



GLOWA – Danube

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

Jahresbericht 2005

über den Fortgang des Projektes 07GWK04
Berichtszeitraum: 01.03.2005 – 28.02.2006

Zusammengestellt durch:
Prof. Dr. Wolfram Mauser
Dr. Ulrich Strasser

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

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart Jahresbericht 2005	
3a. Titel des Berichts GLOWA-Danube: Integrative Techniken, Szenarien und Strategien zur Zukunft des Wassers im Einzugsgebiet der Oberen Donau		
3b. Titel der Publikation		
4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n)) Zusammenstellung des Berichts und Herausgabe durch: Prof. Dr. Wolfram Mauser und Dr. Ulrich Strasser. <u>Die einzelnen Kapitel wurden von den Leitern der Teilprojekte verfasst.</u>		5. Abschlussdatum des Vorhabens 28.02.2006
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n))		6. Veröffentlichungsdatum 30.04.2006
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Ludwig-Maximilians-Universität Department für Geo- und Umweltwissenschaften Sektion Geographie Lehrstuhl für Geographie und Geographische Fernerkundung Luisenstr. 33 80333 München		7. Form der Publikation
		9. Ber. Nr. Durchführende Institution
		10. Förderkennzeichen *) 07GWK04
		11a. Seitenzahl Bericht 326
		11b. Seitenzahl Publikation
13. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn		12. Literaturangaben
		14. Tabellen 37
		15. Abbildungen 203
16. Zusätzliche Angaben - Der Jahresbericht 2005 ist auch auf CD erhältlich -		
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Uta von Witsch, Projektträger DLR des BMBF Umweltforschung und -technik, Heinrich Konen Str. 1, D- 53227 Bonn		
18. Kurzfassung		
<ul style="list-style-type: none"> • Weiterentwicklung des Prototyps des Global Change Entscheidungsunterstützungssystems DANUBIA in Form eines parallel laufenden, gekoppelten Modellverbundes. DANUBIA besitzt eine räumliche und zeitliche Struktur und basiert auf einer klaren Zuordnung der Kompetenzen zwischen den Projektpartnern • Weiterentwicklung der bestehenden sektoralen Ansätze • Entwicklung und Implementierung des deep-actor-frameworks • Erstellung und Herausgabe eine Global-Change Atlases für die Obere Donau in einer Druck- sowie einer Online-Version • Pflege des Geographischen Informationssystems (GIS) und eines gemeinsamen Datenverbunds zur Oberen Donau: dazu gehören nun auch eine an Landkreise angepasste Landnutzung sowie die Sinus-Lebensstil-Milieus • Entwicklung erster gekoppelter Modellansätze zur Simulation des Verkehrsgeschehens, des wind-induzierten Schneetransports sowie der Bodentemperatur • Erstellung eines Konzeptes zur Modellierung der Bodenerosion und zur Kopplung von Landoberflächen- und Atmosphärenprozessen • Entwicklung einer Reihe von Analysetools • Durchführung und Analyse Szenario-Rechnungen mit DANUBIA • Ausbau des Linux-Rechenclusters und der Satellitendatenempfangsstation 		
19. Schlagwörter DANUBIA, UML, JAVA, Proxel, Parameter, gekoppelte Modelle, tiefer Akteur, Szenarien, Globaler Wandel		
20. Verlag		21. Preis

*) Auf das Förderkennzeichen des BMBF soll auch in der Veröffentlichung hingewiesen werden.

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/Dr. Ludwig, LMU München, Lehrstuhl für Geographie und Geographische Fernerkundung Modellierung von Wasser- und Stickstoffflüssen an der Landoberfläche mit Fernerkundung	19
Prof. Dr. Kuhn, Universität Innsbruck, Institut für Meteorologie und Geophysik und Kommission für Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften München Modellierung der Wasserhaushaltsgrößen im alpinen Bereich des Inns und Untersuchung ihrer Sensitivität bezüglich Umweltveränderungen	43
Prof. Dr. Egger, LMU München, Lehrstuhl für Theoretische Meteorologie Mesoskalige Modellierung der Atmosphäre	71
Prof. Dr. Wirth, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Physik der Atmosphäre Wechselwirkung zwischen Niederschlag und Landoberfläche	83
Prof. Dr. Bendix, Philipps-Universität Marburg, Lehrstuhl für Geoökologie, Klimatologie und Fernerkundung Fachbereich Geographie Retrieval konvektiver Niederschläge im Einzugsgebiet der Donau mit Meteosat Second Generation (MSG) und Meteosat	93
Dr. Willems/Prof. Dr.-Ing. Kleeberg, IAWG Institut für Angewandte Wasserwirtschaft und Geoinformatik (IAWG) Modellierung von Abfluss und Gewässerbeschaffenheits-Parametern in der Oberen Donau	109
Dr. Barthel/Ph.D. Dr. Braun, Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Hydraulik und Grundwasser Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung, Wasserversorgung	129
Prof. Dr. Ernst, Universität Kassel, Wissenschaftliches Zentrum für Umweltsystemforschung Modellierung typischer Wassernutzer im Einzugsgebiet der Donau	159

Prof. Dr. Dabbert, Universität Hohenheim, Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre (410A) Sozioökonomische Analyse und Modellierung von Wassernutzung und Land- nutzung durch Landwirtschaft	189
Prof. Dr. Tenhunen, Universität Bayreuth, Lehrstuhl für Pflanzenökologie Einfluss der Vegetation auf die Wasser- und Stickstoffflüsse, die Kohlenstoff- bilanz und die Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte auf der Ebene von Landschaften und Regionen	205
Prof. Dr. Schneider, Universität zu Köln, Lehrstuhl für Hydro- und Klimageographie Modellierung der Auswirkungen landwirtschaftlicher Nutzungsänderungen und Anbaumethoden auf Wasser-, Nährstoff- und Kohlenstoffflüsse	223
Matthias Egerer, ifo Institut für Wirtschaftsforschung, München, Weiterentwicklung des ökonometrischen Regionalmodells RIWU zu einem tiefen Akteursmodell	243
Prof. Dr. Schmude, Universität Regensburg, Lehrstuhl für Wirtschaftsgeographie Wechselbeziehungen zwischen dem Tourismus und der Ressource Wasser im Untersuchungsraum von GLOWA Danube	283
Prof. Dr. Kobus, Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Hydraulik und Grundwasser Ausbildungsforum und Know-How Transfer in Schwellen und Entwicklungs- länder	309

Zusammenfassung und Überblick über den Fortgang des Projektes

Teilprojekt: Koordination
Leiter: Prof. Dr. Wolfram Mauser
Ausführende Stelle: Department für Geo- und Umweltwissenschaften
Sektion Geographie
Lehrstuhl für Geographie und Geographische Fernerkundung
Ludwig-Maximilians-Universität München
Luisenstraße 37, 80333 München

1. Überblick

Folgende Bereiche wurden vom Koordinationsprojekt während der Berichtsphase (1.3.2005-28.2.2006) schwerpunktmäßig bearbeitet:

- Verwaltungstechnische Abwicklung des Projektes sowie Repräsentation nach Außen
- Redaktion und Fertigstellung der 1. Lieferung des Global Change Atlases Obere Donau; dieser Atlas wird mit dem Antrag zur III. Phase im Juni veröffentlicht
- Fortführung des *Stakeholder*-Dialogs
- Entwicklung von Analysetools zur Auswertung der DANUBIA-Läufe
- Pflege und Update des Linux-Rechnerclusters sowie der Satellitendaten-Empfangsstation
- Pflege des Geographischen Informationssystems und gemeinsamen Datenverbunds, Fortführung und Aufbereitung der meteorologischen Zeitreihen
- Pflege der GLOWA-Danube-Homepage www.glowa-danube.de

2. Personelles

1. Die wissenschaftliche, technische und organisatorische Koordination während des Berichtszeitraumes hat Herr Dr. Ulrich Strasser durchgeführt.
2. Die Koordination wurde in allen Sekretariats-relevanten Belangen von Frau Andrea Ebner unterstützt.
3. Die Pflege des GLOWA-Danube GIS-Datenbanksystems wurde von Frau Anja Colgan bearbeitet; sie hat zusammen mit Herrn D. Waldmann (siehe Projektbericht Hyd-Fern) eine Reihe von Analysetools entwickelt.
4. Mit der Betreuung des gemeinsamen GCDSS DANUBIA Systems sowie des Parallelrechners war Herr Dr. Florian Siebel betraut.
5. Die Redaktion des Global Change Atlas für die Obere Donau hat Frau Ruth Weidinger übernommen; sie wurde dabei von unserer Kartographin, Frau Vera Falck, unterstützt. Die *online*-Version wurde von Herrn Christian Michelbach weiterentwickelt.
6. Die *Stakeholder*-Aktivitäten wurden von Herrn Prof. Rolf-Ulrich Sprenger und Herrn Dr. Tillmann Rave 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 bzw. besucht, moderiert und protokolliert:

- 08.03.2005: Meeting in München
- 24.-30.04.2005: EGU Wien
- 26.04.2005: *Deep Actors* Treffen in Stuttgart
- 09.05.2005: Erstes *Stakeholdertreffen* Wasserwirtschaft in München
- 17.05.-19.05.2005: Statuskonferenz in Köln
- 20.-23.06.2005: *Headwaters* in Bergen (Norwegen)
- 11.07.05: Meeting München
- 09.2005: Tagung der Schutzgebiete (Kaprun)
- 10.2005: Geographentag (Trier)
- 18.10.2005: Zweites *Stakeholdertreffen* Wasserwirtschaft in München
- 20.10.2005: *Stakeholdertreffen* Landnutzung in München
- 30.11.-03.12.2005: Klausurtagung in Linden

4. GLOWA-Danube Folgeprojekte

Im Berichtszeitraum haben wir uns für die Vorbereitung von drei GLOWA-Danube Folgeprojekte engagiert:

- Anwendung von GLOWA-Danube know-how am Châteauguay/Quebec (Kanada), Förderung durch Ouranos und die Kooperation Bayern/Quebec: hier laufen vielversprechende Vorgespräche zu einem Pilotprojekt. Ouranos ist ein Konsortium aus den vier Universitäten in Montreal, der Firma HydroQuebec (weltweit größter Wasserkraft-erzeuger) und der Regierung von Quebec mit 140 Mitarbeitern. Ihr Ziel ist es, die Wirkungen des Globalen Wandels auf Quebec zu erforschen. Zur Initiierung der Zusammenarbeit fanden diverse Vorgespräche statt. Ouranos ist an einer Zusammenarbeit mit GLOWA-Danube und der Nutzung der in GLOWA-Danube entwickelten Tolls sehr interessiert.
- Transfer von GLOWA-Danube know-how auf das Einzugsgebiet des oberen Brahmaputra (Tibet, Bhutan, Indien): unsere Gruppe an der LMU ist Partner eines EU-Projekt-konsortiums für BRAHMATWINN (Sustdev-2005-3.II.3.6), das vom Koordinator Prof. Dr. W.-A. Flügel (Jena) beantragt und bereits bewilligt wurde. Hier geht es um Übertragung von know-how von der Donau für nachhaltiges Wassermanagement am oberen Brahmaputra. Projektbeginn ist der 1..6.2006, Dauer 3 Jahre.
- Der Chinesischen Akademie der Wissenschaften (CAS), Institute for Geography and Natural Resources Research, Beijing, der University of Nanchang, Xinjiang Province und dem Consortium Mountain-River-Lake (MRL) in Nanchang, Xinjiang Province im Rahmen eines Memorandums of Understanding zwischen dem chinesischen IHDP und dem deutschen Nationalen Komitee für die Global Change Forschung (NKGCF). Ziel einer möglichen Zusammenarbeit ist es, für das Einzugsgebiet des Poyang Sees (A= 160.000km²) Szenarien für eine nachhaltige Entwicklung unter Global Chnage Bedingungen zu simulieren. Im Jahr 2006 sollen dazu workshops im Rahmen des Sino-

German Science Centres in Beijing durchgeführt werden, die in einem gemeinsam Forschungsprojekt des chinesischen Konsortiums und deutscher Wissenschaftler münden wird.

5. Vorträge und Posterpräsentationen

- MAUSER, W., STRASSER, U. und LUDWIG, R.: Simulation of global warming effects on the water balance of the upper Danube catchment (EGU, Wien).
- HENNICKER, R., JANISCH, S., KRAUS, A., LUDWIG, M., MAUSER, W, STRASSER, U., LUDWIG, R.: DANUBIA: Design and implementation of an integrative simulation and decision support system for the Upper Danube basin (EGU, Wien).
- STRASSER, U., LUDWIG, R. und MAUSER, W.: GLOWA-Danube: integrative Global Change scenario simulations for the upper Danube catchment - first results (EGU, Wien).
- STRASSER, U. und MAUSER, W.: GLOWA-Danube: Integrative Global Change Scenario Simulations for the Upper Danube Catchment - First Results (Headwaters, Bergen).
- LUDWIG, R., MAUSER, W., WILLEMS, W. und BARTHEL, R.: Integrative hydrologic modeling across scales in a coupled expert system (Headwaters, Bergen).

6. Redaktion und Fertigstellung der 1. Lieferung des Global Change Atlases für die Obere Donau

Idee und Zweck des im Rahmen des Projektes GLOWA-Danube entwickelten „Global Change Atlas Obere Donau“ sind, die sektoralen und integrativen Ergebnisse von DANUBIA sichtbar zu machen, gemeinsam zu dokumentieren und sie als Diskussionsgrundlage für *Stakeholder* und Entscheidungsträger zur Verfügung zu stellen.

Nachdem in der zweiten Jahreshälfte 2004 die Konzepte für die Druck- und *Online*-Version des Atlas fertiggestellt wurden, konnte im Lauf des 1. Halbjahres 2005 für beide Atlas-Varianten ein Prototyp erstellt und mit einigen Datensätzen und Beiträgen auf der Statuskonferenz im Mai 2005 in Köln/Bonn präsentiert werden. Die Resonanz war ausgesprochen positiv. Anregungen und Vorschläge wurden daraufhin auf dem GLOWA-Projekt-Meeting im Juli 2005 in München besprochen. In der zweiten Jahreshälfte 2005 wurde mit der Ausarbeitung dieses Prototyps für eine erste Drucklegung im Juni 2006 begonnen.

Print-Atlas

Der gedruckte Atlas ist als offenes Ringbuch konzipiert und erlaubt somit eine ständige Verbesserung, Ergänzung und Erweiterung als Reaktion auf neu entwickelte Szenarien bzw. auf neue, gesicherte Erkenntnisse zu den zu erwartenden globalen und regionalen Trends. In diesem Sinn unterscheidet sich der Atlas als dynamisches Werkzeug zur Unterstützung eines offenen Diskussionsprozesses vom klassischen Ansatz von Atlanten.

In Kapitel 6 beschreiben die beteiligten Wissenschaftlergruppen den Natur- und Sozialraum des Einzugsgebietes der Oberen Donau. Die dort abgebildeten Daten bilden die Grundlagen für die Modell- und Simulationsrechnungen. Jeder Beitrag besteht aus einer Karte, die den jeweiligen Basisdatensatz darstellt und einem Text, der die Bedeutung und Entstehung dieses Datensatzes erklärt.

In Kapitel 7 beschreiben die einzelnen Fachdisziplinen ihre jeweiligen Teilmodelle von DANUBIA, die dafür notwendigen Daten sowie Validierungen anhand gemessener Zielgrößen. Aus dem jeweiligen Modell berechnete ausgewählte Datensätze werden dabei als Karte dargestellt. Jeder Beitrag umfasst auch hier eine Text- und eine Kartenseite.

In Kapitel 8 werden ab der 2. Lieferung die Simulationsergebnisse unterschiedlicher Szenario-rechnungen über die möglichen Entwicklungen der Oberen Donau in den nächsten Jahrzehnten dokumentiert. Dieser Teil ist zu Beginn der Dokumentation noch unvollständig und auf aus-gewählte Teilaspekte beschränkt. Ein fortlaufender Diskussionsprozess mit Entscheidungsträgern und Stakeholdern, in dessen Verlauf gemeinsame Szenarien über mögliche zukünftige Verände-rungen entwickelt werden, soll dieses Kapitel zukünftig dynamisch wachsen lassen.

Für die Vereinheitlichung der Beiträge wurde von der Projektleitung und der Redaktion eine verbindliche Standardgliederung entworfen (siehe auch Abb. 1). Die Inhalte des Global Chan-ge Atlas wurden einer zweistufigen projektinternen Begutachtung unterzogen, wobei von einer anonymen Review-Gruppe zunächst fachnahe und fachferne Aspekte beurteilt wurden sowie Verbesserungsvorschläge formuliert wurden. Jeder Beitrag wurde von zwei Reviewern gegen-gelesen und kommentiert. Die Organisation des Review-Prozesses oblag der Redaktion. Die Endbegutachtung und Endredaktion erfolgte durch den Projektkoordinator. Eine erste Version des Atlas befindet sich zum Zeitpunkt der Abfassung des Berichtes im Druck.

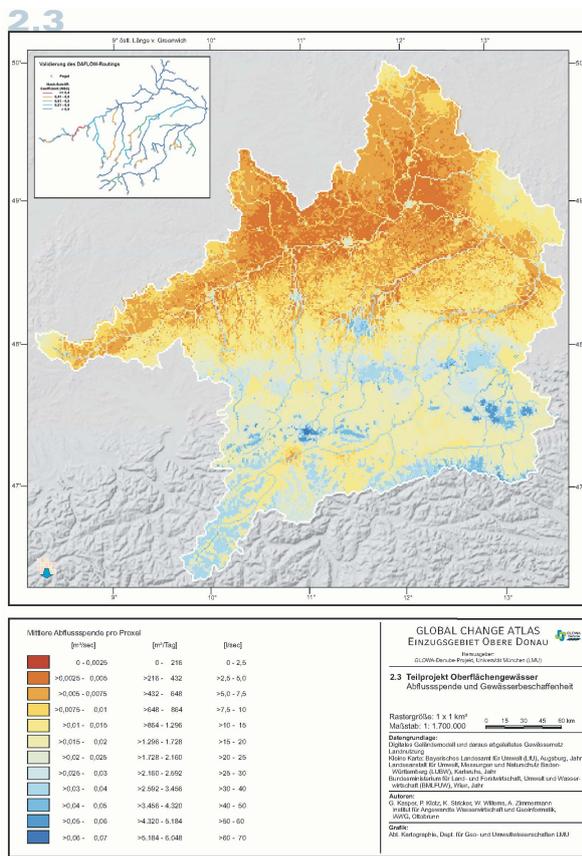


Abb. 1: Beitragsbeispiel aus dem Print-Atlas

Alle bereits im Prototypen vorhandenen Texte wurden der neuen Gliederung angehängen. Jedes Teilprojekt wurde angehalten, innerhalb des dritten Quartals 2005 einen Beitrag für den Print-Atlas zu schreiben, so dass bis Ende des Jahres 2005 alle Beiträge im Review-Prozess integriert waren.

Auf der Klausurtagung in Linden im Dezember 2005 wurde der Stand des Review-Prozesses vorgestellt. Beschlossen wurde, dass der Druckatlas mit den Kapiteln 1 und 2 Ende Juni 2006 gemeinsam mit dem Antrag für die III. Phase eingereicht wird.

Online-Atlas

Der *Online-Atlas* findet sich unter www.glowa-danube.de/atlas. Aufgrund der Kosten für die Veröffentlichungsrechte einiger Datensätze konnte die Internetseite bis jetzt lediglich Kennwort-geschützt ins Netz gestellt werden: damit wurde diese Art der Veröffentlichung kostenlos (das Kennwort kann beim Koordinator erfragt werden).

Der *Online-Atlas* ist in Anlehnung an die *Print-Version* ebenfalls in 3 Bereiche gegliedert: Basis (entspricht Kap. 6) - Ergebnis (entspricht Kap. 7) und Szenarien (entspricht Kap. 8) (siehe Abb. 2). Die Bereiche sind weiter in die beteiligten wissenschaftlichen Disziplinen unterteilt. Die Textbeiträge des *Print-Atlas* sind, falls vorhanden, bei den entsprechenden Themen als PDF-Dateien abrufbar. Die Visualisierung der Forschungsergebnisse über das Internet soll die Kommunikation zwischen *Stakeholdern* und Projektmitgliedern an verschiedenen Orten anregen und vereinfachen. Die Web-Version ist nicht einfach nur die Darstellung des *Print-Atlas* im Internet, sondern bietet mehrere zusätzliche Funktionen: interaktives Übereinanderlegen verschiedener Daten, die transparent geschaltet werden können, Zoomen, Scrollen, etc. Zudem haben manche der Daten eine Anbindung an eine Datenbank, so dass Zeitreihen oder Messreihen pro Proxel (oder über andere Einheiten wie Landkreis, Gemeinde, etc.) abgerufen werden können. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Möglichkeit einer laufenden Aktualisierung, da das Einbinden neuer Informationen sehr schnell geht. Dies erlaubt die aktuelle Bereitstellung von Forschungsergebnissen für Diskussionen. Wegen der hohen Druckkosten bei der *Print-Variante* ist die *Online-Variante* auch kostengünstiger.

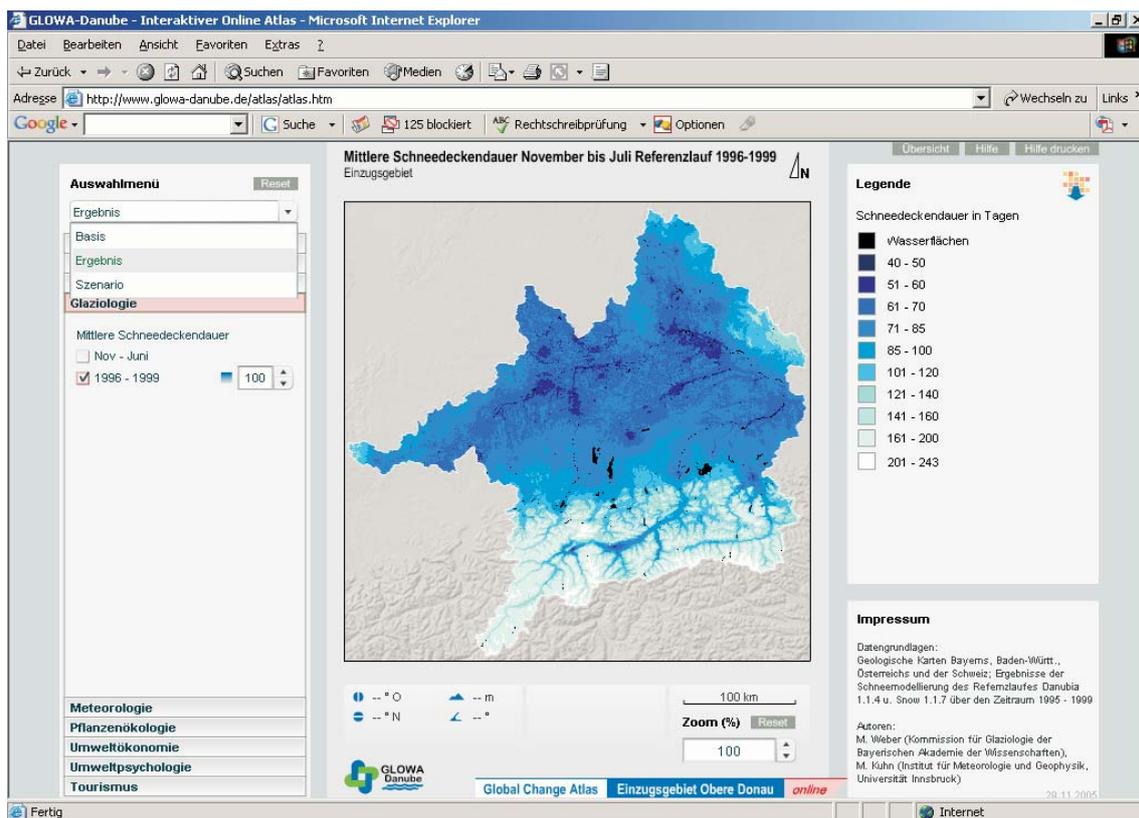


Abb. 2: Design des *Online-Atlas* mit Beispieldatensatz

Ziele für das Jahr 2006:

1. Halbjahr 2006: Fertigstellung der beiden Kapitel 6 und 7 bis Ende April 2006, anschließende Korrekturphase durch Projektleitung, Abgabe an die Druckerei Ende Mai 2006.

2. Halbjahr 2006: Aufnahme der Datensätze in den *Online*-Atlas, Zeit- und Messreihendarstellung für ausgewählte Gebiete; Veröffentlichung des *Online*-Atlases ohne Kennwortschutz; Einbinden von Szenarienrechnungen in beide Atlas-Varianten.

7. Fortführung des *Stakeholder-Dialogs*

Das GLOWA-Stakeholder-Projekt steht vor der Aufgabe, die Entwicklung und Nutzung von DANUBIA im Diskurs mit gesellschaftlichen Anspruchsgruppen (*Stakeholdern*) zu gestalten. Durch die konsequente Einbindung von Stakeholdern wird ein entscheidender Beitrag sowohl zur Validierung des Systems in Bezug auf seine Praxistauglichkeit als auch zu seiner konkreten Nutzung erwartet. Des Weiteren soll die Benutzbarkeit von DANUBIA durch Nichtexperten unterstützt werden.

Um dieses Ziel zu erreichen, galt es zunächst das Stakeholder-Beteiligungsverfahren konzeptionell vorzubereiten. Insbesondere mit Hilfe einer Literaturanalyse wurde daher aus dem Vergleich mit bisher praktizierten Beteiligungsverfahren das für GLOWA geeignetste ausgewählt und konkretisiert (SPRENGER und WIELAND 2004). Auf dieser Basis wurde Einigkeit über folgende Sequenz weiterer Aktivitäten im Rahmen des GLOWA-*Stakeholder*projekts erzielt:

1. Auswahl des grundsätzlich am besten geeigneten Beteiligungsverfahrens:
Als zweckmäßig erschien hier die Arbeit mit in sich relativ homogenen Fokusgruppen. So ist diese Form der *Stakeholder*-Beteiligung sinnvoll, wenn ein Themenfeld noch relativ unstrukturiert ist und die Zusammensetzung der Gruppe von zu beteiligenden Akteuren nach thematischen Kriterien flexibel gehandhabt werden kann.
2. Durchführung von Expertenworkshops:
Diese Expertenworkshops sollten bei Fachleuten Interesse an GLOWA-Danube wecken, Gelegenheit bieten, über die Modellgrundlagen und die Modellimplementation zu diskutieren und der Validierung der ex-post Simulation dienen.
3. Aufbau und Pflege der GLOWA-*Stakeholder* Website:
Sie soll als Schnittstelle zwischen GLOWA-Projektpartnern und externen Stakeholdern dienen.
4. Entwicklung eines Referenzszenarios mit den Fokusgruppen:
Auf der Basis der Teilnehmer der Experten-Workshops, aber auch unter Einbeziehung weiterer Stakeholder aus dem Akteursbereich sollte ein Referenzszenario entwickelt werden.
5. Entwicklung von Alternativszenarios mit den Fokusgruppen:
Ebenfalls sollte mit diesen Akteuren ein oder zwei Alternativszenarios entwickelt werden. Bei der Entwicklung von Referenz- und Alternativszenarios sollte dabei ein hohes Maß an Akzeptanz und eine Integration der Stakeholder in den Modellierungsprozess gewährleistet werden.
6. Breitere Öffentlichkeitsbeteiligung:
Parallel dazu sollen Informationsveranstaltungen die Arbeit zu den Szenarios einer größeren Öffentlichkeit zugänglich machen. Damit bietet sich zudem die Gelegenheit, neue Stakeholder zu gewinnen.
7. Veranstaltung eines internationalen Workshops:
Ebenso bietet sich die Durchführung eines internationalen Workshops *Modelling and stakeholder participation* an, bei dem vergleichend Erfahrungen mit der *Stakeholder*-Beteiligung in Entscheidungsunterstützungssystemen ausgetauscht und im Hinblick auf GLOWA Danube bewertet werden sollen.

8. Evaluierung und Qualitätskontrolle

Die Aktivitäten sollten dokumentiert sowie intern kritisch begleitet und ausgewertet werden. Eine abschließende Evaluierung soll die Erfahrungen mit dem Beteiligungsverfahren dokumentieren und den Know-how-Transfer sicherstellen.

Im Berichtszeitraum wurden insbesondere Aktivitäten zu den Punkten 2), 3) und 8) durchgeführt. Dies sei im folgenden kurz erläutert:

Zu 2) Durchführung von Expertenworkshops

Zur Fundierung und Verbesserung der Validität der GLOWA-Teilmodelle und zur Diskussion offener Fragen bzgl. Modellannahmen und Datensituation spielen Experten-Workshops eine wichtige Rolle. Im Berichtszeitraum wurden drei Expertenworkshops veranstaltet. Sie boten die Gelegenheit, bei Fachleuten aus verschiedenen Fachbereichen Interesse an GLOWA Danube zu wecken und sie zur Teilnahme an den weiteren Aktivitäten im Rahmen des Stakeholder-Projekts zu gewinnen bzw. zu motivieren. Folgende drei Workshops wurden hierzu durchgeführt:

- **Wasserwirtschaft:** Auf der Basis einer Einführung in GLOWA-Danube und das *Stakeholder*-Beteiligungsverfahren wurden in drei Vorträgen GLOWA-Modellbausteine vorgestellt, darunter die Modellierung von Wasserflüssen auf der Landoberfläche (vom Niederschlag zum Abfluss), die Grundwassermodellierung und die Modellierung des Gerinneabflusses. Als Experten waren sechs Vertreter aus dem Bayerischen Landesamt für Umwelt und der Nationalparkverwaltung Berchtesgaden anwesend.
- **Wasserverbrauch und -versorgung:** Auf der Basis einer Einführung in GLOWA-Danube und das Stakeholder-Beteiligungsverfahren wurden in vier Vorträgen die GLOWA-Teilmodellen Psychologie, Ökonomie, Tourismus und Wasserversorgung vorgestellt. Als Experten waren sechs Vertreter aus dem Bayerischen Landesamt für Umwelt, dem Zweckverband der Landeswasserversorgung Stuttgart, dem Umweltministerium Baden-Württemberg und einer privaten Chemiedienstleistungs-GmbH anwesend.
- **Landnutzung:** Auf der Basis einer Einführung in GLOWA-Danube und das *Stakeholder*-Beteiligungsverfahren wurde in zwei Vorträgen die Modellierung von Landnutzungsänderungen aus naturwissenschaftlicher und agrarökonomischer Sichtweise dargestellt. Als Experten waren zwei Vertreter aus dem Bayerischen Landesamt für Umwelt anwesend.

Die Vorträge wurden für zahlreiche Fragen und vertiefende Diskussionen mit den teilnehmenden Experten genutzt. Generell wurde bei allen drei Veranstaltungen deutlich, dass es sich bei GLOWA-Danube um ein komplexes Gesamtprojekt handelt und die Zusammenhänge von externen Experten nur schrittweise erschlossen werden könnten. Folglich wurde immer wieder betont, dass der leichte Zugang zu (technischen) GLOWA Dokumenten, die Datenvalidierung, die transparente Darstellung der Modellierung und die Durchführung von Sensitivitätsanalysen ein wichtiges Erfolgskriterium für den *Stakeholder*prozess darstellt. Nur auf diesem Wege könnte auch beurteilt werden, welchen Schwierigkeiten sich einzelne Teilmodelle gegenübersehen und wie mit Unsicherheiten in den Daten und der Gefahr der Fortpflanzung von Fehlern umgegangen werden könne.

Im einzelnen wurden von den Teilnehmern wichtige Anregungen bzgl. einzelner Modellbausteine gegeben. Ebenso wurde (z.B. von Vertretern des bayerischen Landesamtes für Umwelt) auf eigene modellbasierte Projekte zu den Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserkreislauf hingewiesen. Auf dieser Basis wurden Vergleichsbetrachtungen zwischen den Modellen initiiert und werden inzwischen ausgeführt, die für Synergien in der Modellierung genutzt werden. Für einzelne *Stakeholder* hätte GLOWA damit einen unmittelbaren Mehrwert für die eigene Arbeit.

Verschiedentlich wurde von den Teilnehmern demgegenüber betont, dass ihre laufende Arbeit stark von kurzfristigen und unmittelbar drängenden politischen Themen (wie z.B. der

Hochwasserthematik oder den Anforderungen der Wasserrahmen-RL) beherrscht wird und es Schwierigkeiten bereitet, Fragen des langfristigen globalen Wandels institutionell zu verankern und ein entsprechendes Bewusstsein dafür zu schaffen. Begrüßt wurde vor diesem Hintergrund die Arbeit mit Szenarien im Rahmen von GLOWA, die möglicherweise ein Umdenken erleichtern könnte.

Insgesamt hat der *Stakeholder* Prozess mit der von uns bisher eingeschlagenen Strategie, die sich auf den Dialog mit Expertengruppen stützt, nicht uneingeschränkt den erwarteten Erfolg gebracht. Er hat vor allem nach mehrmaligen Gesprächen mit den Betroffenen zu Tage gefördert, dass die vermuteten Konflikte tatsächlich bestehen und dass z.T. beträchtliche Vorbehalte gegen die disziplinübergreifende Beschäftigung mit diesen Konflikten bestehen. In der Regel wünschen die beteiligten *Stakeholder* von GLOWA eine Unterstützung bei der Lösung ihrer momentanen Probleme (z.B. wie die angenommene verschärfte Hochwassersituation am besten baulich entschärft werden kann). Dies ist verständlich, da dies auch die Fragen sind, die diese am stärksten beschäftigen. Nur in Ansätzen und mit z.T. massiver Skepsis konnten Gespräche über angenommene Entwicklungspfade in den nächsten Jahrzehnten (z.B. Landwirtschaft - Wasserwirtschaft, Wasserverbrauch, Naturschutz) geführt werden. Diese Gespräche haben aber kaum Klarheit geschaffen, ob dies daran liegt, dass es bei den Beteiligten keine solche Vorstellungen gibt oder ob man diese Vorstellungen nicht in den gewählten Veranstaltungen im Rahmen eines so interdisziplinär angelegten Projektes diskutieren wollte

Zu 3) Aufbau und Pflege der GLOWA-*Stakeholder* Website

Es sind Anstrengungen unternommen worden, die Website verstärkt als Schnittstelle zwischen GLOWA-Projektpartnern und externen *Stakeholdern* zu nutzen. Neben konzeptionellen Überlegungen sind hierzu erste Umsetzungsmaßnahmen erfolgt (z.B. durch Einstellen von Präsentationen, Ablegen von Kommentaren u.ä.). Weitere Bemühungen zielen auf erhöhte Bedienungsfreundlichkeit und Nutzerintegration.

Zu 8) Evaluierung und Qualitätskontrolle

Die einzelnen Workshops wurden jeweils im Sinne einer Qualitätssicherung und –verbesserung nachbereitet. Dies beinhaltete zum einen eine kritische Selbstevaluation und Reflexion. Gelegenheit dazu boten etwa die internen Treffen aller GLOWA-Beteiligten.

8. Entwicklung von Analysetools zur Auswertung der DANUBIA-Läufe

Die Simulationsläufe mit DANUBIA und DANUBIA *light* erzeugen auf Grund der Menge der auszuwertenden Parameter und der langen Modellierzeiträume einen großen Umfang an Daten. Diese Daten werden als komprimierte Objekte im Binärformat platzsparend in Dateien abgespeichert. Kommerzielle Datenbearbeitungssoftware ist für die Auswertung solcher spezifischer Daten meist nicht geeignet und hätte folgende Nachteile:

- Umwandlung der Datendateien in ein Format mit höherem Speicherplatzbedarf nötig
- Projektspezifische Auswertungsmethoden werden nicht angeboten bzw. sind nur über mehrere Zwischenschritte und dadurch höherem Zeit- und Speicherplatzaufwand zu realisieren

Viele Auswertungsmethoden werden von mehreren Teilprojektgruppen verwendet. Es muss daher gewährleistet sein, dass denselben Auswertungsmethoden auch dieselben Rechenverfahren zugrunde liegen (z.B. bei der räumlichen Zusammenfassung). Es besteht also innerhalb von GLOWA-Danube der Bedarf für ein standardisiertes, zeit- und speicherplatzsparendes Datenauswertungswerkzeug. Eine erste Version eines solchen Werkzeuges wurde mit dem *DANUBIA Analysis Tool* jetzt verwirklicht. Die nachfolgende Tabelle listet die bereits umgesetzten Analy-

semöglichkeiten auf. Parallel dazu wurde im Teilprojekt Umweltpsychologie ein weiteres Analysewerkzeug (*TooDaReD*) mit zusätzlichen Funktionalitäten entwickelt.

Tabelle 1 listet die bisher implementierte Funktionalität des *Tools* auf. Während die Funktionen zur Mittelwertbildung, zeitlichen Aggregation und Extraktion räumlich verteilter Daten hauptsächlich als Werkzeug für Entwickler und Modellierer implementiert wurden, steht bei den anderen Modulen die Datenaufbereitung für die *Stakeholder* im Vordergrund. Die Erzeugung von Bildern und Filmen ermöglicht eine leicht interpretierbare, optisch ansprechende Darstellung beliebiger modellierter Datensätze. Eine Präsentation mit Hilfe eines Filmes (Abb. 1) kann die Entwicklung räumlicher Muster verdeutlichen und die zeitliche Entwicklung dieser abbilden.

Tab. 1: Funktionalität des *Analysis Tool*

Funktion	Beispiel
Zeitliche Zusammenfassung (Mittelwert, Summe, Maximal- oder Minimalwert)	Bildung von Monatsmitteltemperaturen aus Tageswerten
Räumliche Mittelwertbildung	Berechnung des mittleren Oberflächenabflusses in einem Teileinzugsgebiet
Datenkonvertierung	Konversion diverser interner Datenformate
Extraktion von Werten aus Proxeln	Überprüfung der Schneeschmelze in einem bestimmten Proxel
Bilder erstellen	Erstellung einer Karte der Bodentemperatur im Einzugsgebiet
Filme erstellen	Visualisierung des Durchgangs einer Hochwasserwelle im Einzugsgebiet
Flächendaten visualisieren	Echtzeitdarstellung von Flächendaten als Zeitreihe
Pegelstatistik erstellen	Darstellung von Abflussdaten nach Vorbild des Gewässerkundlichen Jahrbuchs
Abflussdaten vergleichen	Statistische Analyse von gemessenem und modelliertem Abfluss

Eine weitere Möglichkeit zur Aufbereitung von Modellergebnissen ist die Zusammenstellung der Abflussdaten, welche an den Pegeln gemessen bzw. modelliert werden. Die Darstellung ist an der des Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuchs orientiert und fasst die modellierten Werte eines hydrologischen Jahres und der vorangegangenen langjährigen Reihe in tabellarischer Form zusammen (Abb. 3). Dies ermöglicht es, die Ergebnisse der DANUBIA-Modellrechnungen in einer Form aufzuarbeiten, wie sie von den Wasserwirtschaftsämtern traditionell benutzt wird. Wir erwarten uns davon eine Erleichterung des *Stakeholder*-Prozesses.

Um die Qualität modellierter Abflüsse nachzuweisen, bietet das entwickelte *Tool* gebräuchliche statistische Maße an, welche die Abweichungen zu rea-

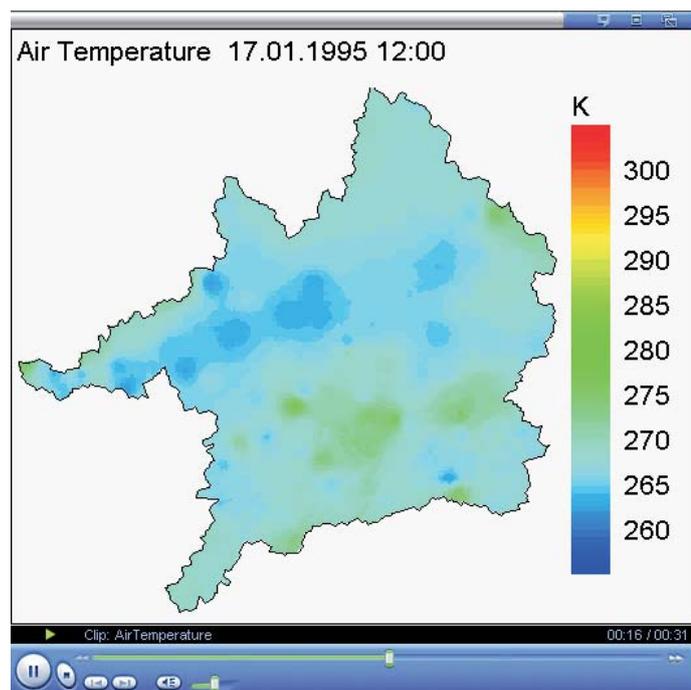


Abb. 3: Darstellung der mittleren täglichen Lufttemperatur im Einzugsgebiet

len Messwerten berechnen. Solche Statistiken können sowohl auf Seite des Entwicklers von Interesse sein, um das Modell zu validieren und Fehler aufzudecken. Auf der anderen Seite werden *Stakeholder* erst einen Nachweis über die Güte gegenwärtiger Modellläufe haben wollen, bevor sie Zukunftsszenarien erstellen.

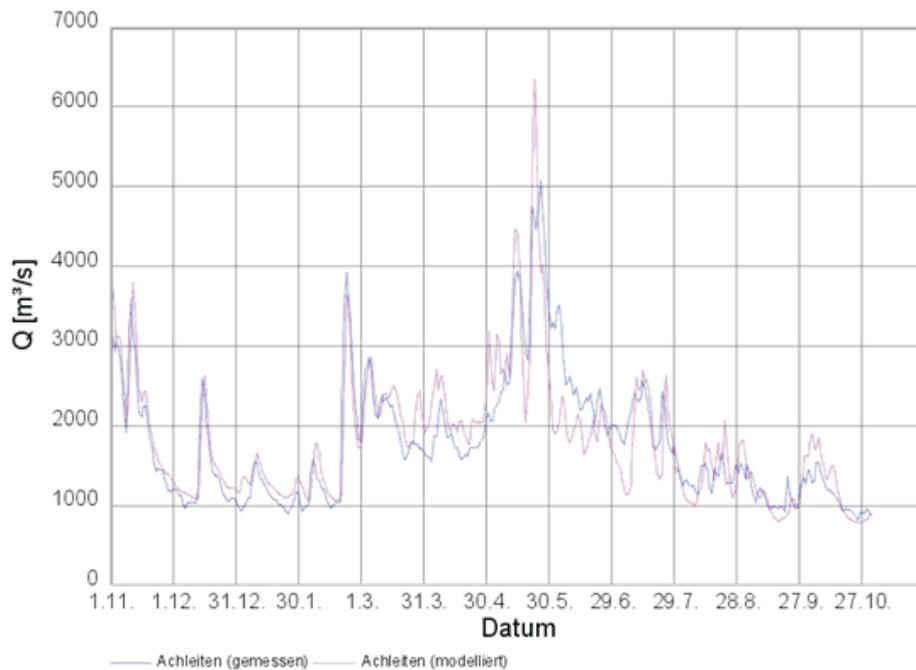
Abflüsse		Donaugebiet										2036		
A _{Bo} : 76653 km ²												Pegel: Achleiten		
PNP: NN + 288 m												Gewässer: Donau		
Lage: 2223 km												Gebiet: Donau		
Tageswerte	Tag	2035		2036										
		Nov	Dez	Jan	Feb	Mae	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	
	1	1715	1235	1127	1427	1844	1498	2153	1123	1027	1906	1178	2364	
	2	1552	1190	1098	1814	1701	1506	1939	1020	940	2631	1213	2401	
	3	1450	1159	1076	1851	1592	1497	1756	1090	881	3044	1260	2120	
	4	1381	1130	1062	1804	1507	1462	1751	1158	1411	3157	1277	1830	
	5	1335	1102	1052	1735	1459	1402	1640	1329	3246	2773	1185	1850	
	6	1343	1091	1069	1822	1421	1342	1528	1297	2964	2334	1137	2026	
	7	1358	1086	1052	1796	1388	1277	1418	1180	2622	2078	1120	2090	
	8	1343	1048	1038	1730	1343	1211	1293	1042	2246	1953	1283	1975	
	9	1266	1010	999	1725	1323	1158	1205	950	2149	1931	1454	1871	
	10	1209	979	960	1755	1331	1175	1139	862	2201	1900	1444	1878	
	11	1491	952	935	1674	1338	1307	1059	817	1907	1746	1307	1893	
	12	1762	946	908	1682	1280	1492	1014	838	1652	1607	1169	2010	
	13	1666	1002	888	1877	1231	1532	1140	1115	1591	1541	1080	2066	
	14	1547	1109	865	1855	1192	1428	1324	1373	2036	1518	1031	1835	
	15	1452	1312	848	1709	1179	1284	1352	1465	1986	2097	982	1656	
	16	1537	1502	836	1553	1298	1176	1557	1268	1824	1923	965	1477	
	17	1571	1864	821	1453	1442	1131	1792	1054	2863	1654	965	1322	
	18	1629	2157	808	1441	1402	1176	1654	901	4206	1892	1096	1214	
	19	1867	2241	796	1552	1315	1222	1404	802	4233	1882	1353	1164	
	20	2061	2333	788	1639	1308	1178	1202	762	3419	1626	1513	1203	
	21	2013	2130	779	1725	1393	1175	1056	984	2794	1406	1773	1220	
	22	1834	1868	777	1732	1453	1399	975	1364	2371	1276	2884	1159	
	23	1708	1682	789	1799	1474	1603	949	1703	2116	1307	3410	1131	
	24	1637	1669	839	1977	1570	1617	1040	1561	2302	2293	3001	1141	
	25	1604	1698	866	2138	1763	2053	1031	1290	2427	2738	2719	1144	
	26	1565	1585	861	2192	2242	2234	947	1159	2400	1994	2659	1080	
	27	1567	1449	839	2219	2185	1982	880	1097	2153	1755	2344	1049	
	28	1481	1337	826	2163	1932	1865	864	988	1917	1672	2013	1135	
	29	1369	1265	800	2024	1725	1812	873	910	1769	1475	1863	1372	
	30	1294	1201	780		1579	2098	1129	930	1638	1291	1979	1294	
31		1162	924		1482		1201		1649	1178		1223		
Hauptwerte	Tag	10	12	21	2 mal	15	17	29	20	3	31	17	27	
	NQ	1187	933	772	1096	1173	1125	848	751	870	1148	954	1043	
	MQ	1554	1403	907	1788	1506	1476	1299	1114	2224	1922	1622	1587	
	HQ	2089	2376	1146	2235	2350	2358	2235	1791	4468	3217	3499	2489	
	Tag	20	20	2 mal	27	26	26	2 mal	23	19	4	23	2	
	2001 - 2036													
	NQ	542	537	617	635	631	702	586	600	720	793	635	528	
MNQ	938	910	890	960	1206	1356	1132	1010	1038	1005	933	908		
MQ	1271	1237	1137	1414	1854	1880	1677	1601	1729	1752	1455	1354		
MHQ	2033	2083	1767	2427	3071	3138	2736	2777	2940	3844	2703	2312		
HQ	3915	4233	3840	5225	8193	6475	5260	4666	5274	8246	4941	4017		
Hauptwerte	2036			2001 - 2036										
		Winter	Sommer	Jahr										
	NQ [m ³ /s]	1187	1148	1148										
	MQ [m ³ /s]	1439	1628	1533										
	HQ [m ³ /s]	2376	4468	4468										
	Nq [l/s*km ²]	15	15	15										
	Mq [l/s*km ²]	19	21	20										
	Hq [l/s*km ²]	31	58	58										
	2001 - 2036													
	NQ [m ³ /s]	1019	846	846										
	MNQ [m ³ /s]	1459	1253	1220										
	MQ [m ³ /s]	1466	1595	1530										
	MHQ [m ³ /s]	4045	4455	5037										
HQ [m ³ /s]	8193	8246	8246											
MNq [l/s*km ²]	19	16	16											
Mq [l/s*km ²]	19	21	20											
MHq [l/s*km ²]	53	58	66											

Abb. 4: Aufbereitete Abflussdaten nach Vorbild des Gewässerkundlichen Jahrbuchs

Abbildung 4 zeigt als Beispiel den Vergleich von gemessenen und modellierten Daten am Pegel Achleiten an der Donau vom Jahr 1990.

Um den Datenaustausch mit *Stakeholdern* zu erleichtern, können Abbildung 2 und Abbildung 3 auch im HTML-Format ausgegeben werden. Daraus lässt sich eine Website generieren, welche bequem über das Internet mit einem Browser erreichbar ist.

Abfluß 1999



	Monat											
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nash-Sutcliffe	0.74	0.83	-0.14	0.85	0.35	-2.53	0.35	-1.26	-1.19	-3.88	-0.21	0.07
RMS	367.96	168.41	184.55	355.7	288.49	369.43	742.02	666.98	441.43	277.84	176.85	211.58
Pearson	0.94	0.94	0.85	0.93	0.74	0.7	0.72	0.27	0.61	0.43	0.69	0.95

	Winter	Sommer	Jahr
Nash-Sutcliffe	0.79	0.74	0.76
RMS	299.3	473.05	396.52
Pearson	0.92	0.87	0.88

Abb. 5: Vergleich von gemessenem und modelliertem Abfluss

Das *Analysis Tool* ist erweiterbar und wird nach Bedarf vervollständigt. Momentan sind die Analysefunktionen über Konsolenaufruf erreichbar, so dass eine große Menge von sukzessiven Verarbeitungsschritten als Batch-Prozess zusammengefasst werden kann. Zukünftig soll es ergänzend eine graphische Oberfläche geben, welche die Handhabung erleichtert. Auch eine Anbindung an die Benutzeroberfläche zur Bedienung von DANUBIA aus dem Internet, die im Teilprojekt Informatik entwickelt wird, ist in Zukunft denkbar. Desweiteren wird eine Zusammenführung des *Tools* mit dem des Teilprojekts Umweltpsychologie in Erwägung gezogen.

9. Pflege und Wartung des Linux-Rechnerclusters sowie der Satellitendaten-Empfangsstation

Da die Gesamtrechenzeit der DANUBIA-Laufzeitumgebung bislang von der *Landsurface*-Komponente bestimmt wurde und bei Beschleunigung dieser für das DANUBIA-Gesamtsystem ein großer Effizienzgewinn zu erwarten war, wurde in die Hardware des Linux-Cluster investiert. Angesichts des Preis-Leistungsverhältnisses und der Flexibilität wurden 2 AMD Opteron-Server mit jeweils 4 Dual-Core Prozessoren a 2,0 GHz und jeweils 16 GB Arbeitsspeicher angeschafft. Die neue Hardware wurde in den Linux-Cluster integriert, getestet und für die Simulationsrechnungen von DANUBIA benutzt. Damit konnte die effektive Rechenleistung des DANUBIA-Gesamtsystems um ein Vielfaches gesteigert werden. Zusätzlich wurde das interne Netzwerk des Linux-Cluster aktualisiert und ein Gigabit-Switch einschließlich der notwendigen Netzwerkkarte für den Zentralknoten sowie Verkabelung angeschafft und installiert. Damit konnten bestehende Engpässe in der Netzwerk-kommunikation beseitigt werden.

Die Satellitendaten-Empfangsstation wurde erfolgreich für den Empfang, die Verarbeitung und Archivierung der MSG-Daten aufgerüstet. Auch ein reibungsloser Empfang von MERIS-Daten ist sichergestellt (siehe Projektbericht HydFern). Die empfangenen Daten stehen allen Projektteilnehmern zur Verfügung. Zur Zeit wird der Empfang bzw. die Archivierung des DWDSat-Datenstromes via MSG-Infrastruktur vorbereitet.

10. Literatur

SPRENGER, R.-U. und WIELAND S. (2004): Entwicklung und Anwendung eines Verfahrens zur informellen Beteiligung von *Stakeholdern* im Rahmen von GLOWA-Danube (Veröffentlichung in Vorbereitung).

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

Im Rahmen von GLOWA-Danube wird von der Gruppe Informatik das integrative Simulations- und Entscheidungsunterstützungssystem Danubia entwickelt. Die Architektur des Danubia-Systems besteht aus vier Hauptkomponenten, die über Schnittstellen miteinander verbunden sind (vgl. Abb. 1).

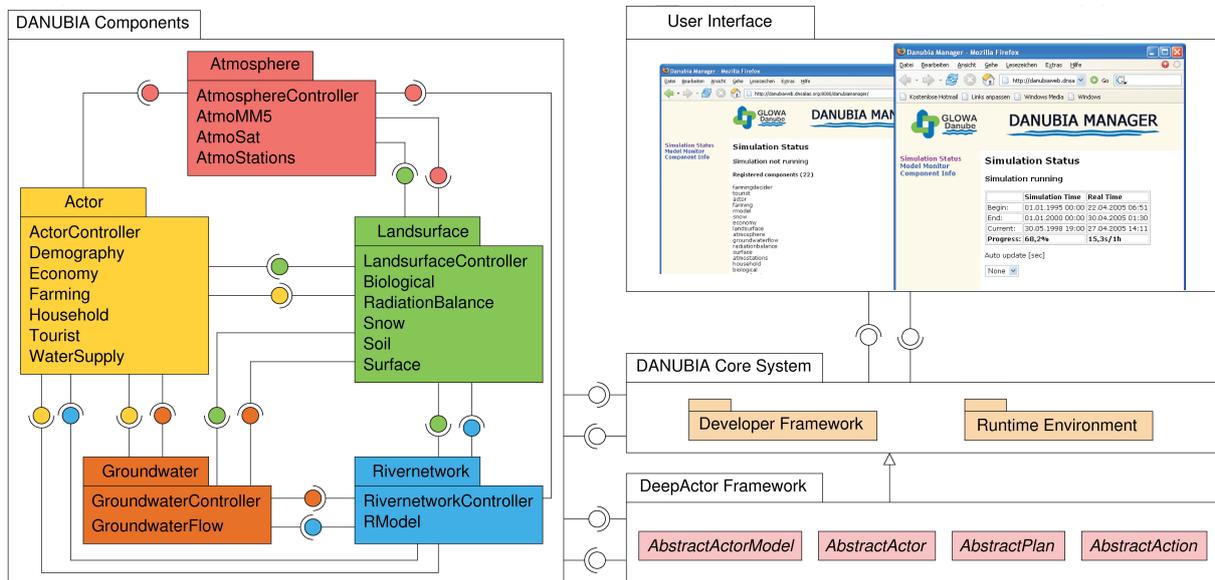


Abb. 1: Architektur des Danubia-Systems

In der Komponente *DANUBIA Components* sind die Simulationsmodelle der verschiedenen Projektgruppen realisiert, die über Schnittstellen kommunizieren und während einer integrativen Simulation Daten austauschen. Das Danubia-Kernsystem (*DANUBIA Core System*) besteht aus einem Entwickler-Framework, das von den verschiedenen Fachgruppen zur Entwicklung ihrer Modelle verwendet wird, und aus einer Laufzeitumgebung zur Netzwerkverwaltung und zur Steuerung von Simulationsläufen. Das *DeepActor Framework* stellt einen speziell auf die Anforderungen sozialwissenschaftlicher Modelle angepassten Rahmen zur Implementierung tiefer (d.h. entscheidungsgesteuerter) Akteure dar.

Im Berichtszeitraum haben sich die Arbeiten der Gruppe Informatik auf verschiedene Aspekte der oben genannten Hauptkomponenten konzentriert, die in den Abschnitten 3-6 zusammengefasst werden. Hervorzuheben sind dabei

- die Definition eines einheitlichen Formats zur Spezifikation von Schnittstellen und zur Überprüfung von Daten, die zwischen Simulationsmodellen ausgetauscht werden (vgl. Abs. 3),
- die formale Spezifikation der Koordinationsbedingungen für gekoppelte, zeitabhängige Simulationsmodelle und die Entwicklung eines formal verifizierten Lösungsentwurfs als Grundlage für die Steuerungskomponenten der Danubia-Laufzeitumgebung (vgl. Abs. 4),
- die Vervollständigung des Multiakteurskonzepts und die Implementierung des *Deep-Actor-Frameworks*, wodurch seit Anfang 2006 auch tiefe Akteursmodelle an Simulationsläufen teilnehmen können (vgl. Abs. 5),
- die Schaffung einer Infrastruktur zur Verwaltung aller mit dem Betrieb von Danubia einhergehenden technischen Aufgaben, wie Verwaltung von Danubia-Datentypen, Überprüfung und Installation von Simulationskonfigurationen, Durchführung von Simulationsläufen und Veröffentlichung von Ergebnissen (vgl. Abs. 6).

Des Weiteren hat die Gruppe Informatik kontinuierlich die einzelnen Fachgruppen bei der Entwicklung ihrer Simulationsmodelle unterstützt und technische Wartungsarbeiten wie z. B. die Umstellung auf die neue Java Version 1.5 übernommen.

2. Organisation

2.1 Personal

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

- Dipl.-Math. Matthias Ludwig: 01.03.2005-28.02.2006, 1 BAT IIA Stelle
- Dipl.-Phys. Andreas Kraus: 01.03.2005-28.02.2006, 1/2 BAT IIA Stelle
- Dipl.-Inf. Stephan Janisch: 01.03.2005-28.02.2006, 1/2 BAT IIA Stelle
- Dipl.-Inf. Michael Barth: 01.04.2005-30.09.2005, 1/3 BAT IIA Stelle

2.2 Veranstaltungen und Konferenzen

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

- 08.03.2005 - *Arbeitstreffen aller GLOWA-Danube-Projektgruppen zur Vorbereitung der Statuskonferenz*, München (Hennicker, Kraus)
- 18.05.-19.05.2005 - *GLOWA-Statuskonferenz*, Köln (Hennicker, Janisch, Ludwig)
- 11.07.2005 - *Arbeitstreffen aller GLOWA-Danube-Projektgruppen*, München (Hennicker, Janisch, Kraus, Ludwig)
- 10.08.2005 - *Arbeitstreffen mit Vertretern der Projektgruppen Hydrologie/Fernerkundung und Umweltpsychologie* zum Thema „DANUBIA-Benutzerschnittstelle“, München (Hennicker, Janisch, Kraus, Ludwig)
- 18.10.2005 - *Stakeholder-Experten-Workshop*, München (Kraus)
- 30.11.-03.12.2005 - *GLOWA-Danube Klausurtagung*, Linden (Hennicker, Janisch, Kraus, Ludwig)

- 08.02., 11.02., 26.04., 05.07., 19.07., 09.08., 06.09., 13.12.2005 - *Verschiedene Deep-Actors Arbeitstreffen mit Vertretern der sozioökonomischen Teilprojekte* (Umweltpsychologie, Grundwasserwirtschaft/Wasserversorgung, Umweltökonomie, Tourismusforschung, Agrarökonomie) in München, Kassel und Stuttgart (Janisch)

Weiterhin haben Mitglieder der Gruppe Informatik im Berichtszeitraum an folgenden internationalen Konferenzen teilgenommen, bei denen für GLOWA-Danube relevante Themen behandelt wurden.

- Teilnahme an der *Internationalen Konferenz über „Formal Methods for Open Object-Based Distributed Systems (FMOODS 2005)“*, Athen, Griechenland, 15.-17. Juni 2005, mit Vortrag über “Property-Driven Development of a Coordination Model for Distributed Simulations” (Hennicker, Ludwig).
- Teilnahme an dem *Internationalen Kolloquium über “Theoretical Aspects of Computing” (ICTAC’05)*, Hanoi, Vietnam, 17.-21. Oktober 2005, mit Vortrag über “Externalized and Internalized Notions of Behavioral Refinement” (Hennicker).
- Teilnahme am *Internationalen Workshop über “Formal Aspects of Component Software” (FACS’05)*, Macao, 24.-25. Oktober 2005 mit eingeladenen Vortrag über “A Component Model for Architectural Programming” (Hennicker).

Desweiteren ist R. Hennicker einer Einladung zu einem Forschungsaufenthalt in Frankreich gefolgt:

- Forschungsaufenthalt an der *Ecole Normale Supérieure de Cachan, Frankreich*, 19.03.-02.04.05, mit Vortrag über “*Property-Driven Development of a Coordination Model for Distributed Simulations*” (Hennicker).

2.3 Veröffentlichungen und Technische Berichte

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

- BIDOIT, M. und HENNICKER, R. (2005): Externalized and Internalized Notions of Behavioural Refinement. In: DANG VAN HUNG und WIRSING, M. (eds.): *Proc. ICTAC 2005, 2nd Int. Colloq. on Theoretical Aspects of Computing*, 2005, Hanoi, Springer LNCS 3722, S. 334-350.
- ERNST, A., SCHULZ, C., SCHWARZ, N. und JANISCH, S. (2005): Shallow and Deep Modeling of Water Use in a Large, Spatially Explicit Coupled Simulation System. In: *Representing Social Reality: Approaches and Results, Proc. ESSA’05 3rd Conf. of the European Social Simulation Association*, 2005, Koblenz, Fälbach, S. 158-164.
- HENNICKER, R., JANISCH, S., KRAUS, A., LUDWIG, M., LUDWIG, R., MAUSER, W. und STRASSER, U. (2005): Danubia: Design and Implementation of an Integrative Simulation and Decision Support System for the Upper Danube Basin. In: *Geophysical Research Abstracts EGU’05, volume 7, 08908 of Abstracts of the European Geosciences Union General Assembly*. Vienna, Austria.
- HENNICKER, R. und LUDWIG, M. (2005): Property Driven Development of a Coordination Model for Distributed Simulations. In: STEFFEN, M. und ZAVATTARO, G. (eds.): *Proc. FMOODS 2005, 7th Int. Conf. on Formal Methods for Open Object-Based Distributed Systems*, 2005, Athens, Springer Lecture Notes in Computer Science 3535, 2S. 90-305.
- BAUMEISTER, H., HACKLINGER, F., KNAPP, A. und WIRSING, M. (2006): A Component Model for Architectural Programming, In: *Proc. FACS’05, International Workshop on Formal Aspects of Component Software*, Macao, Electronic Notes in Theor. Comp. Sci., 2006, to appear.

- JANISCH, S., BARTHEL, R., SCHULZ, C., TRIFKOVIC, A., SCHWARZ, N. und NICKEL, D. (2006): A Framework for the Simulation of Human Response to Global Change. In: *Geophysical Research Abstracts (EGU'06), volume 8, 06195 of Abstracts of the European Geosciences Union General Assembly*. Vienna, Austria, 2006, to appear.
- BARTHEL, R., JANISCH, S., TRIFKOVIC, A., und NICKEL, D. (2006): Identification of Critical States of Water Resources on the Regional Scale under Conditions of Global Climate Change using a Multi-Actor Based Water Supply Model. In: *Geophysical Research Abstracts EGU'06, volume 8, 03879 of Abstracts of the European Geosciences Union General Assembly*. Vienna, Austria, 2006, to appear.
- BARTHEL, R., JANISCH, S., NICKEL, D. und TRIFKOVIC, A. (2006): Using Actors Models to Identify Critical States of Water Supply Systems on the Regional Scale under Conditions of Global Climate Change. In: *3rd International Symposium on Integrated Water Resources Management (IWRM'06)*. Bochum, September 2006, accepted for presentation.

Anleitungen und Dokumentationen für Modell-Entwickler

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

- JANISCH, S. (2005): DeepActor-Framework Reference Manual. Dezember 2005. <ftp://141.84.50.164/glowa-danube/DANUBIA/deepactors/doc/manuals/refmanual.pdf>.
- JANISCH, S., KRAUS, A. und LUDWIG, M. (2006): Versioning, Delivery and Distribution of Danubia-Components. Januar 2006. <ftp://141.84.50.164/glowa-danube/DANUBIA/framework/doc/manuals/delivery-2006-01-18.pdf>.
- LUDWIG, M. (2006): Datentypen und Datentabellen in Danubia. Januar 2006. <ftp://141.84.50.164/glowa-danube/DANUBIA/framework/doc/manuals/datatypes-2006-01-20.pdf>.
- JANISCH, S. (2006): Spezifikation und Implementierung von Danubia-Schnittstellen. Januar 2006. <ftp://141.84.50.164/glowa-danube/DANUBIA/framework/doc/manuals/impexpinterfaces-2006-01-18.pdf>.

Diplomarbeiten und Fortgeschrittenenpraktika

- *Spezifikation und Implementierung einer Recovery-Funktionalität für verteilte Umweltsimulationen. Projektarbeit, Institut für Informatik, Ludwig-Maximilians-Universität München (Mirtchev, B. (2005).*
- *Verwaltung der Landnutzung in DANUBIA - der Unified Process angewendet, Diplomarbeit, Institut für Informatik, Ludwig-Maximilians-Universität München, in Bearbeitung (A. Brack).*
- *Eine generische Komponente zur Verwaltung von Konfigurations- und Metadaten. Projektarbeit, Institut für Informatik, Ludwig-Maximilians-Universität München, in Bearbeitung (N. Geneva).*
- *Sensoren im DeepActor-Framework. Projektarbeit, Institut für Informatik, Ludwig-Maximilians-Universität München, in Bearbeitung (A. Langner).*

3. Simulationskomponenten in Danubia

Im Zusammenhang mit der Weiterentwicklung der Danubia-Simulationskomponenten wurden von der Gruppe Informatik folgende Arbeiten durchgeführt:

- Untersuchung der Anforderungen an Komponenten-Metadaten und Komponentenkonfigurationen als Voraussetzung für die benutzerschnittstellen-gestützte Konfigurierbarkeit von Simulationsläufen zur Umsetzung von Szenario-Annahmen
- Entwicklung einer Methodik zur Überprüfung der Gültigkeit von Simulationskonfigurationen auf der Basis von Schnittstellen-Spezifikationen

Auf den letzten Punkt wird im Folgenden genauer eingegangen.

Spezifikation von Schnittstellen zwischen Komponenten

Bereits zu Beginn der ersten Förderphase von GLOWA-Danube wurden Schnittstellen zum Datenaustausch zwischen Simulationskomponenten von Danubia definiert. Eine Schnittstelle spielt jeweils zwei Rollen, einmal als Exportschnittstelle des Anbieters und einmal als Importschnittstelle des Benutzers von Daten. Der Anbieter implementiert die Schnittstelle, während der Benutzer sie verwendet. Zwar werden in einer Schnittstelle Einheit und Struktur der auszutauschenden Daten durch den Datentyp festgelegt, jedoch werden hierdurch keine Aussagen über mögliche Einschränkungen der Wertebereiche gemacht. Daraus können sich Probleme ergeben, wenn

- ein Modell Werte exportiert, die außerhalb eines sinnvollen Bereichs für den jeweiligen Parameter liegen,
- ein Modell Import-Daten nur innerhalb eines bestimmten Wertebereichs erwartet.

In der ersten Projektphase wurden Import-/Exportüberprüfungen auf Implementierungsebene durchgeführt, wodurch sich jedoch noch folgende Nachteile ergaben:

- Gültige Wertebereiche der Daten wurden nur im Programm festgelegt und blieben so dem jeweiligen Austauschpartner verborgen.
- Überprüfungen wurden sowohl vom importierenden Modell als auch vom exportierenden Modell durchgeführt.

Da der Datenaustausch bei einer integrativen Simulation eine zentrale Rolle spielt, sollte eine größere Transparenz geschaffen werden. Dazu wird nun folgendermaßen vorgegangen:

1. Die Wertebereiche der auszutauschenden Daten werden von den Komponentenentwicklern explizit im Rahmen der UML-Dokumentation (vgl. Abb. 2) ihrer Komponente spezifiziert, getrennt nach Import- und Export-Daten.
2. Vor der Zusammenstellung mehrerer Komponenten zu einer Simulationskonfiguration werden die korrespondierenden Import- und Exportspezifikationen auf Verträglichkeit geprüft.

Eine Simulationskonfiguration ist genau dann gültig, wenn für jede Importschnittstelle eine korrespondierende Exportschnittstelle in der Konfiguration vorhanden ist und jede Importspezifikation mit ihrer korrespondierenden Exportspezifikation verträglich ist, d. h. wenn jeder Wertebereich für einen Parameter aus einer Exportspezifikation in dem entsprechenden Wertebereich aus der korrespondierenden Importspezifikation enthalten ist.

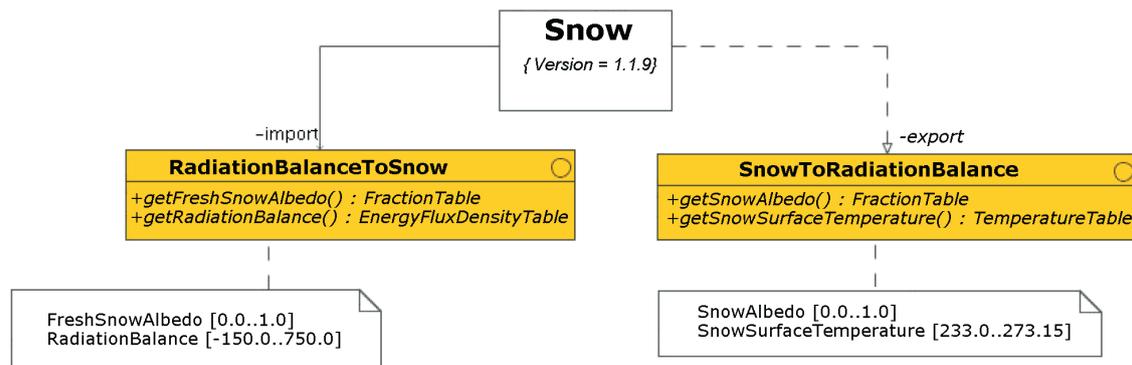


Abb. 2: Beispiel einer Spezifikation von Import- und Exportschnittstellen

Um Spezifikationen vergleichbar zu machen, musste zunächst ein einheitliches Spezifikationsformat entwickelt werden. Grundlage hierfür bildeten die Danubia-Datentypen, durch die die Struktur der in Danubia ausgetauschten Daten definiert ist. Dabei wurde angenommen, dass eine Spezifikation räumlich unabhängig ist, d.h., für alle Proxel des untersuchten Simulationsgebietes gilt. Für Daten, die sich aus mehreren Schichten ein- und desselben Typs zusammensetzen (*LayerStack*-Datentypen) wird zusätzlich angenommen, dass die Spezifikation unabhängig von den einzelnen Schichten ist. Die Erweiterung des Formats auf räumlich und schichtweise differenzierte Spezifikationen ist vorgesehen.

Überprüfung von Schnittstellen-Spezifikationen zur Laufzeit

Aus den Spezifikationen von Danubia-Schnittstellen ergeben sich für die Implementierung einer Komponente folgende Konsequenzen: Durch die Angabe einer Export-Spezifikation garantiert der Anbieter, dass die gelieferten Daten in dem angegebenen Wertebereich liegen. Dies wird in der Implementierung des exportierenden Modells durch geeignete Überprüfungen und gegebenenfalls durch Rücksetzen eines fehlerhaften Wertes erreicht. Folglich kann sich der Benutzer durch die Garantie der Verträglichkeit seiner Import-Spezifikation mit der korrespondierenden Export-Spezifikation in einer gültigen Simulationskonfiguration darauf verlassen, dass er nur Werte gemäß seiner Import-Spezifikation erhält. Auf Seiten des Import-Modells kann also auf entsprechende Überprüfungen verzichtet werden.

4. DANUBIA-Kernsystem

Tätigkeiten für das DANUBIA-Kernsystem bezogen sich im Bereich des Entwickler-Frameworks auf

- die Erweiterung der Landnutzungsmodellierung,
- die Analyse und Dokumentation der DANUBIA-Datentypen.

Für das DANUBIA-Simulationssystem (Laufzeitumgebung) wurden folgende Erweiterungen vorgenommen:

- Entwicklung einer kommandozeilenbasierten Steuerungskomponente *DANUBIA-Commander*, um Simulationen ohne graphische Benutzeroberfläche durchführen zu können. Damit ist nun eine skriptgesteuerte Bedienung des Systems ohne weitere Benutzerinteraktion möglich.
- Entwicklung von dynamischen Konnektoren zwischen den Simulationskomponenten, wodurch der Generierungsprozess der komponentenspezifischen Netzwerk-Wrapper entfällt und damit der Installationsaufwand des Systems verringert wird.
- Entwicklung eines formalen Modells zur Koordination integrativer Simulationen.

Auf den letzten Punkt wird im Folgenden genauer eingegangen.

Koordination integrativer Simulationen

Die zeitliche Koordination einer verteilten Simulation ist ein zentraler Aspekt von DANUBIA. Bereits 2003 wurde der prototypisch implementierte, auf einem UML-Zustandsmodell basierende Timecontroller im Danubia-System durch ein formales mathematisches Modell unterlegt (BARTH und KNAPP 2004) und dessen Verklemmungsfreiheit bewiesen. Während dieser Formalismus auf einer Metasprache beruht, wurde nun ein Ansatz mit der formalen Sprache Finite State Processes (FSP, MAGEE und KRAMER 1999) entwickelt, die zur Spezifikation paralleler Prozesse dient und damit zur Beschreibung integrativer Simulationen besonders geeignet ist (HENNICKER und LUDWIG 2005).

Das Koordinationsproblem

Ein an einer integrativen Simulation beteiligtes Simulationsmodell führt nach seiner Initialisierung bis zum Ende der Simulation periodisch die folgenden Schritte aus:

Bereitstellen von (neu berechneten) Daten für andere Modelle

Holen von Daten von anderen Modellen

Berechnen neuer Daten für den nächsten Zeitschritt

Dieses Verhalten kann in der Sprache FSP durch den folgenden Prozess MODEL ausgedrückt werden, der über einen Parameter `step` zur Modellierung des individuellen Zeitschritts verfügt.

```
range Time = simStart..simEnd
MODEL(step) = M[simStart],
M[t:Time] =
  if (t+step <= simEnd)
  then (enterProv[t] -> prov[t] -> exitProv[t] ->
        enterGet[t] -> get[t] -> exitGet[t] ->
        compute[t] -> M[t+step])
  else (enterProv[t] -> prov[t] -> exitProv[t] -> STOP).
```

Dabei bezeichnet die Aktion

- `get[x]` das Einlesen von Daten von anderen Modellen, die zum Zeitpunkt `x` gültig sind,
- `compute[x]` das Berechnen neuer Daten auf der Grundlage von Daten, die zum Zeitpunkt `x` gültig sind,
- `prov[x]` das Bereitstellen von Daten, die zum Zeitpunkt `x` gültig sind.

Die Aktionen `enterGet`, `exitGet`, `enterProv` und `exitProv` dienen der Koordination von mehreren parallel laufenden Modellen.

Um in einer integrativen Simulation verlässliche Ergebnisse zu erhalten, müssen beim Datenaustausch folgende Bedingungen erfüllt sein:

- (C1) Die ausgetauschten Daten müssen in einem stabilen Zustand sein, es darf also nicht gleichzeitig lesend und schreibend auf die Daten zugegriffen werden.
- (C2) Jedes Modell muss bei einer Datenanfrage Daten erhalten, die bezüglich seiner eigenen lokalen Modellzeit gültig sind.

Um die Erfüllung der Anforderungen durch das DANUBIA-System formal nachweisen zu können, wurden diese zunächst durch so genannte Property-Prozesse in FSP formalisiert. Der folgende Code-Ausschnitt zeigt die generische Prozessdeklaration eines solchen Property-Prozesses für ein Paar von Modellen, wobei das eine nur in der Rolle des Benutzers (*user*) und das andere nur in der Rolle des Anbieters (*prov*) von Daten betrachtet wird.

```
property VALIDDATA(user, stepUser, prov, stepProv) =
  VD[simStart][simStart],
VD[nextGet:Time][nextProv:Time] =
  // no obsolete data
  (when (nextGet < nextProv)
    [User].get[nextGet] -> VD[nextGet+stepUser][nextProv]
  // no overwritten data
  |when (nextGet >= nextProv)
    [Prov].prov[nextProv] -> VD[nextGet][nextProv+stepProv]).
```

Durch geeignete Belegung der Parameter wird dieser Prozess für konkrete Modelle instanziiert. Zum Beispiel beschreibt der Prozess VALIDDATA(1,2,2,3) korrekte Abläufe bei der Kopplung eines Benutzers mit Identifikator 1 und Zeitschritt 2 und eines Anbieters mit Identifikator 2 und Zeitschritt 3. Die Semantik dieses Property-Prozesses ist durch das in Abbildung 3 dargestellte LTS (*Labelled Transition System*) gegeben. Der mit -1 markierte Zustand ist dabei der Fehlerzustand, der immer erreicht wird, wenn in einem Zustand eine nicht erlaubte Aktion ausgeführt wird. Damit kann man die in einem Zustand erlaubten Aktionen einfach als diejenigen bestimmen, die nicht zum Fehlerzustand führen. In dem in Abbildung 3 dargestellten LTS kann man so Abfolgen erlaubter Aktionen leicht ablesen.

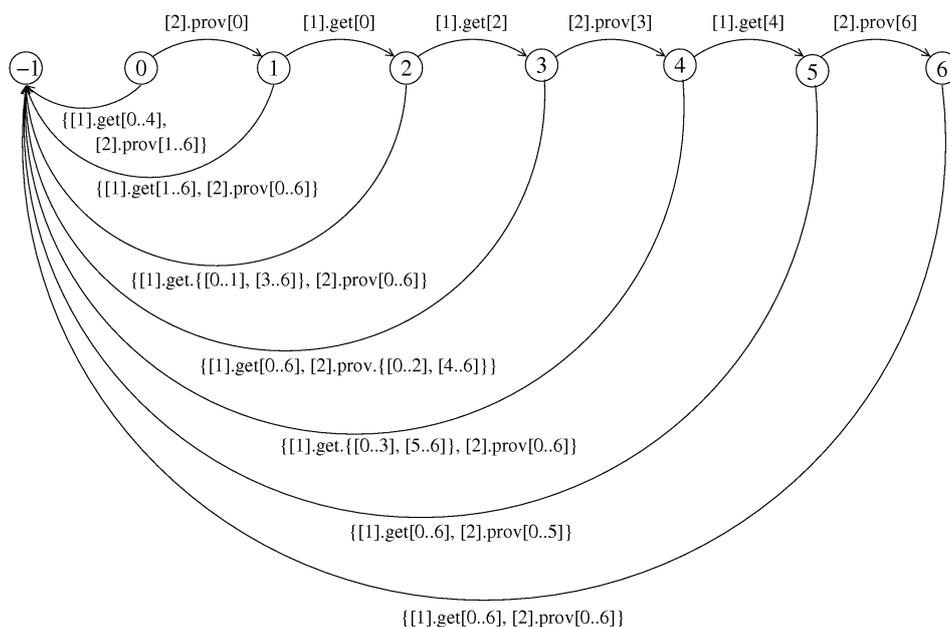


Abb. 3: LTS des *Property*-Prozesses VALIDDATA (1,2,2,3)

Formales Entwurfsmodell für integrative Simulationen

Die Angabe von *Property*-Prozessen stellt noch keine Lösung des Koordinationsproblems dar, da aus diesen kein ausführbares Programm abgeleitet werden kann. Eine solche Lösung wird erst durch ein Entwurfsmodell, ebenfalls in Form eines FSP-Prozesses gegeben, das den geforderten Anforderungen entspricht. Die zugrunde liegende Idee für ein Entwurfsmodell ist hier, eine integrative Simulation als parallele Komposition der Simulationsmodelle, mit einem für alle Modelle verantwortlichen Koordinationsobjekt, das durch einen FSP-Prozess TIMECONTROLLER beschrieben wird, aufzufassen. Die Koordination

erfolgt über die Synchronisation der parallelen Prozesse durch gemeinsame Aktionen. In diesem Fall sind das gerade die Aktionen `enterGet`, `exitGet`, `enterProv` und `exitProv`, die das Betreten bzw. Verlassen der kritischen Bereiche repräsentieren.

Die Aktionen `enterGet` bzw. `enterProv` dürfen nur ausgeführt werden, wenn die jeweiligen Koordinationsbedingungen erfüllt sind. Der folgende Code-Ausschnitt zeigt den Prozess `TIMECONTROLLER` für zwei Modelle.

```
TIMECONTROLLER(step1, step2) =
  TC[simStart][simStart][simStart][simStart]),
TC[nextGet1:Time][nextProv1:Time][nextGet2:Time][nextProv2:Time] =
  //enterGet
  (when (t<nextProv1 & t<nextProv2)
    [Models].enterGet[t] -> TC[nextGet1][nextProv1][nextGet2][nextProv2]
  //exitGet
  |[1].exitGet[t] -> TC[t+step1][nextProv1][nextGet2][nextProv2]
  |[2].exitGet[t] -> TC[nextGet1][nextProv1][t+step2][nextProv2]
  //enterProv
  |when (nextGet1>=t & nextGet2>=t)
    [Models].enterProv[t] -> TC[nextGet1][nextProv1][nextGet2][nextProv2]
  //exitProv
  |[1].exitProv[t] -> TC[nextGet1][t+step1][nextGet2][nextProv2]
  |[2].exitProv[t] -> TC[nextGet1][nextProv1][nextGet2][t+step2]).
```

Mit dem Software-Tool *LTSA (Labelled Transition System Analyzer)* konnte die Korrektheit des Entwurfs bezüglich der durch die *Property*-Prozesse spezifizierten Anforderungen an das System nachgewiesen werden. Somit stellt das Entwurfsmodell eine geeignete Basis zur Implementierung der Koordination in *Danubia* bereit, die die bisherige Implementierung ablösen wird.

5. Tiefe Akteure in GLOWA-Danube

Eine zentrale Zielsetzung von *GLOWA-Danube* ist die Simulation wasserbezogener Entscheidungsprozesse gesellschaftlicher Entitäten wie beispielsweise Privathaushalte, Landwirte oder der Betriebe touristischer Infra- und Suprastruktur. Es wurde ein Ansatz zur agentenbasierten Simulation für die sozioökonomischen Teilprojekte aus *GLOWA-Danube* konzipiert (Kap. 5.1) und im Rahmen eines generischen *Java-Frameworks* basierend auf einem neuen komponentenorientierten Ansatz zur *Framework*-Entwicklung umgesetzt und in *Danubia* integriert (Kap. 5.2). Der Ansatz ermöglicht u.a. eine strikte Abtrennung eines *Entwickler-Frameworks* für *DeepActor*-Modelle (Kap. 5.3).

5.1 Multiakteurs-Ansatz von GLOWA-Danube

Der Multiakteurs-Ansatz von *GLOWA-Danube* definiert zur Modellierung gesellschaftlicher Entitäten den Begriff des (tiefen) Akteurs, der als spezielle Ausprägung des Agentenbegriffs aus der *ABSS (Agent Based Social Simulation (DAVIDSSON 2002; CONTE und MOSS 1999))* zu verstehen ist. Im Kontext der *ABSS* dient ein Agent der expliziten Modellierung beliebiger gesellschaftlicher Entitäten (*social entity*) mit individuellen Eigenschaften und Verhalten sowie Möglichkeiten zur Interaktion mit der Umgebung. Im Folgenden wird anhand von Abbildung 4 erläutert, inwiefern die allgemeinen Charakteristika **Eigenschaften**. Verhalten und Interaktion mit der Umgebung durch Akteure im Multiakteurs-Ansatz konkretisiert werden.

Eigenschaften. Akteure (*Actor*) sind immer Teil eines Modells (*ActorModel*), dessen von *DanubiaModel* geerbte Eigenschaften *imulationArea* und *timestep* zugleich den gemeinsamen Simulationsraum und den Zeitschritt der Akteure bestimmen. Jeder Akteur agiert auf einer durch *location* festgelegten Teilmenge des Simulationsraums. Die *collaborators* eines Akteurs identifizieren zum Datenaustausch bestimmte andere Akteure des gleichen Modells. Pläne (*Plan*) modellieren die individuellen Handlungsoptionen als Grundlage des Entscheidungsprozesses. Zur Unterstützung von Entscheidungsalgorithmen, die auf einer Multiattribute Utility Theory (NORVIG und RUSSEL 2003) basieren, speichern und berechnen Pläne ein Bewertungsattribut *rating*. Die mit Plänen assoziierten Aktionen (*Action*) modellieren Akteursaktionen, die bei Umsetzung des jeweiligen Plans ausgeführt werden sollen. Da Aktionen entkoppelt von Akteuren modelliert werden, dabei aber *Akteursaktionen* realisieren, wird eine Schnittstelle *ActionEnvironment* eingeführt, die von Akteuren bereitgestellt und von Aktionen verwendet wird. Aktionen definieren eine Zeitspanne *period*, die zur Modellierung grundsätzlicher zeitlicher Rahmenbedingungen verwendet werden kann. Aktionen sind nur innerhalb der jeweiligen Zeitspanne ausführbar. Sensoren (*Sensor*) ermöglichen einem Akteur die Wahrnehmung seiner Umgebung, z.B. von allgemeinen Rahmenbedingungen wie politischen Richtlinien, von physikalischen Rahmenbedingungen in Form von Proxeldaten und von gesellschaftlichen Rahmenbedingungen in Form von Daten anderer Akteure des gleichen Modells. Jeder Akteur verfügt über eine *History* zur Buchführung über die (erfolgreich oder nicht erfolgreich) umgesetzten Pläne vorausgegangener Simulationsschritte.

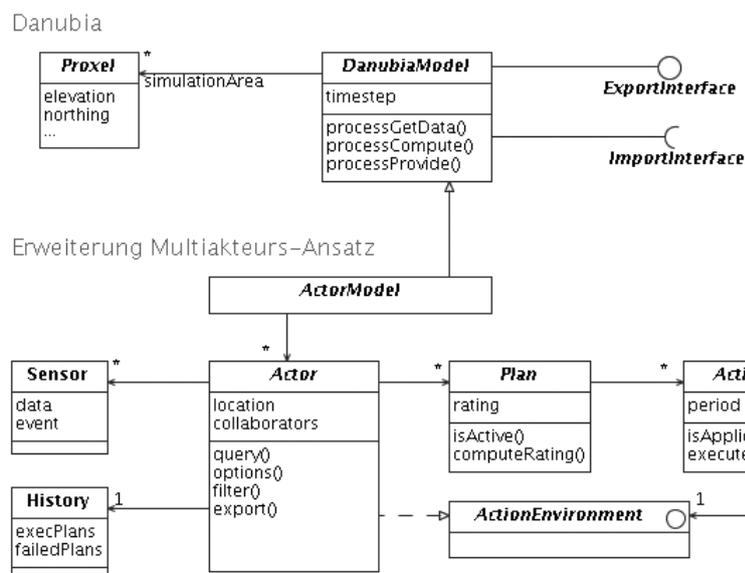


Abb. 4: Konzepte des Multiakteurs-Ansatzes im Überblick

Verhalten. Das Verhalten eines Akteurs ist bestimmt durch eine zyklische Wiederholung der Schritte *query* zur Abfrage der Sensoren, *options* und *filter* zur Entscheidungsfindung sowie *export* zur Bereitstellung lokaler Akteurszustände für andere Akteure des gleichen Modells. Der Zyklus ist durch den Zeitschritt des Modells (*timestep*) festgelegt und in den von Danubia koordinierten Schritten *processGetData*, *processCompute* und *processProvide* integriert.

Interaktion mit Umgebung. Die Interaktion mit der Umgebung besteht aus zwei Teilen, einerseits der Wahrnehmung der Umgebung über Sensoren und andererseits der Änderung der Umgebung durch Aktionen. Dabei bestimmt eine dedizierte Aktionsumgebung, welche Elemente der Umgebung grundsätzlich modifizierbar sind. Die über Sensoren zugreifbaren Proxelobjekte liefern die über verwendete Schnittstellen (*ImportInterface*) von anderen Simulationsmodellen importierten Proxeleigenschaften. Die von Aktionen geänderten Proxeleigenschaften werden durch die Modellklasse über angebotene Schnittstellen (*ExportInterface*) an andere Simulationsmodelle exportiert.

5.2 Implementierung des *DeepActor-Frameworks*

Die Architektur des *DeepActor-Frameworks* folgt einem neu entwickelten Ansatz zur komponentenorientierten *Framework-Entwicklung*. Der Ansatz definiert Komponenten als Erweiterung des Klassenbegriffs in objektorientierten Sprachen. Komponenten deklarieren benötigte Schnittstellen explizit und ermöglichen auf diese Weise explizite Montage (Assembly) und Konfiguration durch Verbindung angebotener und benötigter Schnittstellen. In unserem Ansatz werden Komponenten immer hierarchisch montiert. Jede Komponente hat dann die Verantwortung zur Konfiguration der Komponenten auf der jeweils nächsttieferen Hierarchieebene. Die Implementierung des Komponentenbegriffs erfolgt durch systematische Übersetzung in Java-Klassen, auf die hier nicht näher eingegangen wird.

Framework-Architektur

Die Komponenten des Frameworks sind in Version 1.1.6 entsprechend der in Abbildung 5 gezeigten Hierarchie montiert. Die *Framework-Komponenten* ergeben sich dabei durch Verfeinerung der Konzeption in Abbildung 4.

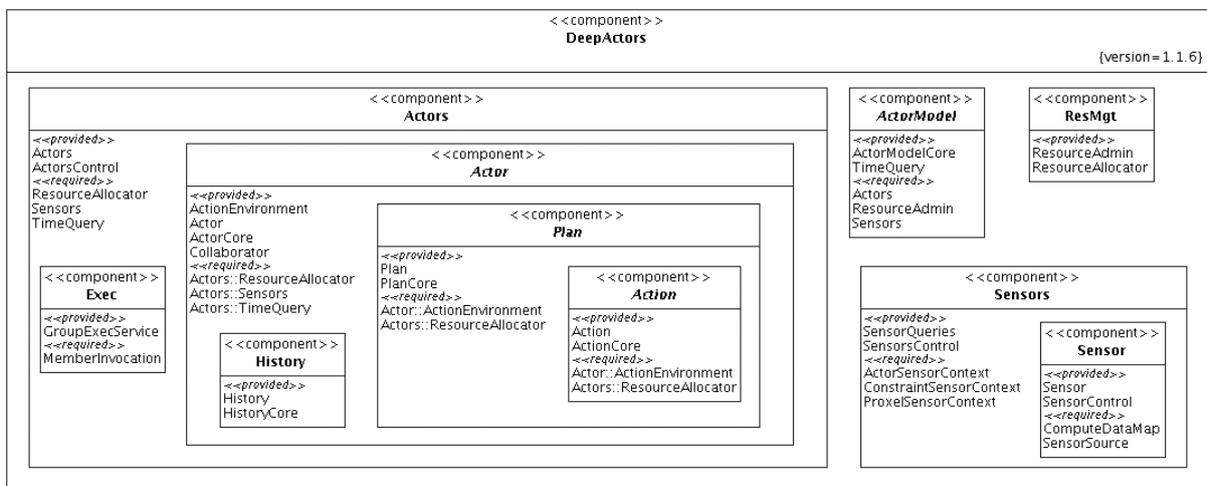


Abb. 5: Komponenten im *DeepActor-Framework*

Die Komponentenhierarchie induziert für jede Komponente die Verantwortung zur Konfiguration, d.h. zur Bindung benötigter und angebotener Schnittstellen, aller Komponenten der jeweils nächsttieferen Hierarchieebene. Beispielsweise ist die Komponente *Actor* verantwortlich für die Konfiguration von *Plan* und *History*, nicht aber von *Action*. *Actor* selbst wird durch die Komponente *Actors* auf der nächsthöheren Hierarchieebene konfiguriert. Abbildung 6 zeigt exemplarisch am Beispiel der *Actor*-Komponente die hierfür benötigte externe Sicht einer Komponente mit Details zu den angebotenen und verwendeten Schnittstellen.

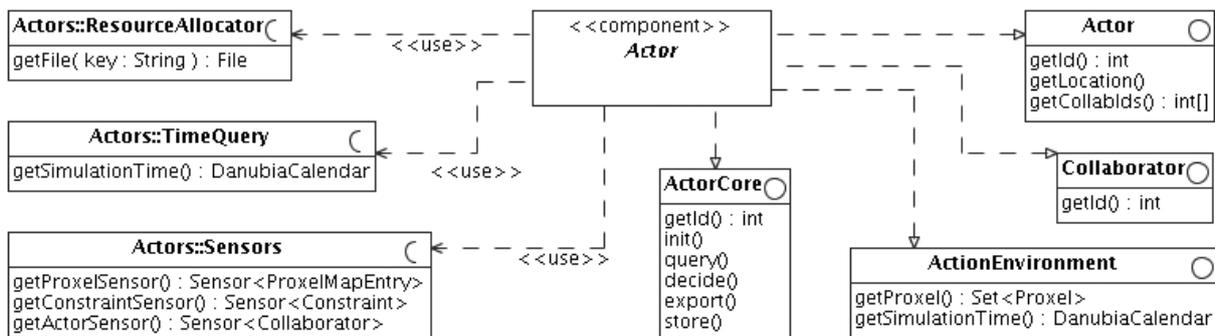


Abb. 6: Externe Sicht der *Actor*-Komponente

Die Schnittstelle *ActorCore* dient der Steuerung der Akteure auf Frameworkebene. Die Schnittstellen *Actor*, *Collaborator* und *ActionEnvironment* modellieren Rollen, die ein Akteur für das Danubia-Modell, für andere Akteure und schließlich für die Aktionen der Pläne des Akteurs spielt. Die benötigten Schnittstellen sind aus dem Namensraum der Komponente *Actors* importiert. Sie ermöglichen die Abfrage von Sensoren (*Sensors*), von Ressourcen wie z.B. Dateien (*ResourceAllocator*) sowie der Simulationszeit (*TimeQuery*).

Interne Struktur der Komponenten

Die Komponenten des *DeepActor-Frameworks* werden durch Klassen und durch Import und Konfiguration von Komponenten aus der jeweils nächsttieferen Hierarchieebene realisiert. Abbildung 7 zeigt exemplarisch am Beispiel der *Actor*-Komponente eine solche interne Struktur in Form eines UML2-Kompositionsstrukturdiagramms. Die Klassen *ActorCoreImpl* und *AbstractActor* folgen einem neu entwickelten Muster (Hidden Template Pattern) zur Implementierung abstrakter Komponenten. Die Klassen *ActorInitTable* und *ActorInit* dienen der Erzeugung und Initialisierung konkreter Akteurstypen, d.h. der Instantiierung von Subtypen der Basisklasse *AbstractActor*. Jede Instanz der Komponente *Actor* importiert, instantiiert und konfiguriert eine Menge von *Plan*-Komponenten sowie genau eine *History*-Komponente. Die Spezifikation zeigt die Bindung der *Actor*-, *Plan*- und *History*-Schnittstellen. Man beachte, dass in der Darstellung der internen Struktur die angebotenen und benötigten Schnittstellen der spezifizierten Komponente zu angebotenen und benötigten Schnittstellen enthaltener Klassen (bzw. Komponenten) werden.

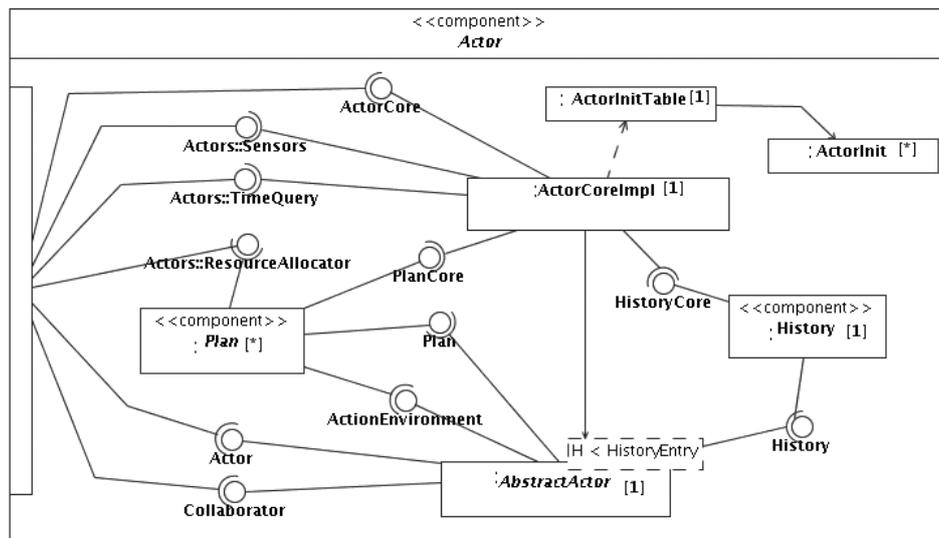


Abb. 7: Interne Struktur der *Actor*-Komponente

Integration mit DANUBIA

Die Integration des *DeepActor-Frameworks* mit DANUBIA folgt der Konzeption des Multiakteurs-Ansatzes in Kapitel 5.1. Danubia stellt zur Entwicklung von Simulationsmodellen eine abstrakte Klasse *AbstractDanubiaModel* bereit (vgl. Abb. 8). Die Klasse *ActorModelCoreImpl* der Komponente *ActorModel* (vgl. auch Abb. 5) implementiert die Methoden *processXX* unter Verwendung einer Basisklasse *AbstractActorModel* für *DeepActor*-Modelle und der benötigten Schnittstellen *Actors*, *Sensors* und *ResourceAdmin*. Die Instantiierung und Konfiguration aller *Framework*-Komponenten erfolgt vollständig in der Implementierung von *processInit*.

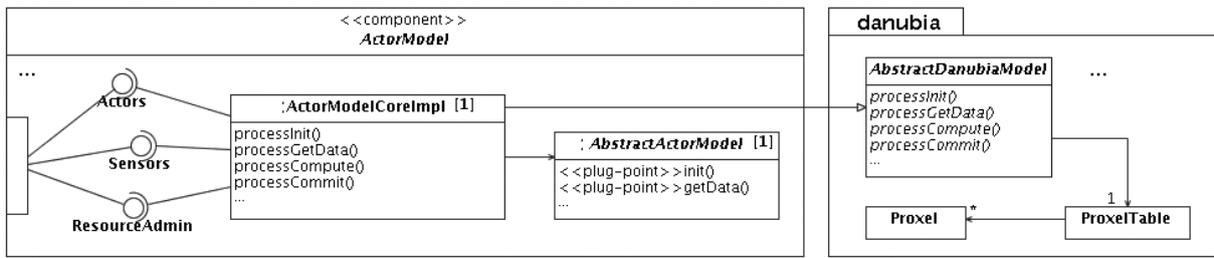


Abb. 8: Integration mit Danubia

5.3 Das Entwickler-Framework für DeepActor-Modelle

Das Entwickler-Framework umfasst einerseits die Basisklassen abstrakter Framework-Komponenten mitsamt den jeweils verwendeten und angebotenen Schnittstellen und andererseits eine Reihe von Utility-Klassen. Ein *DeepActor*-Modell implementiert konkrete Subklassen der vorgegebenen Basisklassen und erweitert, soweit nötig, die vorgegebenen Schnittstellen durch Sub-Schnittstellen. Utility-Klassen werden sowohl vom Framework als auch von konkreten *DeepActor*-Modellen verwendet.

Abstrakte Basisklassen ermöglichen eine modellspezifische Erweiterung bzw. Konkretisierung der Konzepte des Multiakteurs-Ansatzes. Beziehungen zwischen Konzepten werden durch Schnittstellen modelliert, die von den Basisklassen implementiert bzw. verwendet werden. Abbildung 9 zeigt die grundlegenden strukturellen Beziehungen zwischen den wichtigsten Basisklassen des *DeepActor*-Frameworks.

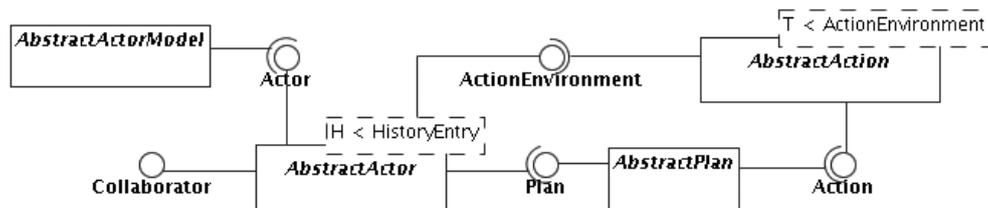


Abb. 9: Strukturelle Beziehungen zwischen den wichtigsten Basisklassen

Schnittstellen modellieren explizit eine Rolle (Sicht), die die jeweilige Basisklasse für andere Basisklassen spielt. Beispielsweise bietet *AbstractActor* eine Schnittstelle *ActionEnvironment* als Sicht für die Aktionen eines Akteurs. Die vorgegebenen Implementierungs- und Verwendungsbeziehungen bilden die Grundlage zur Interaktion zwischen Subklassen verschiedener Konzepte. Auf dieser Grundlage stellen Basisklassen Queries bereit, die zur Laufzeit Instanzen konkreter Subklassen für die verwendeten Schnittstellen liefern (z.B. *planMap()* in Abb. 10).

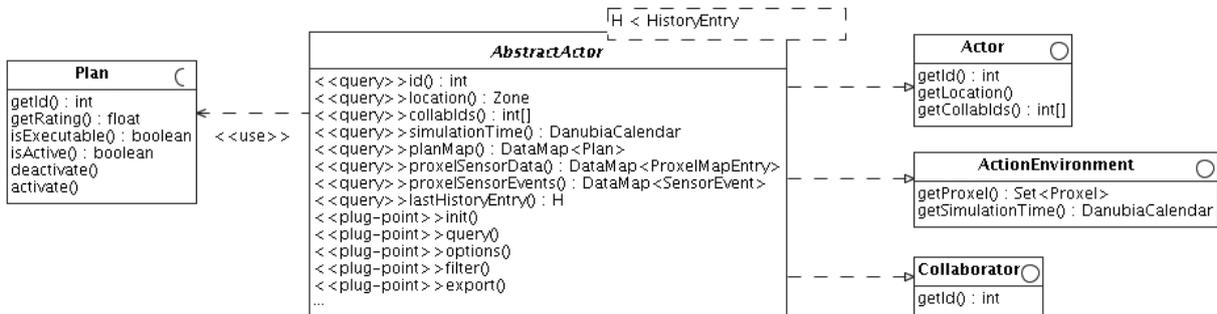


Abb. 10: Basisklasse für konkrete Akteurstypen

Konkrete Akteurstypen werden durch Subklassen der Basisklasse *AbstractActor* implementiert. Die Basisklasse definiert Plug-Points wie beispielsweise *init* zur lokalen Initialisierung z.B. von Subklassenattributen, *filter* zur Planauswahl oder *export* zur Bereitstellung von Daten für

andere Akteure (des gleichen Modells). Zur Implementierung der Plug-Points in Abbildung 10 können alle durch *AbstractActor* bereitgestellten Queries verwendet werden. Neben der Abfrage von Grundeigenschaften wie der numerischen ID (*id*) oder der Pläne eines Akteurs (*plan-Map*) ermöglichen die Queries auch die Abfrage der Simulationszeit (*simulationTime*) oder von Sensordaten (*SensorData/Events*).

Invarianten, Vor- und Nachbedingungen. Die Beschreibung von *Plug-Points* und Queries wird durch die Verwendung von informellen Invarianten, Vor- und Nachbedingungen präzisiert. Invarianten und Vorbedingungen formulieren Zusicherungen, deren Gültigkeit der Implementierer von Plug-Points voraussetzen kann. Nachbedingungen von *Plug-Points* müssen im Gegenzug vom Implementierer etabliert werden.

Instantiierung konkreter *DeepActor*-Modelle. Das *DeepActor-Framework* instantiiert Objekte konkreter Subklassen auf Basis sogenannter Initialisierungsdateien, die vom Modell-Entwickler bereitgestellt werden müssen.

6. Verwaltung des DANUBIA-Systems

DANUBIA ist ein komplexes Software-System, für dessen praktischen Einsatz ein ausgearbeitetes Verwaltungskonzept benötigt wird. Im Folgenden werden zunächst die Neuentwicklungen in diesem Bereich beschrieben, bevor auf die fortlaufenden Tätigkeiten bei der Pflege des Systems und bei der Durchführung integrativer Simulationsläufe näher eingegangen wird.

6.1 Neuentwicklungen

Zur Verwaltung der DANUBIA-Simulationskomponenten wurde ein Versionierungsschema und eine einheitliche Struktur zur Abgabe der Komponenten durch die jeweiligen Entwickler bei der zentralen Systemadministration entwickelt (vgl. Abb. 11). Des Weiteren wurde eine Web-Schnittstelle für die Abgabe von Simulationskomponenten durch die Modellentwickler (vgl. Abb. 12), sowie Werkzeuge zur Unterstützung der Überprüfung und Veröffentlichung der Simulationskomponenten durch den Systemadministrator geschaffen (vgl. Abb. 13). Weiterhin wurden die Anforderungen an die Verwaltung von DANUBIA-Anwenderprojekten und Szenarien durch (ggf. externe) Benutzer von DANUBIA untersucht und in Form von UML-Anwendungsfalldiagrammen modelliert.

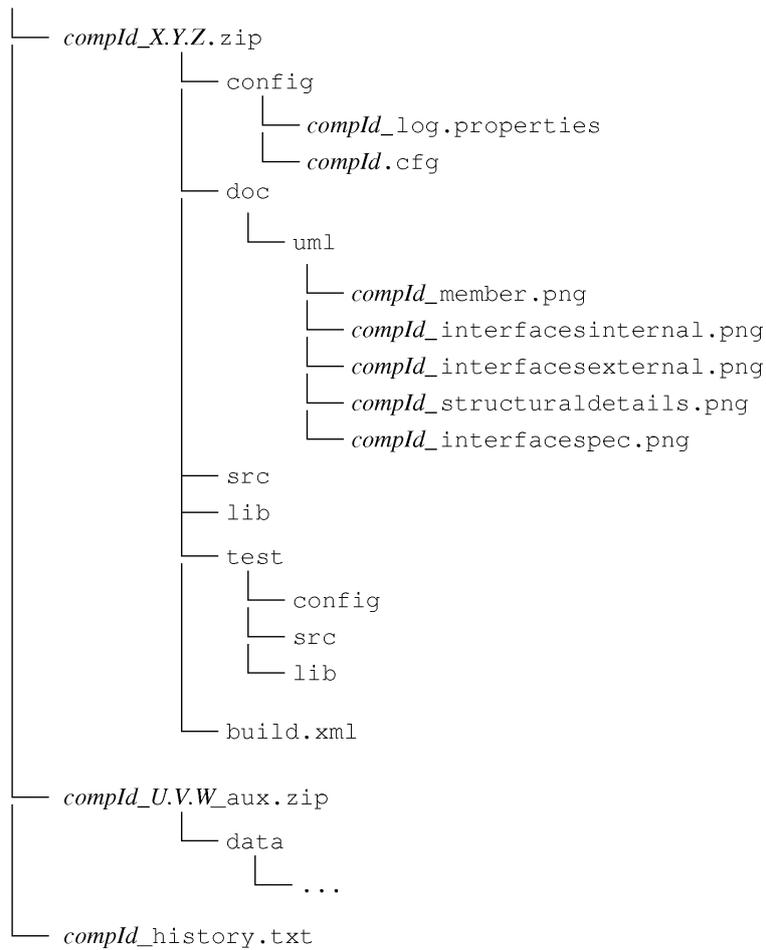


Abb. 11: Abgabestruktur einer Danubia-Komponente

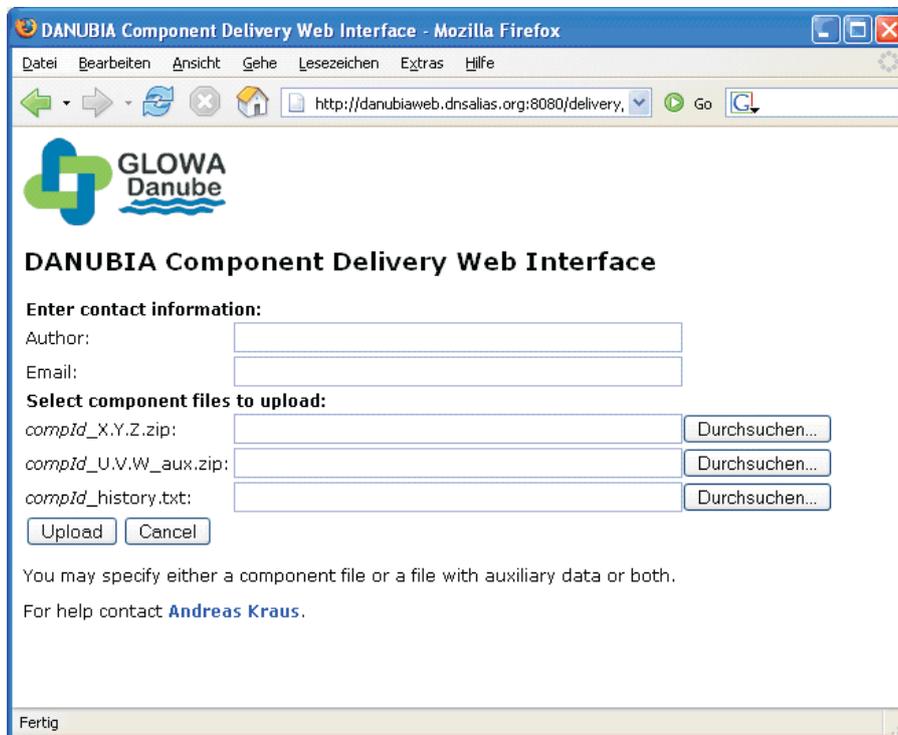


Abb. 12: Web-Schnittstelle für die Komponentenabgabe

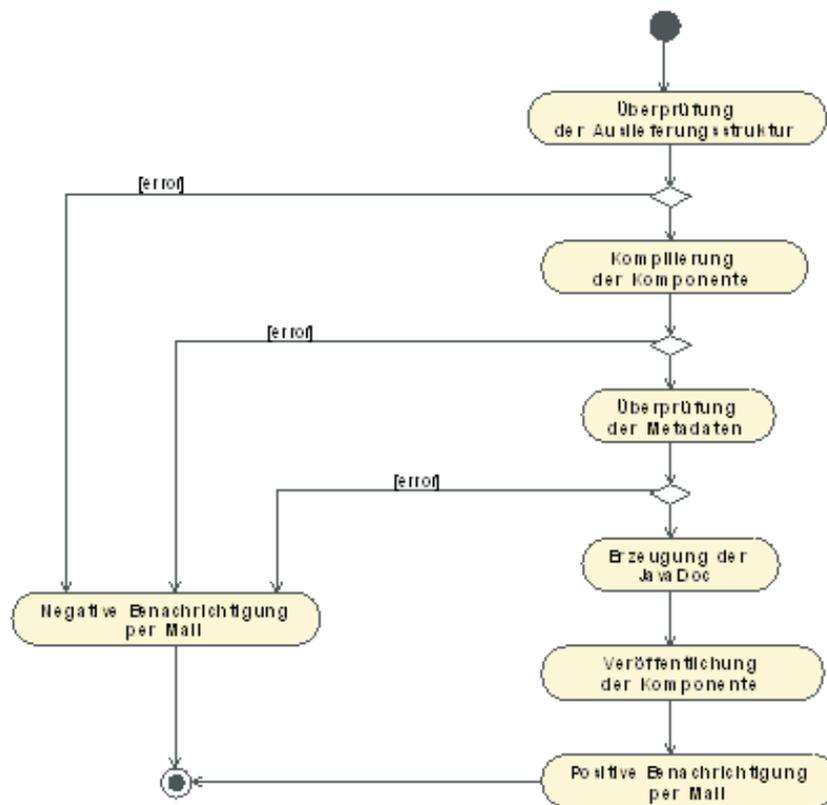


Abb. 13: Ablauf zur Überprüfung und Veröffentlichung von Komponenten

6.2 Systempflege

Zur laufenden Systempflege wurden die folgenden Daten von der Gruppe Informatik verwaltet:

- globale Initialisierungsdaten
- Hauptkomponentenschnittstellen
- Danubia-Datentypen
- Testgebiete (einschließlich Erzeugung neuer Testdatenbanken)

6.3 Simulationsdurchführung

Integrative Simulationsläufe aller Danubia-Komponenten werden auf einem Rechner-Cluster zentral durchgeführt. Dazu müssen die Komponenten in kompilierter Form auf dem projektinternen FTP-Server vorliegen. Der typische Ablauf bei der Durchführung einer Simulation ist durch das UML-Aktivitätsdiagramm in Abbildung 14 dargestellt. Er umfasst die folgenden Tätigkeiten:

- **Installation der Komponenten:** Die Simulationskomponenten werden unter Berücksichtigung ihres geschätzten Ressourcenverbrauchs auf die einzelnen Cluster-Knoten verteilt.
- **Überprüfung der Simulationskonfiguration:** Es wird die Konformität der einzelnen Komponenten mit den globalen Randbedingungen (Simulationszeit und -gebiet), sowie die Gültigkeit der Simulationskonfiguration (Vollständigkeit und Verträglichkeit von Schnittstellen-Spezifikationen, vgl. Abs. 3) überprüft.

