8		=26+4.8	30.8	-30
Tag 6	6.0	-35	=6-35+(30.8-30)	-28.2	
Tag 7	7.0		= -28.2 +7	-21.2	

Die Höhe der Schwellenwerte zur Berechnung ist abhängig von Kultur und Entwicklungsstadien. Diese Vorgehensweise stellt sicher, dass z.B. bei einer nicht geschlossenen Bestandsdecke keine zu hohe Berechnungsmenge verabreicht wird oder während der Abreife keine Berechnungsgaben mehr erfolgen. Der Berechnungsbedarf der Kulturen wird daher in vier Entwicklungsphasen mit unterschiedlichem Berechnungsbedarf eingeteilt. Dabei beginnt die Phase 1 mit der Aussaat der Kultur und in Phase 4 endet der Berechnungszeitraum mit der Abreife der Kultur. Die vier verschiedenen Schwellenwerte der Berechnung in den unterschiedlichen Phasen sind in Tabelle 5 dargestellt. Wird ein Schwellenwert erreicht beginnt der Agent die Kultur mit genau dieser Menge zu beregnen.

Tab. 5: Die vier Entwicklungsphasen und dazu gehörende Berechnungsmengen

Entwicklungsphase	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4 (Ende)
Berechnungsmenge	10 mm	20 mm	30 mm	0 mm

Die Einteilung der Entwicklungsphasen der unterschiedlichen Kulturen zeigt Tabelle 6. Erreicht z.B. Winterweizen das Entwicklungsstadium 0.45 oder höher so wechselt diese Kultur von Phase 1 in Phase 2 wodurch die Bewässerungsmenge bei Erreichung des Schwellenwertes von 10mm/Tag auf 20 mm/Tag ansteigt (siehe Tab. 5).

Tab. 6: Entwicklungsphasen der einzelnen Kulturen in Bezug auf die Beregnung

	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4 (Ende)
Sommergerste	0	0.45	1.6	1.95
Hafer	0	0.45	1.6	1.95
Sommerweizen	0	0.45	1.6	1.95
Wintergerste	0	0.45	1.6	1.95
Roggen	0	0.45	1.6	1.95
Winterweizen	0	0.45	1.6	1.95
Kartoffel	0	0.4	1	1.8
Mais	0	0.45	0.5	1.5
Silomais	0	0.45	0.5	1.5
Zuckerrüben	0	0.3	1	1.8
Leguminosen	0	1.5	1.7	1.8
Dauerkulturen	0.2	0.45	1.0	1.8
Winterraps	-	-	-	-
Ackerfutter	-	-	-	-

Quelle: PASCHOLD et al. (2009) und eigene Anpassungen an Entwicklungsstadien-Angaben von Biological

Das Wasser für die Bewässerung wird aus dem Grundwasser entnommen. Die Möglichkeit Wasser zu entnehmen wird dem Agenten durch das Modell Watersupply über die sogenannte GroundWaterQuantityFlag angezeigt. Die Flaggenwerte 0 bis 3 zeigen dem Agenten an, dass genügend Wasser zur Bewässerung zur Verfügung steht. Ab Flagge 4 ist es dem Agenten nicht mehr erlaubt Wasser aus dem Grundwasser zu entnehmen.

6. Szenarioergebnisse

Die im Folgenden dargestellten Szenarioergebnisse basieren auf voll dynamisch gekoppelten Modellläufen von *SNT*, *Biological*, *PROMET* und *DeepFarming*.

Die Darstellung der Ergebnisse bezieht sich auf die Szenarien:

- REMO-Baseline-Performance
- REMO-Baseline-Baseline (FAO-Preisprognose)

Die Handlungsoption FAO bedeutet, dass nicht konstante Preise für die Zukunft angenommen werden, sondern die Preisentwicklungen laut FAO. Dies wird im Folgenden noch genauer erläutert.

Die Ergebnisse der Szenariorechnung (Mittelwerte der Jahre 2012-2021 bzw. 2049-2058) werden mit dem Referenzzeitraum (Mittelwerte der Jahre 1996-2005) verglichen. Es werden vier ausgewählte Landkreise dargestellt, die unterschiedliche Standortverhältnisse im Einzugsgebiet repräsentieren (siehe Tab. 7). Im Landkreis Dingolfing, der den höchsten Anteil an Ackerfläche sowie das höchste Ertragspotenzial aufweist, sind ca. 50% der Betriebe reine Marktfruchtbaubetriebe (Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung, 2007). Mit zunehmendem Grünlandanteil nimmt der Anteil an Futterbaubetrieben mit Weidevieh zu und liegt im Landkreis Ostallgäu bei ca. 95%.

Tab. 7: Kenngrößen der ausgewählten Landkreise im Referenzzeitraum

	Dingolfing	Günzburg	Landsberg	Ostallgäu
Höhenlage (m ü. NN)	330-450	440-517	540-740	582-2000
Jahresniederschlag (mm/a)	650-750	660-910	972	1000-1400
Mittlere Jahreslufttemperatur (°C)	7,0-8,0	7,5	6,0-7,5	6,4-7,4
Anteil Ackerfläche an LF ^{*)} (%)	89,9	61,0	52,3	9,2
Anteil Grünland an LF ^{*)} (%)	10,1	39,0	47,7	90,8

Quelle: Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Landau a. d. Isar, Krumbach (Schwaben), Fürstentfeldbruck, Kaufbeuren, 2009

^{*)} Landwirtschaftlich genutzte Fläche

6.1 Szenarioannahmen

1. Annahmen zu den klimatischen Bedingungen:

Innerhalb der in GLOWA-Danube aufgestellten Klimaszenarien wurde für den allgemeinen Trend von Temperatur und Niederschlag als Basis das Emissionsszenario IPPC-A1B gewählt. Verwendet wurde folgender Klimatrend sowie Klimavariante:

- Klimatrend REMO regional: Temperaturanstieg 5,2°C, Niederschlagsänderung -4,9% im Winter und -31,4% im Sommer.

- Klimavariante Baseline: Kriterium ist die mittlere Jahrestemperatur zwischen 2011 und 2035.

2. Annahmen zur agrarpolitischen Ausrichtung und Preisen

Das gesellschaftliche Performance-Szenario sieht eine Abschaffung der EU Prämienzahlungen vor. Bezüglich der Preisentwicklung wurde für dieses gesellschaftliche Szenario angenommen, dass konstant der durchschnittliche Preis aus den Anfangsjahren des Referenzzeitraumes erzielt wird. Für das gesellschaftliche Szenario Baseline wurde ein Lauf mit den Preisprojektionen der FAO (OECD/FAO 2009) bis zum Jahr 2025 durchgeführt. Verglichen werden die Szenarioergebnisse mit dem Referenzszenario. Tabelle 8 zeigt die Prämienzahlungen der ersten Säule für ausgewählte Kulturaggregate, wobei die Prämienzahlungen in 2013 den Zahlungen der Endstufe der CAP-Reform von 2003 entsprechen. Im Gesellschaftsszenario Performance wird die Abschaffung der Prämienzahlungen im Farming Modell erst im Modelljahr 2015 umgesetzt, um dem Modell genügend „Einlaufzeit“ zu gewähren.

Tab. 8: Prämienzahlungen aus der ersten Säule der EU-Agrarpolitik in Bayern

Kulturaggregate	Ø Prämie 1996-2005 Euro/ha	Ø Prämie 2013 Euro/ha
Dauerkulturen	30	340
Hackfrüchte (Mais, Zuckerrüben, Kartoffeln)	189	340
Ackerfutter (Silomais, Klee gras)	228	340
Wintergetreide (Winterweizen, Wintergerste, Roggen)	322	340
Sommergetreide (Sommergerste, Sommerweizen, Hafer)	322	340
Sonstiges (Leguminosen, Raps, Stilllegung)	426	377
Grünland	9	340

Die OECD/FAO veröffentlicht jährlich eine Prognose über die weltweiten Preisentwicklungen der wichtigsten Anbaukulturen. Die prognostizierten Preise werden mit zwei komplexen Marktgleichgewichtsmodellen weltweit und zum Teil für verschiedene Kontinente berechnet. Diese Preisprognosen wurden näherungsweise auf die Verhältnisse im Donaueinzugsgebiet umgerechnet und angepasst. Die Berechnungen zeigen bei pflanzlichen Produkten einen allgemeinen Anstieg der Preise um 2% im Vergleich zum Preis im Ausgangsjahr 1995. Zwischen den Kulturen gibt es Unterschiede in der Preisentwicklung (Tab. 9). Der Rapspreis steigt in der Prognose bis 2018 auf ein Niveau das 60%-Punkte über dem Preis von 1995 liegt. Für Körnermais und Sommergerste hingegen sinkt das Preisniveau um 20%-Punkte. Bei den tierischen Erzeugnissen zeigt sich außer bei Milch und Schweinefleisch ein negativer Trend.

Tab. 9: FAO-Preisentwicklung im Verhältnis zur Referenz in %

	1995	2008	2010	2012	2014	2016	2018
Kultur							
Winterweizen	100	102	94	104	105	107	107
Leguminosen	100	100	100	101	101	102	102
Kartoffeln	100	100	100	101	101	102	102
Wintergerste	100	112	85	88	87	87	87
Zuckerrüben	100	74	82	85	81	81	82
Körnermais	100	103	78	81	80	80	80
Sommergerste	100	103	78	81	80	80	80
Hafer	100	110	83	86	85	85	85
Raps	100	159	140	156	151	159	161
Sonderkulturen	100	100	100	101	101	102	102
Roggen	100	120	91	94	93	93	93
Sommerweizen	100	102	94	104	105	107	107
Tierart/Produkt							
Milch	100	140	107	110	112	111	111
Geflügel	100	100	99	99	98	98	97
Mastbullen	100	95	74	81	80	81	82
Kälber	100	111	87	95	93	95	96
Altkuh	100	89	70	76	75	76	77
Mastschwein	100	123	98	112	115	111	112

Quelle: OECD/FAO (2009) und eigene Berechnungen

3. Annahmen zum Bewirtschaftungsmanagement

Für die Durchführung der Aussaat, die für jede Kultur an einem bestimmten festgelegten Tag im Jahr beginnen kann, muss die Bodentemperatur $> 3^{\circ}\text{C}$ und die Befahrbarkeit des Bodens gewährleistet sein.

Für die Durchführung der Düngung muss jede Kultur ein bestimmtes Entwicklungsstadium erreicht haben. Zudem darf der morgendliche Niederschlag (von 4:00-8:00 Uhr) nicht größer als 4mm sein, der Boden muss befahrbar sein und darf nicht gefroren sein. Nach LfL (2007) darf eine Ausbringung von Düngemitteln nicht erfolgen, wenn der Boden wassergesättigt, gefroren oder durchgängig mit mehr als 5 cm Schnee bedeckt ist.

Die Ernte kann durchgeführt werden sobald die Kultur das hierfür erforderliche Entwicklungsstadium erreicht hat, der morgendliche Niederschlag nicht größer als 4 mm ist und der Boden befahrbar ist.

6.2 Änderung des Einkommens

Bis auf Dingolfing führt das Performance Szenario unter der Annahme konstanter Preise in allen anderen untersuchten Landkreisen zu einer geringfügigen Verschlechterung der Einkommenssituation im Mittel des Zeitraumes 2012-2021 (siehe Tab. 10). Die Einkommensverluste in Günzburg, Landsberg und im Ostallgäu im Zeitraum 2012-2021 sind wesentlich auf den Wegfall der Prämienzahlungen (außer Ausgleichszahlung für benachteiligte Gebie-

te) ab dem Modelljahr 2015 zurückzuführen. In Dingolfing wirken sich die im Gegensatz zu den anderen drei Landkreisen bereits deutlich höheren Ertragsanstiege insbesondere bei Hackfrüchten und Wintergetreide positiv auf das Einkommen aus (Tab. 12). Während die Einkommen im zweiten Szenariozeitraum in Günzburg, Landsberg und im Ostallgäu in Folge der im Mittel noch geringeren Prämienzahlungen, die nicht durch die Ertragsanstiege ausgeglichen werden können, weiter sinken, führen die erheblichen Ertragsanstiege in Dingolfing zu einem weiteren Einkommensanstieg. Aus den Ergebnissen kann man schließen, dass Einkommensverbesserungen bei einer Liberalisierung auf die klimatisch bedingten Ertragssteigerungen bei den Ackerfrüchten zurückzuführen sind und daher in Landkreisen mit einem großen Anteil an Ackerflächen (Dingolfing) eher anzutreffen sind, als in Landkreisen mit einem hohen Grünlandanteil (Ostallgäu).

Im Szenario REMO-Baseline-Baseline FAO, das eine Fortführung der Prämienzahlungen der Endstufe der CAP 2003 und die Preisprojektionen der FAO beinhalten, steigen die Deckungsbeiträge in allen Landkreisen an. Der höchste Anstieg ist im Ostallgäu zu finden. Dies ist insbesondere darauf zurück zu führen, dass die Grünlandprämien gegenüber dem Referenzzeitraum deutlich ansteigen (siehe Tab. 8). Der Anteil der Prämien am Deckungsbeitrag wird dadurch im Ostallgäu gegenüber dem Referenzzeitraum etwas mehr als verdoppelt (Tab. 11).

Tab. 10: Entwicklung der Deckungsbeiträge in den 4 ausgewählten Landkreisen für die Szenarien REMO-Baseline-Performance und REMO-Baseline-Baseline FAO

Deckungsbeitragsänderung	Dingolfing	Günzburg	Landsberg	Ostallgäu
REMO-Baseline-Performance:				
2012-2021 zur Referenz	12,5%	-6,6%	-3,5%	4,2%
2049-2058 zur Referenz	34,9%	-9,9%	-10,5%	-5,5%
REMO-Baseline-Baseline-FAO:				
2012-2021 zur Referenz	26,9%	17,9%	22,7%	30,8%

Tab. 11: Anteil der Prämien am Deckungsbeitrag

	Referenz	REMO-Baseline-Performance		REMO-Baseline-Baseline FAO
	Ø 1996-2005	Ø 2012-2021	Ø 2049-2058	Ø 2012-2021
Anteil der Prämien am Deckungsbeitrag in %				
Dingolfing	24,0	8,3	0	19,1
Günzburg	24,5	14,0	1,8	26,1
Landsberg	23,2	15,0	1,5	28,4
Ostallgäu	11,9	13,8	2,8	24,5

Tab. 12: Simulierte Ertragsänderung ausgewählter Kulturen vom Modell Biological in den 4 untersuchten Landkreisen im Szenario REMO-Baseline-Performance über 7 Tage mit einem „Berechnungstag“ an Tag 5 (Schwellenwert = 30)

	Dingolfing		Günzburg		Landsberg		Ostallgäu	
	2012-21	2049-58	2012-21	2049-58	2012-21	2049-58	2012-21	2049-58
	Änderung des Ertrags gegenüber Referenzzeitraum in %							
Silomais	13,2	13,4	1,9	-4,2	-1,6	-6,0	-4,0	-0,3
Körnermais	-7,9	-3,4	1,0	-7,6	-1,7	-10,7	28,1	46,7
Raps	21,4	55,3	9,1	28,1	7,8	11,6	7,3	25,6
Kartoffel	37,3	81,9	18,4	52,8	6,8	63,4	4,2	84,2
Zuckerrübe	37,3	69,6	5,3	39,2	11,3	46,9	18,9	55,5
Sommergerste	13,1	69,4	-1,2	31,6	-20,4	25,0	-9,4	24,9
Sommerweizen	32,0	62,4	10,0	26,8	-10,7	26,9	-3,5	32,9
Wintergerste	22,0	105,7	7,0	52,3	2,0	46,1	5,6	37,8
Winterweizen	30,3	118,0	11,7	56,8	5,4	51,4	12,9	68,9

6.3 Landnutzungsänderungen

In Bezug auf die Landnutzung nimmt im Szenario REMO-Baseline-Performance für den Zeitraum 2049-2058 gegenüber der Referenzsituation in allen Landkreisen der Anbau von Wintergetreide zu (Abb. 1). Die stärkste Zunahme zeigt sich in Dingolfing, das die höchsten Ertragszuwächse bei Getreide aufweist. Der Anbau von Hackfrüchten nimmt hingegen nur in den bisher kühleren und feuchteren Landkreisen zu, während er in Dingolfing sowie auch in Günzburg annähernd gleich bleibt. In der Kategorie „Sonstiges“, in der der Anbau von Leguminosen und Raps sowie die Stilllegung zusammengefasst sind, zeigt sich in Dingolfing, Günzburg und Landsberg ein Rückgang der Anbaufläche. Dies ist insbesondere auf den Rückgang der Stilllegung, aber auch des Rapsanbaus, der im Vergleich zu anderen Kulturen einen geringeren Ertragsanstieg aufweist, zurückzuführen.

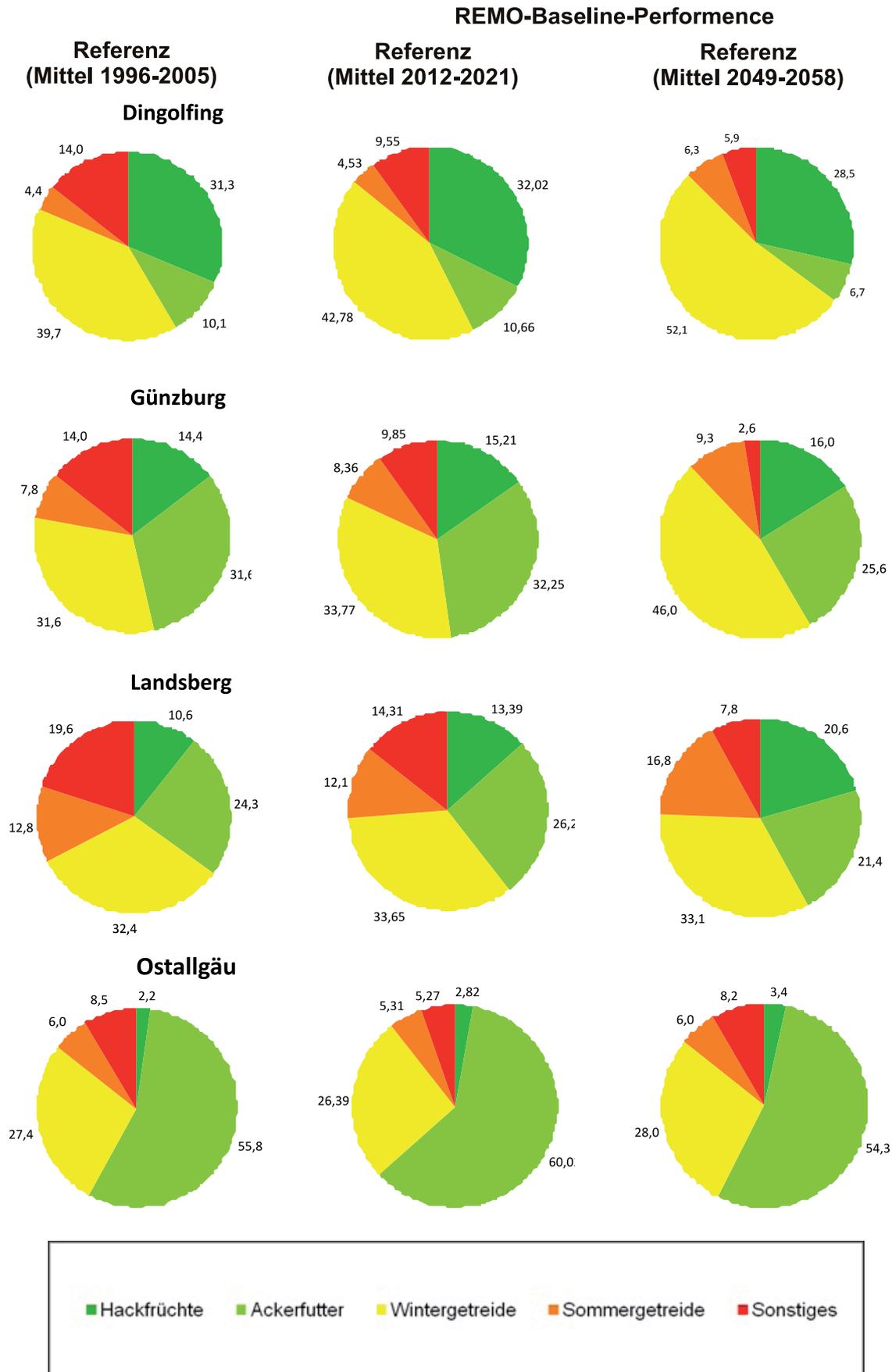
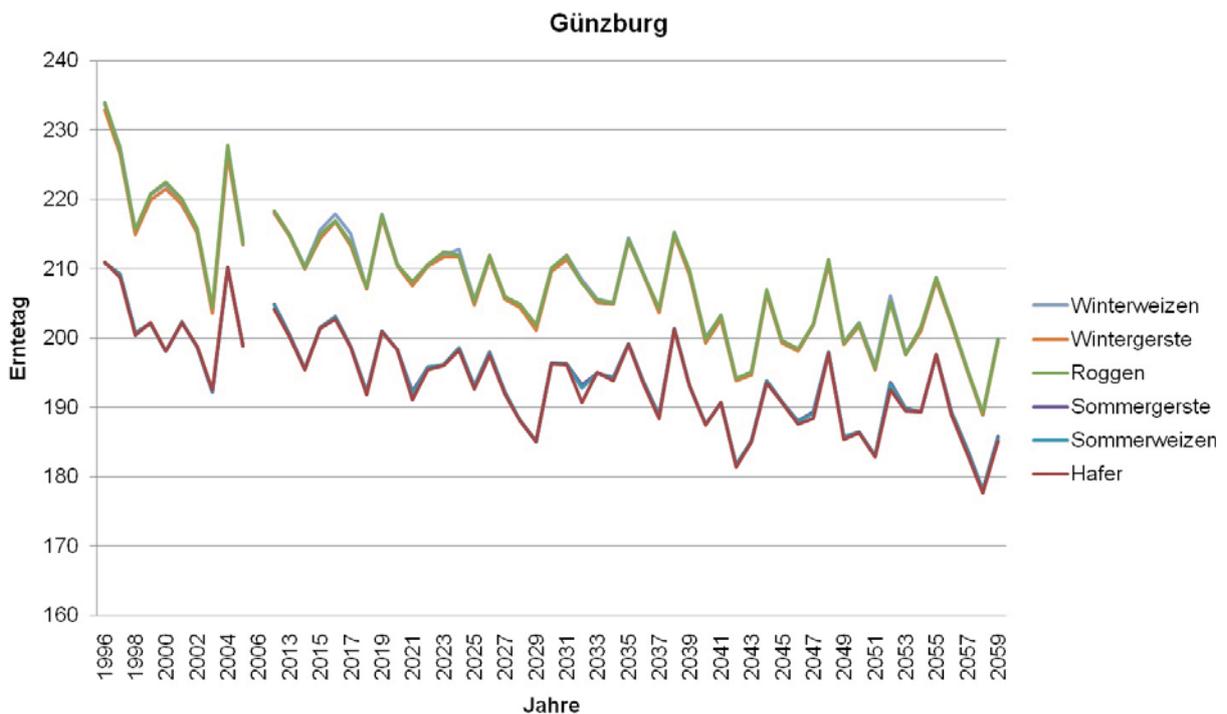
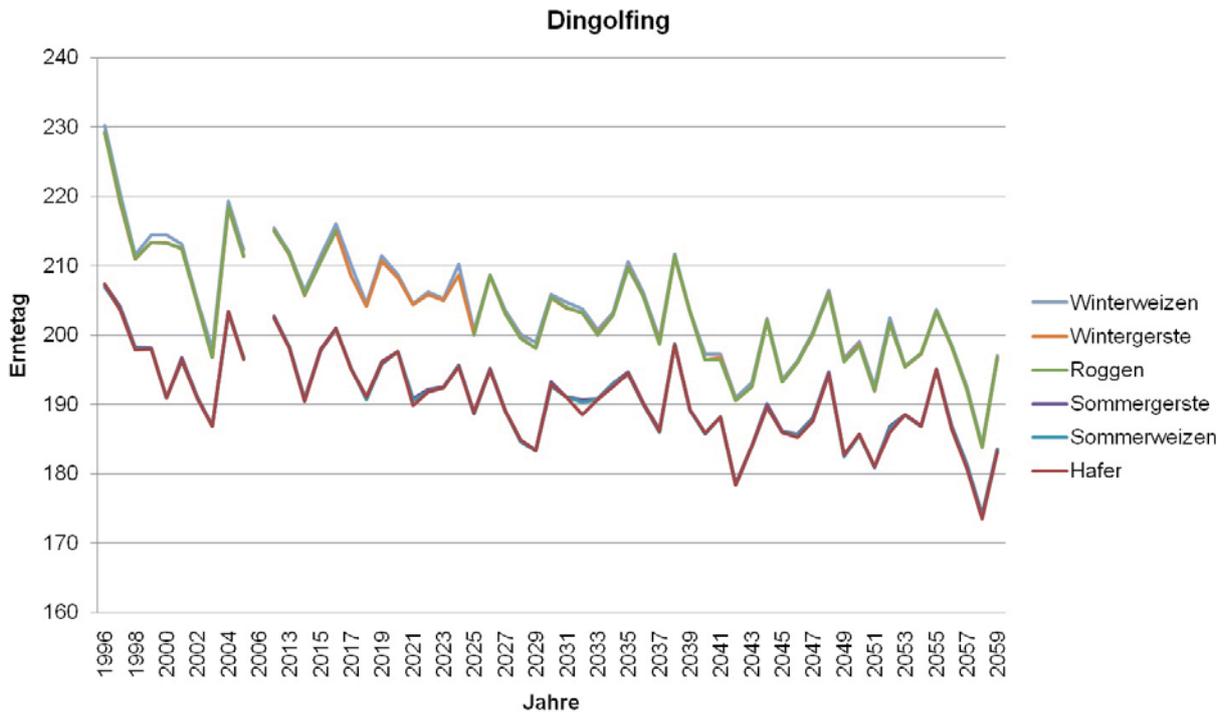


Abb. 1: Kulturartenverhältnis in den 4 ausgewählten Landkreisen im Referenzszenario und im Szenario REMO-Baseline-Performance in %

6.4 Klimatisch bedingte Änderungen der Feldarbeitszeitpannen bei Ernte und Düngung

Bei den Ernteterminen von Getreide zeigt sich in allen vier ausgewählten Landkreisen im betrachteten Zeitraum eine deutliche Verschiebung nach vorn im Jahr, da die Pflanzen die Erntereife früher erreichen (Abbildung 2). Außerdem rückt die Ernte von Sommer- und Wintergetreide näher zusammen.