- **Ausführung der Simulation und Überwachung:** Über die Benutzerschnittstelle DanubiaMonitor wird die Simulation gestartet und ihr Fortschritt überwacht. Daneben können durch Zugriff auf den Cluster der Systemzustand (Speicherauslastung, verbleibender Festplattenspeicher) und die Log-Ausgaben der Simulationskomponenten beobachtet werden.
- **Veröffentlichung der Simulationsergebnisse:** Die Simulationsergebnisse beinhalten die über die Ergebnisschnittstellen gespeicherten integrativen Ergebnisdaten, die von jeder Komponente eigenverantwortlich erzeugten sektoralen Ergebnisdaten, sowie die während der Simulation entstandenen Log-Dateien.
- **Veröffentlichung von Fehlern:** Im Falle eines fehlerbedingten Abbruchs eines Simulationslaufs wird, soweit möglich, die Ursache des Abbruchs den Entwicklern mitgeteilt, sowie die bis zum Zeitpunkt des Abbruchs erzeugten Log-Dateien und Simulationsergebnisse veröffentlicht.

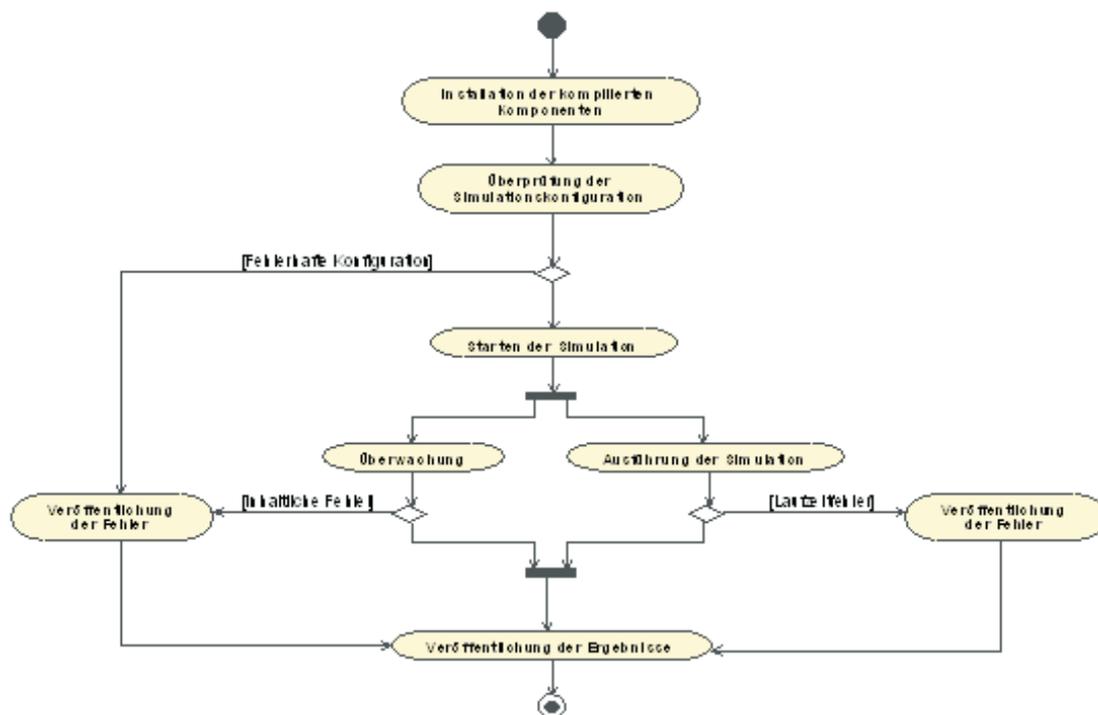


Abb. 14: Aktivitätsdiagramm zur Simulationsdurchführung

7. Literatur

- BARTH, M. und KNAPP, A. (2004): A coordination architecture for time-dependent components. In M. H. Hamza (ed.), Proc. 22nd Int. Multi-Conf. Applied Informatics. Software Engineering (IASTED SE'04), 6-11, ACTA Press.
- CONTE, R. and MOSS, S. (1999): Special Interest Group on Agent-Based Social Simulation. Journal of Artificial Societies and Social Simulation 2(1) 1999, <http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/2/1/4.html>.
- DAVIDSSON, P. (2002): Agent Based Social Simulation: A Computer Science View. Journal of Artificial Societies and Social Simulation 5(1) 2002, <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/5/1/7.html>.

- HENNICKER, R. und LUDWIG, M. (2005): Property Driven Development of a Coordination Model for Distributed Simulations. In: STEFFEN, M. und ZAVATTARO, G. (eds.): Proc. FMOODS 2005, 7th Int. Conf. on Formal Methods for Open Object-Based Distributed Systems, 2005, Athens, Springer Lecture Notes in Computer Science 3535, 290-305.
- MAGEE, J. und KRAMER, J. (1999): Concurrency - State Models and Java Programs, John Wiley & Sons.
- NORVIG, P und RUSSELL, S.J. (2003): Artificial Intelligence: A Modern Approach, 2.Ed. Prentice Hall.

Modellierung von Wasser- und Stoffflüssen an der Landoberfläche mit Fernerkundung

Teilprojekt: Hydrologie und Fernerkundung
Leiter: Prof. Dr. Wolfram Mauser
Ausführende Stelle: Department für Geo- und Umweltwissenschaften
Sektion Geographie
Lehrstuhl für Geographie und Geographische Fernerkundung
Ludwig-Maximilians-Universität München
Luisenstraße 37, 80333 München

1. Überblick

Folgende Bereiche wurden vom Projekt HydFern während der Berichtsphase (1.3.2005-28.2.2006) schwerpunktmäßig bearbeitet:

- Weiterentwicklung und Validierung des Bodentemperaturmodells SHTM-4L
- Entwicklung von Verfahren zur Kopplung von Atmosphären- und Landoberflächenprozessen
- Weiterentwicklung des Verkehrsmodells *Traffic* zur Simulation von Entscheidungen der Skifahrer in Abhängigkeit von u.a. klimatischer Situation und Bevölkerungsmilieu
- Weiterentwicklung und Validierung des Modells für Wind-induzierten Schneetransport (*blowing snow*) in Abhängigkeit von modellierten Windfeldern und gemessenen Klimadaten zur Subpixel-Parameterisierung der Variabilität einer alpinen Schneedecke
- Empfang, Prozessierung und Archivierung von Satellitendaten
- Erstellung eines Konzeptes zur Modellierung von Bodenerosion

2. Personelles

1. Dr. Florian Siebel hat das Rechnercluster und die Aktivitäten im Bereich Verkehrsmodellierung betreut
2. An Doktoranden waren und sind beschäftigt: Herr Matthias Bernhadt (seit 1.04.2004, Schneetransport), Frau Monika Tepfenhart (seit 01.09.2004, Verkehrsmodellierung), Herr Markus Muerth (seit 01.06.2004, Bodentemperaturmodell), Herr Markus Probeck (seit 01.03.2004, Fernerkundung), Herr Thomas Marke (seit 01.03.2005, Kopplung Atmosphäre-Landoberfläche) und Herr Daniel Waldmann (seit 16.03.2005, Bodenerosion)
3. Dr. Ralf Ludwig ist zum 1.10.2006 nach Kiel gewechselt und ist seitdem an GLOWA-Danube assoziiert.

3. Meetings im Berichtszeitraum

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

- 08.03.2005: Meeting in München zur Vorbereitung der Statuskonferenz
- 24.-30.04.2005: EGU Wien
- 26.04.2005: *Deep Actors* Treffen in Stuttgart
- 09.05.2005: Erstes Stakeholdertreffen Wasserwirtschaft in München
- 17.05.-19.05.2005: Statuskonferenz in Köln
- 20.-23.06.2005: *Headwaters* in Bergen (Norwegen)
- 11.07.05: Meeting München
- 09.2005: Tagung der Schutzgebiete (Kaprun)
- 10.2005: Geographentag (Trier)
- 18.10.2005: Zweites *Stakeholdertreffen* Wasserwirtschaft in München
- 20.10.2005: *Stakeholdertreffen* Landnutzung in München
- 30.11.-03.12.2005: Klausurtagung in Linden

4. Vorträge und Posterpräsentationen:

- BERNHARDT, M., STRASSER, U., ZÄNGL, G. und MAUSER, W.: Using MM5-derived wind fields for the modelling snow transport processes (Tagung der Schutzgebiete, Kaprun).
- BERNHARDT, M., ZÄNGL, G., STRASSER, U. und MAUSER, W.: MM5-derived fields of wind speed and direction for distributed simulations of snow transport processes in the Berchtesgaden National Park (Germany) (EGU, Wien).
- MAUSER, W., STRASSER, U., BERNHARDT, M., LUDWIG, R., SIEBEL, F.: Integrative hydrological simulations of the Upper Danube Catchment. 69. Jahrestagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Berlin, 4.-9. März 2005.
- MUERTH, M., MAUSER, W. und LUDWIG, R.: "Development of a soil heat flux and storage model for Global Change Assessment on the regional scale" - Vortrag in Session HS40, EGU General Assembly in Wien (02. bis 07.04.2006).
- MUERTH, M.: "Regionalisierung und Validierung des Bodenwassermodells im mesoskaligen, integrativen Entscheidungs-Unterstützungs-System DANUBIA" - Vortrag bei der Jahressitzung des AK Hydrologie der DGfG am 55. Deutschen Geographentag in Trier (01. bis 08.10.2005).
- SIEBEL, F. und MAUSER, W.: A Hyperbolic System of Balance Laws for Traffic Flow Modeling. Traffic Flow Modeling Management - A meeting on mathematical problems motivated by traffic, Brescia (Italy), 19.-20. Januar 2006.
- SIEBEL, F. und MAUSER, W.: Inverse modelling of traffic flows. 5th European Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services, Hannover, 1.-3. Juni 2005.
- SIEBEL, F. und MAUSER, W.: Simulating vehicular traffic in a network using dynamic routing. 69. Jahrestagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Arbeitskreis Physik sozioökonomischer Systeme, Berlin, 4.-9. März 2005.
- STRASSER, U., BERNHARDT, M. und MAUSER, W.: Simulation von Lokalwindfeldern mit MM5 zur Schneetransportmodellierung im Hochgebirge (Jahressitzung des AK Hydrologie der DGfG am 55. Deutschen Geographentag in Trier (01.- 08.10.2005).

5. Weiterentwicklung des Verkehrsmodells

Im Rahmen der Doktorarbeit von M. Tepfenhart wurde das Tiefe-Akteurs-Modell *Traffic* entwickelt, das den Entscheidungsprozess von Skitouristen für die Ausführung von Tagesausflügen in eines der Skigebiete im Einzugsgebiet der Oberen Donau beschreibt. Die Population des Einzugsgebietes wird dabei durch die sogenannten Sinus-Milieus der microm GmbH beschrieben, welche die Bevölkerung auf der räumlichen Skala von Marktzellen in verschiedene sozio-ökonomische Milieus klassifiziert. Wir modellieren den Entscheidungsprozess in Abhängigkeit von der Schneehöhe, dem Wetter, der Fahrzeit und dem Milieus der Akteure mit Hilfe von *Discrete-Choice-Methoden*. Das Modell ist vollständig innerhalb des Entscheidungsunterstützungssystems DANUBIA implementiert und die systematische Validierung des Modells wurde initiiert. In Zusammenarbeit mit der Projektgruppe Tourism haben wir Betreiber von Skiliften kontaktiert, um Zahlen über die verkauften Tagesskipässe zu erhalten. Des Weiteren haben wir mit der Unterstützung der Projektgruppe *Household* eine Befragung unter Tagesskitouristen gestartet, welche ein besseres Verständnis der sozio-ökonomischen Parameter des Entscheidungsmodells liefern soll. Abb. 1 zeigt die Ergebnisse des Entscheidungsprozesses für mit DANUBIA modellierte Eingangsdaten der Schneehöhe und Wetterbedingungen für fünf ausgewählte Skigebiete.

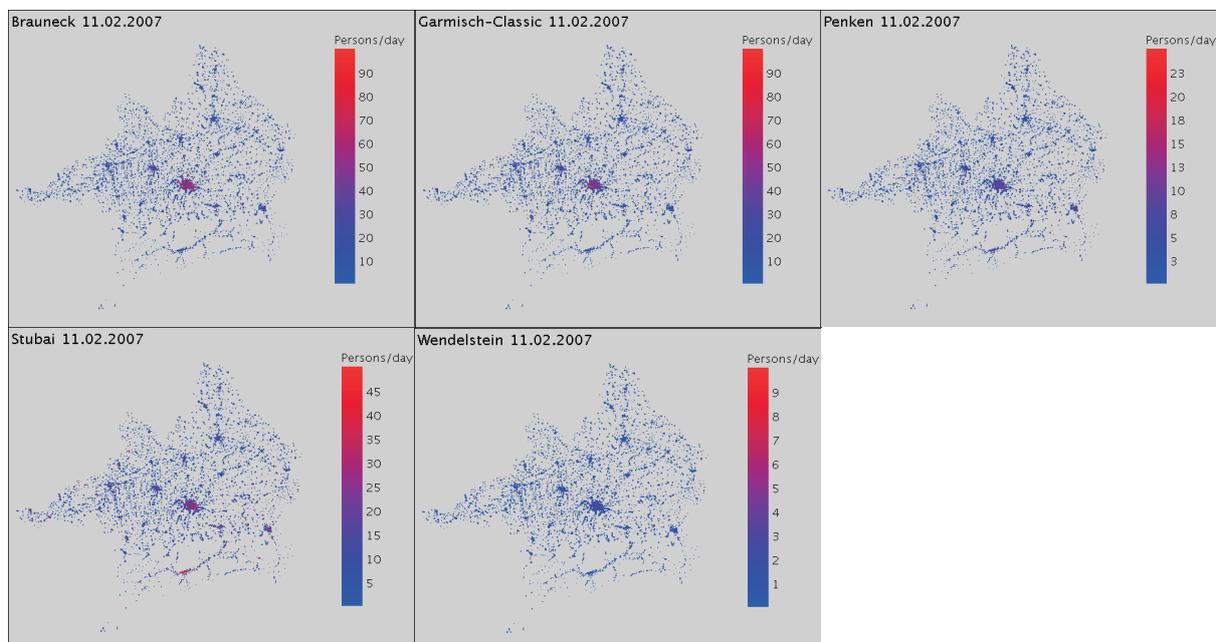


Abb. 1: Modellierte Anzahl von Tagesskitouristen pro Proxel für die Skigebiete Brauneck, Garmisch-Classic, Penken, Stubai und Wendelstein

Das Entscheidungsmodell wurde mit dem Verkehrsmodell *DaTraM* gekoppelt. Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse der Verkehrsdynamik.

Die dynamische Simulation von Verkehrsszenarien ist rechenaufwendig. Daher haben wir das Verkehrsmodell *DaTraM* parallelisiert (SCHLENZ und SIEBEL 2006). Darüber hinaus haben wir ausgedehnte Studien zu Modellverbesserungen ausgeführt. Während die aktuelle Version von *DaTraM* auf der klassischen makroskopischen Verkehrsflusstheorie (LIGHTHILL und WHITHAM 1955; RICHARDS 1956) basiert, haben wir an einer Erweiterung eines neueren makroskopischen Verkehrsmodells (AW und RASCLE 2000; GREENBERG 2001) gearbeitet, welche die Effekte von Stop-and-Go-Verkehr und die Bildung von Verkehrstaus realistisch beschreiben kann (SIEBEL und MAUSER 2005; SIEBEL und MAUSER 2006; SIEBEL und MAUSER (einger.)). Mit unserem Verkehrsmodell planen wir eine Studie über die Auswirkungen des Klimawandels auf die Wettbewerbsdynamik von Skigebieten um Tagestouristen (TEPFENHART et. al (in Vorb.)). Für Tagestouristen ist die Fahrzeit zwischen Wohnort und

Skigebiet ein entscheidender Faktor, der mit dem Verkehrsmodell *DaTraM* beschreiben werden kann.

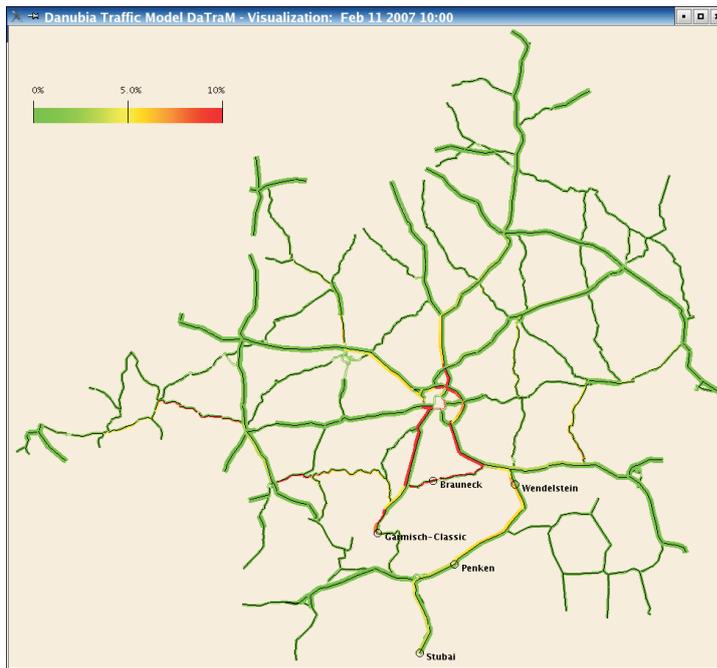


Abb. 2: Straßennetz der Oberen Donau. Die Abbildung zeigt die Sättigung der wichtigsten Autobahnen und Straßen am 11. Februar 2007 für den durch Skitouristen verursachten Verkehr nach dem Entscheidungsmodell *Traffic*. Zusätzlich wurden die entsprechenden Zielknoten in das Netzwerk eingezeichnet

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

Die vor allem in stark reliefertem Gelände beobachtete räumliche Variabilität der Schneedecke wird vor allem durch zwei Prozesse hervorgerufen: zum einen die räumlich variable (und mit hohen Messfehlern versehene) Niederschlagsmenge, zum anderen durch den Transport des bereits als Schnee abgelagerten Niederschlags, vor allem durch Wind. Letzteres beeinflusst damit auch die räumliche Variabilität und zeitliche Dynamik des Energie- und Wasserhaushalts der Schneedecke, die Vegetationsentwicklung und letztlich sogar das Lawinenrisiko (DOESKEN und JUDSON 1996; BALK und ELDER 2000). Die Notwendigkeit, die Effekte des Schneetransports auch in großskaligen Modellen zu berücksichtigen, entspricht nicht nur unseren eigenen Erfahrungen, sondern wurde z.B. von BOWLING et al. (2004) schon erkannt. Durch die Entwicklung eines Modellansatzes zum windinduzierten Schneetransport in der GLOWA-Danube Super-Testsite Nationalpark Berchtesgaden sollen Erkenntnisse über die Auswirkungen des Schneetransportes in alpinem Gelände gewonnen werden, die der Gruppe Glaziologie eine an die im alpinen Raum vorherrschende Topographie angepasste Weiterentwicklung ihres Modells ermöglicht. Vor der Skalierung auf die in GLOWA-Danube übliche Skala von 1km² wird zur Entwicklung und Validierung auf der Prozessskala gearbeitet (max. Auflösung 10m).

Als Grundlage für die numerischen Simulationen der Schneedecke wurde neben den meteorologischen Daten des Nationalparks Berchtesgaden das automatische Messnetz des Lawinenwarndienstes Bayern genutzt. Für die Bereitstellung von plausiblen (d.h. das Relief berücksichtigenden) Windfeldern wurde nicht auf herkömmlich interpolierte bzw. statistisch erzeugte Windfelder zurückgegriffen, sondern eine modifizierte Version des physikalisch basierten Atmosphärenmodell MM5 (*Penn State University - National Center for Atmospheric Research*, Version 3.3 (GRELL et al. 1995)) eingesetzt, das auch im Teilprojekt Meteorologie zur Klimamodellierung benutzt wird. In der genutzten Konfiguration arbeitete das Modell mit fünf interaktiv genesteten Modelldomänen verschiedener Auflösung (Abb. 3).

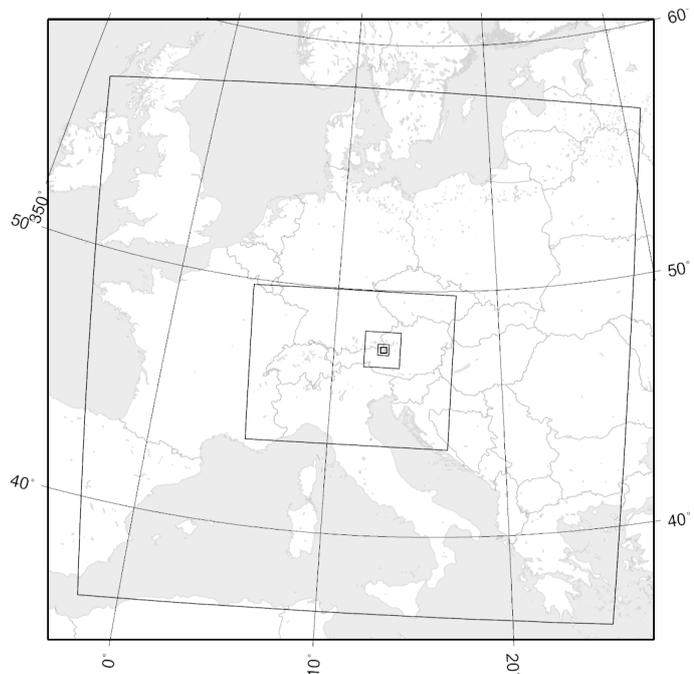


Abb. 3: MM5 Nesting-Domänen, von 1 (größte Erstreckung) bis 5 (Zielgebiet)

Da eine Einbindung von MM5 in den operationellen Teils der Modellkette zur Schneedecken-simulation zu einer signifikanten Beeinträchtigung der Performanz geführt hätte, wurden die MM5 Windfelder von der eigentlichen Schneetransportmodellierung getrennt und im Voraus berechnet: das Ziel war, eine Bibliothek zu erzeugen, mit der ein repräsentatives Windfeld für jede Modellstunde bereitgestellt werden kann. Für die nötigen MM5 Modellläufe nutzten wir idealisierte Randbedingungen, die so gewählt wurden, dass die typischen, für Schneetransport relevanten klimatischen Bedingungen reproduziert werden konnten. Die Randbedingungen wurden für jeweils 24 Modellstunden konstant gehalten, wodurch die Windfelder annähernd *steady state* Bedingungen erreichen und somit als repräsentativ für die gewählte Situation gelten können (BERNHARDT et. al. 2006). Zusätzlich zu MM5 wurden operationelle Analysedaten des DWD-Lokalmodells (LM) verwendet. Zur Synchronisation der 220 modellierten MM5 Windfelder mit der Modellzeit wurden zu jeder Modellstunde Windrichtung und -geschwindigkeit der operationellen Analysedaten des LM im 700 hPa-Niveau gemittelt und mit äquivalenten Mittelwerten der Modelldomäne 3 von MM5 (jeweils im 700 hPa-Niveau) in Beziehung gesetzt. Über diesen Weg wurde es möglich, das korrespondierende Windfeld für jede Modellstunde aus der Windfeldbibliothek zu extrahieren (BERNHARDT et. al. 2005). Die Kopplung der beteiligten Modelle zeigt Abbildungen 4-7 12: die MM5 Windfelder unterscheiden sich deutlich von den konventionell interpolierten Windfeldern. Das abgebildete MM5 Windfeld und das interpolierte Windfeld beschreiben dieselbe Situation. Bei der vergleichenden Betrachtung lässt sich erkennen das, dass MM5 Windfeld im Gegensatz zu dem interpolierten Windfeld nicht nur eine Höhenabhängigkeit der Windgeschwindigkeit zeigt, sondern zusätzlich dynamische Effekte wie Luv und Lee abgebildet werden. Die dargestellten Ausschnitte zeigen, dass die in den MM5 Windfeldern abgebildeten Windrichtungen abhängig von dem Relief sind, während die interpolierten Windfelder einen uniformen und im Wesentlichen von den Stationswerten beeinflussten Charakter aufweisen. Die Verfügbarkeit von physikalisch basierten Windfeldern die plausible Windgeschwindigkeiten und -richtungen zur Verfügung stellen sollten sowohl die Bestimmung der Intensität der Transportereignisse aber auch die Verortung von Erosions- und Depositionsgebieten verbessern.

Vergleichende Darstellung von interpolierten und modellierten Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen. Beide Beispiele zeigen Windfelder wie sie für eine Windgeschwindigkeit von 6m/s und eine Anströmrichtung von 265° an der meteorologischen Station Reiteralm erzeugt werden.

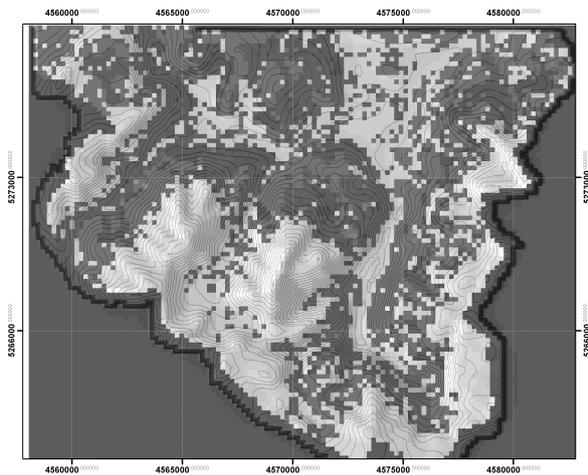


Abb. 4: Nach der Methodik von LISTON (1998) interpoliertes Feld der Windgeschwindigkeit. Die Windgeschwindigkeiten liegen zwischen 1m/s (Dunkelgrau) und 9m/s (Hellgrau)

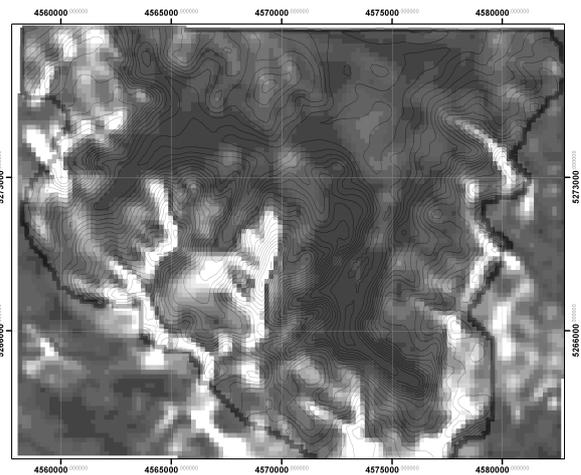


Abb. 5: MM5 generierte Windgeschwindigkeiten. Die Windgeschwindigkeiten liegen zwischen 1m/s (Dunkelgrau) und 11m/s (Hellgrau)

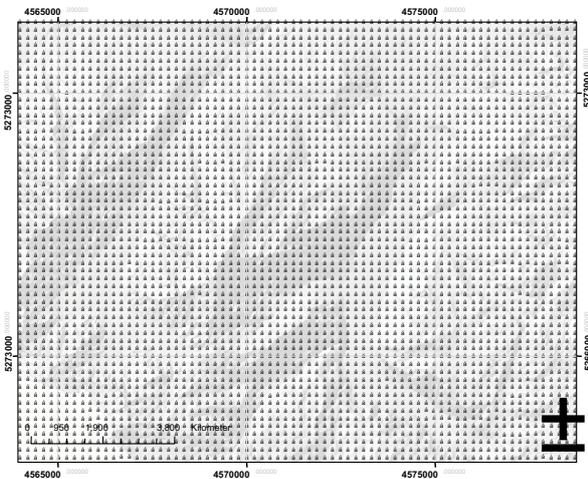


Abb. 6: Nach der Methodik von RYAN (1977) interpoliertes Feld der Windrichtungen. Ausschnitt aus dem gesamten Windfeld mit dem Watzmann im Zentrum

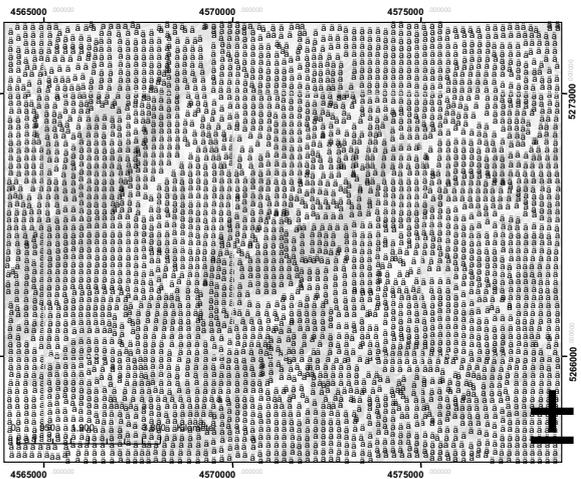


Abb. 7: MM5-generierte Windrichtungen. Ausschnitt aus dem gesamten Windfeld mit dem Watzmann im Zentrum

Für die Simulation der Schneetransportprozesse wurde auf das bewährte und in der Literatur dokumentierte Modell *SnowTran3D* (LISTON und STURM 1998) zurückgegriffen; mit dem Autor des Modells herrscht ein reger Erfahrungsaustausch. Die Kopplung dieses Modells mit der MM5 Windfeldbibliothek wurde erfolgreich durchgeführt und eine für die GLOWA-Danube Super-Testsite Nationalpark Berchtesgaden angepasste Parametrisierung vorgenommen.

Zusätzlich zu den modelltechnischen Aufgaben wurden Geländekampagnen für die Winter 2004/2005 und 2005/2006 geplant und in Kooperation mit der Nationalparkverwaltung Berchtesgaden ausgeführt. In diesem Rahmen wurden in repräsentativen Testbereichen in der Nähe der Stationen des Lawinenwarndienstes wöchentliche Schneedeckenerhebungen durchgeführt.

Bei der Schneedeckenmodellierung fand zunächst das DGM in 200 m Auflösung Verwendung, mit dem auch die MM5 Simulationen durchgeführt wurden. Anhand der Ergebnisse konnten erste Abschätzungen über die Modellgüte und die Relevanz der Schneetransportprozesse im betrachteten Gebiet getroffen werden. Die Validität der Ergebnisse konnte für den betrachteten Zeitraum (Winter 2003/2004) anhand von Punktmessungen der Schneehöhe abgeschätzt werden. Die Modellergebnisse zeigen hier eine gute Übereinstimmung zwischen den Mess- und den modellierten Werten. Direkt an den meteorologischen Stationen liegen

die Korrelationen zwischen Messung und Modellergebnis immer über $r^2=0.8$ (BERNHARDT et. al. 2006) (Abb. 8). Aber auch für zwischen den meteorologischen Stationen gelegene Testpunkte konnten gute Ergebnisse erzielt werden (Abb. 9). Dies ist besonders im Hinblick auf die Regionalisierbarkeit der Ergebnisse von Interesse. Durch die Tatsache das valide Ergebnisse auch zwischen den meteorologischen Stationen verfügbar sind, wird es uns möglich die Subpixelvariabilität der Schneedecke auch in Gebieten zwischen meteorologischen Stationen zu ermitteln. Dies wird es uns erlauben, an einer geländeabhängigen Parametrisierung des Schneetransports auf Prozessebene zu arbeiten, die dann der Gruppe Glaziologie übergeben und auf die GLOWA-Skala angewendet werden kann.

Schneehöhe gemessen vs. modelliert (Messpunkt Reiteraln)

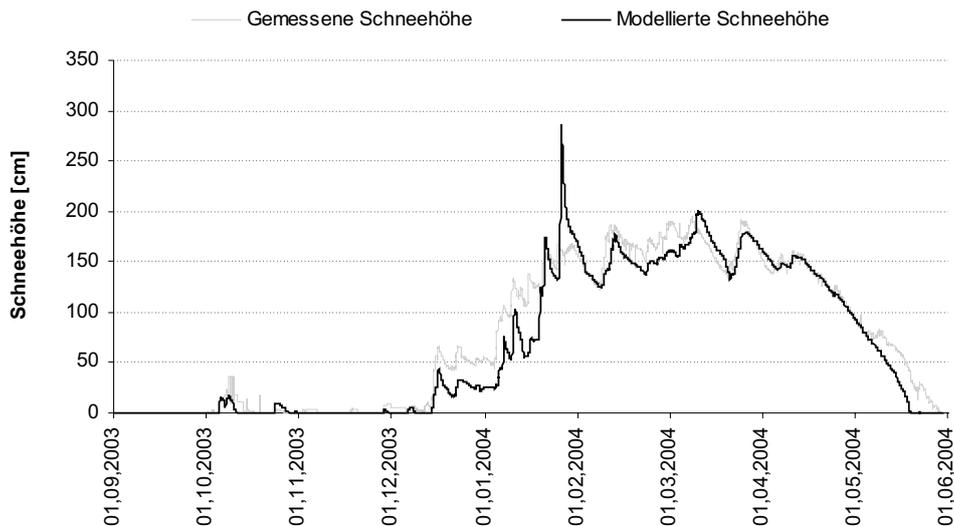


Abb. 8: Ergebnisse der Schneedeckenmodellierung für den Winter 2003/2004 an der meteorologischen Station Reiteraln 3. Die Werte zeigen einen Korrelationskoeffizienten von $r^2=0.94$

Schneehöhe gemessen vs. modelliert (Messpunkt Kühroint)

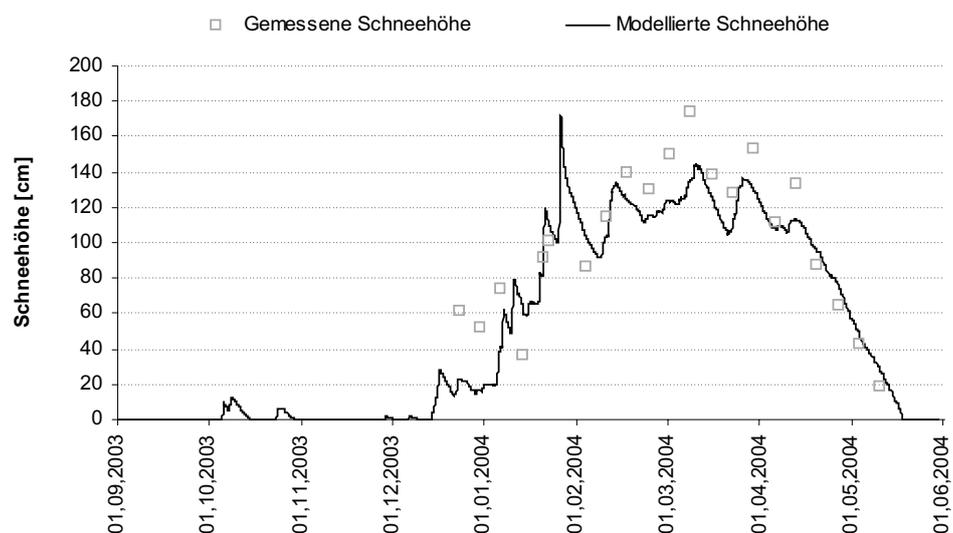


Abb. 9: Ergebnisse der Schneedeckenmodellierung für den Winter 2003/2004 an dem Messpunkt Kühroint. Die Werte zeigen einen Korrelationskoeffizienten von $r^2=0.7$

Die erfolgreiche Validierung am Punkt erlaubt auch die Interpretation der Flächendatensätze. Es konnte gezeigt werden, dass bereits auf der Basis des 200m - DGM's deutliche, durch Schneetransport bedingte Muster erkennbar wurden. Es lässt sich ebenfalls feststellen, dass die Varianzen in der Schneehöhe, bei unberücksichtigtem Schneetransport, nahezu ausschließlich von der Höhe über N.N. abhängen: 96% der Varianzen ließen sich durch diese Beziehung erklären. Unter Berücksichtigung des Transportes ließen sich nur noch 84 % der Varianzen über die Höhe über N.N. erklären, während 14% der Varianzen sich über die Exposition erklärten (Abb. 10) Dies ist ein Beleg für die Dominanz von Luv- und Lee-Effekten gegenüber der Geländehöhe. Es konnte ebenfalls gezeigt werden, dass die Sublimationsverluste aus der Schneedecke, die sich bei Nicht-Berücksichtigung der Transportprozesse generell unter 1% des Schneeniederschlags bewegen, während sie unter Transportbedingungen auf bis zu 14% in den gipfnahen Bereichen ansteigen (Abb. 11). Der Sublimationsprozess hat unmittelbare Konsequenzen auf das vorhandene Schneewasseräquivalent und den Betrag des abfließenden Schmelzwassers; somit ist es auch für Modellierungen auf der 1km² - Skala von Belang.

Variabilität der Schneehöhen in Abhängigkeit zur Höhe ü. NN

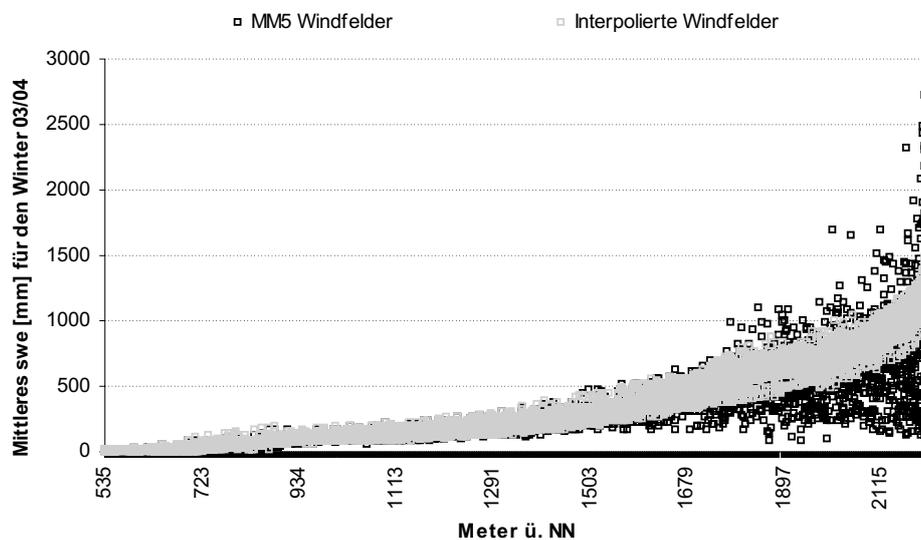


Abb. 10: Abhängigkeit des Schneewasseräquivalents von der Höhe ü. NN

Sublimationsverluste im Winter 2003/2004

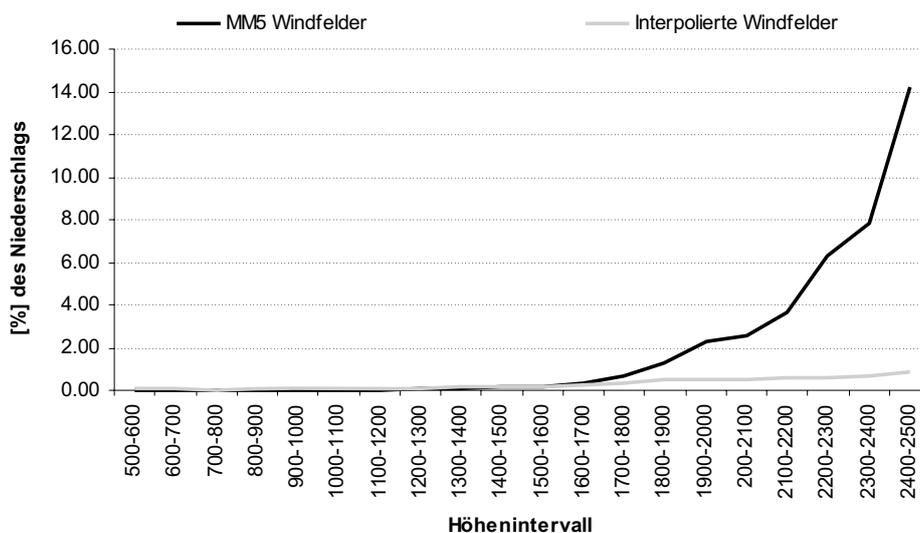


Abb. 11: Sublimationsverluste in Abhängigkeit von der Höhe über NN

Für Detailuntersuchungen und zur Validierung der Simulationsrechnungen mit den Daten aus den Messkampagnen des Nationalparkdienstes wird eine weitere Steigerung der Auflösung bis zur Prozess-Skala von 10 m angestrebt. Die Windfelder werden dann über einen semi-empirischen Ansatz auf diese Zielauflösung skaliert. In zukünftigen Arbeitsschritten sollen dann die Modellergebnisse mit den Geländedaten aus den Wintern 2004/2005 und 2005/2006 verglichen und deren Skalenabhängigkeit untersucht und formal beschrieben werden.

Die wichtigsten und lohnendsten Fragestellungen zur Bearbeitung im dritten Jahr der laufenden Projektphase sehen wir in

- Der Validierung der simulierten Transportraten mit den Geländemessungen der Nationalpark-Mitarbeiter auf den Versuchsflächen Reiter Alm und Kühroint; an diesen Versuchsflächen stehen die kontinuierlichen meteorologischen Messungen der Stationen des Lawinenwarndienstes Bayern zur Verfügung (Kooperation mit Dr. Zenke, <http://www.lawinenwarndienst-bayern.de/>). Dazu werden die Modellrechnungen auf der Prozess-Skala von 10 angestrebt.
- der Untersuchung der Skalenabhängigkeit der Transport-Teilprozesse Saltation, Sublimation und Suspension. Im speziellen sollen hier auf die sich unter Global Change-Verhältnissen verändernden Sublimationsraten eingegangen und die Konsequenzen für einen veränderten Wasserhaushalt in hochalpinen Einzugsgebieten abgeschätzt werden.
- Ausdehnung der Simulationsrechnungen auf größere Bereiche des Nationalparkgebietes mit entsprechender Anpassung des Modellmaßstabes; dies dient zusammen mit den hochaufgelösten Rechnungen als Grundlage zur Ableitung von Parameterisierungs-Schemata für die Modellierung der Schneedeckendynamik in der Proxel-Skala von GLOWA-Danube. In diesem Arbeitsschritt ist eine enge Kooperation mit der Gruppe Glaziologie (Herr Dr. Markus Weber) mit entsprechenden Vergleichs-Simulationen vorgesehen.

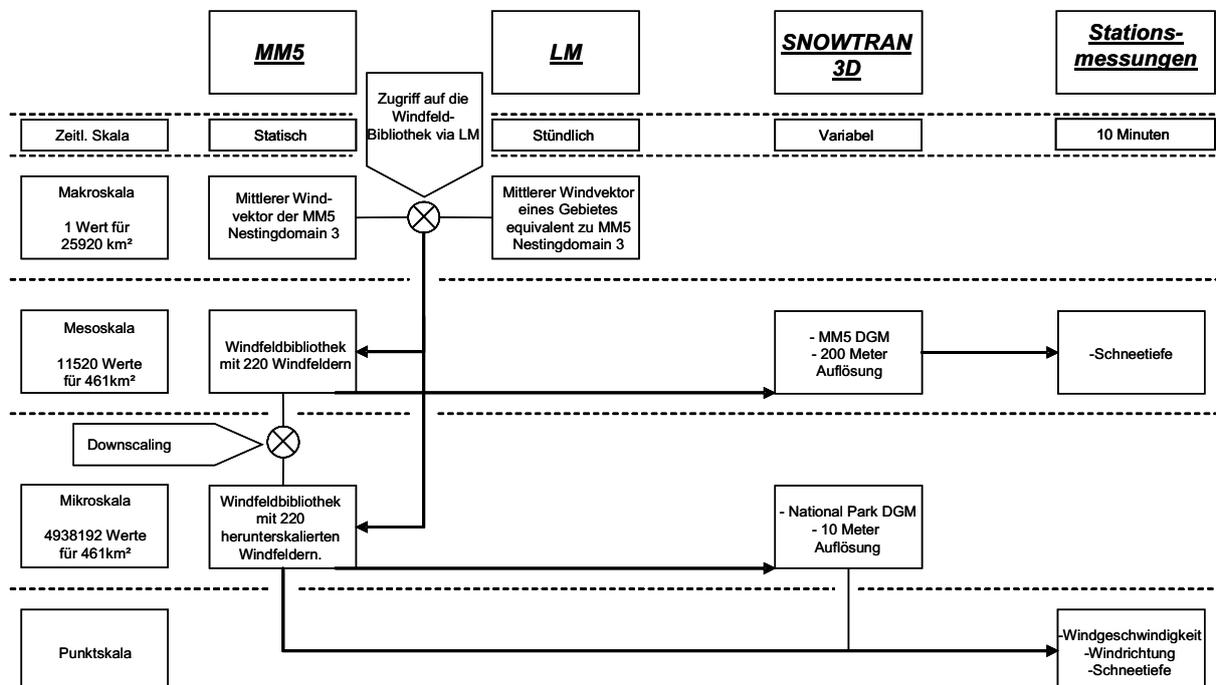


Abb. 12: Kopplung der Modellrechnungen zur Simulation von Schneetransportprozessen

Hauptziel für die verbleibende Zeit der II. Phase des Projektes ist, die Transportsimulationen für eine Betrachtung der Effekte dieser Prozesse auf der GLOWA-Danube Subpixel-Skala für die Modellrechnungen der Gruppe Glaziologie in Wert zu setzen. Dazu arbeiten wir eng mit Herrn Dr. Markus Weber, der für die Entwicklung des entsprechenden Modells verantwortlich ist, zusammen. Außerdem findet am 5./6. Oktober in München ein von uns organisierter, internationaler Workshop statt, in dessen Rahmen unsere Entwicklungen der community präsentiert und diskutiert werden (<http://www.alpinesnowworkshop.org/>).

7. Weiterentwicklung des Bodentemperatur-Moduls SHTM-4L

Das im folgenden vorgestellte 4-Schicht Soil Heat *Transfer Module* (SHTM-4L) ist ein physikalisch basiertes Bodentemperatur-Modul für DANUBIA, welches auch das Gefrieren des Bodenwassers simulieren kann. Die berechnete Temperatur der Bodenschichten wird stündlich oder täglich von mehreren Teilmodellen in DANUBIA abgefragt. Dazu gehören u.a. das Stickstoff-Kreislauf-Prozessmodell (AG Agrar-Ökologie) und der *Farming-Actor* (AG Agrar-Ökonomie). Die Simulation von Bodengefrorenis soll in Zukunft v.a. die Berechnung von Direktabfluss bei Schneeschmelze und Starkniederschlägen im Frühjahr verbessern.

Im Gegensatz zu anderen Bodentemperatur-Modellen wird in SHTM-4L die Temperatur des Bodens in nur drei Schichten berechnet (siehe Abb. 13). In einer virtuellen Schicht unterhalb der eigentlichen Modellhorizonte wird die Temperatur über eine analytische Lösung (3) abgeschätzt und als untere Randbedingung bei der Wärmetransfer-Simulation berücksichtigt.

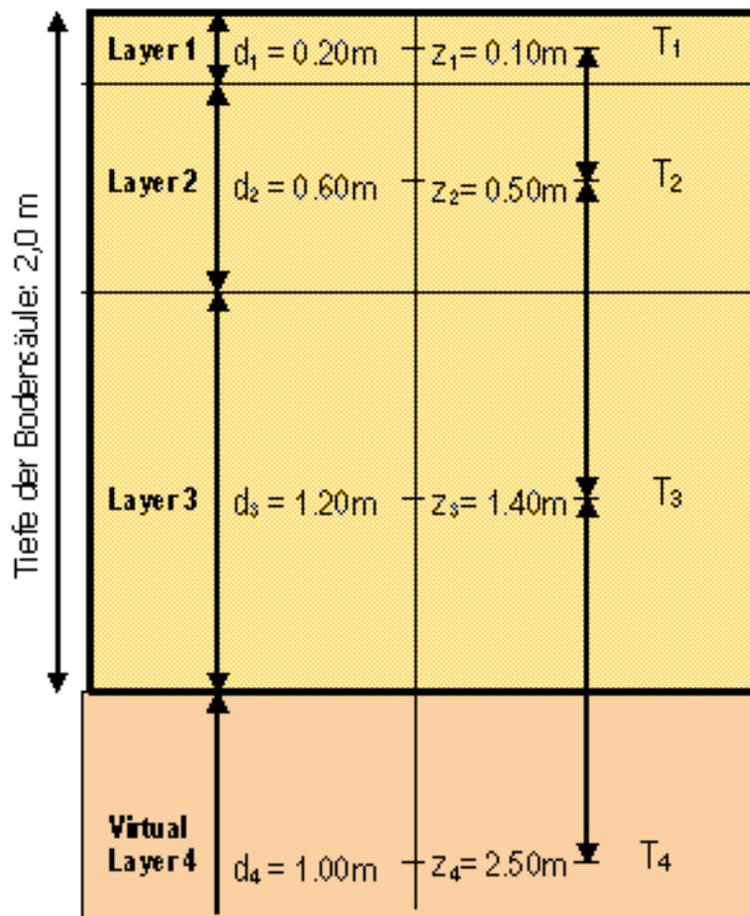


Abb. 13: Schematische Darstellung der Bodensäule mit virtueller Schicht

Der 1-dimensionale Wärmefluss $G_{1,2}$ zwischen den homogenen Schichten 1 und 2 ergibt sich aus dem Temperaturgradienten $(T_1(t_0 + \Delta t) - T_2(t_0))$ zwischen den beiden mittleren Schichttiefen z_1 und z_2 . Die thermische Leitfähigkeit λ wird als die der unteren Schicht angenommen.

$$G_{1,2} = -\lambda \frac{T_1(t_0 + \Delta t) - T_2(t_0)}{z_2 - z_1} \quad (1)$$

Da der entscheidende Energiefluss von der Bodenoberfläche ausgeht und das *Newman*-Kriterium (keine Oszillation zwischen Schichten möglich) eingehalten wird, wird vereinfacht angenommen, dass der Wärmeimpuls von der obersten Schicht nach unten weitergegeben wird. Deshalb wird bei Berechnung des Energieflusses für die obere Schicht die aktuelle Temperatur und für die untere Schicht die Temperatur des vorhergehenden Zeitschritts angenommen. Zusammengefasst ergibt sich für $T(t)$:

$$T(t) = \frac{(G_{upper} - G_{lower}) \cdot \Delta t}{d \cdot C_v} + T(t_0) \quad (2)$$

mit d = Dicke der Bodenschicht
 C_v = volumetrische Wärmekapazität

Die analytische Lösung der Wärme-Diffusions-Gleichung für die virtuelle Schicht ist

$$T(z,t) = T_{av} + A_y \cdot e^{-z/d} \cdot \cos\left(\omega(t-t_0) - \frac{z}{d_D}\right) \quad (3)$$

mit $d = \sqrt{\frac{2\lambda}{c_v \cdot \omega}}$ und $\omega = \frac{2\pi}{\tau}$

T_{av} = Jährliche Mitteltemperatur der Luft
 A_y = Jährliche Amplitude des 7-tägigen Mittels der Lufttemperatur
 d = jährliche Dämpfungstiefe [m]
 ω = Winkelgeschwindigkeit
 τ = Oszillationsperiode (365 Tage)
 t_0 = Tag des Jahres höchster Lufttemperatur
 z = Obetrachtete Tiefe
 t = Obetrachteter Zeitschritt (DOY)

Die kritische Eingabegröße des Modells ist die obere Randbedingung. Kann der Bodenwärmestrom an der Oberfläche (kurz: GHF) aus der Simulation der Strahlungsbilanz ermittelt werden, stellt er die treibende Variable für das Bodenwärme-Transfermodul dar. Hierfür wurde das Strahlungsmodell soweit modifiziert, dass es explizit den Energiehaushalt der Bodenoberfläche berechnen kann. Die unter dem Bestand verfügbare Energie R_{in} (lang- und kurzwellige Strahlung) treibt zuerst die Evaporation nach *Penman-Monteith* (MONTEITH 1965) an. Die nach Abzug der latenten Energie LE verbleibende Energie wird über eine Iteration der Oberflächentemperatur $T_{surface}$ in langwellige Austrahlung R_{out} , sensiblen Transport in die Atmosphäre H und Bodenwärmestrom G aufgeteilt. $T_{surface}$ geht dann als obere Randbedingung in SHTM-4L ein. Nach der Aktualisierung der thermischen Parameter des Bodens wird aus dem Gradienten zwischen Oberfläche und erster Schicht der GHF errechnet.

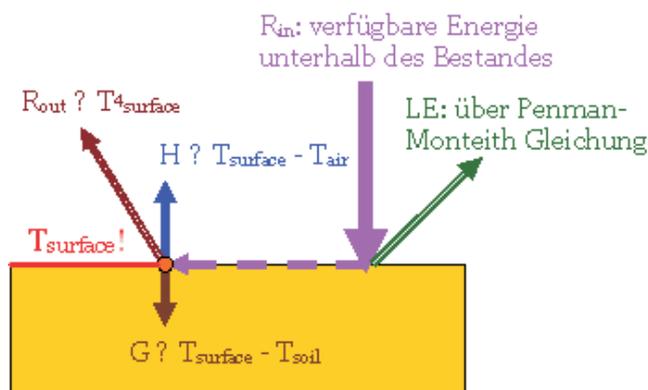


Abb. 14: Schematische Darstellung der Energieflüsse an der Bodenoberfläche

ren konnte mit Hilfe von Messdaten gezeigt werden, dass die mittlere Temperatur der drei Bodenschichten mit dieser räumlichen Schrittweite sehr gut abgebildet werden kann, obwohl viele Modelle, gerade in der meteorologischen Anwendung zur Berechnung der Temperatur der Bodenoberfläche deutlich mehr oberflächennahe Schichten benötigen (BEST et al. 2005). Somit erhöht die Anwendung des Modells die Rechenzeit nur geringfügig im Vergleich zur rein analytischen Simulation. Als räumlich verteiltes Berechnungsverfahren benötigt das Modell zur Initialisierung und Berechnung der analytischen Lösung der untersten Schicht die Jahresmitteltemperatur für jeden Modellpunkt, sowie die jährliche Amplitude des 7-tägigen Mittels der Lufttemperatur und den wärmsten Tag des Jahres als *Day of Year* (DOY). Diese Variablen können am Ende eines Modelljahres aus den Simulationen der meteorologischen Modelle abgeleitet werden.

Validierung des Modells mit Messdaten:

Um das Bodentemperaturmodell gegen Messdaten zu validieren, wurden zwei Strategien angewandt. Zum einen wurden aus Zeitreihen von den beiden Eddy-Korrelations-Stationen des Lehrstuhls Bodentemperatur-, Bodenfeuchte und Bodenwärmestromdaten benutzt, um die Struktur von SHTM-4L als *stand alone*-Modell zu überprüfen. Zum anderen wurde SHTM-4L im Zusammenspiel mit den anderen *Landsurface*-Komponenten benutzt um die gemessenen Zeitreihen der Bodentemperatur der Eddy-Stationen und zufällig ausgewählter Agrarmeteorologischer Stationen des bayrischen Landesamtes für Landwirtschaft (LfL) zu reproduzieren.

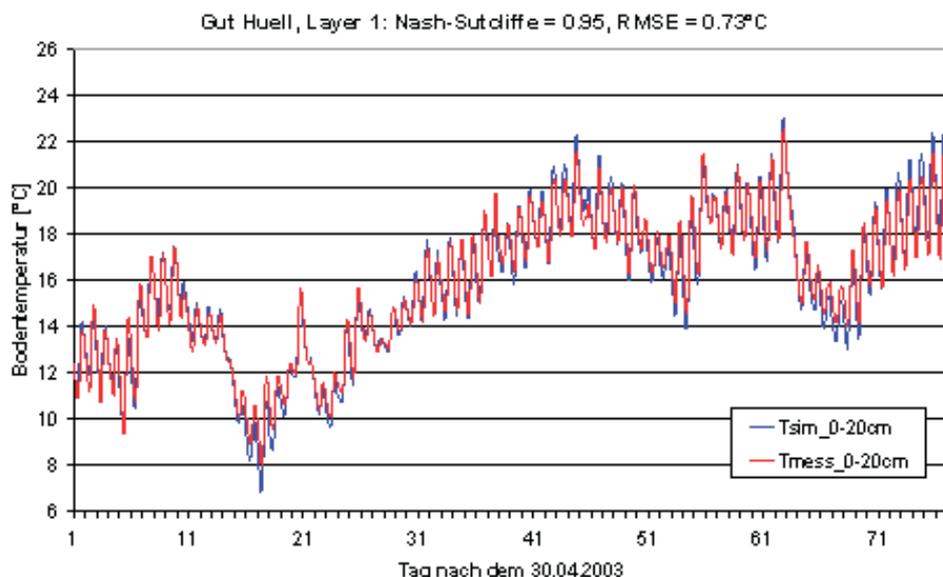


Abb. 15: Vergleich von gemessener Bodentemperatur mit SHTM-4L Ergebnissen für Gut Hüll vom 30.04.2003 bis 15.07.2003

Die Eddy-Korrelations-Station Gut Hüll (48,09°N, 11,33°E) stand im Sommer 2003 in einem Rapsfeld westlich von München auf einem lößlehm-bedeckten Moränenwall der Risseiszeit. Die Station Wielenbach (47,89°N, 11,16°E) steht seit Mai 2004 auf einer Feuchtwiese im Außenbereich der Ammer südlich des Ammersees. Während die Simulation der Zeitreihe Gut Hüll fast perfekt mit der Messung übereinstimmt (Abb. 15), ist die Abweichung zwischen Modell und Messreihe für Wielenbach (Abb. 16) deutlich größer. Die deutlich höhere Amplitude der simulierten Bodentemperatur ist jedoch auf das Fehlen von gemessenen Bodenfeuchtwerten (Kalibrierungs-probleme der TDR-Sonden) und den sehr starken, dämpfenden Einfluss des Grundwassers (Flurabstand ca. 2 Meter) auf den Bodenenergiehaushalt erklärbar.

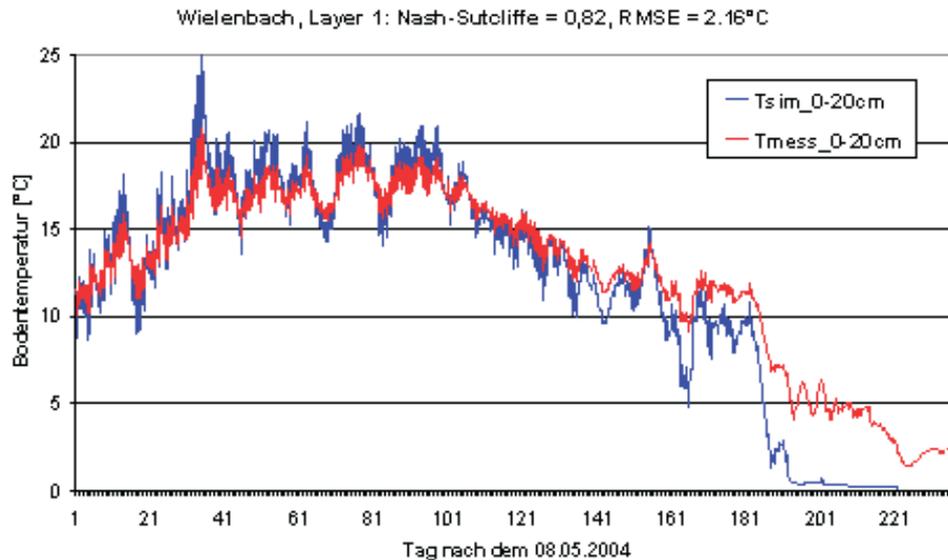


Abb. 16: Vergleich von gemessener Bodentemperatur mit SHTM-4L Ergebnissen für Wielenbach vom 08.05.2004 bis 30.12.2004

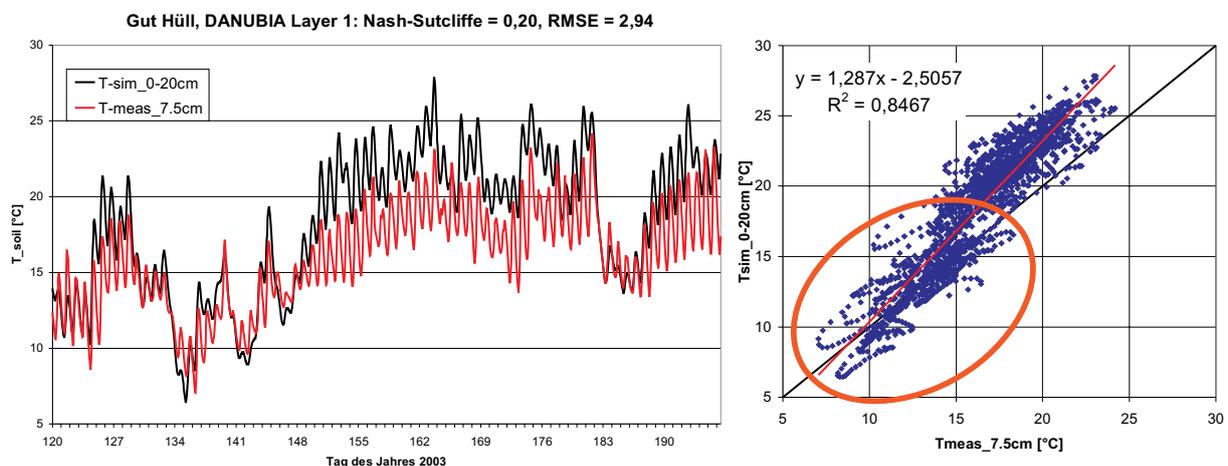


Abb. 17: Vergleich von gemessener Bodentemperatur mit DANUBIA Ergebnissen für Gut Hüll vom 30.04.2003 bis 15.07.2003

Für die Simulation innerhalb der *landsurface*-Komponente ergibt sich ein ähnliches Bild. Für Gut Hüll (Abb. 17) sind die Ergebnisse des Sommers 2003 an mäßig warmen Tagen sehr gut, an Tagen mit hohem Strahlungswerten wird der Bodenwärmestrom, d.h. die Oberflächentemperatur überschätzt. Dies lässt sich auch aus der Punktwolke in Abbildung 17 ablesen. In Abbildung 18 für Wielenbach erkennt man wieder die starke Dämpfung der gemessenen Kurve im Gegensatz zur DANUBIA-Ausgabe. Dies liegt zum Einen am Grundwassereinfluss der nicht berücksichtigt werden konnte, zum Anderen wohl auch an einer Überschätzung der Temperaturamplitude im Modell, die zukünftig behoben werden soll.

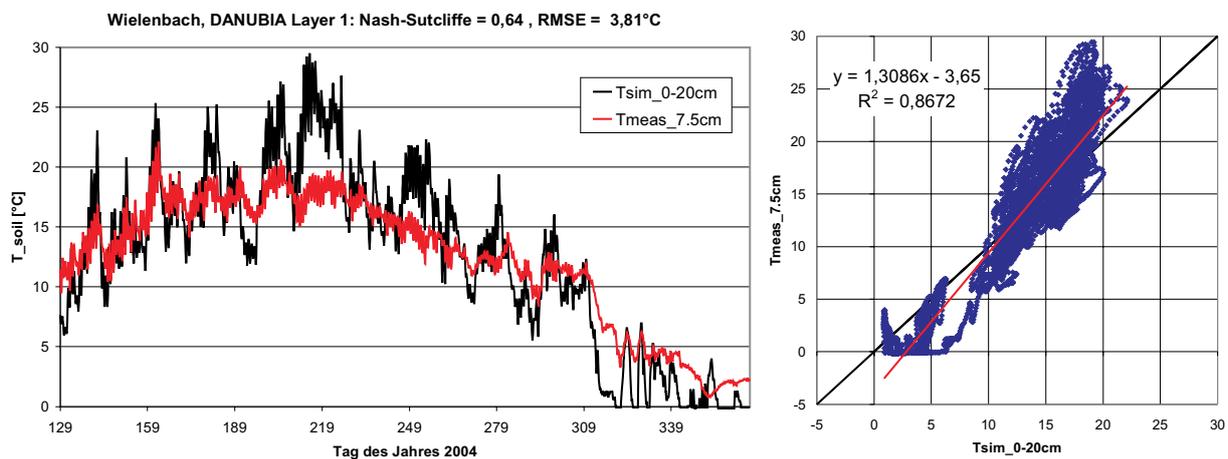


Abb. 18: Vergleich von gemessener Bodentemperatur mit DANUBIA Ergebnissen für Wienlbach vom 08.05.2004 bis 30.12.2004

Insgesamt bewerten wir die Performanz von SHTM-4L im Rahmen von DANUBIA jedoch als gut, wie die statistischen Werte der Validierungssimulationen für acht zufällig ausgewählte Stationen des Agrarmeteorologischen Messnetzes in Bayern zeigen. Berücksichtigt werden muss, dass dafür die in DANUBIA benutzte Boden-information nicht verändert wurde und die Simulation auf 1km²-Proxeln gerade bei topographischen Parametern Skalenprobleme hervorruft.

Tab. 1: Statistische Kennzahlen für die Simulation der Bodentemperatur mit DANUBIA an Agrarmeteorologischen Stationen in Bayern

Agrarmeteorol. Station	T_mean 2003 gemessen	T_Mean 2003 simuliert	RMSE [°C] 2003	Nash-Sutcliffe 2003	T_mean 2004 gemessen	T_Mean 2004 simuliert	RMSE [°C] 2004	Nash-Sutcliffe 2004
Steinach (Nr. 42) bei Ascha (Straubing)	10.95 °C	11.79 °C	2.46	0.92	9.95 °C	10.76 °C	2.32	0.90
Edelshausen (Nr. 11) bei Schrobenhausen	10.03 °C	10.66 °C	1.81	0.93	9.6 °C	9.73 °C	1.56	0.93
Häringhof (Nr. 10) bei Eichstätt	9.79 °C	11.22 °C	3.43	0.78	9.2 °C	10.25 °C	2.96	0.77
Neuhof (Nr. 99) bei Kaisheim	10.51 °C	10.22 °C	2.38	0.91	9.61 °C	9.35 °C	1.97	0.91
Köfering (Nr. 17) bei Regensburg	10.54 °C	11.92 °C	2.79	0.89	9.52 °C	10.88 °C	2.84	0.82
Reschenberg (Nr. 62) bei Krumbach	10.29 °C	10.94 °C	2.89	0.86	9.8 °C	9.80 °C	2.20	0.89
Schönbrunn (Nr. 48) bei Landshut	-	-	-	-	8.99 °C	10.08 °C	2.00	0.92
Reith (Nr. 50) bei Rothalmünster	10.21 °C	12.12 °C	4.00	0.70	9.68 °C	11.03 °C	3.24	0.76

Ausblick bis zum Ende der II. Phase:

Durch Implementierung eines Algorithmus zur Berücksichtigung von Bodengeformnis bei der Abflussmodellierung (in *Soil*) soll herausgefunden werden, ob eine Verbesserung der Simulation von Frühjahrshochwässern wie z.B. im Frühjahr 2006 möglich ist. Desweiteren muss noch die Kopplung mit *Surface* und *Snow* verbessert werden, da die Bodentemperaturen meist bei sehr warmen oder sehr kalten Witterungsbedingungen eine zu hohe Abweichung von Messergebnissen aufweisen. Letztlich soll nach einer verbesserten Regionalisierung der Bodenparameter überprüft werden, ob die Simualtionsergebnisse für die Stationen des Agrarmeteorologischen Dienstes dadurch realitätsnaher reproduziert werden.

8. Empfang, Prozessierung und Archivierung von Satellitendaten

Im Laufe des Berichtszeitraumes konnten im Rahmen des *Primary Investigator*-Status für ENVISAT (AO 477) wolkenfreie Aufnahmen des abbildenden Spektrometers MERIS auf ENVISAT in Full Resolution Mode (MER_FR_1P) für die Jahre 2004 und 2005 beschafft werden. Dazu konnte insbesondere das von der ESA frei zur Verfügung gestellte „Earth Observation, Multi-Mission, Catalogue and Ordering Services“-Tool EOLI-SA 3.3 (<http://eoli.esa.int/geteolisa/index.html>) genutzt werden. Vermutlich wegen der zunehmenden Qualität von Datenempfang und -prozessierung seitens der ESA standen für die Vegetationsperiode der Jahre 2004 und 2005 sogar mehr wolkenfreie Aufnahmen des oberen Donau-Einzugsgebietes zur Verfügung als im Jahrhundertsommer 2003 (siehe **Tab. 2**).

Tab. 2: Vorhandene MERIS Full Resolution-Szenen der oberen Donau von 2003 bis 2005

2003	2004	2005
06.05.	16.03.	21.03.
16.05.	01.04.	02.04.
01.06.	20.04.	15.04.
04.06.	27.04.	30.04.
10.06.	25.05.	20.05.
19.07.	07.06.	26.05.
22.07.	17.06.	29.05.
07.08.	26.06.	20.06.
13.08.	22.07.	21.06.
25.08.	10.08.	24.06.
20.09.	12.08.	28.07.
30.09.	28.08.	29.08.
15.10.	07.09.	30.08.
18.10.	08.09.	01.09.
	10.09.	05.09.
	17.09.	08.09.
		24.09.
		13.10.
		29.10.
		10.11.

Mit einer räumlichen Auflösung von 300m x 300m im Nadir und 15 Spektralkanälen im VIS und NIR eignen sich die Szenen besonders gut zur aktuellen und großflächigen Ableitung von Landnutzung und Vegetationsparametern für die hydrologische Modellierung. Mit Hilfe der MERIS Szenen kann das gesamte Einzugsgebiet mit jeweils nur einer Szene komplett abgedeckt werden (siehe Abb. 19). Die geometrische Prozessierung der Szenen und die Atmosphärenkorrektur erfolgt mit den frei verfügbaren Programmen der Basic ERS und ENVISAT (A)ATSR and Meris Toolbox (BEAM), Version 3.5 (<http://www.brockmann-consult.de/beam/>).

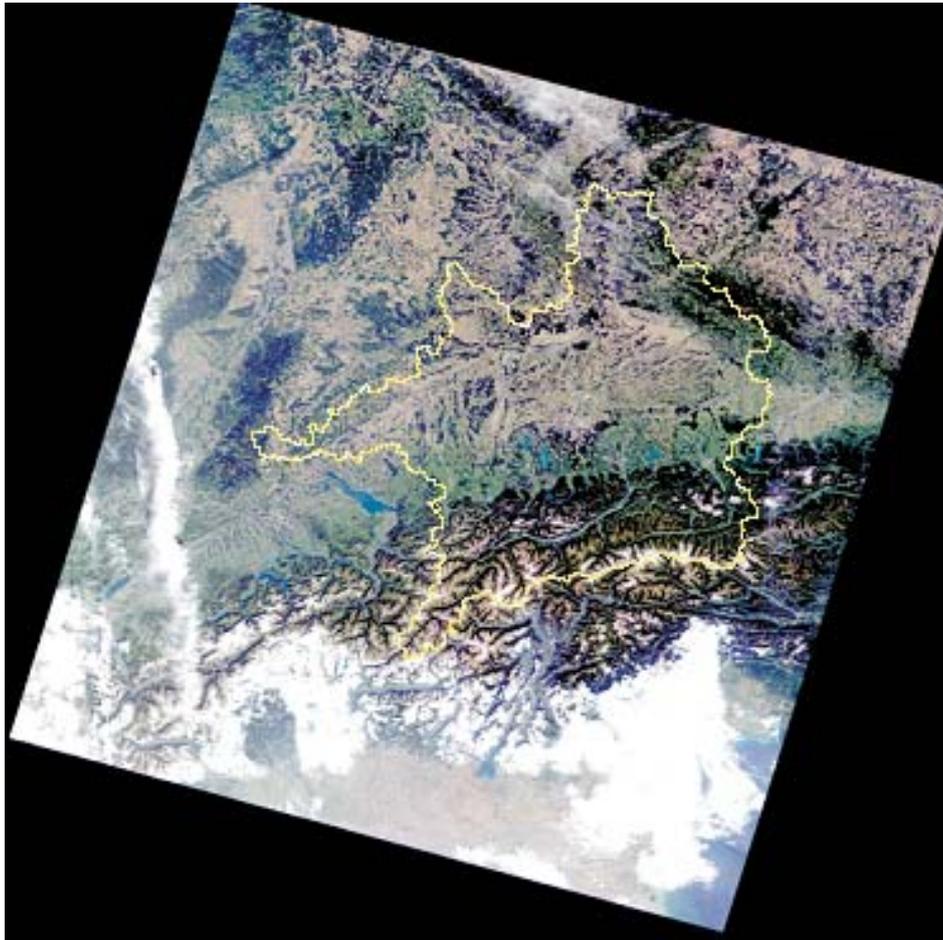


Abb. 19: Geocodierte MERIS Full Resolution-Szene vom 10.09.2004 in Echtfarbenendarstellung (Kanäle 3-5-7). Die Grenzen des Einzugsgebietes der oberen Donau sind gelb hinterlegt

a) Integrative Arbeiten

Im Zuge des kontinuierlichen Ausbaus von DANUBIA sind die Anforderungen an den von allen Teilmodellen verwendeten Basisdatensatz der Landnutzung/Landbedeckung gewachsen. Insbesondere für die agrarökonomische Modellierung in *Farming* ist es notwendig, dass eine hohe Anzahl verschiedener agrarischer Klassen im Landnutzungsdatensatz repräsentiert ist und dass außerdem die Summen der einzelnen landwirtschaftlichen Nutzungen auf Landkreisebene weitgehend mit den unabhängigen Angaben aus der landwirtschaftlichen Flächennutzungsstatistik übereinstimmen. Diese Voraussetzungen waren mit dem bisher verwendeten Landnutzungsdatensatz (CORINE) großteils nicht gegeben. Deshalb wurde in Zusammenarbeit mit den Teilprojekten Pflanzenökologie/Agrarökosysteme und Agrarökonomie die neue *upscaled land use* als speziell angepasster Landnutzungs-/Landbedeckungsdatensatz für die Modellierung mit DANUBIA entwickelt (siehe Abb. 20).

Als Ausgangsdaten wurden die auf Fernerkundungsdaten basierenden CORINE Land Cover Daten, Level 3 (EUROPEAN COMMUNITIES COMMISSION 1992) und landwirtschaftliche Flächennutzungs- und Ertragsstatistiken von Baden-Württemberg, Bayern und Österreich auf Landkreis- bzw. Bezirksebene verwendet. Zunächst erfolgte eine Zuweisung der in CORINE enthaltenen Landnutzungskategorien zu den in DANUBIA verwendeten Klassen und eine Aggregation der ursprünglichen räumlichen Auflösung von 250m x 250m auf das in DANUBIA verwendete 1km²-Proxel. Unter Beibehaltung der räumlichen Verteilung der Klassen Wasser, Gletscher und Bebaute Fläche wurden anschließend die Gesamtsummen aller landwirtschaftlichen Nutzungsarten auf Landkreis-/Bezirksebene an die Angaben der landwirtschaftlichen Flächennutzungsstatistik angeglichen. Dies erfolgte durch

Erhöhung oder Verringerung der Anzahl von entsprechenden Ackerbau- und Grünland-Pixeln. Im Gegenzug wurden die Flächenanteile von Wald bzw. Naturnahen Ökosystemen als ausgleichende variable Größe behandelt, falls nötig. Hierzu wurden in einem komplexen Regelwerk vor allem geographische und topographische Kriterien berücksichtigt. Bei diesem Schritt wurde auch der mit 15 Klassen hohe Differenzierungsgrad der ackerbaulichen Anbauarten aus der Statistik in den Datensatz mit übernommen. Details über die Datenaufbereitung können dem GLOWA-Danube Atlas (Kap. 1.3 Landnutzung und Landbedeckung) entnommen werden.

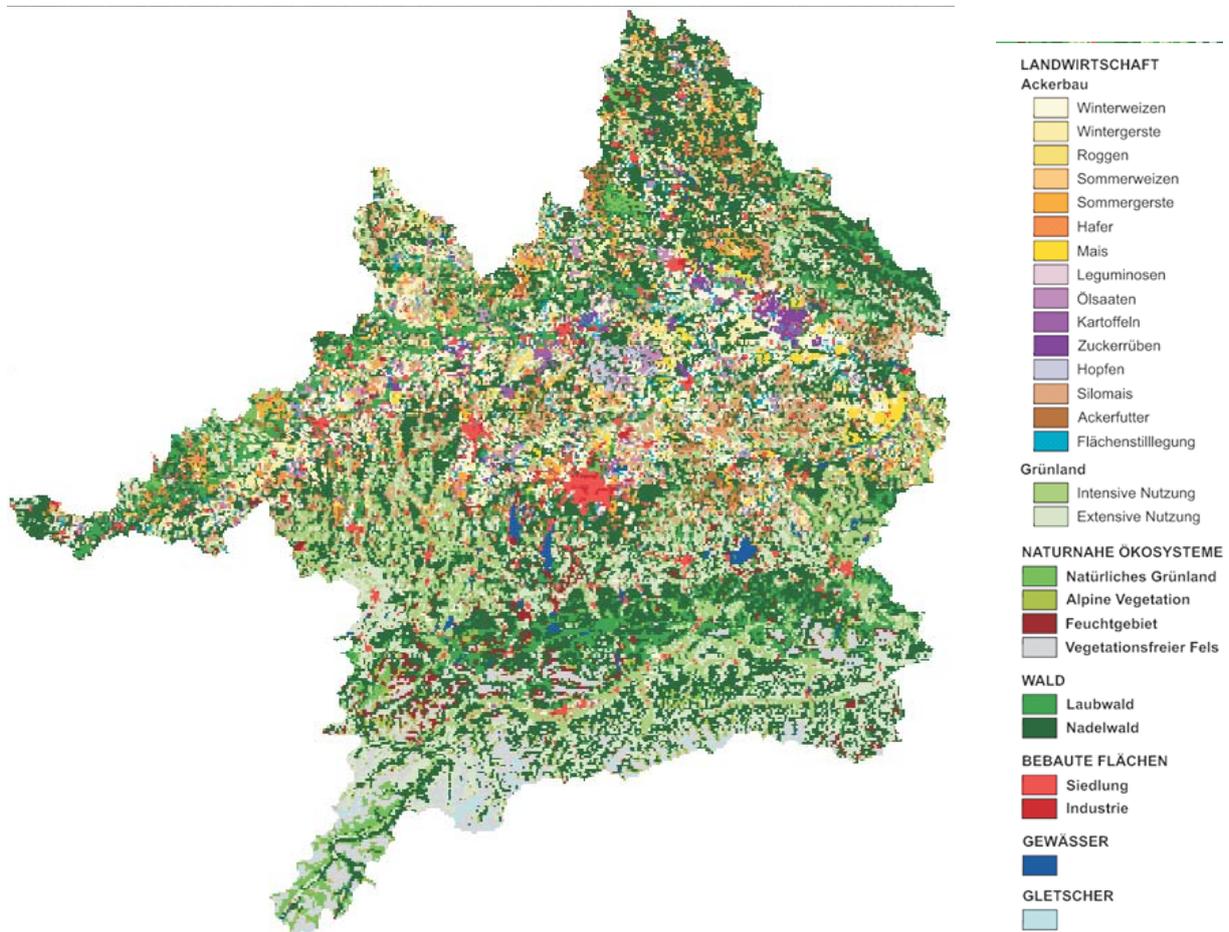


Abb. 20: Landnutzung und Landbedeckung im Einzugsgebiet der oberen Donau

Mit diesem Verfahren konnte insgesamt sichergestellt werden, dass die statistischen Rahmenbedingungen für die agrarökonomische Modellierung erfüllt sind und die räumliche Verteilung der Landnutzung/Landbedeckung dennoch weitgehend konform mit der Fernerkundungsbeobachtung ist. Der resultierende Datensatz der Landnutzung und Landbedeckung ist hierarchisch aufgebaut (siehe Tab. 3): Die oberste Hierarchiestufe, die einheitlich von allen Modellen verwendet wird, umfasst die Kategorien Landwirtschaft, Wald, Naturnahe Ökosysteme, Gewässer, Gletscher und Bebaute Flächen. Abhängig vom Informationsbedarf des jeweiligen Modells werden zusätzlich auch weitere Hierarchieebenen benutzt. In der zweiten Hierarchiestufe werden landwirtschaftliche Nutzungen in Grünland und Ackerland unterschieden, Bebaute Flächen nach Industrie- und Wohnflächen getrennt und Naturnahe Ökosysteme weiter differenziert. Für landwirtschaftliche Nutzungen wird zudem eine dritte Hierarchieebene verwendet, die Grünland mit intensiver und extensiver Nutzung unterscheidet und Ackerland in 15 verschiedene Anbauarten differenziert.

Tab. 3: Hierarchischer Aufbau der Landnutzungs-/Landbedeckungsdaten

1. Hierarchiestufe	2. Hierarchiestufe	3. Hierarchiestufe
Landwirtschaft	Grünland	Intensive Nutzung
		Extensive Nutzung
	Ackerbau	Winterweizen
		Wintergerste
		Roggen
		Sommerweizen
		Sommergerste
		Hafer
		Mais
		Leguminosen
		Ölsaaten
		Kartoffeln
		Zuckerrüben
		Hopfen
		Silomais
Ackerfutter		
Flächenstilllegung		
Wald	Laubwald	
	Nadelwald	
Naturnahe Ökosysteme	Natürliches Grünland	
	Alpine Vegetation	
	Feuchtgebiet	
	Fels	
Bebaute Flächen	Siedlung	
	Industrie	
Gewässer		
Gletscher		

b) Bereitstellung von Daten für andere Teilprojekte

Im Rahmen der engen Kooperation mit anderen Teilprojekten wurden umfangreiche Ground Truth-Daten für die Modellentwicklung und -kalibrierung zur Verfügung gestellt. An das Teilprojekt Pflanzenökologie/Agrarökosysteme wurden für ausgewählte Jahre zeitlich hoch aufgelöste Geländemessdaten von Wuchshöhe, Biomasseentwicklung, Biomasseverteilung und Phänologie für die Nutzungsarten Mais, Winterweizen, Wintergerste, Triticale und Hafer von verschiedenen landwirtschaftlichen Nutzflächen geliefert.

9. Entwicklung von Verfahren zur Kopplung von Atmosphären- und Landoberflächenprozessen

Motivation:

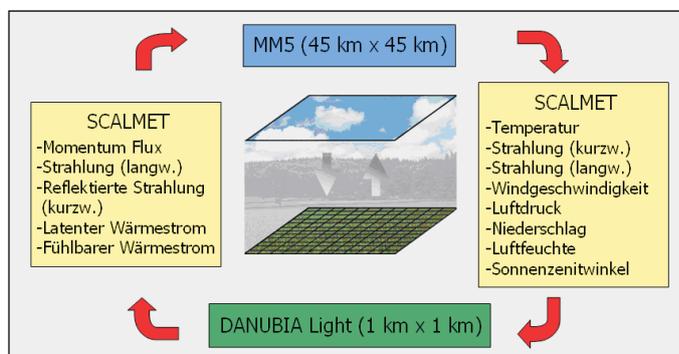
Die Kopplung der Landoberflächen- und Atmosphärenprozesse und die damit einhergehende interaktive Einbettung der Meteorologie in das GLOWA-Danube System ist für das Gesamtprojekt von großer Bedeutung. Sie ermöglicht die Einflussnahme psychologischer, politischer und ökonomischer Prozesse auf die Entwicklung der regionalen Meteorologie und leistet einen wichtigen Beitrag zu einem besseren Verständnis der Prozesse im Land-Atmosphäre-System. Da die Landoberflächenprozesse im gekoppelten System in einer verglichen mit meteorologischen Modellen sehr hohen räumlichen Auflösung von 1km x 1km behandelt werden können, wird der Nichtlinearität vieler hydrologischer Prozesse Rechnung getragen (KUSTAS und NORMAN 2000).

Modelle:

Für die Simulation der Atmosphäre wird das im Rahmen von GLOWA-Danube schon oft beschriebene, mesoskalige Atmosphärenmodell MM5 eingesetzt. Neben seiner Fähigkeit zur mehrfachen Nestung bietet es mehrere Optionen für die Parametrisierung der atmosphärischen Grenzschicht, welcher gerade bei der Untersuchung des Zusammenspiels von Landoberfläche und Atmosphäre eine zentrale Bedeutung zukommt. Die hohe Anzahl der standardmäßig vom MM5 ausgegebenen meteorologischen Parameter in den verschiedenen räumlichen Dimensionen wurde für den Datenaustausch mit der Landoberfläche von Seiten der Meteorologie-Gruppe auf die bodennahen Werte ausgewählter Parameter beschränkt. Weiter wurden die MM5-eigenen Landoberflächen-Routinen vom atmosphärischen Teil entkoppelt, um die Verarbeitung der vom *Landsurface*-Objekt ausgegebenen Landoberflächen-Parameter zu ermöglichen.

Die Landoberflächenprozesse werden in der Entwicklungsphase mit *DANUBIA Light* simuliert. Die aktuelle Version dieses Modells beinhaltet die Objekte des Verbundobjektes *Landsurface*, bindet allerdings nicht alle im *DANUBIA* Gesamtmodell interagierenden Disziplinen (Tourismus, *Traffic*, etc.) ein. Es zeichnet sich deshalb durch weit geringere Rechenzeiten aus. Wie das Modell MM5 ist auch das Modell *DANUBIA Light* in FORTRAN programmiert. Es soll als Entwicklungsplattform für die gekoppelte Landoberflächen-Atmosphären-Modellierung dienen.

Während das Modell MM5 in einer räumlichen Auflösung von 45km x 45km rechnet, werden die Landoberflächenprozesse in einer Auflösung von 1 km x 1km simuliert (Abb 21).



Für die Umskalierung der Modellooutputs wurde ein separates Programm namens SCALMET entwickelt und zwischen die beiden Modelle geschaltet. Abbildung 21 gibt einen Überblick über das gekoppelte System und die Austauschparameter

Abb. 21: Das gekoppelte Landoberflächen-Atmosphären-System

Kopplungsgebiet und Datengrundlage:

Da das Simulationsgebiet des MM5 für eine meteorologisch sinnvolle Simulation weit über die Grenzen des DANUBIA-Gebietes hinausgehen muss, musste auch die Modellierung der Landoberflächenprozesse entsprechend ausgedehnt werden und die für die Modellierung notwendige Datengrundlage für das Gebiet beschafft und den Anforderungen entsprechend aufbereitet werden (siehe Abb. 22).

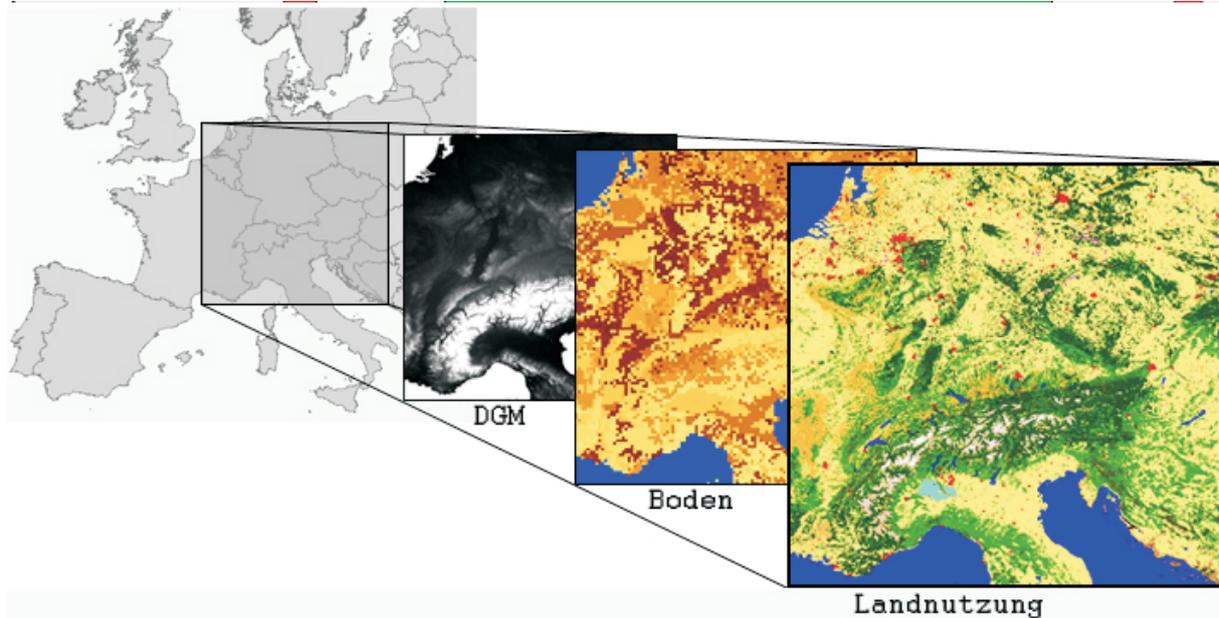


Abb. 22: Das Kopplungsgebiet und die Datengrundlage für die Modellierung der Landoberflächenprozesse

Die für die Modellierung der Landoberflächenprozesse benötigten Informationen über Geländehöhe, Exposition und Hangneigung konnten aus den Daten der jüngsten SRTM-Mission abgeleitet werden. Als Landnutzungsinformation stehen die *Global Landcover 2000* Daten (GLC2000) des Joint Research Centre der Europäischen Kommission (JRC) zur Verfügung.

Die Informationen über die hydrologischen Bodeneigenschaften entstammen der European Soil Database (ESDB) sowie der HYPRES (Hydraulic Properties of European Soils) Database des JRC.

Skalierung:

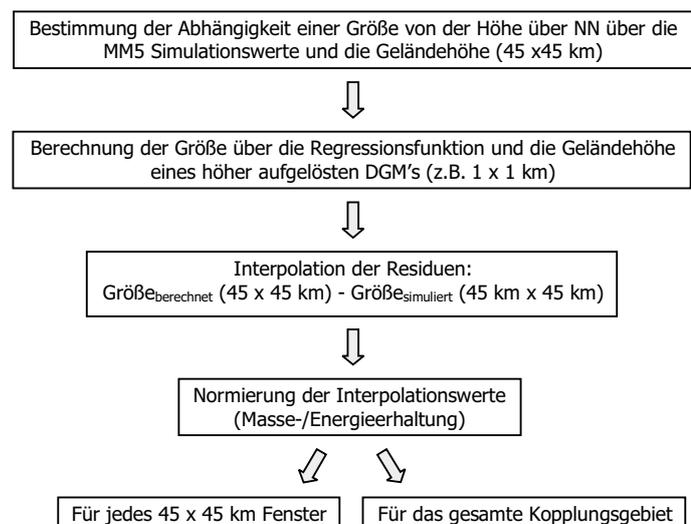
Aus Gründen der Rechenzeiterparnis berechnet MM5 die meteorologischen Parameter bisher noch in einer räumlichen Auflösung von 45 x 45 km. Zur Übertragung der Daten auf das feinere DANUBIA *Light* Gitter, aber auch für das spätere Upscaling der DANUBIA *Light*-Ausgaben, wurde das Skalierungsprogramm SCALMET entwickelt.

Im Gegensatz zum Downscaling der MM5-Meteorologie für den Einsatz im DANUBIA-Gebiet, können für das gesamte Kopplungsgebiet keine Skalierungsfunktionen abgeleitet werden, da geeignete Messreihen der betreffenden meteorologischen Größen im Kopplungsgebiet nicht zur Verfügung stehen.

Für das Downscaling der MM5-Outputs wird deshalb ein Verfahren verwendet das als Residuen-Verfahren bezeichnet wird und sich bereits bei der Interpolation von Stationsdaten für die hydrologische Modellierung bewährt hat (WEGE 1998). Dabei wird für diejenigen meteorologischen Parameter, welche eine deutliche Abhängigkeit von der Geländehöhe aufweisen, eine Regression mit der Geländehöhe bestimmt. Die nach Anwendung der Regressionsgleichungen an den MM5-Pixelmitten anfallenden Residuen können über geeignete Verfahren interpoliert werden. Da gerade bei der gekoppelten Modellierung die Erhaltung von Masse und Energie

von herausragender Bedeutung ist müssen die Interpolationswerte bei Nichterfüllung dieser Bedingung noch normiert werden. Abbildung 23 gibt einen Überblick über das *Downscaling*-Verfahren.

Meteorologische Größen die keine deutliche Abhängigkeit von der Geländehöhe aufweisen werden direkt interpoliert. Die direkte Interpolation einer Größe, aber auch die Interpolation der Residuen, kann derzeit mithilfe verschiedener Interpolationsverfahren durchgeführt werden. Im Falle des implementierten *Inverse Distance Weighting (IDW)* - Verfahrens ergibt sich der Interpolationswert eines Pixels aus dessen euklidischem Abstand zu den betrachteten Stationen, wobei der Abstand verschieden gewichtet werden kann (linear, quadratisch und kubisch).



Als zweites Interpolationsverfahren wurde das Verfahren der *Radial Basis Functions (RBF)* implementiert. Bei diesem Verfahren werden Funktionen eines zuvor definierten Typs (linearer Spline, kubischer Spline, etc.) direkt durch die Messwerte im n-Dimensionalen Raum gelegt. Der Interpolationswert kann somit für einen beliebigen Punkt über dessen Position im Raum und die Funktionen berechnet werden. Für eine detaillierte Beschreibung des Verfahrens wird auf KANSA und CARLSON (1995) verwiesen. Ein Beispiel für die Anwendung des Residuen-Verfahrens in Verbindung mit einer RBF-Interpolation der Residuen ist in Abbildung 24 gegeben.

Abb. 23: Die einzelnen Schritte beim *Downscaling* über das Residuen-Verfahren

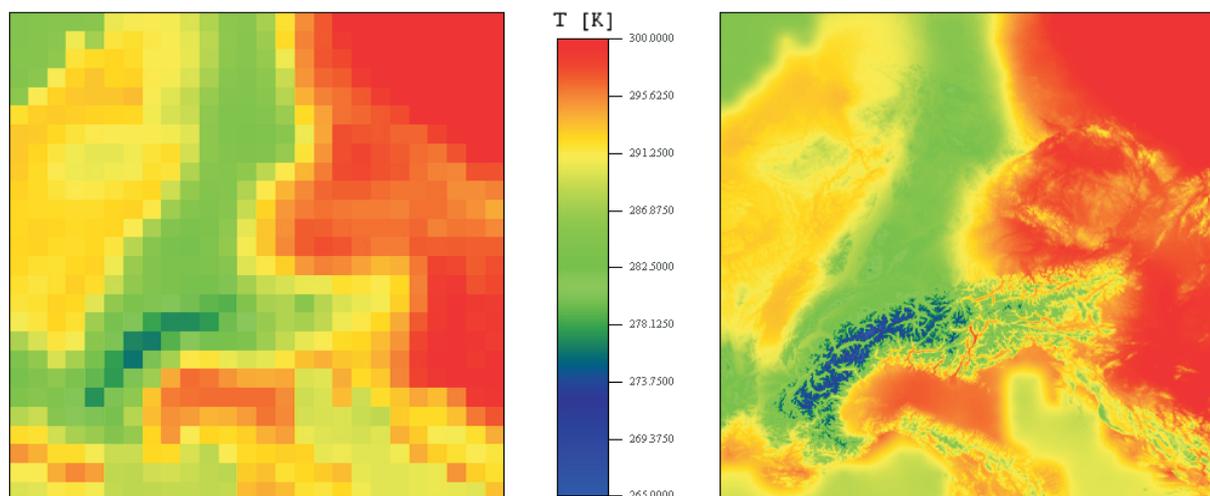


Abb. 24: Original MM5-Simulationsergebnisse der Temperatur für den 01.06.1995 um 12 Uhr in einer räumlichen Auflösung von 45 x 45km (links) und Ergebnis des *Downscalings* unter Verwendung des Residuen-Verfahrens in Verbindung mit einer RBF-Interpolation (linear) der Residuen in einer räumlichen Auflösung von 1 x 1km (rechts)

Das Upscaling der DANUBIA *Light-Outputs* ist weit weniger aufwendig als das eben beschriebene *Downscaling* der MM5-*Outputs*. Für die Umskalierung von 1 x 1km auf 45 x 45km muss lediglich der Mittelwert der entsprechenden Größe gebildet werden (HEINEMANN und KERSCHGENS 2005).

Zusammenfassung und Ausblick:

Die Voraussetzungen für die Kopplung der Modelle MM5 und DANUBIA *Light* sind durch die Beschaffung und Aufbereitung der Datengrundlage für das Kopplungsgebiet, eine entsprechende Modifizierung der Teilmodelle, sowie die Entwicklung eines Programms zur Umskalierung der meteorologischen Größen zwischen den Teilmodellen geschaffen. Erste gekoppelte Modellläufe können in unmittelbarer Zukunft durchgeführt werden. Dabei sollen die unterschiedlichen *Downscaling* Methoden getestet und ihre Tauglichkeit für die Kopplung untersucht werden. Die derzeit implementierten *Downscaling* Verfahren sollen in Zukunft weiter ausgebaut, verbessert und ergänzt werden. Nach erfolgreicher Kopplung der Modelle DANUBIA *Light* und MM5 sollen die gewonnenen Erkenntnisse auf das wesentlich komplexere DANUBIA Gesamtsystem übertragen werden.

10. Erstellung eines Konzeptes zur Modellierung von Bodenersosion

Für die Modellierung der Erosion in GLOWA-Danube wird die Komponente Soil innerhalb von *Landsurface* um das Modul Erosion erweitert. Um gültige Ergebnisse für Szenarien-Läufe produzieren zu können, wird ein physikalisch basiertes Modell implementiert. Die Anforderungen an das Modell sind die Berechnung der Erosion, des Transports und der Deposition. Dabei soll sowohl der Transport von Feststoffen, als auch von sorbierten chemischen Inhaltsstoffen des Bodens berücksichtigt werden. Erste (physikalische) Grundlagen werden aus dem Modell EROSION2D/3D von Schmidt und von Werner (siehe z.B. SCHMIDT 2000 und von WERNER 1995) übernommen und ggf. modifiziert. Für die Simulation von Transportprozessen chemischer Stoffe wird überprüft, ob Ansätze aus dem EPIC-Modell (WILLIAMS et al. 1983) für eine Integration in Danubia geeignet sind, bzw. sich mit dem geplanten Transportmodell verknüpfen lassen.

Da die Erosionsvorgänge einer hohen zeitlichen und räumlichen Dynamik unterworfen sind, stellen insbesondere physikalische Modelle hohe Anforderungen an die Auflösung der Eingangsparameter. Gegenstand laufender Untersuchungen sind daher v.a. die Integration eines Modells auf der räumlichen und zeitlichen Skala von Danubia und die Regionalisierung benötigter Eingabeparameter.

Auf zeitlicher Ebene werden hochaufgelöste Niederschlagsdaten (< 1 Stunde) benötigt, daher wird versucht eine geeignete Methode zur Disaggregation des Niederschlags zu finden, welche dessen zeitliches Muster möglichst realitätsnah darstellt. Eine einfache Regressionsanalyse oder statistische Verteilungsfunktion soll dabei, im Hinblick auf den globalen Wandel und den daraus folgenden Einfluß auf den Niederschlag, vermieden werden. Als erster Ansatz dient ein Kaskadenmodell nach OLSSON (1998), welches bei der temporalen Disaggregation auf ausgewählte Niederschlagscharakteristika eingeht. Das Modell errechnet dazu zunächst aus einer gemessenen Niederschlagsreihe einen Parametersatz, welcher dann zur Disaggregation dient. Mit Hilfe verschiedener regionaltypischer Parametersätze soll versucht werden, Gesetzmäßigkeiten zu finden, um die Methodik im gesamten Einzugsgebiet anwenden zu können und eine Extrapolation der Modellergebnisse für (Zukunfts-)Szenarien zu gewährleisten.

Im räumlichen Kontext ist v.a. ein DGM mit einer Auflösung von unter 1km² nötig, da sonst der Einfluß topographischer Parameter auf die Erosionsprozesse zu gering wird. Daher werden verschiedene Methoden zur Schätzung topographischer Parameter aus einem DGM analysiert und deren mögliche Fehler bestimmt. Da aus technischen Gründen die Laufzeit möglichst gering gehalten werden muß, wird die minimal benötigte räumliche Auflösung bestimmt und versucht, geeignete Parameter aus der Prozessdynamik zu kapseln und mit dem Konzept der Geokomplexe eine effiziente, subskalige Modellierung zu erreichen.

Die Erstellung der Erosionsparameter für die Geokomplexe erfordert die Ableitung benötigter subskaliger Eingabeparameter aus mesoskaligen Datensätzen. Dazu werden gängige

Verfahren (wie z.B. fuzzy logic, Kriging, neuronale Netzwerke) auf ihre Anwendbarkeit innerhalb des gegebenen Rahmens untersucht und eine geeignete Technik in Danubia umgesetzt.

Für die Validierung der Modellergebnisse auf einer Fläche in der Größe des GLOWA-Danube Projektgebietes bieten sich in erster Linie Vergleiche mit gemessenen Schwebstofffrachten an, da Tracermessungen zu aufwendig und kostspielig wären. Die Validierung soll somit über die gemessenen Schwebstofffrachten an den Pegeln der Teileinzugsgebiete durchgeführt werden.

11. Literatur

- AW, A. und RASCLE, M. (2000): Resurrection of “second order” models of traffic flow, *SIAM Journal on Applied Mathematics* 60: S. 916-938.
- BALK, B. und ELDER, K. (2000): Combining binary decision tree and geostatistical methods to estimate snow distribution in a mountain watershed, *Water Resources Research*, 36, S. 13-26.
- BERNHARDT, M., ZÄNGL, G., LISTON, G., STRASSER, U. und MAUSER, W. (2006): Improving snow transport modelling with wind fields from a high resolution atmospheric model, submitted to *Boundary Layer Meteorology*.
- BERNHARDT, M., STRASSER, U. und MAUSER, W. (2005): MM5-derived Fields of Wind Speed and Direction for the Simulation of Snow Transport Processes in the Berchtesgaden National Park Area (Germany). *Geophysical Research Abstracts*, abstracts of the European Geosciences Union General Assembly 2005, Vienna, Austria.
- BEST, M.J., COX, P.M. und WARRILOW, D. (2005): Determining the optimal soil temperature scheme for atmospheric modelling applications. In: *Boundary-Layer Meteorology* 114. S. 111-142.
- BOWLING, L.C., POMEROY, J.W. und LETTENMAIER D.P (2004): Parameterization of Blowing-Snow Sublimation in a Macroscale Hydrology Model. *Journal of Hydrometeorology*, Vol. 5, Issue 5, S. 745-762, 18 S.
- DE VRIES, D.A. (1963): Thermal properties of soils. In: VAN WJIK, W.R. (Hrsg.): *Physics of plant environment*. Amsterdam, S.. 210-235.
- DOESKEN, N.J. und JUDSON, A. (1996): *The snow booklet: A guide to the science, climatology, and measurement of snow in the United States*. Colorado State University.
- EUROPEAN COMMUNITIES-COMMISSION (1992): Publ. No. EUR 12585, Luxembourg.
- GREENBERG, J.M. (2001): Extensions and amplifications of a traffic model of Aw and Rasclé, *SIAM Journal on Applied Mathematics* 62: S. 729-745.
- GRELL, G.A., DUDHIA, J. und STAUFFER, D. (1995): A Description of the Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). Report NCAR/TN-398+STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, USA.
- HEINEMANN, G. und KERSCHGENS, M. (2005): “Comparison of methods for area-averaging surface energy fluxes over heterogeneous land surfaces using high-resolution non-hydrostatic simulations“, *Int. J. Climatol.*, 25: S. 379-403.
- KANSA, E.J. und CARLSON, R.E. (1995): ”Radial basis functions: A class of grid-free scattered data approximations“, *J. Comput. Fluid. Dynamics* 3:S. 489-496.
- KUSTAS, W.P. und NORMAN, J.M. (2000): “Evaluating the effects of subpixel heterogeneity on pixel average fluxes“, *Remote Sens. Environ.* 74: S. 327-342.

- LIGHTHILL, M.J. und WHITHAM, G.B. (1955): On kinematic waves. II. A theory of traffic flow on long crowded roads, *Proceedings of the Royal Society A* 29: S. 317-345.
- LISTON, G. und STURM, M. (1998): A snow transport model for complex terrain, *Journal of Glaciology*, 44(148), S. 498-516.
- MONTEITH, J.L. (1965): Evaporation and environment. - In: FOGY, G.T. (ed): *Sympos. The state and movement of water in living organism*. S. 205-234, Cambridge (Univ Press).
- OLSSON, J. (1998): Evaluation of a scaling cascade model for temporal rainfall disaggregation. *Hydrology and Earth System Sciences* 2(1), S.19-30.
- PROBECK, M., LUDWIG, R. und MAUSER, W. (2004): Spectral Unmixing of Sub-Scale Land Cover from Multitemporal NOAA-AVHRR Imagery Using a Combined GIS- and Fuzzy Logic Approach. In: SMITS, P.C. und BRUZZONE, L. (2004): *Analysis of Multi-Temporal Remote Sensing Images: Proceedings of the Second International Workshop on MultiTemp 2003*, Ispra (Italy) 16-18 July 2003. Singapur: World Scientific, S. 80-88.
- PROBECK, M., LUDWIG, R. und MAUSER, W. (2005): Fusion of NOAA/AVHRR imagery and GIS techniques to derive sub-scale land cover information for the Upper Danube watershed. *Hydrological Processes* 19, S. 2407-2418.
- RICHARDS, P.I. (1956): Shock waves on the highway, *Operations Research* 4: S. 42-51.
- SCHLENZ, F. und SIEBEL, F. (2006): Performanceanalyse für parallele Java-Programme - Multi-Threading und JavaParty - Interner Bericht.
- SCHMIDT, J. (Hrsg.) (2000): *Soil Erosion - Application of Physically Based Models*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 319 S.
- SIEBEL, F. und MAUSER, W. (2005): Stability of steady state solutions in balanced vehicular traffic, eingereicht bei *Proceedings of Traffic and Granular Flow '05*.
- SIEBEL, F. und MAUSER, W. (2006): On the fundamental diagram of traffic flow, *SIAM Journal on Applied Mathematics* 66: S. 1150-1162.
- SIEBEL, F. und MAUSER, W. (eingereicht): Synchronized flow and wide moving jams from balanced vehicular traffic. In: *Physical Review E* (in Druck).
- STOLZ, R., BRAUN, M., PROBECK, M., WEIDINGER, R. und MAUSER, W. (2005): Land use classification in complex terrain: the role of ancillary knowledge. *EAR-SeL eProceedings*, Vol. 4, No.1, S. 94-105.
- TEPFENHART, M., MAUSER, W. und SIEBEL, F. (in Vorb.): Climate change and the competition among ski areas for day tourists, in Vorbereitung.
- VON WERNER, M. (1995): GIS-orientierte Methoden der digitalen Reliefanalyse zur Modellierung von Bodenerosion in kleinen Einzugsgebieten. Dissertation, FU Berlin.
- WEBER, D. und ENGLUND, E.J. (1994): "Evaluation and Comparison of Spatial Interpolators II", *Math. Geology*, Vol. 26, No.5: S. 589-603.
- WEGE, C. (1998): „Regionalisierung der aktuellen Verdunstung auf der Mesoskala mit Flächenparametern aus Fernerkundungsdaten“, Dissertation am Institut für Geographie der Ludwig-Maximilians-Universität München
- WILLIAMS, J.A., JONES, C.A., KINERY, J.R. und SPANEL, D.A. (1983): The EPIC crop growth model. In: *Transactions of the ASAE*, Bd. 32 (2), S. 497-511.

Modellierung der Wasserhaushaltsgrößen im alpinen Bereich des Inns und Untersuchung ihrer Sensitivität bezüglich Umweltveränderungen

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 & Kommission für Glaziologie der
Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Alfons-Goppel-Str. 11,
80539 München
Verfasser: M. Weber, M. Kuhn

1. Organisation

1.1 Kurzbeschreibung der Arbeiten im Teilprojekt

Die Arbeiten der Arbeitsgruppe Glaziologie umfassten im Berichtszeitraum 2005/06 die Verbesserung der Implementierung der physikalischen Prozesse in der Komponente *Snow* zur Berechnung des Auf- und Abbaus der Schneedecke im gesamten Modellgebiet von GLOWA-DANUBE. Weitere Schwerpunkte sind die Schaffung von Werkzeugen zur Validierung und Interpretation der Modellergebnisse, die Implementierung der expliziten Modellierung der Veränderung von Gletscherflächen auf der Basis der Ergebnisse des neuen Österreichischen Gletscherkatasters.

1.2 Personal

1.2.1 Wissenschaftler

- 28.02.2005 bis 28.02.2006: Dr. Markus Weber BATIIa

1.2.2 Wissenschaftliche Hilfskräfte

keine

1.2.3 Anschaffungen

keine

1.3 Veranstaltungen

1.3.1 Interne Projekttreffen

Die Arbeitsgruppe Glaziologie hat im Jahr 2005 an den folgenden internen Veranstaltungen teilgenommen:

- 08.03.2005 GLOWA-Projekttreffen in München (M. Weber)
- 17.05.-19.05.2005 GLOWA Statusseminar Köln (M. Kuhn, M. Weber)
- 11.07.2005 GLOWA-Projekttreffen in München (M. Weber)
- 30.11.-3.12.2005 Klausurtagung in Linden (M. Weber)

1.3.2 Konferenzen

- 23./24.02.2006 Alpine Glaciology Meeting in München (M. Weber)

1.4 Veröffentlichungen

BRAUN, L. und WEBER, M. (2006): Hochwässer in vergletscherten alpinen Einzugsgebieten, Tagungsband zum Tag der Hydrologie 2006: Risikomanagement extremer hydrologischer Ereignisse, München 22./23.03.2006, im Druck.

BRAUN, L. und WEBER, M. (2005): Gletscher - Wasserkreislauf und Wasserspende, in Bedrohte Alpengletscher - Alpine Raumordnung Nr. 27/05, Fachbeiträge des Österreichischen Alpenverein OEAV, Innsbruck, S. 35-46.

HAGG, W., BRAUN, L. N., WEBER, M. und BECHT, M. (2006): Runoff modelling in glacierized Central Asian catchments for present-day and future climate Nordic Hydrology, in print.

WEBER, M. (2005): Mikrometeorologische Prozesse bei der Ablation eines Alpengletschers. Dissertation, Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck. 311 S. Siehe auch im Internet unter <http://www.glaziologie.de/publikat/Dissdownload.html>

ESCHER-VETTER, H., BRAUN, L.N.: SIEBERS, M. und WEBER, M. (2005): Water balance of the Vernagtferner high alpine basin based on long-term measurements and modelling, Landschaftsökologie und Umweltforschung, TU Braunschweig, Vol. 48, S. 19-32. Im Internet zu finden unter <http://www.glaziologie.de/download/BerchtesgadenFullpaper.pdf>.

KUHN, M. (2005): Gletscher im Klimawandel, in Bedrohte Alpengletscher - Alpine Raumordnung Nr. 27/05, Fachbeiträge des Österreichischen Alpenverein OEAV, Innsbruck, S. 35-40.

WEBER, M. (2006): The structure of turbulence on an alpine glacier, in Vorbereitung.

WEBER, M. (2006): physically backgrounds of the index-method to calculate daily melt-water production, in Vorbereitung.

2. Ergebnisse

2.1 Formulierte Ziele der 2. Förderphase

Die Hauptziele der der Arbeitsgruppe Glaziologie in der zweiten Förderphase lauten

- Modellierung der Reaktion der Schneedecke und der Gletscher auf Klimaänderungen im Rahmen von Klimaszenarien
- Untersuchung der Hochwassergenese in alpinen und randalpinen Einzugsgebieten,
- Einrichtung von alpinen Testgebieten

2.2 Sektorale Arbeiten

Das generelle Ziel der Arbeitsgruppe Glaziologie bestand in der Weiterentwicklung und Verbesserung des Schnee- und Eisobjekts *Snow*, welches in das Landoberflächenobjekt zur Modellierung des Schneespeichers und des Abfluss aus der Schnee- und Eisschmelze integriert wurde. Da mittels *Snow* der flächenhafte aus der Schneedecke und die Speicherung des Niederschlags als Schnee für das gesamte Einzugsgebiet der oberen Donau modelliert wird, berücksichtigt es nicht nur die Prozesse in hochgelegenen alpinen Regionen mit karger Vegetation, sondern auch in den vorgelagerten Flachländern mit unterschiedlicher Flächennutzung. Die sektoralen Arbeiten innerhalb des Projektes Glaziologie im Jahr 2005

umfassten sowohl Beiträge zur Weiterentwicklung des *Snow*-Objekts zur besseren Beschreibung der Prozesse als auch Untersuchungen zur Validierung von dessen Ergebnissen im Gesamtmodell.

Weiterhin wurden Arbeiten zur expliziten Modellierung der Veränderungen der Gletscherflächen im Einzugsgebiet vorangetrieben. Grundlage ist die Erstellung der dazu erforderlichen Geländedatensätze auf der Basis des neuen Österreichischen Gletscherinventars. Ferner wurden Beiträge zur Öffentlichkeitsarbeit durch die Mitarbeit in Form der Lieferung eines Beitrags und Reviews des GLOWA-Atlas und durch Interviews und Beiträge in Presse, Funk und Fernsehen zu den Themen Schneedecke und Gletscherentwicklung geleistet.