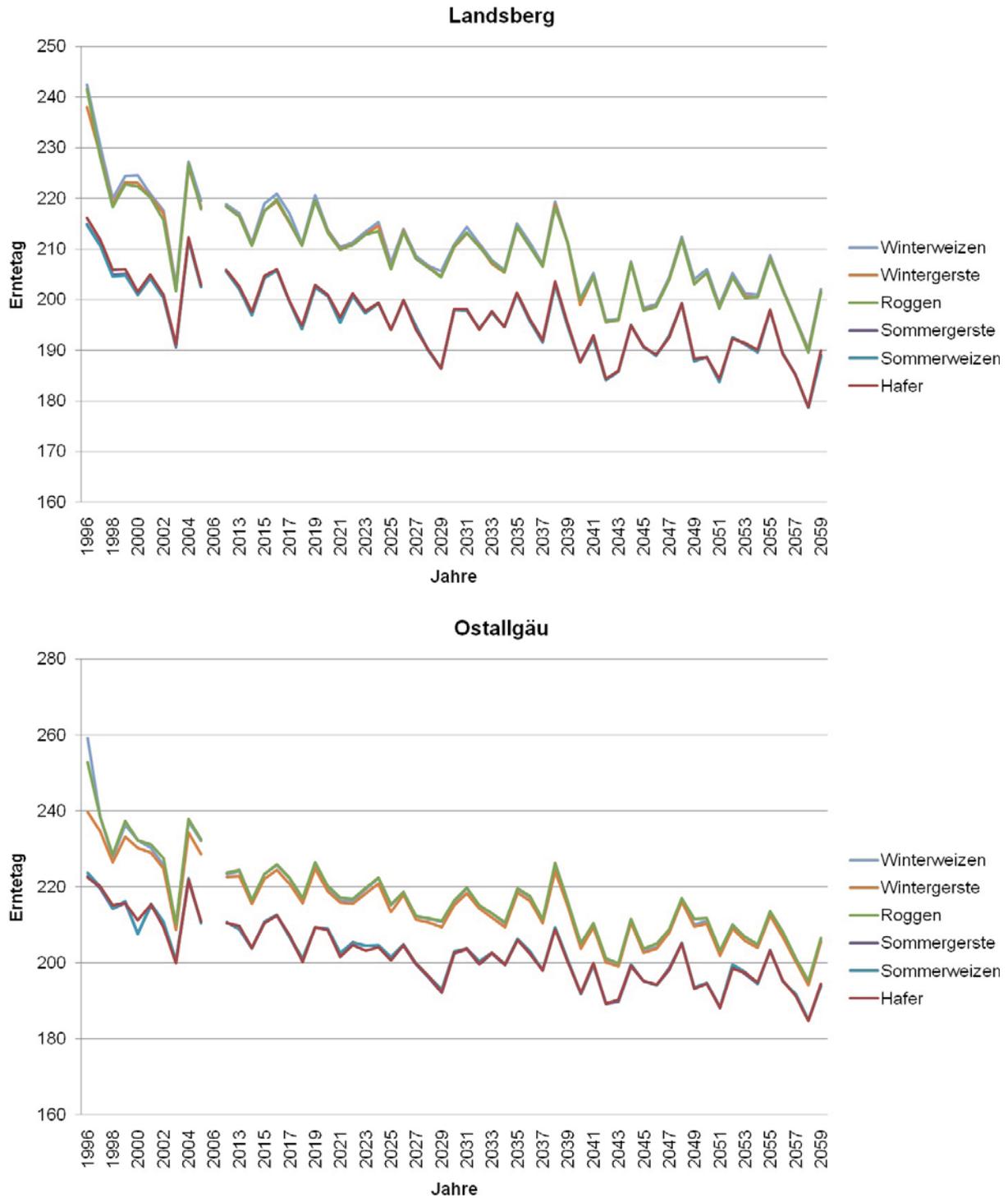


Abb. 2: Mittlere Erntetermine für Getreide in den vier ausgewählten Landkreisen

Die Anzahl der Regentage ± 10 Tage um den Erntetermin nimmt im Zeitverlauf ab (Abb. 3). Zugleich nimmt die Abweichung vom beobachteten Trend der Erntetermine mit der Zeit zu. Dadurch nimmt die Planungssicherheit der Landwirte ab.

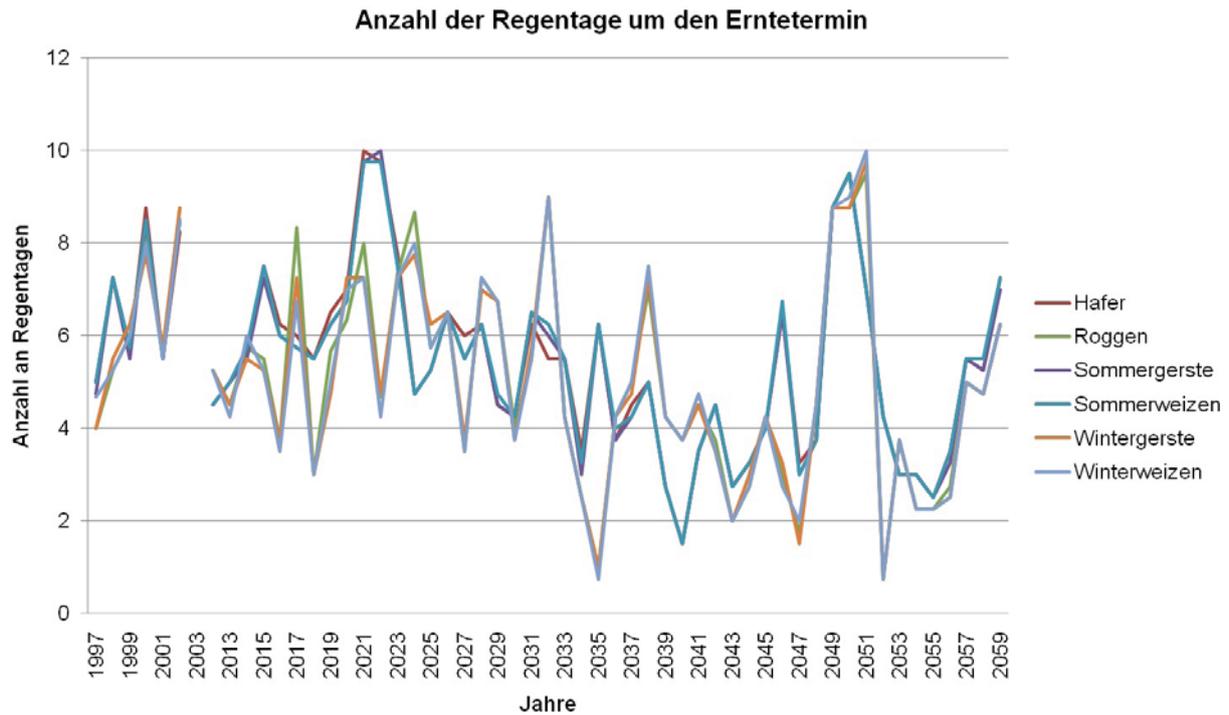
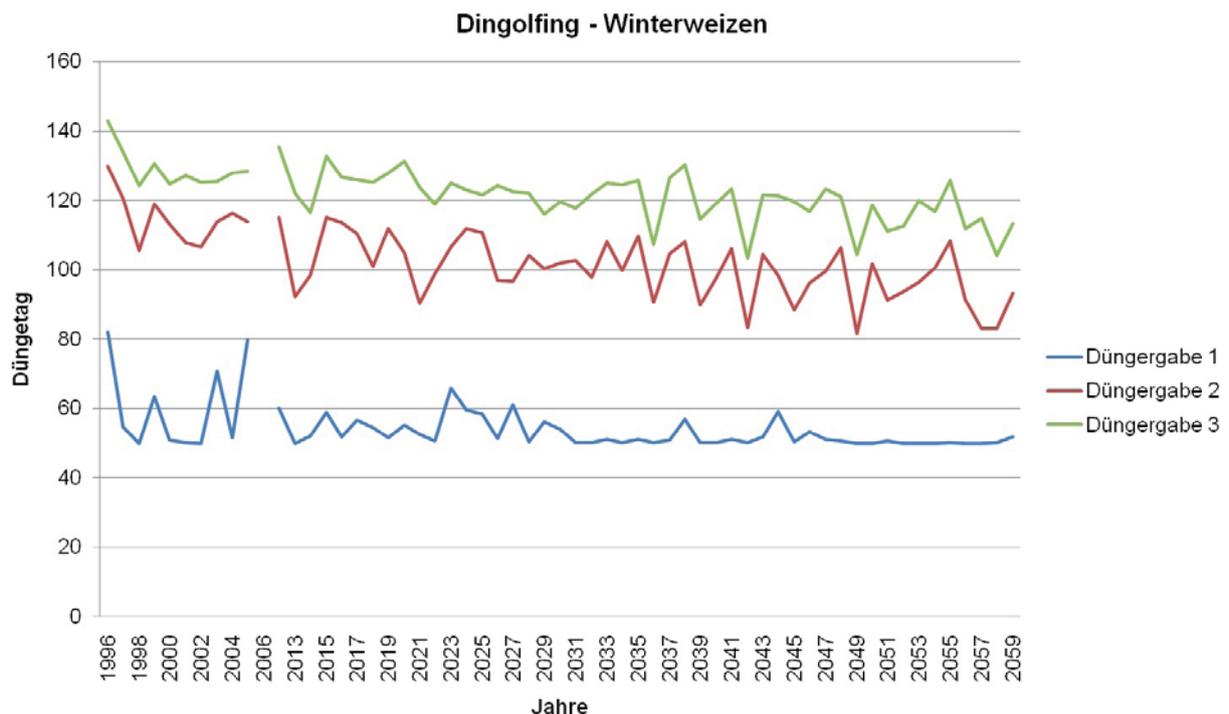
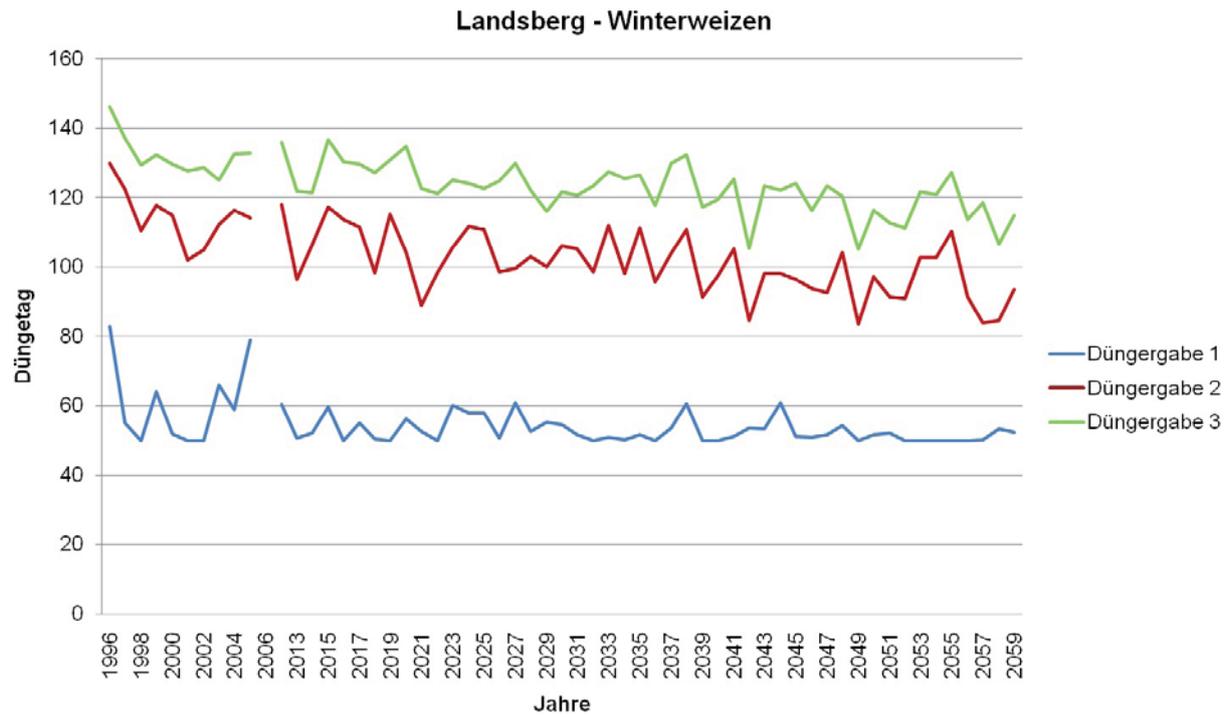
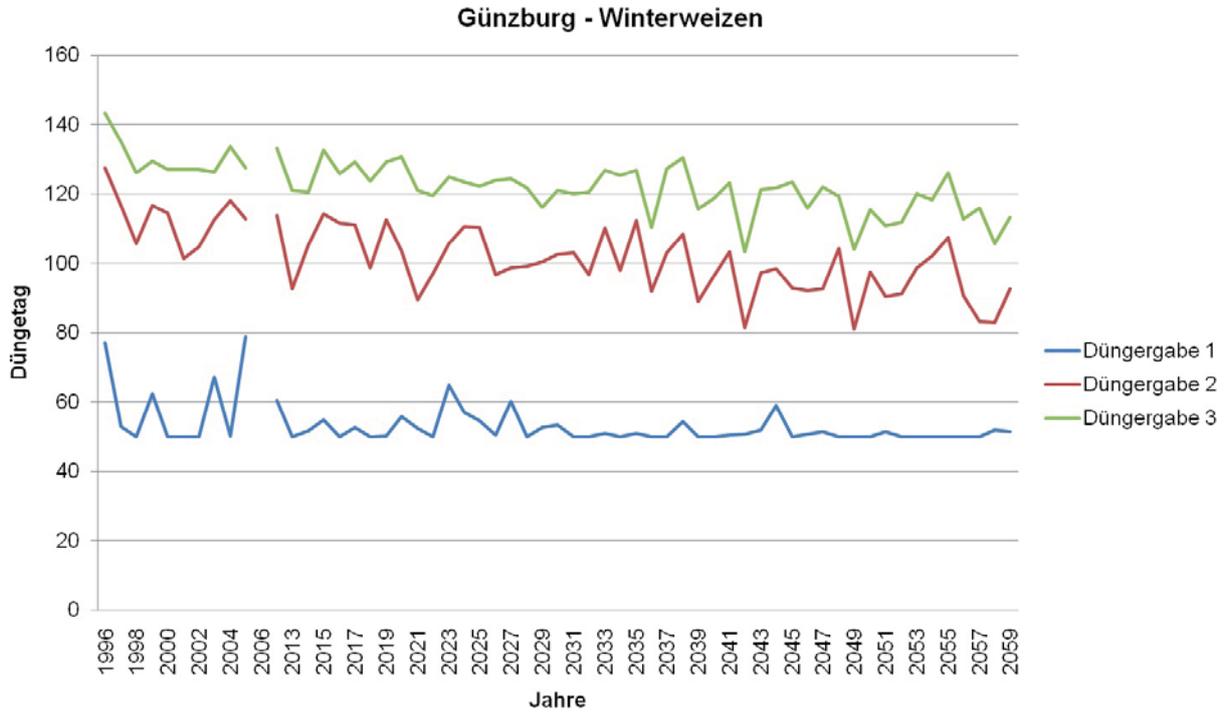


Abb. 3: Anzahl der Regentage (± 10 Tage um den mittleren Erntetermin) im Mittel über die vier ausgewählten Landkreise

Die Zeitpunkte der N-Düngergaben, hier dargestellt am Beispiel von Winterweizen (Abbildung 4), hängen zum einen davon ab, dass die Pflanzen ein bestimmtes Entwicklungsstadium erreicht haben. Zum Anderen muss die Fläche befahrbar sein und der Boden darf nicht gefroren sein.

Die etwas spätere erste Düngergabe in manchen Jahren ist darauf zurück zuführen, dass der Boden in diesen Jahren länger gefroren ist. Generell zeigt sich bei der zweiten und dritten Gabe, dass sich die Zeitpunkte, wie auch die Ernte, im Zeitablauf nach vorne im Jahr verschieben, da das Pflanzenwachstum beschleunigt ist.





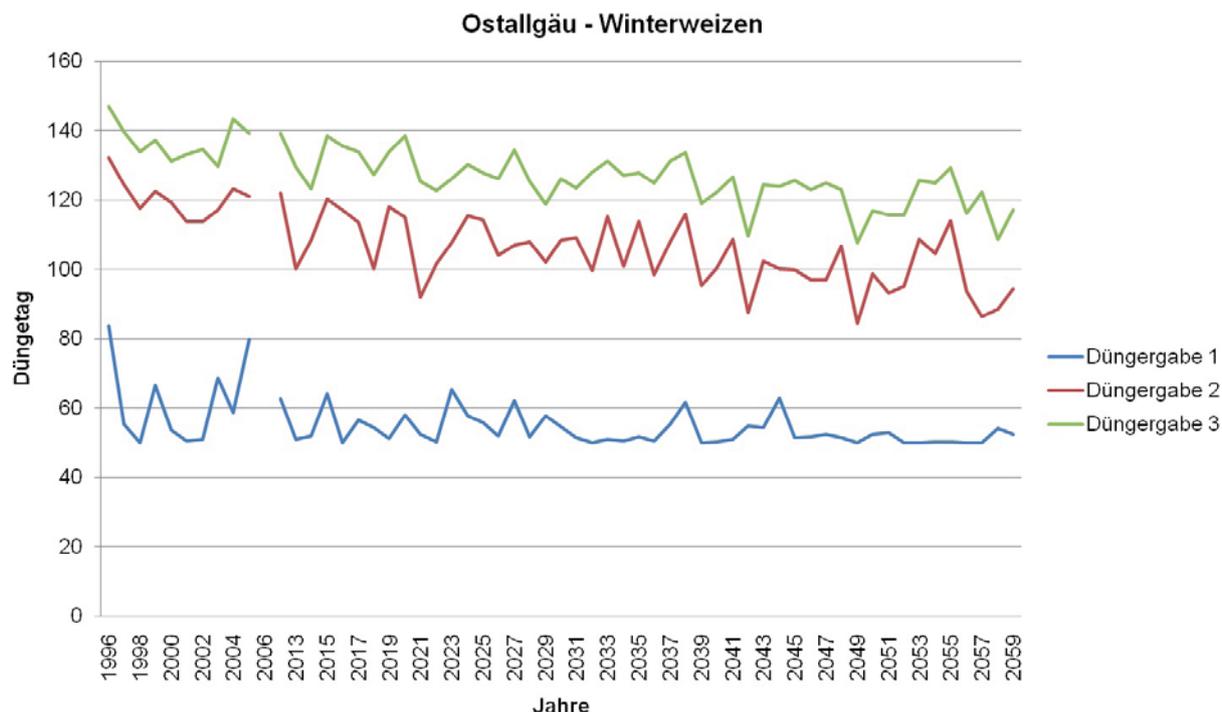


Abb. 4: Mittlere Düngezeitpunkte bei Winterweizen in den vier ausgewählten Landkreisen

7. Literatur

AMT FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN LANDAU A.D. ISAR (2009): Daten und Fakten, Unser Dienstgebiet, Natürliche Standortverhältnisse. http://www.aelf-ln.bayern.de/daten_fakten (Stand: 22.06.2009).

AMT FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN KRUMBACH (Schwaben) (2009): Daten und Fakten, Unser Dienstgebiet, Natürliche Standortverhältnisse. http://www.aelf-kr.bayern.de/daten_fakten/22480/index.php (Stand: 22.06.2009).

AMT FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN FÜRSTENFELDBRUCK (2009): Daten und Fakten, Unser Dienstgebiet, Natürliche Standortverhältnisse. http://www.aelf-ff.bayern.de/daten_fakten/20323/index.php (Stand: 22.06.2009).

AMT FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN KAUFBEUREN (2009): Daten und Fakten, Unser Dienstgebiet, Natürliche Standortverhältnisse. http://www.aelf-kf.bayern.de/daten_fakten/15600/index.php (Stand: 22.06.2009).

BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LfL) (2007): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland, Freising.

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVERARBEITUNG (2007): Agrarstrukturerhebung, Betriebstypen, betriebswirtschaftliche Ausrichtung, Anzahl der landwirtschaftlichen Betriebe (Stand: 19.06.2009).

KTBL (1995): Taschenbuch Landwirtschaft 1995/96, Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag.

KTBL (2004): Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/2005, Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag.

LEL SCHWÄBISCH GMÜND (2006): LEL-Kalkulator Nährstoffvergleich Feld-Stall-Vergleich 2006 Version 1.0 (Stand 28.02.2007).

- OECD/FAO, (2009): OECD-FAO Agricultural Outlook 2009-2018, OECDpublishing.
- PASCHOLD, P.-J., KLEBER, J. und MAYER, N. (2007): Geisenheimer Bewässerungssteuerung, Geisenheim, http://www.campus-geisenheim.de/uploads/media/Geisenheimer_Steuerung.pdf (Stand 31.03.2010).
- PASCHOLD, P.-J., KLEBER, J. und MAYER, N. (2009): Geisenheimer Bewässerungssteuerung, Geisenheim, http://www.campus-geisenheim.de/uploads/media/kc_Werte_01.pdf (Stand 31.03.2010).

Modellierung typischer Wassernutzer im Einzugsgebiet der Donau

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

Einleitung

Dieser Bericht umfasst die innerhalb des GLOWA-Danube-Verbundprojektes vom Teilprojekt Umweltpsychologie durchgeführten Arbeiten im Zeitraum vom 01.05. 2009 bis 30.03. 2010.

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

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

Die Kasseler Arbeitsgruppe bestand zum Berichtszeitraum aus einer Psychologin sowie einem Kognitionswissenschaftler.

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

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

1. Zusammenfassung der Arbeiten im Berichtszeitraum

Arbeitsschwerpunkte im Berichtszeitraum waren die verfeinerte Ausarbeitung der Modellkomponenten von inhaltlicher und technischer Seite sowie die Darstellung der Ergebnisse bei und deren Diskussion mit den *Stakeholdern*. Inhaltlich gehörte vor allem die Weiterentwicklung der gesellschaftlichen Szenarien durch den Einbau von sog. Maßnahmen dazu. Technische Verbesserungen am Modell betrafen weiterhin die Ergebnisabfragen. Außerdem fanden weiterhin die Durchführung und Auswertung von größtenteils lokalen Modellläufen statt, um die Modellvalidierung sowohl innerhalb der einzelnen Komponenten, als auch als Ganzes zu sichern.

2. Organisation

2.1 Personal

2.1.1 Wissenschaftler

Michael Elbers (M. Sc. in Cognitive Science) und Silke Kuhn (Dipl.-Psych.) waren während des gesamten Berichtszeitraums (Mai 2009-April 2010) im Projekt angestellt. Dipl.-Psych. Roman Seidl verließ das Projekt nach seiner Promotion zum Juli 2009, um eine Post-Doc-Stelle an der ETH Zürich anzutreten.

2.1.2 Hilfskräfte

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

2.2 Anschaffungen

Im Berichtszeitraum wurden keine Anschaffungen getätigt.

2.3 Veranstaltungen

2.3.1 Interne Projekttreffen

Während des Berichtszeitraums nahmen alle Mitglieder des umweltpsychologischen Teilprojekts:

- 10.06.2009 Actor-Treffen in Stuttgart (Elbers)
- 24.07.2009 Das Teilprojekt war bei den Projektleitertreffen (Elbers)
- 12.-14.10.2009 Nationalen GLOWA Konferenz in Potsdam (Elbers, Ernst, Klemm, Kuhn)
- 08.-09.03.2010 Actor-Treffen in Stuttgart (Ernst)

2.3.2 Gast- und Kolloquiumsvorträge

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

- 01.2009 Using psychological theories for agent-based models of public reactions to policies. Workshop on Rich Cognitive Models for Policy Design and Simulation, Leiden, The Netherlands (A. Ernst).
- 05.2009 Ergebnisse des Haushalts-Modells in GLOWA-Danube. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Hof (A. Ernst).
- 05.2009 Verantwortung übernehmen für den Wandel. Eröffnungsvortrag auf der Tagung „Zukunft gestalten, Verantwortung übernehmen“, Zentrum für Umweltkommunikation der Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück (A. Ernst).
- 09.2009 A multi-agent social simulation of household's psychological response to water related climate risks. 8th Biennial Conference on Environmental Psychology, Zurich, September 8th, 2009 (R. Seidl, R., A. Ernst).

- 09.2009 Sustainability indicators and scenarios: simulating the publics' psychological response to climate related risks. 6th European Social Simulation Association Conference, Guildford, UK (R. Seidl, R., A. Ernst, D. Klemm).
- 10.2009 Die Haushalte in GLOWA-Danube. Wassergebrauch, Innovationsausbreitung, Risikowahrnehmung und Maßnahmen. Nationale GLOWA-Konferenz, 12.-14. Oktober 2009, Potsdam (A. Ernst, S. Kuhn, M. Elbers, D. Klemm, R. Barthel, N. Schwarz, N. und R. Seidl)
- 10.2009 Szenarien und ihr Einsatz als Entscheidungsunterstützung in GLOWA-Danube. Neue Entwicklungen und Ergebnisse. CESR-Werkstattkolloquium, Universität Kassel (S. Kuhn, M. Elbers, D. Klemm und A. Ernst).
- 11.2009 Getting Closer to the Future: Decision Support by Social Simulation Scenarios. Symposium „Collaborative Approaches to Natural Resource Management“ Melbourne Business School, November 25, 2009 (A. Ernst).
- 12.2009 Interdisziplinäre Modellbildung. Workshop Perspektiven integrierter Modellierung, Karlsruhe Institute of Technology, 12. Dezember 2009 (A. Ernst).

2.3.3 Veröffentlichungen

ERNST, A. (2009). Interaktion, Dynamik, Raum - Komplexe agentenbasierte Modelle in der Umweltpsychologie. *Umweltpsychologie*, 13, 1, S. 84-98.

SCHWARZ, N. und ERNST, A. (2009). Agent-based modelling of the diffusion of environmental innovations - An empirical approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 76, 4, S. 497-511.

SEIDL, R., ERNST, A. und KLEM, D. (2009) Sustainability indicators and scenarios: simulating the publics' psychological response to climate related risks. Accepted Paper: 6th European Social Simulation Association Conference, Guildford, UK.

2.3.3.1 Beiträge Global Change Atlas - Einzugsgebiet Obere Donau

SEIDL, R., KUHN, S., ELBERS, M., ERNST, A. und KLEMM, D. (2009). Teilprojekt Umweltpsychologie - Modellierung von Risikowahrnehmung und Leitwerten der psycho-sozialen Nachhaltigkeit in privaten Haushalten (Das Risikowahrnehmungsmodul in *DeepHousehold*).

KUHN, S., SEIDL, R., ELBERS, M., ERNST, A. und KLEMM, D. (2009). Teilprojekt Umweltpsychologie - Auswirkungen der Gesellschaftsszenarien Allgemeinwohl und Performance auf den Trinkwasserverbrauch der privaten Haushalte.

KUHN, S., ELBERS, M., KLEMM, D. und ERNST, A. (2010). Teilprojekt Umweltpsychologie - Die Wirkung von Maßnahmen auf den Trinkwasserverbrauch der privaten Haushalte.

2.3.3.2 Poster

- ELBERS, M., KUHN, S., BARTHEL, R., KLEMM, D. und ERNST, A. (10.2009): Wasserversorgung und Wassernutzung durch private Haushalte. Ergebnisse der Modelle *WaterSupply* und *Household*. Nationale GLOWA-Konferenz, 12.-14. Oktober 2009, Potsdam.

- JANISCH, S., KUHN, S., BARTHEL, R., HENNICKER, R., MAUSER, W. und ERNST, A. (10.2009): *DeepActor - Framework* und Modelle in DANUBIA. Nationale GLOWA-Konferenz, 12.-14. Oktober 2009, Potsdam.
- KUHN, S., BARTHEL, R., ELBERS, M. und ERNST, A. (10.2009): Wasserversorgung und Wassernutzung durch private Haushalte. Die Modelle *WaterSupply* und *Household*. Nationale GLOWA-Konferenz, 12.-14. Oktober 2009, Potsdam.
- KUHN, S., ERNST, A., BARTHEL, R., DABBERT, S., KRIMLY, T., SCHMUDE, J., SOBOLL, A., WACKERBAUER, J. und ZIMMER, M. (10.2009): Gesellschaftsszenarien und ihre Umsetzung in den Modellen. Nationale GLOWA-Konferenz, 12.-14. Oktober 2009, Potsdam.
- KUHN, S., MUERTH, M., ERNST, A., MAUSER, W. und HENNICKER, R. (10.2009): GLOWA-Danube-Szenarien. Nationale GLOWA-Konferenz, 12.-14. Oktober 2009, Potsdam.
- MAUSER, W. und ERNST, A. (10.2009): GLOWA-Danube Zielsetzung und methodischer Ansatz. Nationale GLOWA-Konferenz, 12.-14. Oktober 2009, Potsdam.

3. Ergebnisse

3.1 Formulierte Ziele der 3. Förderphase

Der Antrag der dritten Förderphase nennt fünf Ziele.

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

Die Weiterentwicklung psychologisch-sozialer Indikatoren (Ziel 1) wurde im Berichtszeitraum durch eine Überprüfung des Risikomoduls weitestgehend abgeschlossen und die Ergebnisse auf der Nationalen GLOWA-Konferenz in Potsdam im Rahmen eines Vortrags vorgestellt (Kap. 2.3.2).

Bei der Szenarienbildung und Analyse (Ziel 2) fand eine weitere Ausarbeitung hinsichtlich der Szenariomatrix statt, die im Kapitel 3.2.1 beschrieben wird. Im Kapitel 4.1 werden die Ergebnisse beschrieben. Außerdem oblag dem Teilprojekt weiterhin die Leitung der Gruppe Gesellschaftsszenarien.

Die weiterführende Validierung und Qualitätssicherung des Teilmodells und seiner Interaktionen in DANUBIA (Ziel 3) fanden durchgehend durch zahlreiche, vorwiegend lokale Testläufe sowie durch Verbesserungen zur Qualitätssicherung (Kap. 3.2.3) statt.

Ziel 4 wurde durch eine fortgesetzte Mitarbeit am GLOWA-Danube *Stakeholder*-Prozess und weiteren Verfeinerungen bei der Ergebnisdarstellung realisiert.

Bei Ziel 5 ist die intensive Mitarbeit an der Nationalen GLOWA-Konferenz (Potsdam) sowie die Vorbereitungen zur *OpenSource*-Version zu nennen. Dies geschah durch den Einbau von leicht bedienbaren Skripten z.B. zur graphischen Auswertung sowie einer ausführlichen Dokumentation (Kap. 3.2.3 und 3.2.5). Darüber hinaus ist das Projekt (GLOWA-Danube Gesamtprojekt sowie das Teilprojekt Umweltpsychologie) in Form von Fachartikel und Konferenzbeiträgen vorgestellt worden.

3.2 Inhaltliche und technische Neuerungen in *DeepHousehold*

3.2.1 Maßnahmen in DHH

Eine große inhaltliche Neuerung betraf die Weiterentwicklung der Gesellschaftsszenarien durch den Einbau von sogenannten Maßnahmen. Eine Maßnahme ist definiert als ein gezielter, punktueller Eingriff, um einer Entwicklung im ausgewählten Szenario entgegenzuwirken oder sie zu unterstützen. Insofern spannt der Maßnahmenkatalog den Raum der von außen gesetzten Handlungsoptionen auf.

Dabei ist eine Maßnahme im Gegensatz zu den anderen Auswahlmöglichkeiten eines GLOWA-Danube-Szenarios kein zwingender Szenariobestandteil, sondern sie stellt eine mögliche Spezifizierung eines Szenarios dar.

Als erste Maßnahmen wurden solche ausgewählt, die einen weitreichenden und langfristigen Effekt zeigen, um die Wirkungsweise der Maßnahmen gut und einfach nachvollziehen zu können. Im Trinkwasserbereich ist ein langfristiger und deutlicher Rückgang des Verbrauchs in erster Linie durch eine Technologieänderung, also die Ausbreitung von Sparttechnologien, erlangbar.

Die Konzeption der Maßnahmen in nutzt das vorhandene Innovationsmodell zur Ausbreitung von wassersparenden Innovationen (eine ausführliche Beschreibung des Innovationsmodell findet sich in den Jahresberichten 2007 und 2008), führt dieses aber weiter: Haushalte, die über ein älteres, aber noch intaktes Gerät verfügen, denken – angeregt durch die Maßnahme - über die Anschaffung eines neuen Gerätes mit niedrigerem Wasserverbrauch nach. Im Modell ist dies durch eine höhere Evaluationsrate verwirklicht.

Als grundlegende Maßnahmen, um den Kauf von wassersparenden Innovationen zu fördern, wurden die Informationskampagne und Subventionierung (Finanzspritze) als zwei bekannte und bewährte Methoden gewählt. Neben der Art der Maßnahme (Finanzspritze, Information), kann die Art der Innovation, die gefördert werden soll (Duschkopf, Toiletten-spülung), bestimmt werden. Darüber hinaus können Start- und Endpunkte und damit die Dauer der Maßnahme (frei wählbar) sowie deren Intensität (niedrig, mittel, hoch) gewählt werden. Die Intensität bestimmt, wie viel Prozent der Haushalte die Kampagne wahrnehmen. Abbildung 1 zeigt die vom Teilprojekt fortgeführte Szenariomatrix bezüglich der DHH-Maßnahmen und ihrer Spezifikationen.



Abb. 1: Teilprojektspezifische Fortführung der Szenariomatrix - DHH-Maßnahmen und ihre Spezifikationen

Um den *Stakeholdern* ein Instrumentarium zu liefern, mit dem sie systematisch Wenn-Dann-Situationen abtesten können, sind die Maßnahmen und ihre Spezifikationen frei miteinander kombinierbar. D.h. es ist möglich, eine Informationskampagne (Art der Maßnahme) zu starten, die sowohl den Duschkopf, als auch die Toilettenspülung (Art der Innovation) betrifft oder aber den wassersparenden Duschkopf (Art der Innovation) gleichzeitig mit einer Informationskampagne und Finanzspritze (Art der Maßnahme) zu fördern.

Zurzeit und in naher Zukunft werden zahlreiche Simulationsläufe unter verschiedenen Bedingungen stattfinden, von denen neue Ergebnisse und Ergebnisinterpretationen erwartet werden. Nachdem im laufenden Jahr auch einige technische und inhaltliche Eingriffe in das Modell erfolgt sind, stehen erneute retrodiktive Validierungsläufe an.

Die Ergebnisse wurden auf der Nationalen GLOWA-Konferenz in Form eines Vortrags sowie Posters vorgestellt.

3.2.2 Öffentlichkeitsarbeit

Das Teilprojekt nahm aktiv (Poster und Vortrag) an der Nationalen GLOWA-Konferenz teil.

Im Berichtszeitraum entstanden insgesamt drei Atlasbeiträge des Teilprojekts. Der Beitrag mit dem Titel Modellierung von Risikowahrnehmung und Leitwerten der psycho-sozialen Nachhaltigkeit in privaten Haushalten beschreibt das Risikowahrnehmungsmodul, seine Komponenten und Umsetzung in DHH. Die beiden anderen Beiträge beschäftigen sich mit dem Einfluss der Gesellschaftsszenarien (Titel: Auswirkungen der Gesellschaftsszenarien Allgemeinwohl und Performance auf den Trinkwasserverbrauch der privaten Haushalte) sowie dem Einfluss von Maßnahmen als Bestandteil eines Szenarios (Titel: Die Wirkung von Maßnahmen auf den Trinkwasserverbrauch der privaten Haushalte)

Das Teilprojekt Umweltpsychologie hat im Berichtszeitraum die Mitarbeit am *Stakeholder*-Prozess fortgesetzt. Dazu gehörte die Teilnahme (Ernst) am *Stakeholder*-Workshop (09.11.2009) mit entsprechendem Vortrag. Das Teilprojekt beteiligt sich außerdem an der Mitarbeit am LfU Bewirtschaftungsplan Wasser.

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

3.2.3 Qualitätsicherung

Die inzwischen erreichte Komplexität des Modells sowie die Vielzahl an Simulationsläufen und Ergebnisgrößen unter unterschiedlichsten Szenarien erzwingen sowohl eine klare Programmstruktur und ausführliche Dokumentation des Codes als auch eine rasche und weitestgehend automatische Aufbereitung von Ergebnisdaten, um die Qualität der wissenschaftlichen Ergebnisse zu garantieren und die Wiederverwendbarkeit und Weiterentwicklung des Modells sicherzustellen.

Im Berichtszeitraum wurde daher der Programmcode weiter modularisiert sowie zur besseren Lesbarkeit vereinfacht und vereinheitlicht. Darüber hinaus konnte die Automatisierung der Datenaufbereitung, welche im vorangegangenen Berichtszeitraum bereits durch das Aufsetzen einer Ergebnisdatenbank vorbereitet wurde, erfolgreich erweitert und abgeschlossen werden. So ist es nun möglich, Ergebnisdaten zur Laufzeit in die Datenbank zu schreiben. Dies erlaubt eine Bewertung noch während eines Laufes oder aber unmittelbar nach einem Lauf, was insbesondere für die Überprüfung der Korrektheit und „Güte“ von Modelländerungen von entscheidender Bedeutung ist.

Zudem wurden umfangreiche Skripte für die freie Programmiersprache und Statistiksoftware R entwickelt, welche es erlauben die sehr großen Datenmengen in Minutenschnelle aus der Datenbank zu laden, automatisch aufzubereiten und angemessen grafisch darzustellen. Die bereitgestellten Skripte sind modular aufgebaut und ausführlich dokumentiert, so dass sie auch von Anwendern mit geringen R- bzw. Datenbank-Kenntnissen leicht zu bedienen, anzupassen und zu erweitern sind.

Ein weiteres wichtiges Instrument zur Qualitätssicherung ist die systematische Untersuchung des Modellverhaltens mittels Sensitivitätsanalysen. Auch hier erzwingt die Komplexität des Modells und die damit verbundene große Anzahl an Variablen eine weitestmögliche Automatisierung. Es wurde deshalb mit der Entwicklung eines entsprechenden Moduls auf Grundlage bereits im DANUBIA-Framework angelegter Testmethoden begonnen. Die erwähnte Datenbankbindung und automatisierte Ergebnisauswertung kommen auch den Sensitivitätsanalysen zugute.

3.2.4 Performance

Bei Bedarf kann dank der Laufzeitanbindung an die Datenbank das Erzeugen unzähliger Ergebnisdateien auf der Festplatte vermieden und somit die Laufzeit des Modells erneut deutlich verringert werden.

3.2.5 Dokumentation

Mit Blick auf die angestrebte Veröffentlichung (*Open Source*) von DANUBIA im Allgemeinen und dem *DeepHousehold*-Modell im Speziellen, wurde, wie bereits in Kapitel 3.2.3 erwähnt, die technische Dokumentation sowohl des Quellcodes des Modells (javadoc) als auch der Werkzeuge, die zur Ergebnisaufbereitung und -analyse entwickelt wurden, weiter verbessert. Ziel ist hier ein umfassendes HTML-Dokument, welches in zwei Versionen zur Verfügung stehen soll: für Entwickler auf der einen und für Anwender auf der anderen Seite.

4. *DeepHousehold*: Simulationsergebnisse

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

4.1 Maßnahmen

Zunächst werden Ergebnisse der neu eingebauten Maßnahmen in *DeepHousehold* vorgestellt und beschrieben. Es wird die Wirkung der Art der Maßnahme - Informationsmaßnahmen, als auch von Subventionen - auf die Ausbreitung von wassersparenden Innovationen dargestellt. Darüber hinaus wird der Einfluss des sozialen Austauschs über das soziale Netzwerk verdeutlicht.

Grundlage aller gezeigten Ergebnisse ist jeweils der Klimatrend *Baseline* und die Klimavariante *Baseline*, also eine Fortschreibung der Klimaentwicklung seit 1960. Die Abbildungen 2-5 zeigen die Ausbreitung der wassersparenden Zwei-Mengen-Toilettenspülung in den einzelnen Milieugruppen über den Simulationszeitraum 2011-2060 im Gesellschaftsszenario *Baseline*.

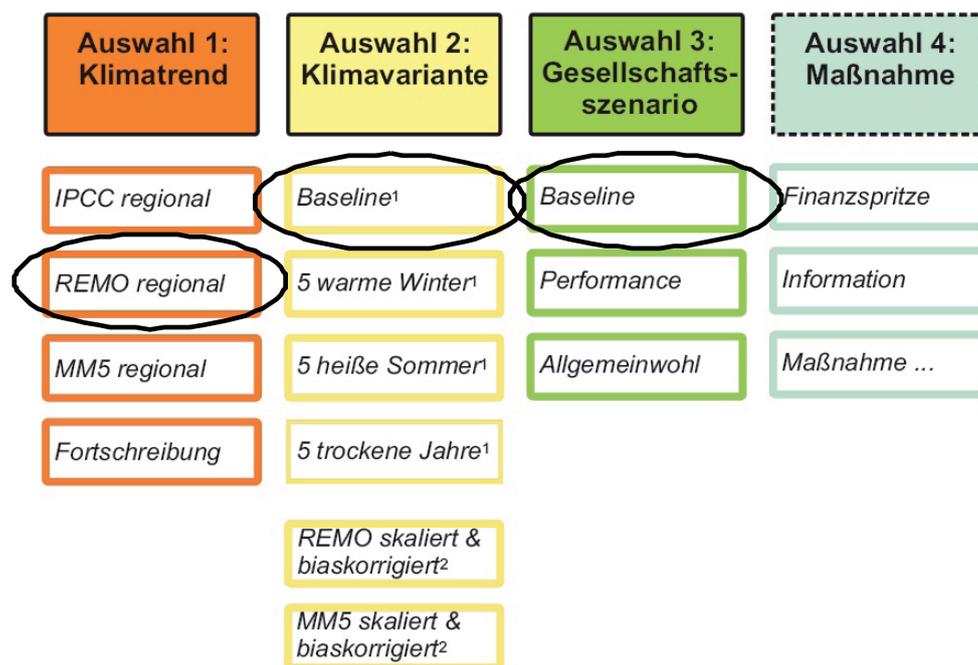


Abb. 2: Graphische Darstellung der Szenarioauswahl für Klimatrend, Klimavariante und Gesellschaftsszenario: REMO regional; *Baseline*; *Baseline*

Abbildung 3 zeigt die Innovationsausbreitung der Zwei-Mengen-Toilettenspülung für die Milieugruppen Postmaterielle, Traditionelle Milieus und Mainstream-Milieus ohne Maßnahme. Wie in der Abbildung zu erkennen, breitet sich die Innovation sowohl bei dem „Vorreitermilieu“ der Postmateriellen, bei denen die Innovation bereits zu Beginn des Simulationszeitraums verbreitet ist, als auch bei den beiden anderen Milieus in klassischer Weise langsam über die Zeit aus. Der Einbezug der sozialen Verflechtungen innerhalb und zwischen den Milieugruppen - das soziale Netz - sorgt dafür, dass ein Austausch stattfindet und lässt auch Imitationsverhalten zu. Auf diese Weise entscheiden sich auch Milieus, die ein geringes Umweltbewusstsein haben, für die wassersparende Innovation.

Sehr deutlich wird die unterschiedliche Relevanz und Wirksamkeit des sozialen Austauschs für die Akteure unterschiedlicher Milieus, wenn man das soziale Netz ausdünnert oder, wie in Abbildung 4 zu sehen, den sozialen Austausch ganz unterbindet: Diejenigen Milieus, deren Entscheidung für oder gegen den Kauf der neuen Technologie weniger oder gar nicht von der Meinung anderer abhängt (hier das Milieu der Postmateriellen), nehmen diese Technologie im gleichen Maße an wie zuvor; sie treffen ihre Entscheidung hauptsächlich nach Kriterien wie Preis, Modernität oder aufgrund ökologischer Gesichtspunkte. Im Fall der Zwei-Men-

gen-Toilettenspülung sieht man, wie sehr die Annahme dieser Technologie in einigen Milieus (hier *Mainstream* und *Traditionelle*) vom sozialen Austausch und Vergleich abhängt: Die Innovation breitet sich ohne soziales Netz nicht aus.