2.2.1 Daten

Als Datenbasis für die Untersuchung der Parametrisierung und Regionalisierung dienten speziell aufbereitete Daten

- der von der Kommission für Glaziologie (KfG) der Bayerischen Akademie der Wissenschaften im Vorfeld des Vernagtferners in den Ötztaler Alpen auf 2640 m kontinuierlich betriebenen Klima- und Abflussmessstation Vernagtbach mit hoher zeitlicher Auflösung
- Kontinuierliche Messungen der Schneehöhe und der Eisablation mittels Ultraschallabstandsmessung und der Luft- und Schneetemperatur auf dem Vernagtferner durch die KfG
- Daten des Deutschen Wetterdienstes DWD und des Österreichischen Wetterdienstes ZAMG zur Schneehöhe im gesamten Einzugsgebiet,
- Geländedaten des neuen Österreichischen Gletscherinventars,
- Frei verfügbare Datenquellen aus dem Internet.

2.2.2 Modellentwicklung

Die Arbeiten zur Entwicklung oder Anpassung neuer Modellkomponenten umfassten sowohl Verbesserungen inhaltlicher oder formeller Art an *Snow* als auch die Schaffung neuer von DANUBIA unabhängiger Hilfsprogramme zur Analyse und Darstellung der Ergebnisse.

2.2.2.1 Implementierung neuer Parametrisierungsschemata in *Snow*

Für die Referenzläufe 2004/2005 wurde eine neue empirische Bulk-Parametrisierung des turbulenten Stromes der fühlbaren Wärme

$$H = \rho \cdot c_p \cdot R_{wT} \cdot C_l \cdot U \cdot (T - T_0)$$

- mit
- ρ = Dichte der Luft [kg/m³]
 - c_p = Spez. Wärmekapazität der Luft bei konst. Druck [J(kgK)⁻¹]
 - R_{wT} = Korrelationskoeffizient zwischen der Vertikalwindfluktuation und der Temperaturfluktuation mit $R_{wT} = 0.119 \cdot \frac{(T - T_0)}{U} - 0.4375$
 - C_l = empirische Konstante (über Schnee und Eis z.B. 0.01182)
 - U = horizontale Windgeschwindigkeit [m/s]
 - $(T - T_0)$ = Temperaturdifferenz zwischen der Oberfläche und 2 m [K]

und der latenten Wärme

$$LE = \rho \cdot l_v \cdot R_{wT} \cdot C_2 \cdot U \cdot (q - q_0)$$

mit l_v = Verdampfungswärme von Wasser [106 Jkg⁻¹]

C_2 = empirische Konstante (z.B. 0.0092)

$(q - q_0)$ = Differenz der spez. Feuchte zwischen der Oberfläche und 2 m

nach WEBER (2005) auf der Basis von Eddy-Korrelations-Untersuchungen integriert. Diese haben u.a. den Vorteil, dass sie

- im Falle der Verfügbarkeit von Stundenmittelwerten von Temperatur, Feuchte, horizontaler Windgeschwindigkeit und Luftdruck in 2m Höhe über und direkt an der Oberfläche die Energieflüsse sehr viel realistischer beschreiben als der ursprüngliche verwendete einfache Wärmeleitungsansatz
- auch die Abhängigkeit der Flüsse von der Seehöhe berücksichtigt und damit dem orographisch stark gegliederten Gelände des Einzugsgebietes besser gerecht wird,
- sich auch hinsichtlich der Landnutzung und der Rauigkeit differenzieren lässt (Adaption der Konstanten C_1 und C_2),
- sich jederzeit durch die Resultate weitere Turbulenzmessungen über anderem Gelände erweitern lässt.

In der praktischen Anwendung hat sich der Ansatz bewährt, besitzt jedoch wie alle empirischen Verfahren einen durch Messungen nur beschränkt untersuchten Gültigkeitsbereich. Solange dieser eingehalten wird, sind die Resultate für die turbulenten Flüsse höchst plausibel. Das Regionalisierungsverfahren bringt es aber mit sich, dass in Einzelfällen sich gegenüber der Realität unwahrscheinliche Kombinationen der meteorologischen Parameter ergeben. Dazu gehören beispielsweise Temperaturdifferenzen von 10K/m und mehr bei gleichzeitig hohen Windgeschwindigkeiten. In solchen Fällen, bei denen Messungen zumindest eine gegen 0 strebende Windgeschwindigkeit ergeben würden, werden theoretisch völlig unrealistische Flüsse errechnet.

Die Auswertungen der ersten Referenz- und Szenarioläufen ermöglichten es, Vorkehrungen in Form der Überprüfung auf Schwellenwerten zu implementieren, so dass die Algorithmen auch unter diesen Umständen noch plausible Werte liefern.

2.2.2.2 Transformation des Wasseräquivalents der Schneedecke in Schneehöhen

Das *Snow*-Modul liefert auf jedem Proxel das Flächenmittel des Wasseräquivalents der Schneedecke. Die Information über die tatsächliche Schneehöhe ist dagegen nicht vorhanden. Beobachtungen an Klimastation beschränken sich dagegen überwiegend auf die Schneehöhe, Informationen zum Wasseräquivalent sind dagegen seltener verfügbar. Es stellt sich natürlich immer die Frage nach der Repräsentativität der Punktbeobachtung für die größere Proxeleinheit. Diese kann ohne die bislang in *Snow* nicht behandelten subskaligen Prozesse des windinduzierten Schneetransportes nicht beantwortet werden. Wertvolle Ansätze dazu erhofft sich die Arbeitsgruppe Glaziologie durch das in der Projektleitung verankerte Dissertationsprojekt Modellierung des windinduzierten Schneetransports (M. Bernhardt, U. Strasser).

Um unter diesen Einschränkungen das Modellergebnis lokal validieren zu können, ist es hilfreich, aus dem Wasseräquivalent der Schneedecke näherungsweise die wahre Schneehöhe abzuschätzen. Sie ändert sich nicht nur durch die in *Snow* nachgebildeten Akkumulations- und Ablationsprozesse, sondern auch durch Setzung bzw. Verdichtung. Dieser Vorgang kann durch eine Abklingfunktion mit einer Zeitkonstanten beschrieben werden. Zur Berechnung wurde ein einfaches eigenständiges Programmmodul für den PC entwickelt, das als Eingangsgrößen die stündliche Änderungen des Wasseräquivalents und den Nieder-

schlag verwendet, welche durch *Snow* an frei wählbaren Proxel als Zeitreihen (*Timeseries*) ausgegeben werden. Während eines Akkumulationsereignisses wird jeweils eine Schicht der Schneedecke mit einer wählbaren Neuschneedichte (meist 0.1 kgm^{-3}) aufgebaut. Diese Schichten werden jeweils individuell nach einem Ansatz von ROHRER (1992) mit der Zeit bis zu einer maximalen Grenzdichte verdichtet. Parallel dazu wird die oberste Schicht entsprechend der von *Snow* berechneten Ablationsrate abgebaut. Ist sie vollständig verschwunden, wirkt die Ablation auf die nächste der bis zu 250 Schichten, bis der apere Untergrund erreicht ist. Als freie Parameter sind die Neuschneedichte, die Setzungsrate mit der Zeit und eine Grenzdichte wählbar. Die Parameterwahl ergibt sich durch den Vergleich zwischen Beobachtung und Modellergebnis zu bestimmten Zeitpunkten, bzw. werden auch anhand von Beobachtungsdaten extern bestimmt. Beispiele für die Anwendung des Modells finden sich im Kapitel 2.4.

Gegenwärtig kann das Modell nur auf die an wenigen Proxeln ausgegebenen Zeitreihen angewandt werden, da nur dort die Ergebnisse in der erforderlichen zeitlichen Auflösung von Stundenschritten zur Verfügung gestellt werden. Da der Algorithmus zwar einen erheblichen Speicherbedarf, jedoch nur wenig Rechenzeit benötigt, könnte er künftig auch im Snow-Modul integriert werden und damit flächenhaft die aktuelle Schneedecke integral zur Laufzeit den anderen Gruppen (z.B. Tourismus, Verkehr etc.) zur Verfügung gestellt werden. Ferner könnten auf diese Weise nicht nur die Prozesse der Umwandlung an der Oberfläche des Schnees, sondern auch die innerhalb der Schneedecke berücksichtigt werden. Gegenwärtig dient der Offline-Ansatz jedoch allein der Validierung der Modellergebnisse.

2.2.2.3 Erstellung von Tools zur Sensitivitätsanalyse der Eingangsdaten

Zukünftig sollen die meteorologischen Treiberdaten für die Langzeit-Szenariosimulationen nicht mehr durch einen Klimagenerator und *AtmoStations*, sondern durch die auf die GLO-WA-DANUBIA-Skala von $1\text{km} \times 1\text{km}$ aggregierten Resultate des mesoskaligen Klimamodells *MM5* bereitgestellt werden, das selbst einem $45\text{km} \times 45\text{km}$ Raster arbeitet. Dieses insgesamt vom Teilprojekt Mesoskalige Modellierung der Atmosphäre bereitgestellte Verfahren hat seine Tücken und muss vor der Anwendung intensiv validiert werden, um die Ergebnisse der Szenariosimulation bewerten zu können.

Ein sensibles Kriterium zur Validierung bietet dabei die Untersuchung der Entwicklung der Schneedecke bei Verwendung der unterschiedlichen Datensätze. Um den Aufwand zu minimieren wurden einige statistische Hilfsprogramme entwickelt, die wesentliche Elemente der Schneemodellierung enthalten und gleichzeitig auch klimastatistische Analysen der Eingangsparameter durchführen können. Nachdem Übergabe einiger Testdatensätze konnten der Arbeitsgruppe Mesoskalige Modellierung (Pfeiffer, Egger, Zängl) die Ergebnisse mitgeteilt werden. Weitere Informationen dazu finden sich im Kapitel 2.3.2.

2.2.3 Analyse von Hochwasserereignissen im Alpenen Raum zur Untersuchung der Bedeutung der Gletscherspende aus Kopfeinzugsgebieten für die Unterlieger

Eine wichtige Fragestellung im Zusammenhang mit der Hochwassergenese, aber auch für Zeiträume mit Niedrigwasser, ist die nach der Bedeutung der Abflussspende aus vergletscherten Kopfeinzugsgebieten für die Wasserführung der größeren Alpenflüsse. Insbesondere in den Sommermonaten führt der Anstieg der Frostgrenze im Rahmen des Klimawandels zu schnellem Abfluss von Niederschlag. Wegen des anhaltenden Gletscherschwundes ist die Speicherkapazität der Gletscher für Niederschlagswasser deutlich eingeschränkt. In der Verkettung können alle diese Faktoren Hochwassergefahren verstärken oder auch auslösen. Eine weitergehende Analyse von Ereignissen im Ötztal 1998 und 1987 im Vergleich zu dem Hochwasser im August 2005 lassen den Schluss nahe, dass die katastrophalen Auswirkungen im Inntal deutlich größer gewesen wären, wenn nicht die Gletscherschmelze durch kühle Witterung in den Tagen vor dem Ereignis unterbunden worden wäre (BRAUN und WEBER 2006).

Der Anteil der Vergletscherung am Einzugsgebiet nimmt Flussabwärts immer weiter ab. Während er im Ötztal bei Huben noch 17% beträgt sinkt er bei Innsbruck auf etwa 5%. Dennoch zeigen die Vergleiche der Wasserführung von 2003 und 2005, dass die stark erhöhte Gletscherspende 2003 in den trockenen Monaten Juni bis August zu einem nahezu dem langjährigen Durchschnitt entsprechenden Wasserstand des Inns führte. Der Lech dagegen fiel nahezu trocken. Es herrscht daher die These, dass die gegenüber der Langzeitstatistik überproportionale Bedeutung des Gletscherwassers am Abfluss mit der hohen Transportgeschwindigkeit im Gerinne zusammenhängt.

Bislang kann die Frage nach dem temporären Anteil des Gletscherwassers am Abfluss in den Unterläufen des Inns nicht quantitativ beantwortet werden. GLOWA-Danube dagegen eröffnet dank der interdisziplinären Ausrichtung die Option zur Klärung der Frage im Rahmen einer speziellen Untersuchung mit der Beteiligung aller hydrologischen Arbeitsgruppen.

2.2.4 Detailuntersuchung zur Parametrisierung der Albedo

Die Untersuchungen zur Validierung des Schneemodells (Kap. 2.4 und 2.5) zeigen zwar gute Übereinstimmung der Ergebnisse mit der Beobachtung in den überwiegenden Bereichen des Einzugsgebiets, es finden sich aber auch in einzelnen Regionen systematische Abweichungen, die ihre Ursache in ungenügender Prozessbeschreibung haben.

Ein Problem ist der deutlich zu schnelle Abbau der Schneedecke in den höheren Lagen des Hochgebirges (siehe auch Kap. 2.4). Dieses Phänomen lässt sich nicht nur mit Ungenauigkeiten der Eingangsdaten und einer zu groben Auflösung des Geländes erklären. Da der Betrag der zuviel absorbierten Energie mit 10% bis 20% relativ gering ist und die Strahlungsbilanz den höchsten Beitrag liefert, liegt der Verdacht nahe, dass die Albedo der Schneedecke zu niedrig angesetzt wurde und die Änderung der Oberflächenalbedo von weiteren Faktoren als nur der Zeit (ROHRER 1992) abhängt. Die Messungen an der im Jahre 2001 instrumentell neu ausgestatteten Klimastation Vernagtbach (BRAUN et al. 2004) deuten zudem auf einen höheren Wert der Neuschneealbedo im Gebirge von eher 0.9 statt 0.85, was die Strahlungsabsorption bereits um 30% verringern würde.

Die große Datenverfügbarkeit (Messstationen des MIM, DWD, IMG, KfG, Nationalpark Berchtesgaden) innerhalb des GLOWA-Danube zu dieser Fragestellung legt eine detaillierte Spezialuntersuchung zu dieser Fragestellung nahe, die gemeinsam mit dem Meteorologischen Institut (MIM) und dem Lehrstuhl für Geografie und geografische Fernerkundung an der LMU München unter Federführung der Kommission für Glaziologie ab Mai 2006 im Rahmen einer Diplomarbeit durch Alexandra Mittermeier durchgeführt wird.

2.3 Integrative Arbeiten

Im Mittelpunkt der Integrativen Arbeiten des Teilprojektes Glaziologie standen im Berichtsjahr 2005 die Verbesserung des Schneemodells der Komponenten *Surface* und *Snow* des *Landsurface*-Teilobjekts bis zur Reife für die Durchführung der Validierungsläufe. Sie gründeten auf der Adaption des PEV-SD-Modells, intensiven Tests und der Integration des Schneemodells in das DANUBIA-Gesamtsystem.

Da Testläufe des Gesamtsystems sehr zeitaufwändig sind und sich potentielle Programmfehler äußerst hinderlich auf den Gesamtfortschritt des Projektes auswirken, mussten sämtliche Module zunächst umfangreichen lokalen Tests unterworfen werden. Die im Laufe der Realisierung von DANUBIA von der Arbeitsgruppe Informatik entwickelte Testumgebung erwies sich dabei als äußerst hilfreich. Allerdings stiegen die Anforderungen an die an der KfG verfügbaren (Windows)-Rechnersysteme stark an, so dass ein nicht unerheblicher Aufwand sowohl an zusätzlichen finanziellen Mitteln zur Erweiterung der Hard- und Software, als auch in Form von Zeit zur Lösung der Probleme erbracht werden musste. Zudem musste ein Testdatensatz erzeugt werden, mit dem sowohl eine räumliche als auch zeitliche

Variation der Basisgrößen simuliert werden konnte. Seit Mitte 2003 sind lokale Entwicklungen und Tests von Komponenten unabhängig vom DANUBIA-Gesamtsystem nahezu uneingeschränkt möglich.

2.3.1 Gletscherkataster Österreich

Inzwischen sind die GLOWA-relevanten Auswertungen für das neuen österreichischen Gletscherkataster nach den Aufnahmen von 1996-2002 soweit abgeschlossen, dass die für die Modellierung der Vergletscherung notwendigen Produkte aus den digitalen Geländemodellen der vergletscherten mit Gitterpunktabständen von 30m bereitgestellt werden und im DANUBIA-Modell als Landnutzungsklasse allen Gruppen zur Verfügung gestellt werden können. Dazu gehört auch die genaue Verortung der Gletschergrenzen auf dem DANUBIA-Proxelraster. Diese Daten bilden neben der Einführung einer dynamischen Landnutzung durch die Arbeitsgruppe Informatik die Basis für die explizite Modellierung der Gletscher im Einzugsgebiet. Beispiele für bereits vorhandene Produkte wie beispielsweise auf das Proxelraster bezogene Tabellen der Flächen-Höhenverteilung werden im Kapitel 2.2.3 vorgestellt.

Die Erstellung der Produkte für GLOWA-Danube ist zeitaufwendig und kann gegenwärtig nur am IMGI in Innsbruck erfolgen. Nachdem die Arbeitsabläufe mit Unterstützung von Dr. Astrid Lambrecht (IMGI) und Dr. Christoph Mayer (KfG) erarbeitet wurden, ist auch der Einsatz von Hilfskräften geplant.

2.3.2 Untersuchung der Plausibilität der Eingabedaten von *AtmoMM5*

Die in der ersten Phase bereits festgestellte hohe Sensitivität der Schneedeckenentwicklung auf Änderungen der bodennahen Temperatur bildete den Hintergrund für eine intensive Analyse und Test des Downscaling-Verfahrens von *AtmoMM5*. Zu diesem Zweck wurde der Schneedeckenauf- und -abbau mit einem speziellen Programm mit den wesentlichen Elementen des *Snow*-Modells sowohl mit einem von *AtmoStations* aus Stationsdaten generierten bereits zuvor validierten Datensatz auf Stundenbasis als auch mit den Resultaten von *AtmoMM5* über die Jahre 1996, 1998 und 1999 simuliert und das Ergebnis analysiert.

Tab. 1: Statistischer Vergleich der mit *AtmoStations* (ATS) und *AtmoMM5* (MM5) modellierten bodennahen Temperatur auf fünf repräsentativen Proxeln in unterschiedlicher Höhenlage. Die Tabelle enthält die Anzahl der Tage innerhalb eines Jahres, an dem die angegebenen Schwellenwerte für die Temperatur unter- bzw. überschritten werden

Proxel	h/Jahr	$T_{max}<0^{\circ}\text{C}$		$T_{max}>10^{\circ}\text{C}$		$T_{max}>15^{\circ}\text{C}$		$T_{max}>20^{\circ}\text{C}$		$T_{max}>25^{\circ}\text{C}$	
		ATS	MM5	ATS	MM5	ATS	MM5	ATS	MM5	ATS	MM5
153624	3260m	ATS	MM5	ATS	MM5	ATS	MM5	ATS	MM5	ATS	MM5
	1996	173	185	30	33	2	0	0	0	0	0
	1998	184	167	45	51	13	10	0	0	0	0
	1999	180	161	29	47	5	2	0	0	0	0
155755	2616m	ATS	MM5	ATS	MM5	ATS	MM5	ATS	MM5	ATS	MM5
	1996	142	131	43	60	16	14	0	0	0	0
	1998	127	128	75	79	9	24	0	0	0	0
	1999	154	127	68	85	13	11	1	1	0	0
128993	2272m	ATS	MM5	ATS	MM5	ATS	MM5	ATS	MM5	ATS	MM5
	1996	170	127	29	71	0	18	0	0	0	0
	1998	157	116	49	86	12	31	0	4	0	0
	1999	152	117	42	104	2	30	0	1	0	0
110718	903m	ATS	MM5	ATS	MM5	ATS	MM5	ATS	MM5	ATS	MM5
	1996	67	39	159	175	91	102	32	45	5	3
	1998	51	32	186	196	108	115	47	55	16	12
	1999	53	29	199	207	117	134	47	66	7	8
94183	539m	ATS	MM5	ATS	MM5	ATS	MM5	ATS	MM5	ATS	MM5
	1996	56	39	214	202	132	131	75	61	26	19
	1998	32	36	236	223	159	143	85	76	35	24
	1999	21	22	225	219	163	160	87	93	35	29

Die Analyse ergab, dass die Klimasimulation mit *AtmoMM5* gegenüber der ersten Phase hinsichtlich der Parameter Temperatur, Feuchte und Niederschlag und damit auch der Schneedeckenentwicklung eine deutlich bessere Übereinstimmung mit den Resultaten von *AtmoStations* erzielt. Die Tabelle 1 zeigt anhand einer Statistik der Stundenwerte der Temperatur, dass die Tagesgänge der Temperatur im Flachland und oberhalb 2500 m Seehöhe in ähnlicher Weise beschrieben werden.

Zwar erscheint das MM5-Klima etwas gemäßiger mit weniger ausgeprägten Extrema sowohl auf der Seite der tiefen Temperaturen als auch der hohen, der Anteil von Schnee am Niederschlag unterscheidet sich dort aber nur unwesentlich, wie das Beispiel der monatlichen Niederschlagssummen und deren Aufteilung in Schnee und Regen in Abbildung 1a) zeigt. Deutliche Abweichungen sind dagegen im Höhenbereich um 2000m NN und dort besonders in der Zugspitzregion festzustellen (Tab. 1, Proxel 128993). *AtmoMM5* produziert dort ein ganzjährig ein erheblich höheres Temperaturniveau als *AtmoStations*, was in der Simulation deutlich geringere Schneemengen ergibt. Es finden sich allerdings auch deutliche Unterschiede bereits in den Niederschlagsmengen.

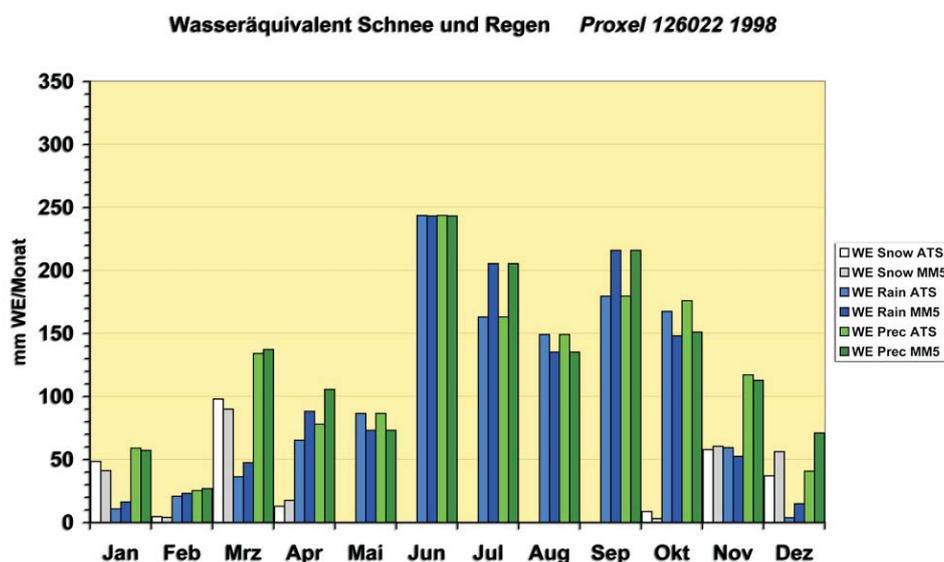


Abb. 1a: Die Monatssummen des Niederschlages (blau) und dessen Aufteilung in den festen Anteil (weiss/grau) und den flüssigen Anteil (grün) auf einem Proxel bei Garmisch-Partenkirchen auf 743m NN nach einem Modellauf mit Daten von *AtmoStations* (ATS) und *AtmoMM5* (MM5)

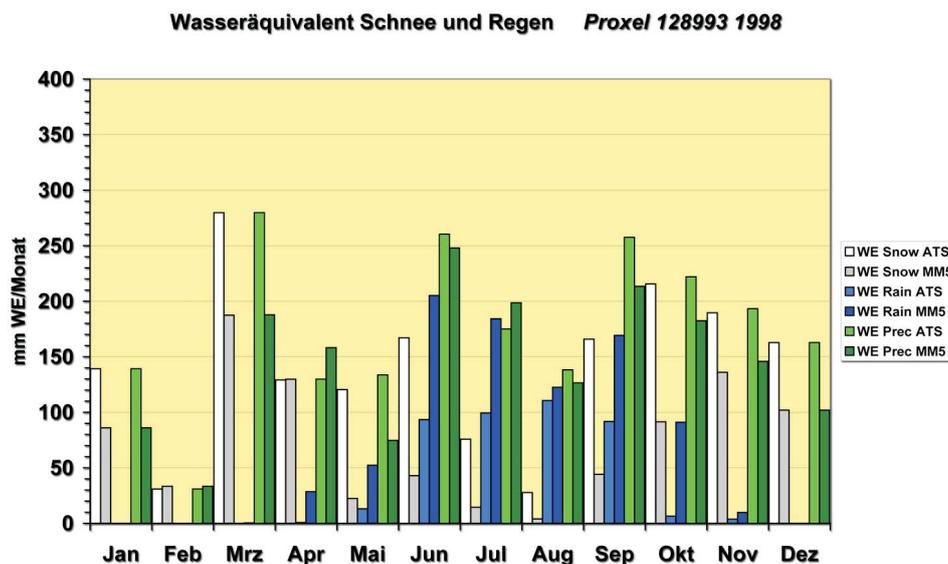


Abb. 1b: Analog zu Abbildung 1a die Darstellung für ein Proxel am Zugspitzplatt auf 2272m Höhe

Die Zugspitzregion ist eine der wenigen Bereiche im Untersuchungsgebiet, in denen Klimastationen bis in das Gipfelniveau betrieben werden. Am Alpenhauptkamm dagegen ist das Stationsnetz sehr viel dünner. Die Daten der von der Kommission für Glaziologie auf 2635m am Vernagtferner in den Öztaler Alpen betriebenen Klimastation Vernagtbach werden nicht als Eingabedaten von *AtmoStations* verwendet. Sie können somit zur Verifikation der Regionalisierung verwandt werden.

Verteilung Schnee/Regen Proxel 155755, 2617 m (nahe PVB)

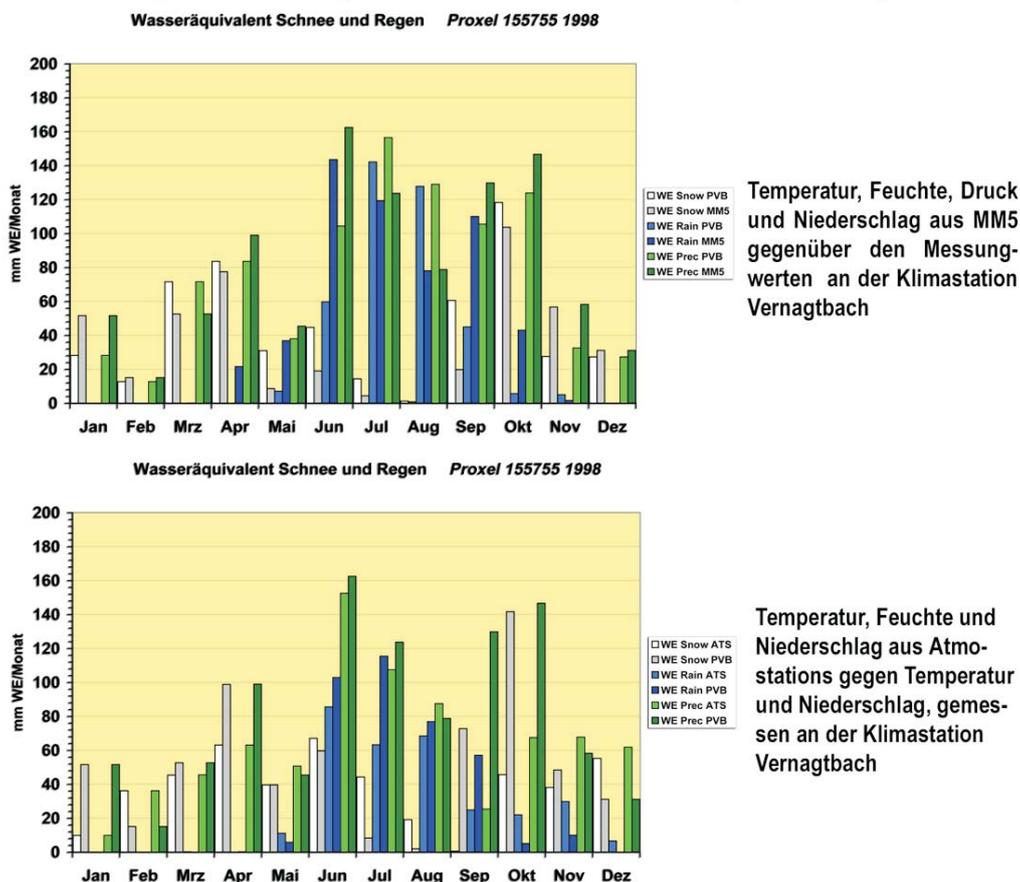


Abb. 2: Simulation wie in Abbildung 1, jedoch werden im oberen Teil der Abbildung die Ergebnisse einer Schneedeckensimulation mit Daten von *AtmoMM5* (MM5) und denen einer unabhängigen Klimastation (Klimastation Vernagtbach 2630m, PVB, KfG) auf diesem Proxel verglichen. Unten der analoge Vergleich gegenüber den Daten von *AtmoStations* (ATS)

Abbildung 2 basiert auf den Resultaten einer Schneedeckensimulation mittels der Daten von *AtmoStations*, *AtmoMM5* und den real auf dem entsprechenden Proxel gemessenen Stundenmittel der Temperatur, Wind, Feuchte und des Niederschlags an der Klimastation Vernagtbach. Es zeigt sich, dass beide Atmosphärenmodule von DANUBIA keine 100% stimmigen Eingabedaten liefern, dass aber dort, wo keine Stationsdaten aus der unmittelbaren Nachbarschaft in die Extrapolation einfließen können, die Schneesimulation mit Daten von *AtmoMM5* ein realistischeres Ergebnis liefert als mit *AtmoStations*.

2.3.3 Modellierung der Gletscherveränderung innerhalb von DANUBIA

Solange die Modellläufe von DANUBIA einen Zeitraum von maximal fünf Simulationsjahren überdeckten, konnten die Gletscherflächen im Einzugsgebiet im Sinne einer speziellen Landnutzung als stationär betrachtet werden. Anhand von Beobachtungen nimmt die Fläche der Mehrzahl der größeren Alpengletscher seit Mitte der 1990er-Jahre mit einer Rate zwischen 0.5% bis 1% pro Jahr ab. Nachdem jedoch die Rechenleistung des DANUBIA-Systems innerhalb des Berichtszeitraumes soweit gesteigert werden konnte, dass Simulationszeiträume von 30 bis 100 Jahre innerhalb vertretbarer Rechenzeit möglich sind, muss zukünftig die Entwick-

lung der Gletscherflächen wegen ihrer Bedeutung für den Wasserhaushalt im Einzugsgebiet des alpinen Inn explizit behandelt werden. Dass dabei auch die Fragestellung nach dem Zeitpunkt des Verschwindens der Gletscher unter der Bedingung eines wärmeren Klimas quantitativ angegangen werden kann, ist nur ein Aspekt am Rande. Viel bedeutsamer ist die Ausdehnung der Vergletscherung als einer der wichtigsten Parameter für die Abflusssspende aus hochgelegenen Einzugsgebieten.

In der ersten Projektphase wurde die Vergletscherung nur rudimentär behandelt. In der (bislang nicht veränderbaren) Landnutzungsklassifikation ist nur der prozentuale Anteil der Gletscherfläche eines Proxels als eine Landnutzung verankert. Damit ein Proxel zur Laufzeit den Status eines Gletscher-Proxels zugesprochen bekommt, muss die Gletscherfläche die dominierende Landnutzung sein. Da Gletscherflächen in der Regel nur mit der Landnutzung Fels konkurrieren, muss sie mehr als einen halben Quadratkilometer aufweisen. Nur dann wird einerseits in *Snow* der Auf- und Abbau der Schneedecke über Gletschern in besonderer Weise behandelt, andererseits im *Surface*-Modul eine anteilige Eisschmelze berechnet, sofern das ganze Proxel schneefrei ist.

Durch diese Vorgehensweise werden kleinere Gletscher praktisch ignoriert, obwohl gerade bei diesen in der nächsten Zukunft mit den größten Veränderungen zu rechnen ist. Ein Beispiel ist der Schneeferner an der Zugspitze, der mit einer gegenwärtigen Fläche von insgesamt 0.35ha einen zu geringen Flächenanteil an den Proxeln hat, auf denen er eingebettet ist, um in der Simulation relevant zu werden. Andererseits wird er immer wieder als das Paradebeispiel für einen Gletscher angeführt, der in nur 15 bis 20 Jahre verschwunden sein könnte. Diese aussage beruht lediglich auf einfachen Abschätzungen, konkrete Modellrechnungen wurden zu dieser Problematik nie durchgeführt.

Die Modellierung der Veränderung der Gletscher ist somit ein subskaliges Problem. Damit sie sich unter der Bedingung des alpinen Klimas bilden, müssen lokal besonders günstige Akkumulationsbedingungen herrschen, die vor allem von den örtlichen orografischen Gegebenheiten abhängen und sich in der Regel der expliziten Modellierung entziehen. Das Vorkommen von Gletschern ähnelt in hohem Maße dem von Pfützen nach einem Niederschlagsereignis. Eine Vorstellung davon vermittelt die Abbildung 7 oben, welche bereits einen sichtbaren Unterschied der Schneeakkumulation über Gletscherflächen und im benachbarten eisfreien Gelände zeigt.

Berechnet werden kann bei einem Gletscher näherungsweise die Veränderung der Gesamtmasse bzw. die Veränderung der Oberfläche anhand der Akkumulations- und Ablationsprozesse. Die Akkumulationsvorgänge sind identisch mit denen bei der Modellierung des Schneedeckenaufbaus, die Ablation durch Schmelze berechnet sich aus der Oberflächenenergiebilanz. Die dabei wesentlichen Prozesse sind bei WEBER (2005) in den Einzelheiten beschrieben. Zusätzlich gibt es noch einen stetigen Massentransport aus höher gelegenen Bereichen in die tieferen Regionen durch die Fließbewegung des Gletschers.

Detaillierte physikalische 3D-Modelle, die viele dieser Prozesse berücksichtigen, gibt es für einzelne Gletscher mit sehr guter Datenlage (z. B. ESCHER-VETTER 2000; HOCK und HOLMGREN 2005; STRASSER et al. 2004; OERLEMANN 2001). Sie berechnen die Veränderung der Gletscheroberfläche in der Regel auf einer mindestens um den Faktor 100 höher aufgelösten Skala als das 1x1km-Raster von DANUBIA. Einfachere konzeptionelle Modelle wie HBV3-ETH9 (z.B. Ellenrieder et al. 2004) oder OEZ (KUHN 2000 2003) arbeiten mit integralen Größen und benutzen überwiegend die Flächen-Höhen-Verteilung der Gletscher als Geländeinformation als Basis für die Berechnung der Massenbilanzen. Dies sind jedoch die minimal erforderlichen Informationen, um die Massenänderung eines Gletschers zu berechnen, da die Massenbilanz eine ausgeprägte Höhenabhängigkeit besitzt, wie dem Beispiel in der Abbildung 3 für den Vernagtferner entnommen werden kann. Die Form des Höhenprofils der Massenbilanz ist charakteristisch für einen individuellen Gletscher. Änderungen von Jahr zu Jahr zeigen sich hauptsächlich als horizontale Verschiebung der Kurve.

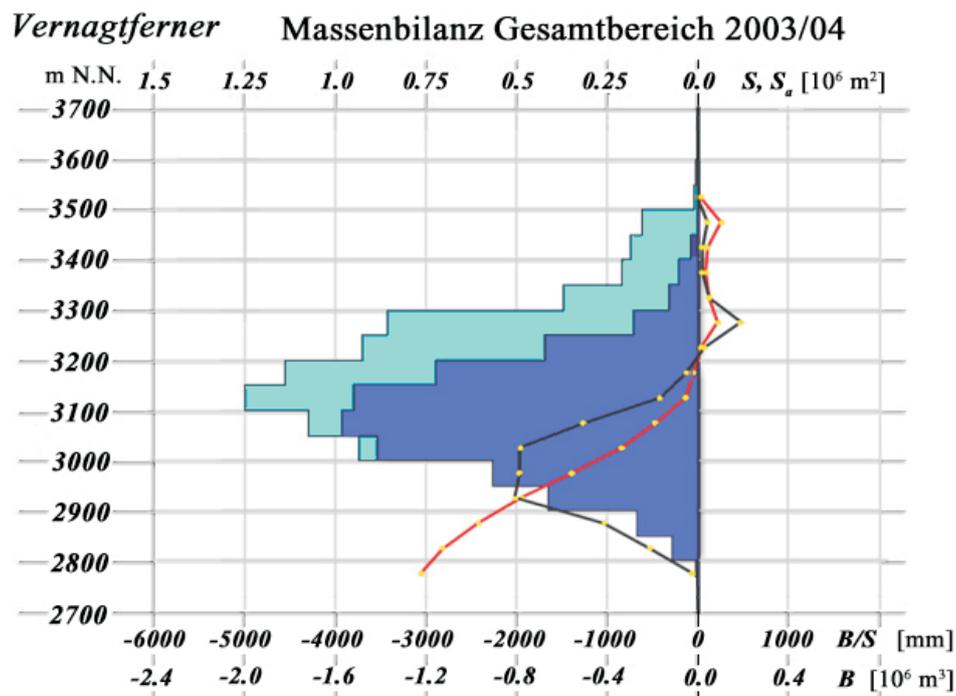


Abb. 3: Beispiel für die ausgeprägte Abhängigkeit der Massenbilanz eines Gletschers von der Höhenlage und der Flächenhöhenverteilung. Hellblau die Verteilung der Gesamtfläche S , dunkelblau die des Ablationsgebietes S_a , rot die spezifische Massenänderung B/S in mm w.e., schwarz die gesamte Massenänderung

Um die Massenbilanz eines Gletschers auch nur annähernd berechnen zu können, sind weitgehende Geländeinformationen notwendig. Wie man der Abbildung 4 entnehmen kann, füllen nur die Flächen der großen Gletscher die Proxelfläche vollständig oder wenigstens zu einem großen Teil aus. Die Bereiche der Gletscherzungen und die kleinen Gletscher bedecken dagegen das Proxel nur zu einem Bruchteil. Häufig teilen sich sogar mehrere Gletscher ein Proxel.

Die Problematik wird noch deutlicher, wenn man die vergrößerten Detailausschnitte der Abbildung 5 betrachtet: Große Gletscher wie der Vernagtferner oder der Hintereisferner erstrecken sich über mehrere Proxel, für die eine mittlere Höhenlage und Geländeneigung bekannt ist, bei kleineren dagegen ist ohne exakte Verortung eine Höhenzuordnung nur sehr ungenau.

Die erforderlichen subskaligen Informationen zur genauen Lage und der Flächen-Höhen-Verteilung der einzelnen Gletscher können mit der inzwischen erfolgten Fertigstellung des für den österreichischen Teil des Einzugsgebietes des Inn relevanten Abschnitts des Gletscherinventars anhand der detaillierten Geländedaten bereitgestellt werden. Für Testzwecke wurden zunächst die auf die einzelnen Proxel bezogenen Flächen-Höhen-Verteilungen mit einer Vertikalauflösung von 50m für das Einzugsgebiet der Ötztaler Ache erstellt. Dabei konnten die erforderlichen Arbeitsabläufe festgelegt werden.

Die Abbildung 6 zeigt einige Beispiele der resultierenden Flächen-Höhen-Verteilungen auf vier verschiedenen Proxeln. Sie sollen einen Eindruck von der Bandbreite der Verteilungen bezüglich Höhenklassen und Flächenanteil vermitteln. Deutlich wird auch, dass die größten Flächen meist nicht mit der mittleren Höhe des Proxels zusammen fallen und deshalb die bislang in der Landnutzung enthaltene Information der Gesamtfläche der Gletscheranteils und die Höhe des Proxels für eine Berechnung der Massenbilanz in der Regel nicht ausreichen.

Das Österreichische Gletscherkataster deckt den größten Teil des alpinen Bereichs des Einzugsgebietes ab. Für die insgesamt fünf verbliebenen Gletscher in Bayern werden analog

die aktuellen Flächen-Höhenverteilungen mit Hilfe des DFG-Projektes Bayerische Gletscher (W. Hagg) geliefert. Bezüglich der Information zu den Gletschern im Bereich der Schweiz laufen Anfragen über das Schweizer Gletscherinventar an der ETH Zürich.

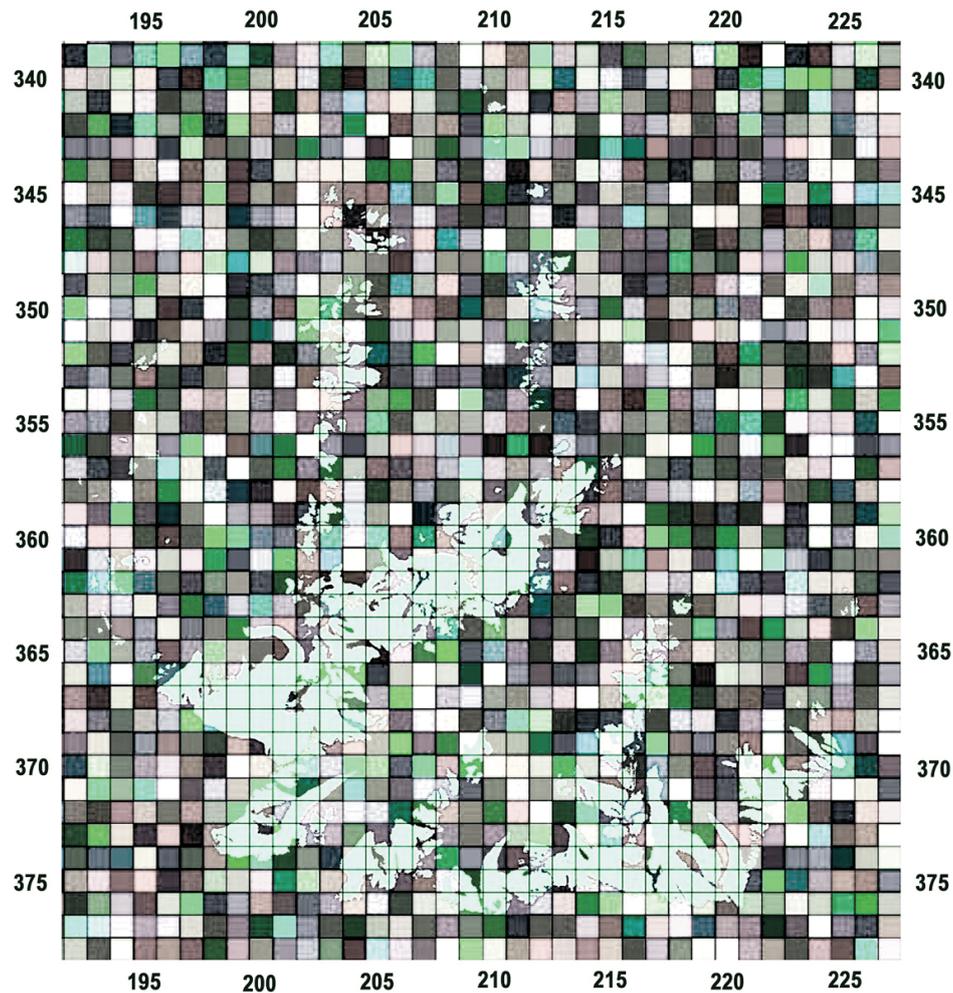


Abb. 4: Übersicht über die Verortung der Gletscher des Einzugsgebietes der Ötztaler Ache auf dem DANUBIA-Proxelraster nach den Daten des Österreichischen Gletscherinventars des Instituts für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck (IMGI). Die Skala am Rand ist identisch mit der Zeilen- und Spaltennummerierung des Proxelrasters

Die subskalige Modellierung der Gletscher erhöht natürlich den Bedarf an Rechenzeit und Arbeitsspeicher, allerdings müssen die Berechnungen nur auf den Proxeln stattfinden, die auch Gletscher enthalten. Nach den ersten Voruntersuchungen handelt es um eine Zahl von insgesamt ca. 2000. Der Aufwand würde aber bei der möglichen Berücksichtigung weiterer Prozesse zur Verbesserung der Simulation anwachsen. Sollen beispielsweise subskalige Abschattungseffekte ebenso berücksichtigt werden wie die Wirkung der Eisbewegung und kleinräumige Umlagerungen durch Wind und Lawinen steigt der Aufwand in nahezu beliebige Bereiche. Um die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems nicht unnötig zu belasten, werden in einem ersten Schritt die letzten beiden Prozesse vernachlässigt und in Analogie zu konzeptionellen Ansätzen nur integrale Größen für ganze Gletscherareale auf Höhenbändern berechnet.

Weiterhin ein Problem bleibt jedoch die gegenüber der Beobachtung um gut 20%-30% unterschätzte Akkumulation auf Gletscherflächen, die leider charakteristisch für die hydrologische Modellierung auf der Basis von klimatologischen Daten ist. Durch deren Regionalisierungsschemata können die eingangs erwähnten, besonders effizienten Akkumulationsbedingungen nicht real beschrieben werden. Als pragmatischer Abhilfe könnte in Anlehnung an die kon-

zeptionelle Modellierungspraxis eine Korrektur mittels eines empirischen Skalierungsfaktors dienen. Diese Vorgehensweise widerspricht jedoch der integrativen Konzeption von DANUBIA, denn es würde durch diese Vorgehensweise lokal Masse in Form von Niederschlag generiert, von der die anderen Arbeitsgruppen keine Kenntnis haben, und damit die Massenbilanz des Modells verfälscht. Deshalb ist ein integrativer Ansatz zur Problemlösung vorzuziehen.

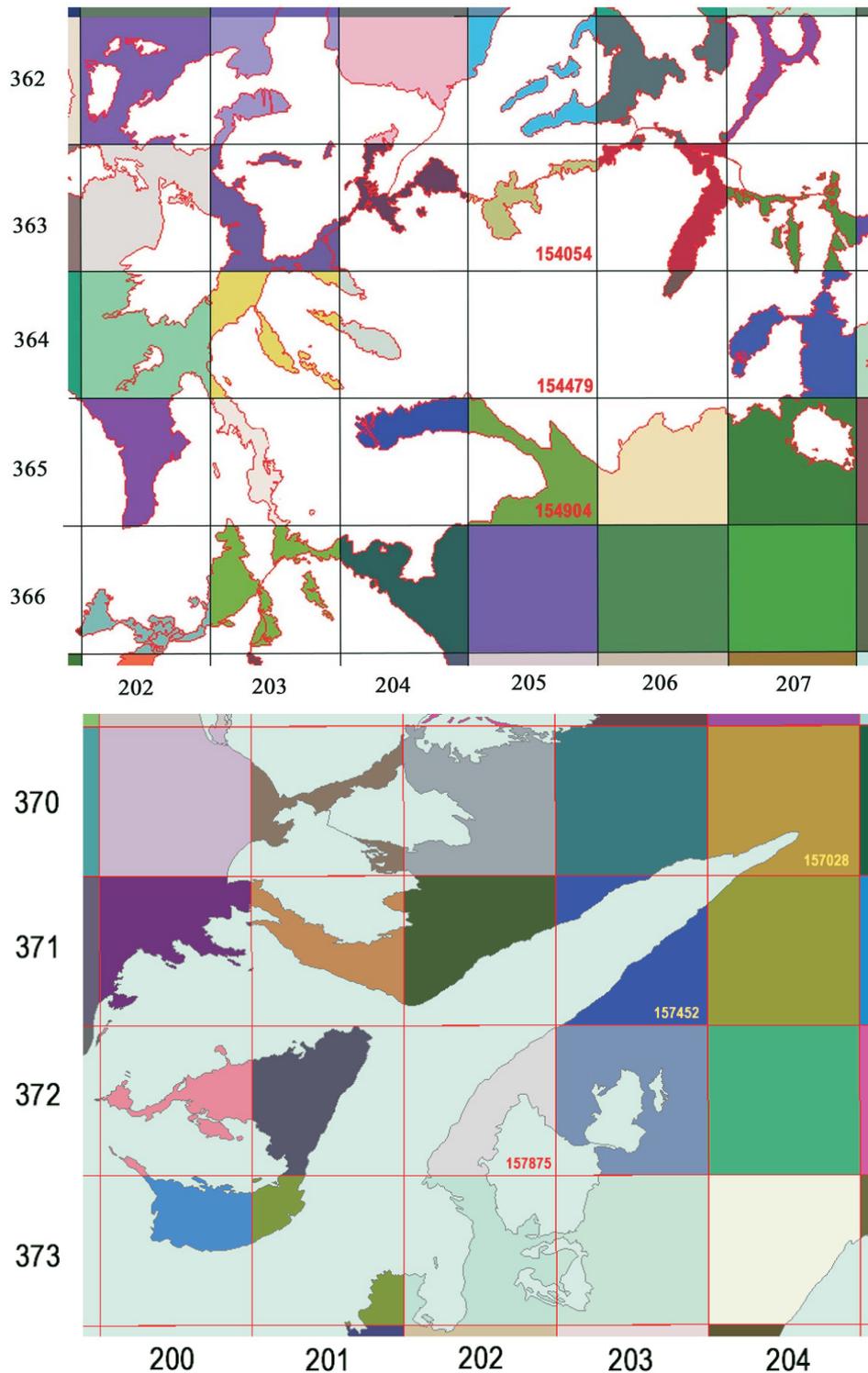


Abb. 5: Detailausschnitte der Lage der Gletscher auf den Proxeln für den Vernagtferner (oben) und den Hintereisferner (unten). Bei den 6-stelligen Ziffern handelt es sich um die Kennzahl für ein bestimmtes Proxel, die so genannte PID

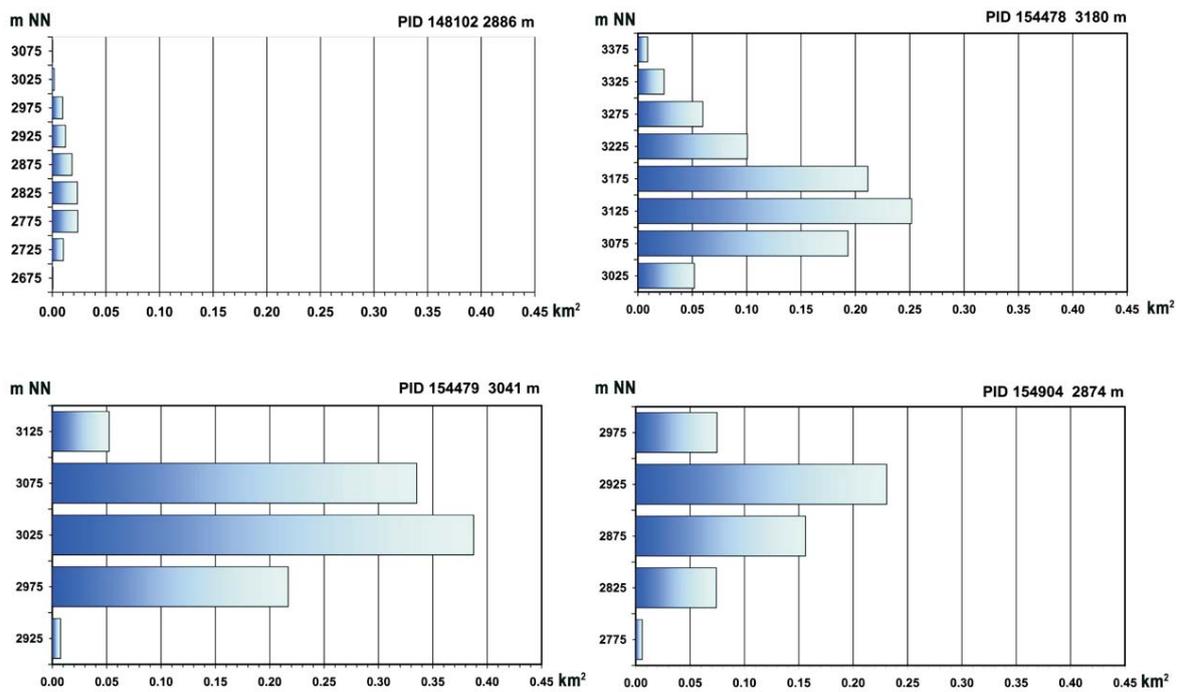


Abb. 6: Beispiele für die proxelweise anhand der Höhendaten des Österreichischen Gletscherinventars erstellten Flächen-Höhen-Verteilungen der Gletscher mit einer Klassenbreite von 50m, welche der subskaligen Berechnung der Massenänderung dienen. Die Höhenangabe rechts von der PID entspricht der Höhenzuordnung des Proxels im 1x1km² - Danubia-Raster

Als mögliche Ursache für die Unterschätzung kommen in Betracht

- Lokal zu geringe Niederschlagsmengen. Hier gilt es das *Downscaling*-Verfahren in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Meteorologie-Niederschlag zu überprüfen.
- Zusätzliche Akkumulation durch gravitativen (z.B. Lawinen) und windinduzierten Schneetransport. Zu dieser eindeutigen subskaligen Fragestellung ist wird in GLOWA-Danube ein ergänzendes Projekt Modellierung des windinduzierten Schneetransports (M. Bernhardt, U. Strasser) durchgeführt, in der die Prozesse und Wirkungen des subskaligen Schneetransportes modelltheoretisch und experimentell schwerpunktmäßig im Nationalpark Berchtesgaden untersucht werden. Die Ausweitung der Arbeiten auf ein Gletscher-Testgebiet, z.B. den Vernagtferner, wäre von Seiten der Arbeitsgruppe Glaziologie zu begrüßen. Anhand der Resultate dieser Forschungsarbeiten erhofft sich die Glaziologie neue Parametrisierungsansätze zur expliziten Behandlung dieser wichtigen, aber subskalig angesiedelten Prozesse, die allein bei der Modellierung von Gletschern Bedeutung erlangen.

Im Laufe des Sommers findet graduell der ein Übergang vom Oberflächenzustand mit maximaler Schneefracht zu einem immer größer werdenden, aperen Eisgebiet (Abb. 7) statt. Dieser ist mit einer Abnahme der Albedo von einem Bereich von 0.85 bis 0.6 bis auf 0.15 verbunden. Durch die zusätzliche Diskretisierung auf Höhenstufen mit 50 m Bandbreite wird aber auch dieser Prozess nach den Erfahrungen mit anderen Modelltypen (HBV-ETH9) mit ausreichender Realitätstreue wiedergeben.

Mit dieser Art der flächendeckenden Modellierung der individuellen Massenänderung der Gletscher wird ein innovativer Weg beschritten, der in dieser Form in der Wissenschaft noch nirgends realisiert werden konnte. Dies liegt weniger an einem Kenntnismangel bezüglich der beteiligten Prozesse, als an der Verfügbarkeit der erforderlichen vielfältigen Daten, die nur in einer interdisziplinären und integrativen Arbeitsweise, wie sie durch das GLOWA-Projekt ermöglicht wird, bereitgestellt werden können. Eine einzelne Arbeitsgruppe ist dazu schlichtweg nicht in der Lage.



Abb. 7: Der Vernagtferner in der winterlichen Akkumulationsphase (oben, 10.1.2006, Foto W. Hagg) und bei maximaler Ausaperung im Hochsommer (unten, 13.8.2003, Foto L. Braun)

Die exakte Transformation der berechneten Massenänderung der Gletscher in eine adäquate Veränderung der Fläche erfordert die genaue Kenntnis der Flächenverteilung der Eisdicke. Obwohl Messungen der Eisdicke von Gletschern per Radar zunehmende Verbreitung finden, sind derartige Daten kaum flächendeckend verfügbar. Da das Gletscherinventar auch Informationen zum Eisvolumen liefert, wurden auf einer größeren Anzahl von Gletschern Messungen der Eisdicke durchgeführt.

Die Messungen zeigen, dass eine Art universelle Funktion zwischen der Masse bzw. dem Volumen eines Gletschers und seiner Fläche zu existieren scheint (Abb. 6), welche die Basis für eine einfache Parametrisierung der Flächenveränderung anhand der über die Massenbilanz

des Gletschers berechnete Veränderung des Volumens möglich ist. Wenn auch die nach Abbildung 8 erhaltene einfache Beziehung möglicherweise lokal angepasst werden muss, so erscheint sie durchaus praktikabel, wie die praktische Anwendung für die Berechnung der Flächenänderung des Vernagtferners auf der Basis der mit geodätischen Aufnahmen ermittelten Volumendifferenzen über einen Zeitraum 114 Jahren in Abbildung 9 demonstriert.

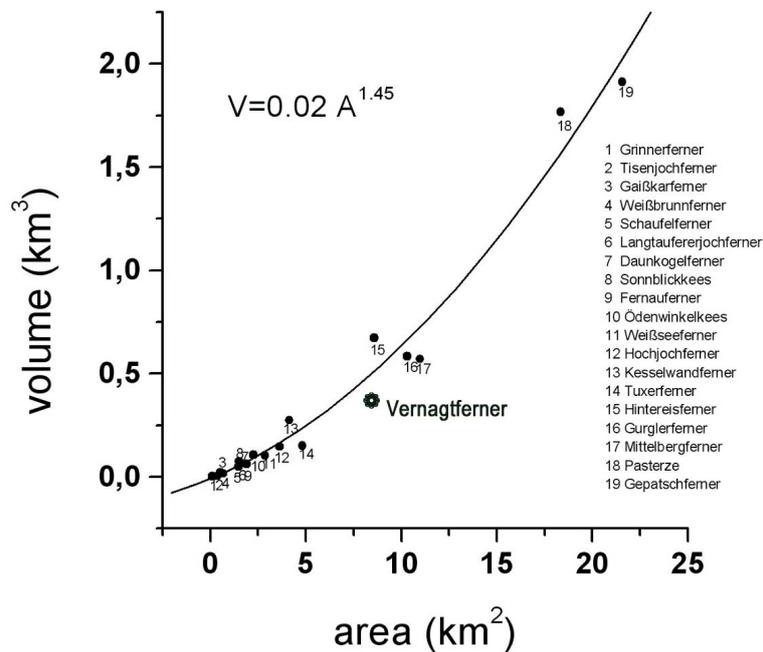


Abb. 8: Beziehung zwischen Eisvolumen und Gletscherfläche auf der Basis von Volumenmessungen an 19 Gletschern. Die Daten stammen aus Erhebungen zur Erstellung des Österreichischen Gletscherinventars des IMGL. Zusätzlich eingetragen ist ein Wertepaar vom Vernagtferner aus dem Jahr 2000, das unabhängig durch die KfG auf der Basis Eisvolumenbestimmung im Jahre 1967 mittels Sprengseismik und der kumulativen Massenbilanz seit diesem Zeitpunkt gewonnen wurde.

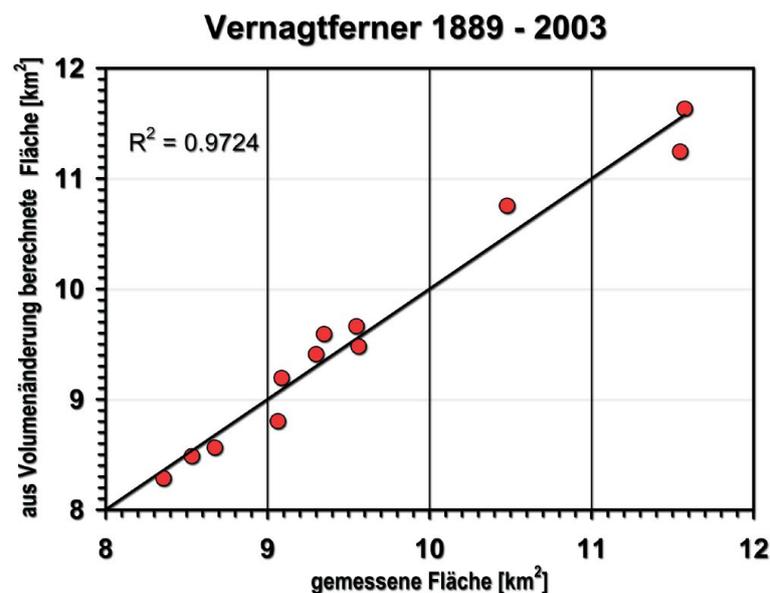


Abb. 9: Test der Güte der Methodik der Parametrisierung der Flächenänderung anhand der Zeitreihe von Fläche und Volumen des Vernagtferners von 1889 bis 2003, basierend auf Auswertungen der Änderung des Eisvolumens nach der geodätischen Methode zur Massenbilanzbestimmung

Bevor der Algorithmus endgültig in DANUBIA zum praktischen Einsatz kommen kann, gilt es noch zu untersuchen, auf welche Weise das integrale Ergebnis der Flächenänderung den Proxeln zugeordnet werden kann. In der Regel ändert sich die Fläche der Gletscher nur in den am tiefsten gelegenen Bereichen. Im Falle des Vernagtferners jedoch wäre das Ergebnis nicht eindeutig, da seine am tiefsten gelegenen Bereiche sich inzwischen über drei Proxel verteilen. Als erste Approximation würde sich eine gleichmäßige Aufteilung auf die am tiefsten in das Tal reichenden Flächenanteile anbieten. Eine Übersicht über den gegenwärtigen Entwicklungsstand zeigt die Abbildung 10. Zur Übergabe des Resultats an die interne Landnutzungsklassifizierung wird die Informatik entsprechende Werkzeuge zur Verfügung stellen.



Abb. 10: Stand der Entwicklung der Modellierung der Gletscherveränderung in DANUBIA. Die mit T markierten Aufgabenbereiche sind gelöst bzw. erfordern nur noch zusätzliche Arbeitszeit, bei ? sind noch elementare Fragen offen

Die Entwicklung befindet sich insgesamt am Ende des Berichtszeitraums noch in der Testphase. Eine ursprünglich geplante erste vollständige Implementierung des Algorithmus bis Ende Februar 2006 für den Szenariolauf hat sich nicht realisieren lassen, da nur ein unbedeutender Teil der erforderlichen Daten zu diesem Zeitpunkt zur Verfügung stand. Bis Ende 2006 sollen lauffähige Module verfügbar sein.

2.3.4 Testläufe

Die verbesserte Testumgebung des DANUBIA-Framework erlaubt nach der Implementati-on nahezu uneingeschränkt Testläufe des Systems. Die Programmentwicklung wurde wegen zu hoher Kosten für Lizenzen von J-Builder auf die frei verfügbare Eclipse-Umgebung umgestellt. Neu entwickelte Testdatensätze ermöglichten intensive Tests von *Snow*, so dass nicht nur Fehler im Rahmen der Möglichkeiten beseitigt, sondern auch ständig funktionelle Verbesserungen eingeführt werden konnten.

2.4 Validierung anhand der Referenzläufe 2005

Als Referenz zur Beurteilung der Resultate von Clusterläufen mit fiktiven Szenarien wurden zum Ende der ersten Projektphase in sogenannten Referenzläufen alle Prozesse im DANUBIA-Einzugsgebiet über einen Zeitraum von jeweils zwei vollständigen Jahren mit dem Gesamtsystem modelliert und validiert. Als Treiberdaten dienten im ersten Lauf die mittels *AtmoStations* anhand von Messungen an Klimastationen mit statistischen Methoden auf die

Proxel verteilten Werte. Die Ergebnisse dieses Laufes gelten als Referenz für die zukünftigen Modellrechnungen.

In diesem Sinne liefert *Snow* mit der Berechnung des Schneedeckenauf- und -abbau in stündlicher Auflösung einen erfolgreichen Beitrag. Die Abbildung 11 zeigt die mittlere Schneeakkumulation im Gesamtgebiet jeweils für den Monat Februar in den Jahren 1996 bis 1999. Die Ergebnisse entstammen dem Referenzlauf, der mit den von *AtmoStations* bereitgestellten meteorologischen Eingangsdaten gerechnet wurde. Der Lauf wurde am 1.1.1995 ohne spezielle Initialisierung der Schneedecke gestartet.

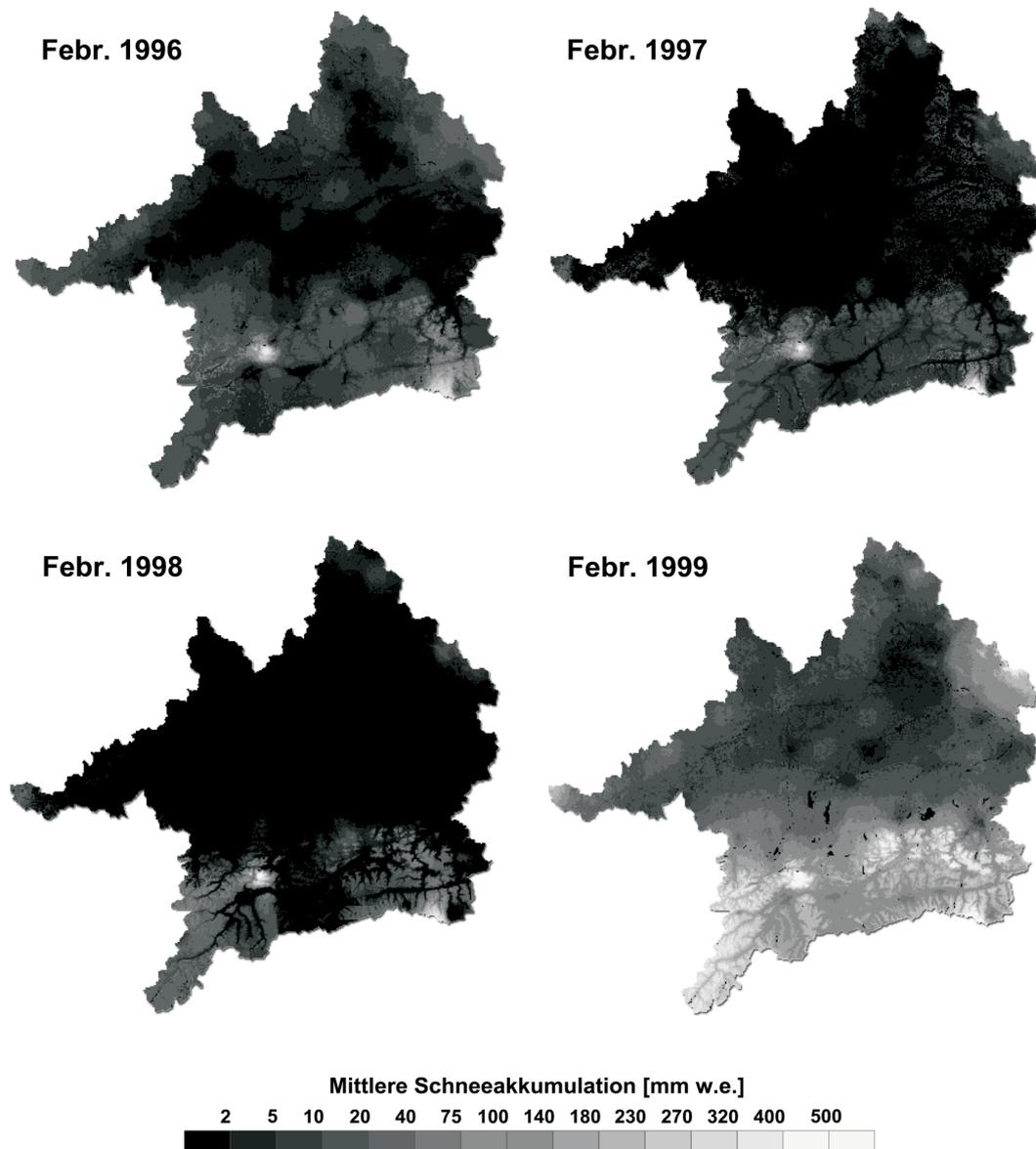


Abb. 11: Mittlere Schneeakkumulation im Einzugsgebiet von GLOWA-DANUBIA für die Jahre 1996 bis 1999 jeweils im Februar

Die Entwicklung der Schneedecke wird auch mit den Daten des Klimamodells realistisch wiedergegeben. Der schneearmen Winter 1997 und 1998 heben sich deutlich von der durch die Lawinenkatastrophe in Galtür in Erinnerung gebliebenen extremen Lage im Februar 1998 ab. Die größten Schneemengen findet man erwartungsgemäß in den hohen Lagen der Alpen und des bayerischen Waldes. Die Maxima sind aber analog zu den Analysen von SCHWARB et al. (2001) nicht in den höchstgelegenen Regionen des Alpenhauptkamms, sondern in den nördlichen Randalpen, vor allem im Wetterstein und den Zillertaler Alpen zu finden.

Die Ergebnisse aus dem ersten Referenzlauf mit regionalisierten Stationsdaten zeigen, dass der Aufbau der Schneedecke sowohl Quantitativ als auch Ereignisbezogen sehr gut durch das Schneemodell wiedergegeben werden. Abweichungen ergeben sich nicht nur durch das Verfahren selbst, sondern vor allem durch Unsicherheiten in der Schneehöhenmessung. Ferner ist die speziell im Hochgebirge nicht immer mit der Realität gut übereinstimmende Höhenlage des Proxels und des Beobachtungspegels eine Ursache für markante Abweichungen. Folglich ist die Übereinstimmung in der Regel im Flachland besser als in Gipfeln. Dennoch ist die Übereinstimmung auch dort erstaunlich gut.

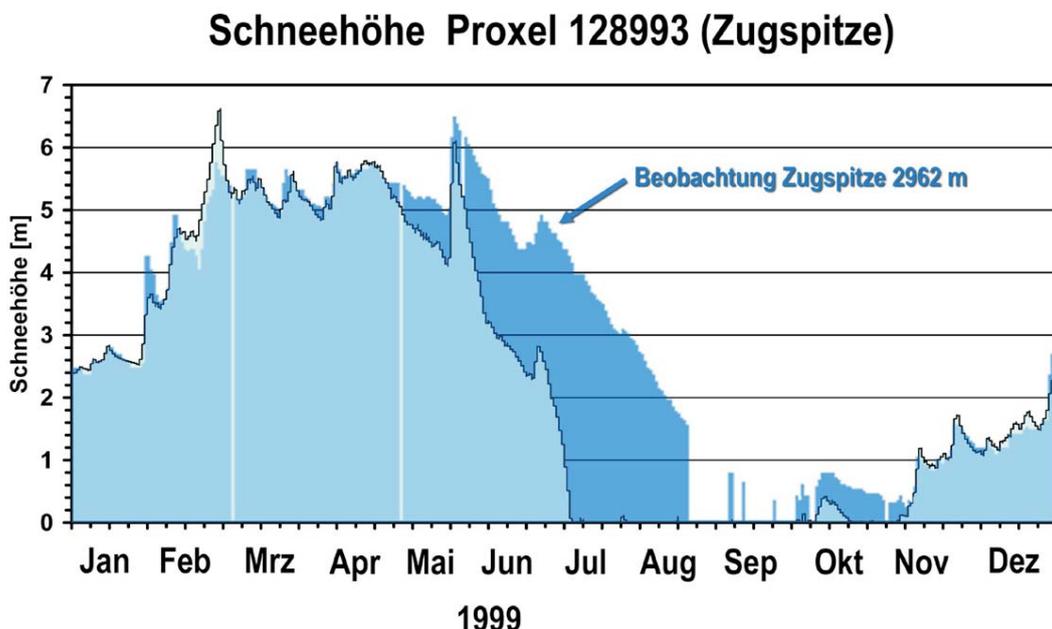
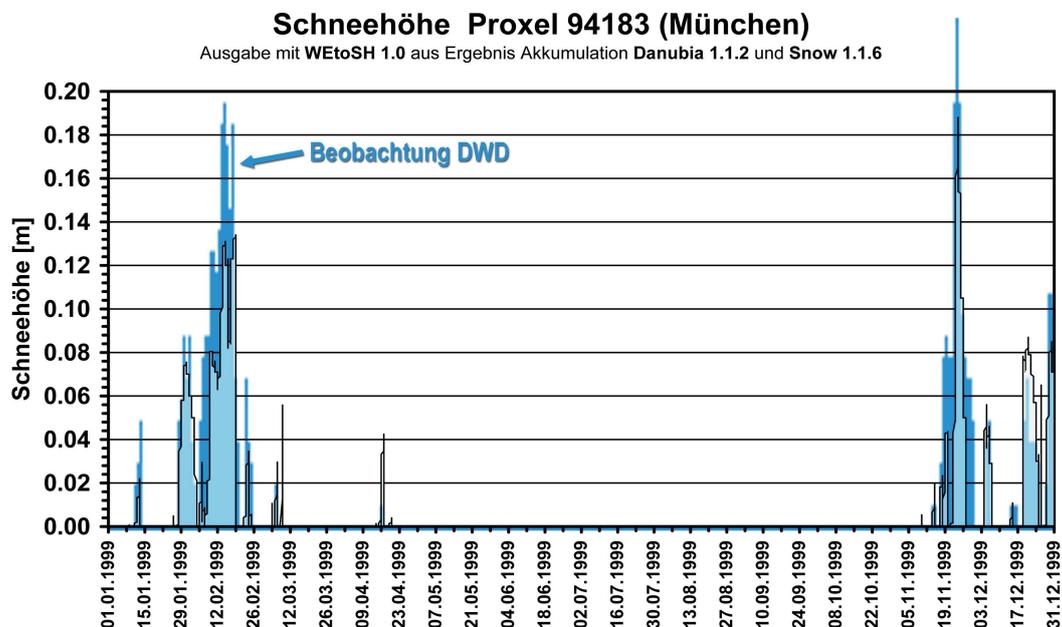


Abb. 12: Vergleich von modellierten und beobachteten Schneehöhen auf jeweils einem Proxel in München (oben) und auf dem Zugspitzplatt (unten)

Mit dem im Kapitel 2.2.2.2 erläuterten Transformationsmodul lassen sich die zur Laufzeit auf speziell ausgesuchten Proxeln als Zeitreihen ausgegebenen Werte des Wasseräquivalents der Schneedecke in Schneehöhen transformieren und mit lokalen Beobachtungen vergleichen. Die Abbildung 12 zeigt zwei Beispiele eines solchen Vergleichs im Flachland bei München und im Hochgebirge auf der Zugspitze nach den Ergebnissen des Referenzlaufes von 2005. In der Re-

gel ist die Übereinstimmung besonders in der Akkumulationsphase durchaus gut. Der Abbau der Schneedecke erfolgt mit der für den Referenzlauf verwendeten Version jedoch 1.1.6 von *Snow* allgemein deutlich schneller als in der Realität. Als Ursache ist einerseits eine Abweichung in der mittleren Höhenlage des Proxels mit nur 2272m gegenüber mindestens 2700m des Schneemessfeldes zu nennen, andererseits aber auch eine zu hohe Absorption von Strahlungsenergie durch eine zu niedrig angesetzte Albedo. Am Beispiel des Proxels 128993 an der Zugspitze entspricht der verfrühte Abbau der Schneedecke einer lediglich um ca. 15% zu hohen Strahlungsaufnahme. Diese wird durch einen zu rasch angenommenen Abfall der Albedo mit der Zeit verursacht. In der aktuell vorliegenden Version 1.1.10 von *Snow* wurde eine Anpassung der Parameter zusammen mit einer Differenzierung der Abfallrate mit der Lufttemperatur vorgenommen. Da die Simulation nur mit einem synthetischen Datensatz (Abschnitt 2.5.1) durchgeführt wurde, konnte der Grad der Verbesserung durch diese Maßnahme noch nicht quantitativ validiert werden.

2.5 Szenariolauf auf dem Cluster Februar/März 2006

Im Februar 2006 wurde ein gemeinsamer Cluster-Lauf des vollständigen DANUBIA-Systems gestartet, der bis zur Fertigstellung des Berichtes eine Laufzeit von beinahe 36 Jahren erreichte. Zum Betreiben des Modells wurde gemäß einem gemeinsam bei der Klausurtagung in Linden gefassten Entschluss erstmals eine durch einen stochastischen Klimagenerator erzeugte Zeitreihe der meteorologischen Grundgrößen verwendet, bereitgestellt durch *AtmoStations*. Sie ist das Resultat der zufälligen Umsortierung von kurze Episoden umfassender gemessener Datensätze aus 30 Jahren unter der Maßgabe, dass der entstehenden Klimareihe ein vorgegebener Trend der Temperatur und der Niederschlagsmenge aufgeprägt wird (STRASSER und MAUSER 2006).

2.5.1 Eingangsdaten

Der vordergründige Vorteil dieser Vorgehensweise im Gegensatz zur Verwendung des echten Klimamodells *AtmoMM5* liegt in der scheinbaren Konsistenz und physikalischen Plausibilität der meteorologischen Messgrößen Strahlung, Temperatur, Feuchte, Wind und Niederschlag, welche in dieser Kombination tatsächlich aufgetreten sind. Weiterhin entsprechen die Probleme und Unsicherheiten bei der Regionalisierungsprozedur der Daten denen bei der Verwendung von gemessenen Stationsdaten. Außerdem entspricht die Vorgehensweise durchaus der Vorstellung vom Ablauf der zukünftigen Klimaerwärmung, welche sich durch die zunehmende Häufung teilweise extremer Wetterlagen auszeichnen dürfte.

Der Nachteil liegt jedoch in der fehlenden Kopplung zwischen Erdoberfläche und Atmosphäre. Das Vorhandensein einer Schneedecke beispielsweise oder die Abnahme der Bodenfeuchte beeinflussen in hohem Maße die bodennahe Temperaturverteilung, da sich die Oberflächenenergiebilanz verändert. Im Falle der Schneeaufgabe reduzieren die modifizierten Strahlungsströme und eventuell auftretende Schmelzprozesse die Erwärmung der bodennahen Luftschicht, so dass dort die 2-m-Lufttemperatur niedriger wäre als über derselben aperen Oberfläche unter sonst gleichen Bedingungen. Als Resultat berechnet das Schneemodell in einem solchen Fall wegen der unrealistisch hohen Lufttemperatur einen überhöhten fühlbaren Wärmestrom und damit gegebenenfalls eine überhöhte Schmelzrate. Der inverse Effekt tritt ein, falls ursprünglich bei der Gewinnung des Datensatzes eine Schneedecke vorhanden war, in der Simulationsrechnung wegen des geänderten Witterungsablaufes aber nicht.

Der tatsächliche Einfluss dieses Effektes in Relation zu den durch die *Downscaling*-Prozedur entstandenen Fehlern kann gegenwärtig noch nicht abschließend beurteilt werden, da eine derartige Kopplung im DANUBIA-System für die Klimamodellierung noch nicht zur Verfügung steht. Allerdings sind im Rahmen einer im Teilprojekt Hydrologie und Fernerkundung angesiedelten Untersuchung Gekoppelte Modellierung von Landoberflächen- und Atmosphärenprozessen (T. Marke) in Kooperation mit der Arbeitsgruppe Meteorologie erste Schritte anhand der Kopplung

der Modellierung von MM5 und „Danubia-Light“ erfolgt, die in naher Zukunft auf das komplexere DANUBIA-System übertragen werden sollen. Sicherlich kann gegenwärtig in der Summe auch auf ein bestimmtes Maß an Fehlerkompensation vertraut werden. Bei der Simulation von Szenarien ist ein realistisches, physikalisch basiertes Schneemodell ein unverzichtbarer Bestandteil, denn der Auf- und Abbau der Schneedecke hängt von der individuellen Abfolge der Witterung ab. Deren räumliche Verteilung kann anhand der Regionalisierung von Schneehöhenmessungen, die bei einer konkreten Witterungsabfolge gewonnen wurden, nicht mehr abgeleitet werden.

Der lokale Trend der bodennahen Lufttemperatur wird in den Jahresmittelwerten auf repräsentativen Proxeln gut sichtbar (Abb. 13). Global wurde entsprechend dem IPCC-Szenario (2001) von einem Temperaturanstieg von 4K in 100 Jahren ausgegangen. Der mittels dem Klimagenerator generierte und nach den Regionalisierungsalgorithmen von *Atmos-Station*s auf die Proxelskala auf Stundenwerte disaggregierte Eingangsdatensatz zeigt lokal einige statistische Besonderheiten, die nicht immer mit den bisherigen Prognosen des künftigen Klimas im Einklang stehen:

- Der lineare Trend der Temperaturzunahme beträgt über 35 Jahre im Flachland auf 500m NN 1.5 K. Im Bereich des Alpenhauptkamm ergeben sich sowohl in alpinen Felsregionen auf 2600m NN als auch über Gletschern in über 3000m Höhe nur etwa 0.8 K.
- Verglichen mit den gemessenen Jahresmitteln der Temperatur zum Anfang des Jahrtausends startet die synthetische Reihe im Alpenvorland auf einem ca. 1.5 K niedrigeren Niveau, was etwa dem Mittelwert 1985 bis 1990 entspricht, die Jahresmittel der Gegenwart werden erst gegen Ende der Simulation erreicht. In den höheren Lagen stimmt das mittlere Temperaturniveau zu Beginn der Simulation recht gut mit

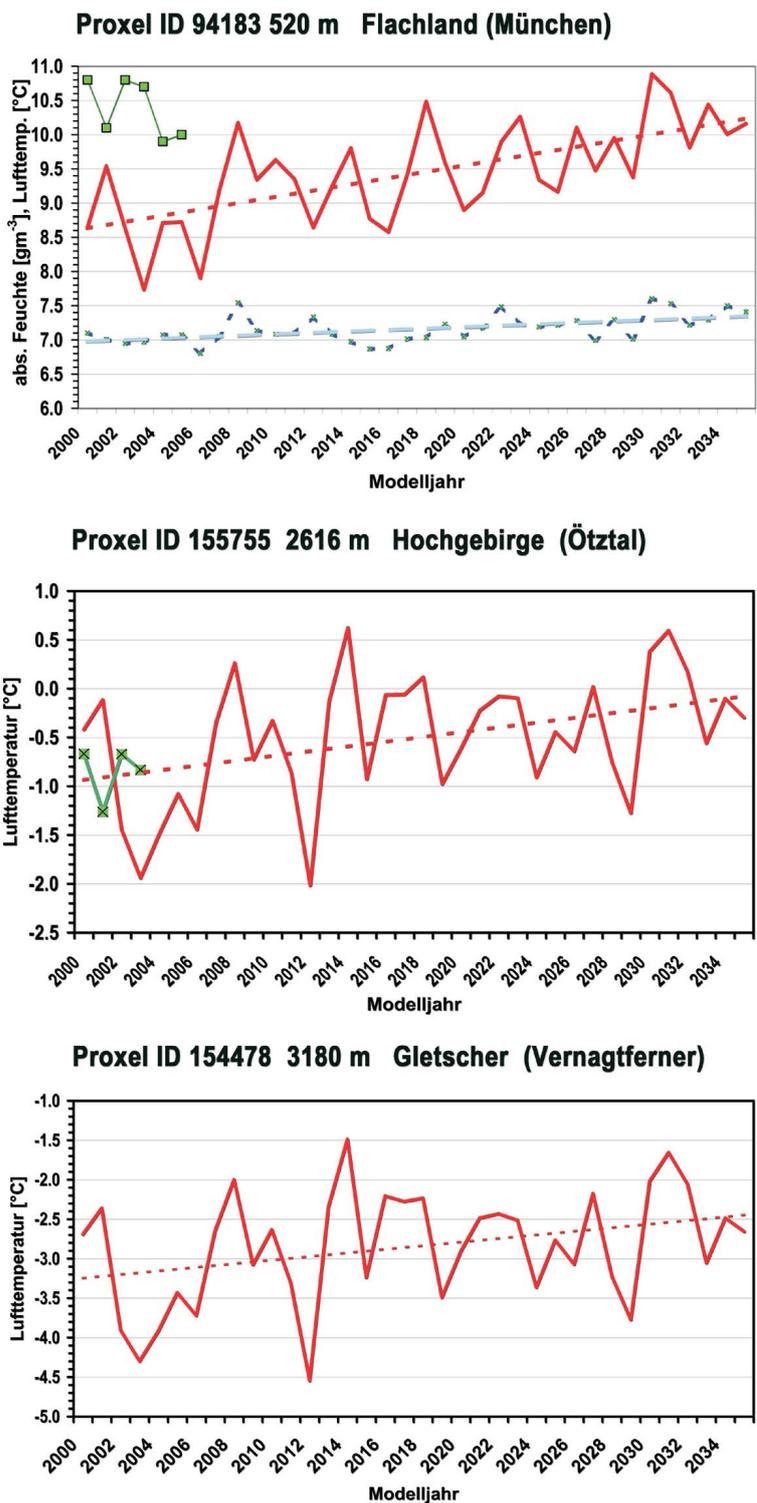


Abb. 13: Jahresmittelwerte und linearer Trend der bodennahen Lufttemperatur (rot) auf drei jeweils für eine Höhenlage repräsentativen Proxeln. In Grün werden zum Vergleich reale, unabhängige Messwerte ab dem Jahr 2000 angegeben, soweit sie am jeweiligen Standort verfügbar sind. Für das Proxel im Flachland sind zusätzlich die Jahresmittel der absoluten Feuchte angegeben (blau).

der aktuellen Beobachtung überein, der Anstieg erscheint jedoch in der ersten Hälfte des Simulationszeitraums stärker als in der zweiten.

- Die Variation der Mittelwerte von Jahr zu Jahr ist zeitweise erheblich größer als bislang beobachtet. Dies betrifft insbesondere den Bereich des Alpenhauptkamms mit zunehmender Höhenlage.

Trendanalysen von Temperaturreihen der letzten 150 Jahre und auch die jüngsten Prognosen der Klimamodellierung zeigen dagegen eine stärkere Erwärmung innerhalb der Alpen gegenüber dem Flachland, die plausibel teilweise auch durch den Rückgang der von Eis und Schnee bedeckten Fläche erklärt werden kann. Dort wird ein erheblicher Anteil der Energie für die Schmelze verwandt, der nicht für die Erwärmung der Grenzschicht zur Verfügung steht (WEBER 2005; BRAUN et al. 2004).

Parallel zur Lufttemperatur zeigt in allen Höhen auch der Wasserdampfgehalt der Atmosphäre einen positiven Trend, was wiederum im Einklang mit den Prognosen der Klimamodelle steht. Wenn auch das Szenario nicht unbedingt die zukünftige Entwicklung im Sinne einer Global-Change-Simulation zu beschreiben vermag, so ist es doch ein guter Test, ob die Kopplung der DANUBIA-Komponenten wirklich plausible Ergebnisse liefert.

2.5.2 Veränderung der Schneedecke

Die mit dem zuvor beschriebenen, hauptsächlich auf einem Anstieg der Temperatur basierenden Klimaszenario durchgeführten Modellrechnungen ergeben für die sich daraus ergebenden Veränderung der Schnee- und Eisbedeckung differenzierte Resultate. Die Abbildungen 14 bis 16 zeigen diese für repräsentative Proxel im Einzugsgebiet.

Mit dem Temperaturanstieg nehmen auch die Niederschlagsmengen um ca. 10% in allen Höhenlagen zu. Der Anteil davon, der in Form von Schnee fällt, nimmt im Laufe der Zeit etwa in der gleichen Größenordnung ab (Abb. 14). Die Auswirkungen sind im Flachland markanter als im Hochgebirge: beträgt der Schneeanteil am Niederschlag zu Beginn der Simulation in der Region München noch 20% bis 30%, reduziert er sich nach 30 Jahren mit 10% bis 15% auf die Hälfte. Im Hochgebirge ist diese Reduktion in gleicher Weise vorhanden, nur fallen dort statt beispielsweise 90% des Niederschlages nur noch 80% als Schnee.

Nimmt man als Parameter die mittlere bzw. die maximale Schneehöhe (Abb. 15), so zeigt sich ein anderes Bild: Im Flachland nehmen sowohl die durchschnittlichen Schneemengen als auch die maximale Höhe der Schneedecke zum Ende der Simulation hin ab, es bleibt jedoch kein Winter absolut schneefrei. Auch die gelegentlich immer noch auftretenden Schneedecken mit einem Wasseräquivalent von 25mm, welche je nach Bedingungen einer Schneehöhe von 10 bis 20cm entsprechen, deuten nicht unbedingt darauf hin, dass die Stadt München in 30 Jahren komplett auf einen Winterdienst verzichten könnte. Diese Erkenntnis gilt auch unter der Bedingung, dass das mittlere Temperaturniveau gegen Ende der Simulation nur unwesentlich über dem gegenwärtigen liegt, denn Ausnahmewinter wie beispielsweise der von 2005/06 werden in Zukunft zwar seltener, bleiben aber vorerst nicht völlig aus.

Interessanterweise ergibt die Simulation - wie in Abbildung 15 gezeigt - eine Zunahme der mittleren Schneemengen sowohl im Höhenbereich um 2600m NN als auch über Gletschern oberhalb von 3000m. Diese hat ihre Ursache in der allmählichen Zunahme des Niederschlages, der in dieser Höhenlage bis in den Frühsommer hinein ausschließlich in Form von Schnee fällt. Die maximalen Schneehöhen liegen unter den Bedingungen mit höheren Temperaturen sogar über denen zu Beginn der Simulation, die in etwa denen der Gegenwart entsprechen. Auch dieser Effekt ist sowohl über Gletschern (Abb. 15 unten) als auch in unvergletscherten hochgelegenen Regionen (Abb. 15, Mitte) des Einzugsgebietes festzustellen.

Der zunehmende Schneereichtum in höheren Lagen wirkt sich auch in den Akteursmodellen aus. So kann beispielsweise die Arbeitsgruppe Tourismus anhand ihrer Simulationen zeigen, dass sich die wirtschaftlichen Bedingungen für hochgelegene Skigebiete im Be-

reich der Zentralalpen sogar leicht verbessern, während sich der Betrieb in tieferen Lagen und in den Mittelgebirgen kaum mehr lohnt. Dies steht im krassen Widerspruch zu der immer wieder vertretenen These, dass Skitourismus zukünftig in den Alpen überhaupt nicht mehr möglich sei.

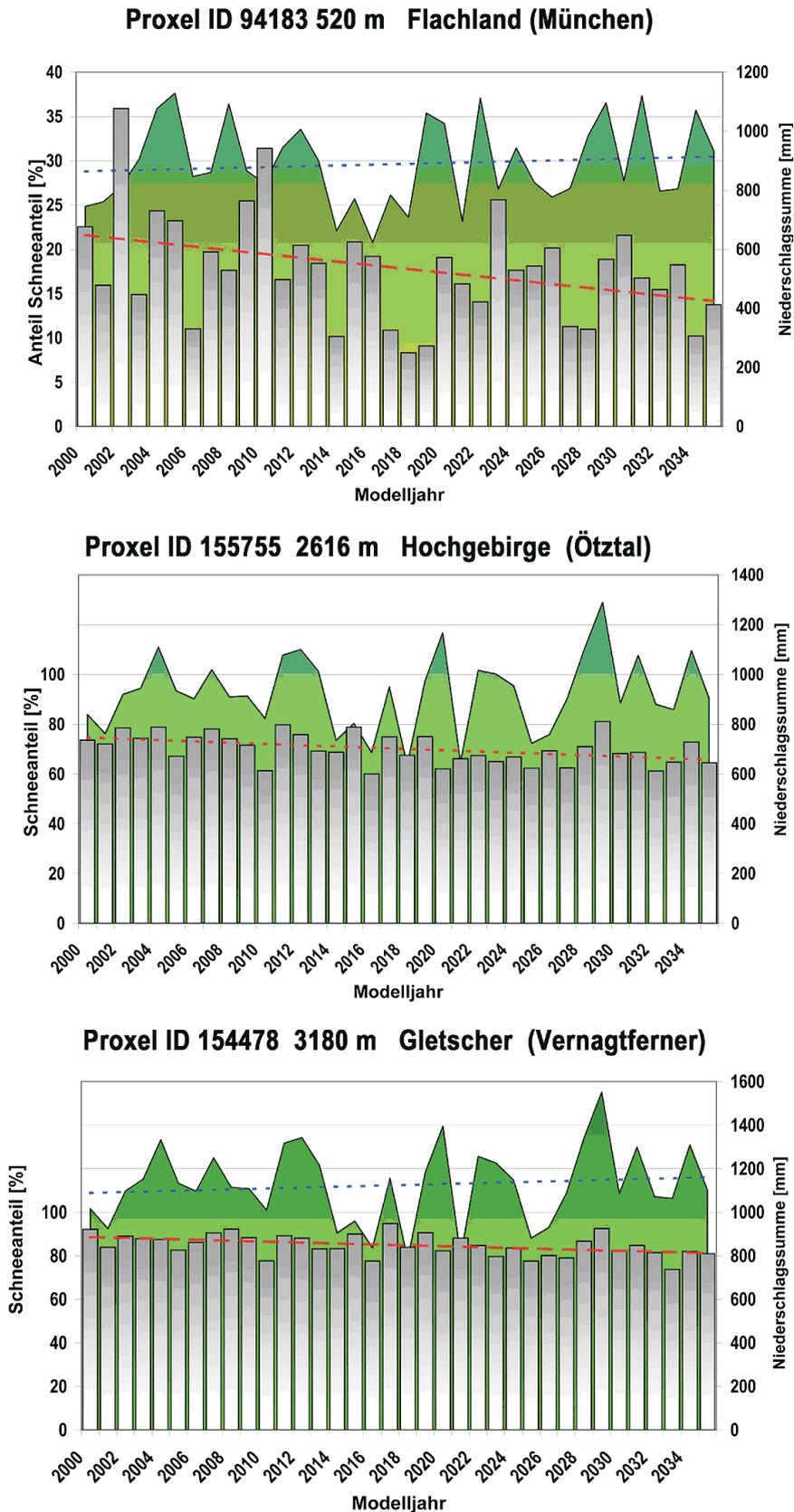


Abb. 14: Jahressummen des Gesamtniederschlags (grün, rechte Skala) und dessen Anteil in Form von Schnee (graue Säulen, linke Skala) auf drei repräsentativen Proxeln im DANUBIA-Einzugsgebiet

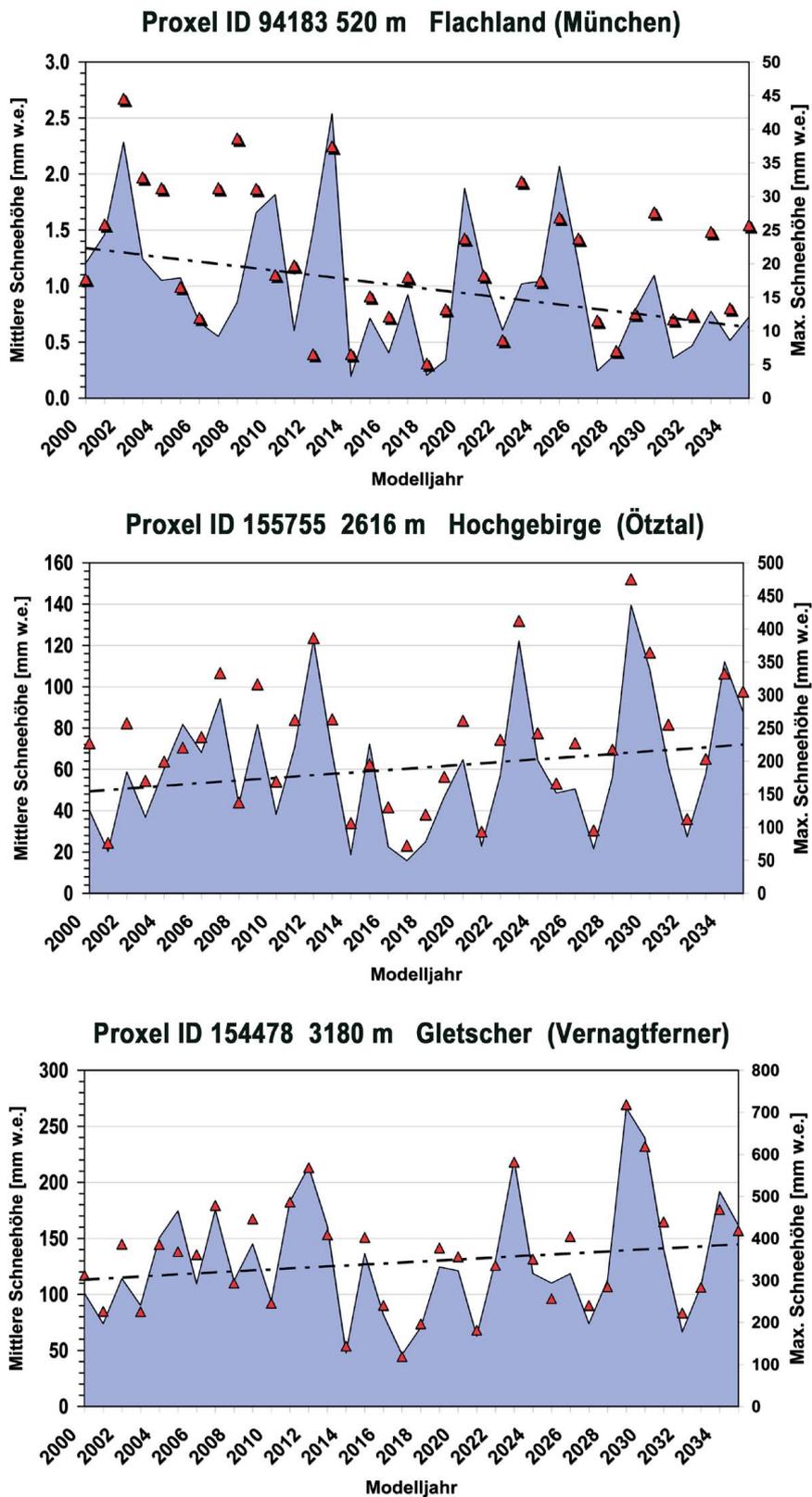


Abb. 15: Mittlere jährliches Wasseräquivalent der Schneedecke (blau, linke Skala) und maximale Schneehöhe (rechte Skala, Dreiecke) auf drei repräsentativen Proxeln im DANUBIA-Einzugsgebiet

Die Zunahme an Schneemasse steht aber laut dem Simulationsergebnis auch nicht im Widerspruch zum Fortschreiten des Gletscherschwundes. Die Abbildung 16 verdeutlicht dies anhand des Klimaparameters Schneedeckendauer, welcher die Anzahl der Tage mit einer geschlossenen Schneedecke angibt, dass diese in allen Höhenlagen mit der Zeit abnimmt und immer unter 365 Tagen liegt. Es bildet sich keine perennierende Schneedecke aus. Ob-

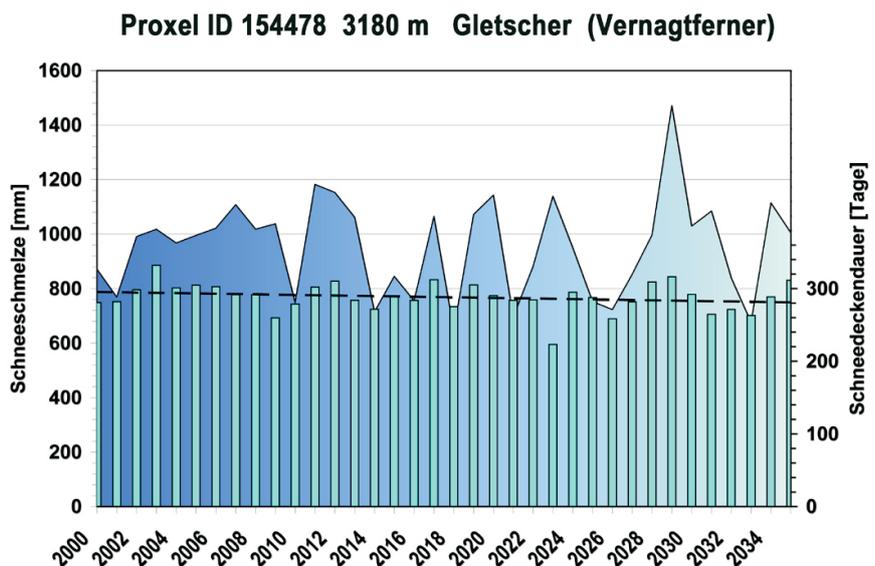
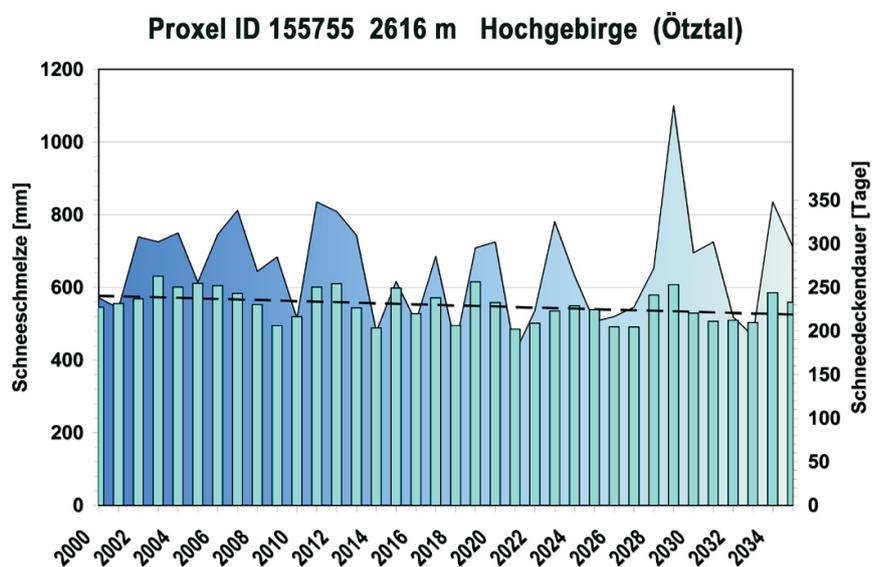
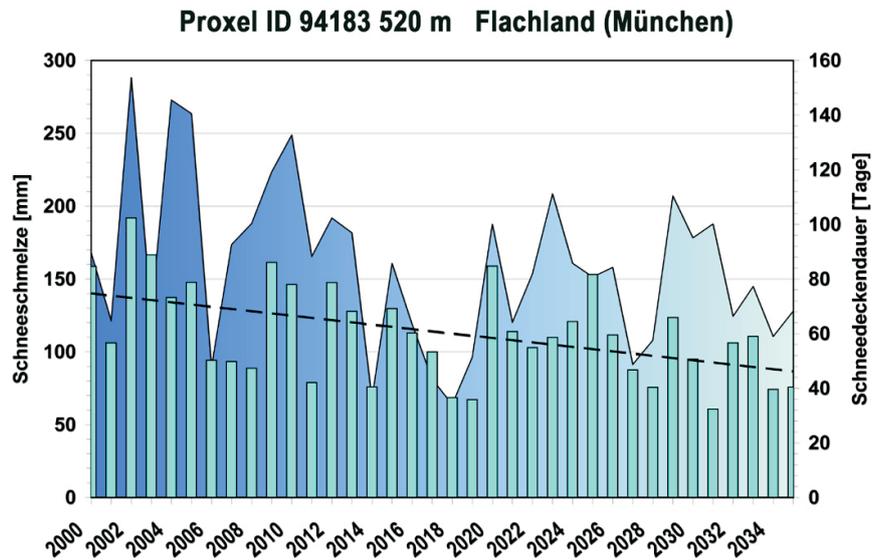


Abb. 16: Jahressumme der Schneeschnmelze (blau, linke Skala) und Schneedeckendauer (Säulen, rechte Skala) auf drei repräsentativen Proxeln im DANUBIA-Einzugsgebiet

wohl sie häufig mächtiger ist als zu Beginn der Simulation, schmilzt sie in kürzerer Zeit. Im Flachland (Abb. 16, oben) sinkt mit der Schneemenge auch die Menge des gebildeten

Schmelzwassers. In den Kopfeinzugsgebieten (Abb. 16, Mitte) dagegen erhöht sich bei anwachsenden Schneemengen auch die Spende aus der Schneeschmelze, so dass sie nicht oder nur unwesentlich zurückgeht.

In vergletscherten Kopfeinzugsgebieten erhöht sich die Abflussfracht zusätzlich um die Eisschmelze der Gletscher, die umso größere Ausmaße annimmt, je länger die Ablationsperiode ist und je größer die schneefreien Eisgebiete sind. Die Verkürzung der Schneedeckendauer führt somit generell zu einem schnelleren Abschmelzen der Gletscher, denn jeder zusätzliche Schmelztag im Hochsommer führt im Eisgebiet zum Verlust von 4 bis 8 cm Eis, der zur negativen Massenbilanz beiträgt. Die unverhältnismäßig hohen Eisverluste im Sommer 2003 rührten letztlich daher, dass auf den Alpengletscher statt sonst 30 bis 50 Tage insgesamt über 100 intensive Schmelztage auftraten (BRAUN und WEBER 2004). Die Zunahme der Abflüsse aus vergletscherten Einzugsgebieten wird bereits beobachtet (BRAUN und WEBER 2002).

Die Realitätstreue der Simulation ist nach dem gegenwärtigen Stand schwer zu beurteilen. Einerseits wird der Rückgang der Mächtigkeit und der Dauer der Schneedecke im Flachland in der erwarteten Weise wiedergegeben. Die Prognose einer Zunahme der Schneemenge im Hochgebirge lässt sich anhand von Beobachtungsreihen bislang nicht verifizieren. Die Analyse von hydrologischen Bilanzen im Einzugsgebiet am Vernagtferner seit 1964 zeigt eine ausgesprochene Konstanz der Winterakkumulation (ESCHER-VETTER et al. 2005). Signifikante Trends einer Zu- oder Abnahme sind bislang nicht nachweisbar.

3. Fazit und Ausblick

Mit dem erfolgreichen ersten Szenarienlauf über 36 Jahre konnte das DANUBIA-System erstmals demonstrieren, wofür es konzipiert wurde, nämlich die Abbildung eines komplexen gekoppelten Systems und dem Zusammenwirken einer Vielzahl von Komponenten verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen. Der Szenariolauf zeigt bereits die Funktionstüchtigkeit beispielsweise anhand der Wirkungskette *AtmoStations* → *Landsurface* → *Snow* → *Tourism*: Die Klimatologie liefert auf der Landoberfläche das Signal sich verändernder Klimaparameter, die Komponente Snow reagiert darauf mit differenzierten Veränderungen in der räumlichen Verteilung der Schneedecke, darauf ändert sich wiederum differenziert die Wirtschaftlichkeit von abhängigen Infrastrukturen wie etwa die Skigebiete. Das DANUBIA-Modell liefert gleichzeitig die Erklärung, warum dies so sein muss.

Das Modell ist bereits jetzt in der Lage, die Variation des Schneespeichers in einer für die Dimension und Heterogenität des Untersuchungsgebietes außerordentlich hohen zeitlichen und räumlichen Dichte wiederzugeben. Es befindet sich in einem Entwicklungsstadium, in welchem zur weiteren Verbesserung auch subskalige Prozesse wie kleinräumig differenzierte Landnutzung und kleinräumige Transporte einbezogen werden müssen. Ein wichtiges Beispiel und kurzfristig erreichbares Ziel besteht in der Fähigkeit der Modellierung der Veränderung der Gletscher, welche auf der bisherigen Proxelebene in der 1km x 1km - Skala von DANUBIA nur unzureichend dargestellt werden können. Die erforderlichen umfangreichen Zusatzinformationen in der hohen Auflösung liefert vordergründig das Österreichische Gletscherinventar.

Dazu müssen langfristig auch weitere Prozesse unterhalb der Proxelskala Berücksichtigung finden, wie etwa die Umlagerung des Schnees durch Wind und Lawinen. Viele kleine und tief gelegene Kargletscher verdanken gegenwärtig allein diesen Prozessen ihre Existenz. Auf diesem Gebiet wurde bereits Vorarbeit vom Projekt Modellierung des windinduzierten Schneetransports geleistet, die für innovative Ansätze nützlich sein werden.

Zur Erreichung der formulierten Ziele ist die Arbeitsgruppe Glaziologie auf die intensive Kooperation mit den Arbeitsgruppen Fernerkundung (Rückkopplung Schneedecke - Atmosphäre, Subskalige Transporte, Prozesse an der Landoberfläche, Strahlungsmodellierung, Daten), Meteorologie (kleinräumige Niederschlagsverteilung, Klimamodellierung), Informatik (Programmarchitektur) angewiesen.

4. Literatur

- BRAUN, L. und WEBER, M. (2002): Droht im nächsten Sommer Hochwasser vom Gletscher?, Rundgespräche der Komm. f. Ökologie der BAdW München, Band 24 Katastrophe oder Chance? Hochwasser und Ökologie, Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, ISBN 3 89937 002 3, S.47-66.
- BRAUN, L.N., ESCHER-VETTER, H., HEUCKE, E., SIEBERS, M. und WEBER, M. (2004): Experiences with the new Vernagtbach hydro-meteorological station, in OERLEMANS und TIJM-REIJMER: Book of extended abstracts of presentation at the Workshop Automatic Weather Stations on Glaciers, Pontresina, 28 to 31 March 2004, IMAU, S. 38-44. Im Internet auch unter http://www.glaziologie.de/download/aws_abstracts_v2.pdf herunterladbar.
- ELLENRIEDER, T., BRAUN, L. und WEBER, M. (2004): Reconstruction of mass balance and runoff of Vernagtferner from 1895 to 1915. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 38(2) (2002), S. 165-178.
- ESCHER-VETTER, H. (1980): Der Strahlungshaushalt des Vernagtferners als Basis der Energiehaushaltsberechnung zur Bestimmung der Schmelzwasserproduktion eines Alpengletschers. Münchner Universitäts-Schriften, Fachbereich Physik, Universität München - Met. Inst. Wiss. Mitt. Nr. 39, 115 S.
- ESCHER-VETTER, H. (2000): Modelling meltwater production with a distributed energy balance method and runoff using a linear reservoir approach - results from Vernagtferner, Oetztal Alps, for the ablation seasons 1992 to 1995. *Zeitschr. f. Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 36, S.119-150.
- HOCK, R. und HOLMGREN, B. (2005): A distributed energy balance model for complex topography and its application to Storglaciären, Sweden. *Journal of Glaciology*, 51(172), S. 25-36.
- KUHN, M. (2000): Verification of a hydrometeorological model of glacierized basins, *Annals of Glaciology*, 31, S. 15-18.
- KUHN, M. (2003): Redistribution of snow and glacier mass balance from a hydrometeorological model, *J. Hydrol.*, 282, S. 95-103.
- OERLEMANS, J. (2001): *Glaciers and Climate Change*, A.A. Balkema Publishers, Lisse/Abingdon/ Exton/ Tokyo, ISBN 90 265 1813 7, 148S.
- ROHRER, M.B. (1992): Die Schneedecke im Schweizer Alpenraum und ihre Modellierung. Zürcher Geographische Schriften, Heft 49, ETH Zürich.
- SCHWARB, M., DALY, C., FREI, C. und SCHÄR, C. (2001): Mittlere jährliche Niederschlagshöhen im europäischen Alpenraum, 1971-1990“, *Hydrologischer Atlas der Schweiz*, Blatt 2.6, Karte 1:1 700 000, Bundesamt für Landestopografie, Bern.
- STRASSER, U. und MAUSER, W. (2006): Using a stochastic climate generator for simulating global warming effects on the water resources in a mountain basin.” In: *Geophysical Research Abstracts*, abstracts of the European Geosciences Union General Assembly 2006, Vienna, Austria.
- STRASSER, U., CORRIPIO, J., PELLICCIOTTI, F., BURLANDO, P., BROCK, B. und FUNK, M. (2004): Spatial and temporal variability of meteorological variables at Haut Glacier d'Arrolla (Switzerland) during the ablation season 2001: Measurements and simulations, *J. of Geophysical Research*, Vol. 51, Nr. 175, S. 573-587.

Mesoskalige Modellierung der Atmosphäre

Teilprojekt: Meteorologie
Leiter: Prof. Egger
Ausführende Stelle: Lehrstuhl für Theoretische Meteorologie,
Ludwig-Maximilians-Universität München
Theresienstr, 37, 80333 München
Verfasser: A. Pfeiffer, J. Egger

1. Organisation

1.1 Kurzbeschreibung des Teilprojekts

Die zentrale Aufgabe der Gruppe Meteorologie/MM5 in GLOWA-Danube ist das Bereitstellen und Betreiben des mesoskaligen Atmosphärenmodells MM5 und dessen Integration in das übergeordnete Modell DANUBIA. Die in der ersten Phase auf der programmtechnischen Ebene vollzogene interaktive Kopplung von MM5 mit dem *Landsurface*-Verbundobjekt von DANUBIA wird in der zweiten Phase entsprechend meteorologischen und hydrologischen Modellvorstellungen weitergeführt werden. Dazu gehört die in enger Kooperation mit der Gruppe Meteorologie/Beobachtungsdaten (Wirth) erfolgende Weiterentwicklung des Downscalings der auf einer Auflösung von 45km erstellten MM5-Ergebnisse auf die mit 1km aufgelöste Proxel-Struktur von DANUBIA. Im Kontext von DANUBIA werden unter Einbeziehung von MM5 Szenarien ausgehend von globalen Klimasimulationen (ECHAM5) gerechnet und analysiert. Die größte Herausforderung in der Atmosphärenmodellierung ist nach wie vor die Simulation von realitätsnahen Niederschlagsfeldern. Dieser Umstand hat in einem Projekt, das sich Wasser als zentrales Thema gesetzt hat, zweifelsohne eine ganz besondere Relevanz. Deshalb ist ein weiteres zentrales Ziel für die zweite Projektphase, Fernerkundungsdaten der Gruppe Niederschlag/Fernerkundung (Bendix) zum einen zur Verifikation und Qualitätssicherung mit simulierten Niederschlägen des MM5 zu vergleichen. Darüber hinaus sollen die durch Fernerkundung gewonnenen Daten auch direkt in MM5-Simulationen mit Verfahren der sogenannten Datenassimilation integriert werden. Dies soll zu verbesserten in sich konsistenten meteorologischen Datensätzen führen, deren Diagnose ein besseres Verständnis der relevanten Prozesse, z.B. auch der Wechselwirkung zwischen Niederschlag und Landoberfläche, erlaubt.