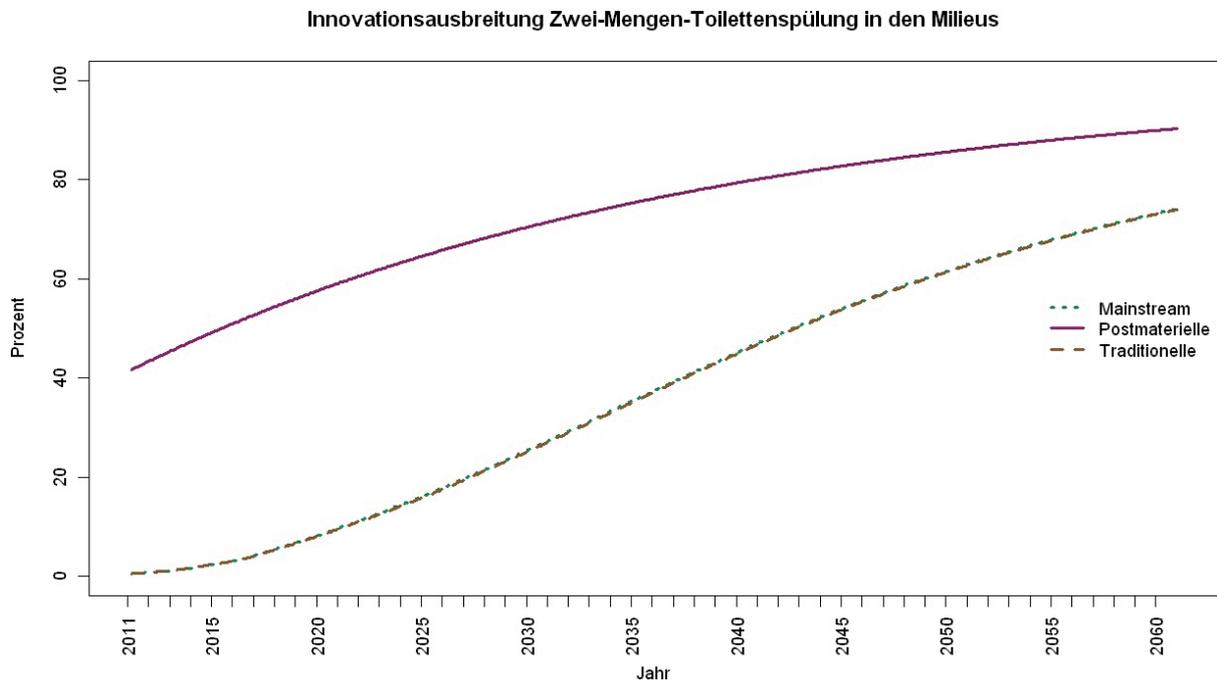


Abb. 3: Ausbreitung der Innovation „Zwei-Mengen-Toilettenspülung“ innerhalb der Milieus mit sozialem Netzwerk. Abgetragen ist der Prozentsatz an Haushalten des jeweiligen Milieus, in denen die Toilettenspülung installiert ist. Auf der unteren Linie liegen die *Mainstream*-Milieus und die *Traditionellen* Milieus (Szenario: Klimatrend REMO regional; Klimavariante *Baseline*; Gesellschaftsszenario *Baseline*; ohne Maßnahmen)

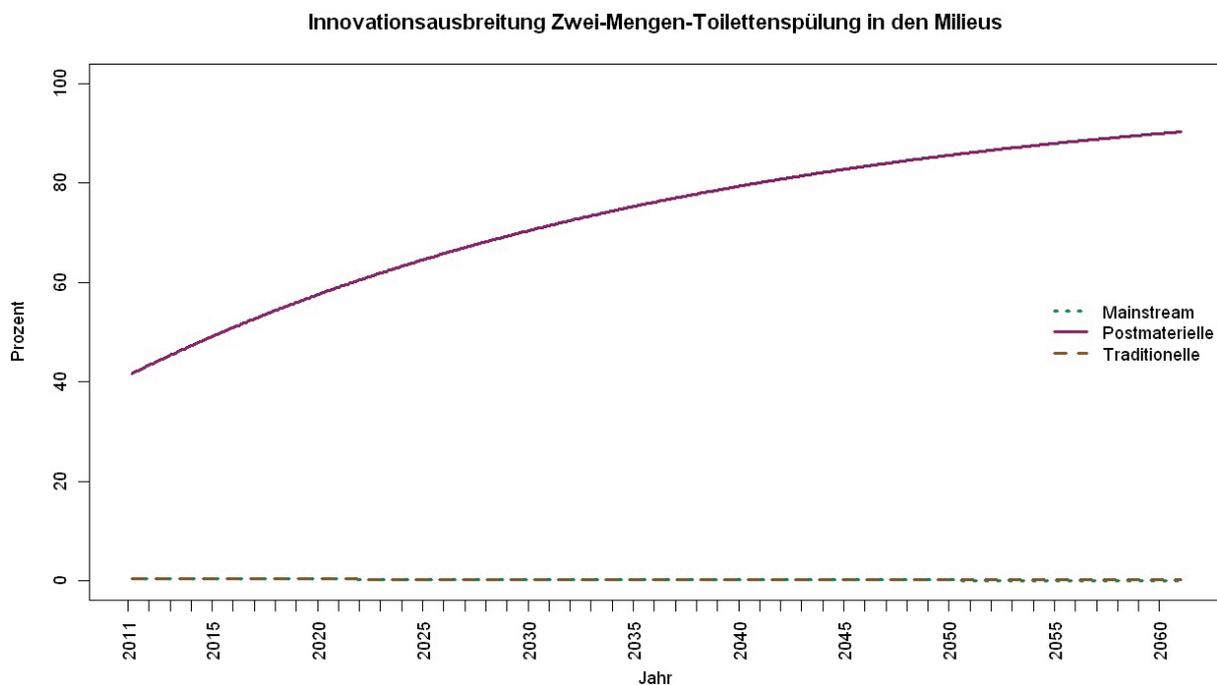


Abb. 4: Ausbreitung der Innovation „Zwei-Mengen-Toilettenspülung“ innerhalb der Milieus ohne soziales Netzwerk. Abgetragen ist der Prozentsatz an Haushalten des jeweiligen Milieus, in denen die Toilettenspülung installiert ist. Abgetragen ist der Prozentsatz an Haushalten des jeweiligen Milieus, in denen die Toilettenspülung installiert ist. Auf der unteren Linie liegen die *Mainstream*-Milieus und die *Traditionellen* Milieus. (Szenario: Klimatrend REMO regional; Klimavariante *Baseline*; Gesellschaftsszenario *Baseline*; ohne Maßnahmen)

Vor dem Hintergrund dieser beiden Läufe lassen sich nun die Wirkung von Maßnahmen zur Förderung wassersparender Innovationen und der Einfluss, den das soziale Netz dabei hat, analysieren. Im Folgenden werden zwei Informationskampagnen betrachtet: Eine viermonatige Informationskampagne hoher Intensität für den Sparduschkopf im Jahr 2020 (März-Juni) (Maßnahme 1) sowie eine viermonatige Informationskampagne hoher Intensität für die Zwei-Mengen-Toilettenspülung im Jahr 2030 (März-Juni) (Maßnahme2). Die Maßnahmen fanden beide innerhalb eines Laufes statt.



Abb. 5: Graphische Darstellung der Maßnahme 1: Informationskampagne für den Sparduschkopf von März bis Juni 2020 mit hoher Intensität



Abb. 6: Graphische Darstellung der Maßnahme 2: Informationskampagne für die Zwei-Mengen Toilettenspülung von März bis Juni 2030 mit hoher Intensität

In Abbildung 7 (mit sozialem Netz) und Abbildung 8 (ohne soziales Netz) ist der Zeitpunkt der Informationskampagne zugunsten der Toilettenspülung deutlich zu erkennen. Da die Informationskampagne an das Umweltbewusstsein appelliert, wirkt sie sich, je nach Ausprägung des Umweltbewusstseins der Milieus und dem bereits erreichten Ausbreitungs-niveau innerhalb der Milieus, unterschiedlich stark auf die Ausbreitung der Innovation aus. Insgesamt wird die Ausbreitung in kurzer Zeit deutlich gefördert. Im Szenario ohne soziales Netzwerk kann sich die Technologie bei den stark am sozialen Vergleich orientierten Käufern (vgl. auch Abb. 4) aber auch hier langfristig nicht durchsetzen.

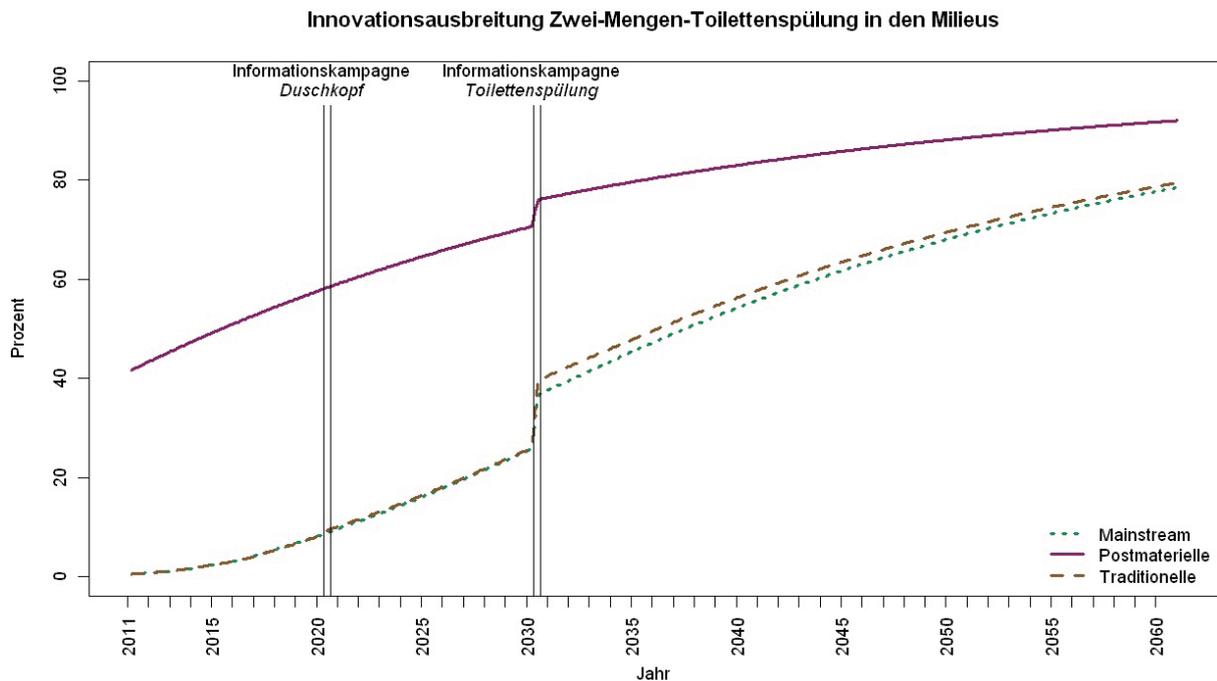


Abb. 7: Ausbreitung der Innovation „Zwei-Mengen-Toilettenspülung“ innerhalb der Milieus mit Maßnahme und mit sozialem Netzwerk. Abgetragen ist der Prozentsatz an Haushalten des jeweiligen Milieus, in denen die Toilettenspülung installiert ist (Szenario: Klimatrend REMO regional; Klimavariante *Baseline*; Gesellschaftsszenario *Baseline*; Maßnahme: Informationskampagne mit hoher Intensität im Jahr 2030 zugunsten wassersparender Toilettenspülungen (und einer vorherigen Informationskampagne für den Sparduschkopf im Jahr 2020))

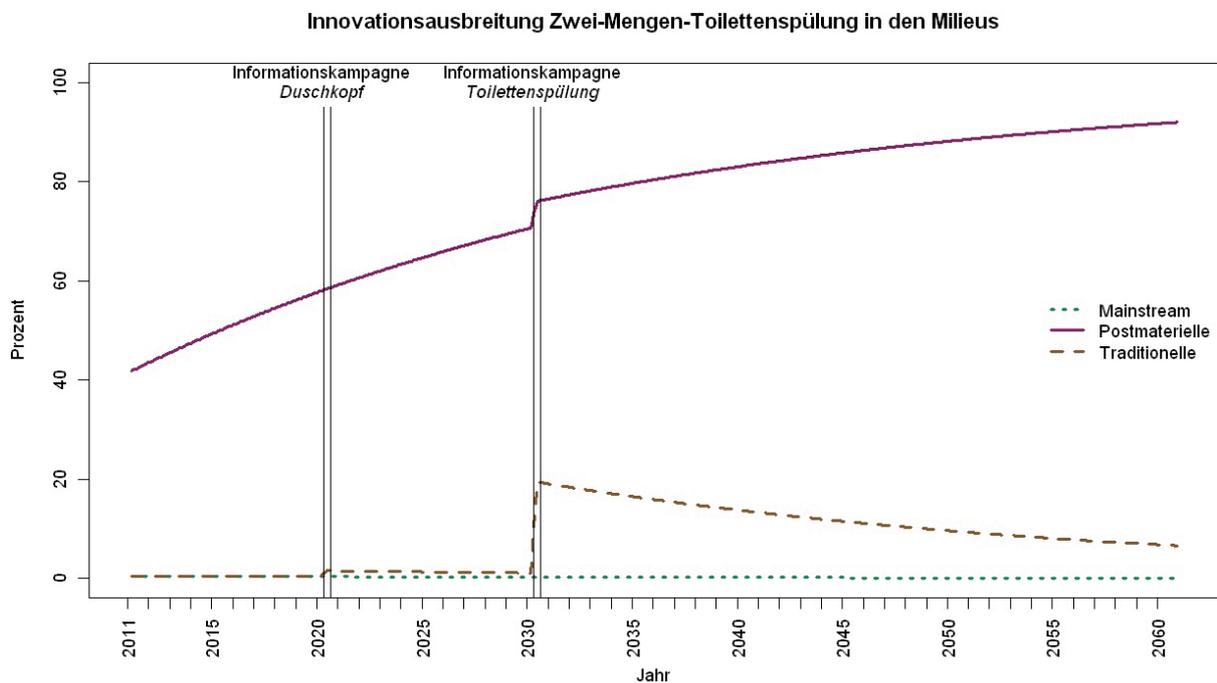


Abb. 8: Ausbreitung der Innovation „Zwei-Mengen-Toilettenspülung“ innerhalb der Milieus mit Maßnahme und ohne soziales Netzwerk. Abgetragen ist der Prozentsatz an Haushalten des jeweiligen Milieus, in denen die Toilettenspülung installiert ist (Szenario: Klimatrend REMO regional; Klimavariante *Baseline*; Gesellschaftsszenario *Baseline*; Maßnahme: Informationskampagne mit hoher Intensität im Jahr 2030 zugunsten wassersparender Toilettenspülungen (und einer vorherigen Informationskampagne für den Sparduschkopf im Jahr 2020))

Überraschend ist auf den ersten Blick, dass auch die Informationskampagne für den Sparduschkopf der Ausbreitung der Zwei-Mengen-Toilettenspülung, zumindest bei einigen Milieus, zuträglich ist. Siehe hierzu z.B. Abbildung 8: bei den Traditionellen Milieus steigt der Anteil der Zwei-Mengen Toilettenspülung im Jahr 2020, in dem die Informationskampagne für den Sparduschkopf stattfand, leicht an. Dieser Effekt wird dadurch hervorgerufen, dass die Kampagne zwar einerseits auf den Duschkopf gerichtet ist - es denken mehr Akteure über die Anschaffung eines Duschkopfs nach - sich andererseits aber allgemein das Umweltbewusstsein, zumindest kurzfristig, erhöht. Aufgrund des gestiegenen Umweltbewusstseins entscheiden sich mehr Akteure, bei denen gerade ein Austausch der Toilettenspülung ansteht, für die wassersparende Zwei-Mengen-Spülung.

Abbildung 9 stellt die Auswirkungen der Art der Maßnahme (Finanzspritze, Information) für einige Akteurtypen im Gesellschaftsszenario Baseline gegenüber. Die Maßnahmen beziehen sich auf Sparduschköpfe. Man kann deutlich sehen, dass sich der Akteurtyp Hedonistische Milieus nur bei der Maßnahme Finanzspritze für den Sparduschkopf entscheidet. Auch im weiteren Verlauf nimmt der Anteil der Sparduschköpfe weiter zu: Ausgelöst durch einen preislichen Vorteil beginnt sich der Sparduschkopf beim Akteurtyp Hedonistische Milieus zu verbreiten und beeinflusst die Kaufentscheidungen über das soziale Netzwerk. Beim Akteurtyp Traditionelle Milieus hingegen zeigt die Maßnahme Informationskampagne einen relativ größeren Effekt. Im Gegensatz zu den anderen Akteurtypen ist die Verbreitung von Sparduschköpfen beim Akteurtyp Postmaterielle von Anfang an sehr hoch, entsprechend klein ist der Einfluss beider Maßnahmen.

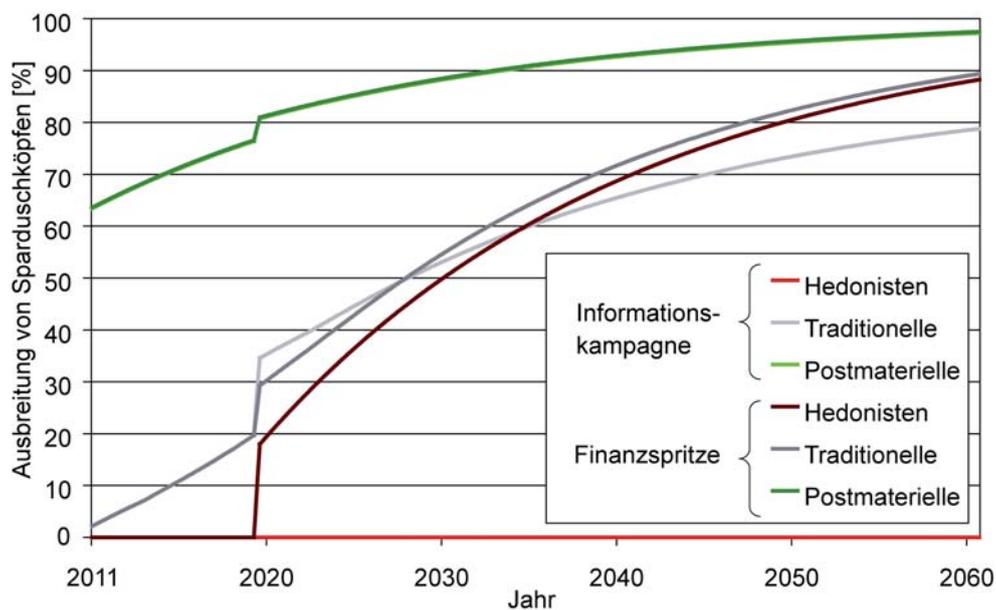


Abb. 9: Ausbreitung der Innovation Sparduschköpfe für drei Akteurtypen und zwei Arten von Maßnahmen (Information, Finanzspritze)

4.2 Validierung

Die Validierung des *DeepHousehold*-Modells erfolgte gegen statistische Daten des Wasserverbrauchs privater Haushalte, die von den Statistischen Landesämtern Bayerns und Baden-Württembergs für die Jahre 1991, 1995, 1998, 2001, 2004 und 2007 bereitgestellt wurden. Aufgrund der spärlichen Datengrundlage für die Jahre 1991 und 1994 (198 gegenüber 1415 Gemeinden ab 1998), werden diese Jahre im Folgenden nicht berücksichtigt.

Abbildung 10 zeigt die Abweichungen der im Referenzlauf (1960-2007) simulierten Wasserverbräuche von den statistischen Wasserverbräuchen. Wie zu erkennen, liegen die Abweichungen im Mittel (rote Linie) bei etwa 15%, der Median gar noch darunter bei ca. 11%. Da sich allerdings Überschätzungen und Unterschätzungen in den Ergebnissen in etwa die Waage halten, ist die Abweichung des simulierten Gesamtwasserverbrauchs vom statistischen Gesamtwasserverbrauch mit knapp 4% sehr niedrig.

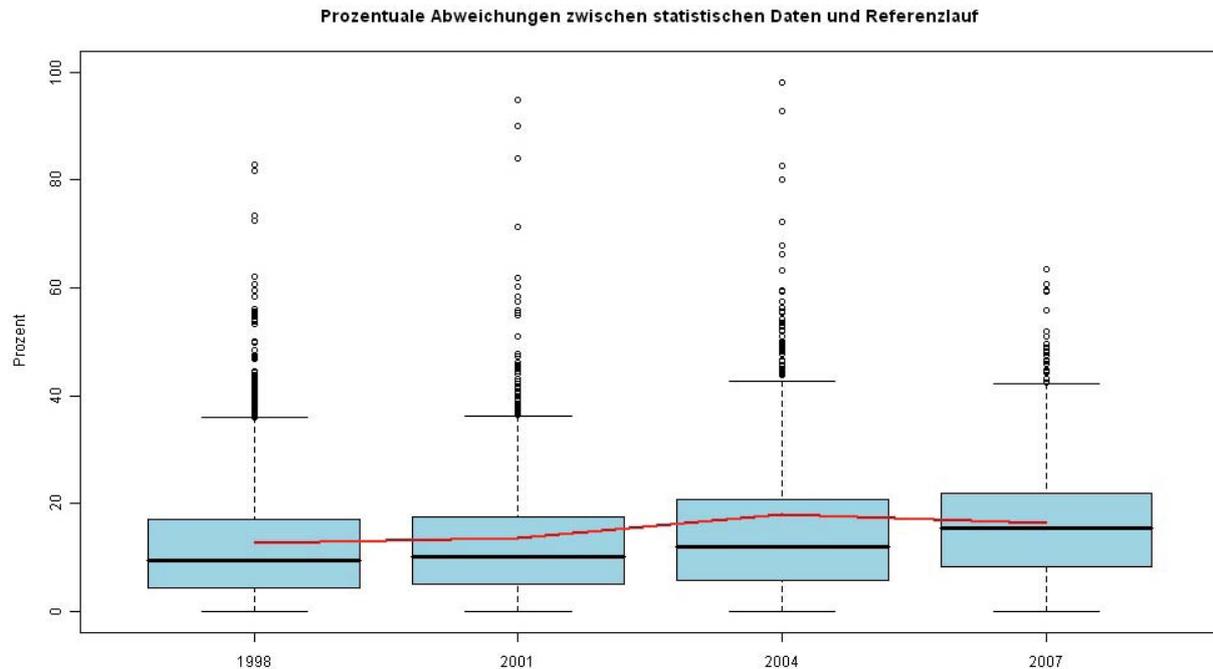


Abb. 10: Boxplot der prozentualen Abweichungen der im Referenzlauf simulierten Wasserverbräuche von den statistischen Wasserverbräuchen pro Gemeinde und Jahr. Die rote Linie verbindet die Mittelwerte für die einzelnen Jahre miteinander. (N = 1415 Gemeinden, welche 8348 der 9210 (ca. 91%) bewohnten Proxel im Einzugsgebiet umfassen. Abweichungen größer als 100% sind nicht aufgeführt (2 (1998), 2 (2001), 6 (2004), 0 (2007))

Die vereinzelt vorkommenden großen Abweichungen kommen im Allgemeinen bei sehr kleinen Gemeinden zustande, welche durch wasserintensiven Tourismus (z.B. in Kurorten) einen sehr hohen Wasserbedarf haben, der auf die Einwohnerzahl gerechnet wurde.

Insgesamt bedeutet dies, dass das Modell den Gesamtwasserverbrauch im Einzugsgebiet sehr gut und den Wasserverbrauch im Mittel auf Gemeindeebene noch gut reproduziert.

5. Zusammenfassende Bewertung und Ausblick

5.1 Stand und Bewertung der Entwicklung

Das Modell DeepHousehold wurde in inhaltlichen und technischen Punkten weiterentwickelt. Ein besonderer Schwerpunkt lag dabei auf den sog. Maßnahmen im Rahmen der GLOWA-Danube Szenarien, die die GLOWA-Danube Szenariomatrix vervollständigen und es erlauben unterschiedliche Fragestellungen systematisch abzutesten. Dabei sind die Maßnahmen so gestaltet, dass sie den *Stakeholdern* möglichst großen Spielraum gestatten.

Es wurden zahlreiche Validierungsläufe gerechnet, um die Güte des Gesamtmodells sowie der einzelnen Modellkomponenten zu testen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Güte des Gesamtmodells mit „gut“ bezeichnet werden kann. Obwohl eine Validierung der

Modellkomponenten nicht auf diese Weise möglich ist, liefern sie durchweg plausible Ergebnisse.

Mit der Bereitstellung des Modells vom Stand April 2010 wurde ein großer Schritt zur Verwirklichung der *OpenSource*-Version unternommen.

5.2 Ausblick auf den verbleibenden Teil der dritten Förderphase

Der verbleibende Teil der dritten Förderphase wird dazu verwendet, um die von unserem Teilprojekt für GLOWA-Danube entwickelte Teilmodell fertig zu stellen, ausreichend zu dokumentieren und in angemessener Form in ein Open Source-Produkt überführen zu können.

Im Einzelnen werden die im Folgenden genannten Arbeiten durchgeführt:

- *Open-Source*-Stellung des Projektes: Die *Open-Source*-Entwicklungen erfordern noch Abstimmungsbedarf mit den Teilprojekten „Informatik“ und „Koordination“, um die einheitliche Verwendbarkeit und Übertragbarkeit von DANUBIA mit allen Komponenten und Fallbeispielen zu gewährleisten.
- Publikationen: Des Weiteren sollen die im Rahmen des Projekts erstellten Konferenzbeiträge als Aufsätze in referierten Zeitschriften bearbeitet und eingereicht werden.

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

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

1. Überblick

Im GLOWA-Danube Projekt wurden durch die Projektpartner die theoretischen Grundlagen zur integrierten sozioökonomischen und naturwissenschaftlichen Modellierung der Wasserkreisläufe im oberen Donau-Einzugsgebiet in das computerbasierte Entscheidungsunterstützungssystem GCDSS-DANUBIA umgesetzt. Dieses erlaubt es insbesondere Klimaszenarien und gesellschaftliche Schocks und deren Wirkungen zu simulieren. Die Zielsetzungen des ifo Instituts waren dabei, eine möglichst realistische Simulation wasserspezifischer Entscheidungen jedes einzelnen, für den Wasserkreislauf bedeutenden Industriebetriebes abzubilden sowie die simultane Modellierung der demographischen Entwicklung und ihrer Unterteilung in, aus Sicht der Wassernutzung, entscheidungsrelevante Kenngrößen. Damit soll die Bevölkerungsentwicklung als eine treibende Kraft zur Bildung von Szenarien mit unterschiedlichen Annahmen über Geburten- und Sterberaten sowie Migration etabliert werden. In der Phase III des Projekts werden unter anderem klimatische und gesellschaftliche Szenarien von Interesse erarbeitet und deren mittel- bzw. langfristigen Auswirkungen auf Basis von GCDSS-DANUBIA beurteilt. Zusätzlich steht neben der kontinuierlichen Verbesserung der Industrie- und Demographiemodelle deren Reagibilität und Reaktionsvariabilität sowie die Integration der im *Stakeholderprozess* abgeleiteten relevanten Szenarien im Vordergrund. Eines der wichtigsten Ziele ist es außerdem GCDSS-DANUBIA für einen breiten Anwenderkreis zugänglich, nutzbar und erweiterbar zu machen, d.h. die Modelle in *Open Source* über zu führen.

2. Organisatorisches

2.1 Personalien

Die Personalbesetzung stellt sich aktuell wie folgt dar:

- Dr. Johann Wackerbauer: Projektleitung und -bearbeitung, Bereich Umwelt, Verkehr
- Dr. Markus Zimmer: Projektbearbeitung, Bereich Umwelt, Verkehr
- Dipl. Volkswirt Christoph Jeßberger: Projektbearbeitung (Doktorandenstelle), Bereich Umwelt, Verkehr
- Maximilian Sindram: Projektbearbeitung (Doktorandenstelle), Bereich Umwelt, Verkehr

2.2 Veranstaltungen

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

- 23.-26.03.2009 GLOWA Klausurtagung in Wildbad Kreuth
Von der Forschungsgruppe Umweltökonomie nahmen an der Tagung Dr. Johann Wackerbauer, Dr. Markus Zimmer und Christoph Jeßberger teil. Die Teilnehmer stellten den aktuellen Arbeitsstand des Teilprojektes Umweltökonomie vor. Anschließend wurden in Gruppen gemeinsam die Szenarien und Politikmaßnahmen für die Berechnungen im Modellverbund ausgewählt sowie Ziele für die Fortführung von DANUBIA über die Projektlaufzeit hinaus diskutiert und festgelegt.
- 10.06.2009 *Stakeholder-Workshop* in Stuttgart
Am *Stakeholder-Workshop* nahmen von der Forschungsgruppe Umweltökonomie Dr. Johann Wackerbauer und Dr. Markus Zimmer teil. Hier wurden vertieft Strategien für den *Stakeholder*prozess diskutiert, erarbeitet ausgearbeitet.
- 12.-14.10.2009 Nationalen GLOWA-Konferenzin Potsdam
An der nationalen GLOWA-Konferenz nahm von der Forschungsgruppe Umweltökonomie Dr. Markus Zimmer teil und präsentierte in Zusammenarbeit mit der Forschungsgruppe Tourismus zwei Poster zu den Ergebnissen und der Entwicklungsstruktur der Teilmodelle.

Weitere Veranstaltungen

Um das Gesamtprojekt bzw. das Teilprojekt Umweltökonomie darüber hinaus näher an die wissenschaftliche Öffentlichkeit zu bringen, wurden Vorträge auf diversen referierten, internationalen Konferenzen gehalten, in denen der Forschungsansatz von GLOWA-Danube und des umweltökonomischen Teilprojekts einem fachkundigen Auditorium vorgestellt und zur Diskussion gestellt wurde. Im Einzelnen haben Vertreter des Teilprojekts auf den folgenden Konferenzen teilgenommen:

- 24.-27.06.2009 EAERE - European Association of Environmental and Resource Economists, Amsterdam.
- 07.-10.07.2009 Australian Meeting of the Econometric Society, Canberra.
- 23.-27.08.2009 EEA-ESEM Annual Congress of the European Econometric Association & Econometric Society, Barcelona.

2.3 Veröffentlichungen

Zusätzlich zu der Außendarstellung des ökonomischen Teilprojekts von GLOWA-Danube durch die Teilnahme an wissenschaftlichen Konferenzen ist die Präsenz durch wissenschaftliche Publikationen wichtig. Dazu wird im Berichtszeitraum insbesondere die Dissertation von Christoph Jeßberger zu dem Thema "Environmental Economics and Multilateral Environmental Agreements" zu einem Großteil vollendet, die bis Ende 2010 abgeschlossen sein wird. Des Weiteren bestehen zwei gemeinsame Working Papers von Christoph Jeßberger und Markus Zimmer zu den Themen „The Interaction of Global Warming Induced Water-Cycle Changes and Industrial Production - A Scenario Analysis for the Upper Danube River Basin“ und „Estimating the Value of Water for Industrial Production in Germany“, die im Jahr 2010 zur Publikation bei referierten Zeitschriften eingereicht werden.

3. *Open-Source*

Zur Umsetzung des *Open Source* Gedankens war es zuerst notwendig eine Definition und damit eine Zielsetzung für die *Open Source* Umsetzung zu erarbeiten und dann eine Umsetzungsstrategie zu erarbeiten, welche derzeit umgesetzt wird. Die Anforderungen, die an ein „offenes“ Produkt gestellt werden, ergeben sich aus der *Open Source* Definition (OSD), die wiederum durch die *Open Source* Initiative (OSI) autorisiert wird. Die OSI überprüft Softwareprodukte auf ihre OSD-Konformität hin und bildet somit das oberste Gremium bezüglich offener Lizenzen. In der OSD sind aktuell zehn Kriterien zusammengefasst, die neben der obligatorischen Offenlegung des Quellcodes erfüllt werden müssen. Diese beziehen sich jedoch auf die Inhalte, die durch den Lizenzvertrag vorgegeben sein müssen und haben somit nur einen geringen Einfluss auf den Entwicklungsprozess. Vielmehr verfolgen wir mit dem „*Open-Source*-Gedanken“ die Philosophie, durch eine offene Entwicklung einen qualitativen sowie quantitativen Mehrwert zu erhalten. Dafür ist insbesondere eine detaillierte Dokumentation des Quellcodes ausschlaggebend.

3.1 Quelltext

Für die Umsetzung in den vom ifo Institut betreuten Modellen wird daher folgende Strategie angewandt. Die Dokumentation erfolgt für die Modelle Demography und Economy durch das Software-Dokumentationswerkzeug Javadoc, welches aus Quelltexten automatisch HTML-Code erzeugt. Die Kommentare zu den einzelnen Klassen und deren Methoden bzw. Werte werden somit in einer für den Entwickler übersichtlichen Form dargestellt. Des Weiteren muss der Quellcode bereinigt werden. Dies bedeutet, dass beispielsweise Kommentare, die nur der Entwicklung dienen, entfernt werden. Auch alle unnötigen und somit verwirrenden Ausgaben, die ebenfalls nur der Evaluierung der Modelle dienlich sind, sollen entfernt werden. Die beschriebenen Arbeiten am Quelltext konnten im Berichtszeitraum schon zu großen Teilen abgeschlossen werden. Zusätzlich sollen zur Dokumentation des Codes Anwendungsbeispiele erarbeitet werden, um die Funktionalität der Modelle zu beschreiben.

3.2 Funktionalität und Modularität

Beide Modelle sind für ein möglichst breites Spektrum an Fragestellungen ausgelegt. Indem die Eingangsdaten und Parametrisierungen auf eine spezifische Fragestellung angepasst werden, können verschiedene Szenarien berechnet werden, ohne dass neue Programmierarbeiten am Modell anfallen. Die Erweiterung des Modellgebiets auf die restlichen Teile Deutschlands und Österreichs hat gezeigt, dass die Modelle durch geringe Anpassungen auf andere Gebiete skalierbar sind. Durch diese Erweiterung ist auch ein Anwendungsbeispiel vorhanden an dem die Umsetzung auf andere Gebiete nachvollzogen werden kann.

3.3 *Open-Source* gerechte Implementierung

Beide Modelle sind komplett in Java implementiert und greifen auf keine Produkte von Dritten zu. Die Dokumentation und Bereinigung des Quellcodes ist für das Modell *Demography* bereits geschehen. Die Umsetzung für das *Economy* Modell wird demnächst abgeschlossen sein. Alle Inputdaten wurden auf ihre *Open Source* Tauglichkeit hin geprüft.

3.4 Offene Fragen

Im laufenden *Open Source* Prozess sind Vorgaben für die *Open Source* Umsetzung kontinuierlich zu hinterfragen und neuen Erkenntnissen anzupassen. Dadurch neu entstehende Vorgaben sind zusätzlich zu den bestehenden Arbeiten umzusetzen. Dabei ist insbesondere bis zum Abschluss des Projekts zu klären wie mit den Daten von Drittanbietern verfahren werden soll, die unter keiner OSI-Lizenz stehen. Ein Lösungsvorschlag ist dabei z.B. die Generierung fiktiver Dummydaten die dann bis zum Projektabschluss verfügbar sein müssten.

Zielsetzung sollte dabei sein zumindest teilweise die Aussagefähigkeit des Gesamtmodells zu erhalten, was eine arbiträre Erstellung der Dummydaten ausschließt. Es könnte beispielsweise möglich sein die Aussagefähigkeit des Modells auf einer höheren räumlichen Aggregation als dem Proxel zu erhalten, z.B. auf Ebene der Bundesländer.

4. Modelle

Die Entwicklung des Industrie- und des Demographiemodells gilt im Wesentlichen als abgeschlossen, jedoch ergaben sich im Rahmen der Szenarienkäufe wie bei den anderen Teilmodellen auch im ökonomischen Teilmodell noch Verbesserungspotentiale. So wurde das Ökonomiemodell um zwei Komponenten erweitert.

4.1 Der Tiefe Akteur Industrieunternehmen

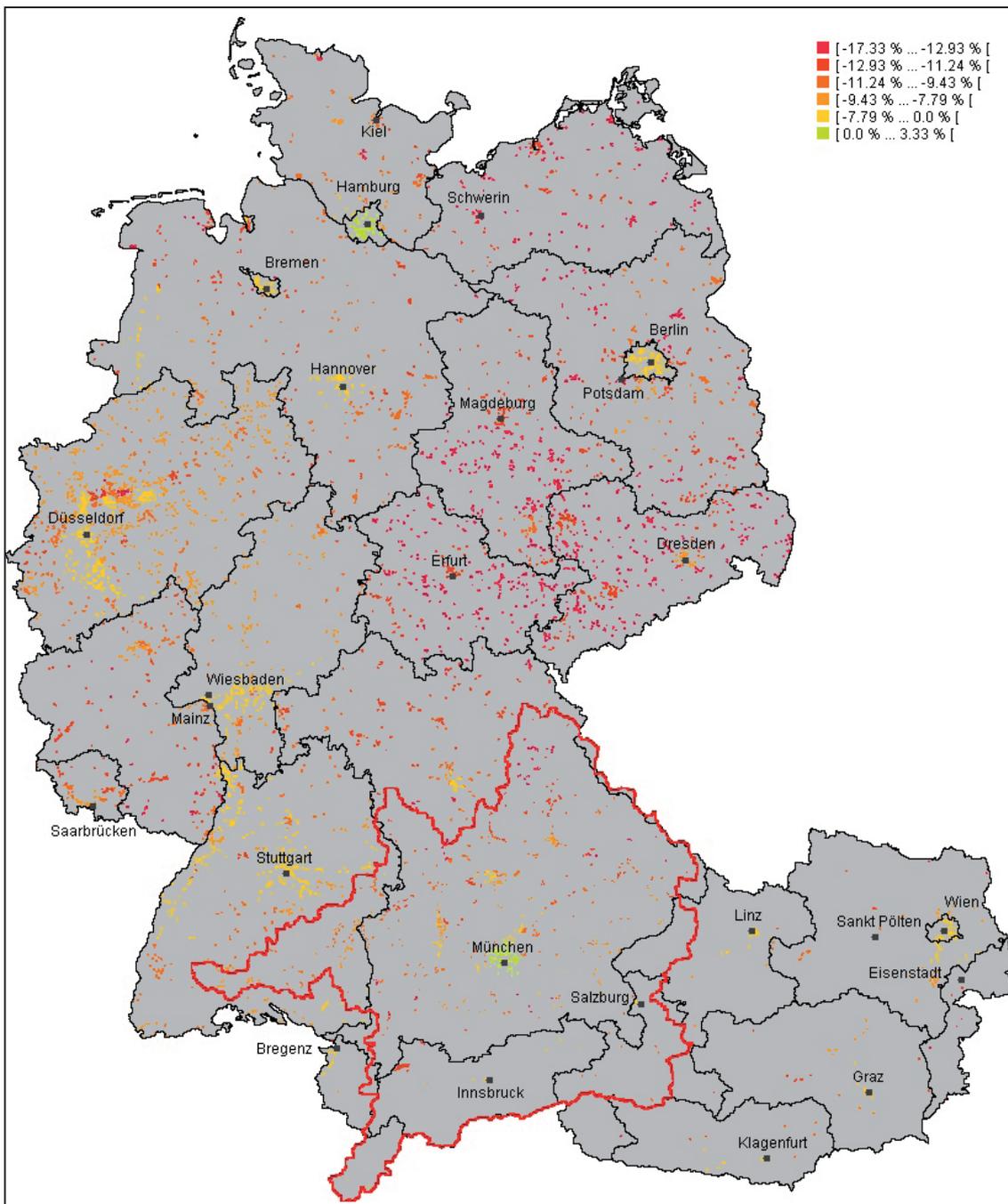
Das Teilprojekt Umweltökonomie entwickelte bis zum Abschluss der zweiten Projektphase das grundlegende ökonomische Modell. Die in der dritten Projektphase angestrebte Verbesserung der Szenarienfähigkeit und Optimierung der Reagibilität sind weitestgehend abgeschlossen und Szenarienergebnisse liegen vor. Weitere Szenarien wurden berechnet, ausgewertet und die entsprechenden Politikimplikationen daraus abgeleitet. Des Weiteren steht in der dritten Projektphase neben der Generierung und Auswertung relevanter Szenarien, vor allem die Ausrichtung der Teilmodelle auf eine langfristige und nachhaltige Nutzung durch mögliche *Stakeholder* im Vordergrund. Abgesehen von den kontinuierlichen Anpassungen an die Erweiterungen des DANUBIA *Frameworks* stand das letzte Jahr vor allem im Zeichen der Szenariengenerierung. Dazu wurde das Ökonomiemodell einerseits um die Komponente „Politikmaßnahme“ erweitert, die, gemäß der Gesellschaftsszenarien unterschiedliche Reaktionen des Staates abbildet. Zum Anderen wurde eine Komponente entwickelt, die unabhängig von der ersten Komponente eine ausgabenneutrale Steuerpolitik abbildet, in der entweder der Kapitaleinsatz oder der Arbeitseinsatz der Industrie oder beides mittels der Steuereinnahmen aus einer Wassersteuer subventioniert werden. Letztere Komponente entstand insbesondere aus Gesprächen mit dem *Stakeholder* MERI.

Ergebnisse der Szenarienkäufe

Die Auswirkungen klimatischer oder gesellschaftlicher Zukunftsszenarien können durch die Analyse der jeweiligen Unterschiede in den Entwicklungen verschiedenster Kenngrößen verdeutlicht werden. Im Folgenden wird dies für die ökonomische Entwicklung in der zeitlichen Perspektive von 2012-2025 beispielhaft an den Indikatoren Bruttoregionalprodukt (im Weitem BRP = Wertschöpfung innerhalb einer Region) und industrielle Grundwassernutzung verdeutlicht. Zur Bestimmung dieser Indikatoren innerhalb des Einzugsgebiets wurden die drei vorliegenden Gesellschaftsszenarien *Baseline*, *Performance* und *Allgemeinwohl* gerechnet, jeweils angetrieben vom Klimatrend RE-MO regional und der Klimavariante *Baseline*. Das Gesellschaftsszenario *Baseline* beschreibt die Entwicklung der Ökonomie, die sich durch ein Fortschreiben des bisherigen Status quo ergibt und dient daher als Referenz für den Vergleich der Veränderungen, die sich bei den beiden anderen Gesellschaftsszenarien abzeichnen. Die Ergebnisse der Szenarien resultieren aus gekoppelten Simulationen der Modelle *Demography*, *Economy*, *GroundwaterFlow*, *GroundwaterTransport*, *Household*, *Tourism* und *WaterSupply*, wobei vorgefertigte Ergebnisse des *Atmosphere Faming*, *Landsurface*, *Rivernetwork*, und *Traffic* Modells und der Klimaszenarien als Eingabedaten dienen. Die relevanten Einflussgrößen aus den verschiedenen Teilmodellen sind dabei insbesondere die Grund- und Flusswasserbedingungen, charakterisiert durch die jeweiligen Flaggen (siehe BARTHEL et al. 2008) die Wasserpreise der öffentlichen Wasserversorgung, die Arbeits- und Kapitalmarktbedingungen, das Klima und die regionale touristische Attraktivität. Zudem werden weitere Entwicklungen wie beispielsweise die der Geburtenrate oder der Zuwanderung den Modellen exogen vorgegeben (siehe EGERER und ZIMMER 2006; ZIMMER 2008).

Entwicklung der Industriellen Grundwassernutzung

In Karte 1 wird die Entwicklung der industriellen Grundwassernutzung für den Zeitraum 2012-2025 im Gesellschaftsszenario Baseline betrachtet. Anhand eines Simulationslaufs wird zunächst gezeigt, in welchen absoluten Größenordnungen die Industrieakteure auf die sich ändernden äußeren Bedingungen reagieren. In der Karte ist demnach die prozentuale Veränderung der Grundwassernutzung der Industrie im Januar auf jedem Proxel zu sehen. Im Vergleich des Jahres 2025 zum Jahr 2012 liegen die Veränderungen der industriellen Grundwassernutzung im Januar 2025 zwischen -15,75% und +3,33%. Deutlich zu erkennen ist die regional sehr unterschiedliche Veränderung der industriellen Grundwassernutzung. Dabei ist der Rückgang der industriellen Grundwassernutzung in den Ballungszentren am schwächsten. Demzufolge weist beispielsweise das Gebiet in und um München ein leicht positives Wachstum der industriellen Grundwassernutzung auf, während im Norden des Einzugsgebiets der Oberen Donau ein starker Rückgang zu verzeichnen ist.



Karte 1: Industrielle Grundwassernutzung 2012-2025 Ergebnis eines *Baseline*-Simulationslaufs (Angaben in Prozent) (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Am Beispiel von Weiden/Oberpfalz und Salzburg ist zu erkennen, wie unterschiedlich die industrielle Grundwassernutzung auf die sich ändernden klimatischen Bedingungen reagiert, das heißt wie unterschiedlich die einzelnen Regionen vom klimabedingten veränderten Grundwasserdargebot betroffen sind (siehe Abb. 1).



Abb. 1: Veränderung der industriellen Grundwassernutzung im Januar im Vergleich zum Basisjahr 2012 sowie jährlich gemittelte verzögerte Grundwassermengenflaggen in Weiden/Oberpfalz sowie in Salzburg. Ergebnis eines *Baseline*-Simulationslaufs

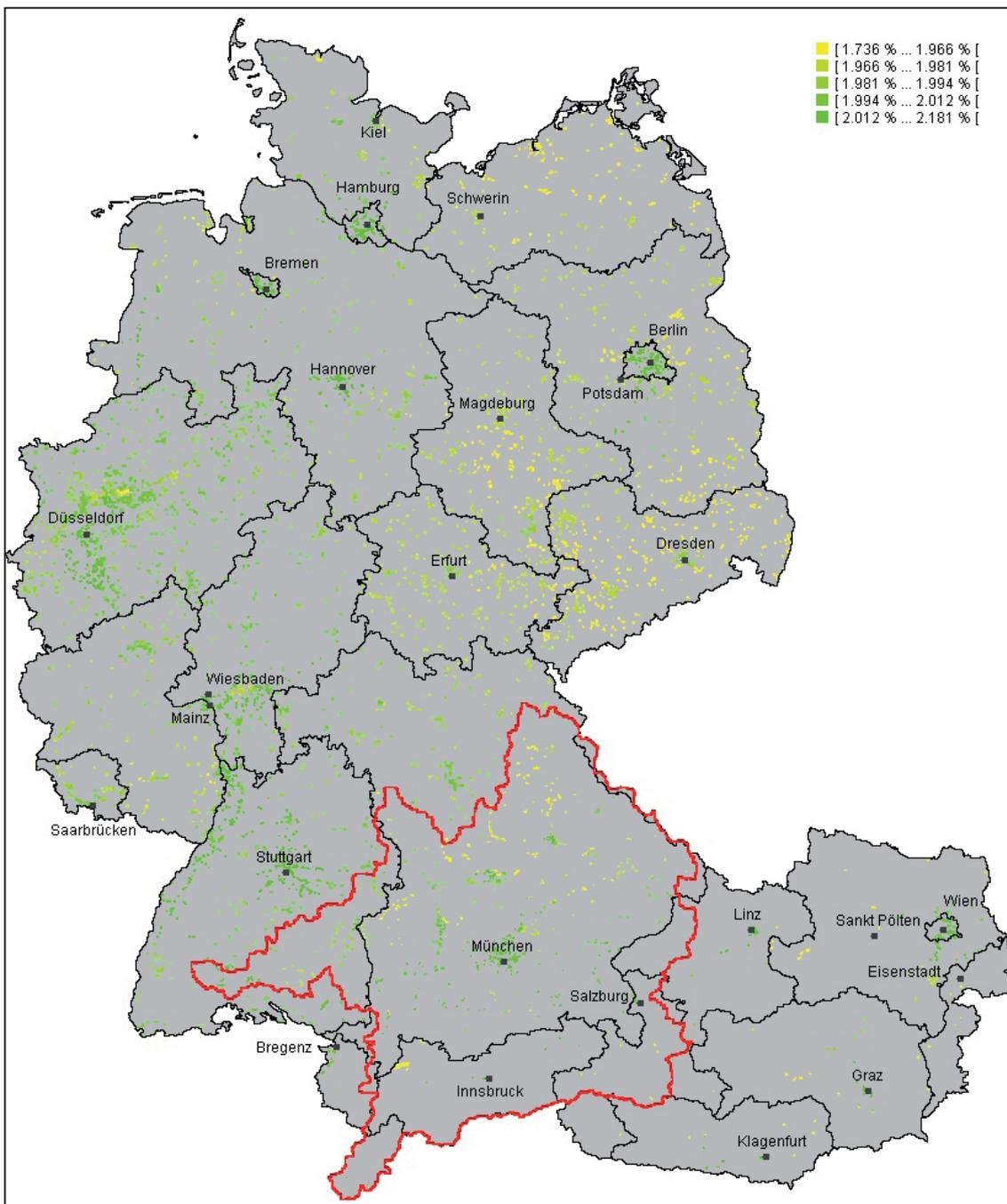
Durch die sich verschlechternden Grundwasserbedingungen (Grundwassermengenflaggenwert 2), die sich auf die Jahre 2013 und 2018 auswirken, ist in Weiden ein deutlicher Sprung in der industriellen Grundwassernutzung zu erkennen. In den dazwischen liegenden Jahren entspannt sich das Grundwasserdargebot wieder, wodurch sich nur eine leichte Reduktion der industriellen Grundwassernutzung ergibt. Letztlich wird im Jahr 2025 eine Gesamtreduktion von 14% der industriellen Grundwassernutzung gegenüber dem Jahr 2012 erreicht.

In Salzburg zeigt sich hingegen ein ganz anderer Verlauf (siehe Abb. 1). Zwar wirkt sich auch hier im Jahr 2013 eine Verschlechterung des Grundwasserdargebots auf die industrielle Grundwassernutzung aus. Jedoch führt das ausreichende Dargebot in allen darauf folgenden Jahren dazu, dass die industrielle Grundwassernutzung nicht sprunghaft fällt, sondern gleichbleibend leicht von Jahr zu Jahr reduziert wird. Auf diese Weise ergibt sich eine Gesamtreduktion der industriellen Grundwassernutzung in Salzburg von lediglich 5% im Jahr 2025 gegenüber dem Jahr 2012.