1.2 Personal

1.2.1 Wissenschaftler

Bewilligt sind für das Teilprojekt Meteorologie-Modellierung (Egger) Mittel für 1,5 Wissenschaftler-Stellen (BAT IIa) bis zum 28.02.2006. In Absprache mit der Projektkoordination und dem Projektträger wurde die mit Herrn Schipper besetzte Stelle, die ursprünglich für 3 Jahre mit BAT IIa/2 dotiert war, in eine ganze Stelle für den Zeitraum von 1,5 Jahren umgewandelt. Herr Schipper hat somit das Projekt zum 30.06.2005 verlassen und seine innerhalb des Teilprojekts Meteorologie erzielten Ergebnisse erfolgreich zum Abschluss seiner Promotion verwendet.

1.2.1 Wissenschaftliche Hilfskräfte

In der Gruppe Egger wird seit dem 1. Oktober 2005 eine wissenschaftliche Hilfskraft beschäftigt.

1.3 Anschaffungen

Im Berichtszeitraum wurden keine Anschaffungen getätigt.

1.4 Veranstaltungen

An den folgenden Veranstaltungen nahmen Vertreter des Teilprojekts Meteorologie/München teil.

1.4.1 GLOWA

- GLOWA-Danube, Projekt-Meeting, München, 8.03.2005, (Pfeiffer)
- GLOWA Statuskonferenz, Köln, 17.-19.05.2005, (Pfeiffer, Schipper)
- GLOWA-Danube, Projekt-Meeting, 12.07.2005, (Egger, Pfeiffer, Zängl)
- GLOWA-Danube Stakeholderworkshop, 18.10.2005, München, (Pfeiffer)
- GLOWA-Danube Stakeholderworkshop, 20.10.2005, München, (Pfeiffer)
- GLOWA-Danube, Klausurtagung, Linden, 30.11.– 3.12.2005, (Egger; Pfeiffer, Zängl)

1.4.1 Teilnahme an Konferenzen

- *European Geosciences Union. General Assembly 2005, 24.-29.04.2005:*
Schipper, J.W., Früh, B., Pfeiffer, A.: A fast statistical dynamical downscaling method applied to the Alpine region. (Vortrag)
Früh, B., Schipper, J.W., Pfeiffer, A., Wirth, V.: Downscaling precipitation in the upper Danube catchment for use in a distributed hydrological model. (Posterbeitrag)
Schipper, J.W., Pfeiffer, A.: Building a simulated and observed climatological time series for precipitation from a relatively short time period. (Posterbeitrag)
- *Sixth International SRNWP-Workshop on Non-Hydrostatic Modelling. Bad Orb, 31.10.-2.11.2005:*Schipper, J.W., Früh, B., Pfeiffer, A.: Wind direction dependent downscaling of precipitation in the Upper Danube Catchment.
- *Workshop am MPI für Meteorologie, Hamburg: Climate Scenarios for the Future and their Use for Impact Studies. 29.-30.09.2005.*

1.5 Veröffentlichungen

FRÜH, B., SCHIPPER, J.W., PFEIFFER, A., WIRTH, V. (2006): A pragmatic approach for downscaling precipitation in alpine scale complex terrain. Meteorol. Zeitschrift, akzeptiert.

SCHIPPER, J.W, FRÜH, B., PFEIFFER, A., ZÄNGL, G. (2006): A wind dependent downscaling method for precipitation fields (in Vorbereitung).

PFEIFFER, A., ZÄNGL, G. (2006): Simulating rainfall in mountainous terrain with MM5 - the role of physics parameterizations, (in Vorbereitung).

PFEIFFER, A. (2006): A modified fdda approach for improved rainfall simulations in MM5, (in Vorbereitung).

2. Ergebnisse

2.1 Integrative Arbeiten

2.1.1 AtmoMM5 in DANUBIA

Das Objekt AtmoMM5, d.h. die in JAVA gekapselte Verbindung aus MM5 [Grell, Dudhia] und dem in Zusammenarbeit mit der Gruppe Meteorologie/Mainz entwickelten *Downscalingalgorithmus* [FRÜH et al.], ist Teil des *Atmosphere*-Pakets von DANUBIA. Das *Atmosphere*-Paket wird von der Gruppe Niederschlag/Fernerkundung verwaltet; die Einbettung von AtmoMM5 in dieses Paket und seine über den *AtmosphereControler* verwalteten Schnittstellen sind im Bericht der Gruppe Bendix beschrieben (insbesondere auch die Darstellung mittels UML-Diagrammen). Arbeiten am *AtmoMM5*-Objekt im Berichtszeitraum umfassen eine weitere Verbesserung der Performance (z.B. durch Umwandlung komplexer zu primitiven Datentypen) und die Erweiterung der zu übergebenden Parameter entsprechend neu formulierter Anforderungen aus anderen Gruppen. Hierzu zählen die für die Gruppen Tourismus und Agrarökonomie neu bereitgestellten Schnittstellen und die hiermit erforderliche Berechnung für tägliche und monatliche Temperaturextrema, der Sonnenscheindauer und der minimalen Feuchttemperatur (Stichwort: Schneekanonen). Des weiteren noch die tägliche und monatliche Niederschlagssumme und die Niederschlagssumme zwischen 4:00 und 8:00 Uhr morgens (Stichwort: Erntewetter).

Weitere Arbeiten betreffen die Anpassung an die DANUBIA-Version 1.0.0, die insbesondere der Verbesserung der Stabilität bzw. der Fehlererkennung innerhalb des DANUBIA dienen und die Implementierung eines neuen *ResultDataProcessors* umfassen. Die an den Schnittstellen für andere Objekte bereitgestellten Exportdaten werden nun erheblich kritischeren Tests unterzogen und mit einem entsprechenden zulässigen Wertebereich gekennzeichnet, was als zusätzliche Information für die Datenabnehmer dienen soll. In der *one-way-Kopplung* von *AtmoMM5* an DANUBIA sind zwar praktisch keine unrealistischen Werte an den Exportschnittstellen von *AtmoMM5* zu erwarten; bei der Umstellung auf eine interaktive Kopplung ist jedoch durch das Aufschaukeln von Modellfehlern ein Überschreiten der zulässigen Grenzwerte nicht ohne weiteres auszuschließen, was wiederum durch ein mittlerweile überarbeitetes Logging der Schnittstellen besser nachvollziehbar sein wird.

Was derzeit noch aussteht, ist ein neuer Referenzlauf des DANUBIA mit AtmoMM5. Im letzten Lauf dieser Art hat sich eine unrealistische Schneedeckenakkumulation im hochalpinen Bereich gezeigt. Dies wurde zusammen mit der Gruppe Meteorologie/Mainz und insbesondere mit der betroffenen Gruppe Glaziologie intensiv analysiert. Als Ursache wurde ein - zumindest im hochalpinen Bereich - ungeeignetes *Downscaling* der Temperatur identifiziert, was mittlerweile durch ein entsprechendes *Redesign* des betreffenden Algorithmus korrigiert wurde. Punktuelle Tests der Kopplung zwischen AtmoMM5 und Snow an einigen typischen und vor allem auch kritischen (d.h. alpinen und hochalpinen) Proxeln haben mittlerweile deutlich realistischere Simulationsergebnisse hervorgebracht. Hier zeigte sich nicht zuletzt, dass gerade im hochalpinen Bereich, wo naturgemäß kaum Beobachtungsstationen vorhanden sind, die meteorologische Simulation mit AtmoMM5 den aus Stationsdaten interpolierten Feldern überlegen ist.

Bedauerlicherweise mussten die Anfragen von Seiten Meteorologie/München an die Gruppe Informatik bzw. die Projektkoordination zu einem neuen Referenzlauf des DANUBIA mit AtmoMM5 bisher negativ beschieden werden. Dies ist einerseits aus Sicht der GLOWA-Danube-Gruppen, die ihre Teilmodelle noch massiv weiterentwickeln, hierzu Testläufe des DANUBIA benötigen und auf möglichst wenige Veränderungen der Testbedingungen (und somit nicht zuletzt der meteorologischen Parameter) Wert legen, absolut verständlich. Spätestens jedoch, wenn echte Klimaszenarien unter Verwendung von AtmoMM5 gerechnet werden sollen, muss ein Referenzlauf des DANUBIA mit AtmoMM5 als Grundlage

vorliegen, was sicherlich auch entsprechende Anpassungen insbesondere derjenigen Teilmodelle erfordern wird, die auf eine Kalibrierung angewiesen sind.

3. Sektorale Arbeiten

In diesem Abschnitt sollen einige Arbeiten erläutert werden, die zunächst von sektoralem Interesse sind. Letztlich dienen jedoch auch diese Arbeiten einer weiteren Verbesserung und Qualitätssteigerung der in das DANUBIA eingespeisten meteorologischen Simulationsdaten.

3.1 Parametrisierungen im MM5

Seit dem ersten Einsatz des MM5 für GLOWA-Danube bzw. DANUBIA wurden neu überarbeitete bzw. ergänzte Versionen des MM5 freigegeben. Das gegenwärtige Stadium des Projekts GLOWA-Danube ließ es noch zu, diese Neuerungen im MM5 auf ihre Relevanz und eventuelle Verwendbarkeit für das Projekt zu testen. Insbesondere die in ihrer Bedeutung für ein Projekt mit einem Schwerpunkt auf der Hydrologie ganz besonders herausragende Niederschlagssimulation sollte auf ein weiteres Potential zur Verbesserung hin untersucht werden.

In der gemeinsamen Analyse mit den Gruppen Meteorologie/Mainz und Niederschlag/Fernerkundung/Marburg und in der Sichtung der bisher für GLOWA-Danube erstellten MM5-Klimatologien traten gewisse Defizite der mit MM5 simulierten Niederschläge zu Tage, die sich in den am Anfang von Phase I durchgeführten Tests zur Auswahl der geeigneten MM5-Konfiguration noch nicht erkennen ließen. So ist vor allem ein in den Ostalpen häufig zu stark ausgeprägtes Niederschlagsmaximum zu verzeichnen, das sich aus den Beobachtungen so nicht bestätigen lässt. Dieses tritt vor allem in den Sommermonaten auf, was einen Zusammenhang insbesondere mit der Konvektionsparametrisierung nahe legt. Des Weiteren ist auch die Formulierung der numerischen Diffusion im MM5 eine eventuelle Quelle von überhöhten Niederschlägen in stark orographisch gegliedertem Gelände. So trifft es sich gut, dass die aktuelle Version des MM5 eine neue Konvektionsparametrisierung bietet, die bisherige Defizite angeht und deutliche Verbesserungen erwarten lässt. Darüber hinaus ist die von einem Mitarbeiter des Lehrstuhls für Theoretische Meteorologie, Herrn Günther Zängl, entwickelte sogenannte z-Diffusion (ZÄNGL 2002) mittlerweile vollständig im MM5 implementiert. Das bisherige Standard-Diffusionschema im MM5 berechnet die numerische Diffusion für Temperatur und Feuchte entlang der geländefolgenden Sigma-Vertikalkoordinate des MM5. Dies kann insbesondere im gebirgigen Gelände zu substantiellen Fehlern, insbesondere für atmosphärische Größen mit starkem vertikalen Gradienten führen. Das neue Schema berechnet die Diffusion dagegen rein horizontal, d. h. entlang der geometrischen z-Koordinate. Ohne diese Anpassung kann es z.B. zu einem unrealistischen Transport von Feuchte aus den Tälern hin zu den Berggipfeln kommen, was hier wiederum zu entsprechenden unrealistischen Folgeerscheinungen wie überhöhten Niederschlagsraten führt.

In Abbildung 1 ist der Niederschlag für den Sommer 1997 (JJA) im Alpenraum dargestellt, wie er mit MM5 mit der bisher in DANUBIA verwendeten MM5-Konfiguration simuliert wird und in dem die Überschätzung des simulierten Niederschlags besonders deutlich zu Tage tritt. Diesem werden das entsprechende Bild für die neu verwendete Konfiguration und schließlich in Abbildung 2 die Felder aus den Beobachtungsdaten gegenübergestellt.

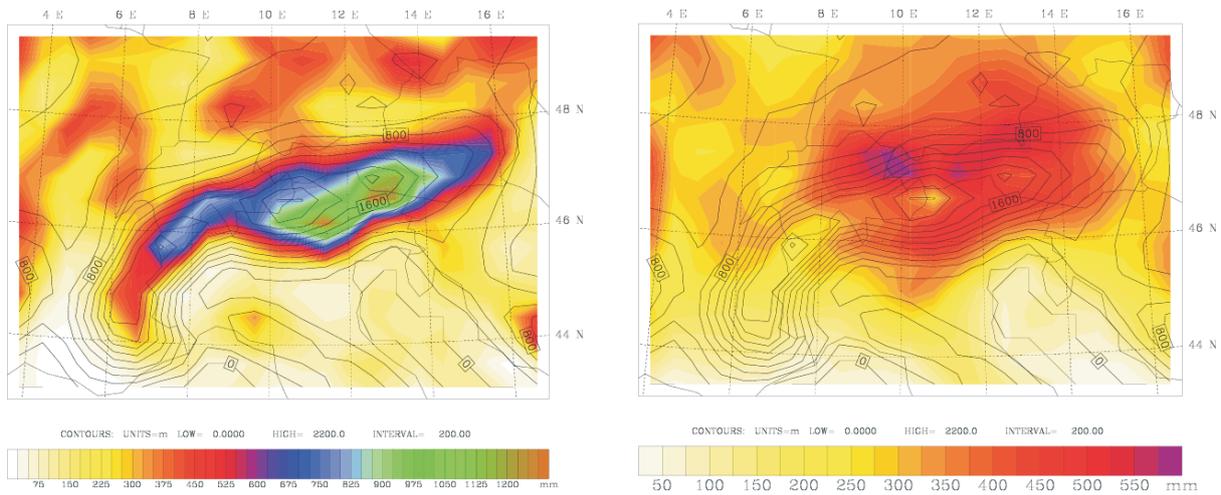


Abb. 1: Niederschlag im Sommer 1997 (JJA) simuliert mit MM5. Links: Betts-Miller-Konvektionsparametrisierung und sigma-Diffusion, rechts: Kain-Fritsch2-Konvektionsparametrisierung und z-Diffusion

Bereits auf den ersten Blick fällt auf, dass der Niederschlag mit den bisher zum Einsatz kommenden Parametrisierungen im Alpenmassiv deutlich überschätzt wird. Die neu gewählte Konfiguration hingegen zeigt eine ganz hervorragende Übereinstimmung mit den auf die Modellauflösung interpolierten Beobachtungsdaten. Tabelle 1 gibt den quantitativen Vergleich des Sommerniederschlags zwischen den Simulationen und den Werten von 855 Stationen wieder; - σ -diff steht hierbei für die bisherige Formulierung der numerischen Diffusion entlang der geländefolgenden vertikalen sigma-Koordinaten, während z-diff die neue, rein horizontale Diffusion kennzeichnet. BM-cupa und KF2-cupa bezeichnen die Betts-Miller- (Betts, Miller) bzw. die Kain-Fritsch2-Konvektionsparametrisierung (Kain, Fritsch) der aktuellen MM5-Version.

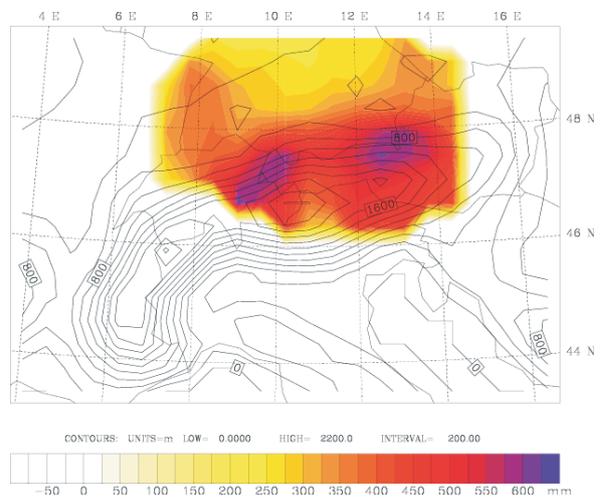


Abb. 2: Interpolierte Beobachtungsdaten für Sommer 1997

Tab. 1: Vergleich von beobachtetem (Anzahl der Stationen: 855) und simuliertem Niederschlag im Sommer 1997 für verschiedene Konfigurationen des MM5 (- σ -diff: numerische Diffusion entlang geländefolgender Sigma-Koordinaten, z-diff: horizontale Diffusion, BM- und KF2-cupa: Betts-Miller- bzw. Kain-Fritsch2-Konvektionsparametrisierung).

$$RAE: \frac{1}{N} \sum_i \frac{(\chi_{obs,i} - \chi_{sim,i})^2}{0.5 \cdot (\chi_{obs,i} + \chi_{sim,i})}$$

Stations: 855	Obs [mm]	Sim [mm]	Corr	RAE [mm]
BM-cupa, σ -diff	388	469	0.35	96
BM-cupa, z-diff	388	468	0.61	55
KF2-cupa, σ -diff	388	454	0.53	54
KF2-cupa, z-diff	388	442	0.82	31

Es zeigt sich zunächst, dass sich die Niederschlagssummen im Untersuchungsgebiet relativ wenig unterscheiden. Dies erklärt sich dadurch, dass im Fall des stark überschätzten Niederschlagsmaximums über den Alpen ein vergleichsweise geringer Niederschlag im Alpenvorland zu verzeichnen ist. Ein Blick auf die räumliche Korrelation und das Fehlermaß (RAE) belegt jedoch die deutliche Überlegenheit der neuen Parametrisierungen, so wie es sich schon in Abbildung 1 abzeichnet.

Des weiteren lässt sich Tabelle 1 entnehmen, dass sowohl der Wechsel von sigma-Diffusion zur z-Diffusion als auch der Austausch der Konvektionsparametrisierung jeweils einen bedeutenden Anteil an der Verbesserung der Simulation mit sich bringt. Insbesondere der offensichtlich große Einfluss der Umstellung auf z-Diffusion ist ein durchaus überraschendes Ergebnis, da ein derartig eindeutiger Effekt für die noch nicht sonderlich hohe Auflösung von 45km, bei der die Neigung der sigma-Flächen über der Orographie noch nicht stark ausgeprägt ist, nicht unbedingt zu erwarten war.

Der hier zugrunde liegende Mechanismus ist in einer deutlich zu hohen Feuchtekonvergenz über den Gipfeln der Modellorographie zu sehen, die von der Berechnung der numerischen Diffusion entlang der geländefolgenden Vertikalkoordinate herrührt. Dies führt dazu, dass sowohl das explizite Feuchteschema des Modells als auch die Konvektionsparametrisierung über den Berggipfeln deutlich zu hohe Niederschlagsraten produziert.

Der Vorteil der Kain-Fritsch2- gegenüber der Betts-Miller-Parametrisierung ist in der Implementierung fein abgestimmter Triggerfunktionen zu sehen, die das Auslösen von Konvektion im Modell steuern. Eine genauere Analyse hierzu ist gerade in Arbeit.

Abbildung 3 verdeutlicht speziell die Bedeutung der Sigma- vs. z-Diffusion für eine mit $\Delta x = 5\text{km}$ recht hoch aufgelöste Simulation. Während im Falle der Sigma-Diffusion Niederschlag im wesentlichen auf die Berggipfel konzentriert ist und somit ein völlig unrealistisches Niederschlagsmuster erzeugt, können sich bei Verwendung der z-Diffusion deutlich realistischere Muster der Niederschlagsverteilung herausbilden. Dennoch muss konstatiert werden, dass auch hier noch keine völlig zufriedenstellende Wiedergabe der beobachteten Niederschlagsverteilung zwischen Berg und Tal erreicht werden kann. Hier ist immer noch die Kombination aus dem Einsatz von MM5 bei einer gröberen Auflösung und der Verwendung des *Downscalingalgorithmus* weit überlegen. Ohnehin ist es für die Zwecke des GLOWA-Danube-Projektes mit den hier geplanten langen Zeitreihen regionaler Klimasimulationen wenig zweckmäßig auf eine höhere Auflösung des MM5 zu wechseln, da dies einen unrealistisch hohen Bedarf an Rechenzeit mit sich bringen würde. Zur Simulation einzelner Episoden mag die Verwendung einer hohen Auflösung jedoch durchaus aufschlussreiche Ergebnisse mit sich bringen.

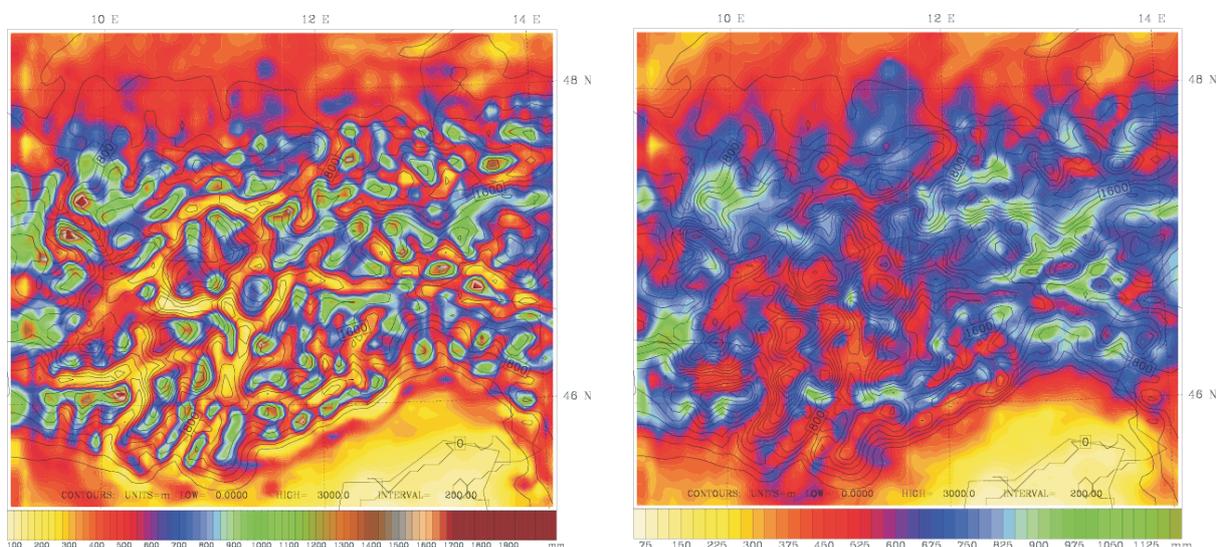


Abb. 3: Niederschlag im Sommer 1997 (JJA) simuliert mit MM5. Links: Kain-Fritsch2-Konvektionsparametrisierung und sigma-Diffusion, rechts: Kain-Fritsch2-Konvektionsparametrisierung und z-Diffusion

Die neuen Parametrisierungen werden in Zukunft für neu durchzuführende MM5-Simulationen im Projekt GLOWA-Danube standardmäßig zum Einsatz kommen; in Kürze wird somit auch eine neue MM5-Klimatologie über die Jahre 1991-2000 gerechnet werden, die unter anderem als Grundlage zur Neu-Berechnung der Skalierungsfunktionen dienen und die bisherige Klimatologie ablösen wird.

Eine entsprechende Veröffentlichung (Pfeiffer, Zängl) dieser Ergebnisse ist in Vorbereitung und soll im Verlauf des Jahres 2006 beim Monthly Weather Review eingereicht werden.

3.2 Parallelisierung von MM5(danubia)

Das Standard-MM5 ist unter der Verwendung der MPI-Programmbibliothek und einer weiteren speziellen Parallelisierungsbibliothek weitestgehend, d.h. mit Ausnahme einiger weniger Programmoptionen, auch auf parallelen Rechnerarchitekturen lauffähig. Die bisher im Rahmen von GLOWA-Danube durchgeführten umfangreichen Modifikationen und Ergänzungen wurden mittlerweile auch an die Parallelversion des MM5 angepasst. Dies erforderte ein tiefes Eindringen in die komplexe Architektur der Parallelisierungsbibliothek des MM5 und brachte auch geringfügige Änderungen des bisherigen Ausgabeformats der zu in das DANUBIA zu koppeln Variablen mit sich. Ferner wurde auch die Möglichkeit zum interaktiven Koppeln der Parallelversion des MM5 an das hydrologische Modell der Gruppe Mauser (PROMET) im Kontext von DANUBIA-light geschaffen.

3.3 Szenarienrechnungen zum globalen Klimawandel

In der ersten Phase von GLOWA-Danube war Stand der Planung, Szenarien-Läufe in der Art von *timeslice*-Simulationen durchzuführen, die einen vergleichsweise kurzen Zeitraum in der Zukunft (z.B. 2025-2030) umfassen und mit einem entsprechenden Gegenwarts-klima verglichen werden sollten. Mittlerweile sind die Ziele des Projektes wesentlich ambitionierter; es sollen nun regionale Klimasimulationen beginnend in der Gegenwart kontinuierlich in die Zukunft gerechnet werden. Konkret soll so ein Zeitraum von 2001 bis 2050 und sogar bis in das Jahr 2100 abgedeckt werden. Dies dient auch dazu, die zu erwartende kontinuierliche Veränderung des Gesamtsystems im Modell DANUBIA abbilden und analysieren zu können.

Vor diesem Hintergrund wird eine Verfeinerung der horizontalen Auflösung des MM5 von 45km auf 15km, wie sie zwischenzeitlich in Erwägung gezogen und für *timeslice*-Simulationen als machbar angesehen wurde, hintangestellt, da der bei höheren Auflösungen zu erwartende Aufwand an Rechenzeit für derart lange Zeitreihen in keinem vernünftigen Verhältnis zum zusätzlichen Informationsgewinn steht und man sich sonst evtl. der Möglichkeit, mehrere Szenarienexperimente dieser Art durchzuführen, beraubt. Wir gehen davon aus, dass die Kombination von MM5 und unserem hochentwickelten *Downscalingsverfahren* bereits die Bereitstellung hochwertiger Simulationsdaten auf der geforderten Auflösung von 1x1km² der Proxelstruktur des DANUBIA gewährleistet.

Da mittlerweile die für den IPCC Assessment Report No 4 mit dem Modell ECHAM5 durchgeführten globalen Klimasimulationen verfügbar sind, werden die bereits früher von unserer Gruppe besorgten und teilweise schon für regionale Klimasimulationen eingesetzten Daten des Vorgängermodells ECHAM4 nicht weiter verwendet.

ECHAM4 basierte noch auf einem künstlichen Kalender, in dem jedes einzelne Jahr aus 12 Monaten à 30 Tagen bestand, was entsprechende Anpassungen des MM5-Systems erforderte und auch in den diversen Teilmodellen des DANUBIA hätte berücksichtigt werden müssen. ECHAM5 wurde demgegenüber auf den tatsächlichen Kalender umgestellt und erleichtert somit wesentlich die Verwendung seiner Simulationsdaten.

Mittlerweile wurden ECHAM5-Daten für den Zeitraum 2001-2070 besorgt und zum Betreiben des MM5 aufbereitet. Das in GLOWA-Danube eingesetzte MM5-System, also auch

die MM5-Präprozessoren, wurden für die Verwendung dieser Daten angepasst. Insgesamt werden die ECHAM5-Daten bis einschließlich des Jahres 2100 beschafft. Konkret handelt es sich um Daten zum IPCC-Szenario A1B, also einem gemäßigten aber dennoch von starkem CO₂- und globalem Temperaturanstieg gekennzeichneten Szenario (Abb. 4); diese Auswahl basiert auf einem im Projekt GLOWA-Danube gemeinsam gefassten Beschluss.

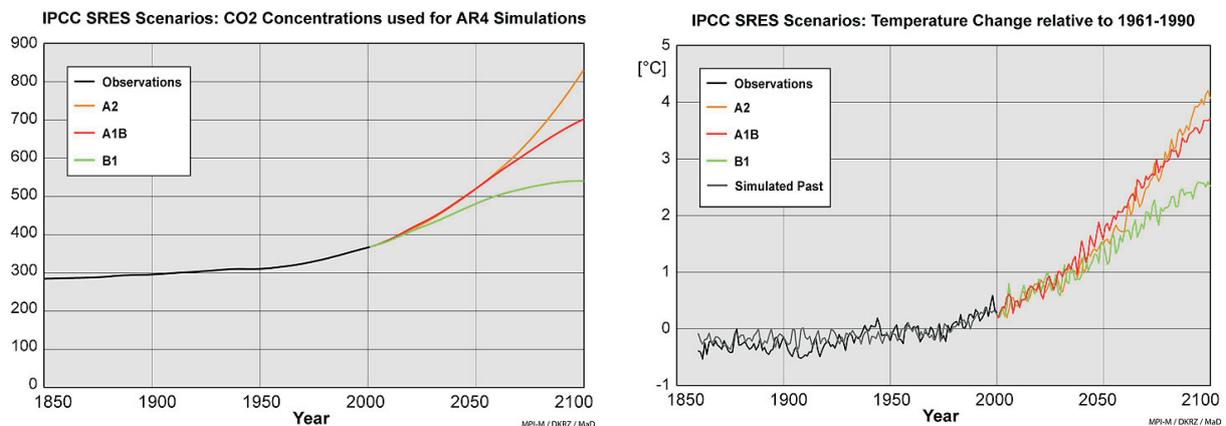


Abb. 4: Globaler CO₂-Anstieg und globales Temperatursignal in ECHAM5 basierend auf IPCC-Szenarien

3.4 Kopplung Landsurface - MM5

Im Berichtszeitraum wurden die Arbeiten zur interaktiven Kopplung zwischen MM5 und dem hydrologischen Modell PROMET [Mauser, Schädlich] weiter vorangetrieben. Dies umfasst zum einen primär technische Fragen, wie sie unter Punkt 3.2 skizziert wurden. Zum anderen wurden aber auch weitere grundsätzliche Untersuchungen des gekoppelten Systems Atmosphäre-Boden durchgeführt. Da Simulationen des Systems MM5/PROMET noch ausstehen, wurden diese grundlegenden Fragen zunächst anhand der Kopplung des MM5-eigenen Landoberflächenmodells mit dem Atmosphärenteil des MM5 angegangen. Hierzu wurde eine Schnittstellenstruktur geschaffen, die es ermöglicht den Standard-Boden des MM5 durch PROMET zu ersetzen. Durch gezielte Manipulationen an dieser Schnittstelle wurden grundsätzliche Fragestellungen, wie sie in interaktiv gekoppelten MM5-PROMET-Simulationen relevant werden, bereits vorab untersucht.

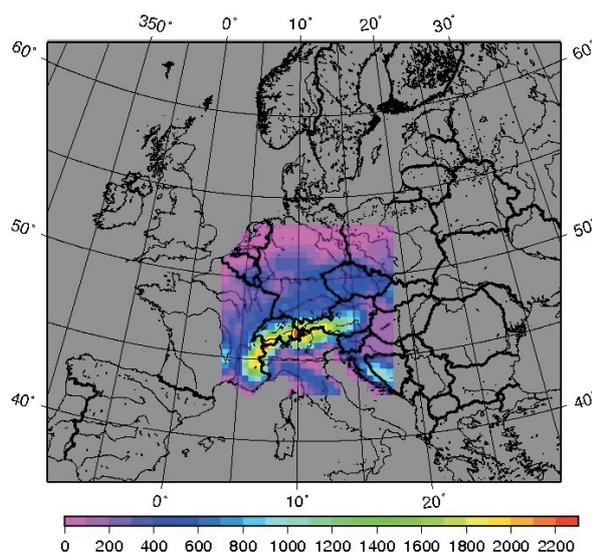


Abb. 5: Simulationsgebiet von MM5 und Gebiet der interaktiven Kopplung mit PROMET (farbig unterlegt); der Farbcode steht für die Höhe der Modellorographie des MM5 (horizontale Auflösung: 45km)

Abbildung 5 zeigt das Simulationsgebiet von MM5 und, farbig unterlegt, den Bereich, in dem PROMET interaktiv an die Atmosphäre angekoppelt wird. Dieser Bereich ist deutlich größer gewählt als das eigentliche Untersuchungsgebiet von GLOWA-Danube; dies ist notwendig, da eine Kopplung nur auf dem vergleichsweise kleinen Einzugsgebiet der oberen Donau einen nur kaum merklichen Einfluss auf die Simulation der Atmosphäre ausüben würde. Außerhalb des farbig markierten Bereiches werden die Verhältnisse im Boden von der betreffenden MM5-Routine behandelt. Grundsätzlich wäre natürlich wünschenswert, den gesamten Simulationsbereich durch PROMET abzudecken; es ist jedoch nur schwer möglich, sämtliche für PROMET benötigten Daten der Boden- und Vegetationsbeschaffenheit für dieses große Gebiet zu besorgen. Vielmehr waren schon außerordentliche Anstrengungen der Gruppe Mau-

ser nötig, um für den nun vereinbarten Bereich alle Daten in ausreichender Qualität zu beschaffen. Für den avisierten Zweck, d.h. eine qualitativ hochwertige Simulation in Bezug auf das Einzugsgebiet der oberen Donau, erscheint das jetzige Kopplungsgebiet auch völlig ausreichend.

In einer ersten Stufe der interaktiven Kopplung sollen MM5 und PROMET auf der gleichen horizontalen Auflösung (45km oder evtl. 15km) betrieben werden. Dies soll auftretende Probleme in der Anpassung der Modelle aufeinander minimieren bzw. deren Analyse deutlich vereinfachen, indem Effekte des up- bzw. *down-scalings* und der Einfluss (auflösungsbedingt) unterschiedlicher Geländehöhen der Modelle zunächst außen vor gelassen werden. Zweifelsohne wird in der Endausbaustufe des interaktiv gekoppelten Systems das PROMET auf einer Auflösung von 1km rechnen, da erst hier seine Kompetenz in der hydrologischen Modellierung voll zum tragen kommt.

Abbildung 6 zeigt Ergebnisse einer Vorabstudie zum Kopplungszeitschritt. Einer Kontrollsimulation, die den MM5-Boden mit jedem Zeitschritt der MM5-Simulation an die Atmosphäre koppelt (d.h. 130 Sekunden), ist ein Experiment, bei dem die Simulationsergebnisse des Bodens nur alle 10 bzw. 60 Minuten an die Atmosphäre weitergegeben werden, gegenübergestellt. In dem Experiment 60min zeigen sich deutliche Abweichungen in bodennaher Temperatur und Feuchte zum Kontrolllauf *cntrl*; im Experiment 10min fallen diese Unterschiede deutlich moderater aus. Dies belegt, dass der ursprünglich für das Gesamtsystem DANUBIA vorgesehene Kopplungszeitschritt von 60 Minuten im Falle der Wechselwirkung zwischen Boden und Atmosphäre keineswegs ausreichend ist.

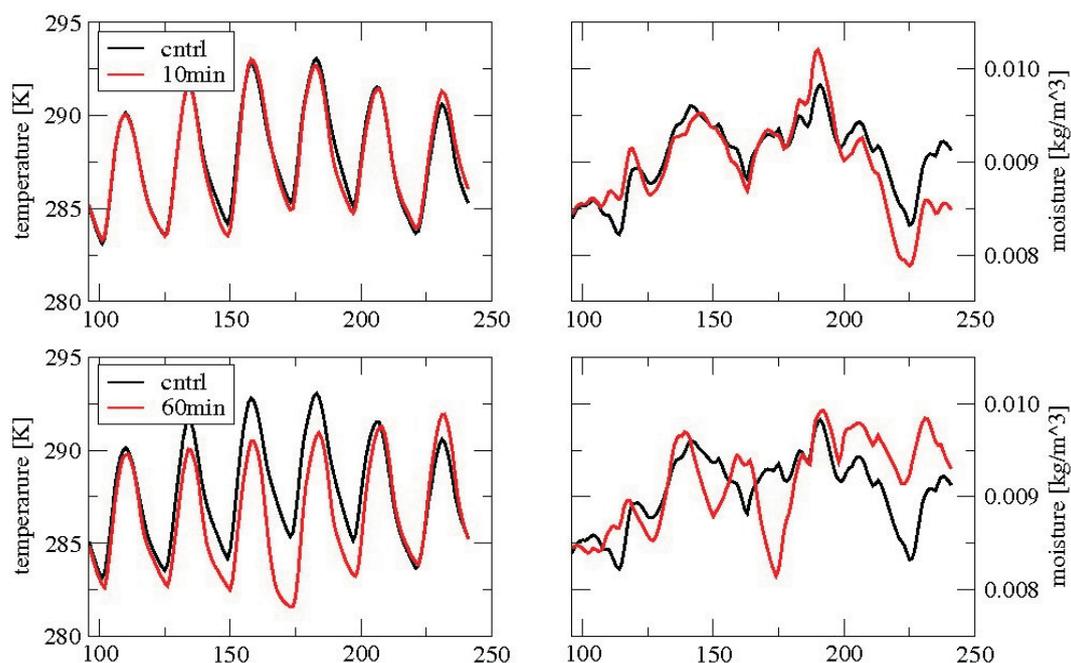


Abb. 6: Bodennahe Temperatur (jeweils links) und Feuchte (rechts) für einen Kontrolllauf (*cntrl*) und zwei Experimente mit unterschiedlichem Kopplungszeitschritt (10min und 60min). Auf der Abszisse ist jeweils die Zeit in Stunden abgetragen

Weitere Studien der interaktiven Kopplung widmen sich den Anforderungen an die Qualität der vom Boden in das MM5 eingespeisten Flüsse von latenter und fühlbarer Wärme. Abbildung 7 stellt hierzu das Verhalten verschiedener bodennaher atmosphärischer Variablen in Abhängigkeit von systematisch modifizierten Bodenflüssen dar. Die in die Atmosphäre eingekoppelten Bodenflüsse wurden hier dergestalt verändert, dass zwar die Summe beider Wärmeflüsse konstant gehalten wurde, während der Feuchtefluss künstlich um 20 Prozent erhöht oder vermindert wurde, was folglich eine entsprechende Anpassung des Flusses fühlbarer Wärme bedeutete. Anders formuliert: der Gesamtenergiefluss pro Kopplungszeitschritt vom Boden blieb in den Experimenten unverändert, jedoch wurde das Bowenver-

hältnis modifiziert. Dies spiegelt in etwa die Situation im ursprünglichen PROMET wieder, wo der Fluss fühlbarer Wärme als Residuum der Energiebilanz bestimmt wurde. Es zeigt sich, dass im Verlauf der Simulation deutliche Abweichungen der bodennahen atmosphärischen Größen zu verzeichnen sind. Auf eine möglichst exakte Simulation nicht nur des gesamten Energiestromes vom Boden in die Atmosphäre, sondern auch des korrekten Bowenverhältnisses kann also nicht verzichtet werden. Diesem Umstand wird durch die Implementierung einer expliziten Prognose der Bodentemperatur und damit des fühlbaren Wärmeflusses im PROMET Rechnung getragen werden.

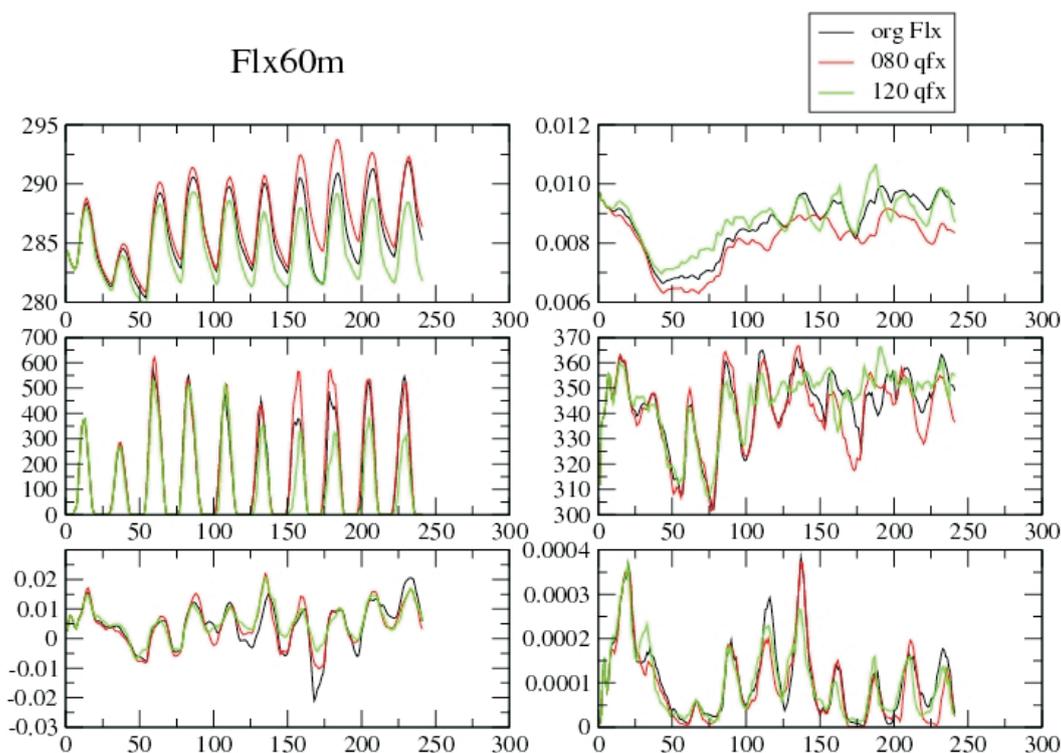


Abb. 7: Bodennahe atmosphärische Variablen eines MM5-Kontrolllaufs (orgFlx) und eines Laufs mit um 20 Prozent reduziertem Fluss latenter Wärme (080qfx) bzw. erhöhtem Wärmefluss (120qfx). (oben: links: Temperatur [K], rechts: Feuchte [g/kg]; mitte: links: kurzwellige Einstrahlung [W/m²], rechts: langwellige Einstrahlung [W/m²]; unten: links: Vertikalgeschwindigkeit [m/s], rechts: Niederschlagsrate [kg/m²s]; x-Achse: jeweils Zeit in Stunden)

3.5 Assimilation von Satellitendaten

Zur Assimilation von Satellitendaten in die mesoskalige Modellierung wurden von der Gruppe Niederschlag/Fernerkundung Vorstudien im Rahmen einer Diplomarbeit durchgeführt, die das Potential dieser Vorgehensweise belegen. Aufgrund des umfangreichen Arbeitspaketes im Teilprojekt Meteorologie/Modellierung mussten Arbeiten zu diesem Themenkreis bedauerlicherweise zunächst hintangestellt werden.

3.6 Windabhängiges Downscaling

Die Arbeiten und Untersuchungen zum windabhängigen *Downscaling* sind praktisch abgeschlossen und werden in der Dissertation von Herrn Hans Schipper (SCHIPPER 2005) detailliert beschrieben. Zielsetzung bei der Entwicklung dieses modifizierten *Downscaling* verfahrens war es, auch für ein verändertes Klima mit eventuell veränderten großskaligen Strömungsmustern ein valides Verfahren zum skalieren der Ausgabefelder des MM5 auf die hohe Auflösung des DANUBIA bereitstellen zu können.

4. Evaluierung, Verifikation

In enger Zusammenarbeit mit den Gruppen Meteorologie/Mainz und Niederschlag/Fernerkundung in Marburg werden kontinuierlich Simulationsergebnisse der meteorologischen Objekte des DANUBIA evaluiert und verifiziert (siehe auch die Berichte der betreffenden Gruppen).

Darüber hinaus konnten aus der interdisziplinären Zusammenarbeit mit der Gruppe Glaziologie Defizite im Temperaturdownscaling identifiziert werden, was zu einem mittlerweile deutlich verbesserten Algorithmus geführt hat (siehe Poster der Statuskonferenz 2005).

Unabhängig hiervon werden auch von der Gruppe Meteorologie/Modellierung in München die Simulationen von (Atmo-)MM5 stets kritisch geprüft und auf ihre Verbesserungspotentiale hin untersucht; einen substantiellen Fortschritt in der Niederschlagssimulation konnte hierbei mit den unter 3.1 erläuterten Untersuchungen und Maßnahmen erzielt werden.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Das DANUBIA-Objekt AtmoMM5 wurde den neuen bzw. erweiterten Anforderungen des Projekts gemäß angepasst, weiterentwickelt und optimiert. Das aufgrund von Defiziten im alpinen Bereich, die in Kooperation mit der Gruppe Glaziologie analysiert wurden, korrigierte Downscaling der bodennahen Temperatur ist einsatzbereit. Ein neuer Referenzlauf des DANUBIA unter Einsatz des AtmoMM5 sollte noch in Phase II des Projekts GLOWA-Danube durchgeführt werden können; seitens der Gruppe Meteorologie/Modellierung steht dem nichts entgegen.

Neu verfügbare Parametrisierungen des MM5 wurden für den Einsatz in DANUBIA getestet und haben sich als äußerst vorteilhaft im Sinne einer weiter verbesserten Niederschlags-simulation im Alpenraum erwiesen. Diese neuen Parametrisierungen ermöglichen auch deutlich realistischere hochaufgelöste Simulationen mit MM5 in stark orographisch gegliedertem Gelände. Eine neue zehnjährige MM5-Basisklimatologie wird noch in Phase II erstellt werden.

Die Parallelisierung des für GLOWA-Danube modifizierten MM5 für Rechnercluster ist praktisch abgeschlossen.

Das Modellsystem des MM5 (d.h. das MM5 einschließlich seiner Präprozessoren) wurde für die Verarbeitung der neu verfügbaren ECHAM5-Simulationen angepasst. ECHAM5-Daten des IPCC-Szenarios A1B sind für den Zeitraum 2001-2070 beschafft und werden in Kürze bis zum Jahr 2100 komplettiert; dieses globale Szenario wird somit die Grundlage für regionale Szenarien des Klimawandels im Projekt GLOWA-Danube darstellen. Es ist geplant, noch in Phase II zumindest für die Jahre 2001-2050 eine regionale, auf ECHAM5 basierende MM5-Klimatologie zu rechnen.

Die Arbeiten zur interaktiven Kopplung zwischen MM5 und dem hydrologischen Modell PROMET im Kontext von DANUBIA-light wurden weiter vorangetrieben. Vorab-Untersuchungen belegen die Bedeutung eines ausreichend kleinen Kopplungszeitschritts und einer sorgfältigen Temperaturbestimmung an der Landoberfläche. Die interaktive Kopplung kann - was das modifizierte MM5 betrifft - mittlerweile auch auf parallelen Rechnerarchitekturen stattfinden. Im weiteren Verlauf der Kopplungsarbeiten wird auch eine bessere Berücksichtigung der atmosphärischen Schichtung (stabil, neutral, labil) in der Berechnung der Flüsse vom Boden erfolgen müssen.

Zur Assimilation von Satellitendaten in ein meteorologisches Modell wurden durchaus ermutigende Vorstudien in der Gruppe Niederschlag/Fernerkundung durchgeführt.

Die Evaluierung und Verifikation der AtmoMM5-Ergebnisse wurde und wird kontinuierlich in enger Kooperation mit den Gruppen Meteorologie/Mainz und Niederschlag-Fernerkundung/Marburg fortgeführt. Defizite konnten so identifiziert und im Rahmen des Möglichen weitgehend korrigiert werden.

6. Literatur

- BETTS, A.K. (1986): A new convective adjustment scheme. Part I: Observational and theoretical basis. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 112, S. 677-692.
- BETTS, A.K., und MILLER, M.J. (1986): A new convective adjustment scheme. Part II: Single column tests using GATE wave, BOMEX, ATEX and Arctic air-mass data sets. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 112, S. 693-709.
- BETTS, A.K., und MILLER, M.J. (1993) The Betts-Miller scheme. The representation of cumulus convection in numerical models, K.A. Emanuel und Raymond, D.J. (Eds.), *Amer. Meteor. Soc.*, 246 S.
- DUDHIA, J. (1993): A nonhydrostatic version of the Penn State/NCAR mesoscale model: Validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front. *Mon. Wea. Rev.*, 121, S. 1493-1513.
- FREI C. und SCHÄR, C. (1998): A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain-gauge observations, *Int. J. Climatol.*, 18, S. 873-900.
- FRÜH, B., SCHIPPER, J.W., PFEIFFER, A. und WIRTH, V. (2006): A pragmatic approach for downscaling precipitation in alpine scale complex terrain, *Meteorol. Zeitschrift*, akzeptiert.
- GRELL, G.A., DUDHIA, J. und STAUFFER, D.R. (1994): A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). NCAR/TN-398+STR (1994), 138 S.
- KAIN, J.S. und Fritsch, J.M. (1993): Convective parameterization for mesoscale models: The Kain-Fritsch scheme. The representation of cumulus convection in numerical models, EMANUEL, K.A. und RAYMOND, D.J. (Eds.), *Amer. Meteor. Soc.*, 246 S.
- KAIN, J.S. (2002): The Kain-Fritsch convective parameterization: An update. *J. Appl. Meteor.*, 43, S. 170-181.
- MAUSER, W., SCHÄDLICH, S. (1998): Modelling the spatial distribution of evapotranspiration on different scales using remote sensing data, *J. of Hydrology*, S. 212-213 und 250-267.
- SCHIPPER, J.W. (2005): Downscaling of Precipitation in the Upper Danube Catchment Area, Dissertation, LMU München: Fakultät für Physik.
- SCHWARB, M., DALY, C., FREI, C. und SCHÄR, C. (2001): Mean annual and seasonal precipitation in the European Alps 1971-1990. Hydrological Atlas of Switzerland. Plates 2.6 and 2.7, Federal Office for Water and Geology, Bern, Switzerland.
- ZÄNGL, G. (2002): An Improved Method for Computing Horizontal Diffusion in a Sigma-Coordinate Model and Its Application to Simulations over Mountainous Topography. *Mon. Wea. Rev.*, 130, S. 1423-1432.

Wechselwirkung zwischen Niederschlag und Landoberfläche

Teilprojekt: Meteorologie
Leiter: Prof. Wirth
Ausführende Stelle: Institut für Physik der Atmosphäre,
Johannes Gutenberg Universität Mainz, Becherweg 21, 55099 Mainz
Verfasser: B. Früh, V. Wirth

1. Organisation

1.1 Kurzbeschreibung des Teilprojektes

Prozesse der Wechselwirkung zwischen Atmosphäre und Landoberfläche sind für das regionale Klima von großer Bedeutung und spielen deswegen in GLOWA-Danube eine zentrale Rolle. Gleichwohl sind diese Wechselwirkungsprozesse bis heute nur unzureichend erforscht, was ein bedeutender Limitierungsfaktor für die Qualität ihrer Modellierung, die Vorhersage des regionalen Klimas und speziell des damit verbundenen hydrologischen Zyklus darstellt. Das vorliegende Projekt befasst sich sowohl mit der Beschaffung, als auch der kritischen wissenschaftlichen Aufbereitung und Analyse hydrometeorologischer Messdaten, welche für die oben genannten Wechselwirkungsprozesse von Bedeutung sind. Dies ist im Rahmen eines Projektverbundes wie GLOWA-Danube unabdingbar, da hier zahlreiche Module zu einem hochkomplexen Modellsystem verknüpft werden und nur durch eine ständige Qualitätskontrolle während der Entwicklungsphase gewährleistet werden kann, dass das Modellsystem am Ende die wesentlichen Prozesse richtig beschreibt.

1.2 Personal

1.2.1 Wissenschaftler

Bewilligt sind für das Teilprojekt Meteorologie-Datenanalyse (Wirth) Mittel für eine ganze Wissenschaftler-Stellen (BAT IIa) befristet zum 31. Oktober 2006.

1.2.2 Wissenschaftliche Hilfskräfte

In der Gruppe Wirth wurde eine wissenschaftliche Hilfskraft mit einer wöchentlichen Arbeitszeit von 4 Stunden für 3 Monate eingestellt.

1.3 Anschaffungen

Im Berichtszeitraum wurden keine Anschaffungen getätigt.

1.4 Veranstaltungen

1.4.1 GLOWA (intern)

- GLOWA-Danube, Projekt-Meeting, München, 8. April 2005
- GLOWA Statuskonferenz (2 Personen), Köln, 17.-19. Mai 2004
- GLOWA-Danube, Klausurtagung (2 Personen), Linden, 30. November-3. Dezember 2005.

Des Weiteren fand intensiver bilateraler Austausch mit verschiedenen Teilprojekten statt.

1.4.2 Teilnahme an Konferenzen

- *European Geophysical Society Annual Meeting 24.-29.4.2005* in Wien mit dem Posterbeitrag "Früh, Schipper, Pfeiffer, und Wirth, 2005: Downscaling precipitation in the upper Danube catchment for use in a distributed hydrological model (Gruppe Wirth).

1.5 Veröffentlichungen

FRÜH, B., SCHIPPER, J.W., PFEIFFER, A. und WIRTH, V. (2006): A pragmatic approach for downscaling precipitation in alpine scale complex terrain, *Meteorol. Zeitschrift*, akzeptiert.

FRÜH, B. und WIRTH, V. (2006): Convective available potential energy (CAPE) in mixed phase cloud conditions, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, eingereicht.

SCHIPPER, J.W., PFEIFFER, A. und ZÄNGL, G. (2006): A wind-direction dependent downscaling method for precipitation fields, in Vorbereitung.

FRÜH, B., BENDIX, J., LUDWIG, R., MAUSER, W., NAUSS, T., PFEIFFER, A., SCHIPPER, J.W. und THIES, B. (2006): Comparing ground-based measurements, remote-sensing observations and simulated precipitation for the use in a decision support system for mesoscale catchments, in Vorbereitung.

2. Ergebnisse

2.1 Formulierte Ziele

2.1.1 Integrative Zielsetzung

Die Entwicklung des GLOWA-Danube Modellsystems DANUBIA soll mit hydrometeorologischer Expertise begleitet werden, um durch permanente datenbasierte Qualitätskontrolle auf verschiedenen Ebenen zu gewährleisten, dass das Modellsystem am Ende die Wirklichkeit in befriedigender Näherung nachbildet. Denn erst durch eine auf Messdaten gestützte Evaluation der Ergebnisse von DANUBIA werden Interpretationen zukünftiger Szenarien belastbar. Die Qualitätssicherung der Simulationsergebnisse von DANUBIA dient auch als vorbereitende Maßnahme für die Einbeziehung der Stakeholder, da das evaluierte Modellsystem das Vertrauen in die Vorhersagen des *Global Change Decision Support Systems* deutlich steigert und dessen Möglichkeiten offen legt (vgl. Präambel).

2.1.2 Sektorale Zielsetzung

Es ist unser Ziel, die Mechanismen und Prozesse der Wechselwirkung zwischen Niederschlag und Landoberfläche besser zu verstehen und ihren Einfluss auf die Hydrologie des Donauraums im gegenwärtigen und einem möglicherweise veränderten zukünftigen Klimaregime abzuschätzen. Im Vordergrund steht dabei die Wechselwirkung zwischen Bodenfeuchte und konvektivem Niederschlag während der Sommermonate, welche derzeit noch nicht gut verstanden ist. Dies ist vermutlich ein Hauptgrund dafür, dass regionale Klimamodelle erhebliche Defizite bei der Modellierung von Niederschlag aufweisen. Die Aufklärung der relevanten Mechanismen und Prozesse sollte zu einer Verbesserung der Niederschlagsmodellierung führen, was seinerseits eine unabdingbare Voraussetzung für eine quantitative Modellierung hydrologischer Größen in einem gekoppelten Boden-Atmosphäre-Modell ist.

Unsere Ergebnisse sollen speziell dazu genutzt werden, ein vertieftes Verständnis der natürlichen Variabilität des Wasserkreislaufs und der ihn kontrollierenden Parameter zu erlangen. Ferner sollen Aussagen dazu abgeleitet werden, wie sich eine mögliche Änderung des globalen Klimas auf das regionale Klima auswirkt.

2.2 Sektorale Arbeiten

2.2.1 Beschaffung von Messungen der Bodenfeuchte

Tabelle 1 enthält die bereits bezogenen Messreihen der Bodenfeuchte zusammen mit der jeweiligen Bezugsquelle, der geographischen Position und Höhe der Messstation, dem verfügbaren Zeitraum und der zeitlichen Auflösung der Messungen.

Tab. 1: Momentan verfügbare Messstationen der Hessischen Landesanstalt für Umwelt (HLUG), des Deutschen Wetterdienstes (DWD), dem Bayerischen Geologischen Landesamt (BayGLA) und dem Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft (BayLfW). Die beiden Bayerischen Ämter dieser Liste sind inzwischen im Bayerischen Landesamt für Umwelt (BayLfU) zusammengefasst

Bodenfeuchte	Quelle	geo. L	geo. B	Höhe	von	bis	
Nordheim	HLUG	8,49	49,69	92	Nov 72	Okt 90	monatlich
Jägersburg	HLUG	8,51	49,70	90	Nov 72	Okt 90	monatlich
Alsbach-Sandwiese	HLUG	8,60	49,74	100	Nov 72	Okt 90	monatlich
Alsbach-Bergstrasse	HLUG	8,62	49,74	100	Nov 72	Okt 90	monatlich
Balkhausen	HLUG	8,66	49,73	274	Nov 72	Okt 90	monatlich
Beedenkirchen	HLUG	8,70	49,73	345	Nov 72	Okt 90	monatlich
Neunkirchen	HLUG	8,77	49,73	535	Nov 72	Okt 90	monatlich
Gross-Gerau	HLUG	8,50	49,94	91	Nov 72	Okt 90	monatlich
Eschollbrücken	HLUG	8,57	49,83	95	Nov 72	Okt 90	monatlich
Geisenheim	HLUG	7,95	49,99	103	Nov 72	Okt 90	monatlich
DWD Geisenheim	DWD	7,95	49,98	118	Jan 89	Okt 04	wöchentlich
Linkenheim	Uni KA	8,40	49,14	99	01.08.1992	31.12.1994	halbstündlich
Karlsdorf	Uni KA	8,54	49,12	110	01.08.1992	10.12.1997	halbstündlich
Burghausen	BayGLA	12,79	48,15	k.A.	08.02.2001	18.03.2004	halbstündlich
Fürth	BayGLA	10,99	49,52	k.A.	08.02.2001	18.03.2004	halbstündlich
Marktredwitz	BayGLA	12,14	50,01	k.A.	08.02.2001	18.03.2004	halbstündlich
Schwandorf	BayGLA	12,18	49,34	k.A.	08.02.2001	18.03.2004	halbstündlich
Bayerischer Wald	BayLfW	13,43	48,96	k.A.	24.10.2001	27.12.2005	täglich
Donau Gäuboden	BayLfW	12,59	48,85	k.A.	05.07.2000	31.12.2005	täglich
Fichtelgebirge	BayLfW	11,86	50,14	k.A.	22.06.2001	31.12.2005	täglich
Hochspessart	BayLfW	9,45	49,90	k.A.	21.07.1999	31.12.2005	täglich
Münchner Schotterebene	BayLfW	11,86	48,14	k.A.	01.06.1998	31.12.2005	täglich
Nördl. Lechfeld	BayLfW	10,91	48,24	k.A.	01.06.1998	31.12.2005	täglich
Südl. Frankenalb	BayLfW	11,80	49,07	k.A.	29.09.1998	31.12.2005	täglich

Für statistische Auswertungen sind lange Zeitreihen sehr gut geeignet. Die 10 Stationen der Hessischen Landesanstalt für Umwelt (HLUG) mit jeweils monatlichen Messungen im Zeitraum von 18 Jahren im Rheingau und an der Bergstrasse bilden eine sehr gute Basis für statistische Untersuchungen. Da diese Messreihen lediglich grafisch zur Verfügung gestellt wurden, mussten sie vor der Verarbeitung digitalisiert werden.

Für spezielle Fallstudien hinsichtlich konvektiver Sommerereignisse sind auch kürzere, räumlich und zeitlich höher aufgelöste Messungen von Vorteil, so wie sie für einige Stationen in Bayern vorliegen.

2.2.2 Berechnung von CAPE

CAPE (*convective available potential energy*) berechnet sich aus dem Integral des positiven Auftriebs. Hierbei ist der Auftrieb als Differenz der Dichtetemperatur von Paket und Umgebung definiert. Zum Testen des Paket Modells verwenden wir zunächst die Umgebungsbedingungen entsprechend der mittleren tropischen Atmosphäre nach ANDERSON et al. (1986). Später soll dieses Modell jedoch auf die Radiosondenaufstiege des DWD angewendet werden.

Im Gegensatz zu den als konstant angenommen Umgebungsbedingungen ist die Dichtetemperatur des Pakets sehr stark von den Annahmen über die Existenz und Phase des Kondensats abhängig. Zur detaillierten Untersuchung dieser Abhängigkeit wurden intensive Studien durchgeführt. Zum einen wurden sowohl reversible als auch pseudo-adiabatische Bedingungen für das Paket angenommen. Zum anderen wurde die Auswirkung des Gefrierens von flüssigem Wasser bei unterschiedlichen Temperaturen untersucht. Der Gefrierprozess wurde dabei sowohl mit dem häufig verwendeten isobaren Prozess (EMANUEL 1994), als auch bei einem kontinuierlichen Phasenübergang in Abhängigkeit von der herrschenden Temperatur im Paket, simuliert.

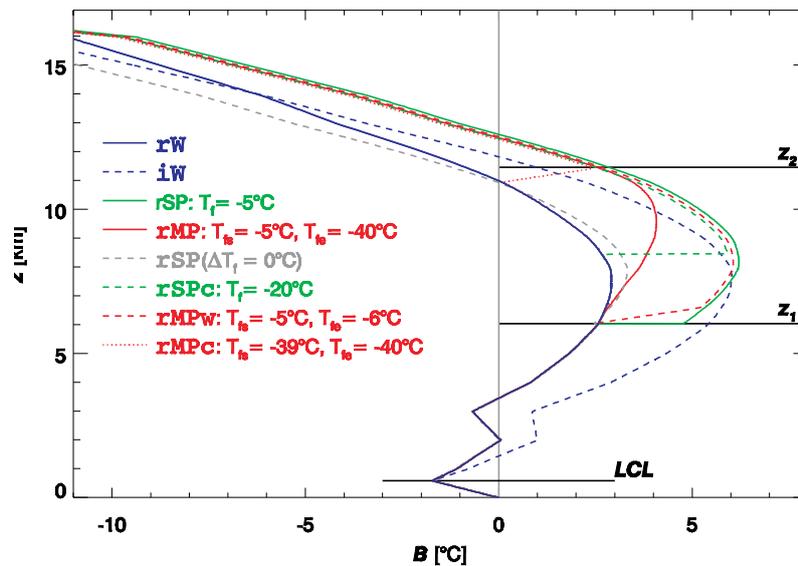


Abb. 1: Vertikalprofil des Auftriebs bei unterschiedlichen Annahmen über die Zusammensetzung des Kondensats. Diese Annahmen sind in der Abbildung kurz und im Text ausführlich beschrieben

Die blauen Linien beziehen sich auf Luftpakete mit flüssigem Wasser (ohne Gefrieren), wobei der reversible Fall (**rW**) mit durchgezogener und der pseudo-adiabatische Fall (**iW**) mit gestrichelter Linie gekennzeichnet ist. Da bei **rW** die Dichtetemperatur auf Grund des vorhandenen Kondensats geringer ist als bei **iW** ist auch der Auftrieb geringer.

Die grünen Linien repräsentieren Ein-Phasen Pakete, welche bei der Temperatur T_f in einem isobaren Prozess den Phasenübergang von flüssigem Wasser zu Eis erfahren. Somit existiert jeweils nur eine Phase im Paket. Die grüne durchgezogene Linie zeigt dabei den Auftrieb im Fall der Gefriertemperatur bei -5°C (**rSP**) und die grüne gestrichelte Linie im Fall der Gefriertemperatur bei -20°C (**rSPc**). Das isobare Gefrieren führt in beiden Fällen zu einer abrupten Temperaturerhöhung von einigen Grad Celsius in der Höhe, in welcher der Phasenübergang stattfindet.

Da beide Prozesse wenig realistisch erscheinen, wurde ein Prozess für ein repräsentatives Paket entwickelt und systematisch untersucht. Dieser erlaubt die Koexistenz beider Phasen innerhalb eines bestimmten Temperaturbereiches zwischen T_{fs} und T_{fe} . Innerhalb dieses Temperaturbereiches nimmt der Anteil des flüssigen Wassers kontinuierlich zu Gunsten des Eisanteils ab. Der Auftrieb dieser Misch-Phasen Pakete ist mit roten Linien gekennzeichnet. Die rote durchgezogene Linie bezieht sich auf ein Misch-Phasen Paket, bei welchem das Gefrieren zwischen -5°C und -40°C stattfindet. Die rote gestrichelte Linie zeigt den Verlauf des Auftriebs in einem deutlich engeren Temperaturbereich bei relativ warmen Temperaturen zwischen -5°C und -6°C . Die rote gestrichelte Linie basiert auf einem Prozess, bei dem das Gefrieren bei recht kalten Bedingungen zwischen -39°C und -40°C stattfindet. In allen Fällen der Misch-Phasen Pakete findet ein kontinuierlicher Phasenübergang

zwischen flüssigem Wasser und Eis statt, was zu einer kontinuierlichen Temperaturerhöhung und damit auch Erhöhung des Auftriebs führt. Je enger der Temperaturbereich des Gefrierens, desto stärker ist die lokal Erhöhung des Auftriebs.

Die graue gestrichelte Linie beschreibt den Aufstieg eines Paketes, in welchem das Kondensat bei Temperaturen wärmer als -5°C vollständig aus Wasser besteht und bei niedrigeren Temperaturen aus Eis. Der Phasenübergang von flüssigem Wasser zu Eis wird dabei jedoch vernachlässigt ($r_{SP}(\Delta T_f=0)$), so dass die abrupte Temperaturerhöhung in diesem Fall entfällt. Der einzige Unterschied zu r_W ist demnach die unterschiedliche Materialeigenschaft von Wasser und Eis. Es wird deutlich, dass im Höhenbereich zwischen 6 und 11 km Höhe die höhere freiwerdende latente Wärme von Eis zu einem größeren Auftrieb führt, wogegen oberhalb von 11km Höhe die höhere Wärmekapazität von Wasser zu einem größeren Auftrieb bei r_W führt.

Tabelle 2 gibt die resultierenden CAPE Werte für die unterschiedlichen Prozesse an. Es wird deutlich, dass die CAPE Werte um nahezu den Faktor drei variieren, obwohl die Umgebungsbedingungen konstant sind. Wir haben festgestellt, dass der Phasenübergang von flüssigem Wasser zu Eis in jedem Fall zu einer Erhöhung des reversiblen CAPE führt und dass die Gefriertemperatur einen wesentlichen Einfluss auf die Stärke der Erhöhung hat. Gefrieren bei kalten Temperaturen führt zu einer geringen und Gefrieren bei relativ warmen Temperaturen zu einer relativ starken Erhöhung von CAPE im Vergleich zum CAPE des reinen Wasser Prozesses (r_W).

Tab. 2: CAPE Werte, welche bei unterschiedlichen Annahmen über die Phase des Kondensats resultieren

Prozess	r_W	i_W	r_{SP}	r_{SPc}	r_{MP}	r_{MPw}	r_{MPc}
CAPE, J kg^{-1}	559	1446	1367	1039	966	1301	640

Eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse kann FRÜH und WIRTH (2006) entnommen werden.

2.3 Integrative Arbeiten

2.3.1 Verifikation der Niederschlagsfelder von *AtmoMM5*

Zur Berechnung der Niederschlagsfelder von *AtmoMM5* wird in einem ersten Schritt der Niederschlag mit dem mesoskaligen Atmosphärenmodell MM5 (DUDHIA 1993; GRELL et al. 1994) simuliert (Gruppe Meteorologie München (Egger)) und anschließend mittels eines statistischen Skalierung-Verfahrens (FRÜH et al. 2006) auf das in DANUBIA verwendete Proxel-Gitter interpoliert. Eine erste Verifikation der *AtmoMM5* Ergebnisse ist in FRÜH et al. (2006) diskutiert. Diese beschränkt sich jedoch auf den Referenzzeitraum 1991-2000. Im Weiteren soll die Anwendbarkeit dieser Skalierungsmethode auf Zeiträume außerhalb des Referenzzeitraumes gezeigt werden.

Zur Verifikation der *AtmoMM5* Ergebnisse wird der simulierte Niederschlag auf Basis der Tageswerte mit gemessenen Werten verglichen. Dazu werden sowohl Stationsmessungen als auch auf das Proxel-Gitter interpolierte Stationsmessungen verwendet. Die zuletzt genannten werden im Folgenden mit *Obs2D* bezeichnet.

Für diesen Vergleich werden die täglichen Messungen aller Niederschlagsstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD, Offenbach) und des österreichischen Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW, Wien), welche innerhalb des Einzugsgebietes liegen, herangezogen und mit den flächenbezogenen Werten von *AtmoMM5*, *Obs2D* und *AtmoSat* der entsprechenden Proxel verglichen.

Die Niederschlagsfelder von *Obs2D* ergeben sich in drei Schritten. Zunächst werden die Stationsmessungen eines Tages mit dem klimatologischen Monatsmittelwert normiert. Anschließend werden die normierten Werte mit Hilfe einer richtungs- und entfernungs-gewichtete Interpolationsmethode (RUDOLF et al. 1992) auf das Proxel-Gitter interpoliert. Durch Multiplikation mit dem klimatologischen Monatsniederschlag ergibt sich das Niederschlagsfeld des entsprechenden Tages.

Für zwei der vier ausgewählten Vergleichsmonate konnten sogar die Niederschlagsfelder von *AtmoSat* (Gruppe Niederschlag/Fernerkundung (Bendix)) hinzugezogen werden.

Abbildung 2 zeigt den mittleren Niederschlag für die beiden Wintermonate Januar 1999 (Jan99) und 2003 (Jan03) und die beiden Sommermonate Juli (Jul02) und August 2002 (Aug02). Die Anzahl der zur Mittelung verwendeten Stationen/Proxel liegt bei 792 im Jan99, 589 im Jan03, 614 im Jul02 und 613 im Aug02.

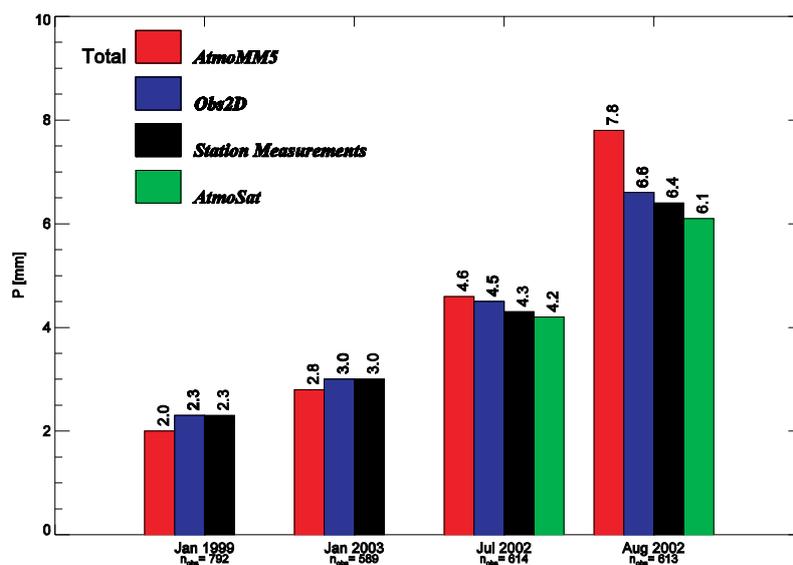


Abb. 2: Mittlerer Niederschlag für vier Monate (siehe x-Achsenbeschriftung) aus *AtmoMM5*, *Obs2D*, Stationsmessungen und *AtmoSat*

Im Jan99 und Jan03 liegt der über das gesamte Gebiet gemittelte Niederschlag nur wenig über dem langjährigen Mittelwert von 1.7 mm (siehe Zahlenwerte oberhalb der Säulen in Abb. 2). Davon ist jedoch keine Region besonders betroffen, sondern die Erhöhung war gleichmäßig über das Gebiet verteilt zu vermerken.

Der Niederschlag im Jul02 liegt etwas unter dem klimatologischen Mittel von 4.8mm. In diesem Monat war jedoch der Niederschlag im Alpenvorraum auf Grund häufig auftretender klein-skaliger konvektiver Ereignisse deutlich höher und in den Alpen deutlich geringer als im langjährigen Mittel.

Das langjährige Mittel im August liegt bei 3.7mm. Der Aug02 war damit deutlich feuchter, insbesondere im östlichen Teil des Einzugsgebietes als im Mittel. Dies führte zu am Anfang des Monats zu Hochwasser in Passau. In noch stärkerem Ausmaß war jedoch das Elbe- Einzugsgebiet betroffen. Der Aug02 kann daher als Monat mit extremen Niederschlagsereignissen betrachtet werden.

Im Monatsmittel weichen die Modelle bis auf den Aug02 nur geringfügig von den Beobachtungen ab. Die Stationsmessungen und die auf die Fläche interpolierten Beobachtungen *Obs2D* stimmen im Jan99 und Jan03 sehr gut überein. In den Sommermonaten beträgt deren Abweichung jedoch bereits etwa 0.2 mm, was auf die häufig auftretenden, räumlich eng begrenzten Stark-Niederschlagsereignisse zurückzuführen ist. *AtmoMM5* unterschätzt *Obs2D* im Jan99 und Jan03 nur leicht. Im Jul02 dagegen überschätzt *AtmoMM5* die Beobachtungen leicht bzw. im Aug02 deutlich.

Abbildung 3 zeigt die mittlere quadratische Abweichung (RMSE) des Tages-Niederschlags zwischen den Stationsmessungen und *AtmoMM5*, *Obs2D* bzw. *AtmoSat*. Eine perfekte Übereinstimmung würde zu einem RMSE von Null führen.

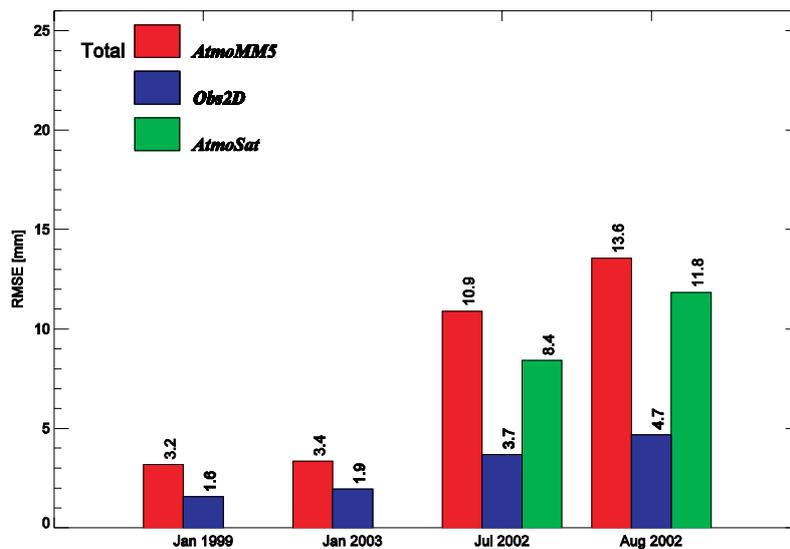


Abb. 3: Mittlere quadratische Abweichung (RMSE) des Niederschlags zwischen den Stationsmessungen und *AtmoMM5*, *Obs2D* bzw. *AtmoSat*

Zunächst wird deutlich, dass der RMSE zwischen den Stationsmessungen und *Obs2D* am geringsten ist. Diese Übereinstimmung ist teilweise dadurch zu erklären, dass die Stationsmessungen, die hier zum Vergleich herangezogen werden, auch zur Erstellung der Niederschlagsfelder genutzt werden. Des Weiteren sind bei dieser Methode keine Berechnungen notwendig, bei welcher der Niederschlag aus einer korrelierten, prognostizierten oder beobachteten physikalischen Größe ableitet wird, wie es beispielsweise bei *AtmoMM5* oder *AtmoSat* der Fall ist. Die verbleibende Abweichung ergibt sich aus der Interpolation der Punkt-Messungen auf die Fläche. Dadurch werden die Gradienten geglättet und Extremwerte verringert. Wegen häufig auftretender klein-skaliger Gewitter im Sommer, ist in den Monaten Jul02 und Aug02 der RMSE etwas größer, als in den Wintermonaten, in denen der synoptisch-skalige Niederschlag überwiegt.

Der RMSE von *AtmoMM5* ist deutlich größer. In den Wintermonaten ist der RMSE noch recht gering. In beiden Monaten hat er nahezu denselben Wert, obwohl Jan99 innerhalb und Jan03 außerhalb der Referenzperiode liegt. Dies lässt einen ersten vorsichtigen Schluss zu, dass unsere Skalierungs-Methode auch auf Zeiträume außerhalb des Referenzzeitraumes anwendbar ist. Eine systematischere Untersuchung soll diese Aussage untermauern. In den Sommermonaten jedoch steigt der RMSE dramatisch an. Das liegt darin begründet, dass der RMSE sehr sensitiv auf große Abweichungen reagiert, d.h. eine kleine Verschiebung des Niederschlagsgebietes um nur ein Proxel kann gegebenenfalls einen sehr hohen RMSE zur Folge haben, insbesondere, wenn es sich um ein starkes, lokal eng begrenztes Niederschlagsereignis handelt. Des Weiteren reagiert das Modell bezüglich der Niederschlagsmenge sehr sensitiv auf die verwendete Konvektionsparametrisierung. Untersuchung zur Verwendung des optimalen Konvektionsschemas wurden kürzlich von A. Pfeiffer (Gruppe Meteorologie München (Egger)) durchgeführt. Beide Gründe machen den hohen RMSE im Sommer nachvollziehbar. Im Winter tritt Niederschlag meist im Zusammenhang mit synoptisch-skaligen Frontdurchgängen auf. Diese weit ausgedehnten Niederschlagsereignisse mit meist geringer Intensität führen zu einem deutlich niedrigeren RMSE, als im Sommer.

Der RMSE von *AtmoSat* ist ebenfalls verhältnismäßig hoch. Es ist jedoch bekannt, dass die Stärken dieser Methode bei der räumlichen Niederschlagsverteilung liegen (vgl. Gruppe Niederschlag/Fernerkundung (Bendix)).

Abbildung 4 zeigt den Bias, d.h. das Verhältnis zwischen dem simulierten und beobachteten Niederschlag, für einen Schwellenwert von 0.1mm pro Tag. Dazu wurde das Verhältnis des Niederschlags zwischen den Stationsmessungen und *AtmoMM5*, *Obs2D* bzw. *AtmoSat* gebildet. Eine perfekte Übereinstimmung würde zu einem FBI von eins führen. Werte größer eins bedeuten eine Überschätzung und Werte kleiner eins eine Unterschätzung der Anzahl an simulierten Niederschlagsereignissen. Der niedrige Schwellenwert trennt die Regentage von den trockenen Tagen. Die Anzahl der Niederschlagsereignisse für diese Studie betrug im Jan99 11892 (an 792 Stationen), im Jan02 11614 (an 589 Stationen), im Jul02 11275 (an 614 Stationen) und im Aug02 8830 (an 613 Stationen).

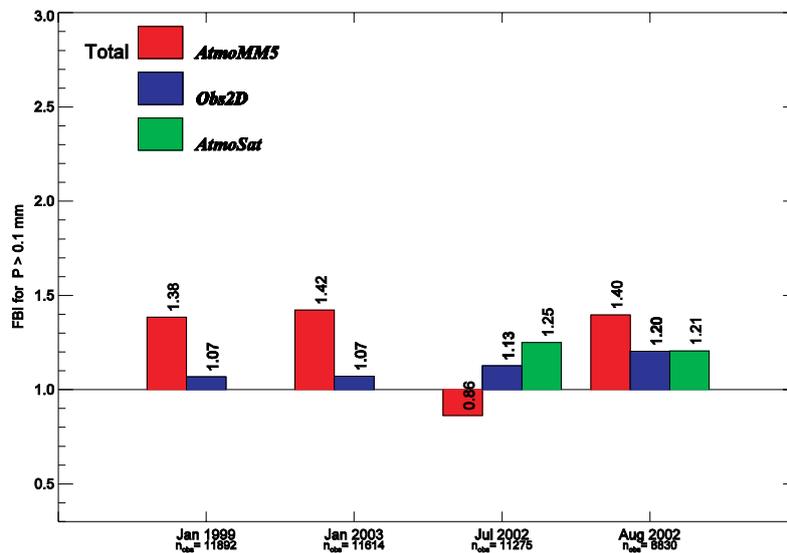


Abb. 4: Bias (FBI) für einen Schwellenwert von 0.1 mm pro Tag für den Niederschlag zwischen den Stationsmessungen und *AtmoMM5*, *Obs2D* bzw. *AtmoSat*

Die beste Übereinstimmung wiederum liefert *Obs2D*. Im Winter führt die Interpolation des Niederschlags zu einer Verschmierung und damit zu einer leichten Überschätzung der Anzahl der Niederschlagsereignisse im Vergleich zu den Punktmessungen an den Stationen von jedoch nur 7%. Im Sommer dagegen steigt dieser Wert auf 13% bzw. 20% an.

Der FBI für *AtmoMM5* zeigt sich uneinheitlich. In den drei Monaten Jan99, Jan03 und Aug02 überschätzt *AtmoMM5* die Anzahl der Niederschlagsereignisse um etwa 40%. Im Jul02 jedoch unterschätzt *AtmoMM5* die Anzahl der Niederschlagsereignisse um 14%. Die hohe Überschätzung der Niederschlagsereignisse kann mit dem verwendeten Skalierungs-Algorithmus zusammenhängen. Da dieser auf multiplikativer Basis beruht, wird bei einem simulierten Niederschlag des unskalierten Modells auf dem original Gitterpunkt von 45 x 45km² jedem der 45 x 45 Proxel auf dem feinen Gitter durch Multiplikation mit dem Skalierungs-Faktor ein Niederschlagswert zugewiesen, obwohl unter Umständen das Niederschlagsgebiet nur einen kleinen Bereich des 45 x 45km² großen Feldes einnahm. Die Unterschätzung im Jul02 kann wiederum mit den speziell in diesem Monat sehr häufigen und starken konvektiven Ereignissen und der Konvektionsparametrisierung in MM5 zusammenhängen.

Abbildung 5 zeigt die Häufigkeit des Auftretens von Niederschlagsereignissen bestimmter Niederschlagsmenge. Zunächst zeigt sich, dass die Kurven für die Stationsmessungen und *Obs2D* sehr gut übereinstimmen.

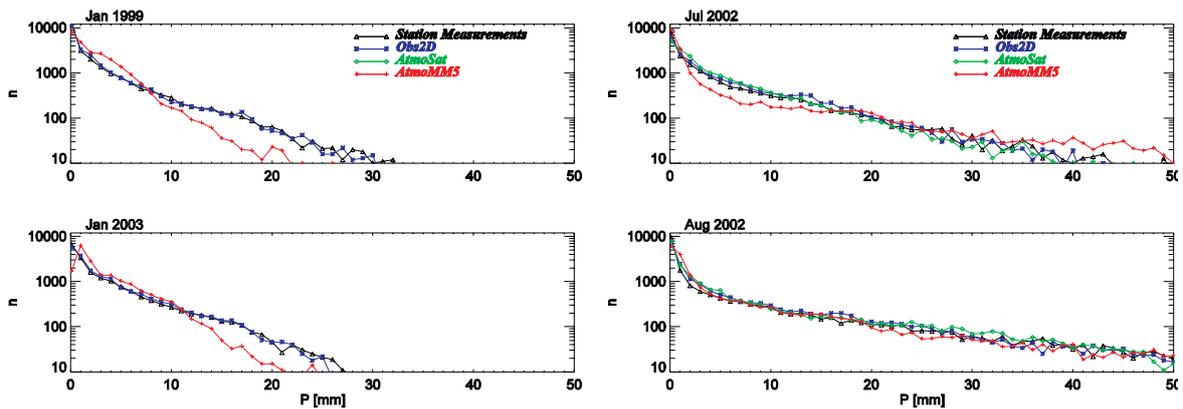


Abb. 5: Häufigkeit des Auftretens von Niederschlagsereignissen bestimmter Niederschlagsmenge

Abbildung 6 zeigt die prozentuale Abweichung der Häufigkeit des Auftretens von Niederschlagsereignissen bestimmter Niederschlagsmenge von den Stationsmessungen. Hierbei wird deutlich, dass *AtmoMM5* in den Wintermonaten die Anzahl an Niederschlagsereignissen mit weniger als 8-11mm pro Tag überschätzt, wogegen die Anzahl an stärkeren Niederschlagsereignissen von *AtmoMM5* unterschätzt wird. Im Jul02 wird die Anzahl an Niederschlagsereignissen mit mehr als 2mm und weniger als 15mm unterschätzt. Bei höheren Niederschlagsmengen wird die Anzahl an Ereignissen schnell zu gering um signifikante Aussagen treffen zu können. Im Aug02 wird die Anzahl an Niederschlagsereignissen mit weniger als 2mm Niederschlag vom Modell überschätzt und die Anzahl an Niederschlagsereignissen mit mehr als 20mm Niederschlag unterschätzt.

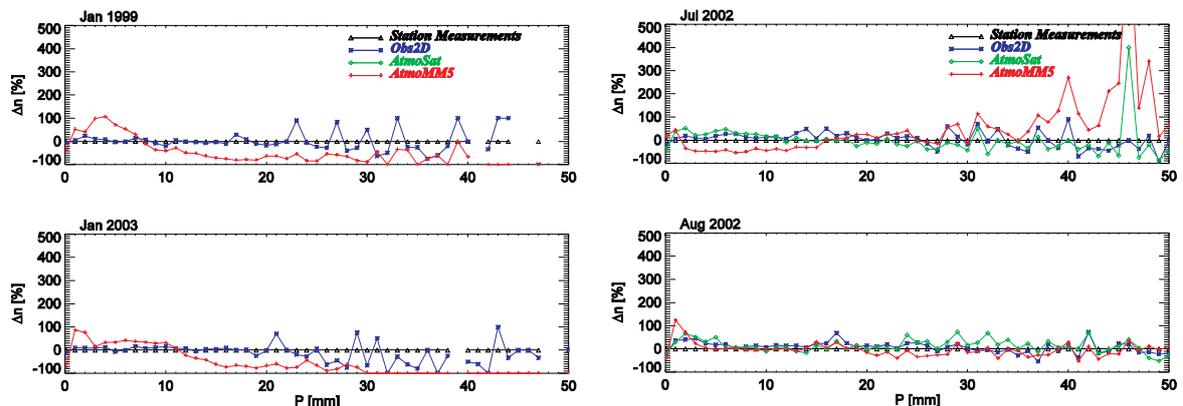


Abb. 6: Prozentuale Abweichung der Häufigkeit des Auftretens von Niederschlagsereignissen bestimmter Niederschlagsmenge von den Stationsmessungen

3. Zusammenfassung

3.1 Stand der Entwicklung

Bei der Beschaffung der Messungen zur Bodenfeuchte konnte inzwischen ein Stand erreicht werden, der es möglich macht statistische Untersuchungen durchzuführen, aber auch einzelne Fallstudien genauer zu analysieren.

Das entwickelte Paket-Modell ist nun bereit gestellt, um auf vorhandene Radiosonden Messungen zur Berechnung von CAPE angewendet werden zu können. Zur Anwendung dieser Methode auf die atmosphärischen Bedingungen in den mittleren Breiten wurden bereits die Radiosondenaufstiege des DWD aufbereitet.

Das Downscaling Verfahren für den Niederschlag ist inzwischen zur Veröffentlichung akzeptiert. Darin ist auch eine erste Evaluierung enthalten. Die Abhängigkeit des Skalierungsfaktors von Veränderungen der Anströmung und des Klimas wurden durch die windrichtungsabhängige Definition der Skalierungsfaktoren berücksichtigt. Diese Arbeit ist in der Dissertation von J. W. Schipper (Gruppe Meteorologie München (Egger)) veröffentlicht. Überprüfungen der anderen skalierten, meteorologischen Parameter (Temperatur, Feuchte und Windgeschwindigkeit) zeigten ebenfalls eine gute Performanz.

3.2 Ausblick

1. Untersuchung des empirischen Zusammenhangs zwischen Messungen der Bodenfeuchte und dem beobachteten Niederschlag. Dazu werden die in Kapitel 2.2.1 beschriebenen Messungen verwendet.
2. Analyse der CAPE Werte in den mittleren Breiten unter Verwendung des Paketmodells aus Kapitel 2.2.2.
3. Systematischer Vergleich der Niederschlagsfelder von *AtmoMM5* (Gruppe Meteorologie München (Egger)), *AtmoSat* (Gruppe Niederschlag/Fernerkundung (Bendix)) und *AtmoStations* (Gruppe Hydrologie/Fernerkundung (Mauser)) mit Stationsmessungen mit dem Ziel die Vor- und Nachteile jedes einzelnen Produktes zu verdeutlichen. Als Ausgangspunkt dient die in Kapitel 2.3.1 vorgestellte Studie.

4. Literatur

- ANDERSON, G.P., CLOUGH, S.A., KNEIZYS, F.X., CHETWYND, J.H. und SHETTLE, E.P. (1986): AFGL atmospheric constituent profiles (0-120km), in: AFGL-TR-86-0110, Air Force Geophysics Laboratory, MA, USA.
- 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.
- EMANUEL, K.A. (2006): Atmospheric Convection, Oxford University Press, New York, USA.
- FRÜH, B., SCHIPPER, J.W., PFEIFFER, A. und WIRTH, V. (2006): A pragmatic approach for downscaling precipitation in alpine scale complex terrain, *Meteorol. Zeitschrift*, akzeptiert.
- FRÜH, B. und WIRTH, V. (2006): Convective available potential energy (CAPE) in mixed phase cloud conditions, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, eingereicht.
- GRELL, G.A., J. DUDHIA und Stauffer, D.R. (1994): A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5), NCAR/TN-398+STR (1994), 138 S.
- RUDOLF, B., HAUSCHILD, H., REISS, M. und SCHNEIDER, U. (1992): Die Berechnung der Gebietsniederschläge im 2,5°-Raster durch ein objektives Analyseverfahren, *Meteorol. Zeitschrift*, N.F. 1, S. 32-50.

Retrieval¹⁾ konvektiver Niederschläge im Einzugsgebiet der Donau mit Meteosat Second Generation (MSG) und Meteosat

Teilprojekt: Niederschlag/Fernerkundung
Leiter: Prof. Dr. J. Bendix
Ausführende Stelle: Fachbereich Geographie der Philipps-Universität Marburg,
Deutschhausstraße 10, 35032 Marburg

1. Organisatorisches

1.1 Personal

Die bewilligte Stelle des Teilprojekts (Pos. 0812) ist seit dem 1. Januar 2005 jeweils zur Hälfte mit Herrn Dipl. Geograph Boris Thies und Herrn MSc Jan Cermak besetzt. Darüber hinaus wird aus der Grundausrüstung von April 2006 bis Februar 2007 eine halbe Stelle finanziert, die von Frau Dipl. Geograph Katja Trachte besetzt ist (siehe Kap. 4.3.4). Die zur Grundausrüstung gehörende Technikerstelle (Herrn Dipl. Informatiker FH Maik Dobbermann) steht ebenfalls teilweise dem GLOWAP-Projekt zur Verfügung. Gleiches gilt für die mit Herrn Dr. Thomas Nauß besetzte Stelle eines Akademischen Rats auf Zeit.

1.2 Fernerkundungssysteme

1.2.1 K-Band-Vertikalradar in Wielenbach (Testgebiet Ammer)

Die Korrektur der durch das zur Grundausrüstung gehörende Radar (Metek MRR) aufgezeichneten Datensätze bis 2004 ist abgeschlossen. Vor dem Hintergrund der Ziele für die 2. Projektphase wurde das Radar nach einer Komplettüberholung beim Hersteller jedoch nicht wieder im Ammer-Testgebiet, sondern im Nationalpark Berchtesgaden installiert (siehe Kap. 4.3.4). Darüber hinaus ist mit einem 2. MRR-Radar die Teilnahme an der AQUARadar-Messkampagne (Advances in Quantitative Areal Precipitation Estimation) von Juni bis August 2006 vorgesehen. Bei dieser Kampagne werden im unmittelbaren Alpenvorland neun MRR-Vertikalradars verschiedener Forschergruppen aufgestellt und deren Ergebnisse zusammen mit raum-zeitlich korrespondierenden Sondermessungen des DWD-Radars auf dem Hohen Peißenberg und des POLDIRADS der DLR in Oberpfaffenhofen analysiert. Die Ergebnisse können anschließend zur weiteren Validierung der Niederschläge im DANUBIA-Simulationsgebiet herangezogen werden.

1.2.2 Meteosat-8 SEVIRI

Der Umbau der zur Grundausrüstung gehörenden Meteosat-8-Empfangsanlage ist abgeschlossen. Der operationelle Datenempfang sowie die Speicherung sämtlicher Rohdaten (15-Minuten-Intervall) findet seit September 2003 statt. Die Daten werden in dem aus Projektmitteln angeschafften DVD-Jukebox-System archiviert. Für die operationelle Produktgenerierung wurde eine Prozessierungskette entwickelt, die u.a. auch eine Wolkenmaske, eine Nebelmaske, zwei Verfahren zur Ableitung optischer Wolkeneigenschaften sowie zwei Verfahren zur Niederschlagsableitung beinhaltet. Die operationelle Produktprozessierung wird derzeit nicht auf der Full-Disk, sondern auf einem Europa umfassenden Ausschnitt durchgeführt. Neben der DVD-Archivierung werden diese Ergebnisse auf einem RAID-5-Server vorgehalten.

¹⁾ Unter dem Begriff **Retrieval** versteht man in der Klimafernerkundung allgemein die Berechnung atmosphärischer Größen (wie z.B. Niederschlag) aus den Strahlungsmessungen eines Satellitensensors.

1.2.3 Terra-/Aqua-MODIS

Die Entwicklung und Implementierung der MODIS-Prozesskette ist abgeschlossen, so dass die Daten der ebenfalls zur Grundausstattung gehörenden Terra-/Aqua-MODIS Empfangsanlage operationell prozessiert und weiterverarbeitet werden (Wolkenmaske, Wolkeneigenschaften, Niederschlagsretrieval).

1.2.4 NOAA-AVHRR

Ein Update der zur Grundausstattung gehörenden NOAA-HRPT Empfangsanlage konnte realisiert werden. Darüber hinaus werden mit der Aufnahme von NOAA-18 in den Eumetsat-Datenstrom der Eumetsat ab März 2006 ebenfalls AVHRR-Daten über die Meteosat-8-Anlage empfangen und weiterverarbeitet.

1.3 Sonstiges

Die angeregte Einrichtung eines Diskussionsforums für die Danubia-Entwickler wurde von Herrn Dobbermann durchgeführt und vor allem hinsichtlich der Umstellung auf Danubia 1.0.0 intensiv genutzt. Des weiteren konnte Herr Dobbermann die Satellitendatenbank und das zugehörige Web-Interface fertig stellen, das unter <http://www.lcrs.de/> die empfangenen und weiterverarbeiteten Daten sowie die erwähnten Produkte visualisiert zur Verfügung stellt.

2. Konferenzen

In den Jahren 2004/2005 war die Arbeitsgruppe des LCRS bei folgenden Konferenzen aktiv vertreten:

Vorträge 2004:

- NAUSS, T., REUDENBACH, C. und BENDIX, J.: Operational rainfall retrieval based on cloud microphysical properties. Meeting of the International Precipitation Working Group (IPWG), Monterey, CA, USA.
- NAUSS, T. und KOKHANOVSKY, A.A.: Determination of optical and microphysical properties from water clouds. COST 722 Expert meeting, Helsinki, Finland.
- NAUSS, T. und KOKHANOVSKY, A.A.: Comparison of SACURA, ATSK3 and MOD06 cloud property retrievals. Meeting of the BBC2 working group, De Bilt, Netherlands.
- NAUSS, T., KOKHANOVSKY, A.A., CERMAK, J., REUDENBACH, C. und BENDIX, J.: Satellite based retrieval of cloud properties and their use in rainfall retrievals and fog detection. Meeting of the DGFG working group on remote sensing, Bonn, Germany.

Posterpräsentationen 2004:

- NAUSS, T., REUDENBACH, C., CERMAK, J. und BENDIX, J.: Operational identification and visualisation of cloud processes for general aviation using multispectral data. 2004 Eumetsat Meteorological Satellite Conference, Prague, Czech Republic.
- REUDENBACH, C. und NAUSS, T.: A five year precipitation climatology in the DANUBIAN watershed based on Meteosat data. 2004 Eumetsat Meteorological Satellite Conference, Prague, Czech Republic.

- NAUSS, T., REUDENBACH, C. und BENDIX, J.: Precipitation retrieval for the severe European Summer Flooding 2002 using Meteosat Rapid Scan and Terra-MODIS data. Posterpresentation. EGU Conference, Nizze.

Vorträge 2005:

- NAUSS, T.: Ein neues Verfahren zur satellitengestützten Erfassung der Niederschlagsfläche auf Basis optischer und mikrophysikalischer Wolkeneigenschaften. Meeting of the DFG working group on climate, Bochum, Germany.

Posterpräsentationen 2005:

- THIES, B., DIEDERICH, M., REUDENBACH, C., NAUSS, T., BENDIX, J., SCHULZ, J. und SIMMER, C.: Comparison of an optical and a passive microwave rainfall retrieval over north-western Africa. 2005 Eumetsat Meteorological Satellite Conference, Dubrovnik, Croatia.

3. Veröffentlichungen

BENDIX, J., THIES, B., CERMAK, J. und NAUSS, T. (2006): Ground Fog Detection from Space Based on MODIS Daytime Data - A Feasibility Study. *Weather and Forecasting* 20/6, S. 989-1005.

KOKHANOVSKY, A.A. und NAUSS, T. (2005): Satellite-based retrieval of ice cloud properties using a semi-analytical algorithm. *Journal of Geophysical Research - Atmospheres*, 110/D19, D19206, 10.1029/2004JD005744.

KOKHANOVSKY, A.A. und NAUSS, T. (2006): A simplified cloud retrieval algorithm: the forward model. Eingereicht bei *Atmospheric Chemistry and Physics*.

KOKHANOVSKY, A.A., ROZANOV, V.V., NAUSS, T., REUDENBACH, C., DANIEL, J.S., MILLER, H. L.J. und BURROWS, P. (2005): The semi-analytical cloud retrieval algorithm for SCIAMACHY. I. The validation. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 5/2, S. 1995-2015.

NAUSS, T. (2006): Das Rain Area Delineation Scheme RADS - ein neues Verfahren zur satellitengestützten Erfassung der Niederschlagsfläche über Mitteleuropa. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Naturwissenschaften. *Marburger Geographische Schriften* 143, im Druck.

NAUSS, T. und KOKHANOVSKY, A.A. (2006): Discriminating raining from non-raining clouds at mid-latitudes using multispectral satellite data. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 6, S. 1385-1398.

NAUSS, T., KOKHANOVSKY, A.A., CERMAK, J., REUDENBACH, C. und BENDIX, J. (2005): Satellite based retrieval of cloud properties and their use in rainfall retrievals and fog detection. *Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation* 3, S. 209-218.

NAUSS, T., KOKHANOVSKY, A.A., NAKAJIMA, T.Y., REUDENBACH, C. und BENDIX, J. (2005): The intercomparison of selected cloud retrieval algorithms. *Atmospheric Research* 78, S. 46-78.

NAUSS, T. und BENDIX, J. (2005): An operational MODIS processing scheme for PC dedicated to direct broadcasting applications in meteorology and earth sciences. *Computers and Geosciences* 31/6, S. 804-808.

- NAUSS, T., THIES, B., CERMAK, J., REUDENBACH, C. und BENDIX, J. (2005): A Meteosat-8 SEVIRI based rainfall retrieval for the upper danube catchment considering cloud properties. GLOWA-Status Report 2005.
- NAUSS, T., REUDENBACH, C., CERMAK, J. und BENDIX, J. (2004): Operational identification and visualisation of cloud processes for general aviation using multi-spectral data. Eumetsat Meteorological Satellite Conference, Prague, Czech Republic.
- REUDENBACH, C., NAUSS, T. und BENDIX, J. (2005): Retrieving precipitation with GOES, Meteosat and Terra/MSG at the tropics and midlatitudes. In: LEVIZZANI, V., BAUER, P. und TURK, F.J. (eds.): Measuring precipitation from space, im Druck.
- REUDENBACH, C. und NAUSS, T. (2004): A five year precipitation climatology in the DANUBIAN watershed based on Meteosat data. Eumetsat Meteorological Satellite Conference, Prague, Czech Republic.
- THIES, B., DIEDERICH, M., REUDENBACH, C., NAUSS, T., BENDIX, J., SCHULZ, J. und SIMMER, C. (2005): Comparison of an optical and a passive microwave rainfall retrieval over north-western Africa. Eumetsat Meteorological Satellite Conference, Dubrovnik, Croatia.

In kürze eingereichte Artikel:

- FRÜH, B., BENDIX, J., LUDWIG, R., MAUSER, W., NAUSS, T., PFEIFFER, A., SCHIPPER, J.W. und THIES, B.: Comparing ground-based measurements, remote-sensing observations and simulated precipitation for the use in a decision support system for mesoscale catchments.
- NAUSS, T. und KOKHANOVSKY, A.A.: Validation of a satellite-based rain area delineation scheme for mid-latitudes.
- NAUSS, T. und KOKHANOVSKY, A.A.: Retrieval of cloud properties from space: a simplified algorithm SLALOM.
- REUDENBACH, C., THIES, B. und NAUSS, T.: A Mid-Latitude Rainfall Retrieval for the Examination of long Time Series using Meteosat.
- THIES, B., DIEDERICH, M., REUDENBACH, C., NAUSS, T., BENDIX, J., SCHULZ, J. und SIMMER, C.: A high-resolution multisensor satellite rainfall retrieval for north-western Africa.
- THIES, B., DIEDERICH, M. und NAUSS, T.: Continuation of rainfall retrieval time series for climatological purposes with Meteosat SEVIRI.

4. Fortgang der Arbeiten

4.1 Atmosphäre Paket in DANUBIA

Die Grundstruktur des DANUBIA Atmosphäre-Pakets (Abb. 1 und 2), in welchem die Modelle der Teilprojekte Niederschlag/Fernerkundung, Meteorologie/München (MM5) und Meteorologie/Mainz (Beobachtungsdaten) zusammengefasst sind, wurde im Rahmen der Umstellung auf DANUBIA 1.0.0 überarbeitet. Die Änderungen erfolgten vor allem in den Bereichen Performance und Bedienbarkeit. Hinsichtlich des Atmosphäre Controllers sind in diesem Zusammenhang hauptsächlich die Umstellung von zusammengesetzten Datentypen auf primitive Datentypen zu nennen.

Den Anforderungen der Gruppe Tourismus und Agrarökonomie entsprechend wurden im Atmosphere Controller zusätzliche externe und interne Schnittstellen für die tägliche und monatliche Niederschlagssumme, die Niederschlagssumme zwischen 4:00 und 8:00 Uhr, die tägliche minimale Feuchttemperatur sowie für die täglichen und monatlichen Temperaturminima und -maxima implementiert (Abb. 3 und 4). Die verantwortliche Koordination des Atmosphere-Pakets und die Betreuung des Atmosphere Controllers wurde zum 1. Januar 2005 von Herrn Dr. Nauß an Herrn Thies übergeben. Gleiches gilt für das *AtmoSat*-Objekt. Die Wartung und Weiterentwicklung des *AtmoMM5*-Objekts wird von Herrn Pfeifer (Meteorologie/München), die von *AtmoStations* von Herrn Prof. Dr. Mauser (Hydrologie/Fernerkundung) weitergeführt.

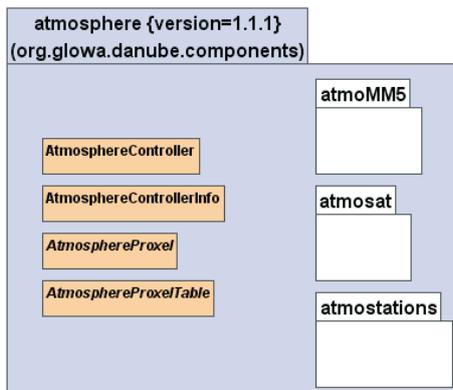


Abb. 1: DANUBIA 1.0.0 Atmosphere Paket

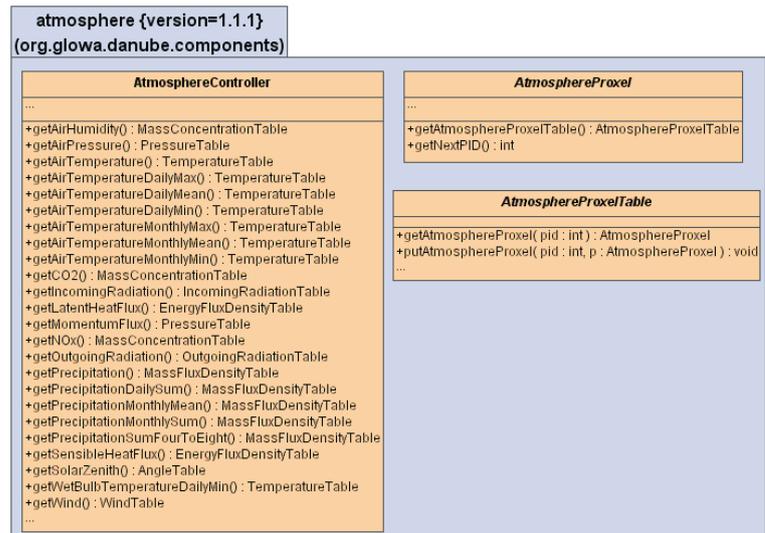


Abb. 2: DANUBIA 1.0.0 Atmosphere Controller strukturelle Übersicht

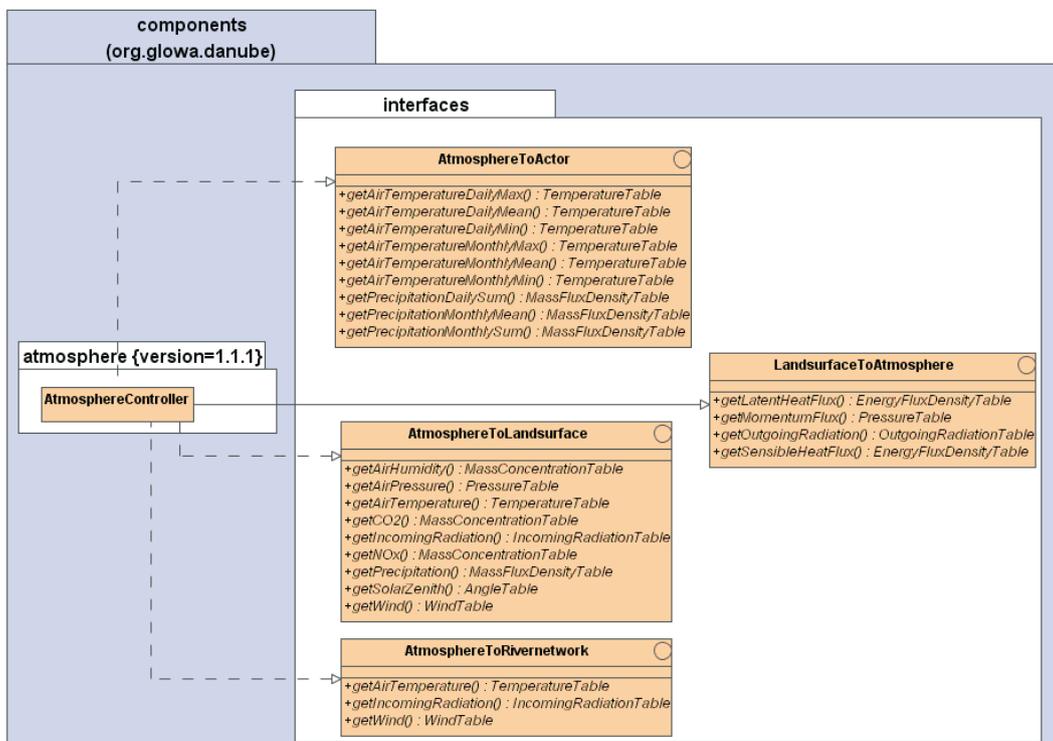


Abb. 3: Danubia 1.0.0 Atmosphere Controller externe Schnittstellen

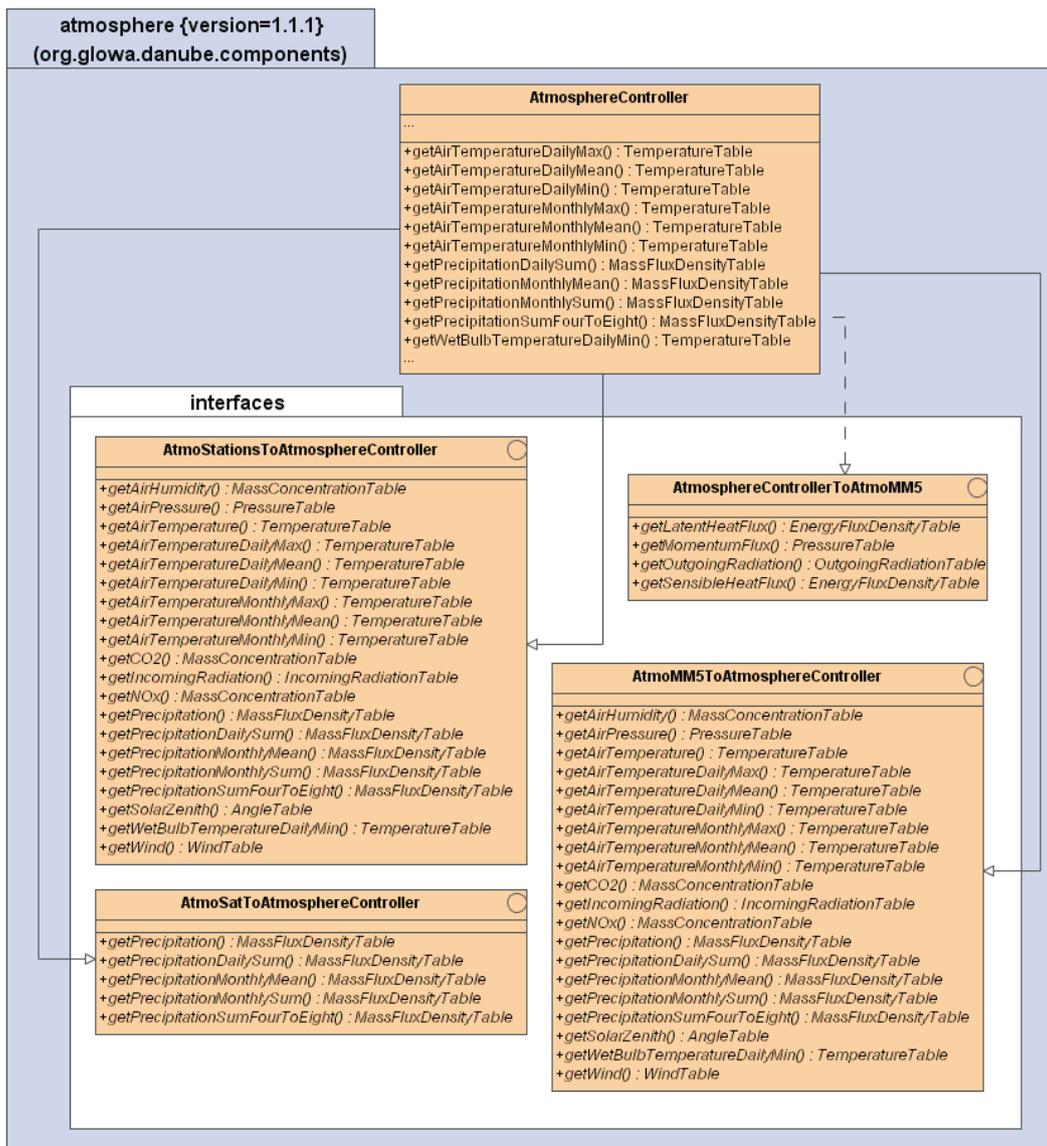


Abb. 4: Danubia 1.0.0 Atmosphere Controller interne Schnittstellen

4.2 AtmoSat in DANUBIA

Die im *AtmoSat*-Objekt durchgeführten Änderungen hinsichtlich der Umstellung auf DANUBIA 1.0.0 umfassen im wesentlichen die Implementierung neuer Operationen zum Schreiben von Logmeldungen und zur Überprüfung der Export-Daten, die Umstellung von zusammengesetzten Datentypen auf primitive Datentypen sowie die Implementierung eines neuen Result Data Processors für die Ausgabe von aggregierten Niederschlagsdaten (vgl. Abb. 5). Hinsichtlich der Überprüfung der Export-Daten wurden obere und untere Grenzwerte für die zu übergebenden Variablen eingeführt, die in den zugehörigen Schnittstellenspezifikationen dokumentiert sind (vgl. Abb. 7). Um die Datenanforderungen der Gruppen Tourismus und Argarökonomie zu bedienen, wurden in *AtmoSat* neue Methoden zur Berechnung und Übergabe der täglichen und monatlichen Niederschlagssumme sowie der Niederschlagssumme zwischen 4:00 und 8:00 Uhr implementiert (vgl. Abb. 6).