Industrielle Grundwassernutzung im Szenarienvergleich

In Karte 2 wird die relative Veränderung der industriellen Grundwassernutzung im Januar auf jedem industriell besiedelten Proxel von 2012-2025 dargestellt. Dabei wird ein Simulationslauf des Gesellschaftsszenarios Performance mit dem eines Gesellschaftsszenarios Allgemeinwohl verglichen. Es wird also zwischen den jeweiligen gesellschaftsszenariospezifischen prozentualen Veränderungen über den Gesamtzeitraum die Differenz auf jedem Proxel gebildet. Somit stellen positive Werte einen höheren Wasserbedarf im Szenario Per-

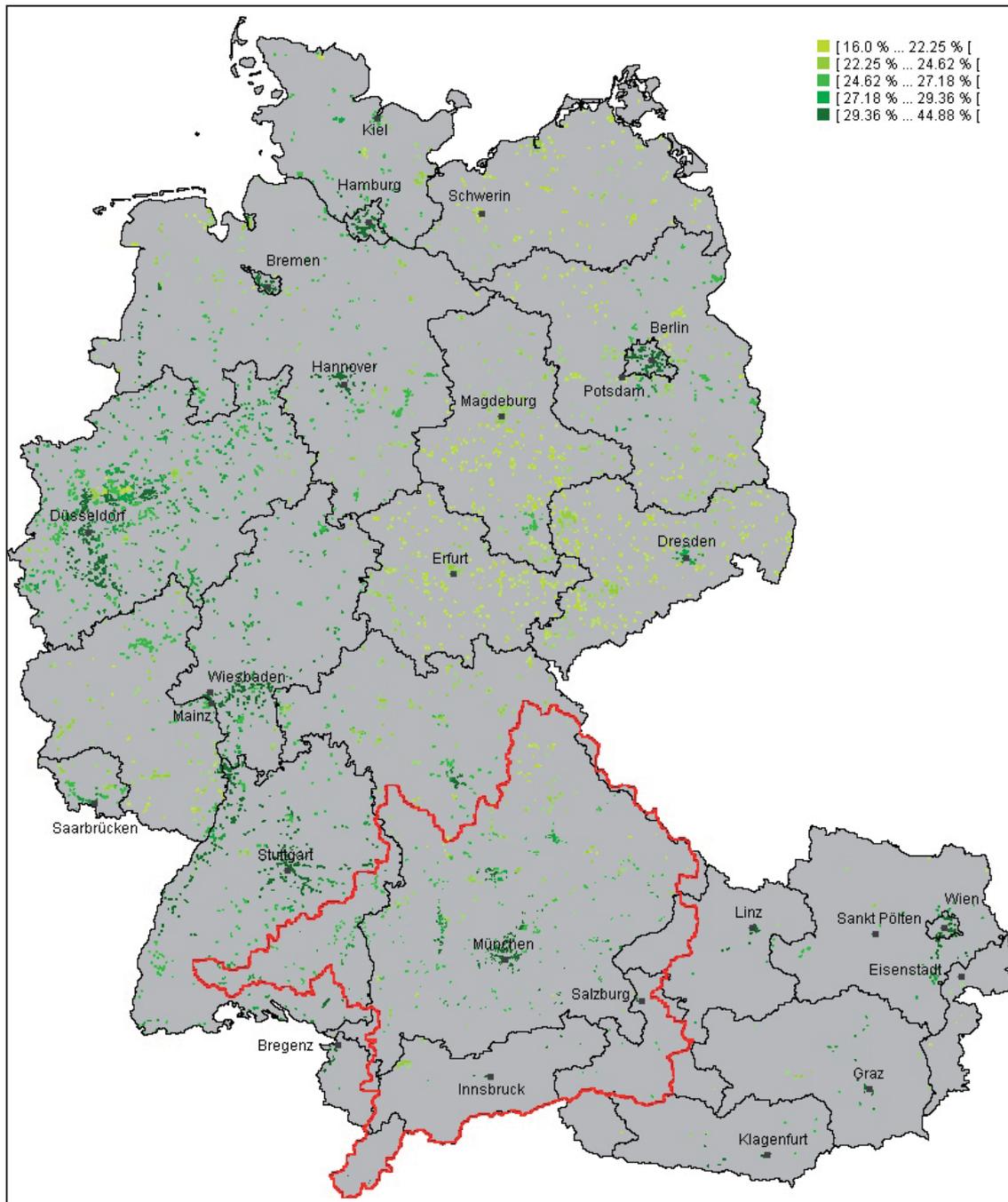
formance dar, während negative Prozentwerte einen niedrigeren industriellen Grundwasserbedarf im Szenario Performance darstellen. Im gesamten Einzugsgebiet liegt im Szenario Performance die Änderung der Grundwassernutzung von 2012-2025 im Einzugsgebiet zwischen +1,74 und +2,18% höher als im Szenario Allgemeinwohl. Im stark industriell genutzten Raum um München Innsbruck und Salzburg wächst diese relative industrielle Grundwassernutzung regional stärker an als in den übrigen Regionen des Einzugsgebiets. Die regionalen Unterschiede lassen sich teilweise aus den stärker differierenden regionalen Grundwasserbedingungen und den damit verbundenen Wechselwirkungen zwischen den mehr und weniger stark betroffenen Gebieten ableiten. Außerdem führt die im Szenario Allgemeinwohl höhere staatliche Förderung von Nachhaltigkeitsinnovationen zu einer verstärkten Reaktion der Industrie auf die sich dort verschlechternden Grundwasserbedingungen.



Karte. 2: Industrielle Grundwassernutzung 2012-2025 im Szenarienvergleich des Gesellschaftsszenarios Performance mit dem Gesellschaftsszenario Allgemeinwohl (Angaben in Prozent) (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Entwicklung des Bruttoregionalprodukts

Hier wird anhand der Ergebnisse einer Simulation basierend auf dem Gesellschaftsszenario Baseline gezeigt, in welchen Größenordnungen die Industrieakteure ihre Produktion an die sich ändernden natürlichen und sozioökonomischen Umweltbedingungen anpassen. In der Karte 3 ist die prozentuale Veränderung des Bruttoregionalproduktes (BRP) von 2012 bis 2025 im Januar auf jedem Proxel zu sehen. Hier kann man Wachstumsraten des BRP zwischen +19,77% und +44,86% feststellen. Wenn man eine jährliche Inflationsrate von 2% unterstellt, hieße das, dass Werte kleiner als 29,36% einem negativen realen Wachstum des BRP gleich kämen. Das bedeutet, dass nur die Industrieflächen der obersten Klassen (29,36% bis 44,88% BRP Wachstum) sowohl nominal als auch real ein Wachstum verzeichnen können. Der Bevölkerungsrückgang und die damit abnehmende arbeitsfähige Bevölkerung sind hier die treibenden Kräfte des realen Rückgangs des BRP. Auch die Binnenmigration nach Süddeutschland wirkt nur dämpfend und kann den rückläufigen Bevölkerungstrend nicht kompensieren (siehe EGERER und ZIMMER 2006; ZIMMER 2008). Lediglich die Migration in den Ballungsraum Münchens ist stark genug. Der im restlichen Einzugsgebiet überwiegende Rückgang des BRP wird, ähnlich wie die industrielle Grundwassernutzung, auch durch die sich dort verschlechternden Grundwasserbedingungen beschleunigt.



Karte 3: Bruttoregionalprodukt 2012-2025 Ergebnis eines *Baseline*-Simulationslaufs (Angaben in Prozent) (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

In Weiden ist der Zusammenhang zwischen der prognostizierten Bevölkerungsentwicklung (siehe STATISTISCHES BUNDESAMT 2003) und dem BRP zu erkennen (siehe Abb. 2). Der Bevölkerungsrückgang führt zu einem stark verlangsamten BRP Wachstum, so dass das BRP real sinkt, wenn eine jährliche Inflationsrate von 2% angenommen wird. Folglich ergibt sich im Jahr 2025 ein negatives BRP Realwachstum von -8,39% im Vergleich zum Jahr 2012. Die sinkende industrielle Grundwassernutzung aufgrund des sinkenden Grundwasserdargebots verstärkt diesen Trend.

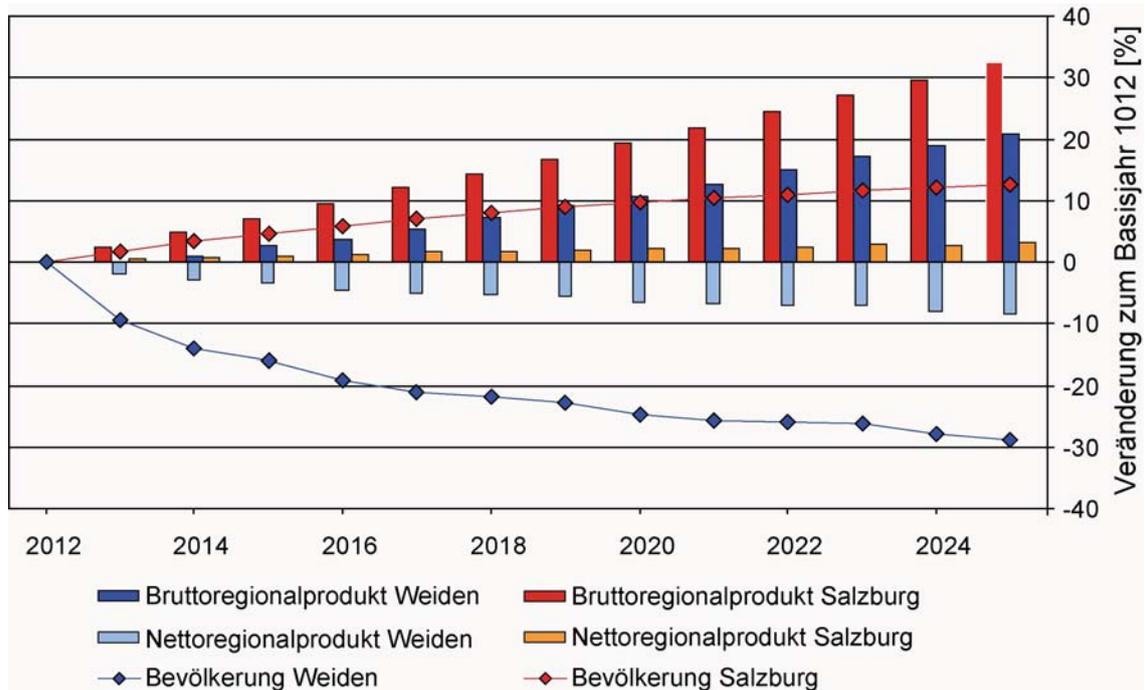
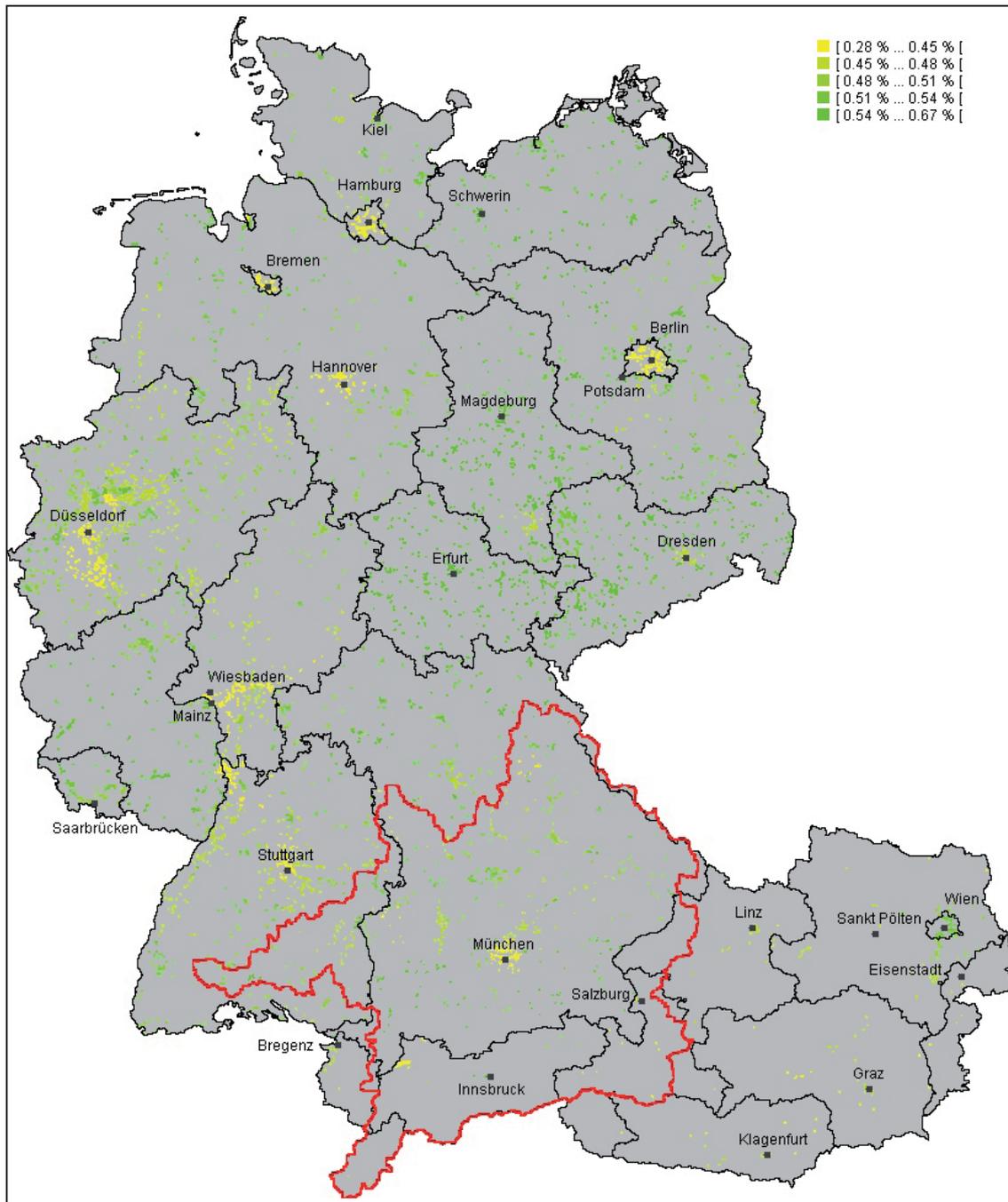


Abb. 2: Veränderung des Bruttoregionalproduktes und der Bevölkerung im Vergleich zum Basisjahr 2012 in Weiden/Oberpfalz und Salzburg - Ergebnis eines *Baseline*-Simulationslaufs

Da für die demographische Entwicklung in Österreich aufgrund der höheren Geburtenraten (siehe STATISTIK AUSTRIA 2005) von einem stetigen Bevölkerungswachstum (am Beispiel Salzburg, siehe Abb. 2) ausgegangen wird, wächst hier sowohl nominal als auch real das BRP an. Der geringe Rückgang der industriellen Grundwassernutzung wirkt sich hier kaum aus.

Bruttoregionalprodukt im Szenarienvergleich

In Karte 4 wird die Differenz der Wachstumsraten des Bruttoinlandsprodukts auf jedem Proxel zwischen 2012 und 2025 als Vergleich einer Simulation des Gesellschaftsszenarios Performance und der des Gesellschaftsszenarios Allgemeinwohl dargestellt. Positive Werte stellen ein stärkeres Wachstum im Szenario Performance dar. Der Wachstumsunterschied über die gesamte Periode von 13 Jahren liegt zwischen +0,28% und +0,67%. Hier überwiegt das stärkere Wachstum des BRP im Szenario Performance im Vergleich zum Szenario Allgemeinwohl. Eine der Ursachen dafür ist die im Szenario Allgemeinwohl stärkere Reaktion auf die sich verschlechternden Grundwasserbedingungen. Dabei verlagert sich die Produktion teilweise auf Proxel auf denen sich die Grundwasserverfügbarkeit im Zeitverlauf günstiger entwickelt. Dementsprechend profitieren Gebiete mit ausreichend Wasser im relativen Vergleich von einer klimabedingten allgemeinen Verknappung des Grundwasserdargebots.



Karte 4: Bruttoregionalprodukt 2012-2025 im Szenarienvergleich des Gesellschaftsszenarios Performance mit dem Gesellschaftsszenario Allgemeinwohl (Angaben in Prozent) (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

4.2 Die Modellierung der Bevölkerungsentwicklung

Das Hauptziel des Demographie-Modells ist die Simulation der für den Wasserverbrauch relevanten Bevölkerungseinheiten. Dabei soll nicht nur die demographische Entwicklung berücksichtigt werden, sondern insbesondere auch Wert auf die räumliche Verteilung der Bevölkerung gelegt werden. Die Bezugseinheit für die räumliche Gliederung ist der einzelne besiedelte Proxel im betrachteten Einzugsgebiet. In der dritten Projektphase liegen nun Szenarienergebnisse vor, die unter Berücksichtigung der GLOWA-Danube-Szenarien mit den anderen Projektpartnern im Verbund simuliert wurden. Die Ausrichtung des Demographie-Modells auf eine lang-

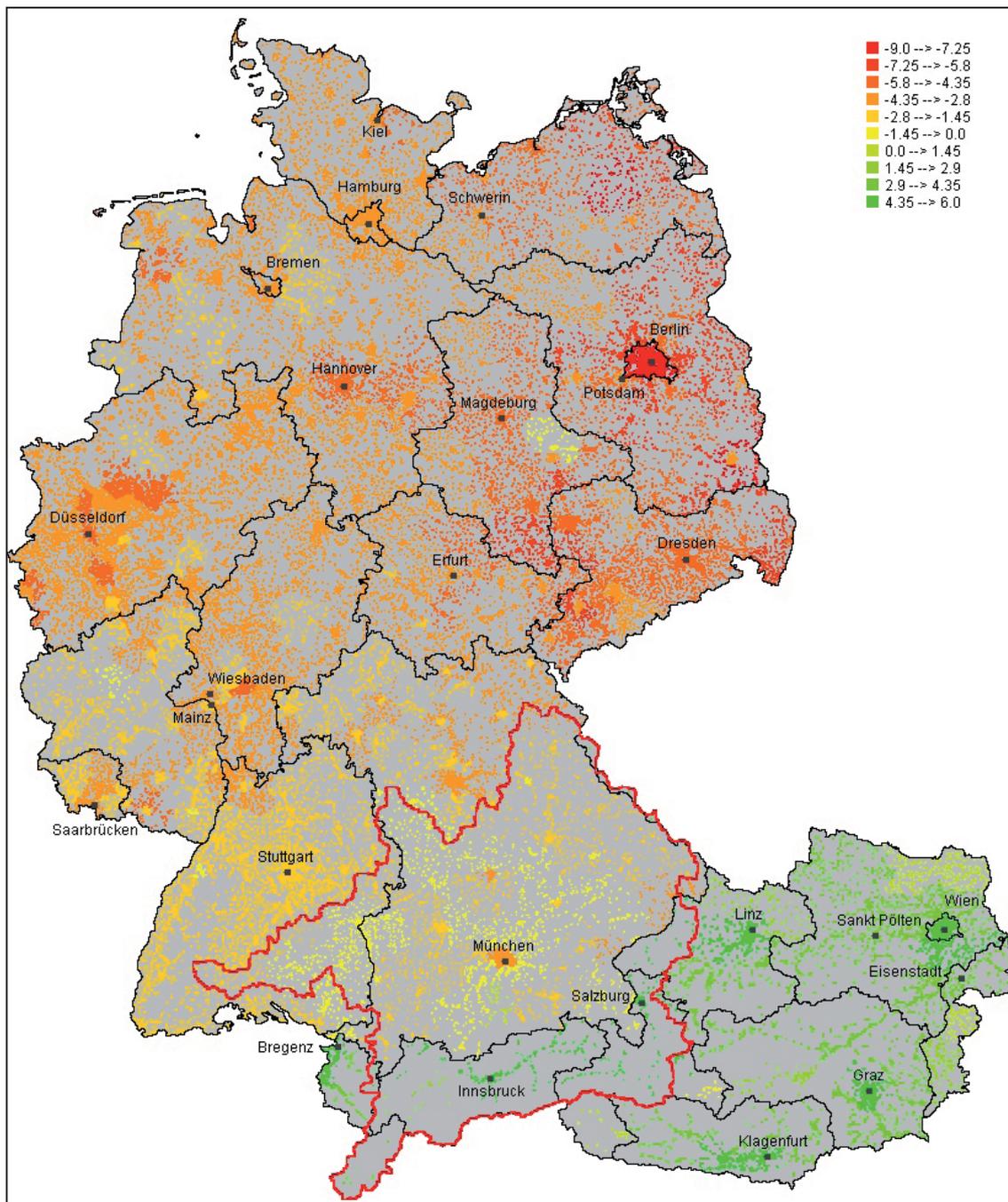
fristige und nachhaltige Nutzung ist ebenfalls geplant sowie erste Schritte hierzu eingeleitet (siehe Kap. 1). Einige ausgewählte Ergebnisse aus den Szenarienläufen sollen in diesem Bericht exemplarisch dargestellt werden.

5. Auswertung der Szenarien

Im Folgenden werden ein Szenario, welches zusammen mit den anderen Modellen gekoppelt gerechnet wurde, sowie drei weitere lokal berechnete Szenarienergebnisse beschrieben. Betrachtet werden die relative Veränderung der Bevölkerung im gekoppelten Lauf sowie die Differenzen zwischen den beiden sozioökonomischen und den beiden klimatischen Szenarien über den Zeitraum von 2012 bis 2025. Die Szenarien gliedern sich in das *Baseline*-Szenario des gekoppelten Laufes sowie die beiden Gesellschaftsszenarios Performance und Allgemeinwohl aus den lokalen Läufen und dem *Baseline*-Szenario des gekoppelten Laufes mit dem Vergleich der beiden Klimavarianten *Baseline* (KV1) und 5-heiße-Sommer (KV3) jeweils unter Verwendung des *Baseline* Klimatrends (KT1).

5.1 Bevölkerungsentwicklung im Baselineszenario

Dargestellt wird hier die Wachstumsrate der Bevölkerung auf jedem Proxel von 2012 bis 2025 im gekoppelten Lauf für das *Baseline*-Szenario mit der *Baseline* Klimavariante (KV1) und dem Klimatrend 1 (KT1). Der allgemeine Bevölkerungsrückgang in Deutschland resultiert dabei hauptsächlich aus demographischen Faktoren, insbesondere der niedrigen Geburtenrate, aber auch aus einer verminderten Zuwanderung. Die regionalen Unterschiede von -1% bis -9% resultieren überwiegend aus dem Binnenwanderungsverhalten welches durch die regionalen Differenzen in der wirtschaftlichen Attraktivität und anderen Annehmlichkeiten, wie z.B. dem Freizeitwert, geprägt wird. Für Österreich sieht die Situation weniger dramatisch aus da manche Regionen noch durch hohe Geburtenraten oder starke Zuwanderung geprägt sind (siehe Karte 5).

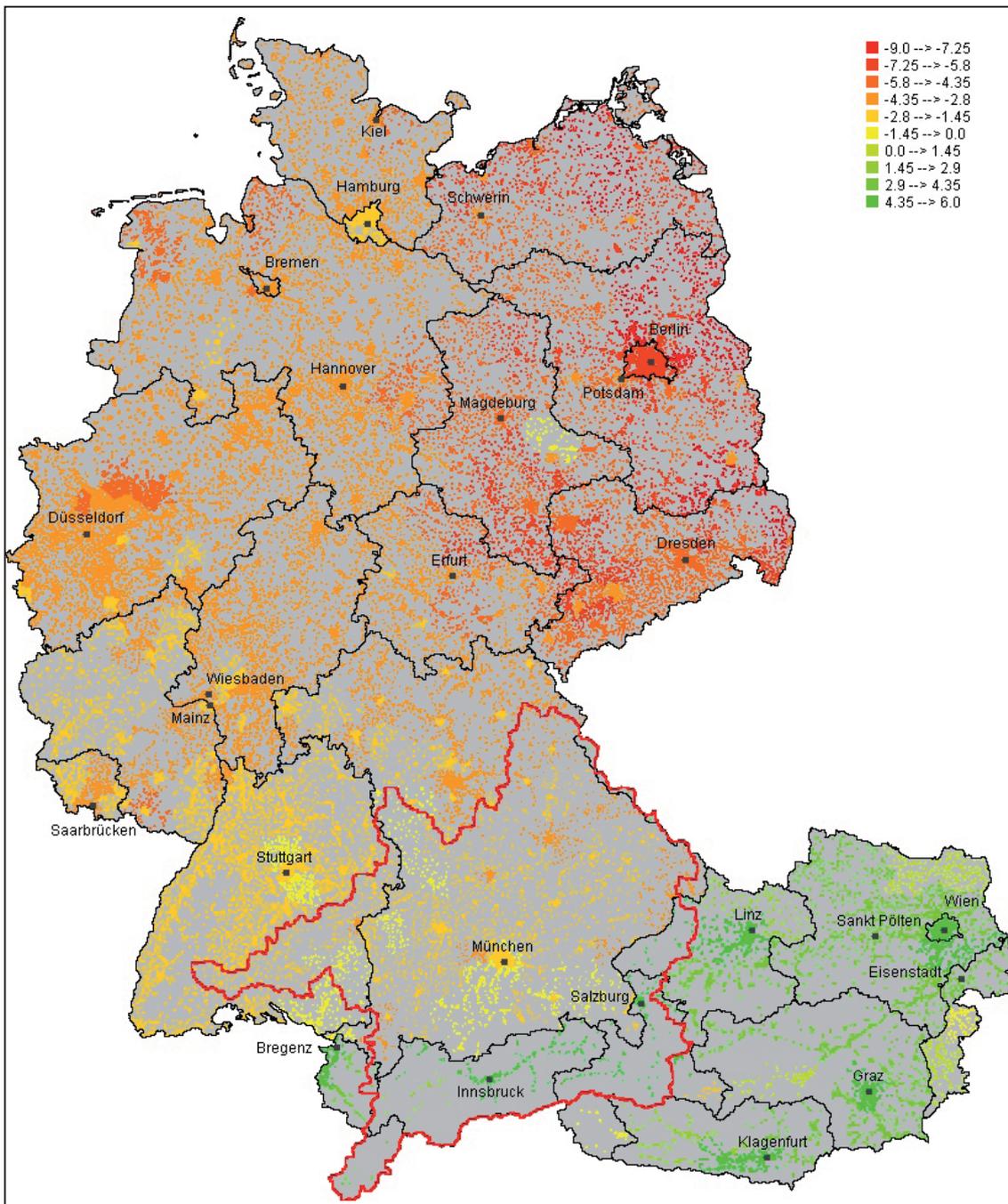


Karte 5: Veränderung der Bevölkerung 2012-2025 Ergebnis eines *Baseline*-Simulationslaufs (Angaben in Prozent) (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

5.2 Bevölkerungsentwicklung im Allgemeinwohlszenario

Die allgemeine Bevölkerungsentwicklung im lokal berechneten Allgemeinwohlszenario ist der des bereits dargestellten *Baseline*-Szenarios sehr ähnlich. Es ist lediglich festzustellen, dass die Entwicklung der Bevölkerung in den städtischen Gebieten auf Kosten der ländlichen Regionen profitiert. Dies trifft insbesondere auf die ländlichen ostdeutschen Gebiete zu, in denen die Bevölkerungsabnahme in weiten Teilen zwischen 5% und 9% liegt während die Situation in den südlichen Bundesländern Bayern und Baden Württemberg deutlich über dem Bundesdurchschnitt liegt und weniger dramatisch erscheint (siehe Karte 6). Gründe für die verstärkte Verstädterung im Allgemeinwohlszenario liegen einerseits in den relativ besseren Umweltbedingungen in den Städten. Andererseits profitieren die Ballungs-

räume mit ihrer Agglomeration an Infrastruktur und wirtschaftlicher Produktion stärker von den Umweltsubventionen, bzw. können stärkere Regulierungsmaßnahmen besser kompensieren.