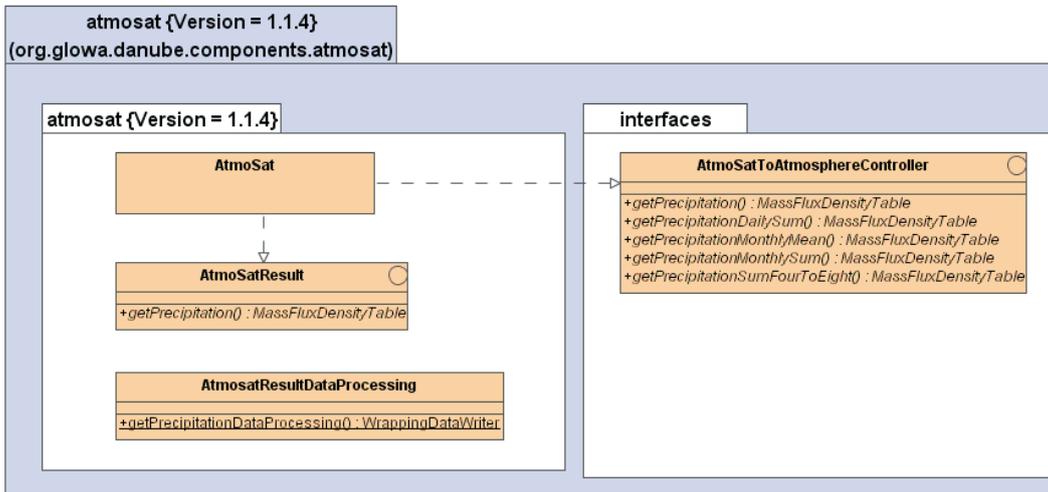


Abb. 5: DANUBIA 1.0.0 *AtmoSat*-Teilmodell

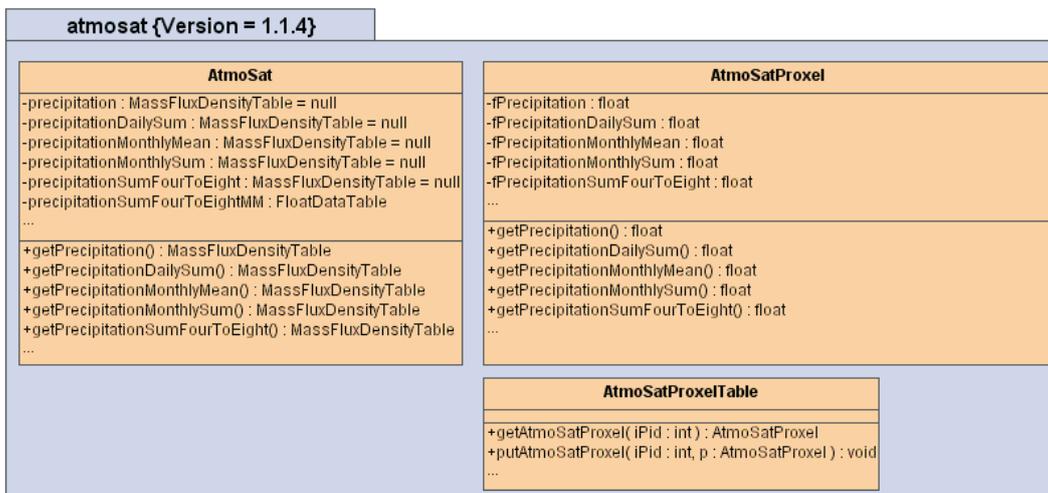


Abb. 6: DANUBIA 1.0.0 implementierte Methoden im *AtmoSat*-Teilmodell

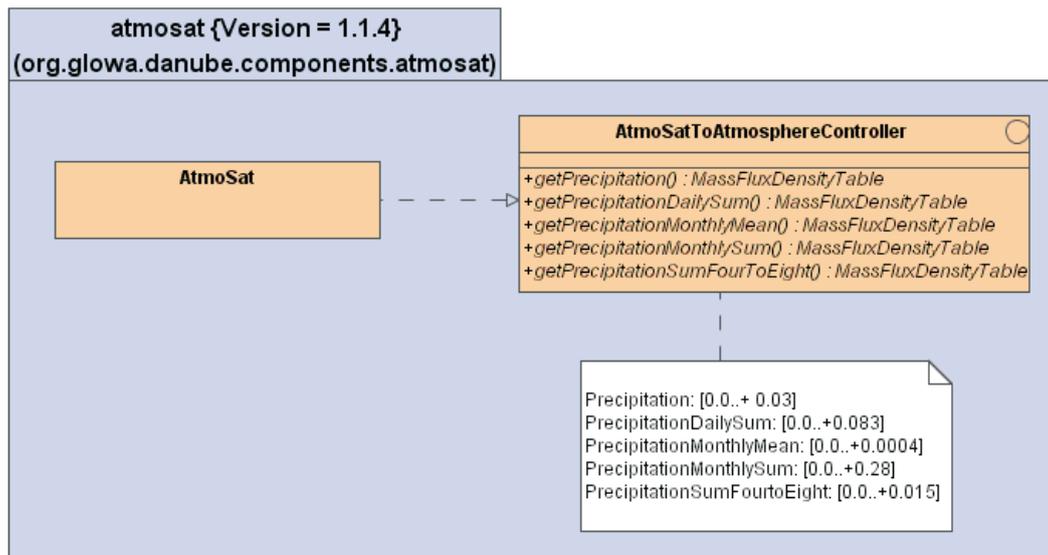


Abb. 7: DANUBIA 1.0.0 Schnittstellspezifikation für das *AtmoSat*-Teilmodell

4.3 Sektorale Arbeiten

4.3.1 Stand der Advective-Convective-Technique

Die Meteosat-7-Daten von 1995 bis 2003 sind mit der Advective Convective Technique (ACT), dem aktuell in *AtmoSat* implementierten Niederschlagsretrieval, prozessiert. Seitens der EUMETSAT ist die Umstellung des Datenarchivs abgeschlossen und der Lieferengpass behoben. Die in regelmäßigen Abständen gelieferten Datenpakete werden kontinuierlich mit der ACT nachprozessiert, um Datenlücken zu schließen. Für den Zeitraum nach 2004 konnte die ACT erfolgreich auf Meteosat-8-SEVIRI übertragen werden. Somit ist die Erstellung einer einheitlichen langen Zeitreihe (>10 Jahre) gewährleistet. Diese kann als klimatologische Basis für Global-Change-Szenarien in GLOWA-DANUBE dienen.

4.3.2 Stand der Neuentwicklung eines Niederschlagsretrievals auf Basis optischer und mikrophysikalischer Wolkeneigenschaften

Im Hinblick auf die Neuentwicklung eines Niederschlagsretrievals unter Berücksichtigung optischer und mikrophysikalischer Wolkeneigenschaften ist die Entwicklung des Rain Area Delineation Scheme (RADS; NAUSS 2006; NAUSS und KOKHANOVSKY 2006a) für Meteosat-8-SEVIRI zu nennen. Die durch RADS erzielten Verbesserungen bezüglich der Abgrenzung regnender Wolkenflächen, speziell in ausgedehnten stratiformen Wolkenfeldern, konnten im Zuge ausführlicher Evaluierungsstudien belegt werden (NAUSS und KOKHANOVSKY 2006b; NAUSS 2006). Das dahinter stehende konzeptionelle Modell beruht auf der Vorstellung, dass niederschlagswirksame Wolkenbereiche eine ausreichend große Kombination aus vertikaler Mächtigkeit und Tropfengröße benötigen (LENSKY et al. 2003; NAUSS und KOKHANOVSKY 2006a). Die Abgrenzung der Niederschlagsfläche durch RADS erfolgt mittels eines autoadaptiven Schwellwerts für den effektiven Tropfenradius in Abhängigkeit der optischen Dicke. Die zur Abgrenzung der Regenflächen benötigten Wolkenparameter wurden zunächst mittels einer angepassten Version des ATSK-3-Algorithmus von NAKAJIMA und NAKAJIMA (1995) bzw. KAWAMOTO et al. (2001) ermittelt. Der hohen Genauigkeit dieses Lookup-Tabellen-Verfahrens steht jedoch seine lange Rechenzeit gegenüber, die angesichts des 15-minütigen Scanintervalls von Meteosat-8 einer Echtzeit-Prozessierung entgegensteht. Aus diesem Grund wurde ein neues, rechenzeitoptimiertes Verfahren auf Basis der Gleichungen der asymptotischen Strahlungstransfertheorie entwickelt und im Semi-Analytical Cloud Retrieval Algorithm (SACURA) implementiert (KOKHANOVSKY et al. 2003; KOKHANOVSKY und NAUSS 2005; NAUSS et al. 2005). Eine Evaluierungsstudie gegen das ATSK-3-Retrieval sowie gegen das NASA MOD06-Produkt (PLATNICK et al. 2003) zeigt gute Korrelationen aller drei Algorithmen sowohl über Wasser- als auch über Landflächen mit Quadraten des Korrelationskoeffizienten größer 0,9 (KOKHANOVSKY et al. 2005; NAUSS et al. 2005).

Tests mit MODIS-Daten ergaben eine weitere Verbesserung der Niederschlagsflächenableitung bei einer expliziten Berücksichtigung der Eisphase. Aus diesem Grund wird derzeit SACURA zum Simplified cloud retrieval ALgorithm (SLALOM) weiterentwickelt, der die Ableitung von Eiswolkeneigenschaften aus absorbierenden Kanälen gestattet (KOKHANOVSKY und NAUSS 2006; NAUSS und KOKHANOVSKY 2006c). Nach Abschluss der SLALOM-Entwicklung wird das neue RADS-Retrieval in *AtmoSat* implementiert. Die Ergebnisse der bisher implementierten ACT werden unter dem Gesichtspunkt der Produktkontinuität weiterhin zur Verfügung stehen.

4.3.3 Stand der Neuentwicklung eines Hybrid-Retrievals

Die ACT und das RADS stellen die Grundlage für die Entwicklung eines hybriden Niederschlagsretrievals dar. Hinsichtlich der Kopplung mit Mikrowellensensoren wurde im Rahmen des Advanced Multisensor Precipitation Estimate Programms der Eumetsat eine Kooperation mit der Meteorologie der Universität Bonn (Prof. Dr. Simmer), der Eumetsat NC-SAF (*Nowcasting Satellite Application Facility*) und dem DWD-WZN (Deutscher Wetterdienst - Weltzentrum für

Niederschlag) vereinbart. Im Rahmen einer ersten Vergleichsstudie über Nordwestafrika zwischen der ACT und dem an der Universität Bonn entwickelten Mikrowellen-Niederschlagsretrieval (BAUER et al. 2002) konnte bereits das hohe Potential einer Kombination der beiden Verfahren belegt werden (THIES et al. 2005). Die Entwicklung eines geeigneten Morphing-Algorithmus zur Kombination der beiden Verfahren ist in Arbeit. In diesem Zusammenhang ist in den folgenden Monaten eine umfassende Evaluierungsstudie für den süddeutschen Raum geplant, wozu das DWD-WZN umfangreiche Validierungsdatensätze zur Verfügung stellt.

4.3.4 Verbesserung der Niederschlagszuweisung in alpinen Räumen

Typische Unsicherheiten optischer Niederschlagsretrievals und folglich auch der ACT bzw. von RADS liegen in der Zuweisung der Niederschlagsrate auf die zuvor identifizierten Niederschlagsflächen. Dies gilt besonders für orographisch modifizierte Ereignisse (vgl. Kap. 5.3). Im Rahmen einer Kooperation mit dem Nationalpark Berchtesgaden ist daher die Entwicklung eines Verfahrens zur Verbesserung der quantitativen Niederschlagsratenzuweisung in hochalpinen Räumen angelaufen. In diesem Zusammenhang wurde vom Nationalpark Berchtesgaden ein Datenmanagementsystem implementiert, das die operationelle und zeitnahe Kopplung der Satellitendaten mit bodengebundenen Niederschlagsmessungen erlaubt. Letztere werden von der Nationalparkverwaltung und der Bayerischen Lawinenwarnzentrale zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus wurde das arbeitsgruppeneigene MRR-Vertikalradar im Nationalparkgebiet installiert. Auf Basis dieser Datensätze, sowie umfangreicher Wolkenmodellsimulationen soll eine das Relief, die Anströmungsrichtung und die jeweiligen Niederschlagsprozesse berücksichtigende Niederschlagsratenzuweisung entwickelt werden. Erste Vorstudien hinsichtlich der potentiellen Kopplung von Satelliten- und bodengebundenen Stationsdaten für das Testgebiet Berchtesgaden wurden im Rahmen einer Diplomarbeit mit dem numerischen Wettermodell ARPS (Advanced Regional Prediction System) durchgeführt. Darauf aufbauend sind in einer weiteren Diplomarbeit (Frau Maike Kühnlein) erste Entwicklungsschritte bezüglich der operationellen Kopplung von Satellitendaten und bodengebundenen Niederschlagsdaten geplant. Die Wolkenmodellsimulationen werden in den nächsten Monaten durch die erwähnte, aus Grundmitteln befristet geschaffene Stelle übernommen.

4.3 Interdisziplinäre Arbeiten

Zur Optimierung der Parametrisierungseinstellungen in *AtmoMM5* ist in Kooperation mit der Arbeitsgruppe Meteorologie/München die Assimilierung der Satellitendaten im Mesoskala-Modell MM5 vorgesehen. Dazu wurden bereits erste Vorstudien bezüglich potentieller Übereinstimmungen der simulierten Niederschlagsfelder mit Satellitendaten durchgeführt. In Absprache mit der Arbeitsgruppe Meteorologie/München erfolgten diese Vorstudien im Rahmen einer Diplomarbeit in der Arbeitsgruppe Niederschlagsfernerkundung in Marburg. Dabei wurden Simulationen für unterschiedliche räumliche Auflösungen von 15km, 5km und 1km durchgeführt. Als wesentliches Ergebnis lässt sich festhalten, dass mit höheren Auflösungen der Domain die Niederschlagsverteilung detailreicher und teilweise realistischer dargestellt wird. Bezüglich der operationellen Kopplung des Modells mit Satellitendaten scheint, basierend auf den aus den 15km und 5km Simulationen gewonnenen Erkenntnissen, und angesichts der erhöhten Rechenzeiten, eine 15km Gitterauflösung sinnvoll. Hinsichtlich der für die Simulation klimatologischer Zeitreihen angepassten Auflösung von 45km in *AtmoMM5* sind weitere Untersuchungen zur Kopplung mit den räumlich höher aufgelösten Satellitendaten vorgesehen.

5. Validierung

5.1 Ergebnisse eigener Diplomarbeiten

Zur Untersuchung der drei im Atmosphäre-Paket integrierten Modelle hinsichtlich der raum-zeitlichen Skalenvarianz der Niederschlagsfelder liegt inzwischen eine abgeschlossene Diplomarbeit vor. Die mittleren monatlichen Niederschläge im Einzugsgebiet sind in Abbildung 8 dargestellt. Der generelle Verlauf der durchschnittlichen Niederschläge wird von allen drei Modellen gut wiedergegeben. Unterschiede ergeben sich dagegen hinsichtlich der Niederschlagsmengen. Die Übereinstimmung aller Datensätze ist im Frühjahr am größten. In den überwiegend konvektiven Sommermonaten sind die Niederschläge aus *AtmoSat* niedriger als in den beiden anderen Modellen. Dagegen sind sie im Herbst und Winter höher.

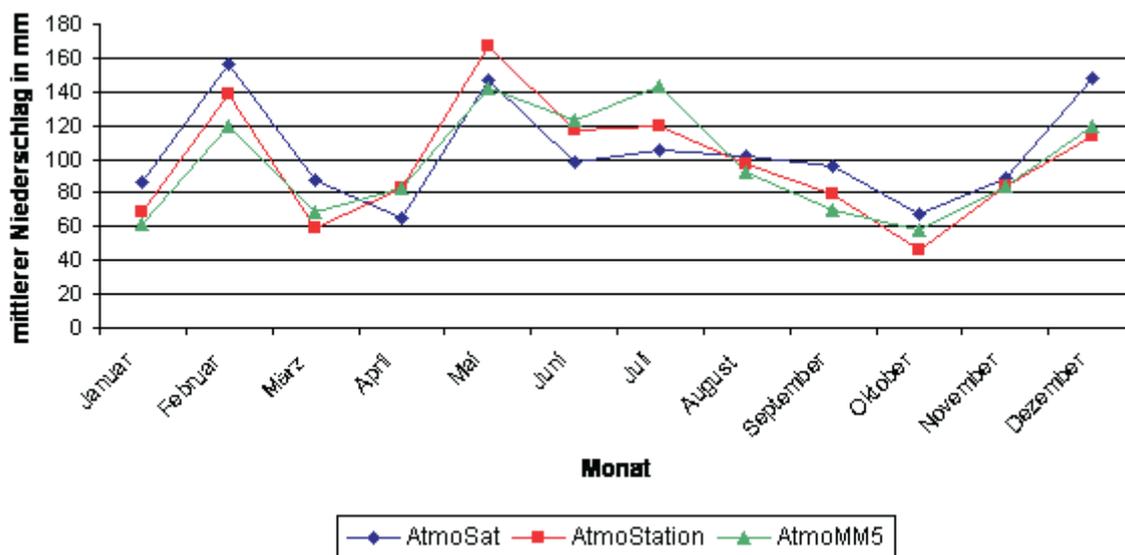


Abb. 8: Jahrgang des mittleren Niederschlages des Jahres 1999 für *AtmoSat*, *AtmoStations* und *AtmoMM5*

Die Gründe für die Diskrepanzen bei den Sommerniederschlägen sind in Unsicherheiten bezüglich der Konvektionsparametrisierung in *AtmoMM5* sowie in einer Tendenz zur Überschätzung der Niederschläge durch *AtmoStations* zu suchen. In letzterem Fall führt die raumzeitliche Interpolation von Stationsmessungen zu einer starken Ausdehnung der raumzeitlich oft stark begrenzten, konvektiven Ereignisse und somit zu einer höheren Niederschlagsrate. Dagegen zeigt die Vergleichsstudie, dass für die Wintermonate in *AtmoSat* die konvektiven Niederschlagsflächen im Vergleich zu den advektiv/stratiformen überschätzt werden. Dies liegt in der Ableitung des Temperaturschwellenwertes zur Identifikation konvektiver Kerne mittels der Tropopausentemperatur begründet, die anhand der Temperaturdifferenz zwischen dem Wasserdampf- und dem Infrarotkanal bestimmt wird. Da im Winter die Tropopause tendenziell niedriger ist als im Sommer, ist bei gleicher Wolkenoberflächentemperatur von einer geringeren Vertikalerstreckung der Wolken und damit einer geringeren Niederschlagsrate auszugehen. Dies wird jedoch in der aktuellen ACT-Version noch nicht in ausreichendem Umfang berücksichtigt.

5.2 Evaluierungsstudie für den Referenzlauf

Im Zusammenhang mit dem Referenzlauf für den Zeitraum 1995 bis 2000 wurde in Kooperation mit den Arbeitsgruppen Meteorologie/Mainz und Meteorologie/München für den Mai 1999 ein detaillierter Vergleich zwischen den drei Niederschlagsmeteorologien durchgeführt. Aufgrund der komplexen und extremen Wettersituationen (Ammerhochwasser zwischen dem 20. und 22. Mai) eignet sich dieser Zeitraum besonders gut für eine Evaluierung hinsichtlich der korrekten Niederschlagserfassung durch die Modelle.

Abbildung 9 zeigt den mittleren stündlichen und täglichen Gebietsniederschlag im oberen Donaeinzugsgebiet. Aus dem Vergleich der verschiedenen zeitlichen Auflösungen ergibt sich, dass die Beziehung zwischen den Modellen vom zeitlichen und räumlichen Auftreten der Niederschlagsfelder abhängt. Für kurzfristige Ereignisse mit vergleichsweise geringen Niederschlagsmengen ergeben sich maximale Differenzen. In solchen Fällen sind die Niederschläge in *AtmoStations* niedriger als in den beiden anderen Modellen. Dies liegt in der größeren zeitlichen und räumlichen Auflösung der Stationsdaten begründet, die eine Erfassung lokal begrenzter, konvektiver Ereignisse erschwert. Auf der anderen Seite produziert *AtmoSat* besonders bei kurzfristigen Ereignissen höhere Niederschlagsraten als das *AtmoMM5*-Objekt. Dies lässt sich durch Unsicherheiten in den auf 3D-Wolkenmodellsimulationen basierenden Regressionsfunktionen zwischen Wolkenoberflächentemperatur und Regenrate erklären. Für räumlich und zeitlich ausgedehnte Ereignisse, wie das Hauptniederschlagsband vom 20. bis zum 22. Mai nähern sich die Ergebnisse der drei Modelle dagegen einander an.

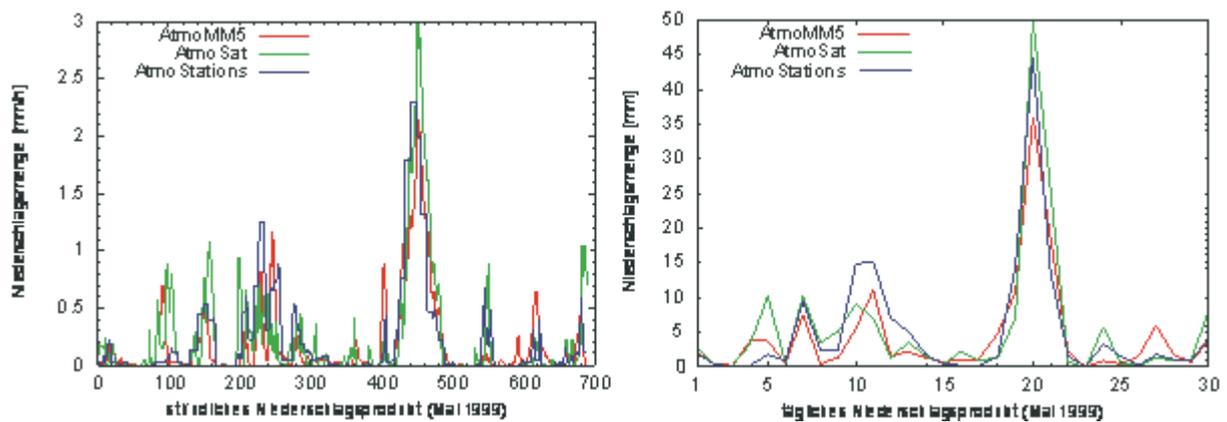


Abb. 9: mittlerer Gebietsniederschlag in stündlicher und täglicher Auflösung für den Mai 1999

Abbildung 10a zeigt die räumliche Verteilung des mittleren täglichen Niederschlags im oberen Donaeinzugsgebiet für *AtmoMM5*. Die vom nördlichen Teil des Einzugsgebietes zur Nordabdachung der Alpen zunehmende Niederschlagsmenge ist deutlich zu erkennen. In Abbildung 10b und 10c sind der Bias, die jeweiligen prozentualen Abweichungen von *AtmoMM5*, für *AtmoSat* (10b) und *AtmoStations* (10c) dargestellt. Trotz der höheren Niederschlagsmenge im nordöstlichen Teil ergibt sich für *AtmoSat* ein insgesamt leicht trockeneres Einzugsgebiet. Die Zunahme der Niederschlagsmenge zur Nordabdachung der Alpen hin ist in *AtmoSat* nicht so deutlich ausgeprägt wie in *AtmoMM5*. *AtmoStations* zeigt ähnliche Muster im Vergleich zu *AtmoMM5* wie *AtmoSat*, obwohl die trockeneren Gebiete leicht nach Nordosten hin versetzt sind, und die Unterschiede zu *AtmoMM5* im äußersten Norden des Einzugsgebietes geringer ausfallen als bei *AtmoSat*.

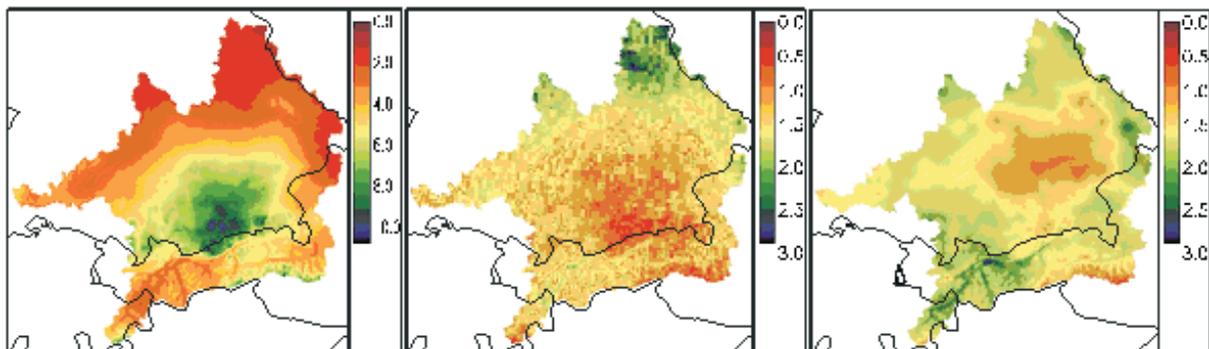


Abb. 10: mittlerer täglicher Niederschlag [mm] für *AtmoMM5* für Mai 1999 (a); Bias *AtmoSat-AtmoMM5* ($=\text{AtmoSat}/\text{AtmoMM5}$) für Mai 1999 (b); Bias *AtmoStations-AtmoMM5* ($=\text{AtmoStations}/\text{AtmoMM5}$) für Mai 1999 (c)

Insgesamt zeichnen sich die Niederschlagsflächen in *AtmoSat* durch eine differenziertere räumliche Struktur aus. Die Niederschlagsflächen in *AtmoMM5* und *AtmoStations* liefern

gute Ergebnisse hinsichtlich räumlich-zeitlich ausgedehnter Regengebiete, lassen aber Probleme bezüglich lokal und zeitlich begrenzter Regenflächen erkennen. Aufgrund der höheren zeitlichen Auflösung sind die Satellitendaten in der Lage, neben dem großflächigen Niederschlag auch die durch eine hohe zeitliche und räumliche Dynamik gekennzeichneten konvektiven Niederschlagszellen zu berücksichtigen.

5.3 Evaluierungsstudie für den Szenarienlauf

Im Zusammenhang mit dem Anfang März 2006 gestarteten Szenarienlauf für den Zeitraum 2000 bis 2100 wird ebenfalls ein Vergleich der drei Niederschlagsmeteorologien durchgeführt. In diesem Rahmen wird zur Zeit an einer gemeinsamen Veröffentlichung mit den Projektgruppen Meteorologie/Mainz und Meteorologie/München gearbeitet.

Im Folgenden werden erste Ergebnisse für den Juli und August 2002 exemplarisch dargestellt. Dieser Zeitraum wurde gewählt, weil der feuchte, stark konvektiv geprägte Juli und insbesondere der sehr feuchte August 2002 mit dem Auftreten des Elbehochwassers sich durch komplexe und extreme meteorologische Situationen auszeichnen. Aufgrund von Arbeiten an *AtmoStations* zur Verbesserung der Niederschlagsinterpolation im Alpenraum stand dieses Modell für die vorliegende Studie nicht zur Verfügung. Daher wurde vorübergehend auf das ähnliche Interpolationsverfahren *Obs2D* der Meteorologie/Mainz zurückgegriffen (vgl. Bericht Gruppe Meteorologie/Mainz (Prof. Dr. Wirth)).

In Abbildung 11 sind die Zeitreihen des täglichen mittleren Gebietsniederschlag für den Juli und August 2002 abgebildet. Die Niederschlagsereignisse und -mengen werden weitgehend übereinstimmend erfasst. Für den 08./09.07., den 20.07. und den 23.07. ist angesichts der durch kleinräumige konvektive Systeme geprägten Ereignisse von einer Unterschätzung der Niederschlagsmenge durch *AtmoMM5* und *Obs2D* auszugehen. Für den August 2002 ergibt sich insgesamt eine gute Übereinstimmung zwischen den drei Modellen. Für den 14.08. wird durch *AtmoMM5* im Vergleich zu den anderen Modellen zuviel Niederschlag produziert. Dagegen liefert *AtmoSat* für den 13.08. und 16.08. zu wenig Niederschlag. Gleiches lässt sich für *Obs2D* am 15.08. und 19.08. festhalten.

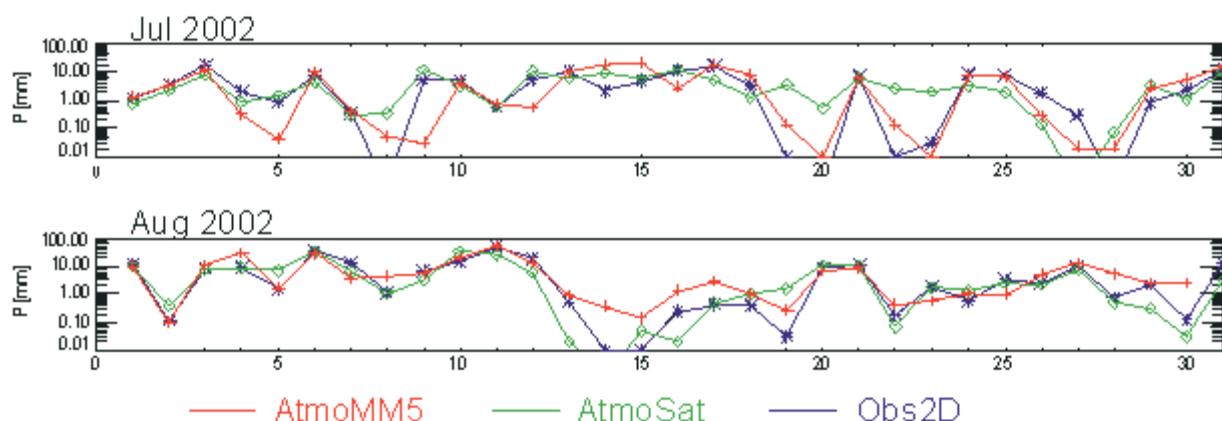


Abb. 11: mittlerer täglicher Gebietsniederschlag für Juli und August 2002

In Abbildung 12 ist die räumliche Verteilung des mittleren täglichen Niederschlags im Juli 2002 dargestellt. Für *AtmoMM5* ergibt sich ein räumlich stark differenziertes Bild. Die Unterteilung in einen sehr feuchten Südwesten und einen sehr trockenen Nordosten ist deutlich ausgeprägt. Der trockene Bereich im Nordosten ist ebenfalls in *Obs2D* zu erkennen. Im äußersten Nordosten finden sich dagegen in Übereinstimmung mit *AtmoSat* wieder feuchtere Gebiete. Eine feuchtere Region in der Nähe von Innsbruck wird von allen drei Modellen wiedergegeben. In *AtmoMM5* ist sie am deutlichsten ausgeprägt, in *AtmoSat* am geringsten. Hinsichtlich der räumlichen Verteilung der Niederschlagsmenge ergibt sich die größte Ähnlichkeit zwischen *Obs2D* und *AtmoSat*. Davon ausgenommen sind die in *Obs2D* feuchteren Gebiete im Südwesten und im Südosten. Der durch *AtmoSat* im Vergleich zu den beiden übrigen Mo-

dellen zu trockene Bereich der Alpen deutet auf den problematischen Einfluss der Orographie hin. Bei orographischen Stauniederschlägen mit erzwungener Hebung ist die zeitliche Dynamik der Wolkenoberflächentemperatur nicht so deutlich ausgeprägt wie bei Ereignissen mit freier Konvektion. Deshalb ist in diesen Fällen von einer Unterschätzung der Niederschlagsrate durch das Verfahren auszugehen (Arbeiten zu einer verbesserten Niederschlagszuweisung in Gebirgsräumen sind bereits angelaufen; vgl. Kap. 4.3.4). Dagegen spricht die ungleichmäßige Verteilung in *AtmoMM5* für eine Überschätzung der orographischen Niederschläge, wofür die allgemeine Problematik von Mesoskala-Modellen bezüglich orographischer Niederschläge verantwortlich gemacht werden kann.

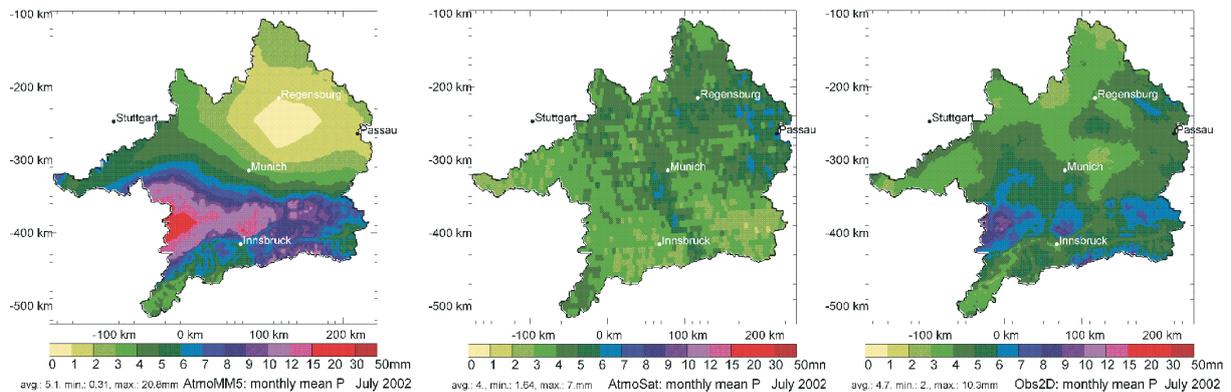


Abb. 12: täglicher mittlerer Niederschlag [mm] für *AtmoMM5*, *AtmoSat* und *Obs2D* für Juli 2002

Abbildung 13 zeigt die räumliche Verteilung des mittleren täglichen Niederschlags im August 2002. Insgesamt ist eine große Ähnlichkeit zwischen *Obs2D* und *AtmoMM5* zu erkennen. Die Hauptniederschlagsmengen fallen im Bereich der Alpen. Das Gebiet mit hohen Niederschlagssummen im nordöstlichen Bereich wird von allen drei Modellen einheitlich wiedergegeben. Die Abnahme der Niederschlagsmenge in Richtung Westen und Nordwesten wird ebenfalls einheitlich erfasst. Die räumliche Verteilung der Niederschläge ist in *AtmoMM5* am ungleichmäßigsten. Allerdings zeigt sich für den Bereich der Alpen eine stärkere Übereinstimmung mit *Obs2D*. Für den nordöstlichen Bereich des Einzugsgebiets ist die Ähnlichkeit zwischen *AtmoSat* und *Obs2D* am größten. Für den Bereich der Alpen ist erneut die Problematik der Orographie erkennbar. Für *AtmoSat* ist wiederum von einer Unterschätzung der Niederschlagsmengen aus bereits aufgeführten Gründen auszugehen. Dagegen kann man bei *AtmoMM5* von einer Überschätzung der Niederschläge sprechen.

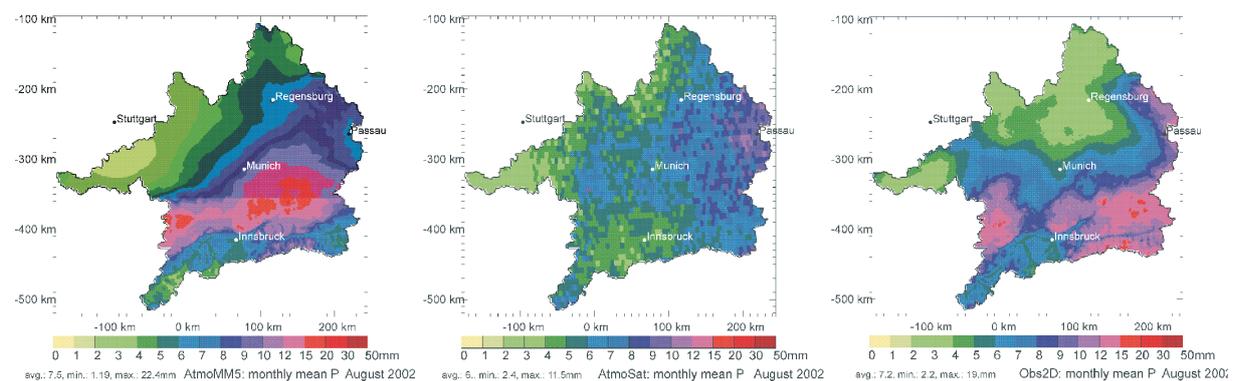


Abb. 13: täglicher mittlerer Niederschlag [mm] für *AtmoMM5*, *AtmoSat* und *Obs2D* für August 2002

In Übereinstimmung mit den bereits dargestellten Ergebnissen für den Mai 1999 ergibt sich aus dem Vergleich für den Juli und August 2002 folgendes Bild: Für zeitlich und räumlich begrenzte Niederschlagsereignisse, wie sie vermehrt im Juli aufgetreten sind, werden die Unterschiede zwischen den drei Modellen am größten. Für diese Fälle ist das hohe Potential, das sich durch die hohe raum-zeitliche Auflösung von *AtmoSat* ergibt, erkennbar. Für ausgehende Ereignisse nähern sich die Ergebnisse der drei Modelle einander an. Hinsichtlich des

Einflusses der Orographie lassen sich für *AtmoSat* sowie für *AtmoMM5* Schwächen im Bereich der Alpen erkennen. Abgesehen davon ist auch für *Obs2D* von solchen Schwierigkeiten auszugehen, da besonders in stark reliefierten Bereichen und bei einem gleichzeitig vergleichsweise dünnen Stationsnetz Fehler in der Interpolation nicht zu vernachlässigen sind.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Das *AtmoSat*-Objekt sowie das Atmosphere-Paket, deren Koordination beim Teilprojekt liegen, sind erfolgreich in DANUBIA integriert. Die Umstellung auf Danubia 1.0.0 mit den notwendigen Änderungen im Atmosphere-Paket wurde erfolgreich durchgeführt. Ende des Jahres 2004 wurde der Referenzlauf für den Zeitraum 1995 bis 2000 gerechnet. Die für diesen Zeitraum durchgeführte Vergleichsstudie zwischen den drei Niederschlagsmodellen zeigte gute Übereinstimmungen. Der Szenarienlauf für den Zeitraum 2000 bis 2100 wurde Anfang März 2006 gestartet. Die Evaluierung hinsichtlich der Niederschlagverteilung für ausgewählte Niederschlagsereignisse zeigt ebenfalls gute Ergebnisse. In Anlehnung an die vom World Weather Research Program und der WMO Working Group on Numerical Experimentation genannten Tests zur Validierung von verschiedenen Niederschlagsprodukten ist die Entwicklung eines Analyseprogramms zur kontinuierlichen Evaluierung der Niederschlagsmeteorologien in DANUBIA geplant.

Durch die Entwicklung von RADS und SACURA konnte das Retrieval hinsichtlich der Abgrenzung von Niederschlagsflächen entscheidend verbessert werden. Der Ausbau zur operationellen Hybridtechnik unter Verwendung von Mikrowellensensoren erfolgt im Rahmen von AMPE in Kooperation mit der Meteorologie der Universität Bonn, der Eumetsat NC-SAF und dem DWD-WZN. Die Entwicklung einer verbesserten Niederschlagsratenzuweisung in alpinen Räumen durch die Kopplung von Satellitendaten und Niederschlagsmessstationen wird im Rahmen einer Kooperation mit der Nationalparkverwaltung Berchtesgaden durchgeführt. In diesem Zusammenhang wurde Frau Dipl. Geographin Katja Trachte aus Grundmitteln angestellt, um die mit ARPS begonnenen Simulationsstudien zur Niederschlagsverteilung im Hochgebirge mittels MM5 zu intensivieren.

7. Literatur

- BAUER, P., BUROSE, D. und SCHULZ, J. (2002): Rain detection over land surface using passive microwave data. *Meteorologische Zeitschrift* 11, S. 37-48.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (2002): Das Niederschlagsgeschehen in Mitteleuropa in den ersten 12 Tagen des August 2002. - Online verfügbar unter http://www.glowa-elbe.de/presse/02_08_00dwd-rr-extrem.pdf (Stand 01.04.2005).
- KAWAMOTO, K., NAKAJIMA, T. und NAKAJIMA, T.Y. (2001): A global determination of cloud microphysics with AVHRR remote sensing. *Jolivet Journal of Climate* 14: S. 2054-2068.
- KOKHANOVSKY, A.A. und NAUSS, T. (2005): Satellite-based retrieval of ice cloud properties using a semi-analytical algorithm. *Journal of Geophysical Research - Atmospheres*, 110/D19, D19206, 10.1029/2004JD005744.
- KOKHANOVSKY, A.A. und NAUSS, T. (2006): A simplified cloud retrieval algorithm: the forward model, eingereicht bei *Atmospheric Chemistry and Physics*.
- KOKHANOVSKY, A.A., ROZANOV, V.V., NAUSS, T., REUDENBACH, C., DANIEL, J.S., MILLER, H.L. und BURROWS, J.P. (2005): The semianalytical cloud retrieval algorithm for SCIAMACHY. I: The validation. - *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 5: S. 1995-2015.

- KOKHANOVSKY, A.A., ROZANOV, V.V., ZEGER, E.P., BOVENSMANN, H. und BURROWS, J.P. (2003): A semianalytical cloud retrieval algorithm using backscattered radiation in 0.4-2.4 μm spectral region. - *Journal of Geophysical Research* 108: AAC 4-1-AAC, S. 4-19.
- LENSKY, I.M. und ROSENFELD, D. (2003): Satellite-based insights into precipitation formation processes in continental and maritime convective clouds at night-time. – *Journal of Applied Meteorology* 42: S. 1227-1233.
- NAKAJIMA, T. und KING, M.D. (1992): Asymptotic theory for optically thick layers: Application to the discrete ordinates method. - *Applied Optics* 31: S. 7669-7683.
- NAKAJIMA, T.Y. und NAKAJIMA, T. (1995): Wide-area determination of cloud microphysical properties from NOAA AVHRR measurements for FIRE and ASTEX regions. - *Journal of the Atmospheric Sciences* 52: S. 4043-4059.
- NAUSS, T. (2006): Das Rain Area Delineation Scheme RADS - ein neues Verfahren zur satellitengestützten Erfassung der Niederschlagsfläche über Mitteleuropa. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Naturwissenschaften. Marburger Geographische Schriften 143, im Druck.
- NAUSS, T. und KOKHANOVSKY, A.A. (2006a): Discriminating raining from non-raining clouds at mid-latitudes using multispectral satellite data. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 6, S. 1385-1398.
- NAUSS, T. und KOKHANOVSKY, A.A. (2006b): Validation of a satellite-based rain area delineation scheme for mid-latitudes, in Vorbereitung.
- NAUSS, T. und KOKHANOVSKY, A.A. (2006c): Retrieval of cloud properties from space: a simplified algorithm SLALOM, in Vorbereitung.
- NAUSS, T. und KOKHANOVSKY, A.A., NAKAJIMA, T.Y., REUDENBACH C. und BENDIX, J. (2005): The intercomparison of selected cloud retrieval algorithms. *Atmospheric Research* 78, S. 46-78.
- PLATNICK, S., KING, M.D., ACKERMAN, S.A., MENZEL, W.P. BAUM, B.A., RIÉDI, J.C. und FREY, R.A (2003): The MODIS cloud products: Algorithms and examples from Terra. - *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 41: S. 459-473.
- REUDENBACH, C., NAUSS, T. und BENDIX, J. (2005): Retrieving precipitation with GOES, Meteosat and Terra/MSG at the tropics and midlatitudes. In: LEVIZZANI, V., BAUER, P. und TURK, F.J. (eds.): *Measuring precipitation from space*.
- THIES, B., DIEDERICH, M. REUDENBACH, C., NAUSS, T., BENDIX, J. SCHULZ, J. und SIMMER, C. (2005): Comparison of an optical and a passive microwave rainfall retrieval over north-western Africa. *Eumetsat Meteorological Satellite Conference*, Dubrovnik, Croatia.
- WWRP/WGNE (Joint Working Group on Verification) (2005): *Forecast Verification - Issues, Methods and FAQ*. - Online verfügbar unter http://www.bom.gov.au/bmrc/wefor/staff/eee/verif/verif_web_page.html (Stand 01.04.2005).

Modellierung von Abfluss und Gewässerbeschafftheits-Parametern in der Oberen Donau

Teilprojekt: Oberirdische Gewässer
Leiter: Dr. W. Willems
Ausführende Stelle: Dr. Willems und Prof. Dr. Kleeberg GbR
Institut für Angewandte Wasserwirtschaft und Geoinformatik
(IAWG), Alte Landstrasse 12-14, 85521 Ottobrunn

1. Übersicht

Im Berichtszeitraum März 2005 - Februar 2006 wurden die folgenden Arbeiten im Teilprojekt Oberirdische Gewässer durchgeführt, die im Abschnitt 3 weiter erläutert werden:

Sektorale Arbeiten

- Weitergehende Neustrukturierung und Pflege der *Rivernetwork*-Komponente
- Erweiterung des Wassertemperaturmodells
- Implementierung und Parametrisierung des Talsperrenmoduls
- Implementierung und Parametrisierung der Donau-Main-Überleitung
- Arbeiten zur Kanalnetzgenerierung
- Detektion von Überlastungen
 - Quantifizierung von Hoch- und Niedrigwassersituationen
 - Quantifizierung der Überlastung von Talsperren und Überleitungen
 - Quantifizierung der Überlastung von Kläranlagen
- Fehlermodellierung / Fehlerfortpflanzung

Integrale Arbeiten

- Änderungen und Erweiterungen von Schnittstellen zu Landsurface, Groundwater, Economy, Household, Tourism und Biological
- Auswertungen von GLOWA-Danube-Läufen
 - Statuskonferenz: Instationäre Wahrscheinlichkeitsanalyse von Niedrigwasserabflüssen entlang der Donau (Simulationszeitraum 2000 bis 2100)
 - Auswertungen des GLOWA-Laufes vom Februar 2006 (Simulationszeitraum 2000 bis 2013)
- Beteiligung an Veröffentlichungen und Mitarbeit am GLOWA - Danube - Atlas.

2. Organisatorisches

Die folgenden Personen waren im Berichtszeitraum März 2005 - Februar 2006 an dem Projekt beteiligt:

- Dr. Winfried Willems
- Dipl.-Ing. Konstantin Stricker
- Dipl.-Geogr. Peter Klotz (seit Mai 2005)
- Dipl.-Math. Georg Kasper
- Cand. Ing. Carola Schmidt

Winfried Willems leitet das Projekt und ist zuständig für statistische Auswertungen, Georg Kasper pflegt und erweitert die Wasserfluss- und Wasserbeschaffenheitsmodule der *Rivernetwork*-Komponente, Konstantin Stricker bearbeitet die Kanalnetzgenerierung und spezielle GIS-Fragestellungen, Peter Klotz implementiert die Talsperren und Donau-Main-Überleitung und ist zusammen mit Winfried Willems zuständig für Fehlerbetrachtungen und die Beiträge des Teilprojektes zum GLOWA-Danube-Atlas, Carola Schmidt ist zuständig für Daten- und Literaturbeschaffungen.

3. Stand der Arbeiten

3.1 Sektorale Arbeiten

3.1.1 Weitergehende Neustrukturierung und Pflege der *Rivernetwork*-Komponente

Vor der Neustrukturierung besaß die *Rivernetwork*-Komponente zwei Sichtweisen zur Durchführung der Routing-Vorgänge: Ein Proxel gehört zu dem rund 2500 km langen Hauptflussnetz, dass mit Daflow geroutet wird oder es gehört zum Muskingum-Flussnetz der Kopfgebiete und Nebenflüsse. Auf diesem wird das Routing von einem zu dem nächsten Proxel durch die Muskingum-Methode durchgeführt. Die Modellierung der Wasserbeschaffenheitsparameter erfolgte ausschließlich auf dem Hauptflussnetz, zusätzlich seit dem letzten Jahr Nitrat in vereinfachter Form in den Kopfgebieten und Nebenflüssen.

Diese strikte 2-Teilung in Hauptflussnetz und Nebenflüsse wird durch die 2004 begonnene und im Berichtsjahr fortgeführte Neustrukturierung aufgehoben. Hierzu wird ein allgemeiner Rahmen realisiert, in dem einzelne Gebiete mit verschiedenen Routingverfahren modelliert werden können. Hierzu wird das gesamte Danubia-Einzugsgebiet im Rahmen eines Präprozessings in Objekte zerlegt. Ein Objekt wird charakterisiert durch eine Menge von Proxeln, die die Gebietsfläche des Objektes definieren, sowie einer Prozessbeschreibung, die auf genau den Proxeln des Objekts angewandt wird. Die einzelnen Objekte werden hintereinander in einer hydrologisch sinnvollen Reihenfolge abgearbeitet. Dabei wird der Abfluss aus einem Objekt in das folgende Objekt als Zufluss übertragen. Ein spezieller Objekttypus kann dabei durchaus mehrfach vorkommen. In einzelnen werden folgende Objekte realisiert: Seen, Talsperren, Daflow-Flussnetze, Muskingum-Flussnetze für Abfluss und Nitrat, Wasserentnahmestellen für Überleitungen und Pegel. Eine strikte Trennung zwischen dem Abflussroutings und der Modellierung der Wasserbeschaffenheit wird aufgrund der engen Verknüpfung beider Aufgaben nicht durchgeführt. Ein Objekt kann auch zur Bestimmung von speziellen Zuständen auf einem Proxel eingesetzt werden. So fügt sich die Bestimmung von Hochwasser- und der Wasserverfügbarkeitsflaggen in dieses Schema ein, indem als Gebiet alle Proxel mit der jeweiligen Prozessbeschreibungen für die geforderten Ereignisse ein Objekt bilden.

Details zur internen Strukturierung und Funktion der Komponente ist im folgenden UML-Diagramm ersichtlich. Die *Rivernetwork*-Klasse realisiert das Danubia-Modell und übernimmt die komplette Kommunikation mit dem Framework. Die Klasse *ModelManager* liest eine Liste der benötigten Objekte ein, erzeugt diese und sorgt für die Berechnung der Objekte in der korrekten Reihenfolge auf Anforderung des Danubia-Modells. Zur Realisierung der Objekte dient die Basisklasse *RoutingModel*. Hier werden alle grundlegenden Funktionen definiert. Die eigentli-

chen Modelle werden durch Klassen repräsentiert, die hiervon abgeleitet sind. Durch diese objektorientierte, programmieretechnische Modellierung auf Basis eines generischen Modells und unter Einsatz von Polymorphie ist die Komponente erweiterbar, so dass künftig neue Objekte einfach und performant innerhalb der *Rivernetwork*-Komponente integrierbar sind.

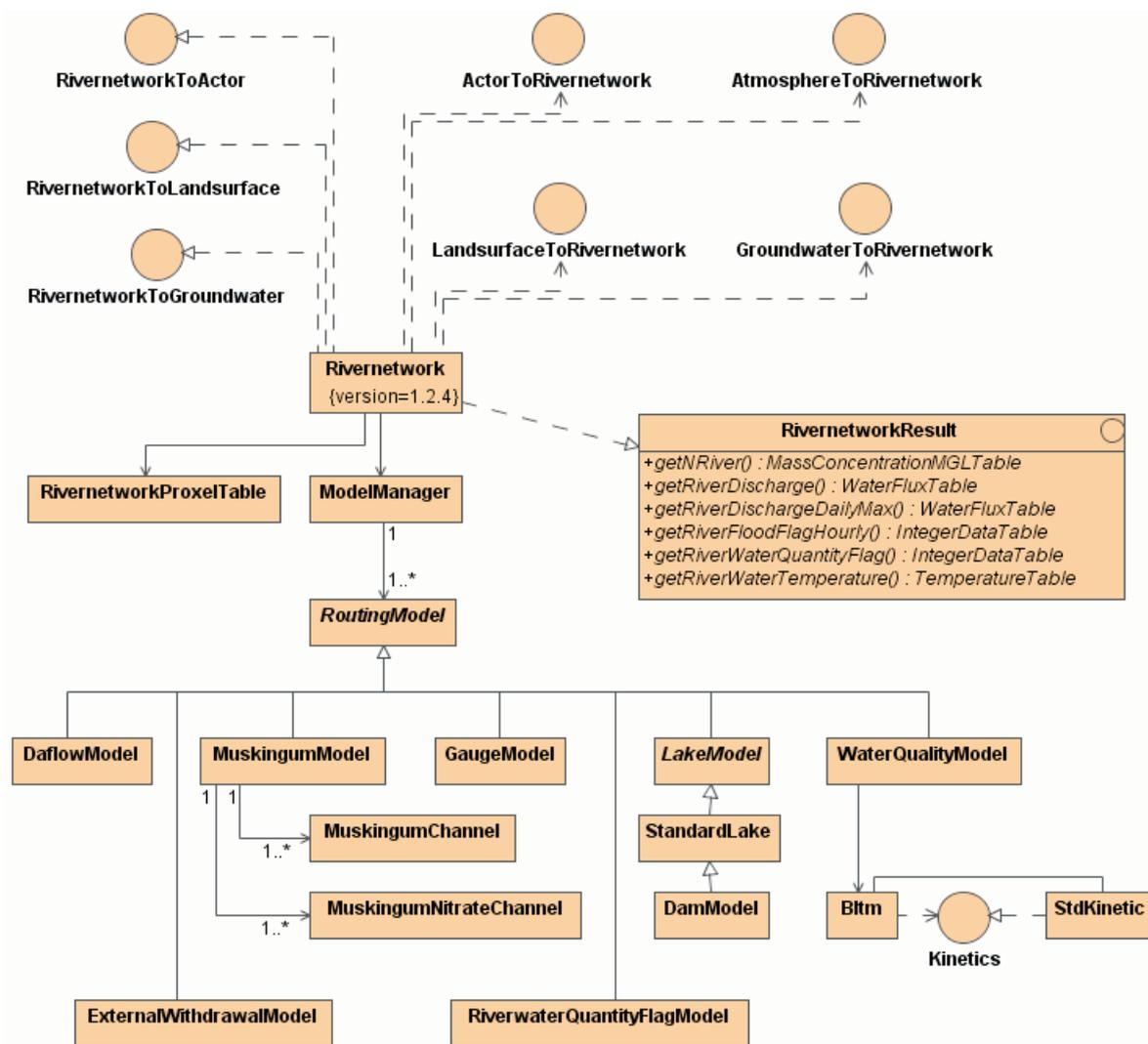


Abb. 1: Struktur der *Rivernetwork*-Komponente

Die aktuellen Schnittstellen zu allen Hauptkomponenten ist in dem folgenden UML-Diagramm dargestellt (Abb. 2). Dabei sind im Berichtsjahr zahlreiche Änderungen an den Schnittstellen vorgenommen worden, die hier nicht im Einzelnen erläutert werden. Hinzugekommen sind insbesondere Methoden zur Übernahme der Bodentemperatur von der Landsurface-Komponente sowie Methoden zur Übergabe der weiter unten erläuterten Flaggen an die *Actor*-Komponente.

3.1.2 Erweiterung des korrigierten Wassertemperatur-Modells

Die Berechnung der Wassertemperaturen in den Fließgewässern innerhalb von BLTM erfolgt über die Beschreibung des Energietransfers zwischen der Atmosphäre und der Wasseroberfläche, wobei die Annahme zugrunde liegt, dass die Gleichgewichtstemperatur des Wasserkörpers in den Flüssen mit der Gleichgewichtstemperatur der Atmosphäre gleichgesetzt werden kann. Die daraus resultierenden Probleme in den Wintermonaten und die Art der hier vorgenommenen Korrektur des originären BLTM-Ansatzes wurde im letzten Jahresbericht kurz beschrieben. Zur sektoralen Validierung des korrigierten Wassertemperatur-Modells werden in Abbildung 3 die erzielten Nash-Sutcliffe-Gütwerte an insgesamt 36 Gewässergütepegeln dargestellt, die beim Referenzlauf (April 2005) über den Zeitraum 1995 bis 2000 erzielt wurden. Dabei lieferte das im Endbericht zur ersten Phase beschriebene, statistische Wassertemperatur-Modell die Eingangsdaten an den jeweiligen Anfangsknoten des BLTM-Gewässernetzes. Man erkennt überwiegend gute bis sehr gute Übereinstimmungen zwischen Messung und Berechnung.

Wie Abbildung 2 entnommen werden kann, werden die innerhalb der Landsurface-Komponente ermittelten Bodentemperaturen an die *Rivernetwork*-Komponente übergeben. Die Ermittlung der Wassertemperaturen in den Kopfgebieten erfolgt nun, indem eine gewichtete Mittelung der prozelbezogenen Bodentemperaturen mit dem im IAWG-Endbericht der ersten Phase beschriebenen statistischen Wassertemperaturmodell durchgeführt wird.

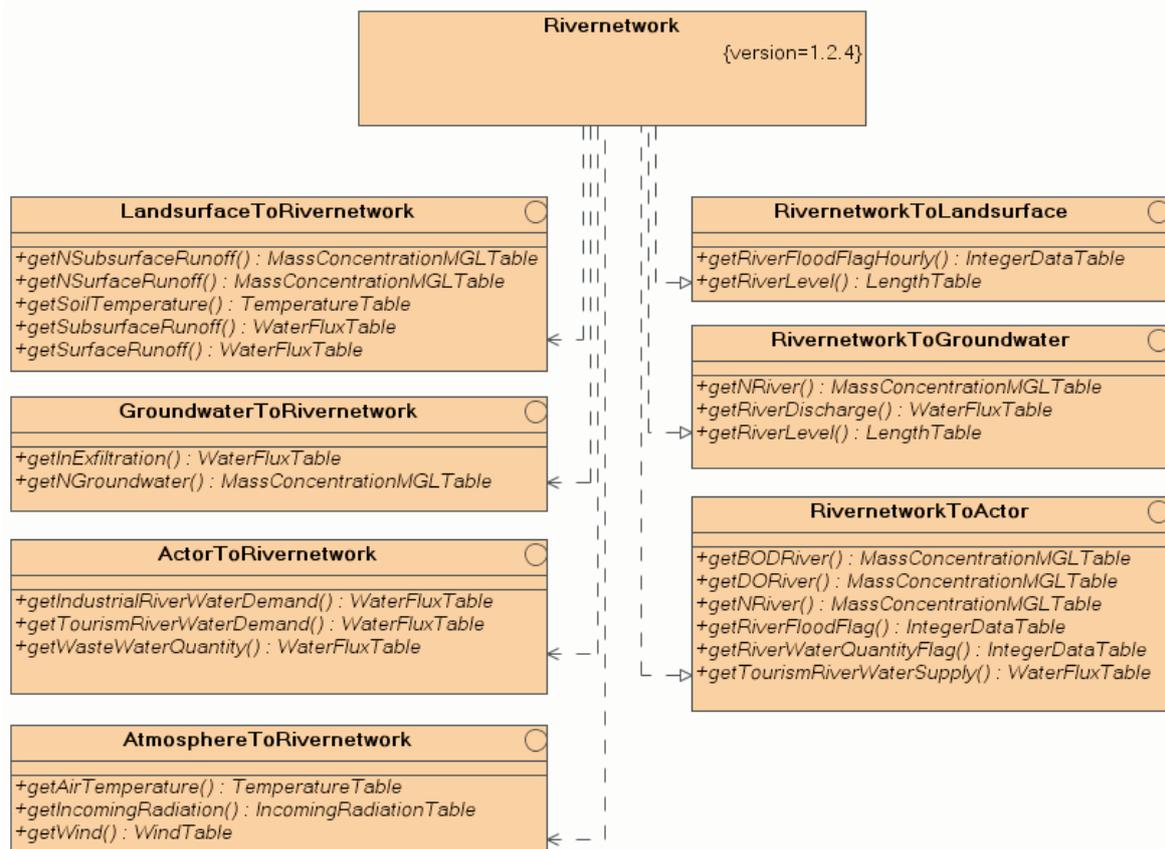


Abb. 2: Schnittstellen der *Rivernetwork*-Komponente

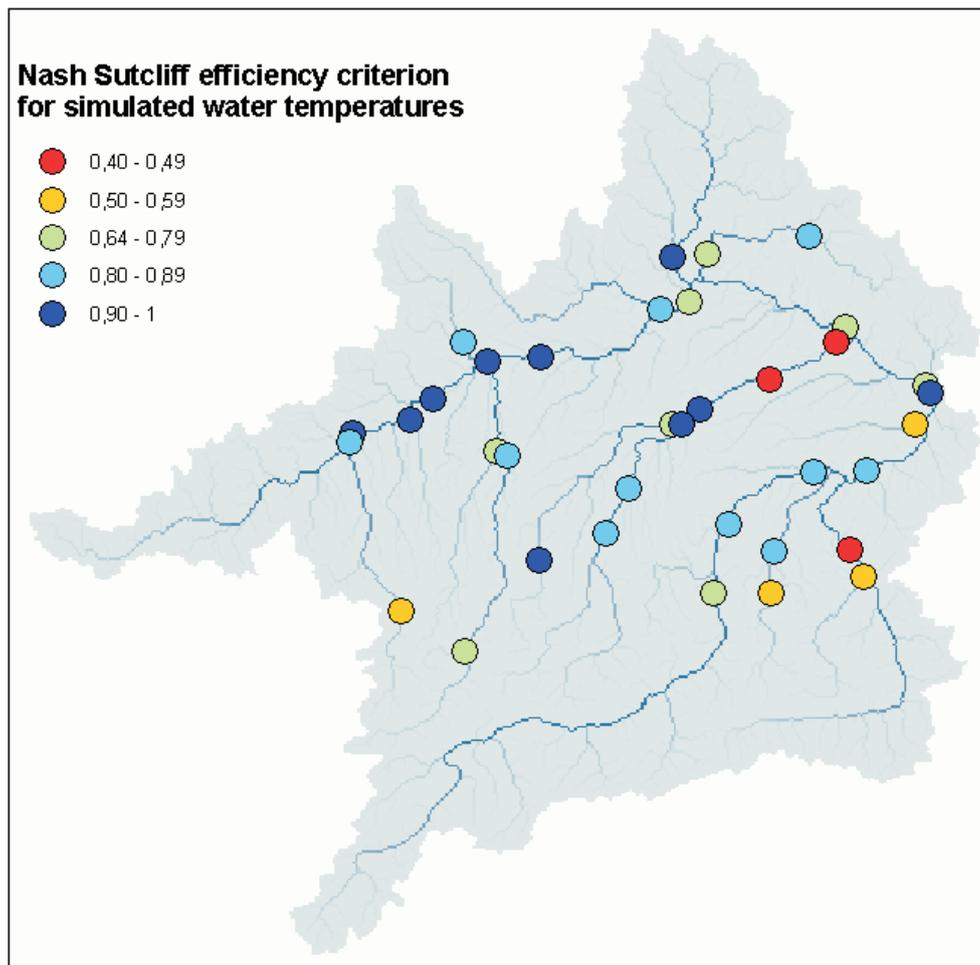


Abb. 3: Sektorale Validierung des korrigierten Wassertemperatur-Modells

3.1.3 Implementierung und Parametrisierung des Talsperrenmoduls

Eine Übersicht über Ansätze zur Modellierung von Talsperren liefern OSTROWSKI und LOHR (2002). In ihrem sehr weitgehenden Modellansatz zeigen sie, dass es möglich ist, die Betriebsweisen direkt in die jeweils gültigen Speicherdifferentialgleichungen zu integrieren und numerisch zu lösen, indem auf einen von OSTROWSKI (1992) vorgeschlagenen, allgemeinen, bereichsweise linearen Speicherbaustein aufgesetzt wird. Die hier implementierte Lösung ist demgegenüber einfacher gehalten, wobei wegen der kleinen Zeitschrittweite der Modellierung im GLOWA-Danube-System dennoch darauf geachtet wird, dass neben den Betriebsregeln auch Retentionseffekte der Wasserkörper abgebildet werden. Dazu wird zunächst das im letzten Jahresbericht vorgestellte Seerentionsverfahren angewandt und anschließend die Auswirkung relevanter Betriebsregeln berechnet. Die Talsperren im Untersuchungsgebiet unterscheiden sich durch unterschiedliche Funktionen (z.B. Hochwasserrückhalt, Niedrigwasseraufhöhung, Trinkwasserspeicher, Energiegewinnung) und entsprechend unterschiedlichen Kenngrößen und Betriebsregeln (Normalstauziel, Gesamtstauraum, Kapazität der Ablassbauwerke, Abgaberegeln, etc.). Um einen universellen Einsatz des Talsperrenmodells zu gewährleisten, werden daher die Steuerungsgrößen für die wichtigsten der in OSTROWSKI et. al. (2000) vorgestellten Betriebsregel-Typen über individuelle Initialisierungsdateien zur Verfügung gestellt. Die zeitvarianten Parameter zur Umsetzung der Betriebsregeln umfassen unter anderem den Höchst-, Normal-, und Tiefststau, Lamellenpläne mit den Abgabemengen in Beziehung zu verschiedenen Stausituationen, die Kapazitäten der Ablassbauwerke, Zielvorgaben für Niedrigwassererhöhungen und Maximalabflussmengen an bestimmten Pegeln. Die Parameter werden, soweit vorhanden, der Literatur entnommen oder auch im direkten Kontakt mit den entsprechenden Stellen erfragt. Eine Validierung des Modells erfolgt am Beispiel des Sylvensteinspeichers, zu dem detaillierte Unterlagen über Funktion und Bewirtschaftung vorliegen

(WINNER 2001 sowie zahlreiche Informationen, die dem IAWG direkt vom Wasserwirtschaftsamt Weilheim zur Verfügung gestellt wurden). Abbildung 4 zeigt das Stauvolumen sowie die Abgabe aus dem Speichersee, jeweils gemessen und simuliert für das Jahr 1999. Ein Vergleich der gemessenen und simulierten Abgaben ergibt einen Nash-Sutcliffe-Koeffizienten von 0,64 (siehe Abb. 4). Anzumerken ist, dass für die Steuerung der Abgabemenge auch der Abfluss am rund 25km unterhalb des Sees gelegenen Pegels Bad Tölz maßgeblich ist, da dort je nach Jahreszeit ein Minimalabfluss von 20 bzw. 10 m³/s gewährleistet werden muss und ein maximaler Abfluss von 450m³/sec nicht überschritten werden darf. Bei der Validierung kann allerdings nicht auf Zeitreihen dieses Pegels zurückgegriffen werden, da dieser von der simulierten Abgabemenge aus dem See bestimmt wird. Der Pegel Bad Tölz wird daher synthetisch aus der Speicherabgabe errechnet. Neben den vorgegebenen Steuerungsregeln unterliegt die Bewirtschaftung auch weiteren Faktoren, die von dem Modell nicht abgebildet werden können. Dies können beispielsweise Wasserabgaben oder -rückhalt aufgrund von Wartungsarbeiten sein, oder auch vorausschauende Bewirtschaftungsmaßnahmen als Reaktion auf Niederschlagsprognosen.

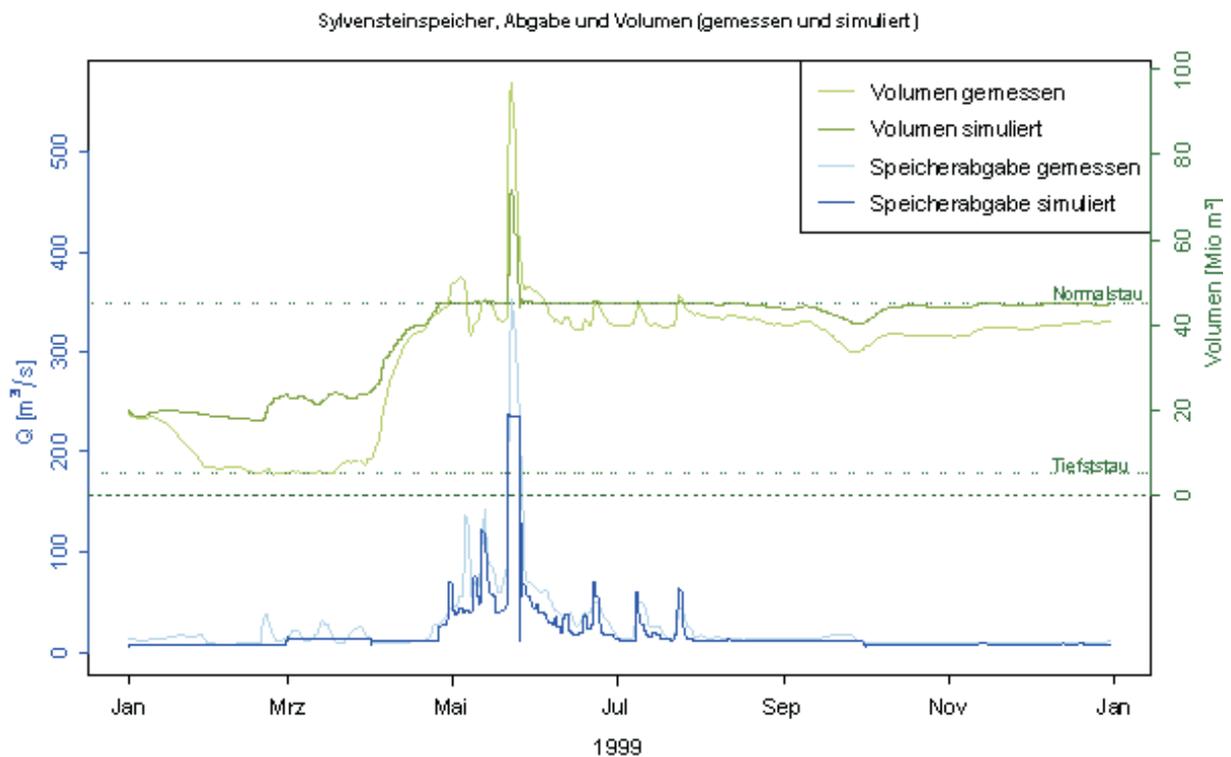


Abb. 4: Validierung des Talsperrenmodells am Sylvensteinspeichers

3.1.4 Implementierung und Parametrisierung der Donau-Main-Überleitung

KARL et al. (2000) beschreiben die der Donau-Main-Überleitung zugrundeliegenden Steuerungsregeln, die dazu führen, dass im Mittel ca. 150 Mio Kubikmeter Wasser pro Jahr aus dem Donau-Einzugsgebiet über die europäische Wasserscheide hinweg in das Main-Einzugsgebiet transferiert werden. Rund 80% (125 Mio m³/a) entfallen dabei auf die sogenannte Kanalüberleitung. Da sich deren Steuerung an der Abflusssituation des Pegels Hüttendorf an der maintributären Regnitz orientiert, liegt damit die wesentliche Steuerungsgröße außerhalb des GLOWA-Danube-Einzugsgebietes. Um die Überleitung dennoch integrieren zu können, werden die Abflüsse am Pegel Hüttendorf mittels einer Regressionsbeziehung ermittelt, wobei als erklärende Variablen 3 Pegel im Donau-Gebiet fungieren (Harburg / Wörnitz, Deuerlingen / Schwarze Laber, Heitzenhofen / Naab, siehe Abb. 5). Die Parameter des Regressionsmodells wurden dabei anhand von Abflusszeitreihen über den Zeitraum 1970 bis 1992 geschätzt, also vor der Inbetriebnahme der Überleitung und damit auf der Grundlage von noch unbeeinflussten Abflussdaten des Pegel Hüttendorfs. Das Bestimmtheitsmaß der Regression beträgt 0,88.

Während der GLOWA-Danube-Simulationsläufe werden die modellierten Abflüsse am Donaupegel Kelheim und die statistisch generierten am Pegel Hüttendorf in jedem Zeitschritt überwacht. Bei Unterschreitung der kritischen Schwelle von $27\text{m}^3/\text{s}$ (Winterhalbjahr: $22\text{m}^3/\text{s}$) am Pegel Hüttendorf/Regnitz wird das Defizit durch Wasserentnahme aus der Donau bei Kelheim ausgeglichen. Dabei wird zudem berücksichtigt, dass der geforderte Mindestabfluss von $140\text{m}^3/\text{s}$ in der Donau verbleibt. Die maximale Entnahme ist begrenzt durch die Pumpleistung der Wehre entlang des Donau-Main-Kanals und somit auf $15.75\text{m}^3/\text{s}$ festgelegt. Neben den hier aufgeführten und im Modell implementierten Steuerungsparameter werden bei der realen Steuerung noch weitere Größen wie zum Beispiel der Seespiegelstand im Zwischenspeicher Rothsee berücksichtigt. Aufgrund ihrer geringen Relevanz und der Lage außerhalb des Untersuchungsgebiets sind diese Einflussgrößen jedoch bisher nicht im Modell integriert.

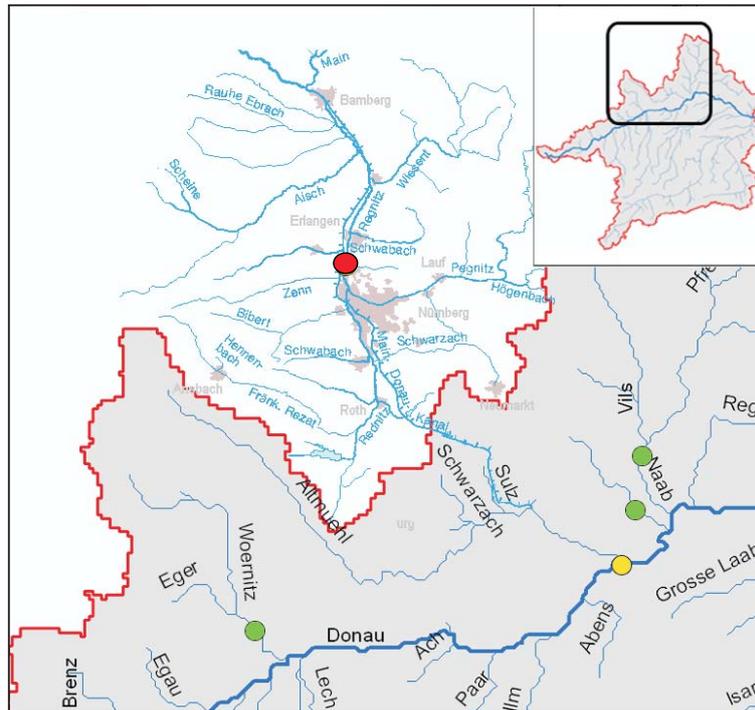


Abb. 5: Steuerungsgrößen für die vereinfachte Implementierung der Kanalüberleitung der Donau-Main-Überleitung: gelb: Pegel Kelheim, rot: Pegel Hüttendorf, grün: Pegelstellen im Donaueinzugsgebiet, die zur Abschätzung der Abflüsse am Pegel Hüttendorf verwendet werden

Das System der Donau-Main-Überleitung umfasst neben der Kanalüberleitung auch den Wassertransfer über die Brombachüberleitung (ca. 25 Mio. m^3/a). Dabei wird Wasser aus dem Altmühlsee und somit aus dem Donaueinzugsgebiet über den Altmühlüberleiter in den maintributären Brombachsee geleitet. Neben der Niedrigwassererhöhung im Regnitz-Main-Gebiet wird dabei auch dem Hochwasserschutz im mittleren Altmühltal Rechnung getragen. Die komplexe Steuerung dieser Überleitung beruht auf mehreren Systemzuständen außerhalb des GLOWA-Gebiets, so dass hier aus Gründen der Durchführbarkeit eine konstante Wasserabführung aus der Altmühl implementiert wurde.

3.1.5 Arbeiten zur Kanalnetzgenerierung

Die Wasserflüsse in urbanen Einzugsgebieten unterscheiden sich von den Wasserflüssen in natürlich geprägten Einzugsgebieten in wesentlichen Punkten: die Versickerung ist aufgrund von versiegelten Flächen stark reduziert, so dass die Aufteilungsraten zwischen den verschiedenen Abflusskomponenten erheblich verändert sind, die Fließwege folgen nicht zwangsläufig dem größten Gefälle und die Wasserbewegung unterliegt, abhängig von den wirksamen technischen Bauwerken, veränderten Gesetzen. Obwohl die Komplexität städti-

scher Entwässerungssysteme hier nicht annähernd abgebildet werden kann, sollen deren Grobstrukturen innerhalb der *Rivernetz*-Komponente in stark vereinfachter Weise modelliert werden. Im ersten Schritt ist es dazu erforderlich, die städtischen Kanalnetze synthetisch zu erzeugen (vgl. dazu RÖDDER und GEIGER 1996), wobei als Grundlagendaten Informationen zur Lage und zu Ausbau-Einwohnerwerten von Kläranlagen, Gemeindegrenzen, das Höhenmodell und Daten zur Bevölkerungsdichte einfließen.

Der Algorithmus zur Generierung der Kanalnetze wird auf das Prinzip der so genannten Kostendistanz aufgesetzt: Dazu werden die Proxel als Netz von miteinander verknüpften Zellenmittelpunkten betrachtet. Es wird nun ausgehend von einer Startzelle, dem Kläranlagenstandort, für jede benachbarte Zelle der akkumulierte Widerstand berechnet, mit welchem die Zelle erreicht werden kann. Das Kläranlageneinzugsgebiet wächst dann in einem Iterationsschritt um diejenige Zelle, bei der dieser Widerstand am kleinsten ist. Als Widerstandsmaß wird hier der Quotient HKA/HA genutzt. Dabei ist HA die Geländehöhe des betrachteten Proxels und HKA die Geländehöhe des Ausgangsproxels. Zusätzlich werden die Kosten beim Überschreiten von Gemeindegrenzen stark erhöht. Dies führt dazu, dass das Kläranlageneinzugsgebiet tendenziell innerhalb der Gemeindegrenzen und in Richtung zunehmender Geländehöhen wächst, so dass bei der vorzunehmenden Kanalisierung natürliche Gefälle zur Kläranlage hin genutzt werden können. Dieses anisotrope Wachstum wird solange fortgesetzt, bis die innerhalb der erzeugten Grenzen kodierte Bevölkerungsanzahl der aus dem Kläranlagenkataster bekannten Ausbau-Einwohnerzahl der Kläranlage möglichst ähnlich ist. Im letzten Schritt werden nicht besiedelte Proxel innerhalb der generierten Kläranlageneinzugsgebiete entfernt.

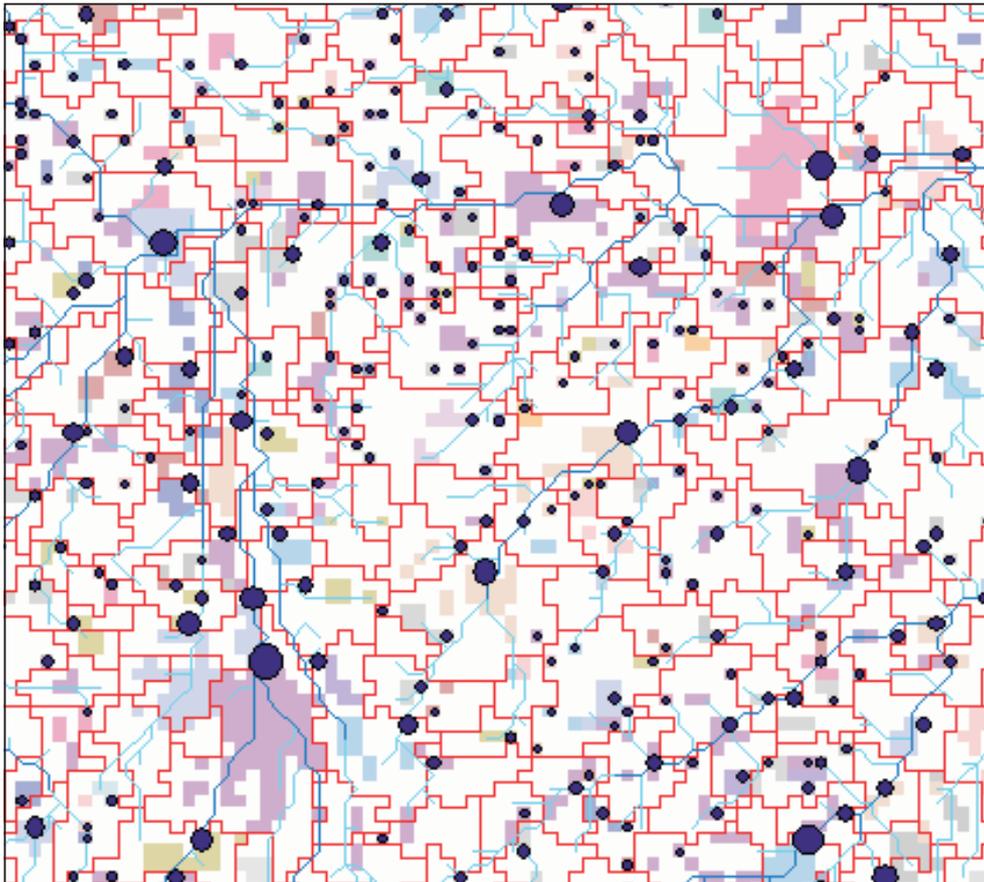


Abb. 6: Generierte Kläranlageneinzugsgebiete im Raum Augsburg - Ingolstadt - Donauwörth. Schwarze Kreise: Kläranlagenstandorte aus Kataster mit Kreisradius proportional zur Ausbau-Einwohnerzahl, rot: Gemeindegrenzen, ausgefüllte Flächen: generierte Kläranlageneinzugsgebiete

Abbildung 6 zeigt das Ergebnis des hier nicht in allen Details erläuterten Verfahrens für den Raum Augsburg - Ingolstadt - Donauwörth. Den Vergleich der Ausbau-Einwohnerzahl mit den anhand des Verfahrens ermittelten Bevölkerungszahlen innerhalb von insgesamt 459 Kläranlageneinzugsgebieten zeigt Abbildung 7, das Bestimmtheitsmaß beträgt 95%.

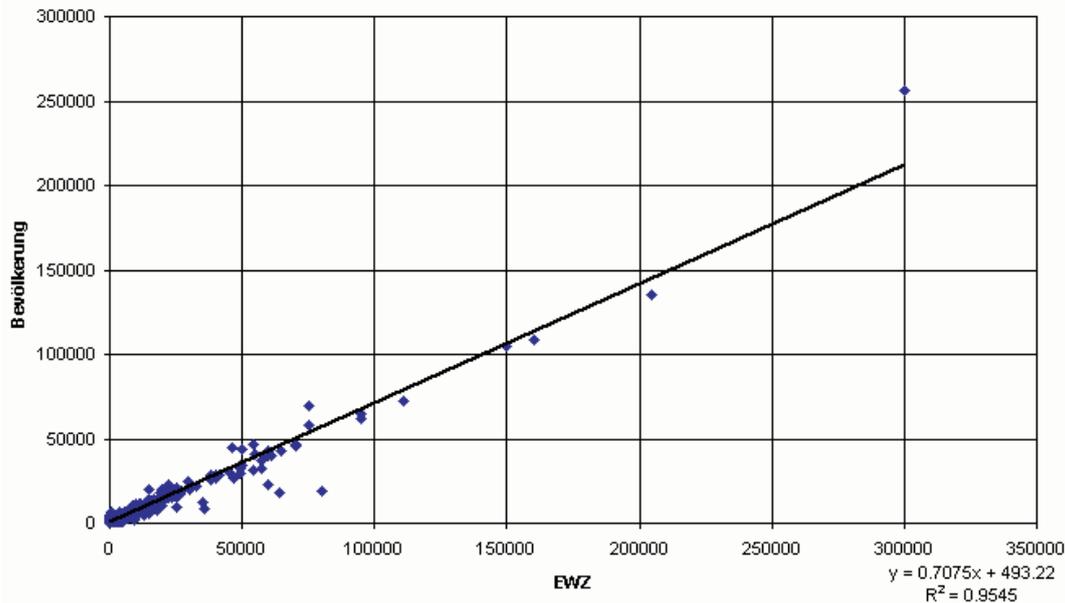


Abb. 7: Vergleich der Ausbau-Einwohnerzahl mit der innerhalb der generierten Kläranlageneinzugsgebieten kodierten Bevölkerungszahl

3.1.6 Detektion von Überlastungen

Eine Teilaufgabe der AG Oberirdische Gewässer besteht in der Erkennung von Überlastungen innerhalb der *Rivernetz*-Komponenten. Im Wassermengenbereich sind diese gekennzeichnet durch zu hohe Abflüsse oder zu niedrige Abflüsse, überlastete Kanäle oder anspringende Entlastungsanlagen, im Wasserbeschaffenheitsbereich sind es überschrittene Grenzwerte oder überlastete Kläranlagen. Diese Überlastungen werden innerhalb der *Rivernetz*-Komponenten durch vereinfacht ermittelte Indizes detektiert und, sofern weitergehende Implikationen für andere beteiligte Arbeitsgruppen vorliegen, an diese weitergegeben. Dabei wird hier auf das im GLOWA-Danube-System eingeführte Flaggenkonzept aufgesetzt, was hier bedeutet, dass die Schwere der Belastungssituation durch eine abgestufte Klasseneinteilung quantifiziert wird.

Zum jetzigen Zeitpunkt sind Detektoren für Hoch- und Niedrigwassersituationen im Gewässernetz sowie für Überlastungen von Talsperren und Überleitungen implementiert. Zur Kennzeichnung der Überlastung von Kläranlagen ist der zentrale Algorithmus bisher extern implementiert, aber noch nicht in das GLOWA-Danube-System integriert.

Im Folgenden werden die im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten zur Detektion von Überlastungen erläutert.

Überlastungen im Wassermengenbereich: Hochwasser

Hochwasser führen zu Überschwemmungen und damit in agrarisch genutzten Bereichen je nach Vegetationsphase zu Minderung oder Totalausfall der Ernte, in Siedlungsbereichen zu direkten und indirekten Schäden (derzeit innerhalb von GLOWA-Danube nicht betrachtet) und psychischen Belastungen der Bevölkerung. Obwohl damit eigentlich die aus den Abflüssen resultierenden Wasserstände und die damit verbundenen Überschwemmungsbereiche Ausdruck der Überlastungen sind, werden hier keine hydraulischen Berechnungen zur

Umsetzung der Abflüsse in Wasserstände durchgeführt, da dazu die entsprechenden Daten fehlen. Vielmehr ist die Vorgehensweise so, dass Abflussgrenzwerte festgelegt werden. Bei Unterschreitung dieser Werte kann davon ausgegangen werden, dass es zu keiner Überschwemmung kommt (Klasse 1). Bei Überschreitung werden Proxel überschwemmt (Klasse 2) oder sogar erheblich überschwemmt (Klasse 3).

Die Überschwemmung wird für jedes Proxel getrennt ermittelt, sie dehnt sich also auch bei sehr starker Überschreitung des Grenzabflusses nicht ausgehend von einem Proxel auf benachbarte Proxel aus. Dennoch entstehen bei der Vorgehensweise zusammenhängende Überschwemmungsbereiche, weil bei starker Überschreitung an einem Proxel die Wahrscheinlichkeit groß ist, dass auch benachbarte Proxel von großen Abflüssen betroffen sind. Die Abflussgrenzwerte werden wie folgt festgelegt:

- Klasse 1: Abflüsse in nicht bebauten Gebieten kleiner als das zweijährliche Hochwasser, in bebauten Gebieten kleiner als das hundertjährige Hochwasser
- Klasse 2: Abflüsse in nicht bebauten Gebieten größer gleich dem zweijährlichen Hochwasser (in bebauten dem hundertjährigen) aber kleiner als das zehnjährliche (in bebauten Gebieten das zweihundertjährige)
- Klasse 3: Abflüsse in nicht bebauten Gebieten größer als das zehnjährliche Hochwasser (in bebauten Gebieten das zweihundertjährige)

Die untere Klassengrenze für die unbebauten Gebiete basiert auf Erkenntnissen der so genannten Regimetheorie (LEOPOLD 1994), die Klassengrenzen für die bebauten Gebiete auf den in Deutschland weithin angewandten Bemessungsregeln (s. z.B. LFU 2005).

Für die Umsetzung des Konzeptes ist es erforderlich, dass für jedes Proxel statistisch ausgewertet wird, wie groß dort der Hochwasserabfluss für die Jährlichkeiten $T=2,10,100$ und 200 ist. Dies erfolgt aufgrund von 76000 Wahrscheinlichkeitsanalysen der Hochwasserserien (jährliche Höchstwerte), die anhand des GLOWA-Validierungslaufes mit der DANUBIA-Light-Version über den Zeitraum 1971 bis 2002 extrahiert werden. Als Wahrscheinlichkeitsverteilung wird dabei stets die Verallgemeinerte Extremwertverteilung zugrunde gelegt und als Parameterschätzverfahren die Maximum-Likelihood-Methode (vgl. DVWK 1999). Die so ermittelten Werte werden durch Vergleich mit empirischen Quantilen validiert und in den Fällen, in denen der Abstand zwischen empirischem und theoretischem Quantil zu groß ist, mittels der empirischen Quantile korrigiert.

Die Hochwasserflagge wird derzeit an die Gruppen *Biological* und *Household* weiter gegeben.

Überlastungen im Wassermengenbereich: Niedrigwasser

Wenn Abflüsse vorgegebene Mindestwerte unterschreiten, treten in der Regel Nutzungsbeschränkungen auf. Bei der Definition der Mindestwerte wird hier auf Konzepten zur Festlegung von Mindestwasserabflüssen aufgesetzt. In LAWA (2001) werden dabei zwei, in der Komplexität deutlich unterschiedliche Ansätze vorgestellt, der Biotop-Abfluss-Ansatz und der ökohydrologische Ansatz. Letzterer besteht im einfachsten Fall lediglich in der Festlegung eines - ggf. saisonal differenzierten – mittleren Niedrigwasserabfluss MNQ als Mindestabfluss, der bei Wasserentnahmen aus dem Fließgewässer eben noch in diesem verbleiben muss. Wenngleich „...je nach Gewässertyp und stattfindender Nutzung der Wert MNQ als unangebracht zu hoch oder aber besorgniserregend zu niedrig...“ ist (LAWA, o.J.), wird hier eine aus fünf Klassen gebildete Klasseneinteilung vorgenommen, die sich an den Niedrigwasserabfluss der Jährlichkeiten $T=2,10, 100$ und 200 orientiert. Der Niedrigwasserabfluss der Jährlichkeit $T=2$, also der mediane Niedrigwasserabfluss, ist dabei mit dem arithmetischen Mittelwert MNQ vergleichbar, bietet aber den Vorteil der robusteren Abschätzbarkeit.

Wie beim Hochwasser wird auch bei der Ermittlung der Niedrigwasserquantile die verallgemeinerte Extremwertverteilung als Wahrscheinlichkeitsverteilung und die Maximum-Likelihood-Methode zur Parameterschätzung zugrunde gelegt. Die Niedrigwasserserien werden ebenfalls anhand des DANUBIA-Light-Validierungslaufes über den Zeitraum 1971-2002 extrahiert und auch die Korrektur nicht plausibler Schätzungen erfolgt wie oben beschrieben.

Die Wasserverfügbarkeitsflagge wird derzeit von den Gruppen Economy und Tourism weiter verwendet.

Überlastungen von Talsperren

Die Belastungsgrenzen von Talsperren sind gekennzeichnet durch die Werte für Höchst- und Tiefststau. Erreicht der Wasserstand der Talsperre den Tiefststau kann trotz eventuellem Bedarf zur Deckung von Mindestabgaben kein weiteres Wasser aus dem Stausee entnommen werden. Dies kann je nach Funktion des Bauwerks zu Beeinträchtigungen bei der Stromerzeugung, der Trinkwasserbereitstellung oder der Niedrigwasseraufhöhung im Unterlauf führen. Wird der Höchststau einer Talsperre überschritten, springt die Hochwasserentlastungsanlage an und es kommt zu einer nicht mehr regelbaren, vom Speicherinhalt abhängigen Abgabe bis hin zur maximalen Abgabekapazität der Entlastungsanlage. Relevante Steuergrößen, das Stauvolumen sowie die aktuellen Abgaben durch die Normal- und Hochwasserentlastungsanlagen werden in jedem Zeitschritt registriert und können im Postprocessing auf Überlastungen hin analysiert werden.

Überlastungen der Main-Donau-Überleitung

Die Grenzen der Donau-Main-Überleitung sind durch den Verbleib einer Mindestwassermenge in der Donau und durch die Kapazitäten der Überleitungspumpanlagen gegeben. Wie bei den Talsperren werden auch hier die entsprechenden Daten zu jedem Zeitschritt registriert und ermöglichen somit Untersuchungen in Zusammenhang mit den Belastungsgrenzen der Anlage.

Überlastungen von Kläranlagen

Da eine dynamische Simulation von Kläranlagen natürlich nicht möglich ist, erfolgt die Detektion der Überlastung von Kläranlagen, indem in jedem Modellzeitschritt die sogenannte Schlammbelastung BTS, also die Zielgröße der statischen Bemessung, an jedem Kläranlagenstandort nachvollzogen und bewertet wird. Zur Berechnung von BTS wird hier nicht der ATV-Algorithmus (ATV 1989, 2000) sondern der von BÖHNKE (1989) publizierte und von DOBMANN (1993) modifizierte Algorithmus der Hochschulgruppe zur statischen Bemessung des Belebungsbeckens einer Kläranlage zugrunde gelegt (so genanntes HSG-Verfahren) und sinnvolle Annahmen über die vielen, eigentlich erforderlichen Eingangswerte getroffen.

Der wesentliche Vorteil des HSG-Algorithmus besteht darin, dass er in der zitierten Arbeit von Böhnke edv-gerecht in Form von Flussdiagrammen mit Rechenbeispielen aufbereitet ist. Auf dieser Grundlage ist das Verfahren hier bisher extern implementiert und anhand der Beispieldaten validiert worden.

3.1.7 Fehlermodellierung und Fehlerfortpflanzung

Die Modellkomponenten im naturwissenschaftlichen Teil des GLOWA-Danube-Systems sind zwar weitgehend physikalisch basiert, jedoch ergeben sich aufgrund der vereinfachten Prozessbeschreibungen, der Unsicherheiten in den Eingangsdaten und den Unsicherheiten in den teilmodellbezogenen Parametern wesentliche Quellen von Unsicherheiten. Ziel der Fehlermodellierung und Fehlerfortpflanzungsmodellierung ist es, die Unsicherheiten zu quantifizieren. Wenn man davon ausgeht, dass die innerhalb der *Rivernet-work*-Komponente ermittelten Abflüsse und Wasserbeschaffenheitsparameter um so unsi-

cherer sind, je kleiner die betrachteten Einzugsgebiete sind, dann sollten sich auf der Grundlage der Fehlermodellierung räumliche Anwendungsgrenzen des Gesamtmodells herausarbeiten lassen, also derjenige Grenzverlauf innerhalb des GLOWA-Danube-Einzugsgebietes, der die zu unsicheren Aussagen in den kleinen Gebieten von den mit hinreichender Sicherheit zu treffenden Aussagen in den größeren Teileinzugsgebieten trennt.

Dazu ist es erforderlich, die Eingangsunsicherheiten aller Parameter und Datensätze, die innerhalb der *Rivernetwork*-Komponente verarbeitet werden, zu quantifizieren und über die Modellkette der *Rivernetwork*-Komponente fortzupflanzen. Bei der Fehlerfortpflanzung liegt hier ein Sonderfall vor, der die *Rivernetwork*-Komponente von den anderen Komponenten des DANUBIA-Systems unterscheidet: wegen der im wesentlichen lateralen Bewegungsrichtung, die hier durch eine Abfolge zahlreicher, hintereinander geschalteter Wellenablauf-Modellbausteine realisiert wird, pflanzt sich auch der Fehler lateral fort, er wird also quasi zusammen mit dem Abfluss durch das Gewässernetz geroutet.

Das in der Regel eingesetzte Verfahren zur Quantifizierung von Unsicherheiten ist die Monte-Carlo-Simulation, wobei zum Beispiel KASPAR (2004) bei Unsicherheitsanalysen eines globalen hydrologischen Modelles darstellt, wie die große Anzahl der notwendigen Simulationen durch das Latin-Hyper-Cube Verfahren reduziert werden kann.

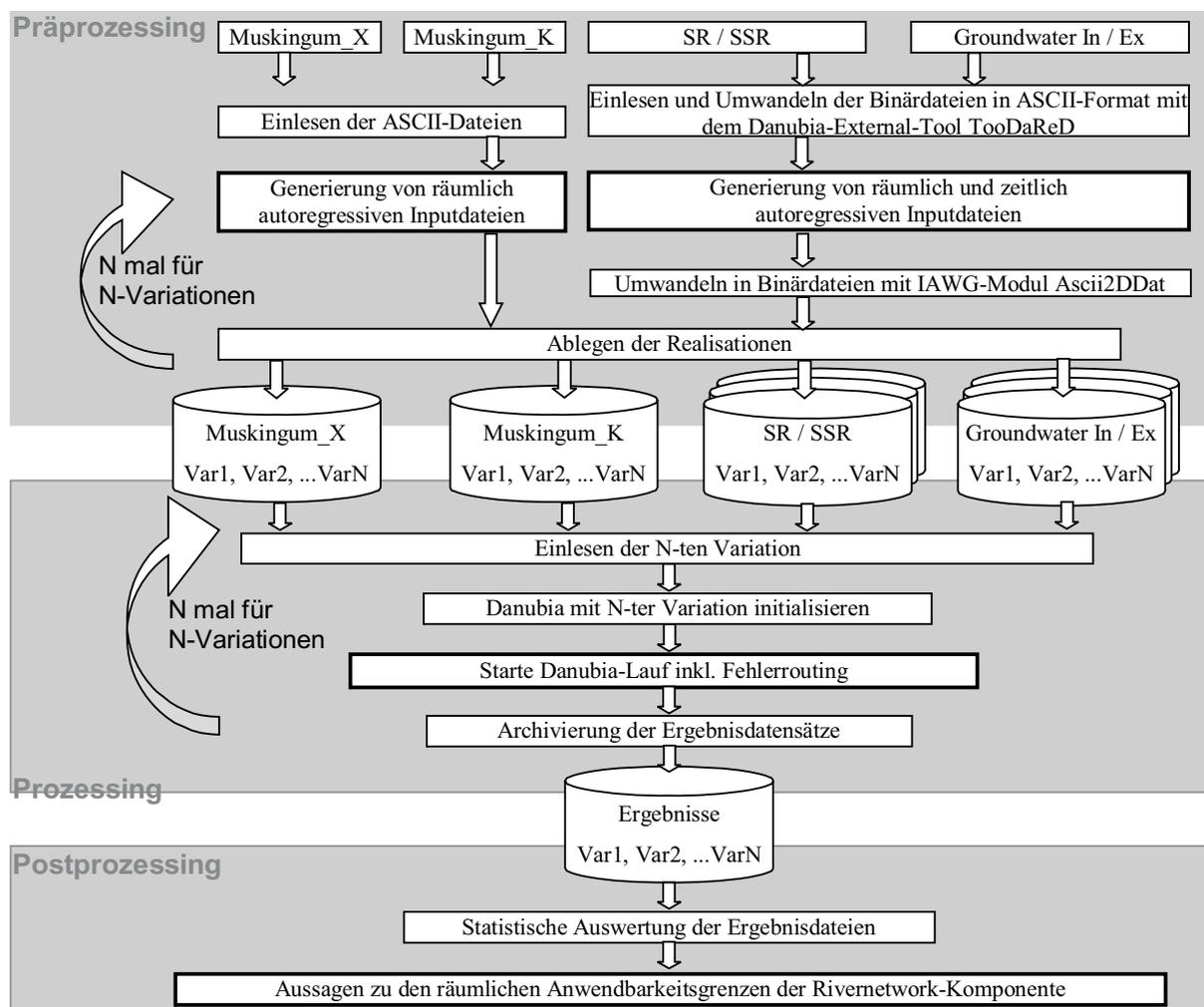


Abb. 8: Implementierter Rahmen zur Fehlermodellierung innerhalb der *Rivernetwork*-Komponente

Wesentlich in dem hier betrachteten Kontext ist dabei, bei der zufälligen Variation der Eingangsdaten nicht nur realistische Annahmen über deren Varianzen zu treffen, sondern darüber hinaus auch etwaige Kreuzkorrelationen zwischen verschiedenen Eingangsdaten sowie räumliche Autokorrelationen (siehe HEUVELINK 2000) und bei Zeitreihen auch zeitliche Autokorrelationen zu berücksichtigen, wobei dies in dieser Vollständigkeit in der Regel

nicht erfolgt. Bisher ist in der AG Oberirdische Gewässer ein Gesamtrahmen erarbeitet worden, innerhalb dessen die Unsicherheitsanalyse durchgeführt werden kann (Abb. 8). Geprüft wird dabei, ob das so genannte Copula-Konzept angewendet werden kann, das es erlaubt, beliebig viele und beliebig verteilte, stetige Zufallsvariablen in einem multivariaten Wahrscheinlichkeitsmodell zu verknüpfen und dabei auch komplexe Korrelationsstrukturen zu berücksichtigen (zu Anwendungen von Copulas in der Hydrologie s. z.B. FARVE et al 2004; SALVADORI und MICHELE 2004; WILLEMS 2005a,b).

3.2 Integrale Arbeiten

3.2.1 Auswertungen von GLOWA-Danube-Läufen

3.2.1.1 Auswertungen zum GLOWA-Lauf im April 2005 (Simulationszeitraum 2000-2100)

Beim GLOWA-Simulationslauf vom April 2005 wird der meteorologische Antrieb für Berechnungen über den Zeitraum 2000 bis 2100 erzeugt, in dem real gemessene Klimaelemente mittels eines speziellen *Resampling*-Verfahrens neu sortiert werden und dabei eine transiente Änderung der Klimaelemente eingebunden wird. Seitens des Teilprojektes Oberirdische Gewässer werden die so an ausgewählten Donau-Pegeln ermittelten Abflüsse statistischen Niedrigwasseranalysen unterzogen. Dazu werden zunächst Jahresserien der über sieben Tage gemittelten, niedrigsten Jahresabflüsse (NM7Q, siehe DVWK 1983) gebildet und wahrscheinlichsstatistisch untersucht. Da aufgrund der erzwungenen Instationaritäten in den Klimaelementen auch Instationaritäten in den Abflüssen erwartet werden müssen, sind die klassischen, in der Wasserwirtschaft verwendeten und Stationarität voraussetzenden Methoden der Wahrscheinlichkeitsanalyse nicht mehr anwendbar. Daher wird - aufsetzend auf neuere Methoden der Extremwertanalyse - das wahrscheinlichkeitsanalytische Modell um eine Trendkomponente erweitert. Dies erfolgt, indem einer oder mehrere der drei Parameter der Verallgemeinerten Extremwertverteilung GEV nicht als konstant sondern als Funktion der Zeit betrachtet werden. Die theoretischen Hintergründe dieser Vorgehensweise erläutert COLES (2001) und hydrologische Anwendungen im Bereich der Niedrigwasseranalyse liefert z.B. KATZ et al. (2002) und WILLEMS (2004, 2005a).

Im hier vorliegenden Fall wird nur der Lokationsparameter als linear trendbehaftet betrachtet, so dass sich das Modell $NM7Q \sim GEV(\mu(t), \sigma\gamma)$ $\mu(t) = b_0 + b_1 t$ ergibt. Das Wahrscheinlichkeitsmodell hat also in diesem Fall die vier Parameter b_0 , b_1 , σ und γ . Wiederum werden sämtliche Parameter des instationären Modells gleichzeitig mittels der Maximum-Likelihood-Methode geschätzt. Das Ergebnis für sechs Donau-Pegel zeigt Abbildung 9. Man erkennt die für die drei Zeithorizonte 2040, 2064 und 2089 sukzessive abnehmenden, hundertjährigen Niedrigwasserquantile.

Donau-Längsschnitt NM7Q, Sz-Lauf

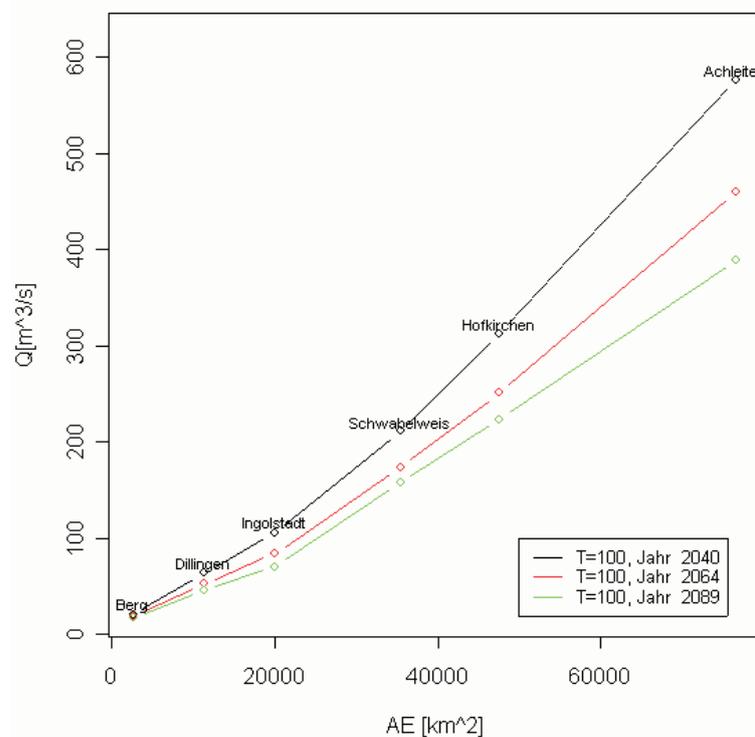


Abb. 9: Ergebnis der instationären Wahrscheinlichkeitsanalyse von NM7Q entlang der Donau

Auswertungen der Abflusszeitreihe am Pegel Achleiten, Flaggen

Im Folgenden werden verschiedene Auswertungen des GLOWA-Danube-Simulationlaufes über den Zeitraum 2000 bis 2013 vorgenommen. Abbildung 10 zeigt die simulierte Abflusszeitreihe für den Pegel Achleiten. Zusätzlich sind die gemessenen Abflusswerte für das erste Simulationsjahr sowie Auswertungen zu den Hoch- und Niedrigwasserflaggen abgebildet.

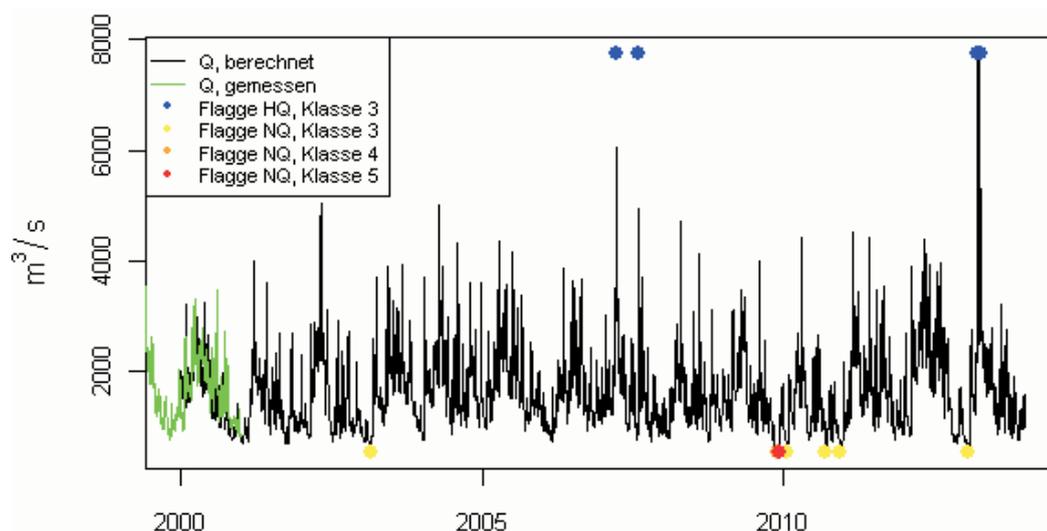


Abb. 10: Simulationslauf 2000-2013, Abflüsse am Pegel Achleiten, Flaggen

Die Abflüsse steigen über den Simulationszeitraum etwas an (lineares Steigungsmaß 12 l/s pro Tag, also $4.3\text{m}^3/\text{s}$ pro Jahr). Vergleicht man primärstatistische Kennwerte über den Messzeitraum 1970 bis 2004 anhand parametrischer und nichtparametrischer Tests mit denjenigen für den Simulationszeitraum, dann lässt sich folgendes konstatieren: der arithmetische Mittelwert (t-Test) und der Median (Wilcoxon-Rangsummentest) ist bei den simulierten Daten signifikant erhöht, gleiches gilt für die Standardabweichung (F-Test, alle Signifikanzangaben bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit). Tabelle 1 zeigt die Kennwerte.

Tab. 1: Primärstatistische Kennwerte für Achleiten, alle Werte in m^3/s

Kennwert	Mittelwert	Median	Std
Messzeitraum 1970-2004	1435	1314	606
Simulationszeitraum 2000-2013	1622	1467	713

Die Hoch- und Niedrigwasserflaggen werden intern in stündlicher Schrittweite registriert. Für die Auswertung ist es beim Auszählen der Häufigkeit des Auftretens sinnvoll, unmittelbar aufeinander folgende zusammenzufassen, so dass zusammenhängende Perioden nur einfach gezählt werden. Dies ist bei der Darstellung der roten und blauen Punkte in Abbildung 9 geschehen. Insgesamt treten innerhalb des Simulationszeitraums am Pegel Achleiten 3 Hochwasserereignisse der Klasse 3 ($T=10$ in unbebauten Gebieten) und 6 Niedrigwasserereignisse der Klassen 3 bis 5 auf, womit man also etwas über den theoretisch im Mittel zu erwartenden Häufigkeiten liegt. Ähnliches stellt man auch bei einzugsgebietsweiten Betrachtungen fest. Der Grund dafür ist vermutlich, weil die Hoch- und Niedrigwasserflaggen anhand eines Simulationslaufes mit einer früheren DANUBIA-Light-Version abgeleitet wurden (siehe Kap. 3.1.6) und daher nur bedingt für die jetzige Version des GLOWA-Danube-Gesamtmodells gültig sind. Sie müssen daher neu justiert werden, bevor Aussagen über sich möglicherweise sich verändernde Häufigkeiten des Auftretens von Extremen möglich sind.

Auswertungen zu Talsperren

Im Auswertungszeitraum 2000 bis 2013 wird für den Sylvensteinspeicher ein mittlerer jährlicher Zufluss zwischen $34 \text{ m}^3/\text{s}$ und $52 \text{ m}^3/\text{s}$ mit einem Mittelwert von $44 \text{ m}^3/\text{s}$ ermittelt. Das Wasserwirtschaftsamt Weilheim beziffert den tatsächlichen, mittleren Speicherzufluss mit $18,9 \text{ m}^3/\text{s}$ (WINNER 2001). Dem Sylvensteinspeicher wird also im Rahmen des Modellaufs mehr als doppelt soviel Wasser zugeführt wie in der Realität. Dadurch werden im Unterlauf am Bezugspegel Bad Tölz, der als Steuerungsgröße für die Niedrigwassererhöhung fungiert, nahezu keine Niedrigwassersituationen erzeugt, so dass im gesamten Simulationszeitraum an nur rund 340 Stunden eine Niedrigwassererhöhung durchgeführt und dabei eine zusätzlich Wassermenge von insgesamt $1,5 \text{ Mio m}^3$ der Isar zugeführt wird. In der Realität werden demgegenüber im Schnitt jährlich 57 Mio m^3 Wasser zur Niedrigwasseraufhöhung verwendet. Die implementierten Betriebsregeln zur Niedrigwassererhöhung kommen also zum Einsatz, jedoch verhindert das zu hohe Wasserangebot oberhalb des Speichers Abgabewerte in realistischer Größenordnung.

Die Hochwasserschutzfunktion des Speichers soll verhindern, dass am Pegel Bad Tölz Abflüsse über $450 \text{ m}^3/\text{s}$ auftreten. Um dies innerhalb des Simulationslaufs zu gewährleisten wird an insgesamt 294 Zeitschritten die Abgabe entsprechend reduziert. Wie am Beispiel des Hochwasserereignisses am 19.-21.8.2005 dargestellt (Abb. 11), arbeitet die Steuerung für die weit überwiegenden Zahl der Ereignisse wie gewünscht und verhindert die Überschreitung des Höchstabflusses in Bad Tölz. Jedoch kommt es beim Ereignis vom 17.-21.3.2013 bei insgesamt 13 Zeitschritten zu einer Überschreitung des maximalen Abflusses am Pegel Bad Tölz. Dabei liegen die Abflüsse in Bad Tölz zum Teil erheblich über dem vorgegebenen Maximalabfluss (Abb. 12). Die Überschreitung dieser Grenze erfolgt direkt nach extremen Steigerungen der Speicherzuflüsse, folglich nach Starkniederschlagsereignissen, so dass die unüberwachten Zuflüsse aus den ebenfalls niederschlagsbeeinträchtigten Zwischengebieten zwischen Sylvensteinspeicher und Bad Tölz als Ursache vermutet werden können.