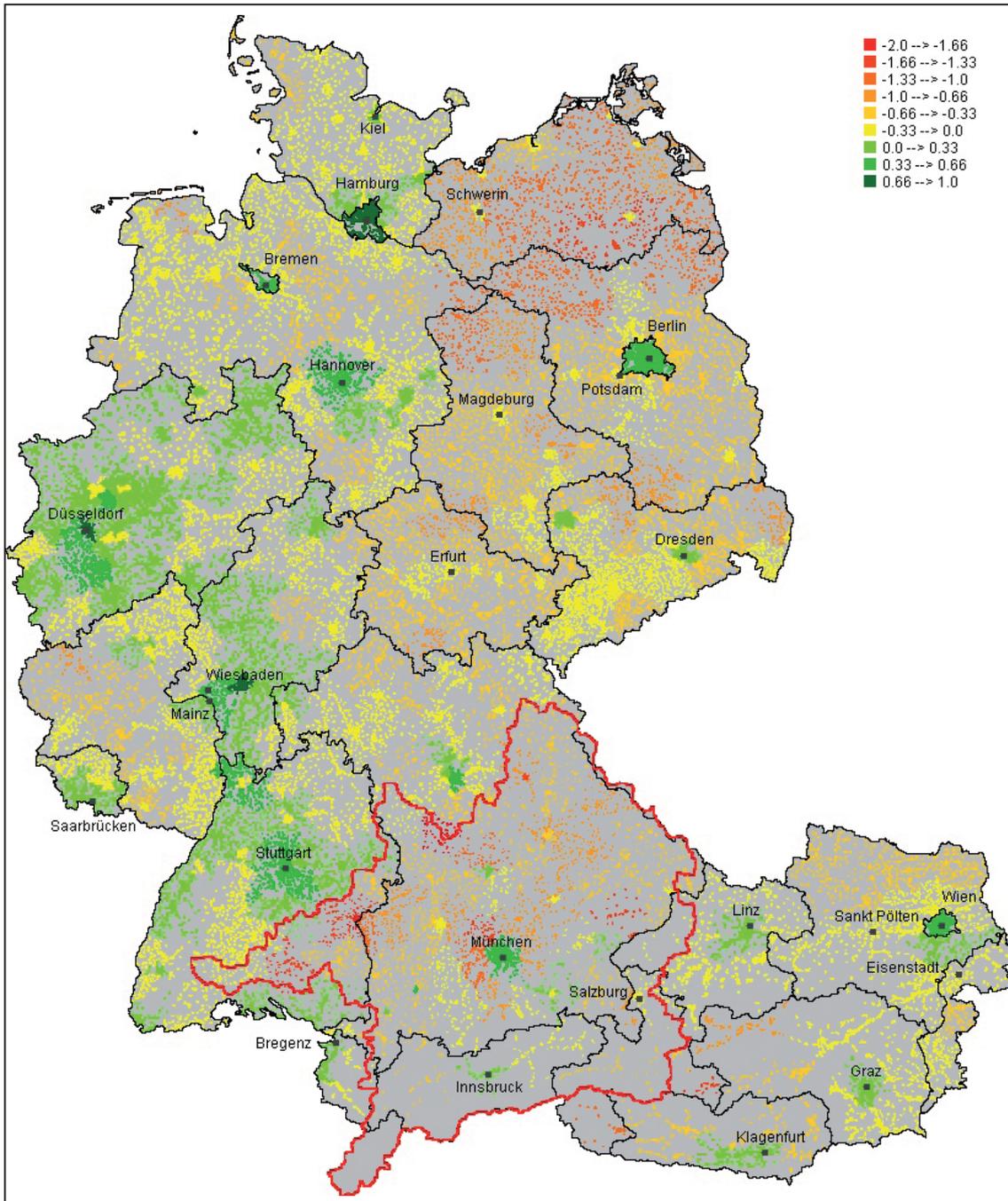


Karte 6: Veränderung der Bevölkerung im Allgemeinwohlszenario 2012-2025 (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

5.3 Bevölkerungsentwicklung im Szenariovergleich

Dargestellt wird hier der prozentuale Unterschied der Wachstumsrate der Bevölkerung auf jedem Proxel zwischen dem Gesellschaftsszenario Allgemeinwohl und Performance von 2012 bis 2025 im lokalen Lauf mit jeweils der gleichen Klimavariante 1 (KV1: *Baseline*).

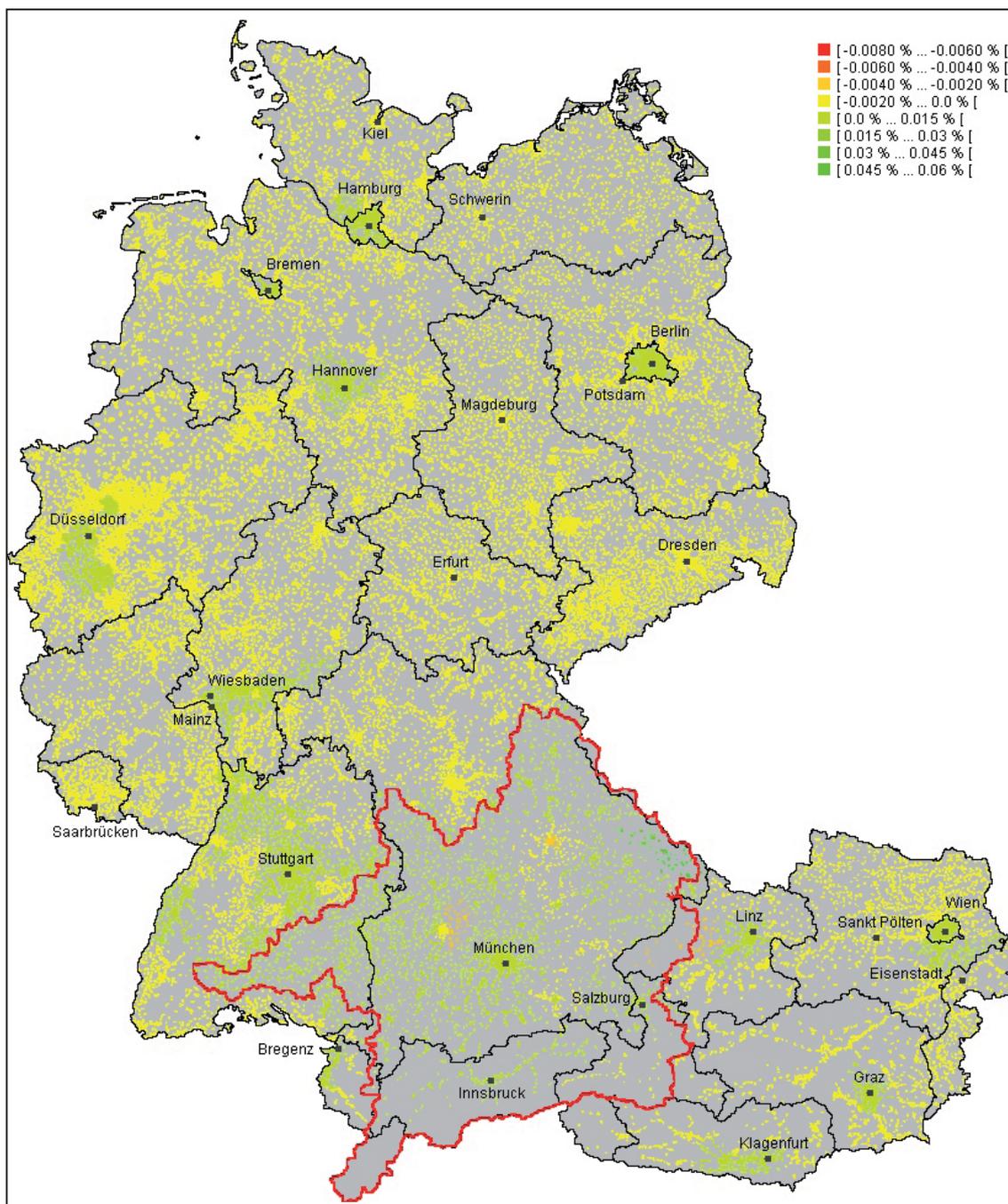
D.h. positive Werte bedeuten ein stärkeres Wachstum im Allgemeinwohlszenario. Wie in Karte 6 zu sehen ist, liegen die Werte zwischen -2% und +1%. Deutlich ist hier wieder eine Landflucht zu erkennen. Die relativen, leicht besseren BIP Veränderungen in den Ballungsgebieten im Allgemeinwohlszenario gegenüber dem Performanceszenario verstärken dies vermutlich.



Karte 7: Bevölkerungsentwicklung 2012-2025 im Szenarienvergleich des Gesellschaftsszenarios Performance mit dem Gesellschaftsszenario Allgemeinwohl (Angaben in Prozent) (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

5.4 Bevölkerungsentwicklung im Szenarienvergleich der Klimavarianten

Folgende zwei Szenarien wurden, zusammen mit den anderen Modellen gekoppelt, gerechnet und werden als Differenzen der Bevölkerungsentwicklung über den Zeitraum von 2012 bis 2025 im Vergleich dargestellt und beschrieben. Das *Baseline* Gesellschaftsszenario beschreibt die Entwicklung der Bevölkerung, die sich durch ein Fortschreiben des bisherigen Status quo in allen Akteursmodellen ergibt. Diesem Szenario wurden unter Verwendung desselben Klimatrends (KT1: *Baseline*) zwei unterschiedliche Klimavarianten, zum einen ein moderates und zum anderen ein wärmeres Klima die so genannte „5-heiße-Sommer“ Klimavariante, zugrunde gelegt. Der Vergleich zwischen dem *Baseline* Gesellschaftsszenario mit der *Baseline* Klimavariante (KV1) und dem *Baseline* Gesellschaftsszenario mit der Klimavariante „5-heiße-Sommer“ ist in Karte 8 zu sehen. Dargestellt wird hier die Differenz der beiden erzielten prozentualen Veränderungsrate auf jedem Proxel. Somit stellen positive Werte eine stärkere Veränderung im 5-heiße-Sommer Klimaszenario dar, während negative Prozentwerte eine schwächere Veränderung der Bevölkerung im heißeren Klimaszenario darstellen. Der Hauptbereich der unterschiedlichen Entwicklungen liegt zwischen -0.004% und $+0.03\%$. Die Migration reagiert demnach kaum auf die geänderten Klimabedingungen. Generell profitieren die großen Ballungszentren und der Südwesten Deutschlands.



Karte 8: Bevölkerungsentwicklung 2012-2025 im Szenariovergleich des *Baseline* Gesellschaftsszenarios mit der *Baseline* Klimavariante und des *Baseline* Gesellschaftsszenarios mit der Klimavariante „5-heiße-Sommer“ (Angaben in Prozent) (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

6. Fazit

Das Teilprojekt Umweltökonomie ist in der Lage, die im Projektantrag gesetzten Ziele zu erfüllen und mithilfe der Szenarienanalysen politisch und wissenschaftlich relevante Aussagen zu den klimabedingten Einflüssen auf das Obere-Donau-Einzugsgebiet zu tätigen. Es zeigt sich in den Szenarien, dass politische Maßnahmen die klimatischen Auswirkungen sehr wohl beeinflussen und die sozioökonomischen Anpassungsprozesse mitbestimmen können. Ziel der Szenarienzüge ist es dabei vorteilhafte Strategien zu identifizieren oder vorgegebene Strategien qualitativ und quantitativ zu bewerten. Neben der kontinuierlichen Generierung,

Erweiterung und Auswertung von Szenarien sind im weiteren Projektverlauf vor allem die Vertiefung des *Open-Source* Prozesses und damit die Ausrichtung von DANUBIA auf eine Nutzung über die Projektlaufzeit hinaus geplant.

7. Literatur

- BARTHEL, R., JANISCH, S., NICKEL, D. und TRIFKOVIC, (2010): Using the Multiactor-Approach in GLOWA-Danube to Simulate Decisions for the Water Supply Sector under Conditions of Global Climate Change. *Water Resources Management* (im Erscheinen).
- 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*, 23, S. 1095-1121.
- EGERER, M. und ZIMMER, M. (2006): Does Global Change Matter? - The case of Industries in the Upper Danube Catchment Area. *Transactions on Ecology and the Environment* 98, S. 75-88.
- LANGMANTEL, L. und WACKERBAUER, J. (2003): RIWU - A Model of Regional Economic Development and Industrial Water Use in the Catchment Area of the Upper Danube, *International Journal of River Basin Management* 1 (2), S. 1-5.
- STATISTIK AUSTRIA (2005): *Volkszählung 2001 - Haushalte und Familien*. Wien.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2003): *Bevölkerung Deutschlands bis 2050 - 10. koordinierte Bevölkerungsvorausbe-rechnung*. Wiesbaden.
- ZIMMER, M. (2008): *Assessing Global Change from a Regional Perspective: An Economic Close-Up of Climate Change and Migration*. Elektronische Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München.

SOBOLL, A. (????): An exploratory analysis of ski resorts' future profitability under climate change conditions: The multidimensional parameter 'Optimal Ski Day'. Submitted to: *Tourism Management*. *Eingereicht*.

SOBOLL, A. und SCHMUDE, J. (???): Simulating Tourism Water Consumption under Climate Change Conditions Using Agent-Based Modeling: The Example of Ski Areas. Revised version submitted to: *Annals of the Association of American Geographers*. *Eingereicht*.

1.3 Veranstaltungen

Mitglieder 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 kommunizieren.

- 28.05.2009 **Expertenhearing und Workshop an der Hochschule München:** Auftaktveranstaltung zum EU-Projekt CLIMALPTOUR. Im Rahmen von Diskussionen und Workshops fand dabei ein inhaltlicher Austausch mit anderen Wissenschaftlern aus dem Bereich Klimawandel und Tourismus statt (A. Dingeldey, A. Soboll).
- 10.06.2009 **Akteurstreffen Stuttgart:** Ziel war es, die Interaktionen zwischen den beteiligten Akteurmodellen in Abhängigkeit der Szenarien, besonders in Bezug auf die neu zu implementierenden Maßnahmen abzustimmen. Diskutiert wurden unter anderem die Szenarien-Bezeichnungen im Hinblick auf ihre Außenwirkung auf der Nationalen GLOWA-Konferenz in Potsdam, das Flaggenkonzept sowie die Maßnahmen. Als Arbeitspaket wurde das Verfassen von Kurzbeschreibungen der Maßnahmen und die Durchführung und Auswertung weiterer gekoppelter Szenarienzüge vereinbart (A. Dingeldey, A. Soboll).
- 24.07.2009 **Projektleitertreffen in München:** Gegenstand des Treffens war vor allem die Vorbereitung der Nationalen GLOWA-Konferenz in Potsdam (A. Soboll).
- 17.-19.08.2009 **Tourism Futures in Brisbane/Australien:** Im Rahmen eines Vortrags (A. Dingeldey: 'The impact of climate change on Alpine tourism') wurden die Ziele und Ergebnisse des Projekts international vorgestellt (A. Dingeldey).
- 12.-14.10.2009 **Nationale GLOWA-Konferenz in Potsdam:** Auf der Konferenz wurden die Ergebnisse der beiden Partner-Projekte GLOWA-Danube und GLOWA-Elbe einer breiten Öffentlichkeit präsentiert. Die Forschungsgruppe Tourismus beteiligte sich mit zwei Vorträgen (J. Schmude: 'GLOWA-Danube Gesellschaftsszenarien' und 'Ausgewählte Ergebnisse des Teilprojekts Tourismus'), zwei Postern ('Struktur der GLOWA-Danube Teilmodelle Tourismus und Ökonomie' und 'Ausgewählte Ergebnisse der GLOWA-Danube Teilmodelle Tourismus und Ökonomie') sowie mehreren Ergebnisfilmsequenzen bei der Demonstration des GLOWA-Danube Entscheidungsunterstützungssystems DANUBIA (J. Schmude, A. Soboll).
- 09.11.2009 **Stakeholder-Workshop Wasserwirtschaft, Wasserversorgung und Tourismus in München:** Prof. Dr. Jürgen Schmude stellte in einem Vortrag die aktuellen Ergebnisse des Teilprojekts inklusive der bearbeiteten *Stakeholder*-Aufträge aus dem

1. Workshop vor. Im Zentrum stand dabei die Implementierung und Auswertung des Parameters ‚Optimaler Skitag‘ (J. Schmude, A. Dingeldey, A. Soboll).

- 08.03.2010 **Projektleitertreffen in München:** Diskutiert wurden hauptsächlich das weitere Vorgehen bis zum Ende des Projekts GLOWA-Danube Phase III sowie die konkrete Planung der Regionalkonferenz am 26.04.2010 (J. Schmude).
- 22.-25.04.2010 **International Conference on Sustainable Tourism - Issues, Debates & Challenges auf Kreta:** Im Rahmen eines Vortrags (A. Soboll: ‚Climate Change and Alpine Winter Tourism: A High Resolution Simulation System for the German and Austrian Alps‘) wurden die Ziele und Ergebnisse des Projekts international vorgestellt (A. Dingeldey, A. Soboll).
- 26.04.2010 **GLOWA-Danube Regionalkonferenz in München:** Auf der für regionale *Stakeholder* ausgerichteten Abschlussveranstaltung engagierte sich die Forschungsgruppe Tourismus mit einem Vortrag und Beiträgen zur Demonstration des Entscheidungsunterstützungssystems DANUBIA (J. Schmude, A. Dingeldey, A. Soboll).

2. Arbeitsschritte im Berichtszeitraum

Im Berichtszeitraum wurde eine Vielzahl von Arbeitsschritten durchgeführt. Diese umfassen schwerpunktmäßig:

- das Verfassen zweier weiterer Beiträge für den Global Change Atlas,
- die Entwicklung, Implementierung und Auswertung des Parameters ‚Optimaler Skitag‘,
- die Entwicklung, Implementierung und Auswertung von verschiedenen Maßnahmen in den GLOWA-Danube Szenarien,
- die kontinuierliche Modellverfeinerung,
- die Auswertung lokaler und gekoppelter Läufe sowie
- die Mitwirkung am *Stakeholder*-Dialog und Publikationen.

Auf diese Punkte wird im folgenden Kapitel kurz eingegangen.

2.1 Erweiterung des Global Change Atlas

Die Forschungsgruppe Tourismus beteiligte sich mit zwei Beiträgen an der Erweiterung des Global Change Atlas. Im Fokus dieser Beiträge stehen die Öffnungstage von Skigebieten bzw. der Wasserbedarf von Golfplätzen unter verschiedenen Klima- und Gesellschaftsszenarien.

2.2 Entwicklung des Parameters ‚Optimaler Skitag‘

Im Rahmen der ersten Runde der *Stakeholder*-Workshops (November 2008) hatten die Beteiligten die Möglichkeit, Anregungen zu Modellerweiterungen zu geben. Diese umfassten für das Teilprojekt Tourismus unter anderem die Entwicklung des Parameters ‚Optimaler Skitag‘, der Tage identifiziert, die besonders gute Bedingungen zum Skifahren bieten. Die Einführung dieses Parameters erscheint besonders vor dem Hintergrund reduzierter Saisonlängen und einer sich abzeichnenden zeitlichen Verschiebung der Skisaisons (vom Skifahren um Weihnachten

tendenziell hin zu Fasching/Ostern) sinnvoll, da Skigebietsbetreiber zukünftig in kürzerer Zeit ihre Gewinnschwelle erreichen müssen. Ebenso sind weitere *Stakeholder* wie etwa Tourismusverbände von der beschriebenen Entwicklung betroffen und benötigen Entscheidungshilfen beispielsweise im Hinblick auf eine angepasste zeitliche und räumliche Fokussierung ihres Werbebudgets. Somit stellt die Einführung des ‚Optimalen Skitags‘ eine an die Folgen des Klimawandels angepasste Spezifizierung der sogenannten „100-Tage-Regel“ (vgl. BLOETZER et al. 1998, 80ff.) dar. Der Parameter zeigt die zeitliche Verschiebung der optimalen Bedingungen innerhalb der Skisaisons während des Simulationszeitraums sowie räumlich zwischen den Skigebieten im Untersuchungsraum. In Verbindung mit den anderen zur Verfügung stehenden Parametern trägt der ‚Optimale Skitag‘ zur Entwicklung geeigneter Adaptationsstrategien von Skigebieten an den Klimawandel bei.

Da der Parameter sowohl objektiv klimatische als auch nachfrageseitig perzeptionelle Aspekte umfasst, kann er als klimatouristischer Index begriffen werden. ABEGG (1996, 13ff.) beschreibt derartige klimatouristische Indizes als Kennziffern, die entweder gängige Klimaparameter wie Niederschlag oder Sonnenscheindauer miteinander verknüpfen (elementare Indizes), auf das menschliche Wohlbefinden fokussieren (bioklimatische Indizes) oder Perspektiven beider Indizes miteinander verknüpfen (kombinierte Indizes). Dementsprechend kann der Parameter ‚Optimaler Skitag‘ als kombinierter klimatouristischer Index charakterisiert werden.

Für dessen Entwicklung wurden zunächst auf Basis einer umfangreichen Literaturrecherche mehrere diesen Parameter bestimmende und zugleich im Modell operationalisierbare Einflussgrößen identifiziert. Ihre jeweiligen Ausprägungen wurden anschließend anhand von sieben Expertengesprächen mit Skigebietsbetreibern, Skilehrern sowie Verantwortlichen von Tourismusverbänden festgelegt. Daraus resultiert die Festlegung eines ‚Optimalen Skitags‘ nach folgenden Variablen und Ausprägungen:

Tab. 1: Parameter ‚Optimaler Skitag‘: Variablen und Ausprägungen

Variable	Ausprägung
Kein Niederschlag	Niederschlagssumme = 0
Geschlossene Schneedecke in der Umgebung (Kulissenfunktion)	Schneehöhe > 0
Skigebiet vollständig in Betrieb	ja
Genug Schnee auf den Pisten	ja
Genug Kunstschnee auf den Pisten	ja
Angenehme gefühlte Temperatur	-5 bis +5 °C
Sonnenscheindauer (klarer Himmel)	ab 5 h/Tag
Windgeschwindigkeit	max. 10 m/s

Es wird angenommen, dass Niederschlag von Skifahrern als störend empfunden wird. Daher ist eine Bedingung für einen ‚Optimalen Skitag‘, dass dieser niederschlagsfrei ist. Für eine ansprechende Kulisse ist neben ausreichend beschneiten Pisten auch eine geschlossene Schneedecke in der Umgebung des Skigebiets erforderlich. Dieser Aspekt ist eher psychologischer Natur, hat jedoch nach übereinstimmender Meinung der befragten Experten eine große Bedeutung. Dies wird besonders deutlich, wenn man das extreme Gegenteil - eine künstliche Skipiste in ansonsten vollständig grüner Umgebung - betrachtet.

Ein weiteres Kriterium ist der Betriebszustand des jeweiligen Skigebiets. Zwei der Experten erachteten es gerade bei großen Skigebieten als nicht zwingend erforderlich, dass das gesamte Gebiet geöffnet ist. Die Mehrheit der Befragten erwartet jedoch an einem ‚Optimalen Skitag‘ ein gänzlich in Betrieb befindliches Gebiet. Auch aufgrund modelltechnischer Anforderungen wurde die Variable entsprechend der mehrheitlichen Meinung implementiert.

Für das Skifahren ist eine ausreichende Schneehöhe der zentrale Faktor. In Orientierung an HALL und HIGHAM (2005), die idealtypische klimatische Anforderungen für verschiedene wintersporttouristische Aktivitäten auflisten, werden die Schwellenwerte für Alpinski mit 20 bis 30 cm angegeben. Im Tourismusmodell werden regionalspezifische Schwellenwerte für jedes Skigebiet verwendet. Die Skigebietsakteure im Modell *DeepTourism* öffnen erst ab dem Erreichen dieser regionalspezifischen Schneehöhe (Kunst- und/oder Naturschnee, implementiert als Schnee-Wasser-Äquivalent).

Hinsichtlich der Wärmebilanz und somit des Temperaturempfindens liegen sich verschiedene Ansätze vor. Einer davon ist die Diskomfort-Gleichung (Predicted Mean Vote, PMV) nach FANGER (1972). Diese berücksichtigt neben dem aktivitätsabhängigen Wärmeumsatz und der Bekleidung des Menschen aktuelle meteorologische Bedingungen wie Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit. Der Mensch kann seine Wärmeabgabe dabei durch die Wahl der Aktivität und Bekleidung beeinflussen. Die resultierende neunstufige Skala rankt das thermische Empfinden von sehr kalt bis sehr heiß zwischen -3,5 und +3,5 PMV. Da die Skala nicht an Temperaturen geknüpft ist, wird ihr häufig mangelnde Intuition vorgeworfen. Zudem ist der Ansatz im Modell *DeepTourism* auf diese Weise nicht implementierbar. Stattdessen wird auf eine Weiterentwicklung der Diskomfort-Skala, die „gefühlte Temperatur“ (Physiological Equivalent Temperature, PET) nach MATZARAKIS et al. (1999), zurückgegriffen. Diese vergleicht die realen Bedingungen mit der Temperatur, die in einer Standardumgebung (tiefer Schatten, z. B. im Wald, Windzug von 0,1 m/s) herrschen müsste, um ein identisches Empfinden zu haben und wird in °C angegeben. Aus den Expertengesprächen ergab sich ein Temperaturbereich zwischen -5 und +5 °C, der während des Skifahrens als angenehm empfunden wird. Dies entspricht einem leicht kühlen thermischen Empfinden auf der PET-Skala. Dementsprechend wurde für den ‚Optimalen Skitag‘ als weitere Bedingung festgelegt, dass die Tagestemperaturen innerhalb des genannten Bereichs liegen.

Weiterhin werden eine Sonnenscheindauer von mindestens fünf Stunden sowie maximale Windgeschwindigkeiten von 10 m/s vorausgesetzt.

Die sechs erstgenannten Variablen waren bereits im Modell *DeepTourism* integriert und konnten daher direkt in die Implementierung des neuen Parameters eingebunden werden. Um zusätzlich Sonnenscheindauer und Windgeschwindigkeit berücksichtigen zu können, mussten weitere Schnittstellen in das Gesamtsystem DANUBIA eingefügt werden. Dafür mussten die Controller für den Datenaustausch angepasst werden, damit die in den meteorologischen Modellen erzeugten Daten auch im Tourismusmodell genutzt werden können. Somit lassen sich nun auch die genannten Daten zur Laufzeit in das Modell *DeepTourism* importieren. Auf diese Weise konnte das Modell um die Berechnung des Parameters ‚Optimaler Skitag‘ erweitert werden, für jeden Tag wird über das gesamte Untersuchungsgebiet die Anzahl der ‚Optimalen Skitage‘ ermittelt. Die Parameterberechnung wurde im Anschluss an die technische Implementierung zunächst lokal und anschließend in gekoppelten Läufen ausführlichen Tests unterzogen. Nach Abschluss der Testphase wurden die bestehenden Auswerterroutinen um eine Routine für den neuen Parameter ‚Optimaler Skitag‘ erweitert. In den Simulationsläufen wird nun die dem gewählten GLOWA-Danube-Szenario entsprechende Anzahl ‚Optimaler Skitage‘ ausgegeben. Abbildung 1 zeigt exemplarisch für das Szenario REMO regional - Baseline - Baseline die durchschnittliche Anzahl Optimaler Skitage pro Wintersaison im Untersuchungsgebiet nach Landkreisen für die Zeiträume 2011/2012 bis 2018/2019 (oben) und 2049/2050 bis 2058/2059 (unten).

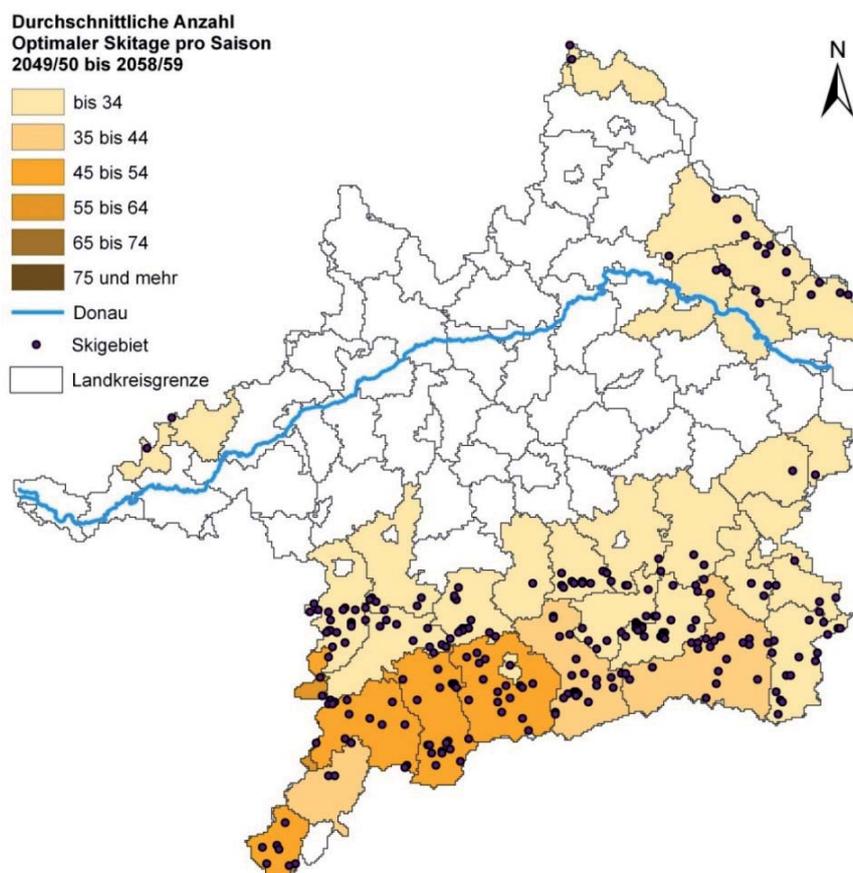
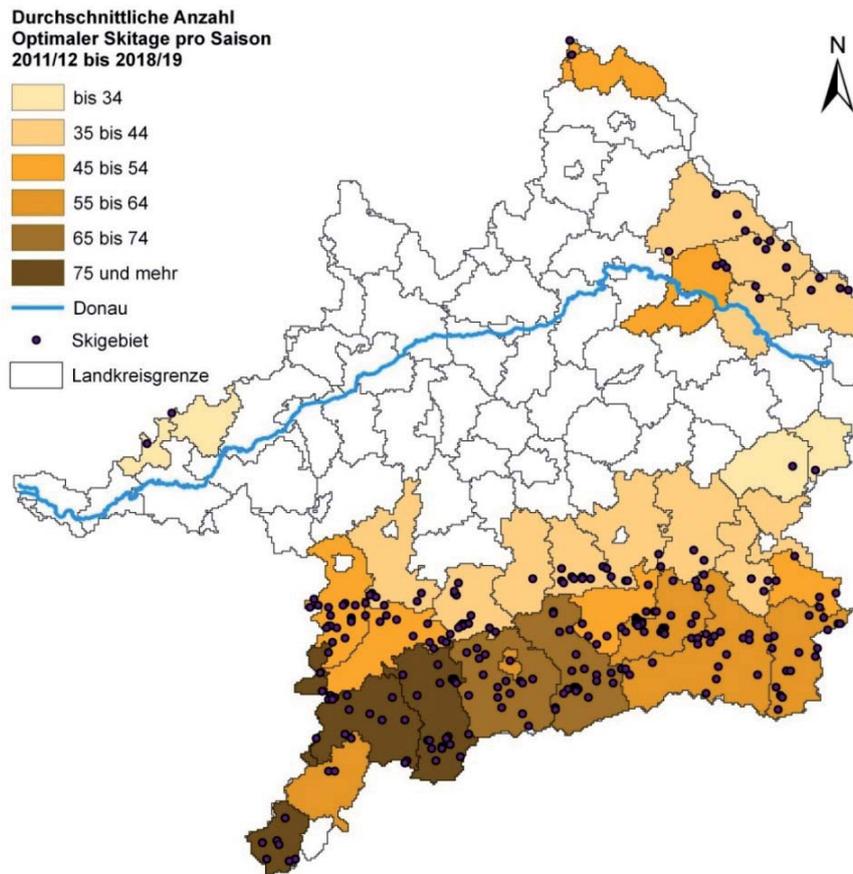


Abb. 1: Durchschnittliche Anzahl Optimaler Skitage pro Wintersaison 2011/12 bis 2018/19 und 2049/50 bis 2058/59

Es zeichnet sich eine generelle Abnahme der Anzahl Optimaler Skitage ab, die allerdings regional unterschiedlich stark ausfällt. So können beispielsweise die Gebiete im Tirol/Österreich auch gegen Ende des Simulationszeitraums noch mit einer vergleichsweise hohen Zahl Optimaler Skitage rechnen, während der Trend unter anderem für Skigebiete im Bayerischen Wald von einem ohnehin niedrigeren Ausgangsniveau zu noch weniger Optimalen Skitagen geht. Aus diesen Ergebnissen und weiteren Auswertungen der intrasaisonalen Verschiebungen von Optimalen Skitagen lässt sich etwa für Tourismusverbände abschätzen, wann Marketingmaßnahmen am sinnvollsten durchgeführt werden müssen, um Streuverluste möglichst gering zu halten. Zudem stellt der Parameter eine Weiterentwicklung der in der Tourismusforschung häufig angewendeten 100-Tage-Regel dar, die eine Beurteilung der Wirtschaftlichkeit eines Skigebiets allein anhand der durch die Schneehöhe bestimmten Öffnungstage vornimmt (ABEGG 1996. 61f.).

2.3 Entwicklung verschiedener Maßnahmen in den GLOWA-Danube Szenarien

Die Forschungsgruppe Tourismus ist Mitglied der Arbeitsgruppe GLOWA-Danube Szenarien seit ihrer Gründung im Mai 2008. Im vergangenen Berichtszeitraum wurden bereits integrativ teilprojektübergreifend drei Gesellschaftsszenarien (Baseline, Performance, Allgemeinwohl) entwickelt. Diese wurden auf die einzelnen Teilprojekte übertragen, in konkrete Parameter-Ausprägungen übersetzt, implementiert, getestet und sind inzwischen voll lauffähig.

Zur konkreteren Unterstützung von Entscheidungen wurden im Berichtszeitraum zudem verschiedene Maßnahmen entwickelt. Eine Maßnahme wurde in der Arbeitsgruppe Szenarien definiert als „gezielter, punktueller Eingriff, um einer Entwicklung um ausgewählten Szenario entgegenzuwirken oder sie zu unterstützen“ (KUHN et al. 2009, 7) und ist innerhalb eines GLOWA-Danube Szenarios die vierte, optionale Komponente des Baukastens neben den Klimatrend, der Klimavariante und dem Gesellschaftsszenario. Maßnahmen werden für einzelne Akteure definiert und sind mit unterschiedlichen Gesellschaftsszenarien kompatibel. Sie beginnen zu einem definierten Zeitpunkt und sind räumlich begrenzt.

Zunächst wurden die Interaktionen zwischen den beteiligten Akteurmodellen in Abhängigkeit der (Gesellschafts-) Szenarien und der zu entwickelnden Maßnahmen abgestimmt. Anschließend wurden innerhalb der Forschungsgruppe Tourismus für die *DeepActors* Skigebiete und Golfplätze beispielhaft sechs Maßnahmen definiert und in Kurzbeschreibungen textlich erläutert:

Maßnahmen Skigebiete (MAS)

MAS 0

Diese Maßnahme bewirkt keine Änderungen der im gewählten Gesellschaftsszenario definierten Parameter-Ausprägungen. Diese MAS wird standardmäßig gewählt und verdeutlicht so den optionalen Ansatz der Verwendung von Maßnahmen. Ist für eine Fragestellung das Zuschalten einer Maßnahme irrelevant, bleibt also die Einstellung bei MAS 0.

MAS 1

Diese Maßnahme betont regionale Unterschiede in der gebietskörperschaftlichen Förderung von Skigebieten und setzt einen räumlichen Schwerpunkt. In MAS 1 liegt der Fokus in Nordbayern (u. a. Skigebiete im Bayerischen Wald, identifiziert durch die Actors-ID), dort dürfen Skigebiete ab dem Jahr 2025 ihre Beschneigungsanlagen erneut um bis zu 50 % erweitern.

MAS 2

Die Maßnahme stellt auf den sich abzeichnenden Konzentrationsprozess auf vorhandene große und schneesichere Skigebiete innerhalb der Tourismuswirtschaft ab (vgl. MAIER und KADNER 2005, 144ff.). Diese Entwicklung wird von den Gebietskörperschaften forciert, indem im Jahr 2025 die 30 größten Skigebiete im Untersuchungsraum ihre Beschnei-

ungsanlagen um bis zu 50 % erweitern dürfen. Die Größe eines Skigebiets misst sich dabei an dessen Beförderungskapazität (Personen/Stunde) und an der Pistenfläche (ha).

MAS 3

Einer konträren Überlegung folgend geht diese Maßnahme davon aus, dass kleinere und niedriger gelegene Skigebiete aufgrund des Klimawandels in ihrer Existenz gefährdet sind und daher gefördert werden sollten. Seitens der Gebietskörperschaften ist ihnen deswegen der Ausbau von Beschneiungsanlagen erlaubt, auch um den Tourismus in strukturschwächeren Regionen zu fördern. So sieht die Maßnahme im Jahr 2025 für die 30 wirtschaftlich am schlechtesten positionierten Skigebiete vor, dass sie Beschneiungsanlagen einführen bzw. vorhandene Anlagen um bis zu 50 % erweitern dürfen.

Wie oben erwähnt, sind die Maßnahmen mit allen Gesellschaftsszenarien kompatibel. Im Falle der Skigebiets-Maßnahmen verstärkt sich die Entwicklung in den Szenarien Baseline und Performance, da hier bereits generell die Präferenz marktwirtschaftlicher Problemlösungsmechanismen im Vordergrund steht bzw. zur Nachfragebefriedigung alle verfügbaren Technologien eingesetzt werden. Eine zugeschaltete Maßnahme hat in diesen Fällen also einen positiven Rückkopplungseffekt. Dem Gesellschaftsszenario Allgemeinwohl wirken die beschriebenen Maßnahmen jedoch entgegen. In diesem Szenario werden nicht alle technisch möglichen Neuerungen in der Wirtschaft umgesetzt. Zudem ist eine Hinwendung zu interventionistischen Eingriffen seitens des Staates zu beobachten. Die beschneite Fläche von Skigebieten bleibt unverändert, da die Meinung vorherrscht, dass man dem Klimawandel auf Dauer nicht mit technischen Mitteln begegnen kann und der Investitions- und Ressourcenaufwand dem allgemeinen Umweltbewusstsein und nachhaltigen Ansätzen widersprechen. Die zur Auswahl stehen Maßnahmen stellen dabei externe, punktuelle Eingriffe dar, die sich über die herrschenden Bedingungen im Gesellschaftsszenario hinweg durchsetzen und eine räumlich und zeitlich begrenzte abweichende Entwicklung für ausgewählte Akteure implizieren.

Zwei weitere Maßnahmen wurden exemplarisch für die Golfplätze beschrieben:

Maßnahmen Golfplätze (MAG)

MAG 0

Diese Maßnahme bewirkt keine Änderungen der im gewählten Gesellschaftsszenario definierten Parameter-Ausprägungen. Diese MAS wird standardmäßig gewählt und verdeutlicht so den optionalen Ansatz der Verwendung von Maßnahmen. Ist für eine Fragestellung das Zuschalten einer Maßnahme irrelevant, bleibt also die Einstellung bei MAS 0.

MAG 1

Der Golftourismus stellt einen enormen Wachstumsmarkt dar, der sich bereits seit Jahren konstant positiv entwickelt und inzwischen ein relevantes touristisches Marktsegment ist (vgl. DGV 2009). Entgegen etwaiger Restriktionen dürfen daher alle Golfplätze im Untersuchungsgebiet ab dem Jahr 2025 ihre Fairways uneingeschränkt bewässern.

Die Implementierung der Maßnahmen erfolgt über Einstellungen in den Konfigurationsdateien. In diesen können für die gewählte Szenarienkombination optional einzelne Maßnahmen zugeschaltet werden. Die Konfigurationsdateien wurden so modifiziert, dass die Maßnahmenauswahl über die graphische Benutzeroberfläche erfolgen kann. Darüber hinaus können erfahrene Anwender eine Vielzahl modellrelevanter Parameter mit Hilfe dieser Dateien verändern.

2.4 Kontinuierliche Modellverfeinerung

Neben den oben aufgeführten Modelländerungen waren kleinere Anpassungen im Framework notwendig.

2.4.1 Anpassung des Modells an das neue Datenformat

Für lokale und teilgekoppelte Simulationsläufe werden die Input-Daten aus anderen GLOWA-Danube Teilmodellen aus speziellen Dateien eingelesen. Beispielsweise werden Klimadaten in einem modellspezifischen Dateiformat gespeichert. Die Umstellung dieses Formates durch das Teilprojekt Meteorologie erforderte eine Anpassung des Tourismusmodells an dieses neue Datenformat. Daher wurden die Eingabeschnittstellen neu programmiert, lokal getestet und ausgewertet, sodass sie nun auch mit dem neuen Datenformat fehlerfrei arbeiten.

2.4.2 Kopplung der Modelle Tourism und Snow

Bereits im vergangenen Berichtszeitraum wurde das Konzept zur Verfeinerung der Beschneifungsfunktionalität in Zusammenarbeit mit der Forschungsgruppe Glaziologie nahezu fertig gestellt, letzte Konkretisierungen fanden im aktuellen Berichtszeitraum statt. Somit stehen nun je nach Modellkontext zwei Optionen zur Verfügung: Für lokale Simulationsläufe des Tourismusmodells ohne Kopplung zu den Naturwissenschaften werden künstliche Beschneigung und Taufunktion im Tourismusmodell selbst durchgeführt. Dabei hängt die Möglichkeit der technischen Beschneigung von der minimalen Feuchtkugeltemperatur, die Taugeschwindigkeit von der Tagesmaximaltemperatur ab. Durch diese Erweiterung kann das Modell Tourism Wärmeeinbrüche während der Wintersaison und deren negative Folgen für den alpinen Wintersport besser abbilden, sodass eine realistischere Abbildung der Wintersportinfrastruktur des Untersuchungsgebiets gewährleistet ist. Für Simulationsläufe im komplett gekoppelten System wird die Beschneigung im Teilmodell Snow durchgeführt und reagiert noch präziser auf Unterschiede im Tagesgang. Diese Funktion kann erst getestet werden, wenn Testläufe im Gesamtmodell durchgeführt werden.

2.4.3 Ausbau der Auswerteroutinen

Die Datenausgabe des Modells Tourism erfolgt auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Ebenen. Dabei gibt es spezielle Log-Dateien für jeden *DeepActor* und alle touristischen Gemeinden. Für jeden Simulationslauf wird somit eine Vielzahl von Ausgabedateien erzeugt. Für die Auswertung ist eine räumliche und zeitliche Aggregation der Simulationsdaten notwendig. Zur einfacheren Verarbeitung der Ausgabedateien wurden in JAVA spezielle Konvertierungsprogramme entwickelt, welche eine schnelle Auswertung einzelner Parameter ermöglichen und bisher zeitaufwendige manuelle Konvertierungen automatisieren. Die Konvertierungsprogramme erzeugen Dateien, die unmittelbar von Datenbanken, Tabellenkalkulationen und geographischen Informationssystemen genutzt werden können. Für den infolge des *Stakeholder*-Dialogs neu eingeführten Parameter ‚Optimaler Skitag‘ wurden diese Ausgabedateien erweitert.

2.5 Auswertung der Läufe

Ab Mitte des Jahres 2009 wurden eine Reihe von gekoppelten Läufen mit unterschiedlichen Klimaszenarien, Klimatrends und Gesellschaftsszenarien durchgeführt. Zudem wurden im Berichtszeitraum erstmals die vorgestellten Maßnahmen (vgl. Kap. 2.3) in den gekoppelten Simulationsläufen berücksichtigt. Die generierten Daten wurden anschließend mit Hilfe der Auswerteroutinen (vgl. Kap. 2.4.3) verarbeitet. Die Ergebnisse fanden unter anderem in die oben genannten Artikel und Vorträge (vgl. Kap. 1.2, 1.3) Eingang.

2.6 Mitwirkung am *Stakeholder*-Dialog

Die Forschungsgruppe Tourismus beteiligte sich auch in diesem Berichtszeitraum am *Stakeholder*-Dialog. In Reaktion auf den *Stakeholder*-Workshop im November 2008 wurde der Parameter ‚Optimaler Skitag‘ entwickelt und implementiert (vgl. Kap. 2.2). Zudem war die

Forschungsgruppe Tourismus aktiv in die Nationale GLOWA-Konferenz (Oktober 2009), den *Stakeholder-Workshop* (November 2009) und die Regionalkonferenz (April 2010) sowie die jeweilige Vor- und Nachbereitung eingebunden, um potentiellen Anwendern und Nutzern das Entscheidungsunterstützungssystem DANUBIA und die Ergebnisse des Teilprojekts Tourismus näher zu bringen. Zu diesem Zweck erstellte die Forschungsgruppe Tourismus im Berichtszeitraum zudem zwei Beiträge für den Global Change Atlas. Die gesamten Aktivitäten im *Stakeholder-Dialog* sind ausführlich im Bericht des Teilprojekts Koordination dargestellt.

3. Zukünftige Arbeitsschritte

Für die verbleibende Zeit der kostenneutralen Verlängerung bis einschließlich Juli 2010 sind in der Forschungsgruppe Tourismus hauptsächlich noch folgende Arbeitsschritte auszuführen:

- Abschließen der Vorbereitungen auf die Überführung von DANUBIA in ein *Open-Source*-Projekt (v. a. Dokumentation des Quellcodes, besonders hinsichtlich der aktuellen Erweiterungen des Modells *DeepTourism*),
- letzte Anpassungen des Modells *DeepTourism* in DANUBIA in Abstimmungen mit den weiteren Akteurmodellen,
- Fortsetzen der laufenden und geplanten Publikationen in begutachteten Fachjournalen.

4. Literatur

ABEGG, B. (1996): Klimaänderung und Tourismus. Klimafolgenforschung am Beispiel des Wintertourismus in den Schweizer Alpen (= Schlussbericht NFP, 31). Zürich.

BLOETZER, W., EGLI, T., PETRASCHECK, A., SAUTER, J. und STOFFEL, M. (1998): Klimaänderungen und Naturgefahren in der Raumplanung. Methodische Ansätze und Fallbeispiele (= Synthesebericht NFP, 31). Zürich.

DGV (Deutscher Golf Verband e. V.) (Hrsg.) (2009): Der deutsche Golfmarkt 2008. Wiesbaden. URL: www.golf.de/dgv/imagdata/marktbericht_golf_2008_v8.pdf; Stand: 25.02.2010.

FANGER, P. O. (1972): Thermal Comfort. Kopenhagen.

HALL, C. M. und HIGHAM, J. (2005): Introduction: Tourism, Recreation and Climate Change. In: HALL, C.M. und HIGHAM, J. (Hrsg.): Tourism, Recreation and Climate Change. Clevedon, Buffalo, Toronto.

KUHN, S., SCHMUDE, J. und HENNICKER, R. (2009): GLOWA-Danube Szenarien. Internes Arbeitspapier der Szenariengruppe. Unveröffentlicht.

MAIER, J. und KADNER, B. (2005): Krisenbewältigung im Tourismus. Der Klimawandel als Krisenfelder und Anpassungsstrategien im bayerischen Alpenraum und speziell im Mittelgebirge. In: PECHLANER, H. und GLAESSER, D. (Hrsg.): Risiko und Gefahr im Tourismus. Erfolgreicher Umgang mit Krisen und Strukturbrüchen (= Schriften zu Tourismus und Freizeit, 4). Berlin.

MATZARAKIS, A., MAYER, H. und IZIOMON, M.G. (1999): Applications of an Universal Thermal Index. Physiological Equivalent Temperature. In: International Journal of Biometeorology 43, S. 76-84.