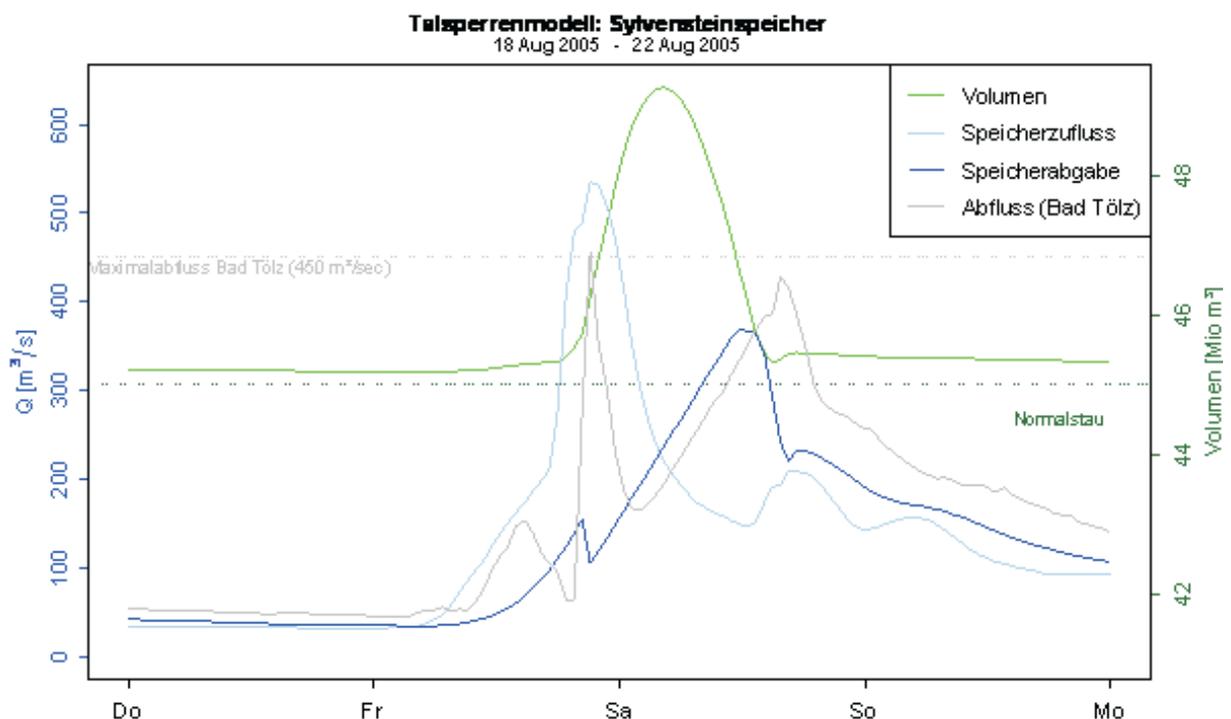


Abb. 11: Steuerung des Sylvensteinspeicher verhindert Hochwassersituation in Bad Tölz im August 2005

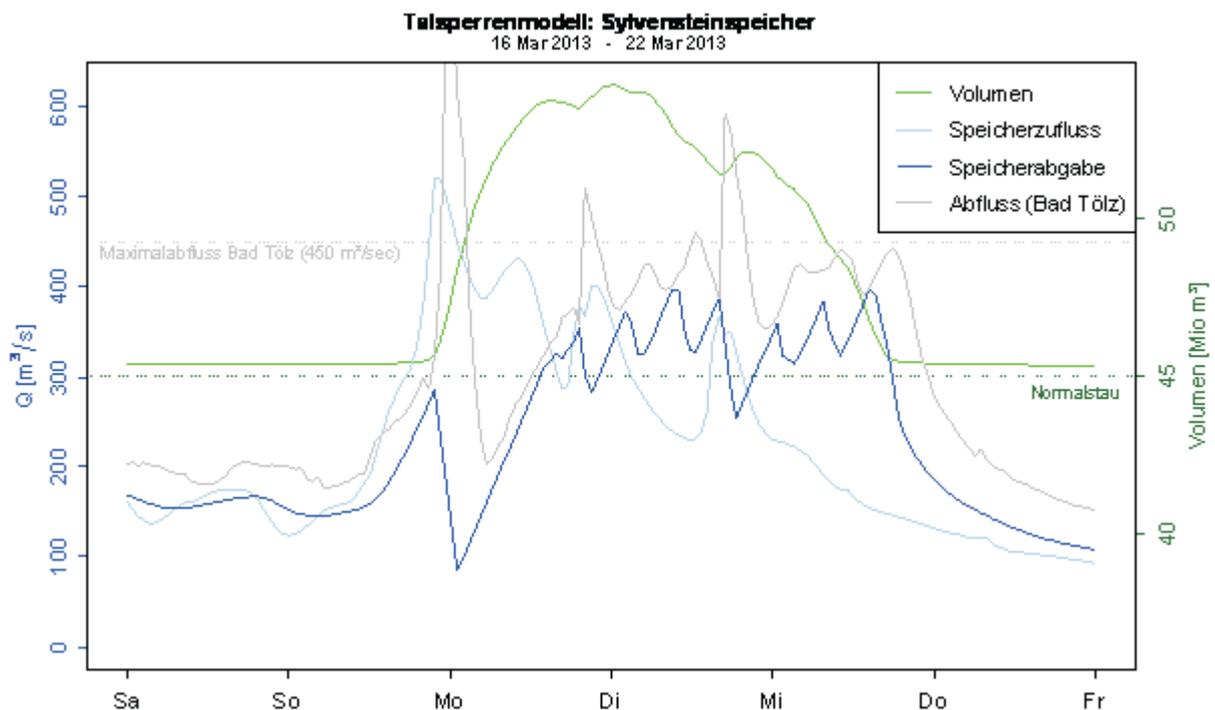


Abb. 12: Steuerung des Sylvensteinspeichers kann Hochwassersituation im März 2013 in Bad Tölz reduzieren, aber nicht verhindern

Auswertungen zur Donau-Main-Überleitung

Die Kanalüberleitung der Donau-Main-Überleitung wird, wie oben beschrieben, maßgeblich über einen Pegel außerhalb des GLOWA-Untersuchungsgebiets gesteuert, dessen Abflusswerte mittels einer Regressionsbeziehung geschätzt werden. Der mittlere, gemessene Abfluss an diesem Pegel im Zeitraum von 1970 bis 1992 (also vor Inbetriebnahme der Überleitung) beträgt $29,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Die Simulation des Pegels Hüttendorf liefert im GLOWA-Simulationslauf 2000-2013 mit einem Mittelwert von $26,1 \text{ m}^3/\text{s}$ eine relativ gute Übereinstimmung. Die simulierten Niedrigwassersituationen im Maingebiet werden durch eine mittlere, jährliche Ableitung von rund 71 Mio m^3 Donauwasser ausgeglichen. Dies liegt deutlich unter dem in der Literatur für den relativ kurzen Zeitraum von 1994 bis 1999 angegebenen Mittelwert in Höhe von 125 Mio m^3 pro Jahr (KARL et al. 2000).

Die implementierten Steuerungsregeln berücksichtigen bei der Wasserentnahme auch den geforderten Verbleib von mindestens $140 \text{ m}^3/\text{s}$ in der Donau am Pegel Kelheim. Diese Regelung greift an 90 Tagen und verhindert dabei die Abgabe von insgesamt $8,6 \text{ Mio m}^3$ im betrachteten Zeitraum. An insgesamt 36 Tagen reichen die Kapazitäten der Überleitungsbauwerke nicht aus, um den geforderten Wasserbedarf in das Maingebiet zu transportieren.

Durch die Modellierung der Brombachüberleitung werden dem GLOWA-Gebiet im Jahresmittel 21 Mio m^3 Wasser entzogen. Dies entspricht in etwa dem realen Wert für die Jahre 1995 bis 1999 in Höhe von $25 \text{ Mio m}^3/\text{a}$ (KARL et al. 2000).

Auswertungen zur Wasserbeschaffenheit

Abbildung 13 zeigt den Vergleich der simulierten Wassertemperatur zur gemessenen am Pegel Fischen. Im Unterschied zu früheren Wassertemperaturmodellierungen fließen die innerhalb der Landsurface-Komponente modellierten Bodentemperaturen ein (siehe Kap. 3.1.2).

Aufgrund des Konzeptes der Gleichgewichtstemperatur kann das korrigierte BLTM-Wassertemperaturmodell trendartige Änderungen in der Lufttemperatur aufnehmen. Im Fall der Reihe Fischen ergibt sich beispielsweise über die Simulationsperiode ein statistisch signifi-

kanter Trend in den Stundenwerten der Wassertemperatur, der sich auf $0.0268\text{ }^{\circ}\text{C}$ Erhöhung pro Jahr beziffern lässt.

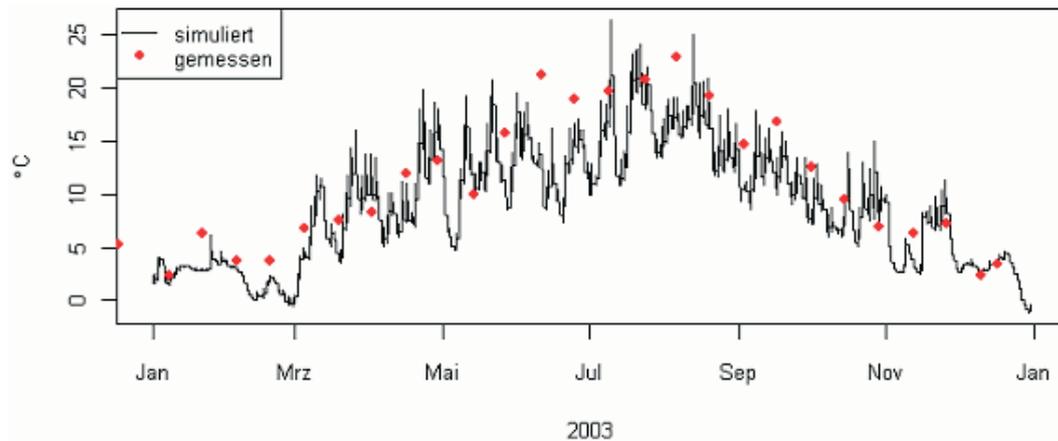


Abb. 13: Simulierte und gemessene Wassertemperaturen am Gütepegel Fischen/Ammer

Wegen der großen reaktionskinetischen Bedeutung der Wassertemperatur fällt die Konzentration von gelöstem Sauerstoff am Pegel Fischen signifikant um -0.007 mg/l pro Jahr und steigt die Konzentration von Nitrat signifikant um 0.006 mg/l pro Jahr. Dabei wird der gemessene Konzentrationsverlauf von gelöstem Sauerstoff recht gut abgebildet (Abb. 14). Demgegenüber sind hinsichtlich Nitrat Verbesserungen innerhalb der mitwirkenden Modellkomponenten oder in deren Kopplung notwendig, denn die ausgewiesenen Konzentrationen sind derzeit generell zu niedrig und in ihrer zeitlichen und räumlichen Verteilung zu wenig differenziert.

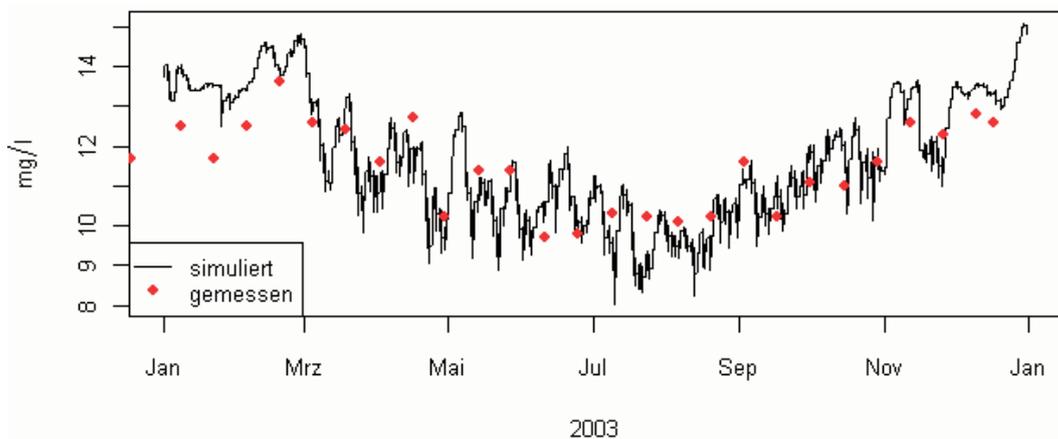


Abb. 14: Simulierter und gemessener gelöster Sauerstoff am Pegel Fischen / Ammer

3.2.2 GLOWA-Danube-Atlas, Veröffentlichungen

Für den GLOWA-Danube-Atlas hat die Arbeitsgruppe Oberirdische Gewässer die folgenden beiden Kartenblätter angefertigt: zu Kapitel 1 die Karte Mittlerer Durchfluss und Durchflussvariabilität und zu Kapitel 2 die Karte Abflusspende und Gewässerbeschaffenheit. Die AG Oberirdische Gewässer ist ferner beteiligt an folgenden, im Berichtszeitraum publizierten Veröffentlichungen: LUDWIG et al. (2005a,b), MAUSER et al. (2004), SCHUOL et al. (2004). In WILLEMS (2004, 2005a) wird die in Kapitel 3.2.1 angewandte, instationäre Wahrscheinlichkeitsanalyse näher beschrieben.

4. Weiteres Vorgehen

Wassermengenmodellierung

Die spezielle Modellierung der urbanen Gebiete wird in das GLOWA-Danube-System integriert. Dazu müssen die nun vorliegenden Kläranlageneinzugsgebiete in geeigneter Weise kanalisiert und die Prozessbeschreibung zur Modellierung des Regen- und Abwassertransports in den Kanälen angepasst werden. Das Talsperrenmodul für den Sylvensteinspeicher wird erweitert: Zum einen werden die bisher nicht berücksichtigten Wasserüberleitungen zum Walchen- und Achensee, die zur Steigerung von Kraftwerksleistungen erfolgen, integriert. Darüber hinaus werden durch das Augusthochwasser 2005 initiierten Diskussionen über verschiedene Strategien zur Erweiterung des Hochwasserschutzpotenzials des Sylvensteinspeichers verfolgt (Erhöhung der Dammkrone zur Vergrößerung des Hochwasserrückhalterums um rd. 20 Mio m³, Absenkung des Normalstauziels, Schaffung von zusätzlichem Speicherraum, ROB 2006) und ggf. berücksichtigt. Es werden weitere Talsperrenmodule für den Forggensee, den Vilstalsee, den Rottauensee, den Altmühlsee, den Eixendorfer See, den Gepatsch See, den Speicherverbund Zemm-Ziller und den Achensee integriert, wobei die Recherche zu Betriebsregeln nicht so intensiv sein kann, wie beim Sylvensteinspeicher. Die Flaggen für Hoch- und Mindestwasser werden auf der Grundlage der aktuellen Parametrisierung des GLOWA-Danube-Gesamtmodells neu justiert.

Wasserbeschaffenheitsmodellierung

In Zusammenarbeit mit allen daran beteiligten Arbeitsgruppen wird insbesondere die Nitratmodellierung verbessert und validiert. Die bisher noch nicht berücksichtigten Überlastungsindizes, also der chemischer Index und der Index zur Kläranlagenüberlastung, werden integriert. Für letzteren müssen die Eingangsdaten des HSG-Verfahrens in einer dem Modellierungsansatz gerecht werdenden Weise vereinfacht und quantifiziert werden. Die Schnittstelle zu Household wird erweitert zur Übernahme von Belastungen des Abwassers aus Privathaushalten.

Fehlermodellierung

Das in Kapitel 3.1.7 erläuterte Konzept wird weiter verfolgt mit dem Ziel, die räumlichen Anwendungsgrenzen des GLOWA-Danube-Systems in bezug auf die Ausgabegrößen der *Rivernetzwerk*-Komponente festzulegen.

Auswertungen

Nach Abschluss von hinreichend langen Simulationsläufen des GLOWA-Danube-Systems werden geeignete Auswertungen aller relevanten Ausgabegrößen des *Rivernetzwerk*-Modells durchgeführt und interpretiert. Insbesondere die Parameter zur Wasserbeschaffenheit konnten in den bisherigen Betrachtungen wegen zum Teil noch fehlender Schnittstellen nicht hinreichend berücksichtigt werden.

Es wird davon ausgegangen, dass alle im Antrag zum Teilprojekt genannten, sektoralen Ziele erreicht werden können.

5. Literatur

ATV (1989): Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen, Arbeitsblatt A 131, Mai 1989, Hennef.

ATV (1999): Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen. Arbeitsblatt A 118, Hennef.

- ATV (2000): Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen, Arbeitsblatt A 131, Mai 2000, Hennef (Neufassung des Arbeitsblattes vom 1989).
- BÖHNKE, B. (1989): Bemessung der Stickstoffelimination in der Abwasserreinigung. *Korrespondenz Abwasser*, 38, S. 1048-1061.
- COLES, S. (2001): An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values.
- DOBMAN, M. (1993): Bemessung der Belebungsbecken nach dem Ansatz der Hochschulgruppe (HSG-Ansatz). *Korrespondenz Abwasser*, 8, S. 1240.
- DVWK (1983): Niedrigwasseranalyse, Teil I: Statistische Untersuchung des Niedrigwasser-Abflusses. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., Regel 120 / 1983.
- DVWK (1999): Statistische Analyse von Hochwasserabflüssen. DVWK Merkblätter 251/1999.
- FAVRE, A.-C., ADLOUNI, S.E., PERREAULT, L. und THIEMONGE, N. (2004): Multivariate hydrological frequency analysis using copulas. *Water Resources Research*, 40, W01101, S. 1-12.
- HEUVELINK, G.B.M. (2000): Error Propagation in Environmental Modelling with GIS. Amsterdam.
- KARL, R., LIEPOLD, T. und OVERHOFF, G. (2000): Wasser für Franken – „Die Überleitung“. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen.
- KASPAR, F. (2004): Entwicklung und Unsicherheitsanalyse eines globalen hydrologischen Modells. Kassel .
- KATZ, R.W., PARLANGE, M.B. und NAVEAU, P. (2002): Statistics of extremes in hydrology. *Advances in Water Resources* 25, S. 1287-1304.
- LAWA (ohne Jahr): Schwellenwerte im Niedrigwasserbereich – Statusbericht.
- LAWA (2001): Empfehlungen zur Ermittlung von Mindestabflüssen in Ausleitungsstrecken von Wasserkraftanlagen und zur Festsetzung im wasserrechtlichen Vollzug. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser; 2001, Kulturbuch-Verlag Berlin.
- LfU (2005): Festlegung des Bemessungshochwassers für Anlagen des technischen Hochwasserschutzes - Leitfaden. *Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg*.
- LEOPOLD, L. (1994): A View of the River. Cambridge, London.
- MAUSER, W., LUDWIG, R., LÖW, A. und WILLEMS, W. (2004): Ein multiskaliger Validierungsansatz zur Simulation nachhaltigen Wasserhaushaltsmanagements in der Oberen Donau mit ENVISAT-Daten im Rahmen von GLOWA-Danube In: *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, Jg..48, H.6, S.225-235.
- LUDWIG, R., BARTHEL, R. und WILLEMS W. (2005a): Integrative hydrologische Modellierung auf der Mesoskala in einem gekoppelten Expertensystem. 55. Deutscher Geographentag vom 1. bis zum 8. Oktober 2005.
- LUDWIG, R., BARTHEL, R., WILLEMS, W., MAUSER, W. (2005b): Coupled hydrologic modelling in the Upper Danube using the integrated expert system DANUBIA. In: *European Geosciences Union General Assembly Vienna 2005*.
- OSTROWSKI, M. (1992): Ein universeller Baustein zur Simulation hydrologischer Prozesse. *Wasser und Boden*, 11, S. 755-760.
- OSTROWSKI, M. und LOHR, H. (2002): Modellgestützte Bewirtschaftung von Talsperrensystemen, *Wasser und Abfall*, Heft 1-3, S. 40-45.
- ROB (2006): Ergebnisniederschrift der Wasserkonferenz zum Augusthochwasser 2005 für das Isargebiet am 1. Februar 2006 an der Regierung von Oberbayern (<http://regierung.oberbayern.bayern.de/Bereich5/5wirueberuns/5sgvorstell/52sgvorstell/Ergebnisniederschrift.pdf>).

- RÖDDER, A. und GEIGER, W.F. (1996): Berechnungsgrundlagen für Schmutzfrachtberechnungen zur regionalen Darstellung des Stoffaustrags aus Kanalisationen. In: BEICHERT, J., HAHN, H.H. und FUCHS, St. (Hrsg.): Stoffaustrag aus Kanalisationsnetzen. Hydrologie bebauter Gebiete. DFG Forschungsbericht. Weinheim.
- SALVADORI, G. und MICHELE, C.D. (2004): Frequency analysis via copulas: Theoretical aspects and applications to hydrological events. *Water Resources Research*, 40, W12511, S. 1-17.
- SCHOUL, J., BARTHEL, R., ROJANSCHI, V. und WILLEMS, W. (2004): Comparison of different automated state of the art hydrograph separation approaches applied to sub-catchments of the Upper Danube Basin. In: *Geophysical Research Abstracts*, Vol.6, EGU - 1st General Assembly, Nice, France Nice 2004.
- WILLEMS, W. (2004): Statistische Analyse von Niedrigwasser-Kenngrößen auf der Grundlage stationärer und instationärer Wahrscheinlichkeitsmodellierung. In: KLEEBERG, H.-B. und KOEHLER, G. (Hrsg.) *Niedrigwassermanagement. Beiträge zum Seminar am 11./12. November 2004 in Koblenz, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung. Heft 07.04*, S. 15-34.
- WILLEMS, W. (2005a): Ein- und mehrdimensionale Wahrscheinlichkeitsanalyse von Niedrigwasserkenngrößen. *Kolloquium Erfahrungen zur Niedrigwasserbewirtschaftung*, 14./15.9.2005 in Herne.
- WILLEMS, W. (2005b): Assessment of design flows in water management: classical methods, instationary and multidimensional extensions. Workshop "Developments in Trend and Extreme Value Analysis of hydrometeorological time series". Potsdam Institute for Climate Impact Research, PIK, Dec. 12-13.
- WINNER, E. (2001): *Der Sylvensteinspeicher – "Gerüstet für die Zukunft"*. Wasserwirtschaftsamt Weilheim.

Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung, Wasserversorgung

Teilprojekt: Grundwasser
Leiter: Dr. Roland Barthel / J. Braun, Ph.D.
Ausführende Stelle: Institut für Wasserbau, Jungwissenschaftlergruppe
Grundwasserhydraulik und Grundwasserbewirtschaftung
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 61, D-70569 Stuttgart

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 (Objekt *Groundwater*) sowie für die Wasserversorgung im Gebiet der Oberen Donau (Objekt *WaterSupply*). Da beide Objekte aufgrund der Zugehörigkeit des Objekts *WaterSupply* zur *Actors* Komponente, also der Gruppe der sozioökonomischen Modelle, methodisch und inhaltlich sehr unterschiedlich sind, werden sie wie in den vorausgegangenen Berichten jeweils getrennt beschrieben. In den allgemeinen Abschnitten des Berichts werden die zugehörigen Teilbereiche kurz als Wasserversorgung und Grundwasser bzw. als Objekt *WaterSupply* und Objekt *Groundwater* bezeichnet.

1. Organisation

1.1 Übersicht

Der hier vorliegende Jahresbericht 2005 beschränkt sich im Wesentlichen auf die Darstellung der vom 01.03.2005 bis 28.02.2006 durchgeführten Arbeiten und deren Ergebnisse. Wo nötig werden Tätigkeiten und Ereignisse aus dem Jahr 2004, für das kein Jahresbericht vorliegt, erwähnt.

Dem Bericht für das Jahr 2005 ist vorzuschicken, dass aufgrund der Anfang 2004 unerwartet eingetretenen Pflicht zur Abführung von Mehrwertsteuer - auch auf die Personalmittel - die zur Verfügung stehenden Mittel gegenüber der Bewilligung für die Projektphase II etwa im Umfang einer halben Stelle BAT IIa für drei Jahre (entspricht 1 Doktorand/in) reduziert wurden (ca. 70.000 Euro). Diesem Umstand musste in den inhaltlichen Planungen für die Phase II Rechnung getragen werden, um zu gewährleisten, dass die Arbeiten über die gesamte Projektlaufzeit kontinuierlich weitergeführt werden können. Deshalb wurden, in Absprache mit dem Auftraggeber, Teile des Arbeitsprogramms in etwa dem o.g. Umfang von einer Stelle BAT IIa/2 gestrichen. Um den Erfolg des Vorhabens insgesamt nicht zu gefährden, wurden hier Bereiche gewählt, die zwar wichtig, aber nicht unverzichtbar sind. Aus diesem Grund wird der Transport von Nitrat im Grundwasser in stark konzeptioneller Form, ohne die prozessbasierte Berücksichtigung von Abbau und anderen Reaktionen, betrachtet. Weitere Einschränkungen bestehen bei der Betrachtung der grundwasserbezogenen Prozesse in den Alpen. Des Weiteren besteht insgesamt die Notwendigkeit, Arbeiten weniger detailliert durchzuführen als vorgesehen.

Im Berichtsjahr wurden die im Antrag zur Projektphase II beschriebenen Arbeiten weitergeführt. Arbeiten, die im Jahr 2004 durchgeführt wurden, sind im Statusbericht 2005 beschrieben. Da, insbesondere im Teilbereich Wasserversorgung (Objekt *WaterSupply*), im Jahr 2004 wesentliche Vorarbeiten geleistet wurden, die für die Fortführung der Arbeiten zum Verständnis wichtig und die in keinem Bericht bislang detailliert beschrieben sind, wird hierauf genauer eingegangen.

Nachdem im Jahr 2004 im Wesentlichen die in der Phase I erzielten Ergebnisse konsolidiert und die für die Phase II geplanten Arbeiten angestoßen wurden, wurden im Jahr 2005

sehr umfangreiche Neu- und Weiterentwicklungen umgesetzt und abgeschlossen. Besonders hervorzuheben ist die in zwei Schritten erfolgte Weiterentwicklung des einfachen (flachen) Wasserversorgungsmodells *WaterSupply* zu einem Tiefen Akteursmodell *DeepWaterSupply*.

Im Bereich des DANUBIA-Objekts *Groundwater* wurden deutliche Verbesserungen der Schnittstelle zum DANUBIA-Objekt *RiverNetwork*, die Integration der Alpen und der Kristallingebiete in das Strömungsmodell, sowie der verbesserte Umgang mit der durch das Objekt *Soil* berechneten Grundwasserneubildung erreicht. Hinzu kommt die Entwicklung eines Stickstofftransportmoduls, das in Absprache mit den anderen verantwortlichen Projektgruppen derzeit noch nicht in das DANUBIA-Gesamtsystem integriert ist, aber lokal bereits umfangreich getestet wird.

Im Bereich Wasserversorgung wurden im Jahr 2004 sehr wesentliche Neuerungen und Verbesserungen eingeführt, z.B. wurden die Daten aus Österreich und der Schweiz in das Modell integriert, so dass die Berechnungen jetzt über das ganze Einzugsgebiet der Oberen Donau erfolgen können. Sehr viel wesentlicher war die vollständige Umstellung des Modells auf einen rein objektorientierten Modus, in dem *Community*-Objekte (Gemeinden) mit *Watersupply-Company*-Objekten (Wasserversorgern - WSC) Informationen austauschen. Dies löste das vereinfachte Vorgehen aus der Phase I ab, in dem Brunnenproxel direkt mit Consumer-Proxeln in Verbindung standen. Das ist ein großer Fortschritt, da auf diese Weise eine realitätsnahe und weitaus flexiblere Modellierung möglich ist. Aufbauend auf dieser streng objektorientierten Modellierung konnte dann im Laufe des aktuellen Berichtszeitraums die Umsetzung des Konzepts der Tiefen Akteure erfolgen. Tiefe Akteursmodelle sind Modelle, die in gewissen Grenzen Entscheidungen treffen können, indem sie nach bestimmten Regeln Pläne zusammenstellen, auswählen und umsetzen. Das Tiefe Akteurs-Konzept wurde durch die Gruppen Umweltpsychologie (Ernst), Grundwasser (Barthel/ Braun) und Informatik (Henniker) beispielhaft vorangetrieben und anlässlich der Statuskonferenz im Mai 2005 als Prototyp vorgestellt. Zwischenzeitlich wurde das Tiefe Akteurskonzept von allen Akteursgruppen eingesetzt. Die Ergebnisse werden hier vorgestellt.

1.2 Personal

1.2.1 Wissenschaftler

Seit der Einreichung des Abschlussberichtes für die Phase I haben sich in der Projektgruppe folgende Veränderungen ergeben: Herr Dipl.-Ing. Aleksandar Trifkovic, M.Sc., verstärkt seit Oktober 2003 als Stipendiat des BMBF-Programms IPSWAT mit seinem am Projekt GLOWA-Danube orientierten Promotionsvorhaben die wissenschaftliche Arbeit der Projektgruppe und erhält im Austausch vielfältige Unterstützung bei der Anfertigung seiner Dissertation (Daten, studentische Hilfskräfte, etc.). Herr Alejandro Meleg, M.Sc., der bereits als Stipendiat im Teilprojekt Human Capacity Building als studentische Hilfskraft sowie im Rahmen seiner Master's Thesis in GLOWA-Danube eingebunden war, war vom 01.10.2004 bis 31.03.2005 als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Umsetzung des Tiefen Akteursmodells beteiligt. Er wurde teilweise durch das Zentralprojekt (Mauser) finanziert.

Herr Dr. Vlad Rojanschi, der am 07.03.2006 seine Promotion im Rahmen von GLOWA-Danube mit dem Titel „*Abflusskonzentration in mesoskaligen Einzugsgebieten unter Berücksichtigung des Sickerraumes*“ mit der mündlichen Prüfung abschloss (Note: *sehr gut*) sowie Herr Dipl.-Geol. Wolf, dessen Dissertation mit dem Titel „*Räumlich differenzierte Modellierung der Grundwasserströmung alluvialer Aquifere für mesoskalige Einzugsgebiete*“ angenommen wurde, werden im Frühjahr 2006 ihre Arbeit im Projekt beenden (Herr Dr. Rojanschi zum 28.02.2006, Herr Wolf zum 31.05.2006), um einer neuen Tätigkeit nachzugehen. Deshalb wurde im November 2005 Herr Dipl.-Geoökol. Marco Borchers für den Teilbereich Grundwassermodellierung eingestellt. Weiterhin beendet Frau Dipl.-Ing. Darla Nickel auf eigenen Wunsch hin ihre Anstellung im Projekt (Teilbereich Wasserversorgung) zum 31.03.2006. Derzeit ist eine Stelle im Bereich Grundwassermodellierung

ausgeschrieben, deren Besetzung allerdings einen wie auch immer gearteten Ausgleich für die durch die Mehrwertsteuerpflicht entstandene Finanzlücke erfordert. Im Bereich Wasserversorgung wird Herr Trifkovic ab 01.09.2006 (nach Ablauf seines Stipendiums) als wissenschaftlicher Angestellter eingestellt.

1.2.2 Studentische und wissenschaftliche Hilfskräfte

Die wissenschaftlichen Mitarbeiter wurden im Berichtszeitraum von studentischen und wissenschaftlichen Hilfskräften unterstützt. Deren Aufgaben lagen insbesondere im Bereich der Dateneingabe und -aufbereitung. Da die Datenerhebung und -verarbeitung im Bereich Grundwasser weitgehend abgeschlossen ist, hat sich die Anzahl der Arbeitsstunden im Berichtsjahr gegenüber den vorangegangenen Jahren reduziert. Erneut hoher Bedarf besteht in Zukunft für die Auswertung der erheblichen Datenmengen, die durch die gegenwärtigen Läufe des DANUBIA-Gesamtsystems erzeugt werden. Von November 2005 bis Januar 2006 wurde Herr Peter Knappet, zu diesem Zeitpunkt M.Sc. (civil engineering) an der University of Waterloo in Kanada, als Austauschstudent für drei Monate als studentische Hilfskraft (80h/Monat) beschäftigt. Er war v.a. mit der Aufbereitung der Grundwasserqualitätsdaten befasst.

1.3 Investitionen

Im Jahr 2005 wurde ein neuer Rechner für Modellierungszwecke angeschafft. Dies war erforderlich, da ein im Jahr 2002 angeschaffter Dualprozessorrechner immer häufiger Ausfälle zeigte. Weiterhin vervielfältigten sich damit die Möglichkeiten, lokale Testläufe durchzuführen, um Modellanpassungen zu ermöglichen. Aufgrund des enormen Speicherplatzbedarfs (Ergebnisdaten) war es notwendig, einige neue Festplatten anzuschaffen. Einige Softwarelizenzen mussten upgedated bzw. upgraded werden. Für die Umsetzung der vereinbarten Strategie zum Entwickeln und Testen der Tiefen Akteursmodelle sowie die lokalen instationären Kalibrierungsläufe muss voraussichtlich zeitnah ein weiterer leistungsstarker Rechner beschafft werden.

1.4 Veranstaltungen

1.4.1 Interne Projekttreffen

In den Jahren 2004 und 2005 wurde, anders als in den vorausgegangenen Jahren, auf ein Informationstreffen für die durch die GLOWA-Thematik betroffenen Institutionen und Hochschulen verzichtet, da Treffen dieser Art durch den Stakeholderprozess (Mauser, Sprenger) ersetzt werden.

1.4.2 Konferenzen

Die Mitglieder der Arbeitsgruppe waren im Berichtszeitraum mit insgesamt acht Tagungsbeiträgen zum Thema GLOWA auf zwei nationalen und drei internationalen Kongressen vertreten. Für das Jahr 2006 wurden bislang acht Tagungsbeiträge für zwei internationale und eine nationale Tagung eingereicht und akzeptiert.

Tagungen und Tagungsbeiträge der Projektgruppe Im Jahr 2005:

- EGU - General Assembly, Wien (zwei Poster)
- XXXI IAHR Congress, Seoul (ein Vortrag)
- Tag der Hydrologie, Aachen (ein Poster)
- IAHR, International Workshop, Alicante (ein Vortrag, zwei Poster)
- 8. Workshop zur großskaligen Modellierung in der Hydrologie, Freudenstadt (zwei Vorträge)

Im Jahr 2006:

- EGU 2006, Wien (ein Vortrag, drei Poster)
- FH-DGG, Cottbus (drei Vorträge akzeptiert)
- IWRM 2006 (zwei Poster akzeptiert)

1.5 Veröffentlichungen

Im Jahr 2005 wurden sechs Beiträge der Arbeitsgruppe zum Thema GLOWA in referierten Fachzeitschriften veröffentlicht. Weitere fünf Beiträge sind eingereicht bzw. im Druck. Darüber hinaus wurden insgesamt sechs Textbeiträge in Tagungsbänden veröffentlicht.

1.5.1 Veröffentlichungen in Zeitschriften und Buchbeiträge

BARTHEL R., WOLF J., JAGELKE J., ROJANSCHI, V., MAUSER, W., GAISER, T. und BRAUN, J. (2005a): Die adäquate Repräsentation von grundwasserbezogenen Fragestellungen in großskaligen Flussgebietsmanagementsystemen *Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 10.05, S. 219-223.

BARTHEL, R. ROJANSCHI, WOLF, J. und BRAUN, J. (2005b): Large-scale water resources management within the framework of GLOWA-Danube. Part A: The groundwater model. - *Physics and Chemistry of the Earth*, Volume 30, Issues 6-7, 2005, S. 372-382.

BARTHEL, R., NICKEL, D., MELEG, A., TRIFKOVIC A. und BRAUN, J. (2005c): Linking the physical and the socio-economic compartments of an integrated water and land use management model on a river basin scale using an object-oriented water supply model. - *Physics and Chemistry of the Earth*, Volume 30, Issues 6-7, 2005, S. 389-397.

BARTHEL, R., NICKEL, D., WOLF, J., ROJANSCHI, V., TRIFKOVIC, A. und BRAUN, J. (2005d): The water supply situation of the alpine region and its representation in the Integrated River Basin Management Model DANUBIA. - *Landschaftsökologie und Umweltforschung*, Vol. 48, S. 273-283.

ROJANSCHI, V., BARTHEL, R., WOLF, J. und BRAUN, J. (2005a): Groundwater flow modelling on the regional scale in the upper Danube catchment. Study on the applicability of hydrograph separation methods to parameterise the groundwater model in the alpine region. - *Landschaftsökologie und Umweltforschung*, Vol. 48, S. 67-75.

ROJANSCHI, V., WOLF, J., BARTHEL, R. und BRAUN, J. (2005b): Using multi-objective optimisation to integrate alpine regions in groundwater flow models. - *Advances in Geosciences*, 5, S. 19-23.

1.5.2 Veröffentlichungen in Zeitschriften und Buchbeiträge eingereicht bzw. im Druck

BARTHEL, R., WOLF, J., JAGELKE, J., ROJANSCHI, V. und BRAUN, J.: Data requirements and modelling concepts for integrated groundwater resources management models on the river basin scale. IGME Series Hidrogeología y aguas subterráneas (im Druck).

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

- BARTHEL, R., WOLFRAM, M. und BRAUN, J.: Integrative modelling of global change effects on the water cycle in the upper danube catchment (germany) - the groundwater management perspective. - IAH Special Series (eingereicht)
- BARTHEL, R.: Common problematic aspects of coupling hydrological models with groundwater flow models on the river catchment scale. - Advances in Geosciences (eingereicht).
- ROJANSCHI, V., WOLF, J. und BARTHEL, R.: Calibration and Validation of an Integrated Hydrological Model Complex in the Ammer Catchment. - Advances in Geosciences (eingereicht).

1.5.3 Veröffentlichte Tagungsbeiträge, Proceedings

- BARTHEL, R., JAGELKE, J., WOLF, J.; ROJANSCHI, V. und BRAUN, J. (2005e): Data Requirements and Modelling Concepts for Integrated Groundwater Resources Management Models on the River Basin Scale, Workshop: "*From data gathering and groundwater modelling to integrated management*" Alicante, October 2005.
- BARTHEL, R., NICKEL, D., JAGELKE, J., WOLF, J.; ROJANSCHI, V., TRIFKOVIC, A., MELEG, A. und BRAUN, J. (2005f): Integrated Management of Groundwater Resources under Conditions of Global Change on a River Basin Scale: International Conference on Integrated Assessment of Water Resources and Global Change: A North-South Analysis 23.-25. February 2005 Bonn, Germany.
- BARTHEL, R. und VASIN, M. (2005) Transport modelling in groundwater on a very large scale within the framework of integrated water resources management models. - Workshop: "*From data gathering and groundwater modelling to integrated management*" Alicante, 4-8th October 2005.
- BARTHEL, R., WOLF, J., ROJANSCHI, V., JAGELKE, J. und BRAUN, J. (2005g): Comparison of Two large Scale Groundwater Flow Models in Southern Germany , Workshop: "*From data gathering and groundwater modelling to integrated management*" Alicante, 4-8th October 2005
- LUDWIG, R., BARTHEL, R. und WILLEMS, W. (2005): Coupled hydrologic modelling in the Upper Danube using the integrated expert system DANUBIA. In: *Proceedings of the UNESCO-IHP Conference on Head Water Control*.
- VASIN, M. und BARTHEL, R (2005): Comparison of different approaches to model transport in groundwater on a very large scale with special regard to nitrogen in the upper Danube Basin. - XXXI IAHR Congress, Seoul

1.5.4 Diplomarbeiten, Master's Theses und Independent Studies

- VASIN, M. (2005): Comparison of different approaches to model transport in groundwater on a very large scale with special regard to nitrogen in the upper Danube Basin. Master's Thesis, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, Prüfer: Helmig, R.; Betreuer: Barthel, R.

1.5.5 Sonstige Schriften

- ROJANSCHI, V., WOLF, J. und BARTHEL, R. (2005): DANUBIA Software Documentation. GLOWA-Danube Papers, Technical Release NO. 13 (*Groundwater*).
- NICKEL, D., BARTHEL, R., ROJANSCHI, V. und TRIFKOVIC, A. (2005): DANUBIA Software-Dokumentation GLOWA-Danube Papers Technical Release No. 014 (*WaterSupply*)

2. Ergebnisse

Die fortschreitende Integration im Projekt GLOWA-Danube macht es zunehmend schwieriger zwischen *rein* sektoralen und *rein* integrativen Arbeiten und Ergebnissen des Teilprojekts zu differenzieren. Die Trennung in verschiedene Unterkapitel hat deshalb für das Teilprojekt Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung, Wasserversorgung formalen Charakter. Im Unterschied zu früheren Berichtszeiträumen hat die Datenbeschaffung, deren Auf- und Weiterverarbeitung deutlich an Bedeutung verloren, wohingegen Modellimplementierung, und -weiterentwicklung, die in GLOWA-Danube immer integrativen Charakter besitzen, zugenommen haben.

Insgesamt lassen sich die Arbeiten und deren Ergebnisse im Berichtszeitraum als Resultate von vier parallel verfolgten Strategien zusammenfassen:

1. Gemeinsame Läufe in der DANUBIA-Gesamtumgebung (alle Modelle gekoppelt) von Ende 2004 bis Mai 2005 (fünfjährige Modellläufe: Referenzzeitraum 1995-1999; Szenarien 1995, 1996, 2002, 2002, 2002 [feucht] und 1995, 1996, 2003, 2003, 2003 [trocken]) → vorgestellt zur Statuskonferenz, Mai 2005
2. Lokale Läufe des Grundwassermodells in
 - a. einer Testumgebung unter Verwendung von früheren Ergebnisdaten der Modelle *Soil* und *RiverNetwork* (10 Jahre, 1990-1999),
 - b. DANUBIA-Light, einer vereinfachten Version des DANUBIA-Gesamtsystems, in der die Modelle PROMET (~ *LandSurface*-Komponente) und *Groundwater* in FORTRAN implementiert und gekoppelt sind und die schnelle Simulationsläufe von bis zu 100 Jahren ermöglicht (Modellperioden 1970-2003 zur Anpassung und Validierung und 2000-2100 mit verschiedenen Szenarien zur Betrachtung von Klimaeinflüssen). Die Ergebnisse wurden anlässlich der Statuskonferenz vorgestellt.
3. Konzeption und Implementierung der Tiefen Akteursmodelle *DeepHousehold* und *DeepWaterSupply* und entsprechende Testläufe in einer gemeinsamen lokalen Testumgebung mit vorab erstellten Ergebnisdaten von *Soil*, *RiverNetwork* und *Groundwater* als Eingabedaten.
4. Gemeinsame Läufe in der DANUBIA-Gesamtumgebung (alle Modelle gekoppelt) Anfang 2006 mit einem 100-Jahresszenario.

2.1 Ergebnisse sektoraler¹⁾ Arbeiten

Im Folgenden werden die einzelnen Punkte ausgeführt. Grundsätzlich stand bereits zum Ende der ersten Projektphase ein im DANUBIA-Gesamtmodell stabil lauffähiges Objekt *Groundwater* mit bereichsweise plausiblen Ergebnissen zur Verfügung. Wesentliche Schwachpunkte waren die noch wenig realitätsnahe und auch unzuverlässige Behandlung der Grundwasserbewegungen in den Alpen. Die in diesem Zusammenhang auftretenden Schwierigkeiten sind ausführlich im Antrag zur Projektphase II dargestellt und bilden, wie dort ausgeführt, einen thematischen Schwerpunkt der sektoralen Arbeiten in der laufenden Projektphase.

2.1.1 Sektorale Arbeiten: Teilbereich Grundwasser

Die wesentlichen sektoralen Arbeiten am Objekt *Groundwater* lassen sich unter folgenden Überschriften zusammenfassen:

1. Umstellung von MODFLOW96 auf MODFLOW2000 mit neuer Parametrisierung. Damit verbunden verbesserte Anpassung der Modellgeometrie mit Hilfe automatisierter Verfahren

¹⁾ Als sektoral werden hier Arbeiten bezeichnet, die im Wesentlichen nicht gemeinsam oder in Abstimmung mit anderen Gruppen durchgeführt wurden.

2. Verwendung eines neuen Modellierungsansatz für den alpinen Raum des Untersuchungsgebiets und die Kristallinbereiche Nordostbayerns
3. Konzeption und erste Umsetzungsschritte zu einer gemeinsamen Modellanpassung zwischen *RiverNetwork*, *Groundwater* und *Soil*
4. Sachgerechte Anpassung der Schnittstelle *RiverNetwork* / *Soil*
5. Lokale Tests und die daraus hervorgegangenen Anpassungen
6. Implementierung des ersten lauffähigen Prototyps eines Transportmodells

2.1.1.1 Umstellung des Modells

MODFLOW2000 (HARBAUGH et al. 2000) stellt eine erhebliche Weiterentwicklung der vorausgegangenen MODFLOW-Versionen (McDONALD und HARBAUGH 1988; HARBAUGH und McDONALD 1996) dar. Von besonderer Bedeutung waren hierbei die deutlich verbesserten Möglichkeiten der Modellparametrisierung und der automatischen Parameterschätzung. Das bis dahin unkalibriert mit Literaturwerten und einfachen Annahmen parametrisierte Modell konnte damit weitaus komfortabler stationär kalibriert werden. Damit wurden in vielen Bereichen erhebliche Verbesserungen erzielt.

Die Umstellung des stationären Modells für instationäre Läufe innerhalb des DANUBIA-Gesamtmodells gestaltet sich deutlich schwieriger als angenommen, da die einzelnen Läufe mit mehreren Parametern viel Rechenzeit und Speicherplatz benötigen. Deshalb wurde Anfang 2005 eine vereinfachte DANUBIA-Testumgebung lokal in Stuttgart implementiert, mit der zumindest einfache Parametrisierungen nach dem Trial-and-Error-Verfahren getestet werden können. Dennoch benötigt ein Modelllauf für fünf Jahre mit einem Parametersatz immer noch zwei Tage.

Für die lokale Testversion konnten sektoral befriedigende Ergebnisse erreicht werden. Weitere Modellläufe in DANUBIA zeigten vor allem beim Speicherverhalten unter geänderten Start- und Randbedingungen einen zu starken Dämpfungseffekt des Grundwassermodells hinsichtlich der Dynamik des Gesamtabflusses. Daher bedarf es einer gemeinsamen Kalibrierung der an der Abflusskonzentration beteiligten Gruppen (siehe 2.1.1.3).

2.1.1.2 Modellierungsansatz für den alpinen Raum und die Kristallingebiete

In diesem Bereich wurden wesentliche Fortschritte erzielt. Grundsätzlich besteht das Problem, dass im alpinen Bereich aufgrund der extremen Komplexität der geologischen Verhältnisse, bei gleichzeitig sehr geringer Verfügbarkeit hydrogeologischer Daten, ein schichtenbezogenes dreidimensionales Strömungsmodell nicht anwendbar ist (siehe Antrag Phase II). Dennoch müssen im integrierten Modell über Schnittstellen gelieferte Wasserflüsse weiterverarbeitet bzw. an andere Modelle weitergegeben werden. Die erheblichen Mengen an Grundwasserneubildung, die im Alpenraum anfallen, müssen sinnvoll in die Grundwasserleiter und damit zu den Vorflutern geroutet werden. Der neue Ansatz beruht auf der konzeptionellen Vorstellung, dass wesentliche Anteile der im alpinen Bereich infiltrierten Grundwasserneubildung nach relativ kurzen Fließwegen und -zeiten in die quartären Aquifere der großen alpinen Täler fließen. Nach verschiedenen Versuchen zeigte sich, dass eine ursprünglich zusätzlich angedachte zeitliche Verzögerung zwischen der Übergabe der Grundwasserneubildung an die Herkunftszelle und der Einspeisung in den quartären Aquifer keine auf der Skala signifikante Verbesserung erbringt. Dieses Ergebnis stützt prinzipiell die Aussagen aus der Literatur, wonach auf den hier relevanten Raum- und Zeitskalen in den Steilgebieten der Alpen der laterale Transport vom Interflow dominiert wird (ROJANSCHI 2006; SCHWARZE et al. 1999). Der neue Ansatz beinhaltet daher nur eine räumliche Verteilung der Grundwasserneubildung (Abb. 1): Ausgehend von der mittels TOPAZ (GARBRECHT und MARTZ 1995) berechneten Fließrichtung, wird für jede nicht-quartäre Zelle (z.B. in Abb. 1 die Zellen 1, 2 und 3) die nächste erreichbare Quartärzelle (E1, E2 und E3) ermittelt

und gespeichert. Die Neubildung von *Soil* wird dann bei jedem Zeitschritt direkt an die entsprechenden Zellen weitergeleitet.

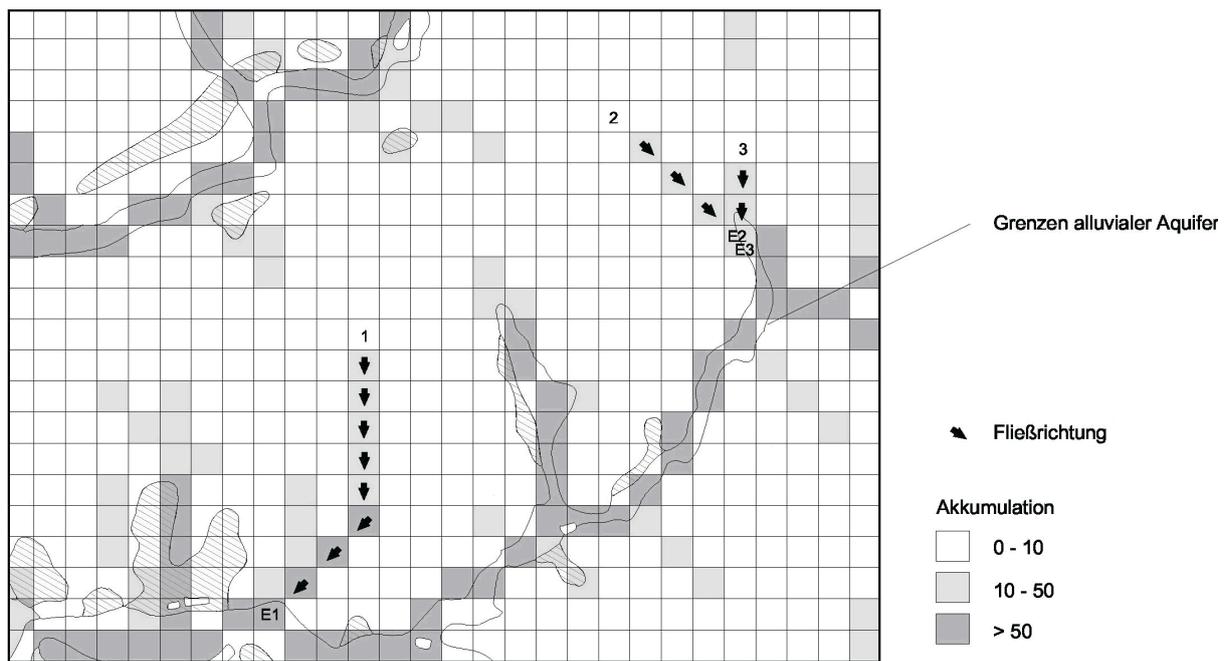


Abb. 1: Die Verteilung der Grundwasserneubildung in den reliefreichen Bereichen des Einzugsgebiets (WOLF 2006)

So wird gewährleistet, dass die Grundwasserneubildung vor allem in die Kopfeinzugsgebiete der alpinen Täler geroutet wird und das Modell in diesem Bereich stabilisiert wird. Für weitere Details dieser Lösung sei auf den technischen Bericht von *Groundwater* hingewiesen (BARTHEL et al. 2005).

2.1.1.3 Gemeinsame Anpassung mit *RiverNetwork* und *Soil*

Es wurde bereits in vergangenen Berichten sowie im Antrag zur Phase II ausgeführt, dass für die Modelle *RiverNetwork* (Oberflächengewässer), *Soil* (ungesättigte Zone) und *Groundwater* eine gemeinsame Kalibrierung bzw. Anpassung vonnöten ist, um den unterschiedlichen Anforderungen bei der Parametrisierung der Teilmodelle gerecht zu werden. Die maßgeblichen Messgrößen in diesem gekoppelten System sind die an Pegeln gemessenen Abflüsse. Die gerechneten Abflüsse setzen sich in der Summe aus dem Oberflächenabfluss (*Soil-RiverNetwork*, annähernd unverzögert), dem Interflow (*Soil-RiverNetwork*, verzögert) und der Infiltration aus den Grundwasserleitern in die Flüsse (*Groundwater-RiverNetwork*, verzögert) zusammen. Die Aufteilung des Effektivniederschlags auf diese Kompartimente ist eines der Grundprobleme der Hydrologie und auch in nicht-gekoppelten kleinskaligen Systemen häufig nicht zufrieden stellend zu lösen. Erschwerend kommt hinzu, dass im Grundwassermodell nicht auf alle Aquifere die komplette Grundwasserneubildung (Perkolation aus der Bodenzone) aufgebracht werden kann, da auch in der tieferen ungesättigten Zone auf der regionalen Skala teilweise erhebliche Lateralbewegungen stattfinden (ROJANSCHI 2006).

Um das Grundwassermodell so zu verbessern, dass mit ihm über lange Zeiträume sinnvolle Abflüsse an den Pegeln nachgebildet werden können, wurde im Juli 2005 ein Teil des Cluster-Rechners des Zentralprojektes nach Stuttgart geholt und hier installiert. Damit konnten auch längere Läufe und Sensitivitätsstudien durchgeführt werden. Im Mittelpunkt standen die Aufteilung der Perkolation in Grundwasserneubildung und Interflow sowie die Anpassung der Startbedingungen und Speicherkoeffizienten. Auch wenn die Anpassung noch nicht im gesamten Einzugsgebiet plausible Ergebnisse liefert, konnten erhebliche Verbesserungen erzielt werden. Die Integration der drei Teilmodelle *Groundwater*, *Soil* und *RiverNetwork*, stellt eine der großen Herausforderungen der hydrologischen Modellierung, nicht nur auf der Flusseinzugsgebietskala, dar.

2.1.1.4 Verbesserung der Schnittstelle *RiverNetwork-Groundwater*

Ein entscheidender Fortschritt wurde auch durch die Neugestaltung der Schnittstelle *RiverNetwork-Groundwater* erzielt. Das lange ungelöste Problem bestand darin, dass nicht für jede Flussrasterzelle die Höhe der Flussbasis über NN bekannt war. Da der Austausch zwischen Grundwasser und *RiverNetwork* über einen Vergleich der Pegellagen in der Flusszelle und dem Grundwasserstand in der selben Aquiferzelle erfolgt, müssen notwendigerweise beide Pegel in m/NN angegeben werden, bzw. auf eine gemeinsames Bezugsniveau gebracht werden²⁾:

$$Q_{IN/EX} = \frac{K_d}{d} L_{RIV} W_{RIV} (h_{GW} - (y + BOT_{RIV})) \quad (1.1)$$

Das Flussmodell arbeitet nach dem Diffusionswellenansatz und liefert den Wasserstand y , es ist aber noch die absolute Höhe des Flussbettes BOT_{RIV} zu bestimmen. Da wenig Information über diese Höhe vorhanden ist und bereits die anderen geometrischen Datensätze (z.B. Aquifergeometrien) aus dem digitalen Geländemodell (*DGM*) abgeleitet wurden, liegt es nah, auch die Flussbetthöhe aus dem DGM zu berechnen:

$$BOT_{RIV} = DGM - (a * DGM + b * W_{RIV}) \quad (1.2)$$

Auf diese Weise wird gewährleistet, dass mit zunehmendem Abfluss (ausgedrückt durch die Breite des Flusses) der Abstand zwischen Geländeoberkante und Flussbetthöhe steigt, ebenso aber auch bei zunehmender absoluter Geländehöhe. Mit der zweiten Korrektur wird der Tatsache Rechnung getragen, dass in den Gebirgsregionen die gemittelte Höhe des Geländemodells für ein Proxel immer weiter von den Extremwerten abweicht. Abbildung 2 zeigt den Vergleich von gemessenen Wasserständen im Einzugsgebiet mit den berechneten Abständen und die Bestimmung der beiden Koeffizienten a und b ³⁾.

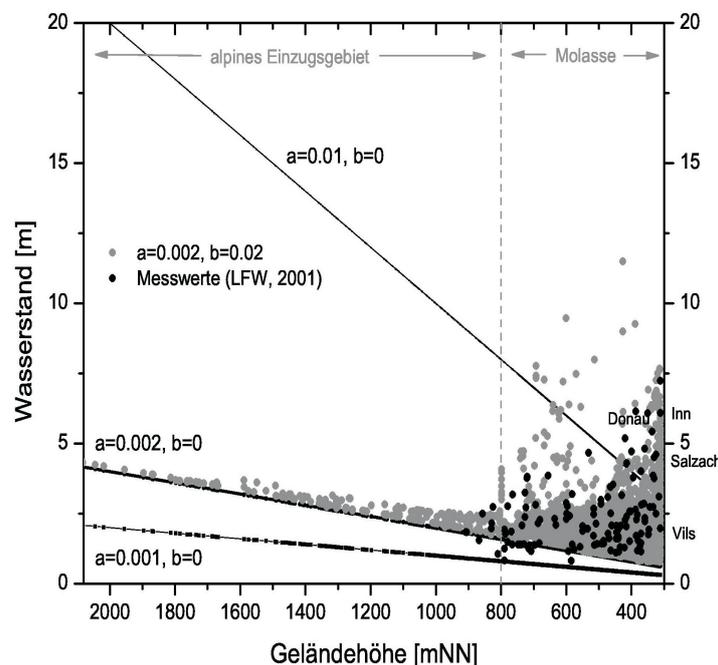


Abb. 2: Verschiedene Ansätze zur Berechnung der Höhe des Flussbettes aus der Geländehöhe und die damit berechneten Wasserstände (WOLF 2006)

²⁾ Die Geländeoberkante als gemeinsames Bezugsniveau könnte das Problem nur dann technisch lösen, wenn das Grundwassermodell einschichtig, zweidimensional aufgebaut würde. Ein realistischer Vergleich mit gemessenen Grundwasserständen ist dann aber faktisch nicht möglich.

³⁾ Die Koeffizienten a und b sind an Gewässerstandsdaten (schwarze Punkte, LfW 2001) aus dem Jahr 1997 kalibriert. Abbildung 2 zeigt den Vergleich mit den verwendeten Koeffizienten $a = 0,002$ und $b = 0,02$ (graue Punkte).

2.1.1.5 Nitrattransport

Neben den oben skizzierten Hauptschwerpunkten der Arbeit am Grundwasserströmungsmodell wurden im Berichtszeitraum einige wesentliche Vorarbeiten auf dem Gebiet der Nitrattransportmodellierung abgeschlossen. Diese Arbeiten wurden im Wesentlichen im Rahmen von Master's Theses von GLOWA-HCB-Stipendiaten (siehe Jahresbericht Braun, Human Capacity Building) durchgeführt. Zu nennen sind die Arbeit von Xi Xin (2003: räumliche / zeitliche Analyse aller Nitratmesswerte im Grundwasser und ihre Korrelation mit Landnutzung, Geologie, Böden), die Arbeit von Marco Stojcic (2004), Stipendiat in GLOWA Human Capacity Building, zum Problem der numerischen Dispersion auf Grobrastermodellen und die Arbeit von Milos Vasin (2005), ebenfalls Stipendiat im Teilprojekt Human Capacity Building), die eine Fortsetzung der Arbeit von Stojcic darstellt. Vasin verglich systematisch sechs verschiedene Verfahren zur Transportmodellierung im Grundwasser im Hinblick auf ihre Eignung auf groben Rastern (siehe auch BARTHEL und VASIN; 2005, VASIN und BARTHEL 2005).

Ein Stickstoffmodell, das alle wichtigen Prozesse (Mischung, Abbau, horizontaler Transport) berücksichtigt, wird seit Herbst 2005 entwickelt und implementiert. Trotz der bereits erwähnten konzeptionellen Struktur haben die verwendeten Parameter eine physikalische Bedeutung, so dass ihre Werte prozess- und standortfaktorenbasiert angepasst werden können. Eine detaillierte Beschreibung des Modells kann aber erst nach erfolgreichem Test im DANUBIA-Gesamtsystem erfolgen.

2.1.2 Modellierungsergebnisse des DANUBIA-Objektes Groundwater

Im Laufe des Jahres 2005 wurde eine Vielzahl von Modellläufen zur Verbesserung, Anpassung und Kalibrierung sowohl stationär, instationär, lokal (nicht gekoppelt) und im Modellverbund DANUBIA durchgeführt. Die im Folgenden dargestellten und beschriebenen Ergebnisse beziehen sich, wenn nicht anders angegeben, auf die im Frühjahr 2006 durchgeführten gemeinsamen Modellläufe. Dieser Modelllauf zeigt insgesamt eine deutliche Steigerung der Leistungen von DANUBIA gegenüber den Ergebnissen der fünfjährigen Modellläufe, die Anfang 2005 durchgeführt wurden und die die Grundlage für die Ergebnisdarstellungen im Statusreport bzw. auf der Statuskonferenz bildeten.

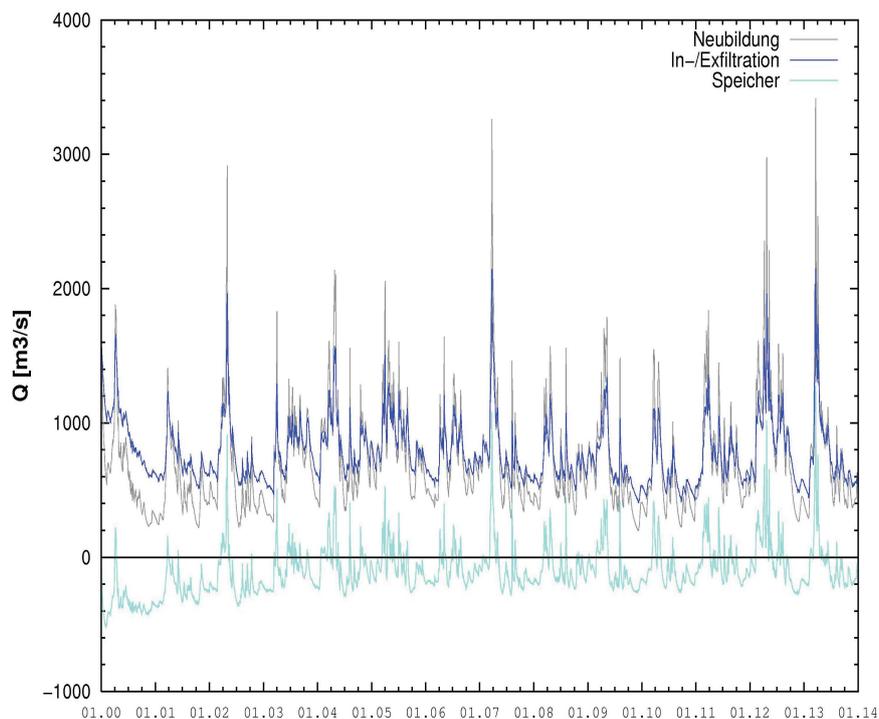


Abb. 3: Zeitreihen der wichtigsten Komponenten des Grundwasserhaushaltes über die vierzehn Jahre des Modelllaufs (gesamtes Gebiet, 2000-2014)

Abbildung 3 zeigt den Verlauf der Speicheränderungen und der Exfiltration in die Flüsse im Vergleich zu der den Grundwasserkörpern zufließenden Neubildung. Nach einer Einschwingphase von etwa drei Jahren, schwanken die Speicheränderungen erwartungsgemäß im Mittel um 0 m³/s, die Exfiltration ist ein verzögertes, gedämpftes Signal der Neubildung. Abbildung 4 zeigt die modellierten Grundwasserganglinien des obersten aktiven Aquifers in neun über das Einzugsgebiet verteilten Proxeln. Die Modellergebnisse geben sehr deutlich die jahreszeitlichen Schwankungen wieder und zeigen die Unterschiede der Grundwasserdynamik in außeralpinen Messstellen (PID bis 110000) und alpinen Messstellen (PID > 110000).

Zum Vergleich mit gemessenen Daten wurde in Abbildung 4 auch der Mittelwert der Jahre 1990-2000 angegeben. Da die Daten auf Meter über Normalnull bezogen sind, nimmt die Abweichung zwischen gemessenen und berechneten Grundwasserständen in den alpinen Proxeln auf Grund des Quadratkilometerrasters deutlich zu (WOLF 2006). Abbildung 5 zeigt das Verhalten des Grundwasserspiegels für die gesamten 36 Jahre des letzten Modellaufs für das Proxel 64529 (siehe auch Abb. 4).

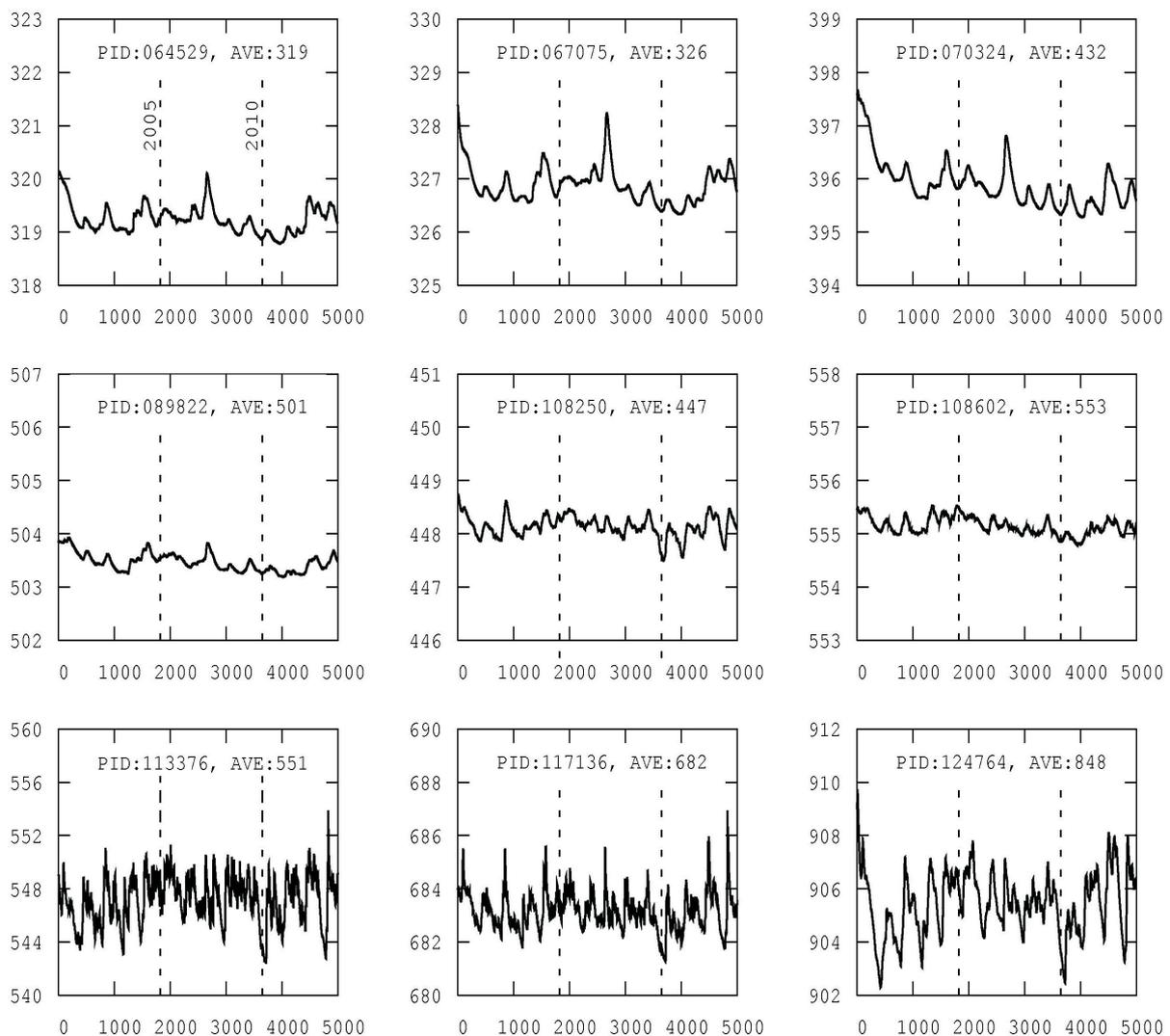


Abb. 4: Ganglinien von neun modellierten Proxeln (PID) im Donaeinzugsgebiet über die vierzehn Jahre des Modellaufs. Zusätzlich angegeben ist der Durchschnittswert (AVE) einer gemessenen Ganglinie (1990-2000) in dem jeweiligen Proxel

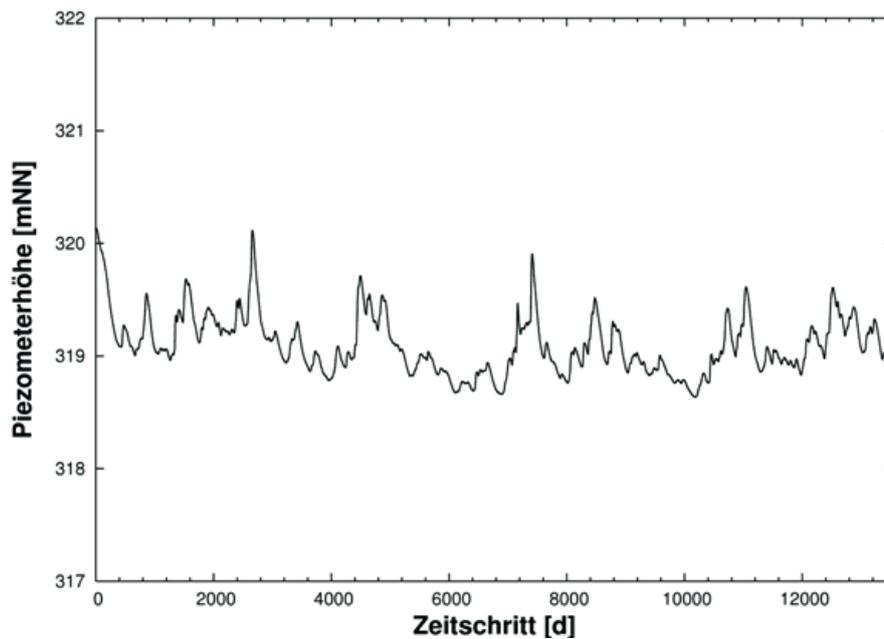


Abb. 5: Verlauf des Grundwasserspiegels im Proxel 64529 für den Simulationszeitraum 01.01.2000 bis 01.01.2036. Der durchschnittliche gemessene Grundwasserspiegel (1990-2000) beträgt 319 mNN

Grundsätzlich zeigt das DANUBIA Objekt *Groundwater* in der in diesem Lauf verwendeten Version 1.1.0 ein technisch stabiles und fehlerfreies Verhalten mit in vielen Bereichen plausiblen und akzeptablen Ergebnissen. Es erscheint deshalb gewinnbringend zunächst auf die noch bestehenden offensichtlichen Schwachpunkte hinzuweisen:

1. Das Grundwassermodell gibt in den ersten 1-3 Jahren zuviel Wasser an die Flüsse ab, wodurch es insgesamt zu einer falschen Bilanz im Modellzeitraum kommt. Erklärt werden kann dies durch Startbedingungen, die an das gewählte Szenario nicht ideal angepasst sind. Für kurze Modellläufe ist dieser Fehler nicht zu vernachlässigen und führt zu hohen Abflüssen.
2. Das Grundwassermodell ist in einigen Teileinzugsgebieten nicht in der Lage, die Dynamik des natürlichen Systems befriedigend nachzuvollziehen.

Die Behebung und Untersuchung dieser Schwachstellen wird einen Arbeitsschwerpunkt in den kommenden Monaten darstellen (siehe 2.1.3).

2.1.3 Teilbereich Grundwasser: Ausblick sektorale Arbeiten

Den Schwerpunkt im Jahr 2006 werden die Arbeiten an den oben erwähnten Schwachpunkten des Grundwasserströmungsmodells sowie umfangreiche Tests der Nitrattransportkomponente im Ammergebiet darstellen. Zur Behebung der Schwachpunkte ist es erforderlich, sehr viel schneller sehr viel längere Modellzeiträume durchzurechnen. Das kann nur lokal außerhalb des DANUBIA-Gesamtsystems erfolgen. Die Durchführung instationärer lokaler Modellläufe unter Verwendung von in DANUBIA gerechneten Eingabedaten (hier im wesentlichen *groundwaterRecharge* aus dem Objekt *Soil*) ist nun durch die Einführung des neuen Frameworks DANUBIA 1.1.0 und der erweiterten Testumgebung möglich. Dieser Umstand wird nun genutzt, um schnelle lokale Läufe über 10 bis 30 Jahre durchzuführen (DANUBIA-Light). Diese dienen der Anpassung von Parametern, z.B. auch der Startbedingungen und Sensitivitätsstudien. Im weiteren Verlauf des Jahres 2006 soll dann ein auf das ganze Modellgebiet ausgedehntes Nitrattransportmodell (mit den in Kap. 1.1 genannten Einschränkungen) erstellt werden. Intensive Sensitivitätsstudien sollen dann die Entwicklung der Basiskomponente *GroundwaterFlow* abschließen, so dass im Jahr 2006 an den verbleibenden Aufgaben wie im Antrag zur Phase II beschrieben gearbeitet werden kann. Dies sind:

- Vereinfachung der Modellstruktur des Grundwasserströmungsmodells für die Steigerung der Modelleffizienz und -anpassungsfähigkeit
- Testen und Verbessern des Transportmodells
- Verbesserung der Parametrisierung der Schwäbischen und Fränkischen Alb
- Bessere Abbildung der lateralen Fließbewegungen in der tiefen ungesättigten Zone⁴⁾
- Ermöglichung des Austausch Quartär-Malm (derzeit konzeptionell nicht möglich)
- Quantifizierung von Unsicherheiten und Fehlerfortpflanzung bis zu den Modellergebnissen

2.1.4 Sektorale Arbeiten: Teilbereich Wasserversorgung

Hauptaufgabe des Modells *WaterSupply* ist es, die räumlich und zeitlich variierenden Wasserverbräuche der Akteursgruppen (Nutzer) an geeigneter Stelle an *Groundwater* und *RiverNetwork* (Angebot - natürliche Ressourcen) weiterzuleiten, den ebenfalls zeitlich und räumlich variablen mengen- und qualitätsbezogenen Zustand der Gewässer zu deuten und zustandsbedingte Nutzungseinschränkungen an die Akteure zu vermitteln. Zuletzt sollen die Kosten bzw. der Preis der Trinkwasserversorgung berechnet werden. Diese Aufgaben erfordern detaillierte Kenntnisse über das komplexe Geflecht der sich überlagernden Versorgungsgebiete der öffentlichen Trinkwasserversorgung (Fern-, Gruppen- und/oder Gemeindeversorgungsunternehmen), über die Nutzung der Aquifere und Oberflächengewässer durch die öffentliche Trinkwasserversorgung, Industrie und Landwirtschaft, über bestehenden Nutzungsrechte, über Wasserimporte und -exporte, und über den Aufwand und die Kosten für die Förderung, Aufbereitung und Verteilung von Trinkwasser. Ziel von *WaterSupply* ist es, die Möglichkeiten und Grenzen des Agierens mit Hinblick auf Veränderungen der Wasserverfügbarkeit und -qualität oder Wasserbedarf darzustellen. Durch den räumlich aufgelösten Vergleich der Veränderungen von Angebot und Nachfrage wird es möglich, Gebiete zu identifizieren, die in Zukunft stärker unter Druck (water stress) geraten könnten. Im Berichtsjahr 2005 lag der Schwerpunkt der sektoralen Arbeiten am Objekt *WaterSupply* auf folgenden Aufgaben:

1. Umstellung des Modells auf einen objekt-orientierten Ansatz, in dem die Wasserversorgungsunternehmen (WVU) als Wasserlieferanten und die Gemeinden als Wassernutzer Daten miteinander austauschen (Ende 2004 bis Anfang 2005)
2. Fertigstellung der WVU-Datenbank, inklusive aller Daten aus der Schweiz und Österreich als Modellgrundlage (Ende 2004 bis Mitte 2005)
3. Ausarbeitung des *DeepWaterSupply*-Konzepts für die gemeinsame Umsetzung eines Prototyps des Tiefen Akteurs durch die Gruppen *Household*, *Watersupply* und Informatik für das Statuskolloquium und dessen Implementierung (bis Mai 2005 - siehe integrative Arbeiten und Ergebnisse)
4. Erweiterung und Fortentwicklung des *DeepWaterSupply*-Konzepts mit allen Akteursgruppen, insbesondere Anpassung an die fortschreitende Entwicklung des *DeepActor*-Frameworks durch die Gruppe Informatik (bis Februar 2006 - siehe integrative Arbeiten und Ergebnisse)
5. Konzeption, Implementierung und Weiterentwicklung des Flaggenkonzepts zur Informationsübermittlung zwischen naturwissenschaftlichen und sozioökonomischen Modellen (Herbst 2005 - siehe integrative Arbeiten und Ergebnisse)
6. Datenerhebung zu den Kosten der Wasserversorgung
7. Anpassung und Aufbereitung der Wasserpreisdaten für die Ableitung von Kostenindikatoren (Dissertation D. Nickel)

⁴⁾ Unter Verwendung des in der Dissertation von ROJANSCHI (2006) entwickelten Sickerraumansatzes.

Der Schwerpunkt der sektoralen Arbeiten lag im Bereich der Entwicklung des Tiefen Akteurskonzepts und auf der Festlegung von Entscheidungsalgorithmen für den Wasserversorgungs-Akteur. Da diese Arbeiten untrennbar von den integrativen Arbeiten sind, werden sie in den entsprechenden Kapiteln beschrieben (siehe Kap. 2.2.3). Hier werden nur die rein sektoralen Tätigkeiten dargestellt.

2.1.4.1 Implementierung der objekt-orientierten Modellkonzeption von *WaterSupply*

Zum Ende der Phase II basierte das in DANUBIA integrierte Modell *WaterSupply* auf einer einfachen, direkten Zuordnung von Verbrauchern zu Brunnen oder Quellen. Da die daran anschließenden Entwicklungen in keinem Bericht festgehalten, aber für das Verständnis des weiteren Fortgangs wichtig sind, erfolgt hier eine kurze Zusammenfassung:

Die einfache Zuordnung aus der ersten Projektphase ermöglichte zwar eine funktionale Zuordnung der Wasserverbräuche an *Groundwater* und *RiverNetwork*, spiegelte aber nicht die realen, wesentlich komplexeren Strukturen der Wasserversorgung und -överteilung im Modellgebiet wieder. Im Hinblick auf das Ziel, ein auf Wasserversorgungsunternehmen basiertes Akteursmodell zu entwickeln, war das Modell nicht geeignet. Im Jahr 2004 wurde daher parallel ein rein objektorientiertes Modell umgesetzt, welches die Wasserversorgungsstrukturen mit einer Fokussierung auf die Wasserversorgungsunternehmen (WSC- Objekt), deren Versorgungsgebiete und deren Entnahmestellen (*Source*-Objekt) abbildet. Die Verbraucherprozel, die gemeinsam versorgt werden, sind in *Community*-Objekten zusammengefasst. Dies wurde zunächst für ein kleines Testgebiet erfolgreich getestet (MELEG 2004). Erst nach einer erheblichen Verbesserung der Datensituation sowie der Fertigstellung der WVU-Datenbank (s.u.) konnte im Berichtsjahr 2004 die objekt-orientierte Modellkonzeption für das gesamte Einzugsgebiet angewendet und in DANUBIA integriert werden. Erste Ergebnisse des neuen Modells aus DANUBIA-Testläufen zur Jahreswende 2004/2005 waren sehr gut. Hier wird auf eine Darstellung der Ergebnisse aus diesem Zwischenschritt verzichtet. Sie können aber beispielsweise in BARTHEL et al. (2005c) nachgelesen werden. Das 2004 geschaffene voll objektorientierte Modell bildete im Folgenden die Grundlage für die Umsetzung des Tiefen Akteurs (siehe Kap. 2.1.4.4).

2.1.4.2 Datenbank Wasserversorgungsunternehmen (WVU)

Die Ende 2004 fertiggestellte WVU-Datenbank beinhaltet Daten zur öffentlichen Wasserversorgung des Einzugsgebiets von ca. 2.400 Gemeinde-, Gruppen und Fernwasserversorgern. Sie enthält unternehmensbezogene Information aus den Jahren 1995-1999. Dazu zählen die versorgten Gemeinden und Unternehmen, die Versorgungsgebiete, versorgte Einwohner, Lage der Entnahmestellen und Herkunft des geförderten Wasser (Grundwasser, Oberflächenwasser, etc.), tatsächliche Entnahmen und Entnahmerechte, Wasserimporte und -exporte über die Grenzen des Einzugsgebietes und Wasserpreise. Daten aus folgenden Quellen und Institutionen sind in die Datenbank eingeflossen (nur Hauptquellen):

Deutschland:

- Gemeindestatistik der Landesämter für Statistik Bayern und Baden-Württemberg,
- BGW-Statistik (BGW 2001),
- Landesamt für Wasserwirtschaft Bayern,
- Landratsämter in Baden-Württemberg,
- Wasserfragebogen (eigene Erhebungen: siehe Jahresbericht 2003),

Österreich:

- ÖVGW-Betriebsstatistik 2001 (ÖVGW 2000),
- Grundwasserstrategie auf Bundesebene (BMLFUW 2004),

- Landesbehörden Oberösterreich, Salzburg und Tirol,

Schweiz:

- BUWAL, Online-Infosystem EcoGIS, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Schweiz, (<http://www.ecogis.admin.ch>),
- Kanton Amt für Natur und Umwelt Graubünden,
- Wasserpreis (ifo-Institut, München),

2.1.4.3 Wasserpreisberechnung und Ermittlung der Kostenstruktur der Wasserversorgung

In 2005 wurde eine großflächige Wasserpreisbefragung in Bayern bei allen Gemeinden bzw. Wasserverbänden durchgeführt. Darauf aufbauend wurde mit der Erstellung einer Datenbank begonnen. Hier gingen auch neue technische und ökonomische Daten der BGW für die Jahre zwischen 1991 und 2001 ein. Diese Arbeiten dauern an und werden deshalb noch nicht im Detail beschrieben.

2.1.4.4 Modellierungsergebnisse von *WaterSupply* (flaches Modell)

Ergebnisse aus rein sektoraler Sicht gibt es im engeren Sinne nicht mehr, so dass ausschließlich integrative Ergebnisse beschrieben werden (in Kap. 2.2.3.5). Die sektoralen Anteile der Entwicklung und Implementierung des Tiefen Akteursmodells werden ebenfalls im integrativen Teil (Kap. 2.2.3) beschrieben.

2.1.4.5 Teilbereich Wasserversorgung: Ausblick sektorale Arbeiten

Die Schwerpunkte im Teilbereich Wasserversorgung liegen ab dem Frühjahr 2006 auf der Weiterentwicklung des Tiefen Akteursmodells *DeepWaterSupply*. Sektoral ist das Hauptziel eine weitere Ausgestaltung der Pläne und Aktionen und eine Validierung des Ansatzes durch Literaturvergleiche, Gespräche mit Wasserversorgern und Verbänden.

2.2 Ergebnisse integrativer Arbeiten

2.2.1 Übersicht

Wie bereits erwähnt, tragen alle Arbeiten des Teilprojekts einen stark integrativen Charakter. Zu den herausragenden integrativen Arbeiten zählen grundsätzlich die Anpassungen der Objekte an das fortwährend weiterentwickelte DANUBIA-Framework und die Anforderung anderer Modelle. In diesem Rahmen wurden die modellübergreifenden Konzepte zur Kopplung in der bewährten Form weitergeführt. UML half die Ergebnisse inhaltlicher Diskussionen zu formalisieren und umzusetzen. Wichtige Diskussionen wurden im Bereich *Groundwater* im Rahmen der gemeinsamen Anpassung mit *RiverNetwork* und *Soil*, sowie für die Schnittstellenkonzeption *RiverNetwork-Groundwater* geführt. Im Bereich Wasserversorgung standen die Diskussion der Ermittlung des Wasserpreises, die grundlegende Konzeption des gemeinsamen *Deep Actor Frameworks* mit den Akteuren und der Informatik, das Konzept zur Berechnung und Übermittlung der Verfügbarkeit von Wasserressourcen mit *Groundwater*, *WaterSupply* und den Akteursgruppen, und der Schnittstellen und Zeittakte zwischen *WaterSupply* und den verbrauchenden Akteurs-Modellen im Vordergrund.

Im Frühjahr 2004 übernahm Dr. R. Barthel (Stuttgart) die Koordination der gemeinsamen Arbeiten der Akteursgruppe von Prof. Dr. A. Ernst, der aber für die inhaltliche Weiterentwicklung im Bereich der Akteursmodelle federführend mitverantwortlich bleibt. Weiterhin übernahm das Teilprojekt Grundwasser- und Wasserwirtschaft die Betreuung der *Actors-Komponente (ActorController)*, also der übergeordneten Einheit, die in DANUBIA die

Kommunikation zwischen den *Actors*-Modellen und den anderen Hauptkomponenten sicherstellt. Hierbei sind Programmierungsarbeiten und Abstimmungen mit allen Gruppen erforderlich.

2.2.2 Integrative Arbeiten: Teilbereich Grundwasser

In diesem Abschnitt werden im Wesentlichen nur die Anpassungen des Objekts *GroundwaterFlow* an das neue Framework und die Veränderungen in anderen Modellen beschrieben. Inhaltliche (sektorale) Anpassungen des Objekts wurden im Kapitel 2.1.1 beschrieben. Gegenüber den vorausgegangenen Berichtsjahren hat sich an der Konzeption der Einbindung des Objekts *Groundwater* in DANUBIA nichts grundlegend verändert. Die internen Strukturinformationen sind inzwischen für eine UML-Darstellung in diesem Bericht zu umfangreich. Eine Darstellung unterbleibt daher. Schnittstellen und Austauschparameter wurden in einigen Aspekten geändert. So kamen z.B. neue Austauschparameter zwischen *Groundwater* und der Akteurs-Komponente hinzu, die das Objekt *WaterSupply* zur Berechnung der *GroundwaterQuantityFlag* benötigt. Diese Austauschparameter ersetzen nun den bisherigen Parameter *maximumGroundwaterWithdrawal* und bilden ein zentrales Element in der Tiefen Akteurs Konzeption von *DeepWaterSupply*.

Die internen Schnittstellen des Objekts *GroundwaterFlow* sind in Abbildung 6, die externen Schnittstellen der Komponente *Groundwater* in Abbildung 7 dargestellt. Die wesentliche Neuerung besteht in der durch das Tiefe Akteursmodell und dem dort beinhalteten Flaggenkonzept (Kap. 2.2.3.4) veranlassten Streichung des Parameters *maximumGroundwaterWithdrawal*. Dieser war ursprünglich dazu vorgesehen, den Akteursmodellen mitzuteilen, wie viel Grundwasser maximal aus einem Proxel entnommen werden kann. Es zeigte sich aber, dass es inhaltlich und technisch schwierig und darüberhinaus konzeptionell wenig hilfreich ist, einen solchen Parameter zu berechnen. Statt dessen wird nun die Bewertung, ob und wie viel Wasser aus einem Proxel entnommen werden kann, durch das Objekt *WaterSupply* selbst vorgenommen⁵⁾. Hierzu werden die monatlich aggregierten Werte von *groundwaterLevel*, *groundWaterRecharge* und *inExfiltration* (Zusatz: *monthly-mean*) benötigt. Die weitere Berechnung ist im Kapitel 2.2.3.4 beschrieben.

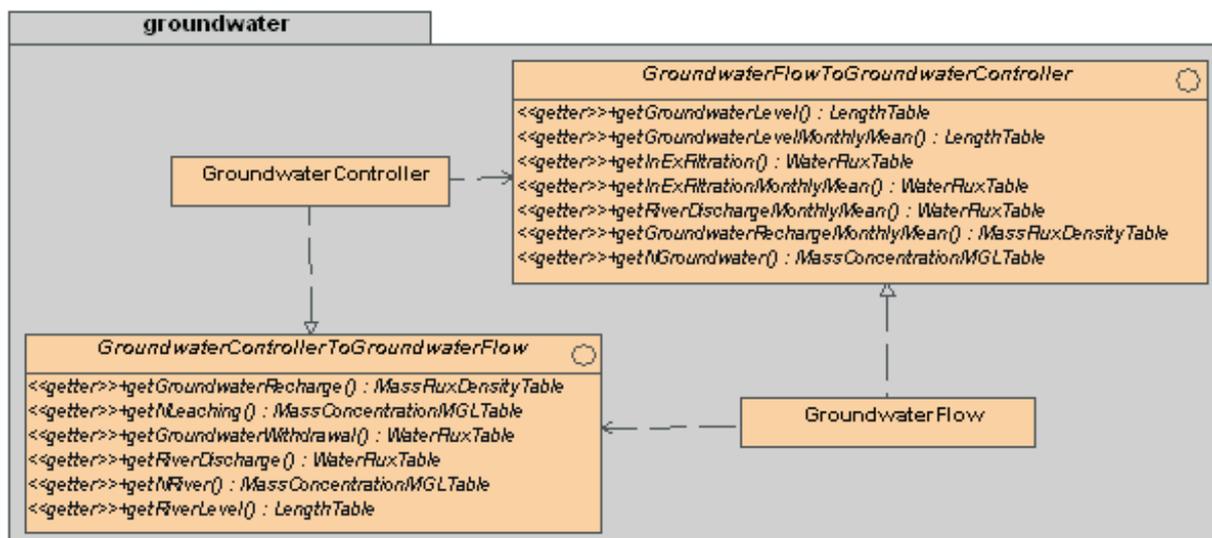


Abb. 6: Interne Schnittstellen des Objekts *GroundwaterFlow* in der Komponente *Groundwater*

⁵⁾ Prinzipiell kann eine solche Bewertung nur von Experten vorgenommen werden. Sie sollte aus diesem Grund eigentlich im Objekt *Groundwater* stattfinden und nicht durch das Modell einer Akteursgruppe. Die Bewertung ist nur aus technischen Gründen bei *Watersupply* implementiert, wobei es sich hier als Vorteil erweist, das Grundwasser und Wasserversorgung von einer Gruppe bearbeitet werden.

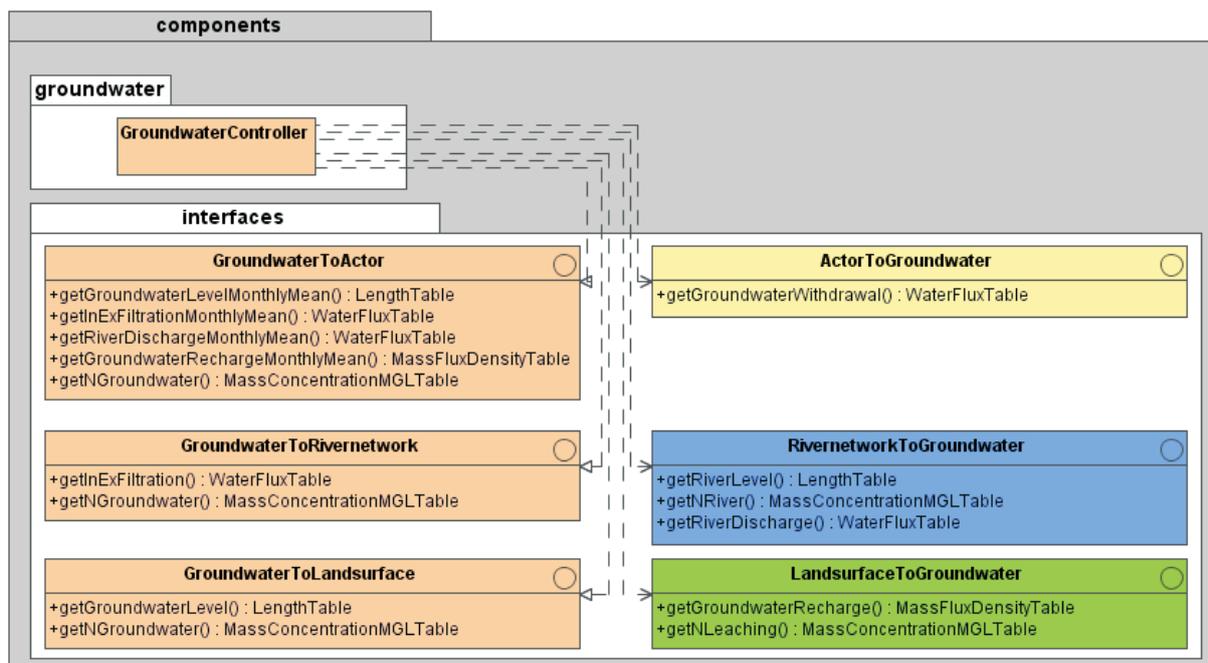


Abb. 7: UML-Schnittstellendiagramm der Komponente *Groundwater*

2.2.3 Integrative Arbeiten: Teilbereich Wasserversorgung

Im Zentrum der integrativen Arbeiten stand die gemeinsame Umsetzung eines Prototyps des Tiefen Akteurs in Zusammenarbeit mit allen Akteursgruppen und der Gruppe Informatik. Folgende Aufgaben bildeten die Schwerpunkte der integrativen Arbeiten:

1. Die Erarbeitung eines allgemeinen Konzepts für die Tiefen Akteure und eines *Modellframeworks*,
2. Gemeinsame Arbeiten an einer Nachhaltigkeitschnittstelle für die Berechnung des verfügbaren Wasserdargebots durch die naturwissenschaftlichen Modelle und eines Verfahrens zur Übermittlung des mengen- und qualitätsmäßigen Zustands der Wasserressourcen an die sozioökonomischen Modelle.

2.2.3.1 Koordinatorische Aufgaben

Bereits im Frühjahr 2004 übernahm Dr. R. Barthel (TP GW-Wasserwirtschaft, Stuttgart) die Koordination der Akteursgruppen. Eine übergeordnete Kontrolle der Arbeiten der Akteursmodelle war insbesondere aufgrund der gemeinsamen Entwicklung der Tiefen Akteursmodelle erforderlich. Zu den koordinierten Aktivitäten gehörten z.B. die Durchführung und Auswertung einer Machbarkeitsanalyse Tiefer Akteur, in der alle Gruppen ihre Vorstellungen zu den Akteuren und deren Funktionalität festschrieben. Diese Analyse diente dann im Wesentlichen als Grundlage zur Ausarbeitung des *DeepActor*- Frameworks. Weiterhin wurden die Dokumentationen und die Schnittstellenkonzepte koordiniert, in enger Zusammenarbeit mit Stephan Janisch, Gruppe Informatik, der für die Implementierung des *DeepActor*- Frameworks verantwortlich ist. Es wurden insgesamt drei Treffen zum Thema Entwicklung des Tiefen Akteurs vorbereitet und organisiert.

Ebenfalls im Frühjahr 2004 hat die Gruppe Barthel/Braun die Pflege des *ActorController* übernommen. Der *ActorController* verwaltet und regelt die Anbindung der gesamten Akteurskomponente an die anderen Hauptkomponenten (*Atmosphere*, *LandSurface* ...) und das DANUBIA-Framework. Im *ActorController* sind alle Schnittstellen zwischen den Akteursmodellen und nach außen spezifiziert. Vor allem im Herbst 2005 waren - als Vorbereitung für die aktuellen Läufe des Gesamtmodells - sehr viele Neuerungen erforderlich, insbesondere im Zusammenhang mit den neu konzipierten Tiefen Akteuren. Diese zusätz-

lich übernommene Aufgabe bringt einen erheblichen Aufwand, v.a. im Bereich Koordination und Kommunikation, mit sich. Bei den übernommenen Arbeiten handelt es sich um zusätzliche Aufgaben, die durch den Umfang der beantragten Mittel nicht abgedeckt sind.

2.2.3.2 Beiträge zur konzeptionellen Entwicklung und Implementierung der Tiefen Akteursmodelle

Die Entwicklung des Tiefen Akteursmodells *DeepWaterSupply* kann nicht losgelöst von der Entwicklung des allgemeinen Konzepts der Tiefen Akteure und insbesondere von der Entwicklung des *DeepActor*-Frameworks (→ Gruppe Informatik) beschrieben werden. Noch deutlich stärker als das DANUBIA-Framework übernimmt das *DeepActor*-Framework Aufgaben, die für alle Akteursmodelle gleichartig durchgeführt werden, z.B. die Initialisierung von Akteuren. Dieses Framework ist eine relativ starre Struktur, in die ein beliebiger Akteur mit geringem Aufwand implementiert werden kann. Da die Struktur aber den höchst unterschiedlichen Anforderungen aller Akteursgruppen gleichermaßen gerecht werden musste, lag der wesentliche Entwicklungsaufwand in einer iterativen Anpassung von Konzeption und Implementierung. Das *DeepActor*-Framework wird ausführlich im Bericht der Gruppe Informatik beschrieben.

Am Anfang der Entwicklung von *DeepWaterSupply* und der anderen Tiefen Akteursmodelle stand ein erster Entwurf der gemeinsam von der Gruppe Household und Informatik ausgearbeitet wurde. Er enthielt bereits die wesentlichen Elemente, die dem Konzept heute zugrunde liegen. Vor dem Hintergrund dieses Entwurfs wurde zunächst, koordiniert durch die Gruppe *Watersupply*, eine Machbarkeitsanalyse durchgeführt, die folgende Ziele hatte:

1. Definition der Akteure bzw. Akteurstypen für die einzelnen Teilmodelle,
2. Ermittlung der Anzahl der potentiellen Akteure,
3. Festlegung der Ziele der Akteure,
4. Identifikation der Reaktionsmöglichkeiten auf relevante Veränderungen (hinsichtlich Global Change),
5. Definition der Auslöser für Reaktionen (Übergabeparameter),
6. Feststellung von Priorisierung von Reaktionsmöglichkeiten in Abhängigkeit des Akteurstyps (Entscheidungen),
7. Feststellung des Datenbedarfs für die Umsetzung bestimmter Reaktionsmöglichkeiten,
8. Identifikation des Rückkopplungsbedarfs mit den übrigen Akteurs- und naturwissenschaftlichen Gruppen.

Diese Analyse wurde von allen Gruppen durchgeführt. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte bei einem Treffen in Stuttgart und bildete die Basis für die Entwicklung der Tiefen Akteursmodelle *DeepWaterSupply* und *DeepHousehold*. Die Implementierung der Prototypen *DeepWaterSupply* und *DeepHousehold* hatte im folgenden sehr stark iterativen Charakter. Framework- und Modellimplementierungen mussten vielfach aufeinander abgestimmt werden, gleichzeitig war die Kommunikation zwischen den Beispiel-Implementierungen *DeepWaterSupply* und *DeepHousehold* inhaltlich zu entwickeln.

2.2.3.3 Konzeptionelle Entwicklung und Implementierung von *DeepWaterSupply*

Das oberste Ziel des Wasserversorgungs-Akteurs ist es, die mengenmäßig und qualitativ einwandfreie Versorgung aller angeschlossenen Verbraucher sicherzustellen. Dieses Ziel wird in der Realität durch eine am Bedarf der Verbraucher orientierte Bereitstellung von Entnahmestellen (Brunnen etc. - *Sources*), eine ggf. erforderliche Aufbereitung des Rohwassers sowie ein Verteilungsnetz, das Brunnen, Aufbereitungsanlagen und Verbraucher verbindet, erreicht. Die Bereitstellung der Entnahmestellen und die Verteilung an die Ver-

braucher waren bereits im flachen Modell *WaterSupply* realisiert. Aufbereitung und Speicherung werden auch im tiefen Modell nicht explizit modelliert.

Es ist Aufgabe und Ziel jedes Wasserversorgungsunternehmens, in einer vorausschauenden Planung, Bedarf und Angebot ständig zu beobachten und absehbare Engpässe zu beseitigen. Genau dieses tut nun der Tiefe Wasserversorgungs-Akteur. Seine Strategie ist es, Wassermangel und andere kritische Situationen zu vermeiden. Er erreicht dies durch eine vorbeugende Strategie. Die Beobachtung von Angebot und Bedarf erfolgt dabei im Modell durch die Berechnung und Interpretation von sog. Flaggen (Kap. 2.2.3.4). Die vorbeugende Strategie besteht darin, möglichst früh auf Warnflaggen niedrigerer Stufen zu reagieren.

Die folgende Auflistung sowie Abbildung 8 und Abbildung 9 beschreiben die wesentlichen Elemente, Eingaben und Ausgaben sowie die prinzipiellen Berechnungsschritte des Modells. Der (tiefe) Akteur im tiefen Modell ist das Wasserversorgungsunternehmen (*WaterSupplyCompany*: *WSC*).

1. Modellelemente (proxelbezogene und proxelunabhängige Objekte)
 - a. *WSC*: Versorger - nicht speziell verortet
 - b. *Community*: Gemeinde - Verbraucher - Aggregat aus Proxeln
 - c. *Source*: Entnahmestelle
 - d. *Potential Source*: potentielle Entnahmestelle
 - e. *Zone*: Gebiet (Aggregat aus Proxeln), das einen einheitlichen Grundwasserkörper⁶⁾ beschreibt
2. Inputdaten (von anderen Modellen)
 - a. Wasserbedarfswerte aller Verbraucher pro Proxel *XXXdemand* (wo: XXX = Akteursmodell)
 - b. Mittlerer Grundwasserstand pro Monat / Zone *groundwaterLevelMonthlyMean* (*Groundwater*)
 - c. Summe Grundwasserneubildung pro Zone / Monat *groundwaterRechargeMonthlyMean* (*LandSurface/Soil*)
 - d. Oberflächenabfluss (Pegel) pro Zone / Monat *riverDischargeMonthlyMean* (*RiverNetwork*)
 - e. In-/Exfiltration pro Zone / Monat *inExfiltrationMonthlyMean* (*Groundwater*)
3. Berechnungsschritte - A) flaches Modell (stark vereinfacht)⁷⁾
 - a. Einlesen der Bedarfswerte aller Akteursmodelle
 - b. Aufsummierung aller Bedarfswerte pro Gemeinde
 - c. Senden der summierten Bedarfswerte an die zugehörige *WSC*; Abgleich mit der zur Verfügung stehenden Kapazität
 - d. Fallunterscheidung: Bedarf gedeckt (→ Ende) - Bedarf nicht gedeckt (→ e)
 - e. Senden des nicht gedeckten Bedarfs an die zweite zugeordnete *WSC*⁸⁾, siehe c)
 - f. Fallunterscheidung wie d), Bedarf nicht gedeckt → B) Tiefes Modell⁸⁾

⁶⁾ Grundwasserressource, Aquifer, Grundwasserleiter: Es wird in der Folge der Begriff Grundwasserkörper verwendet, um einen weitgehend homogenen, einheitlich reagierenden Grundwasserbereich zu bezeichnen.

⁷⁾ Vgl. Abbildung 9: Das Modell *DeepWaterSupply* besteht aus einer flachen Komponente, die dem objektorientierten Ansatz (vgl. Kap. 2.1.4.1) entspricht und dem eigentlichen Tiefen Akteursmodell. Solange keine Entscheidungen (Bedarf problemlos gedeckt) zu treffen sind, wird das Tiefe Modell nicht ausgeführt.

⁸⁾ Derzeit kann jede Gemeinde im flachen Bereich von maximal zwei WVU versorgt werden, die bei der Initialisierung (also vorab) festgelegt werden.

4. Berechnungsschritte - B) Tiefes Modell (stark vereinfacht)
 - a. Berechnung der Bewertung des Zustands aller Entnahmestellen (Flaggen → Kap. 2.2.3.4)
 - b. Bei nicht gedecktem Bedarf aus flachem Modell (A): Prüfung der zur Verfügung stehenden Pläne, Planauswahl, Planumsetzung
 - c. Berechnung der Entnahmemengen für alle Entnahmestellen
 - d. Bereitstellung der Entnahmewerte für *Groundwater und RiverNetwork*
5. Outputdaten (Übergabeparameter an andere Modelle)
 - a. Entnahmewerte pro Proxel (Fluss / Grundwasser)
 - b. *GroundwaterQuantityFlag*: Zustand eines Grundwasserkörpers (Zone) auf einer Skala von 1 bis 5 (Quantität) - bezieht sich auf Entnahmestellen
 - c. *GroundwaterQualityFlag*: noch nicht implementiert
 - d. *DrinkingWaterQuantityFlag*: Gewichtetes Mittel der Zustände aller Grundwasserkörper die einen Verbraucherproxel bedienen (Quantität)
 - e. *DrinkingWaterQualityFlag*: noch nicht implementiert

Zusammengefasst sieht *DeepWaterSupply* seine Aufgabe also in der Verteilung der Demands (hier gleichzusetzen mit Verbrauch) auf die zur Verfügung stehenden *Source*-Proxel. Das Bestreben ist die Deckung des Bedarfs. Grundlage ist die Annahme, dass Wasser global (das heißt hier im gesamten Einzugsgebiet und realistisch nutzbarer Ressourcen in benachbarten Gebieten) in ausreichendem Maße zur Verfügung steht. Das bedeutet, dass einer lokalen Steigerung des Bedarfs (=Verbrauchs) oder einer lokalen Verknappung/ Verschlechterung der Ressourcen mit einer geänderten Verteilungs- bzw. Gewinnungsstrategie begegnet wird. Alle Entscheidungen bzw. Pläne, die *DeepWaterSupply* zur Verfügung stehen, haben dieses Ziel.

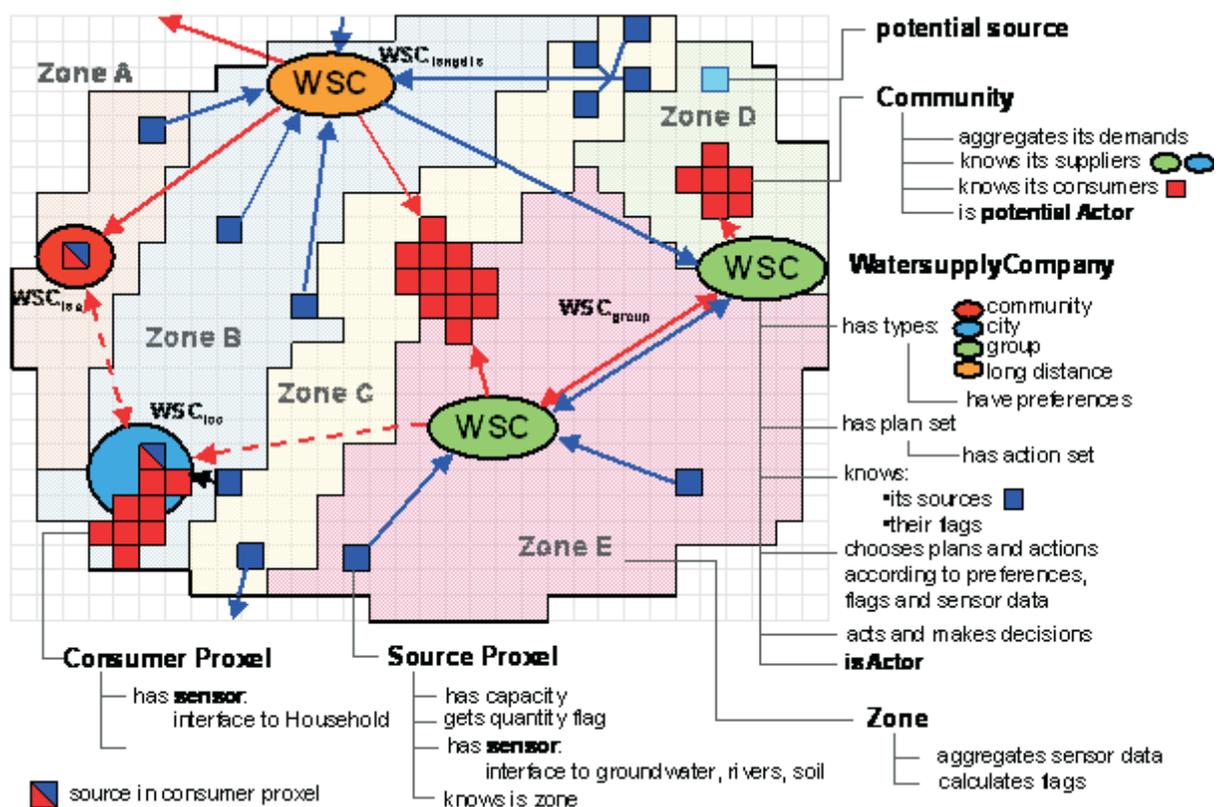


Abb. 8: Elemente (Objekte) des tiefen Akteursmodells *DeepWaterSupply* und deren Funktionalität

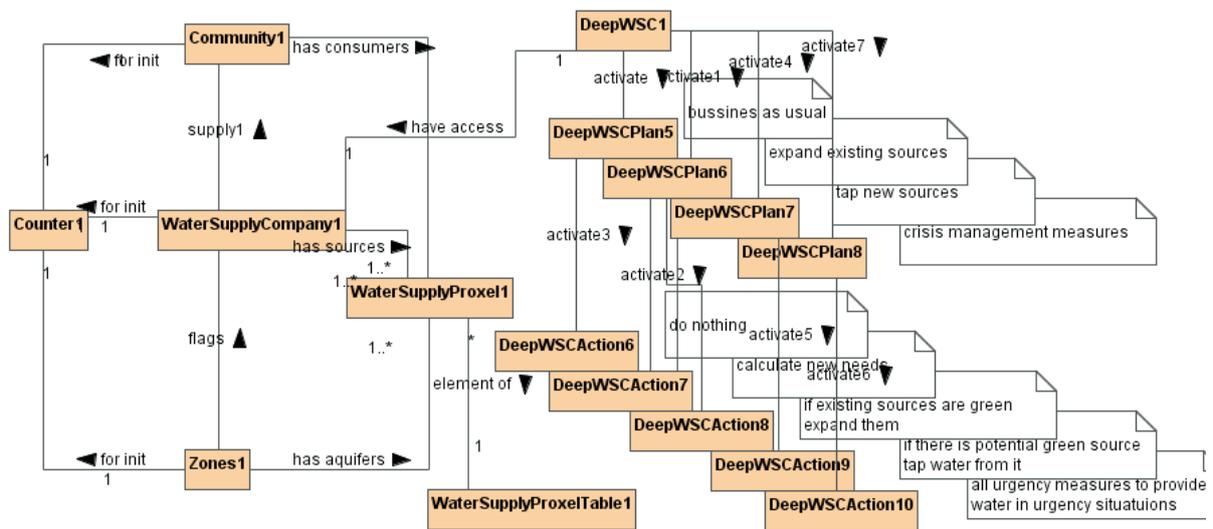


Abb. 9: Struktur von *DeepWaterSupply*

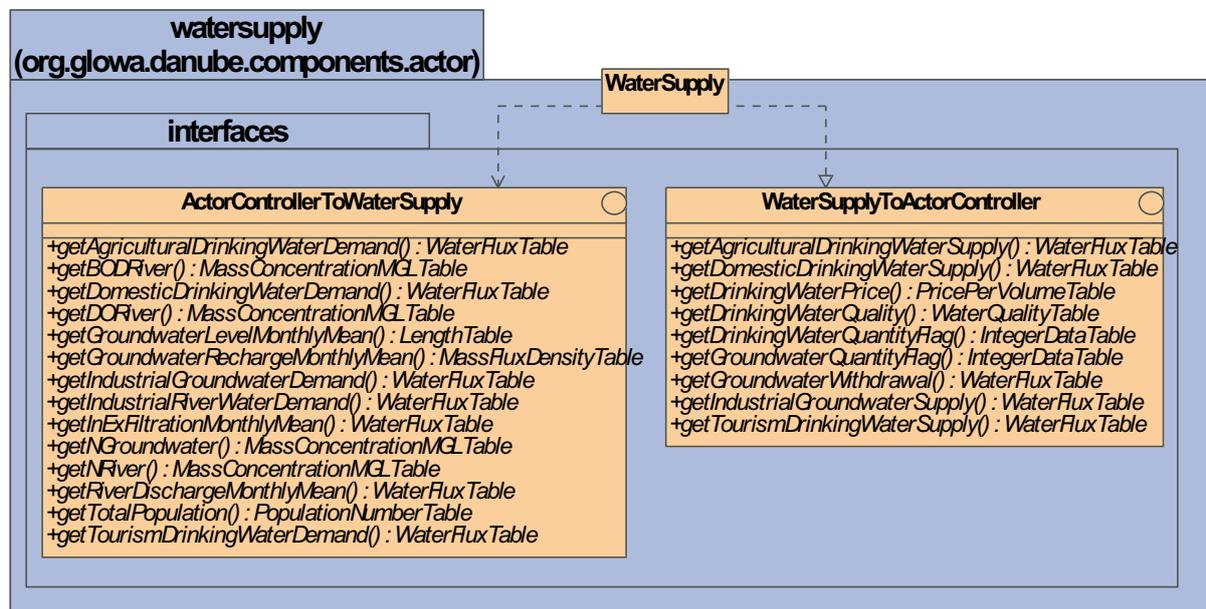


Abb. 10: UML-Schnittstellendiagramm *WaterSupply*

2.2.3.4 Flaggen: Das Konzept zur Nachhaltigkeitsbewertung der Nutzung von Wasserressourcen

Akteursmodelle in GLOWA-Danube haben unter anderem die Aufgabe, den Wasserverbrauch unter geänderten sozioökonomischen und klimatischen Bedingungen zu prognostizieren. Der Wasser-Verbrauch wird mehr oder weniger stark auch durch das Wasserangebot (Dargebot) bestimmt. Es ist also erforderlich, den Akteursmodellen Informationen über den aktuellen und zukünftigen Zustand bzw. Veränderungen gegenüber Referenzzuständen und -zeiträumen in der Vergangenheit auf der Angebotsseite mitzuteilen. Dieser Zustand kann aus verschiedenen von den naturwissenschaftlichen Modellen berechneten Parametern (*groundwaterLevel*, *river-Discharge*, *groundwaterRecharge*) abgeleitet werden. Es ist aber aufgrund der Komplexität der zugrunde liegenden Prozesse und wegen der Heterogenität der maßgeblichen naturräumlichen Einheiten nicht möglich, einfache direkte Abhängigkeiten zwischen den aktuellen Werten dieser Parameter und dem aktuellen und zukünftigen Zustand der Angebotsseite herzustellen. Deshalb kann eine Interpretation nicht durch die Akteursgruppen selbst, sondern nur mit dem Expertenwissen der zuständigen Gruppen (*Groundwater*, *Watersupply*, *Rivernetzwerk*) erfolgen. Zusätzlich ist es konzeptionell und aufgrund der Datenlage schwierig, die betreffenden Parameter mit der erforderlichen absoluten Genauigkeit zu berechnen. Beurteilt werden müssen

deswegen vorrangig auch relative Veränderungen zu Referenzzuständen oder ein Vergleich statistischer Kennzahlen. Auch dies kann nur unter Einbeziehung standortspezifischer Sekundärinformationen erfolgen.

In den flachen Modellen wurde ein starres Konzept verfolgt, dass die Berechnung der potentiell zur Verfügung stehenden Wassermenge pro Proxel auf Seiten von *Groundwater* und bei *RiverNetwork* vorsah (*maximumGroundwaterWithdrawal*). Die maximale Entnahmemenge pro Proxel und Zeitschritt zu berechnen ist allerdings methodisch schwierig und letztendlich nicht hilfreich. Mit dem Konzept des Tiefen Akteurs ist es nun möglich, den alten, starren und damit unrealistischen Ansatz durch eine realitätsnahe, flexible Methode zu ersetzen. Statt der Übergabe von Zahlenwerten, die eine spontane, in der realen Welt nicht nachvollziehbare exakt quantifizierte Limitierung bedeuten, werden nun mittel- und langfristige Zustandsänderungen übermittelt, die die Entscheidungsgrundlage für ebenso mittel- bis langfristig greifende Maßnahmen (Pläne) ermöglichen. Diese Zustandsänderungen werden durch Flaggen übermittelt, die individuell (für jeden Akteur, Akteurstyp) definier- und interpretierbar sind.

Eine Flagge ist eine klassifizierte Mitteilung über den mengenmäßigen (quantitativen) und qualitativen Zustand⁹⁾ von Grundwasser- (und Oberflächenwasser-Ressourcen). Sie kann ein bestehendes Risiko und dessen Ausmaß, oder auch eine grobe Charakterisierung der aktuellen und in Zukunft zur Verfügung stehenden Menge anzeigen. Die grundlegende Bedeutung der Flaggen ist in Abbildung 11 dargestellt. Das scheinbar sehr wenig differenzierte Klassifikationsschema wird im Kontext der Multi-Akteursmodellierung zur individuell anpassbaren Entscheidungsgrundlage unterschiedlicher Akteure mit unterschiedlichen Akteurstypen (vgl. Tab. 1).

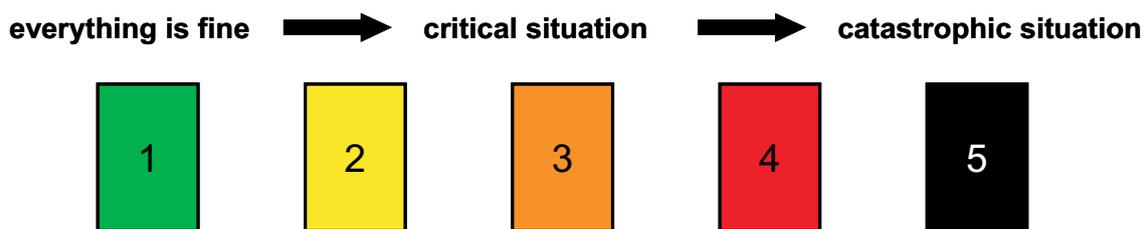


Abb. 11: Grundsätzliches Schema der Flaggenbedeutung

Klassifikationsschemata dieser Art sind in vergleichbaren Anwendungsfällen durchaus üblich, z.B. die bekannten Gewässergütekarten, Hochwassergefahrenkarten, etc. Überall dort, wo Zustände nicht direkt durch Messwerte weniger Einzelgrößen erfassbar sind, werden solche relativen Einschätzungen angegeben, die natürlich individuell interpretierbar sind. Gewässergüte 2 hat für einen Trinkwasserversorger, einen Angler oder einen Touristen eine unterschiedliche Bedeutung. Dabei hat nicht jeder individuelle Angler oder Schwimmer die gleichen Ansprüche an die Wasserqualität (oder -menge). Entsprechende Einstufungen können sowohl individuell unterschiedlich interpretiert werden, als auch vordefinierte, unterschiedliche Bedeutungen haben (vgl. Tab. 1). Sie können ein Verbot nach sich ziehen aber auch nur eine Warnung zum Ausdruck bringen. Die folgende Auflistung charakterisiert eine Flagge genauer:

- Flaggen sind (je nach Anwendungsfall und Adressat) zu verstehen als Warnflaggen, Risikoflaggen, grüne, gelbe, orange, rote Karten, Warn-(Alarm)-Stufen verschiedener Level.
- Flaggen fassen den Zustand einer Grundwasserressource (Zone s.u.) intuitiv verständlich zusammen.

⁹⁾ Die Begriffe mengenmäßiger und qualitativer Zustand von Wasserkörpern (~ Wasserressourcen, engl. water bodies, quantitative und qualitative status) sind zentraler Bestandteil der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL). Sie können hier allerdings nicht exakt analog verstanden werden, da die WRRL ausdrücklich nur anthropogene Beeinflussungen von Wasserkörpern betrachtet und z.B. klimatische Einflüsse ausklammert. Ziel ist dort primär das Erreichen eines natürlichen Zustands, auch wenn dieser z.B. unter Versorgungsaspekten sehr schlecht wäre.

- Flaggen gelten jeweils für eine Zone. Eine Zone ist definiert durch ein Einzugsgebiet (mit Pegel) und den maßgeblichen Aquifer. Pro Teileinzugsgebiet (150 in GLO-WA-Danube) sind also bis zu vier unterschiedliche Zonen möglich (vier Aquifere im Grundwassermodell, von denen aber nicht alle in einem Teileinzugsgebiet vorkommen müssen). Insgesamt wurden 405 Zonen definiert.
- Flaggen übersetzen komplexe, kontextbezogene physikalische Größen (s.u.) in individuell (intuitiv) interpretierbare Signale für sozioökonomische Sub-Modelle.
- Flaggen berücksichtigen aggregierte Grundwasserstände, Grundwasserneubildung, Basisabfluss und Gesamtabfluss in unterschiedlicher Gewichtung in Abhängigkeit von den Charakteristika der einzelnen Zonen.
- Flaggen beschreiben relative Änderungen zu einem zurückliegenden Referenzzeitraum und ermöglichen eine Trendextrapolation in die Zukunft.
- Flaggen berücksichtigen unterschiedliche Reaktionszeiten für unterschiedliche Parameter in den einzelnen Zonen. In einer Zone, die lange Reaktionszeiten bezüglich der Veränderung der einzelnen Parameter aufweist, werden Veränderungen über längere Zeiträume betrachtet als in Zonen mit sehr raschen Reaktionszeiten.

Tab. 1: Vorschläge und Beispiele zur Interpretation von Flaggen

Flagge	Entsprechung in der Realität	Bedeutung / Reaktionsmöglichkeit /-notwendigkeit
grün	keinerlei Hinweise und Meldungen	kein direkter Einfluss auf Entscheidungen bzw. business as usual
gelb	erste, unspezifische Hinweise auf mögliche kritische Zustände der Wasserversorgung	leichte Beeinflussung von Planauswahl bei besonders sensiblen Typen
orange	Aufrufe zum Wassersparen	wird von einigen Typen unterschiedlich konsequent befolgt
rot	Verbot bestimmter Handlungen (Bewässerung, Autowaschen)	wird von mehr Typen unterschiedlich konsequenter befolgt
schwarz	Akuter Wassermangel	ruft Reaktionen bei allen hervor

Berechnung von Flaggen

Sowohl die Berechnungsalgorithmen für die Flaggen, als auch die Festlegung der Zonen (= Gültigkeitsbereich von Flaggen) werden sehr einfach gehalten. Grund hierfür ist, dass die konzeptionellen Vorstellungen, die den Flaggen zugrunde liegen, nicht deterministisch oder empirisch begründet sind, sondern auf (subjektiven) Annahmen und Erfahrungswerten beruhen. Das Konzept lässt sich kaum durch Messungen und harte Daten verbessern, sondern nur durch Hinzufügen neuer oder besserer Erfahrungen von Experten. Um dies zu ermöglichen, muss gewährleistet sein, dass die verwendeten Parameter und Informationen im Berechnungsablauf so transparent bleiben, dass ihre Bedeutung für das Ergebnis direkt erfassbar ist. Nur so kann das Verfahren und das Ergebnis mit externen Experten und Stakeholdern diskutiert und verbessert werden. Die Berechnung der Flaggenwerte beruht auf drei wesentlichen Grundlagen:

- Der zugrunde liegenden Bewertungsstrategie.
- Den Berechnungsalgorithmen und den notwendigen Parametern der Berechnung.
- Dem Gültigkeitsbereich der Flaggen: Grundwasserkörper werden hier sehr stark abstrahiert zu (2-dimensionalen) Grundwasserzonen.

Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen zwei Flaggentypen

1. Flaggen, die Systemzustände von *Groundwater* (und *RiverNetwork*) beschreiben. Diese werden pro Zone berechnet. Derzeit: *groundwaterQuantityFlag*, später *groundwaterQualityFlag*.
2. Flaggen, die von *WaterSupply* an die anderen *Actors*-Modelle weitergegeben werden und die Versorgungssituation eines Verbraucher-Proxels charakterisieren. *DeepWaterSupply* berechnet für jeden Proxel, der einen *Demand* hat, das gewichtete Mittel der *groundwaterQuantityFlag* aller *Source*-Proxel, die diesen *Consumer*-Proxel bedienen.

Wesentlich ist hier, dass eine Flagge vom Typ *groundwaterQuantityFlag* immer für eine (Gewinnungs-)Zone gilt. Eine Flagge vom Typ *DrinkingWaterQuantityFlag* gilt dagegen nur für eine Community bzw. für ein Versorgungsgebiet.

Die Flaggenberechnung bezieht folgende Austauschparameter mit ein (Tab. 2):

Tab. 2: Bewertungsparameter

Bewertungsparameter	stammt von Modell	aggregiert räumlich: Zone	aggregiert zeitlich
<i>GroundwaterRecharge</i>	<i>soil</i>	Summen	Monat
<i>RiverDischarge</i>	<i>RiverNetwork</i>	Maximalwert	Monat
<i>InExfiltration</i>	<i>Groundwater</i>	Summen	Monat
<i>GroundwaterLevel</i>	<i>Groundwater</i>	Mittel	Monat

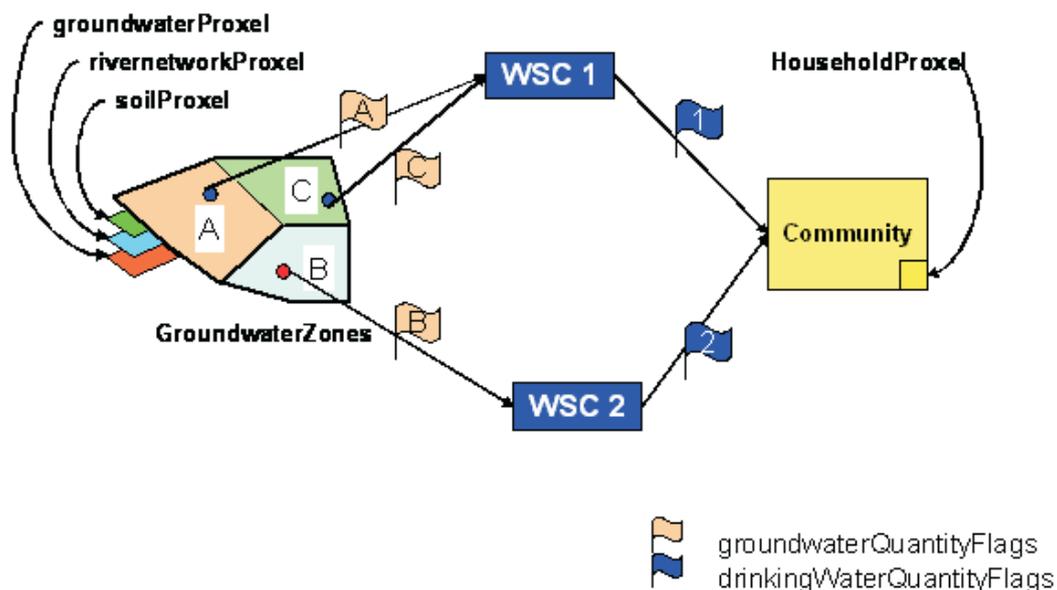


Abb. 12: Berechnung der *DrinkingWaterQuantityFlag*

Für jede Zone hat jeder Parameter ein bestimmtes Gewicht. So ist die Bedeutung des *GroundwaterRecharge* in einem tiefen Grundwasserkörper, der von einer geringdurchlässigen Schicht abgedeckt wird, gleich Null, etc. Um die Entwicklung und den Zustand eines Grundwasserleiters zu beurteilen, werden Zeitreihen der genannten Parameter in der Vergangenheit ausgewertet. Die Länge der zur berücksichtigenden Zeitreihe berücksichtigt bestimmte Eigenschaften der jeweiligen Zone, die in der Reaktionszeit zusammenfasst ist. So muss z.B. bei einem tief gelegenen Grundwasserkörper eine längere Zeitreihe des Grund-

wasserstandes ausgewertet werden, da dort eine Reaktion erst nach langer Zeit sichtbar wird. Gewichte und Zeiträume (Reaktionszeiten) werden jeweils individuell für jeden Parameter und für jede Zone festgelegt.

2.2.3.5 Modellierungsergebnisse von *DeepWaterSupply*

Im Vergleich zu den Ergebnissen des flachen *WaterSupply* Modells sind die Ergebnisse des Objekts *DeepWaterSupply* deutlich vielschichtiger geworden. Das flache Modell konnte im Prinzip nur dann bemerkenswerte Ergebnisse liefern, wenn das Wasserdargebot den Wasserbedarf innerhalb der starr festgelegten Versorgungsstruktur nicht decken konnte. Nur dann kam es zu sichtbaren Defiziten. Andernfalls beschränkte sich die Funktion des Modells auf das Weitervermitteln des Wasserverbrauchs an die Entnahmestellen (Grundlage hierfür ist eine der realen Wasserversorgungsstruktur entsprechenden Zuordnung). Aufgrund der zuletzt einigermaßen befriedigenden Datensituation sowie aufgrund der Tatsache, dass Wassermangel (Defizite) im Einzugsgebiet der oberen Donau in den letzten Jahrzehnten praktisch nicht vorgekommen ist¹⁰⁾, war das flache Modell damit in der Lage, den Ist-Zustand und Zustände der jüngeren Vergangenheit (bis ca. 1990) befriedigend abzubilden. Das starre Konzept ohne Entwicklungs- bzw. Entscheidungsmöglichkeiten ist aber nicht für Szenarien einsetzbar. Mit dem tiefen Akteursmodell *DeepWaterSupply* ändern sich sowohl die Möglichkeiten als auch die Vielfalt der Ergebnisse. Grundsätzlich wird als wesentliches Ergebnis von *DeepWaterSupply* die Identifikation und Darstellung von Gebieten und Zeiträumen gesehen, in denen es mit der bestehenden Infrastruktur bei geänderter Dargebots- und Bedarfslage zu kritischen Situationen kommen kann. Als kritisch werden sowohl Unterversorgungen als auch Zustände gesehen, in denen Nachhaltigkeitsprinzipien verletzt oder ökologische Schäden entstehen können. In diesem Zusammenhang können die folgenden Ergebnisse von *DeepWaterSupply* ausgewertet werden:

- Änderungen der *groundwaterQuantityFlag*: Änderungen dieses Parameters zum Schlechteren zeigen an, dass ökologische oder Nachhaltigkeitskriterien verletzt werden, die eine weitere Entnahme einschränken (sollten). Die *groundwaterQuantityFlag* allein zeigt noch nicht an, was genau das Problem ist. Dazu müssen intern verwendete Variablen ausgewertet werden, auf die hier nicht eingegangen wurde. In Zukunft wird hier auch die *groundwaterQualityFlag* einbezogen werden können. Die *groundwaterFlags* zeigen vorwiegend Probleme auf der Angebotsseite auf.
- Änderungen der *drinkingWaterQuantityFlag*: Änderungen dieses Parameters zum schlechteren zeigen an, dass die Versorgungslage in den betroffenen Versorgungsgebieten sich verschlechtert hat oder im schlimmsten Fall eingeschränkt ist. In Zukunft wird hier auch die *drinkingWaterQualityFlag* einbezogen werden können. Die *drinkingWaterFlags* zeigen vorwiegend Probleme der Wasserversorgungsstruktur auf, die aber im Zusammenhang mit dem Dargebot gesehen werden müssen.
- Planauswahl der Wasserversorgungsunternehmen (*WSC*-Akteur): Die Planauswahl einer *WSC* im Falle einer Angebotseinschränkung oder Bedarfserhöhung lässt Rückschlüsse auf die Art der Probleme, die in einer Region bestehen, zu. Da die Pläne momentan weder sehr detailliert noch insgesamt vollständig sind, sind umfangreiche Interpretationen hier allerdings noch nicht zulässig.

Es ist hier anzumerken, dass die Entwicklung des *DeepActor*-Frameworks und des *DeepWaterSupply*-Modells noch nicht abgeschlossen ist und der erste gemeinsame Simulationslauf, in dem *DeepWaterSupply* Daten von *Groundwater*, *RiverNetwork* und *Soil* erhält, erst vor kurzem stattgefunden hat. Vorher (z.B. für die Ergebnispräsentation zur Statuskonferenz im Mai 2005) wurde das Modell ausschließlich mit generierten Daten lokal getestet. In den derzeit laufenden Simulationen sind die berechneten Ergebnisse noch fehlerbehaftet. Es wird hier deshalb teilweise auf Ergebnisse aus lokalen Testläufen zurückgegriffen.

¹⁰⁾ Im trockenen Sommer 2003 wurden nach eigenen Erhebungen in ca. 10-15 Gemeinden und Gemeindeteilen Wassermangel registriert, davon waren vorübergehend wenige 1000 Einwohner betroffen.

Abbildung 13 zeigt ein lokal erzeugtes Ergebnis, das auf einem Szenario mit einer drastisch reduzierten Grundwasserneubildung basiert. In diesem Testlauf wurde eine dramatische Veränderung der *groundwaterQuantityFlag* gewissermaßen erzwungen. In einem realistischen Szenario sind die Veränderungen viel weniger ausgeprägt.

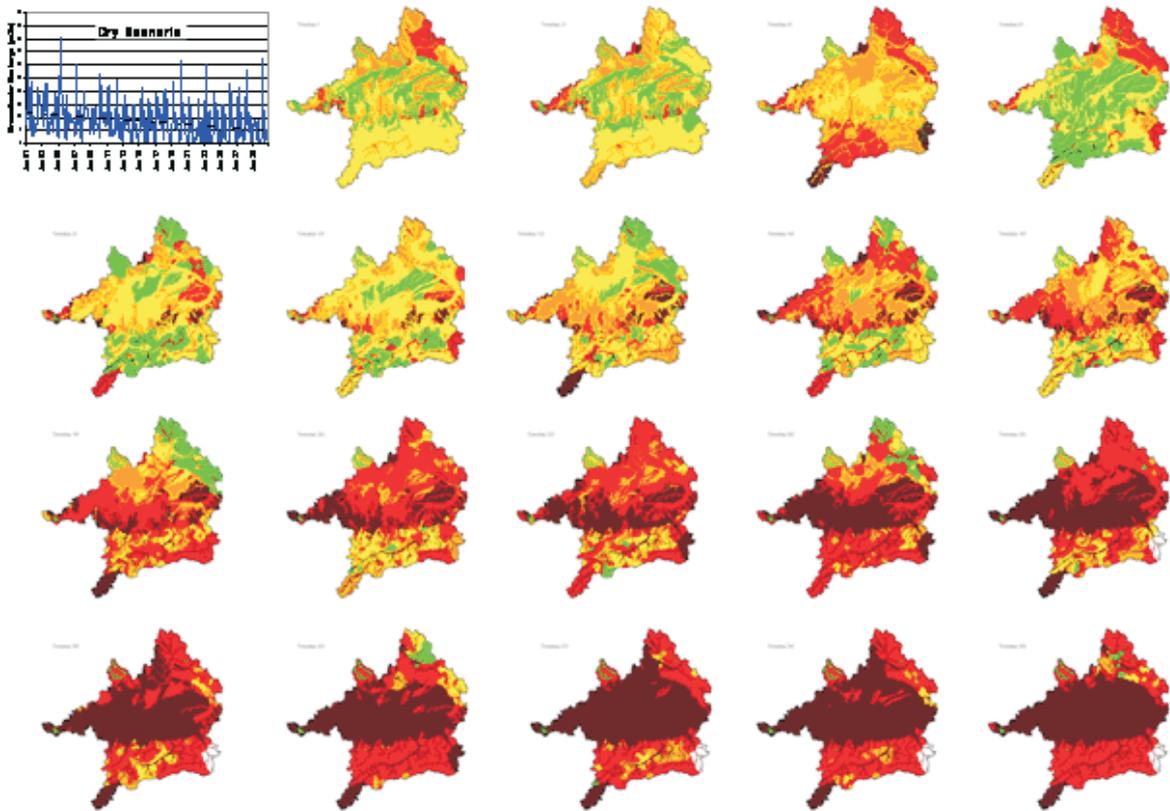


Abb. 13: Flächenhafte Änderungen der *groundwaterQuantityFlag* für ein extrem trockenes Szenario über 30 Jahre. Das Diagramm links oben zeigt die Änderung der Grundwasserneubildung in dem entsprechenden Zeitraum. Flaggen - Legende: grün: 1, gelb: 2, orange: 3, rot: 4, braun: 5

Abbildung 14 zeigt als weiteres Beispiel ein Ergebnis der aktuell gemeinsam mit allen anderen Modellen durchgeführten Szenariosimulation. Hier ist die Anzahl der Gemeinden, für die pro Zeitschritt eine *drinkingWaterQuantityFlag* der Kategorien 2, 3 und 4 berechnet wurde, dargestellt. Der sprunghafte Anstieg nach 24 bzw. 60 Monaten ist darauf zurückzuführen, dass für viele Zonen die *groundwaterQuantityFlag*, die die Basis für die Berechnung der *drinkingWaterQuantityFlag* bildet (vgl. Abb. 12) erst nach der Auswertung entsprechend langer Perioden (Trends) berechnet werden kann. Insgesamt erscheint die Anzahl der Gemeinden, in denen die Situation nach nur fünf Jahren als kritisch, bzw. sehr kritisch eingestuft wurde, viel zu hoch. Wie oben bereits beschrieben, stammen diese Ergebnisse aus dem ersten gemeinsamen Lauf der Akteursmodelle mit den naturwissenschaftlichen Modellen, so dass keine gemeinsame Abstimmung zugrunde liegt. Zudem wirkt sich das Problem des langsamen Einschwingens des Grundwassermodells (vgl. Kap 2.1.2) hier negativ aus.

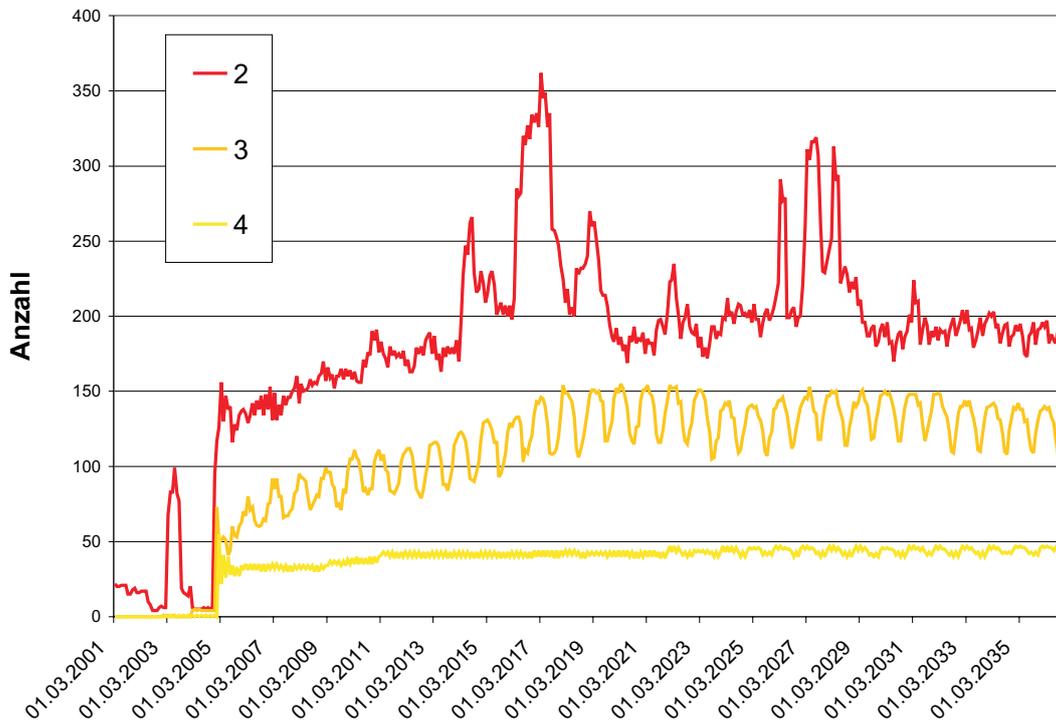


Abb. 14: Anzahl der Gemeinden für die pro Zeitschritt *drinkingWaterQuantityFlags* der Kategorien 2, 3, 4 berechnet wurden

Abbildung 15 zeigt abschließend ein Beispiel dafür, wie im Überblick die Planauswahl der einzelnen Wasserversorgungsunternehmen ausgewertet werden könnte. Die Ergebnisse stammen aus dem gleichen Modelllauf wie diejenigen aus Abbildung 14 und sind deshalb aus den gleichen Gründen mit Fehlern behaftet. Dargestellt ist die Anzahl der Wasserversorgungsunternehmen, die pro Zeitschritt einen Plan 2 (expand existing sources) oder 4 (crisis management) ausgewählt haben (vgl. Abb. 9). Als Fehler ist zu betrachten, dass der Plan 3 (tap new sources) nie ausgewählt wurde. Crisis Management bezeichnet einen bislang wenig differenzierten Plan, in dem alle Maßnahmen zusammengefasst sind, die in Notfällen üblicherweise eingesetzt werden (Versorgung durch Tankwagen, etc.). Auch hier ist deutlich zu erkennen, dass die Ergebnisse wiederum unrealistisch sind.

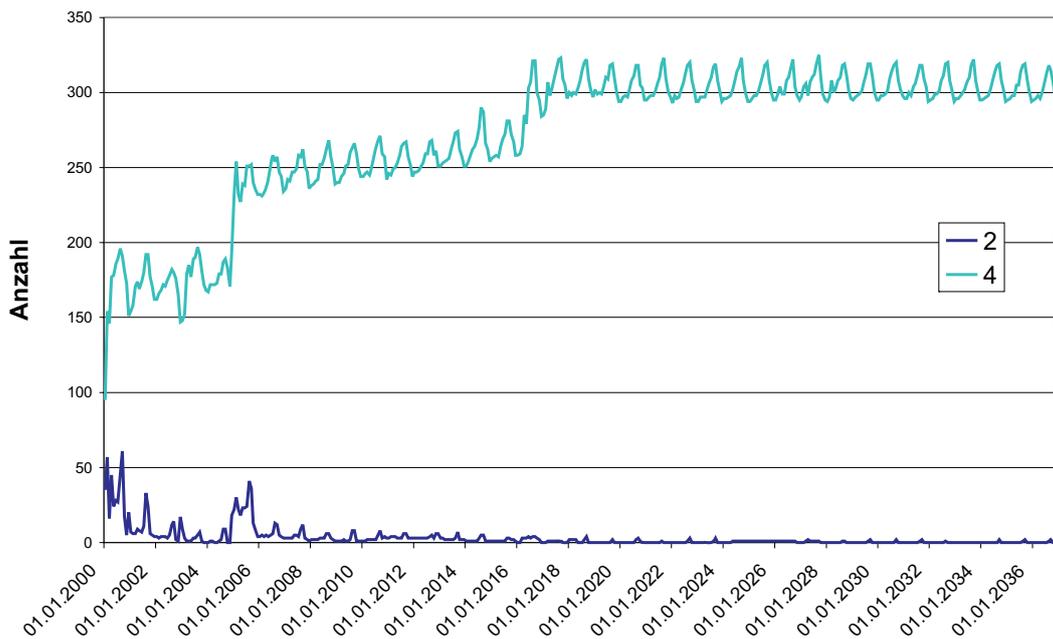


Abb. 15: Anzahl der Wasserversorgungsunternehmen für die Pro Zeitschritt Pläne der Kategorie 2 und 4 berechnet wurden

2.2.3.6 Teilbereich Wasserversorgung: Ausblick integrative Arbeiten

Im Jahr 2006 soll das Objekt *DeepWaterSupply* im Rahmen der Möglichkeiten des *DeepActor*-Frameworks sowie der anderen *DeepActor*-Modelle erweitert und angepasst werden. Die vorgesehenen Erweiterungen sind dabei nicht sehr umfangreich. Besonderes Gewicht wird stattdessen auf die ausführliche Evaluation und den Versuch einer gemeinsamen Validierung der bisherigen Modellergebnisse gelegt. Eine Plausibilitätskontrolle durch Vergleiche mit Literaturwerten aber insbesondere auch durch Gespräche mit lokalen Fachleuten ist angedacht. Die vorgesehenen Arbeiten am Modell sind im Folgenden zusammengefasst:

- Erweiterung und Verbesserung der Planauswahl, insbesondere im Bereich Crisis Management.
- Einführung von Qualitätsflaggen, die eine Beurteilung des qualitativen Zustands als Entscheidungsgrundlage für die Akteursmodelle ermöglichen.
- Verbesserung der Interaktion und Abstimmung zwischen den Akteuren der einzelnen Akteursmodelle (z.B. konkurrierende Pläne: Kapazitätserhöhung durch *DeepWaterSupply* versus Bedarfssenkung *DeepHousehold*).
- Integration ökonomischer Kriterien in die Entscheidungsfindung (Kosten).
- Verwendung neuer Möglichkeiten des *DeepActor*-Frameworks, hier insbesondere History und Sensoren (vgl. Bericht Gruppe Informatik).

3. Gesamtausblick und weitere Vorgehensweise

Planungen für die sektoralen und integrativen Arbeiten an den beiden Objekten *Groundwater* und *DeepWaterSupply* wurden in den betreffenden Kapiteln beschrieben. Weiterhin wird auf den Antrag zur Phase II verwiesen. Im bevorstehenden Projektjahr 2006/2007 werden die folgenden Arbeiten den Schwerpunkt des Teilprojekts bilden:

- Weiterentwicklung des tiefen Akteursmodells *DeepWaterSupply* gemeinsam mit den anderen Akteursgruppen
- Weiterentwicklung des Konzeptes zur Bewertung von Grundwasserressourcen und Kommunikation von Zustandsänderungen zwischen naturwissenschaftlichen und sozioökonomischen Modellen (Flaggenkonzept)
- Beseitigung bestehender Schwachstellen im Grundwasserströmungsmodell
- Weiterentwicklung des bestehenden Transportmoduls für Nitrat und Test in der DANUBIA-Gesamtumgebung.

In den Jahren 2004 und 2005 wurden alle für die zweite Phase geplanten Arbeiten begonnen. Einige sind bereits annähernd abgeschlossen, für andere wurden sehr wesentliche Grundlagen geschaffen. Insgesamt ergibt sich dadurch für das verbleibende Jahr 2006 wenig Bedarf für Neuentwicklungen, vielmehr müssen bisherige Entwicklungen sehr genau geprüft sowie Fehler analysiert und beseitigt werden. Vor allem aber sollen nun der Abschluss der Phase der Modellentwicklung und der Einstieg in die Phase der Modellanwendung eingeleitet werden.

4. Literatur

- BGW (2001): 112. Statistik Wasser 2000, Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft, e.V. Bonn.
- BMLFUW (2004): Strategiepapier Grundwasserentnahmen. Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, Österreich. BMLFUW (2002): Strategiepapier Lage und Abgrenzung von Grundwasserkörpern. Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, Österreich.
- HARBAUGH, A.W. und McDONALD, M.G. (1996): User's Documentation for MODFLOW-96, an Update to the U.S. Geological Survey Modular Finite-Difference Ground-Water Model. - U.S. Geological Survey, Open-File Report 96-485.
- HARBAUGH, A.W., BANTA, E.R., HILL, M.C. und McDONALD, M.G. (2000): MODFLOW-2000, The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model - User Guide to Modularization Concepts and the Ground-Water Flow Process". - U.S. Geological Survey, Open-File Report 00-92.
- GARBRECHT, J. und MARTZ, L.W. (1995): TOPAZ: An automated digital landscape analysis tool for topographic evaluation, drainage identification, watershed segmentation and subcatchment parametrization. – TOPAZ User Manual, USDA-ARS Publication No. NAWQL 95-3, USDA-ARS, Durant, Oklahoma.
- 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.
- MELEG A. (2004): A Prototype Object-Oriented Water Supply Model for the Upper Danube Basin. - Master's Thesis, University of Stuttgart, Germany.
- ÖVGW (2000): Betriebsergebnisse der Wasserwerke Österreichs 1999. Statistik DW 1. ÖVGW Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach, Wien.
- ROJANSCHI, V. (2006): Abflusskonzentration in mesoskaligen Einzugsgebieten unter Berücksichtigung des Sickerraumes. - Mitteilungen des Institutes für Wasserbau der Universität Stuttgart, Heft 146, Dissertation.
- WOLF, J. (2006): Räumlich differenzierte Modellierung der Grundwasserströmung alluvialer Aquifere für mesoskalige Einzugsgebiete. - Institutes für Wasserbau der Universität Stuttgart (Dissertation noch nicht veröffentlicht).

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 Geologisches Landesamt
- Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung
- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München
- 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
- Landesamt für Umweltschutz, Baden-Württemberg
- Landesvermessungsamt Baden-Württemberg
- Landratsämter der Kreise Baden-Württembergs im Donaeinzugsgebiet
- Österreichisches Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft
- Österreichisches Umweltbundesamt
- ÖVGW - Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach.
- Schweizer Bundesamt für Wasser und Geologie
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg
- Zweckverband Landeswasserversorgung

Weiterhin bedanken wir uns sehr herzlich bei allen Wasserversorgungsunternehmen und Gemeinden im Einzugsgebiet, die uns durch Rücksendung des Fragenbogens Wasserversorgung oder anderweitig wertvolle und unverzichtbare Informationen zur Verfügung gestellt haben.

Beim Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst des Landes Baden-Württemberg sowie bei der Universität Stuttgart bedanken wir uns für die zur Verfügung gestellten Zusatzmittel.

Modellierung typischer Wassernutzer im Einzugsgebiet der Donau

Teilprojekt: Umweltpsychologie
Leiter: Prof. Dr. Andreas Ernst
Ausführende Stelle: Wissenschaftliches Zentrum für Umweltsystemforschung der
Universität Kassel, Mönchenbergstr. 19, 34109 Kassel

Einleitung

Das Teilprojekt Umweltpsychologie hat sich innerhalb des GLOWA-Danube-Verbundprojektes eine Aufgabe gestellt, die eine Weiterentwicklung psychologischer Theorien, die Verbindung mit Techniken der räumlich expliziten agentenbasierten Modellierung und deren interdisziplinär informierte Anwendung auf den Kontext der Wassernutzung erfordert. Dieser Herausforderung wurde, fußend auf den Vorarbeiten der letzten Berichtszeiträumen und wie im Antrag für die Phase II vorgesehen, mit einer Erweiterung der Datenlage und einer Rekonzeptualisierung des Wassernutzungsmodells als agentenbasiertes Modell begegnet.

Als eine wesentliche Neuerung gegenüber dem Antrag für die Phase II ergab sich die Kooperation mit dem Marktforschungsinstitut SINUS SOCIOVISION und der Firma Microm. Dadurch konnte die Datenlage in dem schwierigen Bereich der Präferenzen und Lebensstile erheblich verbessert werden. Das Datenerhebungskonzept wurde entsprechend angepasst. Das hier vorgestellte Modell ist unseres Wissen das einzige in der Literatur dokumentierte und funktionsfähige System, welches integrierte (agentenbasierte) Modellierung und Lebensstile im Umweltbereich in der vorliegenden Größenordnung verbindet.

Die Kasseler Arbeitsgruppe besteht aus vier Doktoranden (einer Umweltwissenschaftlerin und zwei Psychologen und einer Psychologin), die jeweils komplementäre Promotionsthemen im Rahmen des Projekts bearbeiten. Die hier referierten Arbeiten spiegeln auch den z.T. bereits sehr fortgeschrittenen Stand dieser Qualifikationen wider.

In Kapitel 1 werden die Arbeiten im Berichtszeitraum kurz und überblicksartig zusammengefasst. Kapitel 2 nennt die organisatorischen Angaben zum Berichtszeitraum des Teilprojekts. Kapitel 3 vertieft die Beschreibung der Arbeiten und der erzielten Ergebnisse. Kapitel 4 schließlich gibt eine Bewertung des erreichten Standes der Arbeiten und einen Ausblick.

1. Zusammenfassung der Arbeiten im Berichtszeitraum

Aufgabe des Teilprojektes Umweltpsychologie innerhalb des GLOWA-Danube-Projekts ist es, aufbauend auf den bisher erfolgten Arbeiten ein räumlich ausdifferenziertes und dynamisches Akteursmodell zu erstellen. Das Akteursmodell beschreibt

- den Trinkwasserverbrauch der Haushalte und des öffentlichen Sektors,
- die wasserbezogene Risikowahrnehmung und -bewertung sowie
- die vom Haushalt getätigten Investitionen in wassersparende Innovationen.

Mit diesem Modell sollen Standard- und Interventionsszenarien unter Bedingungen des Klimawandels im DANUBIA-Verbund simuliert werden.

Zur Vereinheitlichung der Akteursmodellierung in den verschiedenen sozioökonomischen GLOWA-Danube-Teilprojekten wurde im Verbund mit dem Teilprojekt Informatik eine unifizierte Multi-Akteur-Architektur erstellt und implementiert.

Nachdem zunächst ein flaches Modell entwickelt worden war, welches den Wasserverbrauch der privaten Haushalte und des öffentlichen Dienstleistungssektors in hoher Übereinstimmung mit den statistischen Daten der Landesämter abbildete, wurde während des Berichtszeitraums die Erweiterung des Akteursmodells zum tiefen Prozessmodell weiter vorangetrieben und abgeschlossen. Das hier verwirklichte Multi-Agenten-Modell ermöglicht es im Gegensatz zum flachen und damit statischen Modell, explizite Verhaltensregeln für die einzelnen Akteure zu formulieren. Durch die Implementation einer psychologischen Entscheidungstheorie wird eine flexible Berechnung des Wasserverbrauchs bei verschiedenen Szenarien ermöglicht. Die Akteure passen ihren Wasserverbrauch dynamisch den veränderten Bedingungen an. Neben zwei unterschiedlichen Akteurstypen (siehe Kap. 3.4.2.1) wurden zusätzlich zu den beiden Nutzungsarten Baden und Duschen weitere Nutzungsarten implementiert, so dass der Wasserverbrauch der Haushalte sowohl räumlich wie inhaltlich explizit und detailliert abgebildet wird. Die räumliche Ausdifferenzierung wird durch die sogenannten Sinus-Milieus[®] gewährleistet (siehe Kap. 3.2.2.3). Im Berichtszeitraum wurde die empirische Datenbasis durch umfangreiche quantitative und qualitative Erhebungen erweitert. Die Daten werden benötigt, um gestützte Aussagen über den gewohnheitsgeprägten Wasserverbrauch, die Innovationsausbreitung im Wasserbereich, die wasserbezogene Risikowahrnehmung sowie die sozioökonomische Wirksamkeit von Wassermanagementmaßnahmen ableiten zu können.

Im Februar/März 2006 fand ein gekoppelter Simulationslauf auf dem Münchner Cluster mit den aktuellsten Modell-Versionen aller Teilprojekte statt. Dieser Simulationslauf umfasste die Modelljahre 2000-2036 mit einem Trockenheitsszenario. Die Auswertung der Ergebnisse der *Household*-Komponente lieferte plausible Werte, so dass das Modell als valide angesehen werden kann.

2. Organisation

2.1 Personal

2.1.1 Wissenschaftler

Während der zweiten Förderphase schied Dipl.-Psych. Barbara Degenhardt aus dem Projekt aus. Neu eingetreten sind Diplompsychologin Silke Kuhn sowie die Diplompsychologen Carsten Schulz und Roman Seidl.

Tab. 1: Im Projekt beschäftigte wissenschaftliche Mitarbeiter/innen

Name	Vergütungsgruppe	Vertragszeitraum	Dauer in Monaten	Finanzierung
Dipl.-Psych. Silke Kuhn	BAT IIa/2	01.03.2004-28.02.2007	36	BMBF
Dipl.-Psych. Carsten Schulz	BAT IIa/2	15.03.2004 -28.02.2007	35,5	BMBF
Dipl.-Umweltwiss. Nina Schwarz	BAT IIa/2	10.08.2003 -28.02.2007	43	BMBF
Dipl.-Psych. Roman Seidl	BAT IIa/2	01.01.2005-28.02.2007	26	BMBF

2.1.2 Hilfskräfte

Tab. 2: Im Projekt beschäftigte studentische Hilfskräfte

Name	Vergütungsgruppe	Vertragszeitraum	Dauer in Monaten	Finanzierung
Cand. Inf. Daniel Klemm	Stud. Hilfskraft	01.01.2005-30.06.2006 Verlängerung vorgesehen	18	BMBF

2.1.3 Diplomarbeiten und Praktika

Im Zeitraum seit der Statuskonferenz im Mai 2005 wurden 4 Praktikantinnen und ein Praktikant beschäftigt. Die Praktikantin Sagerschnig fertigt zur Zeit bei Prof. Dr. Ernst ihre Diplomarbeit mit dem Titel "Der moderierende Einfluss von Verhaltenskosten auf den Zusammenhang von Umwelteinstellungen und Umweltverhalten im Bereich Wassernutzung" an.

Tab. 3: Im Projekt geleistete Praktika und Diplomarbeiten

Name	Vergütungsgruppe	Vertragszeitraum	Dauer in Monaten	Vertragsort	Finanzierung
Anna von Lilienfeld-Toal (Cand. Psych., Universität Marburg)	Stud. Hilfskraft	01.04.-31.05.2005	2	Kassel	BMBF
Dipl.-Psych. Andrea Bobersky	Werkvertrag	30.05.-05.08.2005	2	Kassel	BMBF
Sophie Sagerschnig (Cand. Psych., Universität Wien)	Werkvertrag	11.06.-02.09.2005	2,5	Kassel	BMBF
	Diplomarbeit	Seit 01.11.2005 (b.a.w.)	-	Kassel	
Johanna Fritsche (Cand. Psych., Universität Bamberg)	Stud. Hilfskraft	01.09.-31.10.2005	2	Kassel	BMBF

2.2 Anschaffungen

In der zweiten Förderphase wurden bisher keine Geräte angeschafft.

2.3 Veranstaltungen

2.3.1 Interne Projekttreffen

Mitglieder des umweltspsychologischen Teilprojekts nahmen seit der Statuskonferenz im Mai 2005 an folgenden bilateralen Treffen und Treffen des Gesamtprojektes teil (siehe Tab. 4):

Tab. 4: Teilnahme von Mitgliedern des umweltpsychologischen Teilprojekts an internen Projekttreffen

26.04.2005	Schulz	<i>Actors</i> -Treffen (Stuttgart)
02.06.2005	Ernst, Kuhn, Schwarz, Schulz, Seidl	SESAM-Klausur (CESR Kassel)
10.08.2005	Schulz	Treffen zur Spezifikation der DANUBIA-Benutzerschnittstelle (München)
18.10.2005	Kuhn, Seidl	Stakeholdertreffen (ifo-Institut München)
18.11.2005	Ernst, Kuhn, Schwarz, Schulz, Seidl	SESAM-Klausur (CESR Kassel)
30.11.-03.12.2005	Ernst, Kuhn, Schwarz, Schulz, Seidl	Gesamt-Projekttreffen (Linden)
01.03.2006	Ernst, Kuhn, Schwarz, Schulz, Seidl	SESAM-Klausur (CESR Kassel)

2.3.2 Konferenzen

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

- ERNST, A., SCHULZ, C., SCHWARZ, N. und JANISCH, S. (09/2005): Shallow and deep modelling of water use in a large, spatially explicit, coupled simulation system. 3rd Conference of the European Social Simulation Association (ESSA), Koblenz, Deutschland (<http://www.essa.eu.org/ESSA2005>).
- KUHN, S. und ERNST, A. (09/2005): Psychological aspects of drinking water use. 6th Biennial Conference on Environmental Psychology, Bochum, Deutschland (<http://eco.psy.ruhr-uni-bochum.de/conference/php/home.php>). SCHWARZ, N., SCHULZ, C. und ERNST, A. (09/2005): A process model of water use: Integrating habit and conscious decisions. 6th Biennial Conference on Environmental Psychology, Bochum, Deutschland (<http://eco.psy.ruhr-uni-bochum.de/conference/php/home.php>).
- SCHWARZ, N. und ERNST, A. (01/2006): Using empirical data to build an agent-based model of innovation diffusion. Workshop on Agent-based models of market dynamics and consumer behaviour, University of Surrey in Guildford, England.

2.3.3 Gast- und Kolloquiumsvorträge

Darüber hinaus wurde das psychologische Teilprojekt in folgenden Gastvorträgen vorgestellt:

- ERNST, A. (10/2005): Globale Umweltveränderungen, Wasser und Gesellschaft. Eröffnungsvortrag auf der Vernissage der Ausstellung "H₂Over? - von Wasser, Technik und den Perspektiven", SiemensForum München, München.
- ERNST, A. (06/2005): Learning and conflict in agent-based models of behaviour. International Graduate College „Conflict and Cooperation between Social Groups“, Universität Jena.
- ERNST, A. in collaboration with: BARTHEL, R., HENNICKER, R., BRAUN, J., SCHULZ, C., SCHWARZ, N., JANISCH, S., NICKEL, D., TRIFKOVICH, A. und KLEMM, D. (05/2005): Supplying and using water. The Why and How of Deep Actor models in GLOWA-Danube. 2nd GLOWA status conference, *Cologne, May 18.-19.2005*.
- ERNST, A. (02/2006): Computermodellierung von Umweltverhalten bei der Ressourcennutzung. Mitscherlich-Symposium der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität Berlin.

- KUHN, S. (10/2005): Vorhersage des Wasserverbrauchs privater Haushalte unter sich ändernden klimatischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen - das *Household-Modell*. GLOWA-Danube: Stakeholder-Expertenrunde, *ifo-Institut München*, 18.10. 2005.
- KUHN, S. (07/2005): Trinkwasser in Deutschland: Ansichten und Umgang - Ergebnisse einer Pilotstudie zur Wasserkultur. Kolloquiumsbeitrag am CESR, Kassel.
- SCHULZ, C. (06/2005): Einstellung und Akteursverhalten. Kolloquiumsbeitrag am CESR, Kassel.
- SCHWARZ, N. (06/2005): „Haben Sie eine Regenwassernutzungsanlage?“ Eine Untersuchung der Akzeptanz von Wassernutzungs-Innovationen. Kolloquiumsbeitrag am CESR, Kassel.
- SEIDL, R. (01/2006): Klimawandel im Badezimmer. Wie Menschen globale Erwärmung und lokales Trinkwasser verbinden. Kolloquiumsbeitrag am CESR, Kassel.

2.3.4 Veröffentlichungen

Seit der Statuskonferenz im Mai 2005 entstanden im psychologischen Teilprojekt die folgenden Veröffentlichungen:

ERNST, A. (in Druck): Ökologisch-soziale Dilemmata. In: LANTERMANN, E.D. und LINNEWEBER, V. (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie*, Serie IX, Umweltpsychologie, Bd. I. Göttingen: Hogrefe.

ERNST, A. und KUHN, S. (in Druck): Wasser. Psychologische Aspekte seiner Nutzung. In: E.D. und LINNEWEBER, V. (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie*, Serie IX, Umweltpsychologie, Bd. II. Göttingen: Hogrefe.

ERNST, A., SCHULZ, C., SCHWARZ, N. und JANISCH, S. (09/2005): Shallow and deep modelling of water use in a large, spatially explicit, coupled simulation system. In: TROITZSCH, K. et al. (eds.), *Proceedings of the 3rd Conference of the European Social Simulation Association (ESSA)*, Koblenz.

Der Beitrag von Ernst, Schulz, Schwarz und Janisch wurde zur erweiterten Veröffentlichung als Kapitel in einem herausgegebenen Band „Social Simulation Techniques: Advances and New Discoveries“ eingeladen.

Poster

ERNST, A., KUHN, S., SCHULZ, C., SCHWARZ, N. und SEIDL, R. (05/2005): Domestic drinking water use: The household model. Poster präsentiert auf der GLOWA-Statuskonferenz, Köln.

ERNST, A., BARTHEL, R., HENNICKER, R., JANISCH, S., NICKEL, D., SCHWARZ, N., SCHULZ, C., und TRIFKOVIC, A. (05/2005): Deep actors for supplying and using water. Poster präsentiert auf der GLOWA-Statuskonferenz, Köln.

JANISCH, S., BARTHEL, R., SCHULZ, C. A., TRIFKOVIC, A., SCHWARZ, N. und NICKEL, D. (04/2006): A framework for the simulation of human response to global change. Poster präsentiert auf der European Geosciences Union General Assembly 2006, Wien.

KUHN, S. (12/2005): *Dynamik von gewohnheitsgeprägtem Wassernutzungsverhalten unter besonderer Berücksichtigung eines möglichen Klimawandels*. Poster präsentiert auf dem Fachbereichstag der Universität Kassel.

SCHULZ, C. (12/2005): *Modellierung des Wasserverbrauchs durch eine Multiakteurssimulation basierend auf der erweiterten Theorie des geplanten Verhaltens*. Poster präsentiert auf dem Fachbereichstag der Universität Kassel.

SCHWARZ, N. (12/2005): Ausbreitung von Umwelt-Innovationen. Poster präsentiert auf dem Fachbereichstag der Universität Kassel.

SEIDL, R. (12/2005): Klimawandel im Badezimmer - wie Menschen Risiken der Globalen Erwärmung wahrnehmen und einschätzen. Poster präsentiert auf dem Fachbereichstag der Universität Kassel.

SEIDL, R. (02/2006): Individual anticipation of slowly evolving environmental risks. Poster präsentiert an der Universität Kassel.

Unveröffentlichte Papiere in Zusammenarbeit mit anderen Teilprojekten

JANISCH, S. und SCHULZ, C.A. (2004): Konzepte zur Modellierung und Implementierung tiefer Akteursmodelle in Danubia.

3. Ergebnisse

Nachdem zunächst die formulierten Ziele der 2. Förderphase (3.1) kurz besprochen werden, werden in Kapitel 3.2 die seit der Statuskonferenz im Mai 2005 erfolgten sektoralen Arbeiten im Teilprojekt beschrieben. Daran anschließend werden die integrativen Arbeiten (3.3) sowie die Modellimplementationen (3.4) vorgestellt. Kapitel 3.5 beschreibt die für das Teilprojekt relevanten Ergebnisse des gemeinsamen Clusterlaufs Anfang 2006.

3.1 Formulierte Ziele der 2. Förderphase

Der Antrag zur zweiten Förderphase weist folgende Arbeitsziele aus:

1. (Mit-)Entwicklung und (Mit-)Implementierung einer unifizierten Akteurarchitektur
2. Ausdifferenzierung und Verfeinerung des DUNE-Modells
3. Weitergehende Szenarienbildung und Szenarienberechnung
4. Erweiterung des betrachteten Einzugsgebiets und der Datengrundlage
5. Qualitätssicherung

Auf den aktuellen Stand von Punkt 1 wird in Kapitel 3.3.2 eingegangen. Das in Punkt 2 erwähnte DUNE-Modell wurde in *Household*-Modell umbenannt. Dieses gliedert sich in das statistische, sog. flache *Household*-Modell und das prozessorientierte tiefe *Household*-Modell.

Da es sich bei dem statistischen und prozessorientierten Modell inhaltlich um zwei verschiedene Modelle handelt, werden diese im weiteren Verlauf des Textes durch unterschiedliche Namen eindeutig voneinander abgegrenzt. Das sog. flache Modell heißt *Household*-Modell. Das prozessorientierte tiefe Modell wird mit *DeepHousehold* bezeichnet.

Einen kurzen Überblick über das flache *Household*-Modell gibt Kapitel 3.4.1. Auf das Prozessmodell *DeepHousehold* gehen die Kapitel 3.2.2 sowie 3.4.2 ein. Mit der Szenarienbildung und -berechnung beschäftigt sich Kapitel 3.5.2. Die Erweiterung des betrachteten Einzugsgebiets fand im ersten Kapitel der zweiten Förderphase statt. Die Datengrundlage wurde vor allem durch empirische Ergebnisse, die in Kapitel 3.2.1 beschrieben werden, wesentlich erweitert. Kapitel 3.5.1 geht schließlich auf die Qualitätssicherung ein.

3.2 Sektorale Arbeiten

Der folgende Kapitel widmet sich den sektoralen Arbeiten. Zunächst wird erläutert, welche empirischen Erhebungen durchgeführt wurden (Kap. 3.2.1). Im Anschluss wird die Entwicklung des Prozessmodells *DeepHousehold* beschrieben (Kap. 3.2.2).

3.2.1 Empirische Erhebungen

In der zweiten Förderphase wurden vom Teilprojekt Umweltpsychologie sowohl eigene empirische Untersuchungen durchgeführt, als auch die in der ersten Förderphase angelegte ausführliche Datensammlung durch extern beschaffte empirische Daten erneuert und erweitert. Zu den extern beschafften Daten gehörten sowohl Wasserverbrauchsdaten von den Statistischen Landesämtern, die als Validierungsdaten für das Modell dienen, als auch kleinere individuelle Datenanfragen (u.a. in Kooperation mit Gesundheitsämtern zu Besitzern von Regenwassernutzungsanlagen) sowie Anfragen von Adresslisten der Einwohnermeldeämter zur Grundlage der eigenen empirischen Untersuchungen (Verschickung der Fragebögen). Es wurden sowohl quantitative als auch qualitative eigene empirische Untersuchungen durchgeführt, die sich auf das Wassernutzungsverhalten als Gewohnheit, die Ausbreitung von innovativen Wassernutzungs-Technologien, die Antizipation schleichender Umweltrisiken und Umwelt-Einstellungen des Wassernutzungsverhaltens bezogen. Im weiteren Verlauf werden die durchgeführten Untersuchungen nach einer kurzen theoretischen Einführung beschrieben. Insgesamt wurden über 1.150 Personen befragt.

3.2.1.1 Wassernutzungsverhalten als Gewohnheit

Die theoretische Grundlage des in der ersten Förderphase entwickelten *Household*-Modells bildete die Theorie des geplanten Verhaltens (AJZEN und MADDEN, 1986). Jedoch erwies sich diese Theorie, da sie ausschließlich auf rationale Entscheidungssituationen bezogen ist, nur bedingt für das Wassernutzungsverhalten geeignet. Aus diesem Grund beschäftigte sich eine der in der zweiten Förderphase stattgefundenen Untersuchungen mit dem Einfluss von Gewohnheiten auf das Wassernutzungsverhalten.

Gewohnheit wird definiert als: „..situation specific sequences that are or have become automatic, so that they occur without self-instruction” (TRIANDIS 1980, S. 204). WOOD, QUINN und KASHY (2002) erweitern diese Definition, indem sie betonen, dass Gewohnheiten sich zumeist aus wiederholtem Verhalten, das in stabilen Kontexten auftritt, entwickeln.

Die Messung von wasserbezogenen Gewohnheiten erfolgte mit einer modifizierten Version des Self Report Habit Index (SRHI, VERPLANKEN und ORBELL 2003). Nach Verplanken und Orbell (2003) weist das Konstrukt Gewohnheit fünf Dimensionen auf, die mit dem SRHI abgefragt werden:

- es wiederholt sich,
- es ist schwierig zu kontrollieren,
- es findet unreflektiert/ nicht bewusst statt,
- es ist effizient (indem es Kapazitäten für andere Handlungen frei lässt) und
- es könnte die eigene Identität widerspiegeln.

Die Originalitems des SRHI wurden zunächst einmal ins Deutsche übersetzt, die Skala wurde von elf auf sechs Stufen reduziert, um sie an die anderen im Fragebogen verwendeten Skalen der anderen Items anzugleichen.

Neben der Abfrage von Gewohnheiten enthielt der Fragebogen Items zur Häufigkeit von Wassernutzungsarten, zu Sparbereitschaften und zur Wasserkultur. Des weiteren enthielt der Fragebogen einen Demographieteil sowie den sog. Milieuindikator zur Ermittlung der Lebensstile der Firma Sinus Sociovision®.

Zunächst wurde der neu entwickelte Fragebogen in einer Pilotstudie getestet. Nach Auswertung der erhaltenen Daten (deskriptive Analyse der Antworthäufigkeiten und qualitative Analyse der offenen Antworten) wurde der Fragebogen in einigen Punkten noch einmal überarbeitet und eine endgültige Fragebogenversion für die Hauptuntersuchung erstellt.

Die Hauptuntersuchung fand im Winter 2005/06 im Oberen Donaeinzugsgebiet statt. Die Auswahl der Stichprobe erfolgte über eine Zufallsziehung der Einwohnermeldeämter. Die insgesamt 1.500 Fragebögen wurden in vier unterschiedlich große Gemeinden verschickt. Auf diese Weise sollte sichergestellt werden, dass die Stichprobe keine systematischen Verzerrungen z.B. in der Milieu-Verteilung aufweist. Die Rücklaufquote auswertbarer Fragebögen betrug 26% (N = 390).

Mithilfe des Fragebogens konnten z.B. verschiedene Verhaltensweisen in Bezug auf Wasser und ihre Verbreitung innerhalb der Bevölkerung identifiziert werden. Auch generelle Sparbereitschaften in unterschiedlichen Bereichen der Wassernutzung konnten ermittelt werden. Dabei hängt z.B. die Bereitschaft weniger zu duschen wesentlich vom selbstberichteten Wissen über das Wassersparen und von der Duschgewohnheit ab: Personen, die über mehr Wissen verfügen und eine geringer ausgeprägte Duschgewohnheit haben, sind eher bereit weniger zu duschen. Das verwendete modifizierte Gewohnheitsmaß erwies sich dabei als reliabel.

Da die Bestimmung der Lebensstil-Typen aller bislang durchgeführten Untersuchungen durch die Firma Sinus Sociovision® erfolgte, steht eine vollständige Auswertung der Daten unter Einbezug der Lebensstile noch aus.

Die durch die empirische Untersuchung erlangten Erkenntnisse über Wassernutzungshäufigkeiten, Gewohnheiten und Sparbereitschaften fließen als Modellparameter in *DeepHousehold* ein.

3.2.1.2 Ausbreitung von innovativen Wassernutzungs-Technologien

Die Entscheidung zum Kauf von Produkten wie Toiletten-Spülkästen, Duschköpfen etc. ist letztlich eine Entscheidung über die Annahme oder Adoption von Innovationen. Deshalb wird in der empirischen Arbeit zur Ausbreitung von Wassernutzungs-Innovationen in der 2. Förderphase auf die Erkenntnisse der Diffusionsforschung zurückgegriffen. Zur Erklärung der Ausbreitung von Innovationen werden in diesem Forschungszweig verschiedene Variablen wie der Einfluss von persönlichen Eigenschaften der Adopter (also derjenigen, die eine Innovation gekauft haben), die Merkmale der Innovationen sowie die Kommunikation zwischen den Adoptern herangezogen (VISHWANATH und GOLDHABER 2003).

Mit der empirischen Untersuchung innerhalb von GLOWA-Danube werden daraus diejenigen Faktoren ermittelt, die für die Ausbreitung von Wassernutzungs-Innovationen im Donau-Einzugsgebiet relevant sind. Dazu wurde ein schriftlicher Fragebogen entwickelt, der detailliert die Einschätzung verschiedener Innovationsmerkmale und den Einfluss des sozialen Umfeldes abfragt. Als wesentliche Komponente für die Eigenschaften der Adopter wurde neben den üblichen soziodemographischen Variablen der Lebensstil der Befragten erhoben, operationalisiert als Sinus-Milieu®. Das zugrunde liegende Modell zur Innovationsausbreitung basiert auf der Theory of Planned Behavior (AJZEN 1991). Die Theorie wurde dahingehend erweitert, dass Einstellungen und Verhaltenskontrolle zusätzlich detailliert anhand der Innovationsmerkmale erfasst werden. Die empirische Untersuchung zur Akzeptanz von Wassernutzungs-Innovationen erfolgte anhand der drei wassersparenden Innovationen wassersparender Duschkopf, Regenwassernutzungsanlage sowie 2-Mengen-Toilettenspülung. Als Kontrast wurde als vierte Innovation die wasserintensive Massage-Dusche aufgenommen.

Der Innovations-Fragebogen wurde im Sommer 2005 in einer Pilotstudie in der Stadt und im Landkreis Kassel getestet. Im Winter 2005/2006 wurde der überarbeitete Fragebogen an 1.200 zufällig ausgewählte Personen im Donau-Einzugsgebiet verschickt. Die Adressdaten stammten aus unterschiedlich großen Gemeinden bis hin zu größeren Städten wie Kempten und Regensburg. Zusätzlich wurden im Januar 2006 in zwei Landkreisen im Einzugsgebiet Fragebögen an alle Besitzer von Regenwassernutzungsanlagen verschickt. Dies geschah mit Unterstützung des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz. Der Versand erfolgte über die Gesundheitsämter der beiden Landkreise, denen aufgrund der Meldepflicht aus der Trinkwasserverordnung die Adressen der Besitzer von solchen Anlagen bekannt waren. Insgesamt stehen für die Hauptuntersuchung Fragebögen von 272 Befragten zur Verfügung.

Erste Analysen haben gezeigt, dass die verschiedenen Wassernutzungs-Innovationen bzgl. ihrer Merkmale verschieden wahrgenommen werden. Außerdem haben die Faktoren Einstellung, soziale Norm und Verhaltenskontrolle aus der Theory of Planned Behavior je nach Innovation einen unterschiedlich hohen Einfluss auf die Annahme oder Ablehnung einer Innovation. Besonders auffällig ist dabei die Regenwassernutzungsanlage, bei der z.B. die Verhaltenskontrolle (also die Einschätzung der Möglichkeiten und Fähigkeiten) deutlich wichtiger für die Annahme der Innovation ist als bei den drei anderen Innovationen. Auch bei den verschiedenen Lebensstilen sind Unterschiede feststellbar: So legen z.B. die gesellschaftlichen Leitmilieus (Etablierte, Postmaterielle und Moderne Performer; vgl. Kap. 3.2.2.3) weniger Wert auf die Meinung ihres sozialen Umfeldes als der Mainstream und Traditionelle Milieus. Detailliertere Auswertungen werden im Frühjahr 2006 stattfinden.

3.2.1.3 Antizipation schleichender Umweltrisiken

Komplexität und Nichtlinearität globaler Prozesse wie z.B. beim Klimawandel erschweren eine Vorhersage der Auswirkungen. Der Nutzer von Trinkwasser ist in dieser Hinsicht Laie und hat besondere Schwierigkeiten in Bezug auf die Antizipation von Trinkwasserrisiken. Im Rahmen der Modellierung von Risikowahrnehmung und Akzeptanz von Veränderungen wird geklärt, wie Menschen die durch Klima-Zukunftsszenarien erwartbaren Auswirkungen überhaupt wahrnehmen, d.h. ob sie Probleme ihrer Trinkwasserversorgung antizipieren.

Es widmen sich nur wenige Untersuchungen der Einschätzung von langfristigen Umweltproblemen wie der Globalen Klimaänderung durch Laien (vgl. HENDRICKX und NICOLAIJ 2004). O'CONNOR, BORD und FISHER (1999) betonen etwa die Relevanz des Vorwissens über Ursachen der Globalen Erwärmung für die Verarbeitung von Informationen und der entsprechenden Handlungsintentionen. Für die Frage, wie eine Person z.B. Medieninformationen verarbeitet, ist es entscheidend, was sie über das Thema bereits weiß.

Trinkwassernutzung ist in den Alltag eingebunden und läuft routiniert und automatisch ab (siehe Kap. 3.2.1.1). Der alltäglichen Wasserverbrauch wird nur in Ausnahmefällen bewusst reflektiert.

Zur Erhebung relevanter Daten zur Risiko- und Akzeptanzthematik wurde ein halbstandardisiertes qualitatives Interview mit integrierter Struktur-Lege-Technik (SCHEELE und GROEBEN 1988) entwickelt. Die durchgeführten Interviews (bisher N = 13) dienten als Einstieg in den Phänomenbereich und der Offenlegung subjektiver mentaler Modelle, die Personen vom Prozess des Klimawandels und den möglichen Auswirkungen haben. Darauf aufbauend wird aktuell an einem umfangreichen quantitativen Fragebogen gearbeitet, der im Sommer 2006 zum Einsatz kommen wird. Neben einer schriftlichen Befragung ist u.a. auch ein Internetfragebogen (BATINIC, WERNER, GRÄF und BANDILLA 1999) geplant. Ein erklärendes theoretisches Modell wird sukzessive entwickelt und in die Akteurskonstruktion von *DeepHousehold* integriert.

Die bisherigen Ergebnisse zeigen: Die Komplexität der Zusammenhänge und damit Einsicht in Notwendigkeiten kann im Alltagshandeln nicht abgebildet werden. Systemwissen um die wahren Prozesse spielt eine untergeordnete Rolle für das gezeigte Alltagshandeln. Laien erklären sich Umweltprobleme und auch den Klimawandel durch ihnen schon bekannte oder allgemeine Konstrukte wie Ozonloch und Umwelt- oder Luftverschmutzung. Die für einen Klimawandel spezifischen Folgen können dadurch nicht antizipiert werden. Es bleibt bei fragmentarischem Wissen um einzelne Auswirkungen, die in den Medien häufig genannt werden (Schmelzen der Polkappen, Wirbelstürme). Auswirkungen auf den persönlichen Bereich, insbesondere auf die eigene Trinkwassernutzung werden selten als wahrscheinlich angenommen. Das Phänomen Klimawandel wird (sicher nicht völlig zu Unrecht) auf andere Kontinente verlegt. Auf diese Weise wird damit zum Teil auch die eigene Verantwortung reduziert. Wichtiger als zusätzliches Detailwissen über den Klimawandel scheinen knappe plausible Erklärungen und vor allem Handlungswissen zu sein. Eine Stützung dieser Annahmen wird durch die Fragebogenuntersuchung erwartet. Die Verantwortung für entsprechendes Handeln wird von den Befragten oft auf der politischen Ebene (Vorschriften für Industrie,

Maßnahmen auf globaler Ebene) gesehen. Da es sich um ein kollektives Phänomen handelt, wird dieser Aspekt in der weiteren Untersuchung eine Rolle spielen.

3.2.1.4 Umwelt-Einstellungen und Wassernutzungsverhalten

Zur Vorhersage menschlichen Verhaltens bedient sich die Umweltpsychologie aus einem reichen Fundus von Handlungstheorien der Sozialpsychologie. Die am häufigsten eingesetzte Theorie, die dennoch nicht unumstritten ist, ist die Theorie des geplanten Verhaltens von AJZEN (1991). In dieser Theorie wird Verhalten durch Intention vorhergesagt. Neben der wahrgenommenen Verhaltenskontrolle und der sozialen Norm liefert aber in den meisten Untersuchungen vor allem das Einstellungskonstrukt die höchste Varianzaufklärung (z.B. KAISER und GUTSCHER 2003).

Andere Autoren wiederum sprechen seit längerem von einer Kluft zwischen Einstellung und Verhalten (z.B. SCHAHN 1993). Diese Kluft wird jedoch kleiner, je höher die Korrespondenz zwischen den abzufragenden Einstellungen und dem Verhalten ist (AJZEN und FISHBEIN 2000). Dennoch bleiben zwei Probleme bestehen. Zum einen wird in der aktuellen Literatur zum Thema die situative Komponente der Verhaltensentscheidung völlig vernachlässigt, zum anderen ist die Theorie des geplanten Verhaltens eine statische Theorie und sagt nichts aus über sich verändernde Bedingungen und ähnliche, aber häufig zu fällende Entscheidungen.

Ein Ziel ist daher, Konzepte der Theorie des geplanten Verhaltens in eine dynamische Form zu überführen sowie diese auszubauen und zu verfeinern, um es so möglich zu machen, wassernutzendes Verhalten über die Zeit vorherzusagen. Dies erfordert eine konzeptionelle Erweiterung.

Die bisher erfolgten Erweiterungen werden neben der Akteursmodellierung (siehe Kap. 3.4.2) durch eine empirische Erhebung untermauert. Dazu wurde ein empirischer Fragebogen als Praktikumsarbeit von Ruben Real erstellt und im Donaueinzugsgebiet eingesetzt.

Erste Ergebnisse zeigen, dass die z.T. übersetzten und gekürzten Skalen aus anderen Fragebögen auch in der nun vorliegenden Fassung stabil sind. Zudem konnte bestätigt werden, dass der größte Erklärungsfaktor für die Intention zu einer Handlung die Einstellung Umweltbewusstsein ist. Während die soziale Norm und die wahrgenommene Verhaltenskontrolle hypothesenkonform vollständig über die Intention mediiert werden, bleibt allerdings bei der Einstellung ein weiterer großer Varianzanteil, der nicht durch Intention mediiert wird, sondern einen eigenständigen Beitrag zum Verhalten liefert. Ob dieser Anteil ein Methodenartefakt ist oder inhaltlich erklärt werden kann, wird weiter untersucht.

Im Modell *DeepHousehold* werden die Einstellungen bereits verwendet. Das Modell liefert weitere simulierte Daten und bestätigt damit den fruchtbaren Einsatz dieser Theorie für das Modell.

3.2.2 Entwicklung eines tiefen Household-Modells - *DeepHousehold*

Im folgenden Kapitel werden die Hintergründe von *DeepHousehold* vorgestellt, das in der zweiten Förderphase neu entwickelt und implementiert worden ist. Dazu wird zunächst auf die Vorarbeiten eingegangen. Die Methode der Multi-Agenten-Modellierung wird im Abschnitt 3.2.2.2 erläutert. Die Sinus-Milieus als Typologie der Haushalte werden danach vorgestellt, anschließend wird kurz auf psychologische Entscheidungstheorien eingegangen. Die Wassernutzungsarten und ihre Umsetzung sind Thema des Abschnitts 3.2.2.5.

3.2.2.1 Vorarbeiten

In der ersten Förderphase wurde im Teilprojekt Umweltpsychologie das sog. flache *Household*-Modell entwickelt. Dieses bildet mit insgesamt 25 Haushaltstypen für zehn verschiedene Nutzungsarten mit Regressionsgleichungen den Wasserverbrauch privater Haushalte

ab. Zu Beginn der zweiten Förderphase ist dieses Modell in vierfacher Hinsicht erweitert worden: Durch den Einbezug der Lufttemperatur als Eingangswert aus DANUBIA konnten (a) saisonale Schwankungen berechnet werden. Zudem wurde ein Korrekturfaktor für geographische Gegebenheiten berechnet. Dieser umfasste sowohl (b) eine Korrektur für die Stadt- bzw. Landbevölkerung, als auch (c) unterschiedliche Wasserverbräuche für deutsche, österreichische und Schweizer Gemeinden. Der allgemein abnehmende durchschnittliche Wasserverbrauch wurde durch eine (d) Innovationskorrektur berücksichtigt, die die Ausbreitung von neuen Technologien abbildet. Zusätzlich zu diesen Verbesserungen wurde das *Household*-Modell durch ein Dienstleistungsmodell ergänzt, das den Wasserverbrauch des öffentlichen Dienstleistungssektors (u.a. öffentliche Schwimmbäder, Schulen, Feuerwehr, Straßenreinigung, Opernhäuser, Krankenhäuser usw.) abbildet.

Die Validierung des *Household*-Modells ergab eine sehr hohe Übereinstimmung mit den statistischen Daten der Landesämter. Zudem ist die flächige Abbildung des Wasserbedarfs im Vergleich zur ersten Projektphase deutlich verbessert worden. Deshalb wurden danach keine weiteren Anstrengungen unternommen, das flache *Household*-Modell weiter zu optimieren. Stattdessen wurde der Schwerpunkt der Arbeit auf das Modell *DeepHousehold* gelegt. In *DeepHousehold* wird die Methode der Multi-Agenten-Modellierung genutzt, um prozessorientiert den Wasserbedarf der privaten Haushalte anhand expliziter Entscheidungen zu modellieren. Auf einzelne Aspekte zum Konzept von *DeepHousehold* wird in den nächsten Abschnitten eingegangen.

3.2.2.2 Multi-Agenten-Modellierung

Die Agenten-Modellierung ist ein Konzept aus der Informatik. Ein Agent ist letztlich ein eigenständiges Programm. Die Handlungen eines Agenten orientieren sich an der ihn umgebenden Umwelt. Interagieren mehrere Agenten miteinander, dann spricht man von Multi-Agenten-Modellen (GILBERT und TROITZSCH 2005). Agenten können folgende Merkmale aufweisen: Sie arbeiten weitgehend selbständig, reagieren auf Änderungen der Umgebung und sind insofern sozial, als dass sie mit anderen Agenten kommunizieren können. Außerdem sind sie aufgrund eines Gedächtnisses lernfähig.

Die Multi-Agenten-Modellierung wird in den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen eingesetzt, u.a. zur Simulation sozialer Systeme. Im Gegensatz zu sozialen Simulationsmodellen, die auf Regressionsgleichungen basieren, werden bei der Multi-Agenten-Modellierung einzelne Entscheidungsträger betrachtet. Diese haben einfache Verhaltensregeln und interagieren miteinander (MACY und WILLER 2002). Durch die explizite Abbildung der Akteure können auch ihre Entscheidungen auf die implementierten Verhaltensregeln und die jeweiligen Einflussfaktoren zurückgeführt werden. Das Verhalten eines solchen Simulationsmodells ist daher wesentlich leichter nachvollziehbar als das eines Regressionsmodells. Daher wurde für die Berechnung des Wassernutzungsverhaltens privater Haushalte ein solches agentenbasiertes Modell entwickelt.

3.2.2.3 Sinus-Milieus als Lebensstil-Typologie

Bei der Multi-Agenten-Modellierung werden die handelnden Akteure explizit abgebildet. Da die ca. 10 Millionen Einwohner des Einzugsgebiets aus Kapazitätsgründen nicht einzeln modelliert werden können, musste für die Haushalte als Betrachtungseinheit des Teilprojekts Umweltpsychologie eine geeignete Typologie gefunden werden. Im *Household*-Modell wurden 25 Haushaltstypen verwendet, die auf den soziodemographischen Merkmale Einkommen und Haushaltgröße beruhten. Diese Typologie sollte nicht für *DeepHousehold* verwendet werden, da weder Lebensumstände noch Werte oder Einstellungen der Menschen berücksichtigt werden.

Im Modell *DeepHousehold* werden die Entscheidungen deshalb anhand des Lebensstils der Menschen gefällt. Die Lebensstile werden durch die 10 sog. Sinus-Milieus[®] aus der kommerziellen Marktforschung repräsentiert (SINUS SOCIOVISION 2005). In der folgenden

Abbildung 1 wird eine Übersicht über die zehn Milieus anhand ihrer Einteilung in soziale Lage und Wertorientierung gegeben.

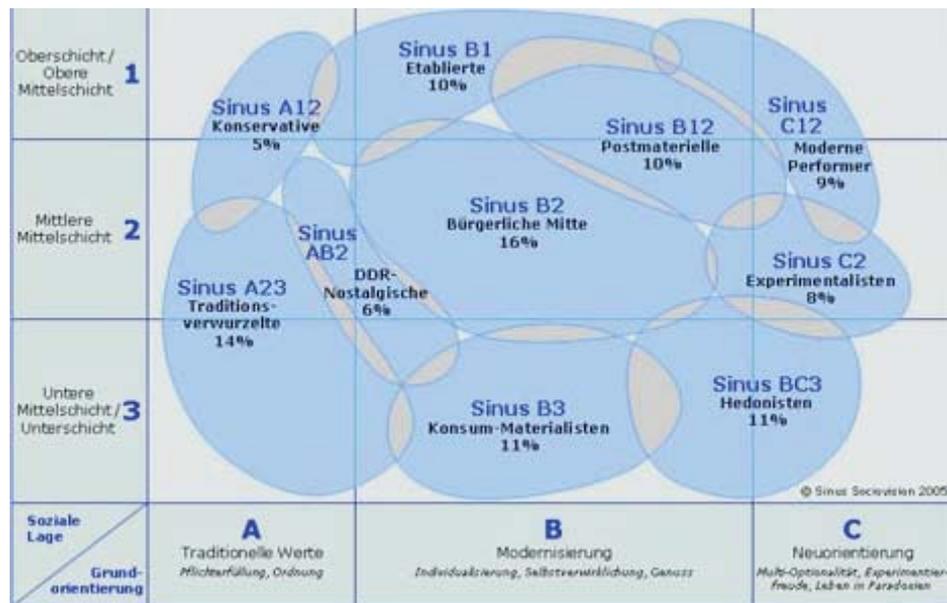


Abb. 1: Einteilung der zehn Sinus-Milieus anhand von sozialer Lage und Grundorientierung (Quelle: SINUS SOCIOVISION 2005)

Die Einteilung der Haushalte anhand von Haushaltsgröße und Einkommen aus dem Household-Modell wird in *DeepHousehold* insofern aufgegriffen, als dass Einkommen und Haushaltsgröße als Eigenschaften der *DeepHousehold*-Akteure gewertet werden. Alle Eigenschaften der *DeepHousehold*-Akteure sind im sogenannten Profil der Akteure gespeichert. In der ersten Umsetzung umfasst das Profil der Akteure Angaben zu Alter, Einkommen, Anzahl der Haushaltsmitglieder und Wertorientierung sowie zur Wichtigkeit von Umwelt, Preis und Verhalten anderer.

Die geographische Verortung der Sinus-Milieus ist aus den Daten der Marktforschung bekannt und im Projekt GLOWA-Danube nutzbar. Nach der Umrechnung der Daten der Firma microm® in Danubia-Koordinaten ist für jedes bewohnte Proxel bekannt, zu wie viel Prozent welche Sinus-Milieus® vorhanden sind.

Es wird angestrebt, alle im Einzugsgebiet relevanten Sinus-Milieus® als eigenständige Akteure in *DeepHousehold* abzubilden. Für die Implementierung des Modells werden zur Vereinfachung zunächst zwei gegensätzliche Milieus als *DeepHousehold*-Akteure herausgegriffen: Das sogenannte postmaterielle und das traditionsverwurzelte Milieu. Der Wasserverbrauch aller übrigen Milieus wird bis zur vollständigen Implementierung aus dem Mittelwert dieser beiden Milieus berechnet.

3.2.2.4 Psychologische Entscheidungstheorien

Die Multi-Agenten-Modellierung ermöglicht es, explizite Verhaltensregeln für die einzelnen Akteure zu formulieren. Dazu müssen Entscheidungsregeln implementiert werden, anhand derer die Akteure zwischen verschiedenen Optionen auswählen. In der psychologischen Entscheidungstheorie wird bei der Abwägung mehrerer Optionen unterschieden zwischen non-kompensatorischen und kompensatorischen Regeln (vgl. JUNGERMANN, PFISTER und FISCHER 2005).

Alle non-kompensatorische Regeln haben gemeinsam, dass eine Option dann nicht gewählt wird, wenn sie bestimmte Schwellenwerte für Attribute nicht erfüllt oder wenn sie bestimmte Merkmale nicht besitzt. Dabei ist es bei non-kompensatorischen Regeln gleichgültig,

tig, wie gut die Option auf anderen Attributen abschneidet. Bei den kompensatorischen Regeln dagegen kann die schlechte Ausprägung auf einem Attribut durch eine gute Ausprägung auf einem anderem Attribut ausgeglichen werden. Die wichtigste kompensatorische Regel ist die sog. Multi Attribute *Utility*-Regel (kurz MAU). Bei der MAU prüft der Entscheider jedes Attribut der Optionen auf seine Nützlichkeit. Außerdem misst er jedem Attribut eine bestimmte Wichtigkeit bei. Der Entscheider bestimmt dann für jede Option ihren Gesamtnutzen, wobei der Gesamtnutzen einer Option die Summe aus den Produkten der Wichtigkeit multipliziert mit dem Wert des jeweiligen Attributs ist. Der Entscheider wählt die Option mit dem höchsten Nutzen.

Bisher gibt es kein abschließendes Urteil darüber, welche Entscheidungsregel am besten menschliche Entscheidungen vorhersagen kann. Da die MAU-Regel bisher häufig benutzt und in Situationen mit nicht-extremen Wahrscheinlichkeiten befriedigende Ergebnisse liefert, wird in *DeepHousehold* für bewusste Entscheidungen auf die MAU-Regel zurückgegriffen.

3.2.2.5 Wassernutzungsarten und ihre Umsetzung

Im Modell werden insgesamt 9 Nutzungsarten für Trinkwasser im Haushalt unterschieden:

- Waschmaschine
- Spülmaschine
- Geschirrspülen per Hand
- Dusche
- Baden
- Zähne putzen
- Hände waschen
- Toilette
- Fußboden wischen

Die Umsetzung in Akteursverhalten orientiert sich an der Relevanz der Nutzungsart für den gesamten Wasserverbrauch. Nutzungsarten wie Zähne putzen wurden nicht so detailliert implementiert wie Baden oder Duschen (siehe Kap. 3.4.2.4). Auch die jeweiligen Freiheitsgrade für Verhalten bei Wasserknappheit wurden berücksichtigt (sog. Pläne, siehe Kap. 3.4.2.2). Wird das Wasser knapp, werden zuerst Tätigkeiten wie Fußboden wischen ausgesetzt, während die Zähne weiter geputzt werden. Nach der Implementation von Qualitätsmängeln ergibt sich hier eine eigene Dynamik.

Zur Berechnung des jeweiligen Verbrauchs sind die Parameter Häufigkeit, Dauer und Durchfluss (bei Duschen) entscheidend. Weitere Berechnungsparameter sind die Haushaltsgröße und die Wohnungsgröße. Jedoch sind nicht bei allen Nutzungsarten alle Parameter in gleichem Maße relevant.

3.3 Integrative Arbeiten

Die integrativen Arbeiten des Teilprojektes Umweltpsychologie umfassten im Berichtszeitraum bislang vor allem die Zusammenarbeit in der Arbeitsgruppe Actors, die Mit-Entwicklung und Anwendung des *DeepActor*-Frameworks, verschiedene Maßnahmen zur Öffentlichkeitsarbeit sowie die Entwicklung eines Auswertungstools mit dem Namen *TooDaReD*, das allen Teilprojekten von GLOWA-Danube zur Verfügung steht.

3.3.1 Arbeitsgruppe Actors

Die Arbeitsgruppe *Actors* besteht aus den Teilprojekten Agrarökonomie, Ökonomie (Modell Economy und Demography), Tourismus, Umweltpsychologie und Wasserversorgung. Während die Koordination dieser Arbeitsgruppe in der ersten Förderphase beim Teilprojekt Umweltpsychologie lag, wurde diese zu Beginn der zweiten Förderphase an das Teilprojekt Wasserversorgung übergeben.

In der zweiten Förderphase besteht der Beitrag des Teilprojekts Umweltpsychologie zur Arbeitsgruppe *Actors* einerseits in der gemeinsamen Auswertung und Diskussion von Szenarioläufen, der gemeinsamen Präsentation von Ergebnissen auf Konferenzen etc. Andererseits leistete das Teilprojekt Umweltpsychologie durch die Mit-Entwicklung und prototypische Anwendung des sog. *DeepActor*-Frameworks einen wesentlichen Beitrag für die gesamte *Actors*-Arbeitsgruppe. Darauf wird im folgenden Abschnitt genauer eingegangen.

3.3.2 Mit-Entwicklung und prototypische Anwendung des *DeepActor*-Frameworks

Ein wesentliches Ziel der zweiten Förderphase für die *Actors*-Gruppen war, den Ansatz der Multi-Agenten-Modellierung (siehe auch Kap.3.2.2.2) zu verwenden. Durch diese explizite Modellierung von Entscheidungen können die Gründe für die Entscheidung eines Akteurs zurückverfolgt werden. Um den aktorsbasierten Ansatz innerhalb von DANUBIA verwenden zu können, wurde das sog. *DeepActor*-Framework erstellt. Das *DeepActor*-Framework ist eine Erweiterung des DANUBIA-Frameworks für die *Actors*-Gruppen. Somit können alle *Actors*-Teilprojekte dieses Framework verwenden, um ihre Akteure und deren Entscheidungen explizit zu modellieren. Entscheidungsträger im Sinne des Frameworks können deshalb Individuen bis hin zu überregionalen Firmen sein. Eine ausführliche Beschreibung des *DeepActor*-Frameworks findet sich im Zwischenbericht des Teilprojekts Informatik.

Das *DeepActor*-Framework hat bis zu seiner jetzigen Version eine lange Geschichte. Erste vorläufige Konzepte entstanden bereits in der ersten Förderungsphase unter Mitwirkung des Zentralprojekts, der Informatik sowie der Umweltpsychologie. Zu Beginn der zweiten Förderphase wurden diese Vorarbeiten aufgegriffen. Einerseits wurde das *DeepActor*-Framework von der Informatik - unter Mitarbeit des Teilprojekts Umweltpsychologie - konzeptioniert und implementiert. Andererseits wurde das entstehende Framework parallel zu dessen Implementierung von den Teilprojekten Wasserversorgung und Umweltpsychologie prototypisch angewendet. Erste Ergebnisse des gemeinsam entwickelten Wasserknappheits-Szenarios wurden auf der Statuskonferenz im Mai 2005 vorgestellt. Ausgehend von diesen Erfahrungen konnten die anderen *Actors*-Teilprojekte bei ihrer Anwendung des *DeepActor*-Frameworks durch das Teilprojekt Umweltpsychologie unterstützt werden.

3.3.3 Öffentlichkeitsarbeit

Die Öffentlichkeitsarbeit umfasste neben der Mitarbeit am GLOWA-Atlas die Teilnahme am Stakeholder-Prozess sowie die Mitarbeit an der DANUBIA-Benutzerschnittstelle. Diese Arbeiten werden im Folgenden beschrieben.

3.3.3.1 Mitarbeit am GLOWA-Atlas

Das Teilprojekt Umweltpsychologie ist sowohl am Printatlas, als auch an der Online-Version des GLOWA-Atlas beteiligt. Derzeit zeigen beide Versionen den Modellierten Wasserbedarf der privaten Haushalte und des Öffentlichen Dienstleistungssektors im April 1998. Im dazugehörigen Text, der den Reviewprozess bereits durchlaufen hat, werden die Schritte des Modells von der Datengrundgrundlage über die Berechnungsschritte bis hin zur Validierung beschrieben und erläutert.

Darüber hinaus war das Teilprojekt Umweltpsychologie am Reviewprozess beteiligt (Ernst). Der Reviewauftrag umfasste die Beiträge acht anderer Teilprojekte.

3.3.3.2 Teilnahme am Stakeholder-Prozess

Das Teilprojekt Umweltpsychologie beteiligt sich an dem seit Beginn der zweiten Phase begonnenen Stakeholder-Prozess. Die für das Teilprojekt relevanten Stakeholder wurden in einer Recherche identifiziert und an das Stakeholder-Projekt übermittelt.

Die als am wichtigsten identifizierten Stakeholder wurden in Kooperation mit dem Teilprojekt Stakeholder zur Expertenrunde „Veränderungen von Wasserverbrauch und Wasserversorgung im Donaeinzugsgebiet unter Global Change-Bedingungen“ eingeladen. Titel des Vortrags (Kuhn) war „Vorhersage des Wasserverbrauchs privater Haushalte unter sich ändernden klimatischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen - das *Household-Modell*“.

3.3.3.3 Mitarbeit an der DANUBIA-Benutzerschnittstelle

Im August 2005 fand ein Workshop zu den Anforderungsspezifikationen an eine DANUBIA-(Web-)Benutzerschnittstelle statt. Der Workshop wurde durch das Teilprojekt Informatik in München organisiert. Dabei war die Anwesenheit einer Person aus der Gruppe Umweltpsychologie erwünscht, da in dieser Gruppe durch das Auswertetool *TooDaReD* (siehe 3.3.4) bereits erfolgreiche Arbeit in den Prozess des automatisierten Auswertens geflossen war.

Ziel des Workshops war es, die Anforderungsspezifikationen sowohl der natur- als auch sozialwissenschaftlichen Gruppen zusammenzutragen. Dazu wurde von der Gruppe Informatik (Kraus) eine Analyse der Anforderungen erstellt. Diese Analyse durch jeweils ein Anwendungsbeispiel aus den Naturwissenschaften und Sozialwissenschaften ergänzt.

Neben der Einigung auf gemeinsam zu nutzende Begriffe wurde ein Entwurf für die Benutzerverwaltung einer Schnittstelle mit der DANUBIA erstellt. Mit dieser Schnittstelle soll DANUBIA verwaltet, gestartet und teilweise ausgewertet werden. Die Weise, mit der das Auswertetool *TooDaReD* in die Schnittstelle einfließen wird, wird derzeit geklärt.

3.3.4 TooDaReD - Tool for Danubia Result Data

Im Zuge der Performanzverbesserungen des DANUBIA-Frameworks ebenso wie des *Household-Modells* hat es eine Umstellung von lesbaren, aber sehr großen Textdateien im ASCII-Format hin zu sehr kleinen Binärdateien gegeben. Zunächst wurde unter dem Namen *BinTool* in Kassel ein Werkzeug implementiert, was es ermöglicht einzelne Datensätzen aus den Binärdateien auszuschneiden (Cut-Funktion) bzw. diese zurück in das alte Textformat zu konvertieren (Conv-Funktion), so dass eine Weiterverarbeitung in Programmen wie Arc-View und SPSS wieder möglich wurde.

Die Häufigkeit der Prüfungen der anfallenden Datensätzen ließ es sinnvoll erscheinen, das Werkzeug um einfache deskriptive Statistiken zu erweitern. Unter dem Namen *TooDaReD* wurde daraufhin das Tool um die Prüfung der gültigen Fälle, der Summe, dem Maximum, dem Minimum und dem Mittelwert ergänzt (Check-Funktion).

Durch die Möglichkeit, die für die schnellen Modellläufe nötigen Binärdateien in gewohnte und lesbare ASCII-Dateien umzuwandeln, ist *TooDaReD* für viele der Teilgruppen des GLOWA-Danube Projektes zu einem nützlichen Werkzeug geworden. Neben den Erweiterungen der einfachen deskriptiven Statistiken sind in Zukunft auch Graphiken und in Absprache mit anderen Teilgruppen auch erste inferenzstatistische Werte geplant.

Die neueste Version ist für April 2006 geplant und enthält eine strukturelle Überarbeitung. So bietet *TooDaReD* nun die Möglichkeit, neue Module als Erweiterung für das Tool zu implementieren, die bei Programmstart dynamisch eingelesen und geladen werden. Eine Änderung am Programm-Kern ist von nun an nicht mehr nötig. Die Entwickler anderer Gruppen können nun ohne großen Aufwand und Einarbeitung Module in das Hauptprogramm ergänzen. Überdies wird die neueste Version auch Ergebnisdaten aus Läufen mit äl-

teren DANUBIA-Versionen bearbeiten können. Geplant ist außerdem die Integration einer Auswertung auf Gebietsebene sowie eine zur Laufzeit parallele Auswertung einzelner Modelldaten.

3.4 Modell-Implementation

Im folgenden Kapitel wird auf die Modellimplementation des Prozessmodells *DeepHousehold* eingegangen. Dazu wird zunächst in 3.4.1 der Stand des statistischen *Household*-Modells sowie auf die zum Zeitpunkt Mai 2005 lauffähigen Teile des Prozessmodells *DeepHousehold* rekapituliert. In Abschnitt 3.4.2 wird das aktuelle Prozessmodell mit seinen wichtigsten Bausteinen und Funktionsweisen dargestellt.

3.4.1 Stand des Modells im Mai 2005

Am Ende der ersten Förderphase berechnete das statistische *Household*-Modell folgende Export-Werte:

- Wasserbedarf privater Haushalte (*DomesticDrinkingWaterDemand*) in m^3/s ,
- Abwasser privater Haushalte (*WasteWaterQuantity*) in m^3/s sowie
- wasserbezogene Zufriedenheit (*WaterRelatedSatisfaction*) in %.

Für diese Berechnungen wurden drei Werte aus dem Simulationsmodell DANUBIA benötigt: Die Bevölkerungsverteilung in 25 statistischen Haushaltstypen, der Wasserpreis und die gelieferte Wassermenge.

Der Wasserbedarf wurde für zehn verschiedene Nutzungsarten berechnet. Der aufsummierte Wasserverbrauch pro Haushaltstyp wurde mit einer Preiselastizität verrechnet. Der Wasserbedarf pro Proxel ergibt sich durch die Summe des Wasserbedarfs aller Haushalte auf diesem Proxel.

Die Abwassermenge wurde mit dem gelieferten Wasser gleichgesetzt. Die wasserbezogene Zufriedenheit war eine Funktion von Wasserbedarf und gelieferter Wassermenge.

Für die Statuskonferenz im Mai 2005 wurde ein Prototyp des späteren *DeepHousehold* Modells erstellt. Begonnen wurde damit im Januar 2005. Ein Ziel bestand darin, die Gruppe Informatik in der Entwicklung der Framework-Erweiterung *DeepActor* zu unterstützen. Bis Ende Februar lief ein erstes leeres Modell, welches von *DeepActor* abgeleitet war. Bis Mitte März wurden die Proxel zu reinen Datentypen verändert. Zwei Akteure wurden unterschieden und bekamen ihre individuellen Profile zugewiesen sowie Sensoren zur Wahrnehmung der äußeren Umwelt. Ende März wurden schließlich die beiden Nutzungsarten Duschen und Baden aus dem statistischen *Household*-Modell entfernt. Bis Ende April wurden die um sieben Ausgaben erweiterten Ergebnisse des Modells (z.B. Verteilung der Sparduschköpfe, Wasserverbrauch von Traditionsverwurzelten beim Baden etc.) überprüft und der gekoppelte Lauf mit *DeepWater-supply* vorbereitet.

3.4.2 Das Prozessmodell *DeepHousehold*

Im Folgenden wird das Prozessmodell *DeepHousehold* beschrieben. Zentral dabei sind die Haushalte, die als aktive Akteure Pläne wählen und dadurch Ketten von Aktionen auslösen können. Für Entscheidungen zwischen Planalternativen werden den Akteuren Importdaten zur Verfügung gestellt. Diese Importdaten fließen in die Entscheidungsberechnung ein. Am Ende eines Zeitschrittes im Modell werden die neu berechneten Werte exportiert.

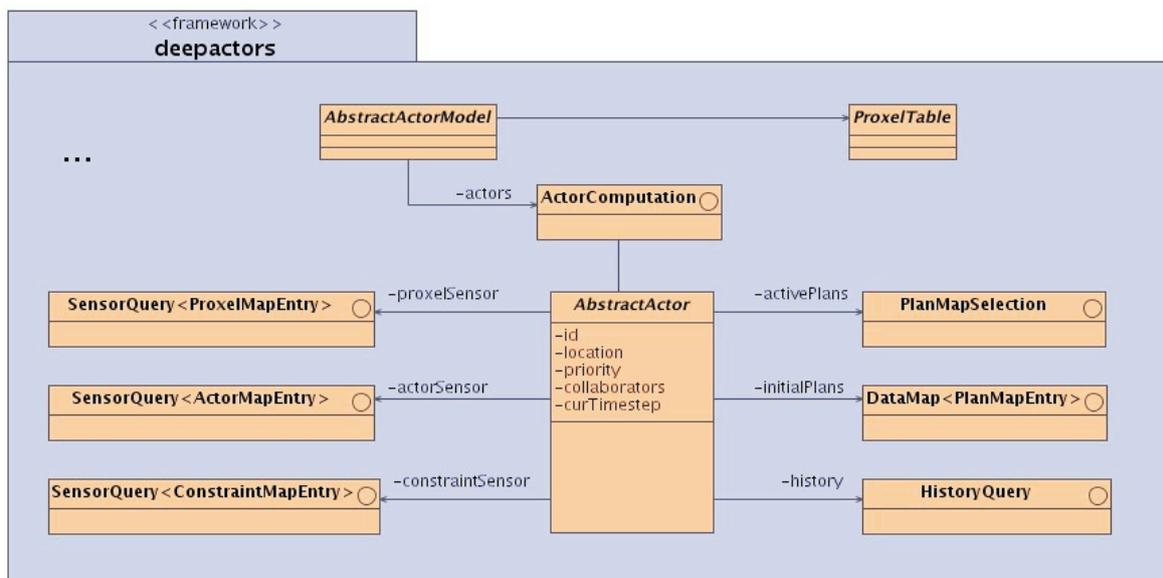


Abb. 2: UML-Diagramm des *DeepActor*-Frameworks mit den Sensoren (links), Planmengen und History (rechts)

3.4.2.1 Haushaltstypen als Akteure

Im Modell *DeepHousehold* werden die Entscheidungen anhand des Lebensstils der Menschen gefällt. Die Lebensstile werden durch die oben (Kap. 3.2.2.3) genannten 10 Sinus-Milieus® repräsentiert (SINUS SOCIOVISION 2005). In der ersten Umsetzung umfasst das Profil der Akteure Angaben zu Alter, Einkommen, Anzahl der Haushaltsmitglieder und einer Wertorientierung, die aus Werten zur Wichtigkeit von Umwelt, Modernität und Hygiene sowie dem Preis und dem Verhalten anderer Akteure desselben Lebensstils, besteht.

Zunächst sind zwei Akteurstypen umgesetzt worden, die das traditionsverwurzelte Milieu und das Milieu der Postmateriellen repräsentieren. Das traditionsverwurzelte Milieu zeichnet sich allgemein dadurch aus, dass dessen Angehörige sparsam, aber weniger umweltorientiert sind und eher viel Wert auf ihr soziales Umfeld legen. Die Ansprüche an die Modernität sind in diesem Milieu eher gering. Dementsprechend hat der traditionsverwurzelte Akteur hohe Einstellungswerte beim Preisbewusstsein und bei der sozialen Norm, jedoch niedrige Werte im Umweltbewusstsein und der Modernität. Im Vergleich dazu zeichnen sich die Postmateriellen dadurch aus, dass sie sehr modern sind und aufgrund ihres höheren Einkommens weniger preisbewusst, dafür jedoch umweltfreundlich sind. Auch wenn sie deutlich größere Bekanntenkreise haben als die Traditionsverwurzelten, sind sie dennoch unabhängiger von der Meinung ihrer Kollegen und Freunde.

Diese beiden Akteurstypen berechnen ihre Entscheidungen aufgrund ihrer Einstellungswerte. Abhängig von der prozentualen Verteilung der Milieus auf den Proxeln werden die jeweiligen Entscheidungen umgesetzt. Für den verbleibenden Anteil der Bevölkerung auf dem Proxel wird zunächst der Durchschnitt beider Akteursentscheidungen gebildet.

3.4.2.2 Pläne und Aktionen

Jeder Plan hat eine Reihe von Merkmalen, die ihn charakterisieren, z.B. Index-Werte für den Anschaffungspreis oder den Ressourcenverbrauch. Anhand dieser Merkmale werden die Pläne von den Akteuren in *DeepHousehold* evaluiert (siehe Kap. 3.4.2.4).

Beispielsweise besteht die Nutzungsart Duschen aus zwei Plänen für die Wahl eines Duschkopfes (Duschkopf mit normalem Durchfluss und Sparduschkopf) sowie aus fünf Plänen für die Wahl der Duschhäufigkeit pro Woche (gar nicht, ein, zwei, sieben oder 14 Mal). Ein Sparduschkopf etwa hat einen (im Vergleich zum normalen Duschkopf) höheren Wert beim Merk-

mal Anschaffung (Preis) sowie einen hohen Wert für das Merkmal Umweltweltbewusstsein, da er den Wasserdurchfluss vermindert. Das Merkmal Modernität/Hygiene spielt beim Duschkopf keine Rolle und wird dementsprechend auf Null gesetzt. Die Merkmale der Pläne werden mit den korrespondierenden Eigenschaften der Akteure multipliziert, aufaddiert und ergeben so den Wert dieses Plans für den Akteur.

Bei der Multiplikation werden die drei Plan-Attribute Relevanz des Wasserpreises, Ressourcenverbrauch und Modernität/Hygiene mit den drei Akteurseigenschaften Wichtigkeit des Preises, Wichtigkeit von Umweltfreundlichkeit sowie Modernität/Hygiene verschränkt.

3.4.2.3 Import von Danubia-Daten (query)

Die Integration in DANUBIA macht *DeepHousehold* zu einem rückgekoppelten Modell. Dieses stellt anderen Modellen zur Laufzeit Daten als Exporte zur Verfügung und benötigt selbst Importdaten. Der Datenimport erfolgt innerhalb des *DeepActor*-Frameworks über Sensoren, von denen drei vorgegeben sind: *Constraint*-, *Proxel*- und *DeepActor*-Sensor (JANISCH und SCHULZ 2004). Auf jedem Proxel werden mit dem Proxel-Sensor die aktuellen Daten für die Temperatur, die Bevölkerung, den Wasserpreis und die Quantitätsflaggen abgefragt. Zudem braucht jeder Akteur Informationen über das Verhalten anderer Akteure (sog. soziale Norm; siehe Kap. 3.2.1.2 und 3.2.1.4), die nicht unbedingt auf dem gleichen Proxel verortet sein müssen und mit dem *DeepActor*-Sensor abgefragt werden. *Constraints* können übergeordnete - evtl. politische - Veränderungen sein, die bisher noch nicht abgefragt werden.

Eine besondere Rolle im neuen Prozessmodell spielen die Quantitätsflaggen. Sie stellen eine klassifizierte Mitteilung über den quantitativen Zustand von Grundwasser- (und Oberflächenwasser-Ressourcen) auf dem jeweiligen Proxel dar. Gemeinsam mit der Gruppe *WaterSupply* wurde ein Flaggenkonzept erarbeitet, in dem sog. Warnflaggen in den Stufen 1 bis 4 die zunehmende Schweregrade der Beeinträchtigung signalisieren. Das Teilprojekt *WaterSupply* berechnet mittel- und langfristige Zustandsänderungen und exportiert diese Informationen durch die Warnflaggen, die die Entscheidungsgrundlage für ebenso mittel- bis langfristig greifenden Maßnahmen (Pläne) ermöglichen.

Für die Entscheidungsberechnung der Akteure werden die Importe z.T. in sog. Indices (Werte zwischen -1 und +1) umgerechnet. Die Umrechnung erfolgt für die Temperatur, den Wasserpreis und die genannten Warnflaggen. Beispielsweise wird der Temperatur-Index positiv, wenn die Monatsmitteltemperatur über 10° C liegt. Der Index wird negativ, wenn die Monatsmitteltemperatur unter 2° C sinkt. Ähnlich verhält sich der Preis-Index: Er wird umso positiver, je stärker die Preiserhöhung im Vergleich zum vorherigen Monat war. Umgekehrt wird er umso negativer, je stärker die Preissenkung im Vergleich zum vorherigen Monat war. Die Index-Werte fließen direkt in die Berechnung der Entscheidung der Akteure ein.

3.4.2.4 Berechnung der Entscheidung

Im Folgenden wird für die Nutzungsart Duschen beispielhaft dargelegt, in welchen Fällen eine Planevaluation ausgelöst wird und welche Auswahlregeln bei der Evaluation berücksichtigt werden. Die Pläne für die Akteure entsprechen den oben (3.4.2.2) dargestellten Optionen für die einzelnen Nutzungsarten.

Für die Akteure im Prozessmodell besteht nur dann Anlass zur Überprüfung ihrer Dusch-Gewohnheiten, wenn eine von drei äußeren Bedingungen Anlass zur Verhaltensüberprüfung gibt. Zu allen anderen Zeitpunkten wird ihr Wasserbedarf über Gewohnheiten berechnet.

Ein solcher Anlass zur Überprüfung ihrer Gewohnheiten und bewussten Planauswahl wird in der Methode `options()` überprüft und ist gegeben, wenn entweder

- der Wasserpreis um mindestens 5% im Vergleich zum Vormonat zunimmt,
- eine Warnflagge > 1 vorliegt (es bestehen also Probleme in der Wasserverfügbarkeit) oder

- die mittlere Lufttemperatur in diesem Monat > 10°C beträgt.

Wird keiner der Schwellenwerte überschritten, wird das Gewohnheitsverhalten ausgeführt. Die Berechnung des Gewohnheitsverhaltens erfolgt durch folgende Formel:

$$Lhhd = \text{numberHHMembers} * \text{showerFrequ} * \text{showerLength} * \text{showerFlow}$$

Wobei *Lhhd* = Liter pro Haushalt pro Tag, *showerFrequ* = Duschhäufigkeit, *showerFlow* = Durchflussmenge des Duschkopfs, *showerLength* = Duschkdauer (derzeit fix mit 5 min.)

Unterschiede für die Akteurstypen ergeben sich z.B. durch die Verteilung der gewohnheitsmäßigen Duschhäufigkeit (*showerFrequ*): Postmaterielle duschen häufiger als Traditionsverwurzelte. Solche Unterschiede werden bei der Initialisierung des Modells berücksichtigt und ergeben sich aus den empirischen Daten.

Ist ein Anlass nach den obigen Regeln gegeben, entscheidet der Akteur bewusst anhand der *Multi Attribute Utility*-Regel (siehe Abschnitt 3.2.2.4) über Faktoren der obigen Gleichung, in diesem Fall über die Duschhäufigkeit (*showerFrequ*). In der Methode *filter()* wird die prozentuale Verteilung aller fünf Duschhäufigkeitspläne für den Akteurstyp auf diesem Proxel errechnet.

Dazu wird für alle fünf Duschhäufigkeitspläne ein Nützlichkeitswert (*valueUtility[i]*) berechnet. Dieser Nützlichkeitswert ergibt sich aus der Summe der drei Produkte jeweils für die Bereiche Umweltbewusstsein, Preis und Modernität/Hygiene. In einem Produkt werden die Attribute des Akteurs mit den Attributen des jeweiligen Plans (kein, ein, zwei, sieben oder 14 Mal Duschen pro Woche) multipliziert. Da es sich bei der Berechnung nicht um die Entscheidung eines einzelnen Akteurs/Haushalts handelt, sondern diese Entscheidung repräsentativ für alle Haushalte dieses Typs auf dem Proxel gilt, wird nicht ausschließlich der Plan mit dem größten Nützlichkeitswert gewählt. Vielmehr werden alle Pläne prozentual zu ihrem Nützlichkeitswerte für die Haushalte auf dem Proxel angenommen.

Die *Multi Attribute Utility* wird in der Entscheidungsberechnung von *DeepHousehold* noch durch eine Art situationale Komponente erweitert. Sie verändert den Faktor der Akteursattribute entsprechend den äußeren Bedingungen. So wird der Wert Modernität/Hygienebedarf des Akteurs um den Temperaturindex-Wert auf dem Proxel erhöht, da bei sehr warmen Temperaturen ein erhöhter Wasserbedarf besteht. Auch das Preisbewusstsein wird um den Preisindex-Wert verändert. Sank der Preis im vorherigen Monat, wird die Wichtigkeit des Preises für die Entscheidung reduziert. Stieg der Preis, äußert sich dies in einem erhöhten Preisbewusstsein. Auch das Umweltbewusstsein des Akteurs erhöht sich um den Wert des Flaggen-Index. Das Umweltbewusstsein nähert sich dem Wert +1, je höher der Wert der Warnflagge auf dem Proxel ist und je länger diese Warnflagge bereits besteht.

$$\begin{aligned} valueUtility[i] = & \\ [& (\text{profile.importanceEnvironment} & + \text{myProxel.IndexQuantityFlag} \\ & & * \text{showerFreqPlans}[i].\text{planEnvironment}] \\ + [& (\text{profile.importancePrice} & + \text{myProxel.IndexWaterPrice}) \\ & & * \text{showerFreqPlans}[i].\text{planWaterPrice}] \\ + [& (\text{profile.valueModern} & + \text{myProxel.IndexAirTemp}) \\ & & * \text{showerFreqPlans}[i].\text{planModernity}] \end{aligned}$$

Formel zur Berechnung der Nützlichkeitswert - Akteursprofile werden um situationale Proxelwerte ergänzt und mit den Planattributen multipliziert.

Die Methode *execute()* berechnet am Ende der Entscheidungsberechnung den Wasserbedarf mit den veränderten Duschhäufigkeiten.

Eine Ausnahme besteht, wenn eine Wasserknappheit herrscht, also von *WaterSupply* die Warnflagge 4 gezeigt und nicht mehr genügend Wasser geliefert wird. In dem Fall duscht keiner der Akteure mehr. Eine if-Bedingung setzt den Wert für den Verzicht auf das Duschen auf 1 und die Werte aller anderen Duschhäufigkeits-Pläne auf 0.

3.4.2.5 Exporte und Results

Am Ende eines Zeitschritts werden die Wasserverbräuche der Entscheidungen aufsummiert und zur Weiterverarbeitung an andere Modelle exportiert. Der Wasserbedarf wird als *DomesticDrinkingWaterDemand*, das Abwasser als *WasteWaterQuantity* und die Zufriedenheit mit der Wasserversorgung als *WaterRelatedSatisfaction* dem DANUBIA-Modell zurückgegeben.

Neben diesen zur Laufzeit weiterverarbeiteten Daten gibt das Modell *DeepHousehold* eine Reihe weiterer Daten als Ergebnisdaten für die Auswertung aus. Dazu gehören die oben genannten Exporte sowie der Wasserbedarf des öffentlichen Dienstleistungssektors. Zur eigenen Kontrolle werden auch die Lufttemperatur, die Index-Werte für den Wasserpreis und die Warnflagge sowie die Bevölkerung pro Proxel ausgegeben (siehe Tab. 5).

Tab. 5: *DeepHousehold* Ergebnisse auf Proxelebene

Dateinamen der Ergebnisvariablen	
<i>DeepHouseholdWaterDemand</i>	<i>AirTemperature</i>
<i>DomesticDrinkingWaterDemand</i>	<i>TIndexQuantityFlag</i>
<i>PublicWaterDemand</i>	<i>IndexWaterPrice(ifo-Institut München)</i>
<i>WasteWaterQuantity</i>	<i>TotalPopulation</i>
<i>WaterRelatedSatisfaction</i>	

Das Prozessmodell *DeepHousehold* stellt neben den Daten auf der Proxelebene auch Daten für die einzelnen Akteurstypen aufgeschlüsselt nach den Nutzungsarten zur Verfügung. Auf diese Weise ist es möglich, sich den Wasserverbrauch eines bestimmten Haushaltstyps für die Nutzungsarten Geschirrspülen, Baden, Duschen, Händewaschen, Bodenwischen, Zähneputzen, Essen kochen, Wäsche waschen oder Toilettenbenutzung einzeln anzeigen zu lassen. Des weiteren werden auch die Verteilung von Regenwassernutzungsanlagen und von Sparduschköpfen für die Akteure auf den Proxeln ausgegeben (siehe Tab. 6).

Tab. 6: Ergebnisse der Nutzungsarten pro Akteurstyp, hier Postmaterielle (PMA). Die Angaben werden in Prozent oder Liter pro Haushalt pro Tag (Lhhd) ausgegeben

Dateinamen der Ergebnisvariablen	
<i>LhhdBathOfMilieuPMA</i>	<i>LhhdTeethBrushPMA</i>
<i>LhhdCleaningPMA</i>	<i>LhhdToiletOfMilieuPMA</i>
<i>LhhdDishWashPMA</i>	<i>LhhdWashingMaschinePMA</i>
<i>LhhdFoodPMA</i>	<i>WasteWaterToiletPMA</i>
<i>LhhdHandWashPMA</i>	<i>PercentRainHarvestingPMA</i>
<i>LhhdShowerOfMilieuPMA</i>	<i>PercentShowerHeadOfPMA</i>

Die bisher genannten Daten werden monatlich berechnet und gespeichert. Um den Entscheidungsprozess noch eingehender betrachten zu können, wird für ausgewählte Akteure auf bestimmten Proxeln das Zustandekommen der Entscheidungen notiert. In einer sogenannten *Tracer*-Datei werden dazu die Werte jedes Planattributes und die Zwischenschritte der Berechnungen

verzeichnet. Parallel dazu werden die Verteilungen der Pläne nach der Berechnung der Entscheidung für alle Plangruppen in eine Datei (Typ: csv) geschrieben, die zur genaueren Analyse in Tabellenkalkulationsprogramme eingelesen und weiterverarbeitet werden können.

3.5 Gemeinsamer Cluster-Lauf im Februar/März 2006

Bevor die Ergebnisse des gemeinsamen Cluster-Laufs im Februar/März 2006 detailliert vorgestellt werden, erfolgt zunächst ein kurzer Rückblick auf weitere wichtige Läufe, die innerhalb der zweiten Förderphase stattgefunden. Im Anschluss beschreibt Kapitel 3.5.1 die Validierung des Modells *DeepHousehold* und Kapitel 3.5.2 stellt die Ergebnisse des Cluster-Laufs im Februar/März 2006 vor.

Eine Validierung des sog. flachen *Household*-Modells erfolgte im Winter 2004/05. Mit den in der zweiten Projektphase implementierten Ergänzungen bildet das *Household*-Modell den Wasserverbrauch privater Haushalte mit einem Fehler von unter 1% in der Summe sehr gut ab.

Auch bei den Szenario-Läufen im Winter 2004/05 lieferte das *Household*-Modell plausible Ergebnisse: Der Wasserverbrauch stieg in den Sommermonaten des heißen und trockenen Szenarios durch vermehrtes Duschen.

Um eine prototypische Version des aktueurbasierten *DeepHousehold* Modells (mit zwei Milieus sowie zwei Wassernutzungsarten) zu testen, wurden zusammen mit dem Teilprojekt *WaterSupply* mehrere gekoppelte Läufe gefahren. Die Ergebnisse der Läufe wurden auf der GLOWA-Statuskonferenz im Mai 2005 vorgestellt.

Die Ergebnisse der bisher stattgefundenen Läufe können für beide Modelle ohne Einschränkung als sehr gut bezeichnet werden.

Im Folgenden werden die Ergebnisse des gekoppelten Simulationslaufs auf dem Münchner Cluster mit den aktuellsten Modell-Versionen aller Teilprojekte beschrieben. Dieser Simulationslauf hat im Februar/März 2006 stattgefunden und umfasste die Modelljahre 2000 - 2036. Es wurde ein reines Klimaänderungsszenario in Anlehnung an das IPCC-Szenario mit einem Temperaturanstieg von 4°C innerhalb von 100 Jahren (+4°C/100a) ausgewählt.

Dieser Simulationslauf wird im Folgenden anhand des Modelljahres 2001 für die Validierung von *DeepHousehold* verwendet. Zudem werden die auf das Szenario bezogenen Ergebnisse für die Modelljahre 2000 bis 2036 vorgestellt.

3.5.1 Validierung

Für die Validierung des *DeepHousehold* Modells wurde das Jahr 2001 ausgewählt. Zum einen werden räumlich aufgelöste statistische Daten für Bayern und Baden-Württemberg von den Statistischen Landesämtern alle drei Jahre erhoben (1995, 1998, 2001...). Zum anderen wurde ein möglichst frühes Validierungsjahr gewählt, um Einflüsse des Trockenheitsszenarios ausschließen zu können.

3.5.1.1 Summarische Validierung für das gesamte Einzugsgebiet

Die summarische Validierung von *DeepHousehold* bezieht sich das gesamte Einzugsgebiet. Betrachtet wird allein der Wasserbedarf der Haushalte, da es für die wasserbezogene Zufriedenheit keine statistischen Daten gibt, die zur Validierung verwendet werden könnten. Aufgrund von saisonalen Schwankungen ist es nicht mehr möglich, einen einzelnen Modellmonat zur Validierung zu verwenden. Vielmehr wurde für das ausgewählte Jahr 2001 der Mittelwert des Wasserbedarfs gebildet und mit dem statistischen Wert verglichen.

Um Aussagen über die Validität des Modells *DeepHousehold* treffen zu können, muss die der Validierung zugrunde liegende Bevölkerung gleich sein. Aus diesem Grund wurden die statistischen Pro-Kopf-Verbräuche der privaten Haushalte mit der im Simulationslauf für das Jahr 2001 simulierten Bevölkerung verrechnet (etwa 10,7 Millionen Einwohner). Die statistischen Verbräuche pro Kopf entstammen für Bayern und Baden-Württemberg den Daten auf Gemeinde-Ebene, wie sie von den Statistischen Landesämtern zur Verfügung gestellt worden sind (bei fehlenden Werten wurde der landesweite Durchschnitt eingesetzt). Der Pro-Kopf-Verbrauch in Österreich wurde mit 147 Litern angenommen, für die Schweiz mit 162 Litern. Daraus ergibt sich ein statistischer Wasserverbrauch privater Haushalte im Einzugsgebiet von 17,19 m³/s für das Jahr 2001.

Im Referenzlauf berechnete das Modell *DeepHousehold* für das Jahr 2001 durchschnittlich einen Wasserdurchfluss von 17,38 m³/s. Damit überschätzt *DeepHousehold* den statistischen Wasserbedarf für 2001 um 1,1%.

Der Wasserbedarf, wie er von *DeepHousehold* berechnet wird, ist in der nächsten Abbildung 3 visualisiert.

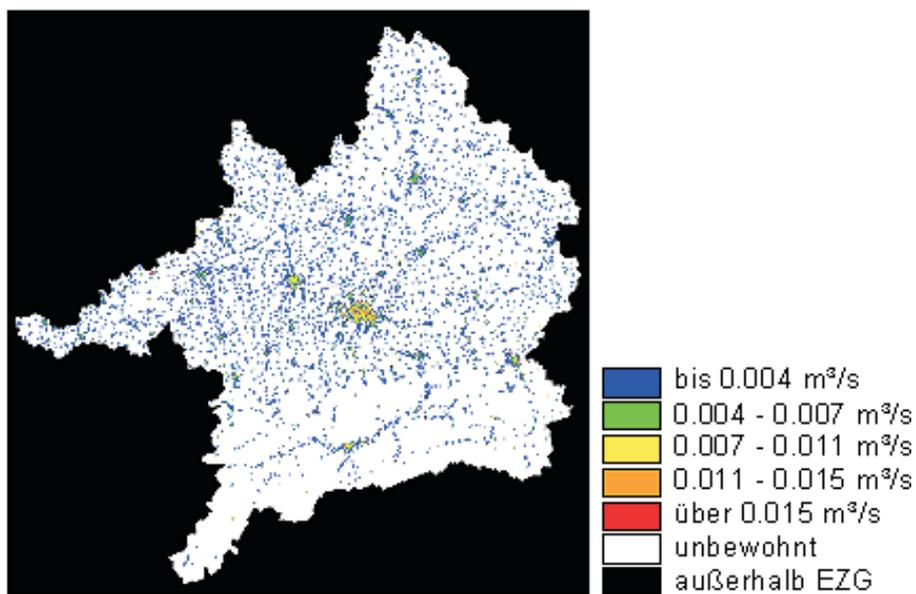


Abb. 3: Flächendarstellung des Wasserbedarfs von privaten Haushalten und Dienstleistern im Oberen Donaeinzugsgebiet. Die Werte wurden im gekoppelten Lauf im Februar/März 2006 für das Jahr 2001 berechnet. Zu erkennen sind die wenig besiedelten Regionen in den Alpen mit dem Inn-Tal im Süden des Einzugsgebiets sowie die größeren Städte im Norden (von West nach Ost sind dies Ulm, Augsburg und Regensburg). In der Mitte ist der Ballungsraum München zu erkennen

3.5.1.2 Anteile der einzelnen Nutzungsarten am Gesamt-Wasserbedarf

Neben der summarischen Betrachtung des ganzen Einzugsgebiets wurde der Anteil der einzelnen Nutzungsarten am Gesamtbedarf analysiert. Dazu wurden in der folgenden Tabelle 7 für die einzelnen modellierten Nutzungsarten der Wasserbedarf in Liter pro Person und Tag zusammengefasst - für die beiden implementierten Lebensstile und den Mittelwert der beiden Lebensstile im Vergleich zu Angaben aus der Literatur.

Problematisch für die Validierung ist, dass die Angaben in der Literatur zum Anteil der einzelnen Nutzungsarten am Gesamtverbrauch teilweise einzelne Kategorien zusammenfassen bzw. nicht berücksichtigen. Das erschwert Vergleiche zwischen Literaturangaben und modellierten Ergebnissen.

Ein Vergleich mit den Angaben in der Literatur zeigt, dass der Wasserbedarf für Wäschewaschen und Geschirrspülen vom Modell tendenziell unterschätzt wird, während für die

Tab. 7: Anteile der einzelnen Nutzungsarten am Wasserbedarf pro Person - Vergleich statistischer Daten mit modellierten Ergebnissen für die gemittelte Gesamtpopulation sowie die beiden Lebensstile Postmaterielle (PMA) und Traditionsverwurzelte (TRA). Angegeben sind jeweils Liter pro Person und Tag (Jahresmittelwert) sowie prozentualer Anteil am Gesamtverbrauch. Grundlage ist das Simulationsjahr 2001

Nutzungsart	Wasserbedarf pro Nutzungsart (ABKE 2001)	Wasserbedarf pro Nutzungsart (Forum Trinkwasser, 2004)	Modell. Wasserbedarf pro Nutzungsart (Mittelwert)	Modell. Wasserbedarf pro Nutzungsart (PMA)	Modell. Wasserbedarf pro Nutzungsart (TRA)	
Waschmaschine	16 (13,7%)	(15%)	14,8 (11,4%)	18,2 (13,1%)	11,4 (9,7%)	
Duschen	46 (39,3%)	(30%)	44,5 (33,1%)	72,2 (52,0%)	16,8 (14,3%)	
Baden			11,4 (9,5%)	3,2 (2,3%)	19,6 (16,6%)	
Zähne putzen			?	1,3 (0,9%)	2,3 (1,9%)	
Hände waschen			?	7,0 (5,5%)	7,0 (5,0%)	7,0 (5,9%)
Toilette			34 (29,1%)	(29%)	38,8 (31,1%)	28,4 (20,4%)
Putzen	8 (6,8%)	?	0,7 (0,5%)	0,5 (0,4%)	0,8 (0,7%)	
Nahrung	5 (4,3%)	(3%)	3,8 (2,9%)	3,8 (2,7%)	3,8 (3,2%)	
Geschirr spülen	8 (6,8%)	(15%)	5,7 (4,5%)	4,5 (3,2%)	6,9 (5,8%)	
SUMME	117 (100%)	(92%)	128,4 (100%)	139,0 (100%)	17,7 (100%)	

Anmerkungen:

Abke 2001: Es kommen noch 11 Liter Kleingewerbeanteil hinzu, die bei den 117 Litern Gesamtbedarf pro Person nicht eingerechnet sind. Die Kategorie Putzen enthält außerdem den Wasserbedarf für die Gartenbewässerung.

Forum Trinkwasser 2004: Es kommen noch 4% Sonstiges sowie 4% Gartenbewässerung hinzu.

Körperpflege (Duschen, Baden, Zähne putzen, Händewaschen) zu viel Wasser vom Modell veranschlagt wird. Die beiden Nutzungsarten Toilette und Kochen/Trinken stimmen mit den Literaturwerten etwa überein; für die Nutzungsart Putzen konnten keine Werte gefunden werden. Die Gartenbewässerung fehlt bisher in *DeepHousehold* und wird in der Laufzeit der zweiten Förderphase noch implementiert.

3.5.1.3 Wasserbedarf im Jahresverlauf

Das Modell *DeepHousehold* liefert durch die Reaktion der Haushalte auf die Lufttemperatur im Lauf eines Jahres dynamische Ergebnisse für den Wasserbedarf. Dies ist in der folgenden Abbildung 4 dargestellt. Zu beachten ist, dass aufgrund der Berechnung des monatlichen Mittelwerts der Lufttemperatur innerhalb der Komponente *Atmosphäre* jeweils am Ende des simulierten Monats die Temperaturwerte um einen Monat versetzt bei *DeepHousehold* ankommen. Das bedeutet z.B., dass sich der hier dargestellte Tiefpunkt in der Lufttemperatur im April 2001 erst im Mai auswirkt.

Diese Dynamik des Wasserbedarfs kann nicht anhand von statistischen Daten validiert werden, da statistische Daten nur aggregiert für jeweils ein Jahr vorliegen. Anhaltspunkte für saisonale Schwankungen liefern MUTSCHMANN und STIMMELMAYR (2002): Danach ist der Höchstwert der Wasserabgabe an private Verbraucher im Juli, die Minima liegen im Januar/Februar. Der Spitzenfaktor der monatlichen Wasserabgabe ist der Quotient aus der maximalen Menge geteilt durch den Mittelwert. Er beträgt etwa 1,5 für ländliche Regionen und 1,1 in Großstädten.

Das Maximum des modellierten Wasserbedarfs liegt im Modellmonat September (durch die zeitliche Verzögerung der Lufttemperatur im August). Die Monate mit geringem Wasserverbrauch sind Dezember - Februar (bzw. November - Januar). Der Spitzenfaktor der monatli-

chen Wasserabgabe beträgt gemittelt über das Einzugsgebiet 1,1. Dieser Wert ist geringer als erwartet, da die Gartenbewässerung - die hochgradig saisonal ist - in *DeepHousehold* noch nicht implementiert ist.

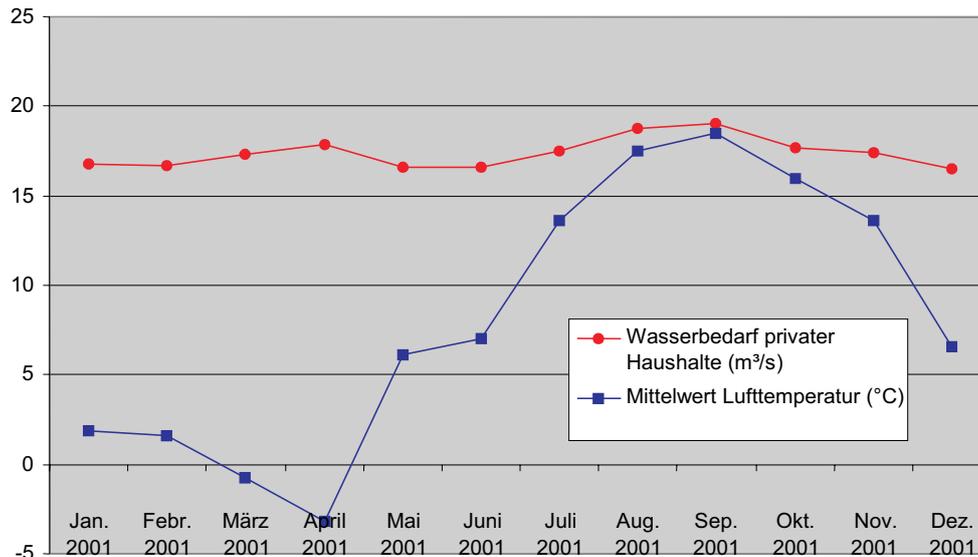


Abb. 4: Saisonale Schwankung des Wasserbedarfs privater Haushalte inklusive öffentlicher Dienstleister für das Jahr 2001

Die Monate März und April (bzw. Februar und März) stechen bei der Betrachtung der saisonalen Schwankungen heraus. Entgegen des Trends steigt dort der Wasserbedarf bei sinkenden Temperaturen an. Dies liegt am Wasserverbrauch der postmateriellen Haushalte: Deren Wasserverbrauch für das Baden steigt an, weil die postmateriellen Akteure bei extrem niedrigen Temperaturen im Winter zusätzlich zum Duschen auch baden. Es ist zu erwarten, dass derartige Effekte durch den Einbezug der restlichen Milieus an Bedeutung verlieren werden.

3.5.1.4 Bewertung der Validierung

Die in den letzten Abschnitten dargelegte Validierung beruht auf dem Modell *DeepHousehold* mit Stand März 2006. In dieser Version sind die Parameter zu Gewohnheiten und Planauswahl der beiden Sinus-Milieus® lediglich geschätzt und beruhen noch nicht auf empirischen Untersuchungen. Vor diesem Hintergrund ist die summarische Abbildung des Wasserbedarfs privater Haushalte mit einer Abweichung von 1,1% als gut zu bezeichnen. Bei der Überarbeitung von *DeepHousehold* muss das Verhältnis der einzelnen Nutzungsarten untereinander überprüft werden. Zudem muss die saisonale Schwankung des Wasserverbrauchs der postmateriellen Haushalte kritisch hinterfragt werden. Dazu werden in der zweiten Förderphase noch empirische Zusammenhänge zwischen den Sinus-Milieus und den einzelnen Nutzungsarten aus den erhobenen Fragebögen extrahiert und in *DeepHousehold* integriert.

3.5.2 Szenario-Lauf (Februar/März 2006)

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse des gekoppelten Simulationslaufs vom Februar/März 2006 vorgestellt. Dabei wurden die Jahre 2000 bis 2036 für das *DeepHousehold* Modell ausgewertet. Allerdings muss bemerkt werden, dass die Sinus-Milieus als eine wesentliche Grundlage für *DeepHousehold* als gesellschaftliche Gruppen in der Realität im Zeitverlauf nicht konstant sind, jedoch in DANUBIA bislang nicht dynamisch modelliert werden.

Bei der Vorstellung des Szenarios wird zunächst knapp auf die Treiberdaten eingegangen. Anschließend werden die summarischen Ergebnisse für das Modell *DeepHousehold* vorgestellt sowie einzelne ausgewählte Nutzungsarten näher beschrieben. Schließlich werden die Ergebnisse des Szenario-Laufs diskutiert.

3.5.2.1 Treiber des Szenarios

Durch die in Anlehnung an das IPCC-Szenario mit einem Temperaturanstieg von 4°C innerhalb von 100 Jahren (+4°C/100a) sind sowohl die Temperatur, als auch die aufgrund der extremen Temperatur- und Klimaveränderungen gezeigten Warnflaggen die für *DeepHousehold* relevanten Treiber.

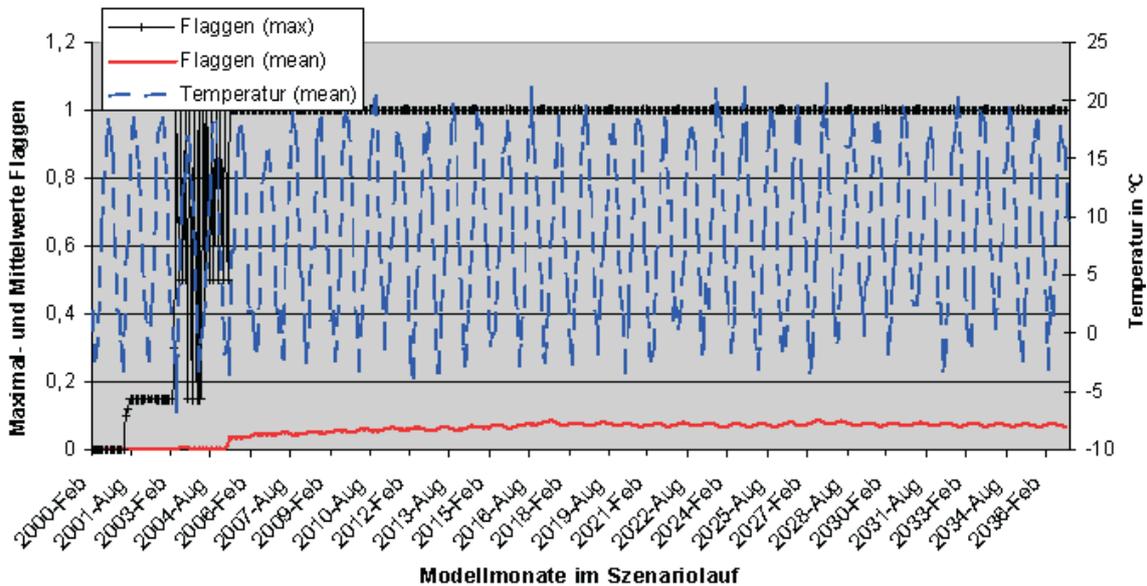


Abb. 5: Treiberwerte von *DeepHousehold* für die Jahre 2000 bis 2036 im gekoppelten Szenariolauf

3.5.2.2 Summarische Ergebnisse des Szenariolaufs

Sowohl die Eingangsdaten als auch die Ergebnisse des *DeepHousehold* Modells für die Modelljahre 2000 bis 2036 sind zusammenfassend in der folgenden Abbildung 6 dargestellt.

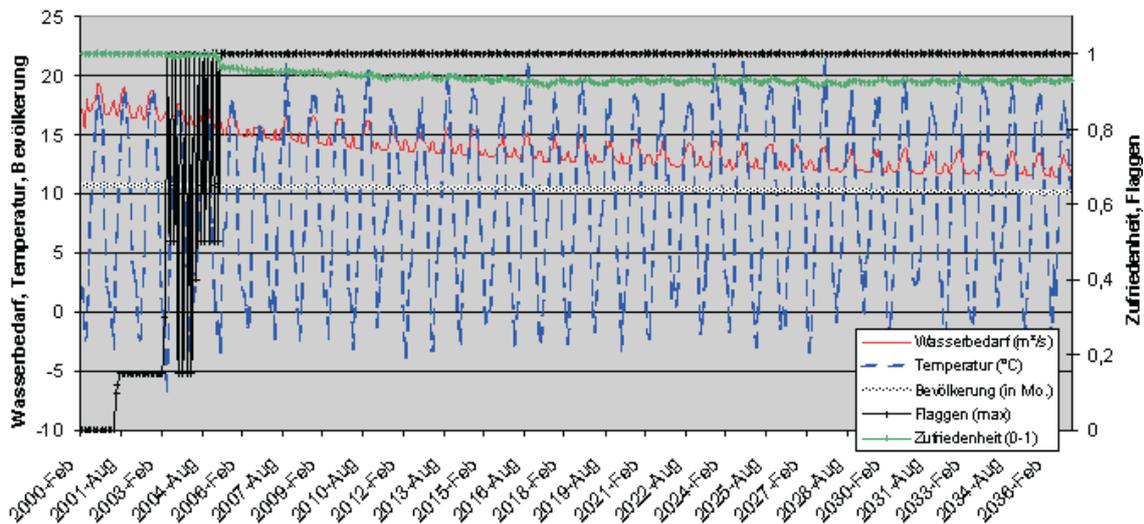


Abb. 6: Input- (Bevölkerung, Temperatur, Flaggen) und Output-Daten (Wasserbedarf, Zufriedenheit) von *DeepHousehold* für die Jahre 2000 bis 2036 im gekoppelten Modelllauf

Im Einzelnen ergeben sich für die Input-Daten folgende Ergebnisse: Die Gesamtbevölkerung im Einzugsgebiet sinkt leicht von 10,8 Mio. (Jahr 2000) auf 10,1 (Jahr 2036) ab. Die monatliche Mitteltemperatur unterliegt in den Jahren 2000 bis 2036 keinem erkennbaren Trend. Eine wesentliche Neuerung des Modells *DeepHousehold* ist die Berücksichtigung der sog. Warnflaggen durch das Modell *WaterSupply* (vgl. Kap. 3.4.2.3). Im Szenariolauf

werden zum ersten Mal im Jahr 2001 solche Warnflaggen ausgegeben (Flagge 2), im Jahr 2003 tritt zum ersten Mal eine Wasserknappheit ein (Flagge 4). Diese Wasserknappheit tritt im Alpenvorland auf.

Die drei Output-Variablen von *DeepHousehold* für DANUBIA sind der Wasserbedarf, die wasserbezogene Zufriedenheit und das Abwasser.

Die von *DeepHousehold* berechnete wasserbezogene Zufriedenheit hängt von den durch die Wasserversorger gezeigten Flaggen ab und kann Werte zwischen 0 (= unzufrieden) und 1 (= zufrieden) annehmen. Die durchschnittliche Zufriedenheit verändert sich von 1 (April 2000) bis zum Ende des Szenariolaufs auf durchschnittlich 0,925 (April 2036).

Der Gesamtwasserbedarf setzt sich aus dem Verbrauch der privaten Haushalte sowie dem des öffentlichen Dienstleistungssektors zusammen und ist graphisch in der folgenden Abbildung 7 dargestellt.

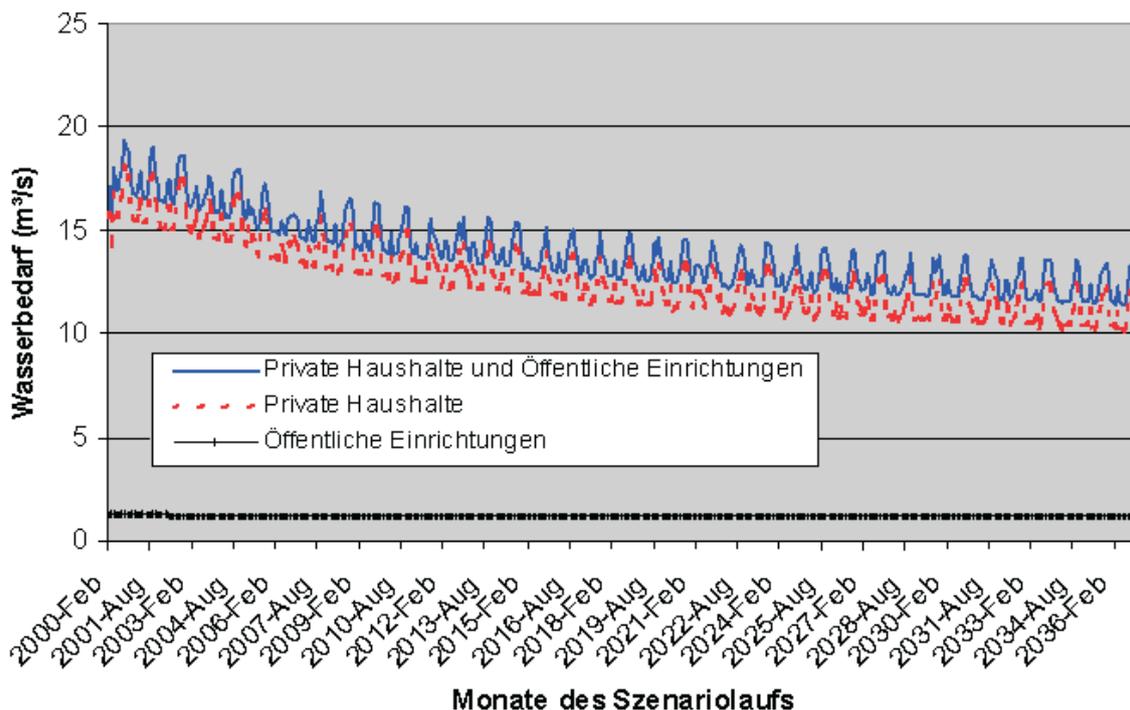


Abb. 7: Nach privaten Haushalten und öffentlichen Einrichtungen aufgeschlüsselter und gesamter Wasserbedarf von *DeepHousehold* im Szenario-Lauf

Der Gesamtwasserbedarf von *DeepHousehold* sinkt über die Jahre des Szenariolaufs hinweg ab. Im April 2000 beträgt er 18,1 m³/s, im April 2036 liegt er bei 11,49 m³/s. Dies ist sowohl auf eine leicht sinkende Gesamtbevölkerung, auf das Auftauchen von Warnflaggen, als auch auf die Ausbreitung von wassersparenden Innovationen (vgl. Kap. 3.2.1.2) zurückzuführen. Den Einfluss der Innovationsausbreitung kann man besonders gut an den Wintermonaten erkennen (Abb. 7), da während dieser Zeit die saisonalen Schwankungen den Wasserverbrauch nicht beeinflussen.

Aufgrund der Regenwassernutzungsanlagen liefert das Modell im Vergleich zum Wasserbedarf leicht höhere Abwassermengen. Die vermehrte Ausbreitung von Regenwassernutzungsanlagen führt dazu, dass sich die Differenz zwischen Wasserbedarf und Abwasser im weiteren Verlauf des Szenarios erhöht.

3.5.2.3 Ergebnisse für ausgewählte Nutzungsarten

Stellvertretend für die einzelnen Nutzungsarten wird hier kurz auf die Ergebnisse des Szenariolaufs in Bezug auf die Nutzungsart Duschen eingegangen. Der Wasserverbrauch für das Duschen ist im Laufe des Szenarios für beide Lebensstile gesunken, was auf die Aus-

breitung wassersparender Duschköpfe zurückzuführen ist: In den 36 simulierten Jahren stieg der Anteil der wassersparenden Duschköpfe in den postmateriellen Haushalten von 6% auf 93%; bei den traditionsverwurzelten Haushalten waren nach 36 Jahren 31% wassersparende Duschköpfe vorhanden.

Es gibt innerhalb eines Monats starke regionale Schwankungen des Wasserverbrauchs für das Duschen. Dies ist in starkem Maße abhängig von den sog. Warnflaggen der Wasserversorger in Bezug auf eine Wasserknappheit. Im Modellmonat August 2013 beispielsweise verbrauchten die postmateriellen Haushalte 64 Liter pro Kopf für Duschen, bei den traditionsverwurzelten Haushalten waren es im Schnitt 28 Liter pro Kopf, wenn keine Wasserknappheit vorlag. In Regionen mit Warnflaggen 2 oder 3 (interpretiert als erste Zeitungsberichte oder Spar-Aufrufe) lag der Wasserverbrauch der Postmateriellen bei 60 Litern, der Traditionsverwurzelten bei 14 Litern pro Kopf. Liegt eine Wasserknappheit vor, so duschen beide Akteure gar nicht mehr.

3.5.2.4 Diskussion des Szenario-Laufs

In dem von DANUBIA im Februar/März 2006 berechneten Szenario liefert das Modell *DeepHousehold* plausible Werte, wenn man die von anderen Teilmodellen gelieferten Eingangsdaten als gegeben nimmt: Wassersparende Innovationen breiten sich aus und die Haushalte reagieren adäquat auf die Signale der Wasserversorger. Allerdings wird in diesem Szenario in einigen Gebieten die Wasserknappheit zum Dauerzustand, was für diese doch nahe Zukunft sehr unwahrscheinlich erscheint. Der langfristige Verzicht auf duschen, baden etc., wie er von *DeepHousehold* für diese Gebiete berechnet wurde, ist derzeit in der Realität nur schwer vorstellbar.

4. Zusammenfassende Bewertung und Ausblick

4.1 Stand und Bewertung der Entwicklung

Im Vergleich zu den Zielen im Antrag für die zweite Projektphase, dem Zeitplan und unter Berücksichtigung der kostenneutralen Verlängerung der ersten Projektphase lässt sich zunächst feststellen, dass die Erweiterung des betrachteten Einzugsgebiets um die Schweiz und Österreich sowie die Verbreiterung der erhobenen Datengrundlage erfolgt ist. Daneben gibt es aber auch eine Verlagerung der empirischen Erhebungen. Sie ist durch den Einbezug der Sinus-Milieus in die Theoriebildung und Datenerhebung bedingt. Die Erhebungen wurden durch die Arbeitsgruppe selbst durchgeführt, die Codierung der Ergebnisse in Hinblick auf die Milieus erfolgte durch die Firma SINUS SOCIOVISION als Unterauftragnehmer. Der wissenschaftliche Ertrag der Erhebungen ist durch den Einbezug der Milieus gestiegen, wenn auch noch nicht abschließend abzuschätzen, da die Analysen noch laufen.

Das Ziel „(Mit-)Entwicklung und (Mit-)Implementierung einer unifizierten Akteurarchitektur“ wurde im Berichtszeitraum in vollem Umfang erreicht. Die vom Teilprojekt mit konzipierte Akteurarchitektur ist die Grundlage einer generellen, funktionsfähigen und komplett implementierten Software, dem *DeepActor*-Framework, und als solches die Basis für die sozialwissenschaftlichen Teile von DANUBIA.

Die geplante Ausdifferenzierung und Verfeinerung des ursprünglichen DUNE-Modells ist einer vollständigen Neukonzeptualisierung und Neuimplementation des Modells gewichen, die fristgerecht und im Gesamtprojekt federführend gemeinsam mit dem Informatik-Teilprojekt und dem Teilprojekt Wasserwirtschaft durchgeführt wurde. Die inhaltlichen sektoralen Arbeiten in Bezug auf Risikowahrnehmung, Ausbreitung von Innovationen und deren Akzeptanz sowie Wassernutzung als Gewohnheit sind unterschiedlich fortgeschritten. Während die Ausbreitung von Innovationen auf einer umfangreichen Datenbasis konzeptualisiert und fertig implementiert ist und nun mit dem Modell im Verbund verschiedene Szenarien getestet werden können, befinden sich die anderen Bereiche in der (z.T. abschließenden) Datenerhe-

bungsphase bzw. in der Phase der Konzeptualisierung. Eine Implementation in das Modell ist hier nicht vor Ende 2006 zu erwarten.

Das Teilziel der Qualitätssicherung hat sich, von dem Aspekt der Verbesserung der Benutzbarkeit von DANUBIA und dem Stakeholder-Dialog einmal abgesehen, als theoretisch und praktisch schwieriger erwiesen als gedacht. Insbesondere können in einem stark (innerhalb und zwischen Akteuren) wechselwirkenden akteurbasierten System wohl schwerlich Fehler nach klassischen mathematischen Methoden bestimmt werden. Hier werden (auf der Basis von Expertenabschätzungen) neue Wege der Fehlerbestimmung gesucht.

4.2 Ausblick auf den verbleibenden Abschnitt der zweiten Förderphase

Im verbleibenden Abschnitt der zweiten Förderphase werden die empirischen Erhebungen im Teilprojekt Umweltpsychologie abgeschlossen. Insbesondere sollen noch ausstehende Interviews, aber auch eine Internet-Erhebung durchgeführt, ausgewertet und in implementationsfähige Konzepte überführt werden.

In die Implementation des Modells werden die verbleibenden Sinus-Milieus einbezogen. Gegebenenfalls werden dabei manche aufgrund der Datenlage ungenügend differenzierende Milieus zu prototypischen Milieus zusammengefasst.

Der Stakeholder-Prozess wird weitergeführt. Da zu erwarten ist, dass in den kommenden Monaten erste hinreichend getestete integrierte Ergebnisse zu zeigen sind, kann das Gespräch mit den Stakeholdern direkter als bisher auf einer im engeren Sinne inhaltlichen Ebene anhand von Resultaten erfolgen.

Die Qualitätssicherung, hier insbesondere der Umgang mit Unsicherheiten in einem gekoppelten, akteurbasierten Modell soll weiter vorangetrieben werden. Die Software wird weiter in Richtung auf ein gut zu bedienendes, hinreichend dokumentiertes und eigenständiges Stück Software weiterentwickelt. Tools zur automatisierten Auswertung und Visualisierung werden dabei eine wichtige Rolle spielen.

Wesentlichen Platz an der verbleibenden Zeit in der zweiten Förderphase des Projekts werden aber die eigentliche Nutzung des DANUBIA-Systems, die Generierung und Analyse von Szenarien und inhaltliche Tests und Diskussionen der Resultate einnehmen. Die Diskussionen sollen in eine Reihe von Veröffentlichungen einfließen, unter denen auch eine gemeinsame Buchpublikation aller GLOWA-Danube-Projekte geplant ist.

5. Literatur

ABKE, W. (2001): Wasserversorgung. In K. LECHER, LÜHR, H.-P. und ZANKE, U.C.E. (Eds.), *Taschenbuch der Wasserwirtschaft* (8., völlig neubearb. Aufl.). Berlin: Parey.

AJZEN, I. (1991): The Theory of Planned Behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), S. 179-211.

AJZEN, I. und FISHBEIN, M. (2000): Attitudes and the attitude-behavior relation: Reasoned and automatic processes. In STROEBE, W. und HEWSTONE, M.H. (ed.) (2000). *European Review of Social Psychology*. Chichester, England: Wiley. S.1-33.

AJZEN, I. und MADDEN, T. J. (1986): Prediction of goal-directed behavior: Attitudes, intentions, and perceived behavioural control. *Journal of Experimental Social Psychology*, 22, S. 453-474.

BATINIC, B., WERNER, A., GRÄF, L. und BANDILLA, W. (Hrsg.)(1999): *Online Research*. Göttingen: Hogrefe.

- GILBERT, N. und TROITZSCH, K. (2005): Simulation for the Social Scientist. Maidenhead und New York: Open University Press.
- HENDRICKX, L. und NICOLAIJ, S. (2004): Temporal discounting and environmental risks: The role of ethical and loss-related concerns. *Journal Of Environmental Psychology*, 24(4), S. 409-422.
- JANISCH, S. und SCHULZ, C. A. (2004): Konzepte zur Modellierung und Implementierung tiefer Akteursmodelle in Danubia (unveröffentlichtes Konzeptpapier, München u. Kassel).
- JUNGERMANN, H., PFISTER, H-R. und FISCHER, K. (2005): Die Psychologie der Entscheidung. Eine Einführung. Heidelberg: Spektrum.
- KAISER, F.G. und GUTSCHER, H. (2003). The proposition of a general version of the theory of planned behavior: Predicting ecological behavior. *JOURNAL OF APPLIED SOCIAL PSYCHOLOGY*, 33(3), S. 586-603.
- MACY, M. und WILLER, R. (2002): From Factors to Actors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling. *Annual Review of Sociology*, 28. S. 143-166.
- MUTSCHMANN, J. und STIMMELMAYR, F. (2002): Taschenbuch der Wasserversorgung. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sundohn.
- O'CONNOR, R. E., BORD, R. J. und FISHER, A. (1999). Risk perceptions, general environmental beliefs and willingness to address climate change. *Risk Analysis*, 19(3), S. 461-471.
- SCHAHN, J. (1993): Die Kluft zwischen Einstellung und Verhalten beim individuellen Umweltschutz. In SCHAH, J. & GIESINGER, T. (Hrsg.), *PSYCHOLOGIE FÜR DEN UMWELTSCHUTZ*. Weinheim: Psychologie Verlags Union. S. 29-49.
- SCHEELE, B. und GROEBEN, N. (1988): Dialog-Konsens-Methoden zur Rekonstruktion subjektiver Theorien. Tübingen: Francke.
- SINUS SOCIOVISION (2005): Die Sinus-Milieus® in Deutschland 2005. Heidelberg: SINUS SOCIOVISION GmbH.
- TRIANDIS, H.C. (1980): Values, attitudes, and interpersonal behavior. In HOWE, J.H.E. und PAGE, M.M. (Eds.), *Nebraska Symposium on Motivation*, 1979, Vol. 27, Lincoln: University of Nebraska Press. . 195-259.
- VERPLANKEN, B. und ORBELL, S. (2003): Reflections on past behavior: A self-report index of habit strength. *Journal of Applied Social Psychology*, 33(6), S. 1313-1330.
- VISHWANATH, A. und GOLDHABER, G. (2003): An examination of the factors contributing to adoption decisions among late-diffused technology products. *New Media & Society*, 5(4), S. 547-572.
- WOOD, W., QUINN, J.M. und KASHY, D.A. (2002): Habits in everyday life: Thought, emotion, and action. *Journal of Personality and Social Psychology*, 83(6), S. 1281-1297.

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

Zur Erledigung der Arbeiten waren im Berichtszeitraum folgende Stellen besetzt:

- Dr. Tatjana Krimly: Projektverwaltung, Deep Actor Konzept (03/2005-04/2005, 01/2006-02/2006)
- Dipl. Ing. sc. agr. Alexander Wirsig: Ökonomische Modellierung (03/2005- 02/2006)
- Msc Marcelo Zarate: GIS, EDV, technische Modellintegration (03/2005-01/2006)
- Dipl. Ing. sc. agr. Martin Henseler: Ökonomische Modellierung (04/2005-12/2005)
- Dipl. Ing. agr. Josef Apfelbeck: Akteurs Modellierung, Disaggregation (11/2005-02/2006)

Für das österreichische Einzugsgebiet wurden Daten von der Bundesanstalt Statistik Österreich beschafft. Zudem wurde GAMS-Software für die agrarökonomische Modellierung angeschafft.

1.1 Veröffentlichungen, Vorträge

1.1.1 Vorträge

- DABBERT S., WIRSIG A., KRIMLY, T. (2005): Modellierung von Landnutzungsänderungen in der Landwirtschaft als Folge des Globalen Wandels. Präsentation auf dem GLOWA Stakeholder Workshop "Veränderung von Landnutzung und Wasserbedarf im Donaeinzugsgebiet unter Global Change Bedingungen". *Institut für Wirtschaftsforschung, Munich (Germany). 20.10.2005*
- HENSELER M., WIRSIG, A. and KRIMLY, T. (2005): Introduction of ACRE: an agro-economic production model on regional level. International Conference on Policy Modeling (EcoMod2005), *Istanbul (Turkey), 29.06.-02.07.2005. www.ecomod.net/conferences/ecomod2005/ecomod2005_papers.htm*.
- HENSELER M., WIRSIG A. and KRIMLY, T. (2005): Development, testing and application of ACRE: an agro-economic production model on regional level. 14th Annual Meeting of the European Association of Environmental and Resource Economists (EAERE2005), *Bremen (Germany), 23.-26.06.2005*.
- WIRSIG A., M. HENSELER and KRIMLY, T. (2005): ACRE - an agro-economic production model on regional level. Presentation on the International Conference: Multifunctionality of Landscapes - Analysis, Evaluation, and Decision Support, *Giessen (Germany) 18.-19.05.2005*.

1.1.2 Posterpräsentationen:

- SCHNEIDER K., DABBERT S., TENHUNEN J., KRIMLY T., FIENER P., LENZ V., KLAR C., SCHARFENBERG H.-J., WIRSIG A, HENSELER M. and Zarate, M. (2005): Landuse and Agriculture. Poster presentation on the 2nd status conference of GLOWA, *Cologne*. 17.-19.5.2005. www.impetus.uni-koeln.de/glowa/index.php?lang=de&content=poster.
- www.impetus.uni-koeln.de/glowa/index.php?lang=de&content=poster.
- HENSELER, M., WIRSIG, A. und KRIMLY, T. (2005): ACRE - An agro-economic production model on regional level for two river basins. Poster presentation "9th International Congress of the European Association of Agricultural Economists" (EAAE 2005), *Kopenhagen*, 24.-27.08.2005.

1.1.3 Veröffentlichungen:

WINTER, T. (2005): Ein Nichtlineares Prozessanalytisches Agrarsektormodell für das Einzugsgebiet der Oberen Donau. Dissertation, Universität Hohenheim, Stuttgart. <http://opus-ho.uni-stuttgart.de/hop/volltexte/2005/91/pdf/Dissertation.pdf>

2. Schaffung der Datengrundlage

2.1 Agrarstatistik

Das Agrarsektormodell rechnet bislang mit den agrarpolitischen Rahmenbedingungen des Basisjahres 1995 (Agrarreform 1992). Um die jeweils gültigen agrarpolitischen Rahmenbedingungen und Preisänderungen im Agrarsektormodell zu berücksichtigen, wurden die hierzu verfügbaren Daten erhoben. Für das Einzugsgebiet wurden Zeitreihen (1995-2004 bzw. 2005) zum größten Teil aufgeschlüsselt nach 73 Regionshöfen (Landkreise/ polit. Bezirke) in den drei Regionen Baden-Württemberg (BW), Bayern (BY) und Österreich (A) ermittelt. Die agrarpolitischen Bedingungen wurden bis zur Endphase der Agrarreform 2004 im Jahr 2013 zusammengestellt.

Zur Abbildung der jeweils gültigen Erzeugerpreise wurden die im Statistischen Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten ausgewiesenen Indizes für Deutschland jährlich fortlaufend für 17 pflanzliche und 15 tierische Erzeugnisse ermittelt.

Zur Darstellung der Direktzahlungen der jeweils gültigen Agrarreform wurden diese von der Agrarreform 1992 über die Agenda 2000 bis hin zur aktuellen Agrarreform 2004 regional aufgeschlüsselt ermittelt. Des Weiteren wurden die obligatorischen Flächenstilllegungssätze erfasst.

Die Fördersätze der zur Reduzierung der Gewässerbelastung wichtigen Maßnahmen Extensivierung von Grünland sowie Winterbegrünung im Rahmen der regionalen Agrarumweltprogramme MEKA (Baden-Württemberg), KULAP (Bayern) und ÖPUL (Österreich) wurden jeweils aufgeschlüsselt bis zur aktuellen Agrarreform ermittelt.

Zur Modellierung der Ausgleichszulage in Gebieten mit ungünstigen natürlichen Standortbedingungen wurden die jeweiligen Sätze bis zu Beginn der aktuellen Agrarreform für Deutschland (BERNHARDS et al. 2003a, 20003b; BMLF 2000c) und Österreich ermittelt (BMLFUW 2004, 2006).

Zur Abbildung der Agrarreform 2004 wurde die nationale Umsetzung in Deutschland und Österreich analysiert und für den Referenzzeitraum 2000-2002 Tierbestandsdaten, Daten zur Milchleistung sowie Landnutzungsdaten, jeweils aufgeschlüsselt nach Regionshöfen, erfasst.

2.2 Lieferung von Basisdaten an andere Projekte

Den Projektpartnern Agrarökologie wurden Zeitreihen zu durchschnittlichen Hektarerträgen für die Jahre 1983-2004 jeweils auf Landkreisebene für Bayern und Baden-Württemberg zur Verfügung gestellt. Die Rohdaten der statistischen Ämter (BLSD 2005; STALA 2005) wurden hierbei in Jahrestabellen zusammengefasst.

2.3 Raumbezogene Daten

Von der Arbeitsgruppe Agrarökologie wurde auf der Basis von Satellitenbildern (Corine) und der landwirtschaftlichen Flächennutzungsstatistik auf Landkreis- bzw. Bezirksebene, die von der Arbeitsgruppe Agrarökonomie geliefert wurde, eine neue Landnutzungskarte entwickelt. Bei der Entwicklung dieser Karte wurden die Flächennutzungsangaben aus der Agrarstatistik derart mit der Satellitenbildklassifikation verknüpft, dass die räumliche Verteilung der landwirtschaftlichen Flächennutzung hochgerechnet auf Landkreis- bzw. Bezirksebene den Angaben aus der Statistik von 1995 entspricht. Diese Landnutzungskarte liefert die aktuelle Datengrundlage zur Landbedeckung und Landnutzung in der DANUBIA Datenbank und, im Gegensatz zum bisher verwendeten Corine Datensatz, wird für das agrarökonomische Modell eine an die Statistik angepasste Datengrundlage für die Acker- bzw. Grünlandflächen auf Landkreis- bzw. Bezirksebene geliefert. Wie bereits im Endbericht der ersten Projektphase dargestellt, weichen die Angaben zum Umfang an Ackerflächen und Grünland in einzelnen Landkreisen des Einzugsgebietes, die ausschließlich auf Corine Daten basieren, zum Teil sehr deutlich von den Angaben aus der Statistik ab (in Corine wird z.B. der Umfang an Ackerflächen einzelner Landkreise um bis zu 90% unter- und bis zu 40% überschätzt). Durch diese starke Abweichung der Landnutzungsdaten aus Corine zur Statistik ergibt sich für die Landwirtschaft in den Landkreisen eine völlig andere Situation.

Im aktuellen Entwicklungszustand der Landnutzungsdaten ist nur eine Landnutzungs- bzw. Landbedeckungskategorie pro Proxel (1km²) möglich. In der Realität findet sich auf einer Fläche von 1km² jedoch eine Vielzahl von Klassen. Insbesondere auch für die Landwirtschaft ist es zur Darstellung von Fruchtfolgen notwendig, dass mehrere Landnutzungen pro Proxel ermöglicht werden. Zum einen ist es wenig realistisch auf einem Quadratkilometer z.B. ausschließlich Zuckerrüben anzubauen, zum anderen werden z.B. unterschiedlich hohe Stickstoffdüngergaben verschiedener Kulturpflanzen innerhalb eines Proxels nicht berücksichtigt. Für die Zukunft soll daher die Landnutzung mit subskaligen Flächenanteilen pro Proxel dargestellt werden, um nicht nur Fruchtfolgen, sondern z.B. auch dynamische Landnutzungsänderungen (z.B. Ausweitung von Siedlungsflächen zu Lasten von Ackerflächen) abbilden zu können.

3. GLOWA Atlas

Zum Atlas Kapitel 1.15 (Landwirtschaft) wurde ein Textbeitrag zur agrarstrukturellen und landnutzungsbezogenen Landkreischarakterisierung ausgearbeitet. Zu Kapitel 2.9 (Agrarökonomie - Landwirtschaftliche Landnutzung und Trinkwasserbedarf) wurden beispielhaft interdisziplinäre Ergebnisse vom agrarökonomischen Modell ACRE auf Grundlage der in DANUBIA modellierten Ertragsänderungen als Karten aufbereitet und ein Textbeitrag zur Funktionsweise des derzeit aktuellen Standes des Modells von *Farming* sowie seiner Komponenten verfasst (WIRSIG und KRIMLY 2006). In Zusammenarbeit mit dem Zentralprojekt sowie der Arbeitsgruppe Agrarökologie wurde zudem ein Beitrag zur Beschreibung der Landnutzungskarte mit dem Titel „Landbedeckung und Landnutzung“ für den GLOWA Atlas (Kap. 1.3) verfasst.

4. Weiterentwicklung des Agrarsektormodells und des Disaggregationstools

4.1 Agrarsektormodell

Das Agrarsektormodell ACRE rechnet bislang mit den agrarpolitischen Rahmenbedingungen für das Basisjahr 1995. Zur Erhöhung der Prognosegüte wurde begonnen die in den modellierten Zeiträumen jeweils gültigen agrarpolitischen Daten zu formulieren und schrittweise zu implementieren.

Zur Abbildung der Agrarreform 1992 (Zeitraum 1995-1999) sowie der Agenda 2000 (Zeitraum 2000-2004) wurden die Daten in Form von CSV-Dateien aufbereitet und begonnen diese in ACRE zu implementieren. Die Veränderungen der Erzeugerpreise wurden auf Basis der ausgewiesenen Preisindizes in der amtlichen Statistik bis 2004 berücksichtigt. Im Rahmen der zweiten Säule der GAP wurden innerhalb der regionalen Agrarumweltprogramme (MEKA, KULAP, ÖPUL) die Maßnahmen Grünlandextensivierung und Winterbegrünung für die jeweiligen Jahre fortgeschrieben, sowie die Ausgleichszulage für benachteiligte Gebiete (Daten bisher nur bis 2006 verfügbar).

Die Agrarreform 2004 mit ihren Kernelementen Entkoppelung und „Einhaltung anderweitigen Verpflichtungen“ (Cross Compliance) wurde ihren nationalen Umsetzungen entsprechend für Deutschland (Kombinationsmodell) und Österreich (Betriebsmodell) formuliert. Seit 2005 werden die meisten Beihilfen unabhängig von der Produktion gewährt (Entkoppelung). Die bisherigen an die Produktion gekoppelten Ausgleichszahlungen werden durch einzelbetriebliche bzw. die Kombination einzelbetrieblicher und regionalspezifischer Flächenzahlungen ersetzt (Tab. 2). Diese Zahlungen sind an die Einhaltung von Umwelt-, Lebensmittelsicherheits- und Tierschutznormen gebunden (Cross Compliance). Innerhalb der Cross Compliance werden im Modell die Elemente

- a. Erosionsvermeidung: Anteil im Winter begrünter Ackerflächen mindestens 40% (nur in Deutschland),
- b. Erhalt der Dauergrünlandflächen: max. 10% Umbruch von Grassland gegenüber dem Basiswert (Referenzjahr: 2003),
- c. Nitratrichtlinie: Ertragsabhängige Nährstoffbedarfsermittlung und Düngung, Obergrenzen für die Ausbringung von Wirtschaftsdünger,

national aufgeschlüsselt berücksichtigt (AMA 2006, BMVEL 2005). Die obligatorische Modulation, die beinhaltet, dass die Direktzahlungen in allen Mitgliedstaaten im Laufe der Zeit um einen vorgegeben Prozentsatz gekürzt werden, wird im Modell nicht berücksichtigt.

Für das deutsche Einzugsgebiet wurde die einheitliche Betriebsprämie, aus einem betriebsindividuellen Betrag (sog. Top-Up) und einem regionalen flächenbezogenen Betrag, jeweils differenziert nach Ackerland und Grünland, zusammengesetzt (BMVEL 2005). Entsprechend der Umsetzung des Kombinationsmodells schmilzt der betriebsindividuelle Betrag auf einen regionalen flächenbezogenen Betrag ab. Folgende Abbauschritte sind für den betriebsindividuellen Betrag vorgesehen 2010: -10%, 2011: -30%, 2012: -40%. Ab 2013 sollen für alle Flächen regional einheitliche Zahlungsansprüche gelten (Tabelle 1), diese werden für alle folgenden Simulationsjahre fortgeschrieben. Im Modell wurde der betriebsindividuelle Betrag pro Regionshof sowohl für Deutschland als auch Österreich über die Referenzfläche für das Jahr 2003 sowie der durchschnittliche Höhe der entkoppelten Direktzahlungen im Bezugszeitraum 2000-2002 berechnet. Bei den Direktzahlungen wurden für Deutschland die Sonderprämie für männliche Rinder, die Mutterkuhprämie und die Mutterschafprämie berücksichtigt. Entsprechend der nationalen Umsetzung in Österreich (BMLFUW 2003, AMA 2005) wurde bei den Direktzahlungen die Mutterkuhprämie ausgenommen, da diese weiterhin gekoppelt bleibt (Tab. 2). Für Milch wurde in beiden Ländern die Referenzmenge des Jahres 2004 und die Milchprämie des Jahres 2006 zugrunde gelegt. Die übrigen entkoppelten

Prämien wurden nicht berücksichtigt. Die zur Berechnung zugrunde gelegte Referenzfläche beider Länder entspricht der in der Statistik ausgewiesenen Fläche für das Jahr 2003 für Grünland, sowie der Fläche für Ackerland abzüglich der Hopfenfläche und der regional differenzierten obligatorischen Stilllegungsfläche.

Tab. 1: Berechnung der Einheitlichen Betriebsprämie nach Ländern

		2005-2009	2010	2011	2012	2013
BW (D)	GL	56 + Top _r	80.6 + Top _r * 90%	119.8 + Top _r * 70%	203.6 + Top _r * 40%	302
	AL	317	315.5 + Top _r * 90%	312.5 + Top _r * 70%	308 + Top _r * 40%	302
	SL	317	315.5	315.5	308	302
BY (D)	L	89 + Top _r	114.1 + Top _r * 90%	164.3 + Top _r * 70%	239.6 + Top _r * 40%	340
	AL	299	303.1 + Top _r * 90%	311.3 + Top _r * 70%	323.6 + Top _r * 40%	340
	SL	299	303.1	311.3	323.6	340
A	GL	EBP _r	EBP _r	EBP _r	EBP _r	EBP _r
	AL	EBP _r	EBP _r	EBP _r	EBP _r	EBP _r
	SL	EBP _r	EBP _r	EBP _r	EBP _r	EBP _r

GL = Grünland
 AL = Ackerland
 SL = Stilllegung
 Top_r = betriebsindividueller Betrag (Top-up) pro Regionshof (Landkreise)
 EBP_r = Einheitliche Betriebsprämie pro Regionshof (Politische Bezirke)

Quelle: Eigene Darstellung nach AMA2005, BMLFUW 2003, BMVEL 2005, StMLF 2004

Tab. 2: Regionale Tier und Flächenprämien unterschiedlicher agrarpolitischer Rahmenbedingungen (1995-2013)

	McSharry			Agenda 2000						Reform 2004					
	1995			2000			2004			2005			2013		
	BW	BY	A	BW	BY	A	BW	BY	A	BW	BY	A	BW	BY	A
	Flächenprämien (€/ha)														
Getreide	279	300	286	302	325	309	324	348	332	_*			_*		
Mais & Maissilage	394	407	286	427	441	309	459	474	332	_*			_*		
Olsaaten	544	581	481	473	507	437	324	348	332	_*			_*		
Flächenstilllegung	363	385	363	310	329	309	333	353	332	_*			_*		
Proteinpflanzen	402	433	414	383	406	382	384	407	382	55.57*			55.57*		
Flächenstilllegung	15%			10%			10%			8.58%	8.17%	10%	8.58%	8.17%	10%
	Tierprämien (€/Tier)														
Mutterkühe	145	145	175	163	163	213	200	200	230	-	-	230	-	-	230
Sonderprämie Bullen	108	108	109	160	160	160	210	210	210	-	-	-	-	-	-
Mutterschafe^{b)}	25	25	25	17	17	17	21	21	21	-	-	-	-	-	-

* = zzgl. Einheitlicher Betriebsprämie pro ha beihilfefähiger Fläche

Quelle: Eigene Darstellung nach AMA2005, BMLF 96(a), 96(b), 2000(a), 2000(b), 2002(a), 2002(b); BMLFUW 1996, 2001, 2003, 2005, BMVEL 2005, StMLF 2004

Die aktuelle Agrarreform begünstigt viele Grünlandstandorte und extensiv bewirtschaftete Standorte gegenüber der bisherigen Förderung (BMVEL 2005) und verschiebt die Wettbewerbskraft einzelner Kulturen (z.B. hin zu einer Verbesserung bei Ackerfutter und einer Verschlechterung bei Silomais).

4.2 Disaggregationstool

Im Rahmen des *Deep Actor* Konzepts und dem auf dieser Grundlage zu entwickelnden *Farm Actor*, der in Kapitel 5 näher erläutert wird, ist auch eine grundlegende Neukonzipierung des Disaggregationstools notwendig. Während in der bisherigen Konzipierung der *Farming* Komponente die landwirtschaftliche Landnutzung einmal jährlich als Anbauplanung der landwirtschaftlichen Betriebe anderen Projektpartnern zur Verfügung gestellt wurde, müssen in der neuen Konzeption für den Anbau bzw. die verschiedenen Arbeitsschritte beim Anbau einzelner Kulturarten täglich Daten zur Verfügung gestellt werden. Dies bedeutet, dass bei zeitlich aufeinander folgenden Früchten aus den Anbauplanungen zweier Wirtschaftsjahre gewährleistet sein muss, dass die Vorfrucht bereits geerntet wurde, bevor die Folgefrucht gesät wird. Dieser Sachverhalt ist in Abbildung 1 dargestellt. Es zeigt sich, dass bei Winterraps, Roggen, Wintergerste und Winterweizen bestimmte Kulturarten nicht als Vorfrüchte geeignet sind, da zum Beginn der Anbauperiode dieser Kulturen die Ernte bestimmter (Vor-) Früchte noch nicht abgeschlossen ist. Dies muss bei der Disaggregation des optimalen Anbauplans, der mittels des ökonomischen Regionalmodells berechnet wird, berücksichtigt werden, um Überschneidungen von Anbauperioden auf dem Proxel zu vermeiden. Aufgrund der neuen Konzeption war es außerdem notwendig das Objekt *bareField* in die landwirtschaftliche Landnutzung einzufügen. Dies bedeutet, dass auf diesem Anteil des Proxels nichts angebaut wird, sondern es brach liegt, weil z.B. die Saat aufgrund schlechter natürlicher Bedingungen erfolglos war. Zudem wird die Fläche nach der Ernte bzw. nach dem Umpflügen einer Kultur ebenfalls auf *bareField* gesetzt, um anzuzeigen, dass eine nächste Kultur angebaut werden kann.

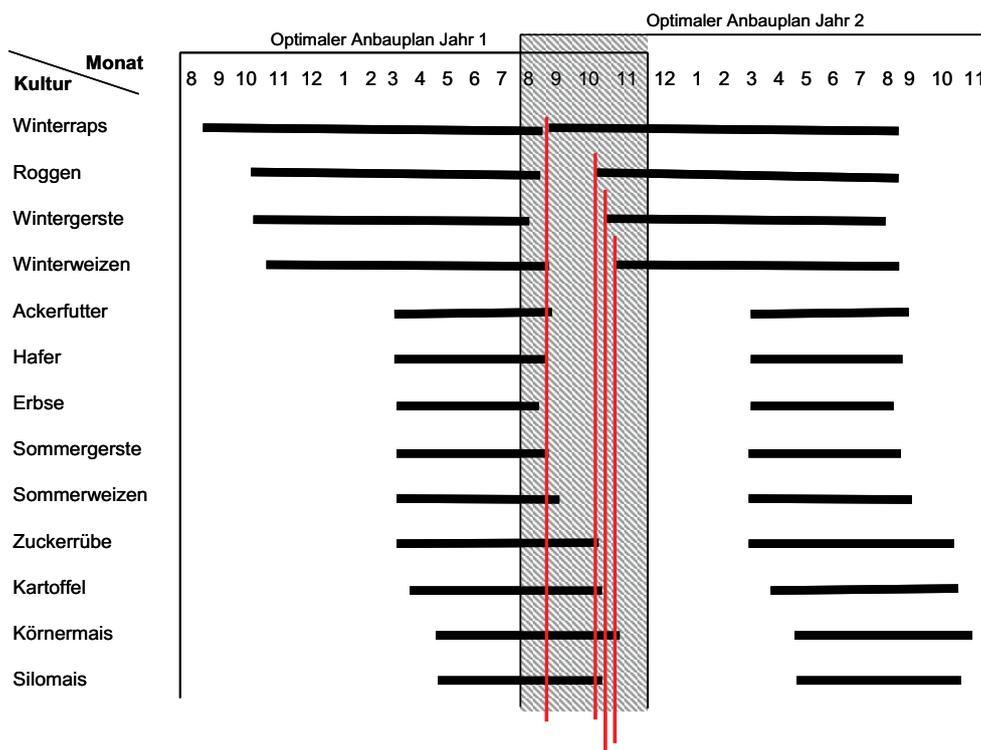


Abb. 1: Anbauperioden einjähriger Ackerkulturen und ihre Vorfruchteignung

5. Entwicklung des tiefen *Farm Actor* Konzepts

5.1 Konzept des tiefen *Farm Actor* Modells

Die bisherige Konzeption von Farming wurde an das für alle Akteure verbindliche *DeepActor* Framework angepasst (HENNICKER et al. 2005). Aufgrund der formalen Anforderungen, die durch das *DeepActor* Framework gestellt werden, war ein völlig neues Konzept notwendig, das in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Informatik entwickelt wurde.

Aus dem *AbstractActorModel* leitet sich das *FarmingModel* ab, das das bestehende agrarökonomische Regionalmodell ACRE sowie das Diss-/Aggregationstool beinhaltet (Abb. 2). Das *FarmingModel* berechnet einmal pro Jahr den optimalen Anbauplan sowie ökonomische Erwartungswerte (z.B. erwarteter Deckungsbeitrag) eines jeden Landkreises bzw. Bezirks für das kommende Erntejahr. Durch den *FarmActor*, der sich aus der Klasse *AbstractActor* ableitet, werden im laufenden Wirtschaftsjahr auf der Grundlage der im *FarmingModel* berechneten Anbauplanung für das kommende Erntejahr tägliche Anbauentscheidungen (z.B. Aussaat) in Abhängigkeit bestimmter natürlicher Bedingungen getroffen. Die Konzeption des *FarmActor* wird im folgenden Abschnitt näher erläutert.

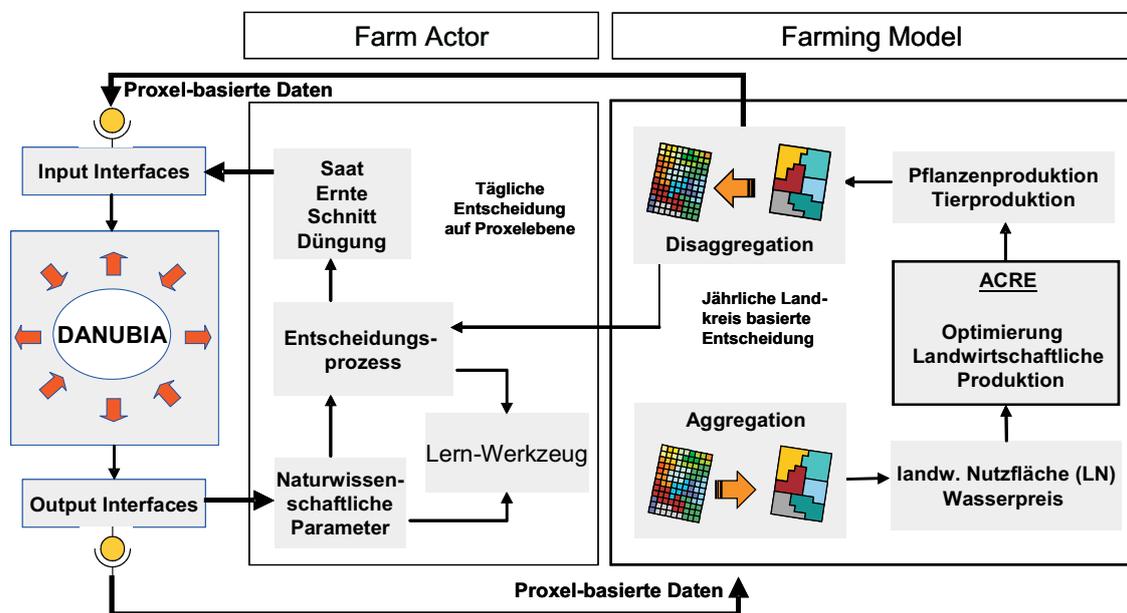


Abb. 2: Vereinfachte schematische Darstellung des tiefen Farm Actor Modells in DANUBIA (Quelle: Eigene Darstellung)

Wie bereits o.a. bleibt das bisherige Modell (Agrarsektormodell mit Dis-/Aggregations-tool) bestehen. Es berechnet die optimale Planung der Landwirte in Form des erwarteten Einkommens sowie anderer ökonomische Parameter, des optimalen Anbauplans sowie der Tierhaltung und des Trinkwasserbedarfs für das kommende Wirtschaftsjahr auf Landkreisebene. Die Ergebnisse werden auf die Proxel disaggregiert.

Der optimale Plan für das kommende Wirtschaftsjahr gibt für den *FarmActor* folgende Attribute vor:

- Kulturarten pro Acker Proxel, die angebaut werden sollen (15 verschiedene Kulturarten),
- Grünlandverfahren, das auf Grünland Proxeln durchgeführt werden soll (2 Verfahren),
- Wasserbedarf pro landwirtschaftliches Proxel,
- Erwartetes Einkommen (Deckungsbeitrag) pro landwirtschaftliches Proxel,

- Tierzahl oder GVE pro landwirtschaftliches Proxel,
- N- und P-Düngungsmenge gesamt (Reinnährstoff) pro landwirtschaftliches Proxel.

Diese Parameter stellen Attribute des tiefen Akteurs (*FarmActor*) dar. Sie werden jährlich aktualisiert. Es gibt einen Akteurstyp, landwirtschaftlicher Betrieb - *FarmActor* - und einen Akteur pro landwirtschaftliches Proxel. Der tiefe Akteur berechnet z.B. im Pflanzenbau täglich für das laufende Wirtschaftsjahr:

- Bei Grünland: die Schnitte und die N- bzw. P-Düngung zu den jeweiligen Düngungsperioden (1-3 Düngungsgaben bzw. Perioden bei N, eine bei P) für das jeweilige Grünlandverfahren sowie die Kosten, die eingespart werden, wenn sich ein Anbauplan nicht umsetzen lässt.
- Beim Ackerland: die Saat, die Ernte, den Umbruch (pflügen) sowie die N- bzw. P-Düngung zu den jeweiligen Düngungsperioden (1-3 Düngungsgaben bzw. Perioden bei N, eine bei P) für jede der 15 unterschiedliche Kulturarten. Auch hier werden zudem die Kosten berechnet, wenn sich ein Anbauplan nicht umsetzen lässt.
- Am Ende des Wirtschaftsjahres werden die relative Einkommensänderung (erwartet zu real) sowie die relative Ertragsänderung, die durch den Abgleich der importierten Erträge von Biological mit den Durchschnittserträgen errechnet wird, berechnet.

Der Zusammenhang der Berechnungen von Modell und Akteur besteht darin, dass das bisherige Modell den optimalen Plan für das kommende Wirtschaftsjahr errechnet (siehe Abbildung 1) und der tiefe Akteur dann versucht, diesen durch tägliche Entscheidungen unter den herrschenden natürlichen Bedingungen umzusetzen. Über mögliche eintretende Ertrags- oder Einkommensänderungen gegenüber den bei der Planung unterstellten und kalkulierten erwarteten Werten, wird dann wieder die Verbindung vom tiefen Akteur zum bisherigen Modell hergestellt. Treten hier deutliche Änderungen auf, so werden diese Parameter auf Landkreisebene aggregiert und gehen als Eingangsdaten für die künftige Planung (zeitverzögert, da Lernprozess) in das Agrarsektormodell ein.

Pläne und Aktionen

Die Plantypen im Bereich des Pflanzenbaus zeigt Tabelle 3. Diese Plantypen gibt es für die 15 unterschiedliche Kulturen und 2 Grünlandverfahren. Alle aufgeführten Plantypen sind in der initialen Planmenge enthalten. Wann ein Plan für den Akteur relevant ist, wird bereits bei der Übermittlung des optimalen Plans durch die Kulturarten festgelegt. Generell laufen alle Anbaupläne hintereinander ab. Lediglich wenn der Plan zu säen gescheitert ist, werden die weiteren Anbaupläne dieser Kulturart nicht weiter verfolgt. Weitere sequentielle Bedingungen für die Ausführung bestimmter Anbaumethoden gibt es bei bestimmten Kulturen (Abb. 3). Um diese sequentiellen Bedingungen zu implementieren, wird z.B. den drei N-Düngungsaktionen (N1-N3) eine *AbstractDüngungAction* vorgeschaltet, die die sequentiellen Bedingungen für die Düngungsaktionen beinhaltet.

Es gibt insgesamt 11 Anbauverfahren: 11 Verfahren = (N1, N2, ..., S3). Diese Verfahren gibt es für die 17 im Modell berücksichtigten Kulturarten (inkl. Grünlandverfahren). Hieraus ergeben sich insgesamt $11 \times 17 = 187$ Pläne im Bereich des Anbaus. Die ID der unterschiedlichen Pläne wird durch eine Funktion aus dem entsprechenden Plan und der jeweiligen Kulturart errechnet: $\text{planId} = \text{Verfahren} \times \text{Kulturart} \div \text{Integer}$. Die Kosten der Nichtdurchführbarkeit eines Plans errechnen sich durch eine Funktion aus dem entsprechenden Plan und der jeweiligen Kulturart (entspricht der *planID*) und den jeweiligen Kosten.

Jeder einzelne Plan hat 7 entsprechende Aktionen, da 7 unterschiedliche Klimazonen berücksichtigt werden (Tab. 4). Die Klimazonen werden zur Berechnung der Perioden, in denen die unterschiedlichen Anbaumethoden durchgeführt werden können, verwendet. Die Perioden (*Period*) sind für bestimmte Verfahren, Kulturart und Klimazone festgelegt.

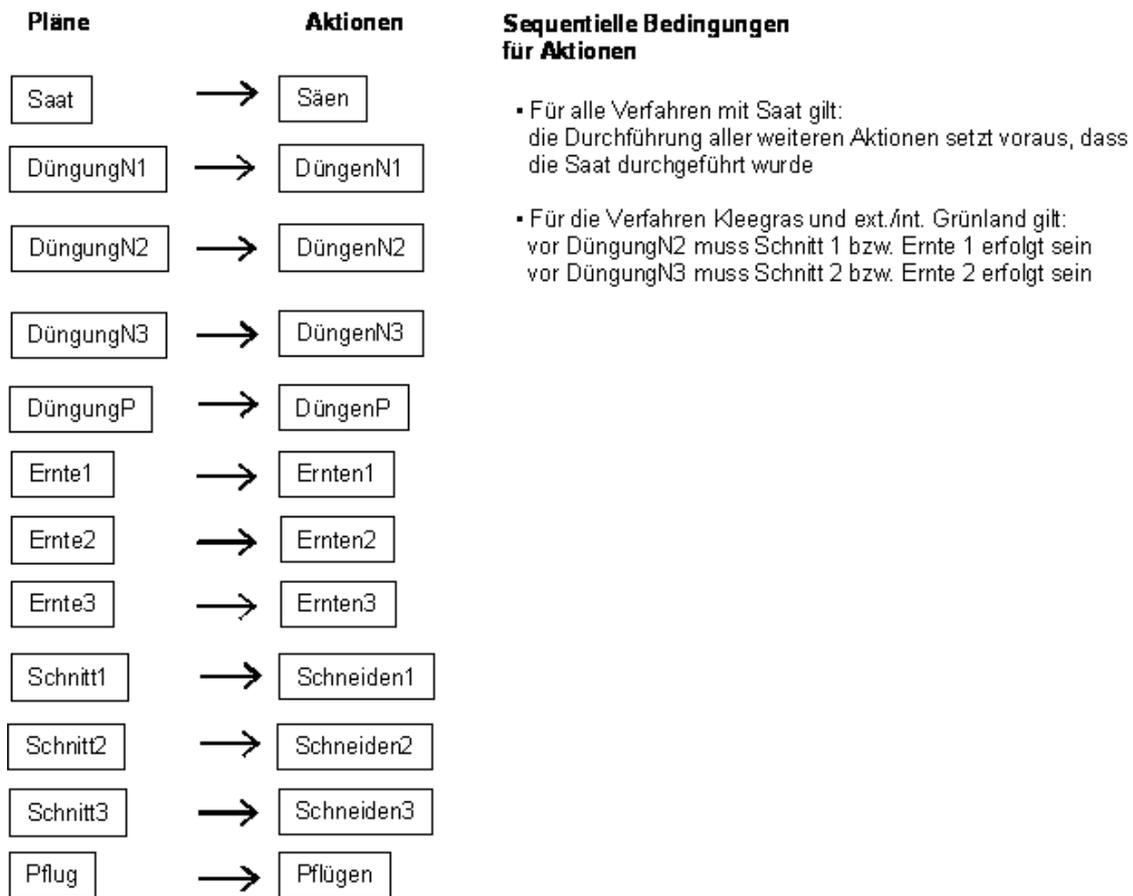


Abb. 3: Übersicht über die Pläne und Aktionen im Bereich des Anbaus

Tab. 3: Initialisierungspläne

Bezeichnung	id	class	actions	rating	Cost of plan failure
N1	Verfahren x Kulturart	N1DüngePlan	Verfahren x Kulturart x Klimazone	0.0	Verfahren x Kulturart x Kosten
N2	Verfahren x Kulturart	N2DüngePlan	Verfahren x Kulturart x Klimazone	0.0	Verfahren x Kulturart x Kosten
N3	Verfahren x Kulturart	N3DüngePlan	Verfahren x Kulturart x Klimazone	0.0	Verfahren x Kulturart x Kosten
P	Verfahren x Kulturart	PDüngePlan	Verfahren x Kulturart x Klimazone	0.0	Verfahren x Kulturart x Kosten
Saat	Verfahren x Kulturart	SaatPlan	Verfahren x Kulturart x Klimazone	0.0	Verfahren x Kulturart x Kosten
E1	Verfahren x Kulturart	Ernte1Plan	Verfahren x Kulturart x Klimazone	0.0	Verfahren x Kulturart x Kosten
E2	Verfahren x Kulturart	Ernte2Plan	Verfahren x Kulturart x Klimazone	0.0	Verfahren x Kulturart x Kosten
E3	Verfahren x Kulturart	Ernte3Plan	Verfahren x Kulturart x Klimazone	0.0	Verfahren x Kulturart x Kosten
Pl	Verfahren x Kulturart	PflügenPlan	Verfahren x Kulturart x Klimazone	0.0	Verfahren x Kulturart x Kosten
S1*	Verfahren x Kulturart*	Schnitt1Plan	Verfahren x Kulturart x Klimazone	0.0	Verfahren x Kulturart x Kosten
S2*	Verfahren x Kulturart*	Schnitt2Plan	Verfahren x Kulturart x Klimazone	0.0	Verfahren x Kulturart x Kosten
S3*	Verfahren x Kulturart*	Schnitt3Plan	Verfahren x Kulturart x Klimazone	0.0	Verfahren x Kulturart x Kosten

* hier handelt es sich nur um die Grünlandverfahren

Tab. 4: Aktionen

Bezeichnung	id	class	period	mandatory
N1	Verfahren x Kulturart	N1DüngeAction	Verfahren x Kulturart x Klimazone	Verfahren x Kulturart x Kosten
N2	Verfahren x Kulturart	N2DüngeAction	Verfahren x Kulturart x Klimazone	Verfahren x Kulturart x Kosten
N3	Verfahren x Kulturart	N3DüngeAction	Verfahren x Kulturart x Klimazone	Verfahren x Kulturart x Kosten
P	Verfahren x Kulturart	PDüngeAction	Verfahren x Kulturart x Klimazone	Verfahren x Kulturart x Kosten
Saat	Verfahren x Kulturart	SaatAction	Verfahren x Kulturart x Klimazone	Verfahren x Kulturart x Kosten
E1	Verfahren x Kulturart	Ernte1Action	Verfahren x Kulturart x Klimazone	Verfahren x Kulturart x Kosten
E2	Verfahren x Kulturart	Ernte2Action	Verfahren x Kulturart x Klimazone	Verfahren x Kulturart x Kosten
E3	Verfahren x Kulturart	Ernte3Action	Verfahren x Kulturart x Klimazone	Verfahren x Kulturart x Kosten
P1	Verfahren x Kulturart	PflügenAction	Verfahren x Kulturart x Klimazone	Verfahren x Kulturart x Kosten
S1*	Verfahren x Kulturart	Schnitt1Action	Verfahren x Kulturart x Klimazone	Verfahren x Kulturart x Kosten
S2*	Verfahren x Kulturart	Schnitt2Action	Verfahren x Kulturart x Klimazone	Verfahren x Kulturart x Kosten
S3*	Verfahren x Kulturart	Schnitt3Action	Verfahren x Kulturart x Klimazone	Verfahren x Kulturart x Kosten

* hier handelt es sich nur um die Grünlandverfahren

Sensoren

Als Proxensensoren für den tiefen Akteur werden Niederschlag, Bodenfeuchte, Bodentemperatur sowie der Ertrag benötigt. Es ist zudem angedacht, dass von *Biological* (Agrarökologie) noch eine Reifemeldung des Korns, etc. geliefert wird, um anzuzeigen, dass geerntet werden kann.

- Beim Niederschlag wird von *Meteorology* ein Durchschnittswert für die Regenstärke zwischen 4:00 Uhr und 8:00 Uhr morgens für jeden Tag geliefert, der in einen Index umgewandelt wird: Regenindex für starken Regen und leichten Regen. Bei starkem Regen wird nicht aufs Feld gefahren,
- Die Bodenfeuchte wird von *Soil* geliefert. Der Boden ist entweder gesättigt und damit nicht befahrbar oder ungesättigt und damit befahrbar.
- Bei der durchschnittlichen täglichen Bodentemperatur, die ebenfalls von *Soil* geliefert wird, wird folgender Index gebildet: $<5^{\circ}\text{C}$ (keine Saat) und $>5^{\circ}\text{C}$ (Saat möglich).

6. Verknüpfungen zu anderen Teilprojekten in DANUBIA

Im agrarökonomischen Teilprojekt wurden die Verbindungen zu den naturwissenschaftlichen Teilprojekten durch die Erweiterung des direkten Austauschs von einzelnen Parametern ausgebaut.

Folgende Import/Export Schnittstellen wurden definiert:

Import

- von *Soil*: *getSoilSaturation* (SoilSaturationTypeTable), *getSoilTempLay1* (TemperatureTable);
- von *Meteorology*: *getPrecipitationSumFourToEight* (MassFluxDensityTable);
- von *Watersupply*: *getDrinkingWaterPrice* (PricePerVolumeTable);
- von *Biological*: *getYield* (MassPerAreaTable).

Export

- an *Soil*: getFertNitrogen (MassPerAreaTable), getFertNMin (MassPerAreaTable), getFertNOrg (MassPerAreaTable), getFertPhosph (MassPerAreaTable), getFertPMin (MassPerAreaTable), getFertPOrg (MassPerAreaTable);
- an *Biological*: getPlanting (ArableLandcoverTypeTable), getHarvesting (BooleanDataTable), getCutting (BooleanDataTable), getPloughing (BooleanDataTable), getGrasslandLandcoverType (GrasslandLandcoverTypeTable);
- an *Watersupply*: getAgriculturalDrinkingWaterDemand (WaterFluxTable).

Die Höhe der Düngergaben (N und P, jeweils als Gesamtmenge, Menge an mineralischem und Menge an organischem Dünger) wird an *Soil* übermittelt. Die Daten zur Bewirtschaftung der landwirtschaftlich genutzten Flächen, wie Angaben zum Saat- und Erntezeitpunkt für die verschiedenen Kulturarten im Ackerbau sowie die Nutzungszeitpunkte des Grünlandes, werden an *Biological* übergeben. *Biological* liefert jeweils am Ende eines Simulationsjahres die erzielten Erträge zurück.

6. Erste Ergebnisse des Testlaufs in DANUBIA

Für den Testlauf in DANUBIA Anfang Februar 2006 wurde unter den neuen Vorgaben eine *Farming* Komponente implementiert, deren Zielsetzung es insbesondere war, den Datenaustausch bezüglich der Anbaumethoden (Saat, Ernte, etc.) mit *Biological* zu testen. Hierbei traten keine technischen oder inhaltlichen Probleme auf.

Im Folgenden sind beispielhaft Ergebnisse der Verteilung einjähriger Ackerkulturen ausgewählter Tage eines Simulationsjahres im Einzugsgebiet dargestellt. Wie aus Abbildung 4 ersichtlich wird, sind am 15. Januar Roggen, Raps, Wintergerste und Winterweizen vorhanden, die bereits im Vorjahr gesät wurden.

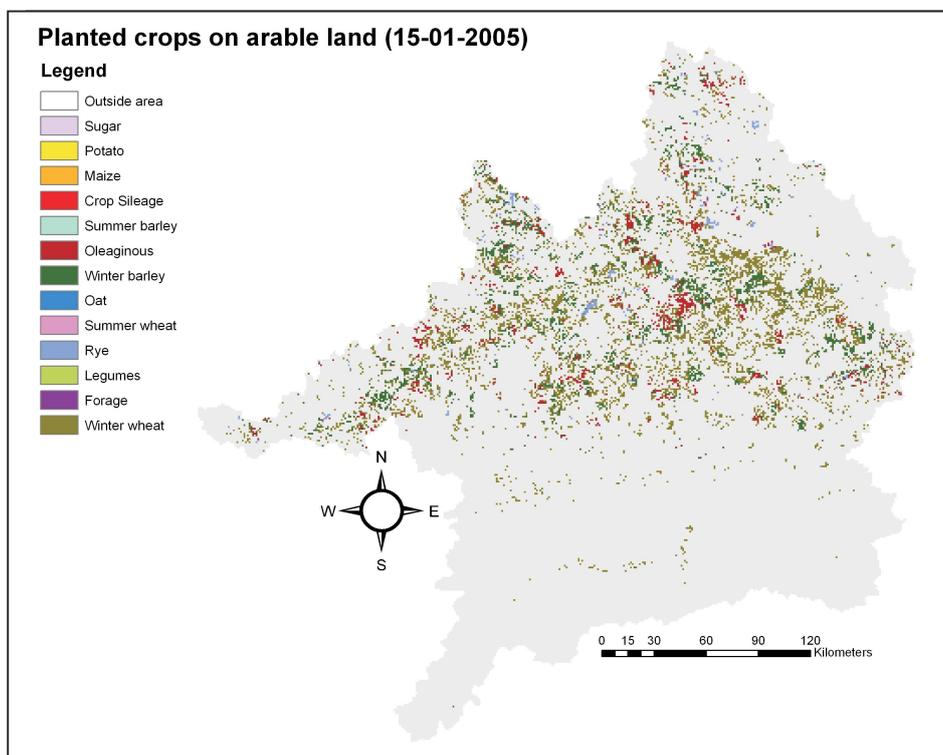


Abb. 4: Verteilung einjähriger Ackerkulturen Mitte Januar 2005

Mitte Mai sind alle Kulturen auf den Ackerflächen vertreten (Abb. 5) und bis Mitte September ist bereits der größte Teil geerntet worden (Abb. 6). Lediglich Körnermais, Maissilage, Zuckerrüben und Kartoffeln sind noch auf dem Feld. Der Raps hingegen wurde bereits im August neu ausgesät. Insgesamt wird deutlich, dass durch die täglichen Berechnungen der Anbauentscheidungen die Dynamik der landwirtschaftlichen Landnutzung innerhalb eines Simulationsjahres abgebildet werden kann.

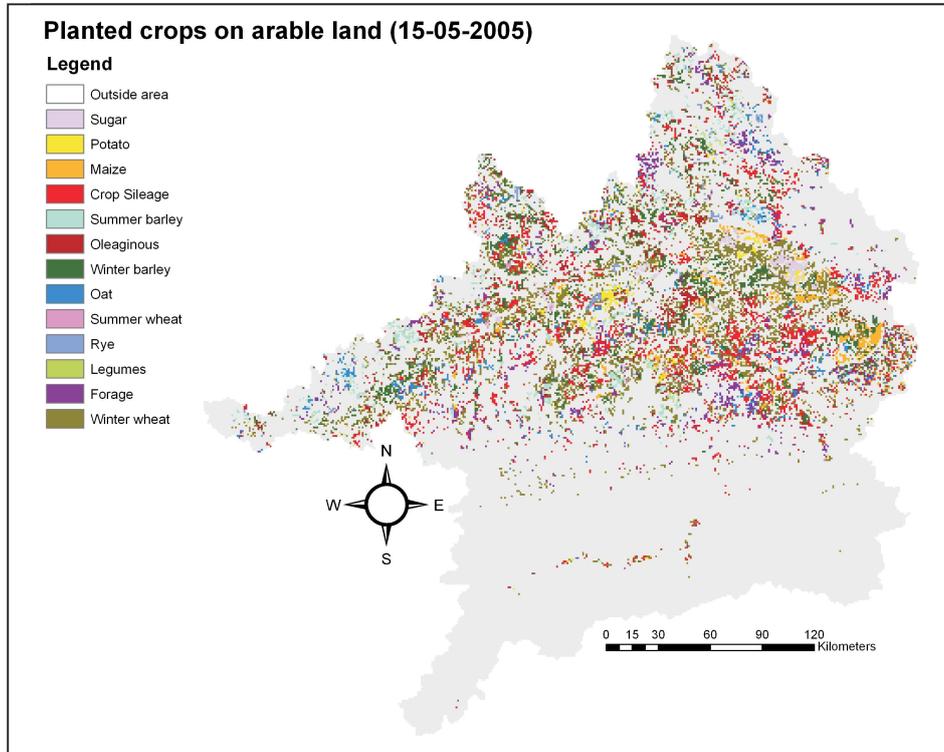


Abb. 5: Verteilung einjähriger Ackerkulturen Mitte Mai 2005

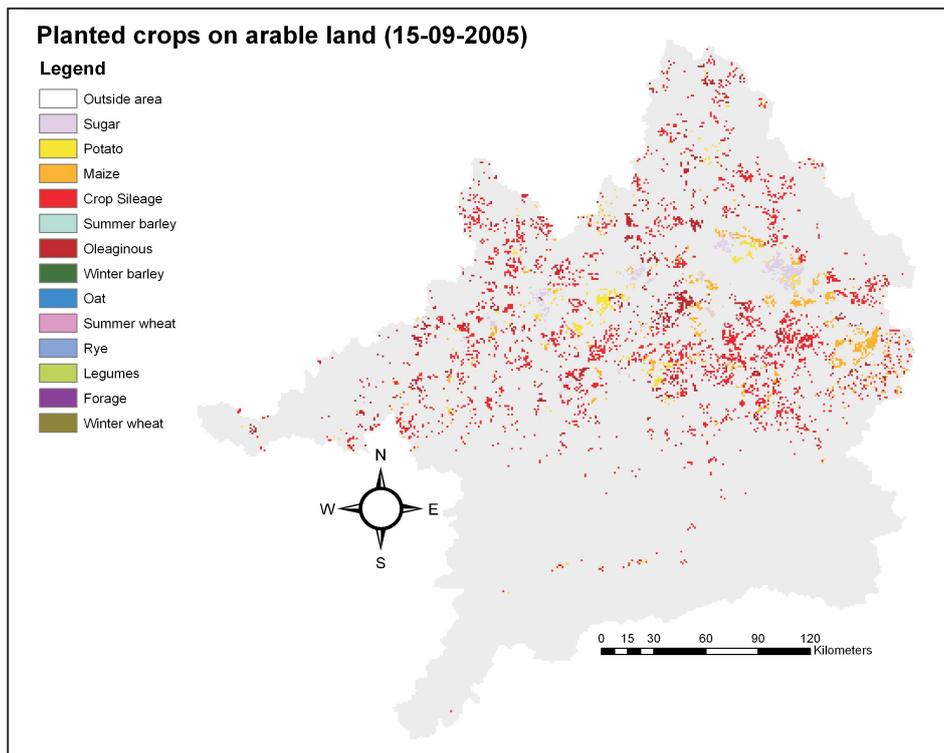


Abb. 6: Verteilung einjähriger Ackerkulturen Mitte September 2005

In Abbildung 7 ist die Ausbringung an mineralischem Stickstoff für einen ausgewählten Zeitpunkt dargestellt. Diese Daten werden der Arbeitsgruppe *Soil* täglich bereitgestellt.7.

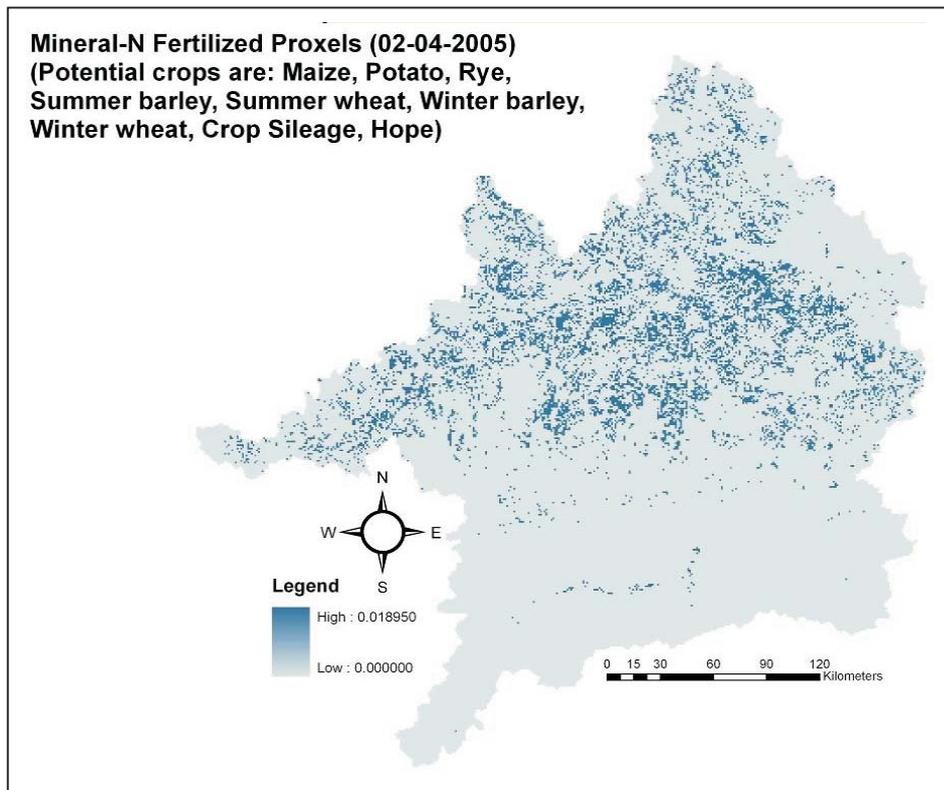


Abb. 7: Ausbringung an mineralischem Stickstoff Anfang April 2005 (kg/m²)

7. Nächste Schritte

Bis zum nächsten DANUBIA Testlauf, der für September 2006 geplant ist, soll die Konzeption der tiefen *Farm Actor* Komponente vollständig implementiert sein und subskalige Ergebnisse zur landwirtschaftlichen Landnutzung liefern. Im Bereich der Disaggregation soll auch die Verteilung der Tierhaltung berücksichtigt werden, um eine bessere räumliche Verortung der Wirtschaftsdüngergaben zu erzielen.

Die Implementierung der agrarpolitischen Rahmenbedingungen bis zum Jahr 2013 wird in Kürze abgeschlossen sein. Damit kann der Zeitraum bis 2013 detailliert und realitätsnah abgebildet werden.

Es soll eine Ex-Post-Analyse des Gesamtgebietes unter den gültigen agrarpolitischen Rahmenbedingungen erstellt werden, in Ergänzung zu der für das Jahr 1999 bereits durchgeführten Analyse von Winter 2005. Zudem sollen, in Ergänzung zu den bereits erfolgten Untersuchungen zu Weizenpreis, Wasserpreis und verfügbarer Wassermenge von Winter 2005, Sensitivitätsanalysen der Parameter Ertrag und Prämien durchgeführt werden.

Eine Veröffentlichung zum Konzept des tiefen *FarmActor* befindet sich in Vorbereitung.

8. Literatur

- AMA (Agrarmarkt Austria) (2005): Einheitliche Betriebsprämie 2005 – Merkblatt mit Ausfüllanleitung. Agrarmarkt Austria, Wien: S. 25.
- AMA (Agrarmarkt Austria) (2006): Cross Compliance, Einhaltung anderweitiger Pflichten – Merkblatt 2006. Agrarmarkt Austria, Wien S. 31
- BERNHARDS U., DOLL H., KLOCKENBRING C., PLANKL R. und Rudow, K. (2003a): Zwischenbewertung der Ausgleichszulage in benachteiligten Gebieten 2000 bis 2002 in Baden-Württemberg. Braunschweig : FAL, IV, 65, 34 S.
- BERNHARDS U., DOLL H., KLOCKENBRING C., PLANKL R. and RUDOW, K. (2003b): Zwischenbewertung der Ausgleichszulage in benachteiligten Gebieten 2000 bis 2002 in Bayern. Braunschweig : FAL, IV, 70, 34 S.
- BLSD (Bayrisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung)(2005): Genesis Online Datenbank. Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung, München. URL: www.statistikdaten.bayern.de
- BMLEF (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten)(1996a): Die europäische Agrarreform - pflanzlicher Bereich. BML, Bonn.
- BMLEF (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten)(1996b): Die europäische Agrarreform - Tierprämien. BML, Bonn. Best. Nr. 425-3/96
- BMLEF (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten)(2000a): Agenda 2000 - Pflanzlicher Bereich Agrarumweltmaßnahmen. BML, Bonn.
- BMLEF (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten)(2000b): Agenda 2000 - Tierprämien. BML, Bonn.
- BMLEF (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten)(2000c): Die Verbesserung der Agrarstruktur in der Bundesrepublik Deutschland – Berichtes des Bundes und der Länder über den Vollzug der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes). BML, Bonn.
- BMLEF (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten)(2002a): Agenda 2000 - Pflanzlicher Bereich Agrarumweltmaßnahmen. BML, Bonn.
- BMLEF (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten)(2002b): Agenda 2000 - Tierprämien. BML, Bonn.
- BMLFUW (Bundesministerium für Land - und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft)(1996): Grüner Bericht 1995. BMLFUW, Wien. www.gruener-bericht.at.
- BMLFUW (Bundesministerium für Land - und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft)(2001): Grüner Bericht 2000. BMLFUW, Wien. www.gruener-bericht.at.
- BMLFUW (2003)(Bundesministerium für Land - und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft): Die Reform der EU Agrarpolitik. BMLFUW, Wien.
- BMLFUW (Bundesministerium für Land - und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft)(2004): Compensatory allowances in the municipals of the Danube river basin. Department II sustainability and rural areas. BMLFUW, Wien. (data file, personal communication)
- BMLFUW (Bundesministerium für Land - und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft)(2005): Grüner Bericht 2005. BMLFUW, Wien. www.gruener-bericht.at.
- BMLFUW (Bundesministerium für Land - und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft)(2006): Compensatory allowances in the municipals of the Danube river basin. Department II sustainability and rural areas. BMLFUW, Wien (personal communication)

- BMVEL (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft)(2005): Meilensteine der Agrarpolitik – Umsetzung der europäischen Agrarreform in Deutschland. BMVEL, Berlin.
- HENNICKER, R., JANISCH, S., KRAUS, A. und Ludwig, M. (2005): DANUBIA: System structure and framework technology. 2nd Glowa Conference, May 17-19, Köln.
- STALA 2005 (Statistisches Landesamt Baden Württemberg).Struktur- und Regionaldatenbank. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stuttgart. URL: www.statistik-bw.de.
- StMLF (2004) (Bayrisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten): GAP-Reform 2005. Europäische Agrarreform 2005 - Nationale Umsetzung. StMLF, München.
- WINTER, T. (2005): Ein Nichtlineares Prozessanalytisches Agrarsektormodell für das Einzugsgebiet der Oberen Donau. Dissertation, Universität Hohenheim, Stuttgart. <http://opus-ho.uni-stuttgart.de/hop/volltexte/2005/91/pdf/Dissertation.pdf>.
- WIRSIG A., KRIMLY T. (2006): Landwirtschaft (Kap. 1.15), Agrarökonomie – Landwirtschaftliche Landnutzung und Trinkwasserbedarf (Kap. 2.9). In: GLOWA Atlas (in Vorbereitung).

Einfluss der Vegetation auf die Wasser- und Stickstoffflüsse, die Kohlenstoffbilanz und die Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte auf der Ebene von Landschaften und Regionen

Teilprojekt: Pflanzenökologie
Leiter: Prof. Dr. John Tenhunen
Ausführende Stelle: Universität Bayreuth
Lehrstuhl für Pflanzenökologie (Arbeitsgruppe Ökosysteme)
Universitätsstr. 30, 95447 Bayreuth

1. Organisatorisches

1.1 Arbeitsgruppe in der Zeitperiode März 2005 bis Ende Februar 2006

Modellierung von Gasaustausch, Wachstum und Entwicklung von Ökosystemen in DANUBIA

- Herr H.-J. Scharfenberg JAVA Programmierung des *Biological*-Objekts in DANUBIA
- Frau Olimpia Kolcun Analyse der Transpirationmessungen entlang von Höhengradienten in Berchtesgaden
- Herr Nguyen Quoc Dinh Skalierung des Blattflächenindex
- Herr Ralf Geyer Programmierer des Lehrstuhls (UBT)

1.2 Publikationen

ADIKU, S.G.K., REICHSTEIN, M., LOHILA, A., et al. (2006): PIXGRO: A model for simulating the ecosystem CO₂ exchange and growth of spring Barley. *Ecological Modelling* 190, S. 260-276.

KOLCUN, O. (2006): Water Use of Forests Along Elevation Gradients in the Berchtesgaden National Park. Doctoral Thesis, University of Bayreuth, pp 203.

TENHUNEN, J., GEYER, R., TAPPEINER, U., ADIKU, S., BAHN, M., DINH, N.Q., KOLCUN, O., REICHSTEIN, M., SCHMIDT, M., WANG, Q., WARTINGER, M., WOHLFAHRT, G., CERNUSCA, A. (2006): Influences of landuse change on ecosystem and landscape level carbon and water balances in mountainous terrain of the Stubai Valley, Austria. Submitted to *Global Planetary Change*, special issue on landuse change.

WANG, Q., TENHUNEN, J., SCHMIDT, M., KOLCUN, O., DROESLER, M. (2006): A model to estimate global radiation in complex terrain. *Boundary-Layer Meteorology*, in press.

WANG, Q., TENHUNEN, J., SCHMIDT, M., OTIENO, D., KOLCUN, O., DROESLER, M. (2005): Diffuse PAR irradiance under clear skies in complex alpine terrain. *Agric. For. Meteorol.* 128, S. 1-15.

WANG, Q., ADIKU, S., TENHUNEN, J., GRANIER, A. (2005): On the relationship of NDVI with leaf area index in a deciduous forest site. *Remote Sensing of Environment*, 94, S. 244-255.

WANG, Q., TENHUNEN, J., DINH, N.Q., REICHSTEIN, M., OTIENO, D., GRANIER, A., PILEGAARD, K. (2005): Evaluation of seasonal variation of MODIS derived leaf area index at two European deciduous broadleaf forest sites. *Remote Sensing of Environment* 96, S. 475-484.

2. Entwicklung des Ökosystemmodells für DANUBIA

Das Biological-Objekt in DANUBIA als Teil des Verbundobjekts *Landsurface* wurde in den Berichten der Phase I des GLOWA-Danube-Projekts ausführlich beschrieben. Mit der Phase II des GLOWA-Danube-Projekts ergeben sich für die Arbeiten am *Biological*-Objekt verschiedene Änderungen. Das *Biological*-Objekt ist in zwei Teile aufgeteilt worden, nämlich in das *Biological-Natural*- und in das *Biological-Agricultural*-Objekt, welche die grundsätzlich unterschiedlichen Nutzungsweisen der klassifizierten Landnutzungstypen (Wald, Feuchtgebiete, Grasland, Ackerflächen) berücksichtigen.

Das *Biological-Natural*-Objekt wird dabei weiterhin am Lehrstuhl für Pflanzenökologie (Arbeitsgruppe Naturnahe Ökosysteme), Universität Bayreuth, entwickelt, während das *Biological-Agricultural*-Objekt unter der Obhut der Arbeitsgruppe Agrarökosysteme (Prof. Karl Schneider), Geographisches Institut, Universität zu Köln, liegt.

Die Unterteilung des *Biological*-Objekts führt dabei nicht nur zu einer räumlichen und inhaltlichen Aufteilung der Zuständigkeiten, sondern auch zu einer Trennung des Modell-Codes mit den damit verbundenen Schwierigkeiten. Die nachfolgenden Kapitel geben einen Überblick über die bereits erfolgte Unterteilung hinsichtlich der Landnutzung, der UML-Entwicklung und des Modell-Codes (siehe hierzu auch den Jahresbericht der Arbeitsgruppe Agrarökosysteme, Prof. Karl Schneider).

Aufteilung der Landnutzung des *Biological*-Objekts in *Natural* und *Agricultural*

Die Unterteilung der Landnutzungstypen für das *Biological*-Objekt erfolgte hinsichtlich der Intensität und Art ihrer Nutzung. Stark veränderte bzw. intensiv genutzte und damit naturferne Landnutzungstypen wurden dem *Agricultural*-Objekt, wenig veränderte bzw. sehr extensiv genutzte und damit naturnahe Landnutzungstypen wurden dem *Natural*-Objekt zugeordnet. Während die Zuordnung von Ackerflächen zum *Agricultural*-Objekt oder von Feuchtgebieten zum *Natural*-Objekt unstrittig ist, ist diese bei dem umfassenden Typ Grasland eher schwierig. Von daher wurde dieser Typ nochmals in intensiv/extensiv genutztes (zu *Agricultural*) und ungenutztes Grasland (zu *Natural*) unterteilt. Die alpinen Grasflächen können zwar auch bewirtschaftet sein (z.B. Almen), sie wurden jedoch grundsätzlich dem *Natural*-Objekt zugesprochen. Eine Sonderstellung hat auch der Wald. Gerade Nadelwälder können sehr intensiv genutzt sein, was gegen eine Zuordnung zum *Natural*-Objekt spricht. Da Wälder aber im Allgemeinen über einen langen Zeitraum die Landnutzung in einem Gebiet bestimmen, wurden sie grundsätzlich dem *Natural*-Objekt zugeordnet.

Der Tabelle 1 ist die Zuordnung der verschiedenen Landnutzungstypen, als auch ihre Bezeichnung in DANUBIA zu entnehmen. Neben den gezeigten Typen gibt es noch weitere, wie z.B. bebaute Flächen oder Felsen, die dem *Biological*-Objekt nicht zugeordnet sind und daher hier nicht weiter betrachtet werden.

Die Aufteilung bzw. erweiterte Unterteilung der Landnutzungstypen führt zu folgenden Änderungen für zukünftige Modellversionen:

1. Eine erweiterte Beschreibung der physiologischen Parameter für die neu abgegrenzten Landnutzungstypen.
2. Eine erweiterte Beschreibung der Kohlenstoffallokation und damit einhergehend der Biomasseproduktion.

3. Eine Unterteilung des *Biological*-Objekts in das *Natural*-Objekt und das *Agricultural*-Objekt auf der Ebene des Programmcodes.

Tab. 1: Die Einteilung der Landnutzungstypen in GLOWA-Danube für das *Biological*-Objekt in die Unterobjekte *Agricultural*- und *Natural*-Objekt.

Landnutzungstyp	Kodierung im Modell	<i>Agricultural</i>	<i>Natural</i>
Landwirtschaft	1000 = AGRICULTURE	x	
Ackerland	1100 = ARABLE	x	
Silage	1101 = CROP_SILAGE	x	
Grünfütter	1102 = FORAGE	x	
Hopfen	1103 = HOP	x	
Hülsenfrüchte	1104 = LEGUMES	x	
Mais	1105 = MAIZE	x	
Hafer	1106 = OAT	x	
Ölsaaten	1107 = OLEAGINOUS	x	
Kartoffel	1108 = POTATO	x	
Roggen	1109 = RYE	x	
Flächenstilllegung	1110 = SET_ASIDE	x	
Zuckerrübe	1111 = SUGAR	x	
Sommergerste	1112 = SU_BARLEY	x	
Sommerweizen	1113 = SU_WHEAT	x	
Wintergerste	1114 = WI_BARLEY	x	
Winterweizen	1115 = WI_WHEAT	x	
Genutztes Grasland	1200 = GRASS_LAND	x	
Extensiv genutzt	1201 = EXTENSIVE	x	
Intensiv genutzt	1202 = INTENSIV	x	
Wald	2000 = FOREST		x
Laubwald	2100 = DECIDIOUS		x
Nadelwald	2200 = CONIFEROUS		x
Naturnahe Flächen	3000 = NATURAL_AREA		x
Ungenutztes Grasland	3100 = NATURAL_GRASSLAND		x
Alpine Vegetation	3200 = ALPINE_VEGETATION		x
Feuchtgebiete	3300 = WET_LAND		x

Modellintegration in DANUBIA

Die Modellintegration des *Biological*-Objekts erfolgt im komplexen Objekt *Landsurface*. Die Einbindung des bisherigen Modells in seine Umgebung ist insofern angepasst worden, als dass zahlreiche Änderungen in Bezug auf das neue Framework (Version 1.1.9, siehe dazu Bericht der Arbeitsgruppe Informatik) notwendig waren. Hauptsächlich erfolgten

Neuerungen in den Datentypen und in der Optimierung der Algorithmen, was zu einer erheblichen Verbesserung der Rechenzeit und damit der Leistungsfähigkeit des Modells führte.

Ein weiterer Punkt der Modellintegration betrifft die Aufteilung des Modells in die zwei Teile *Natural* und *Agricultural*. Diese Neugruppierung führte bisher zu einer Aufteilung der Zuständigkeiten (s.o.). Die inhaltliche Trennung wurde in diesem Berichtsjahr durchgeführt. Es hat sich gezeigt, dass eine räumlich (Bayreuth-Köln) und inhaltlich (unterschiedliche Zielsetzungen) getrennte Arbeit an einem Modell nur dann effektiv erfolgen kann, wenn der Modellcode von jeder Gruppe eigenständig bearbeitet und getestet werden kann.

Dies führte zwangsläufig zu einer Aufteilung des Modellcodes wie sie im Folgenden beschrieben wird.

Aufteilung des Biologicals in der Version 1.2.9 in die Untermodelle Natural und Agricultural

Im Einzelnen wird hier die Aufteilung des *Biologicals* dargestellt aus der Sicht der Arbeitsgruppe *Natural*.

Das *Biological*-Objekt als solches bleibt bestehen, wird aber in seiner Struktur unter anderem um die Unterpakete *natural* und *agricultural* ergänzt. Die Klasse *Biological* stellt die Verbindung zum umgebenden Paket *Landsurface* über verschiedene Schnittstellen (Interfaces) her (Abb. 1a). Diese Klasse steuert ebenso die Verbindung zu den Unterpaketen über die neu erstellten internen Schnittstellen *BiologicalToAgricultural* und *BiologicalToNatural*. Die Klasse *BiologicalProxel* sammelt die Ergebnisdaten (wie Transpiration, Biomasse etc.) der *Proxel* aus den Unterpaketen *agricultural* und *natural* und gibt diese über die Klasse *Biological* weiter an die entsprechenden Schnittstellen weiter.

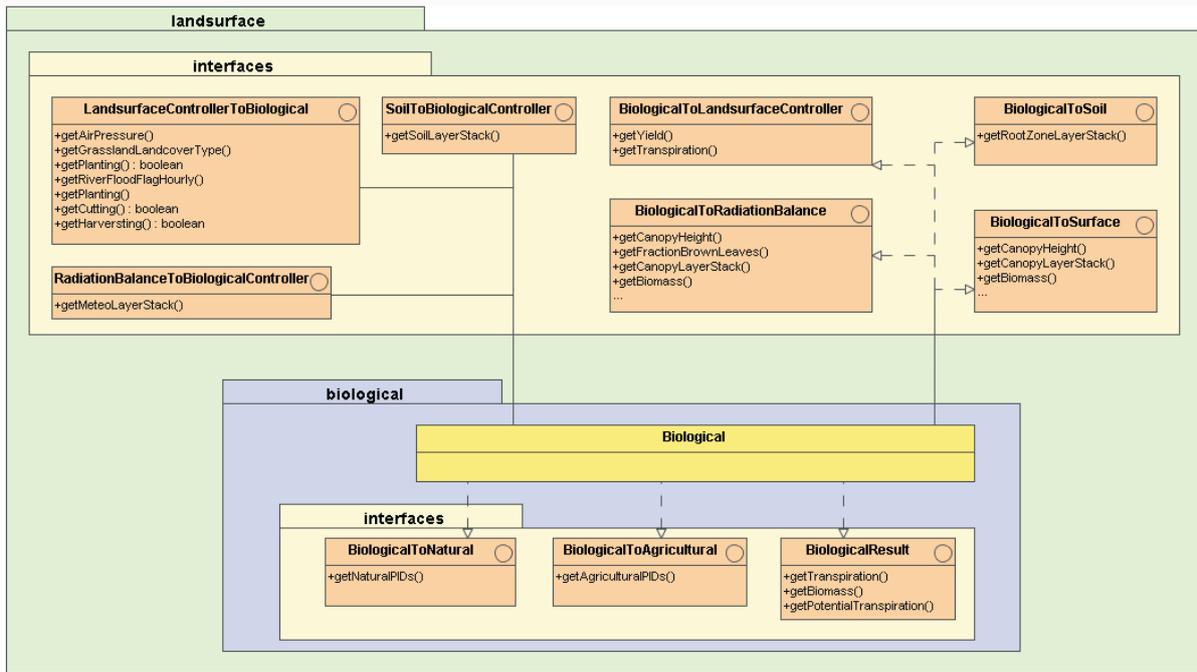
Das neue Paket *natural* (für Details zum Paket *agricultural* siehe Jahresbericht der Arbeitsgruppe Agrarökosysteme, Universität zu Köln) beinhaltet eine ähnliche Struktur wie das alte Paket *biological*, allerdings nur mit den für die Bayreuther Arbeitsgruppe wichtigen Klassen. Die Klasse *Natural* leitet sich wie zuvor die Klasse *Biological* vom *AbstractModel* ab (Abb. 1b). Die Kommunikation mit anderen Komponenten und dem *Timecontroller* findet hier statt. Das *NaturalProxel* leitet sich aus dem *BiologicalProxel* ab, welches wiederum eine Spezialisierung eines allgemeinen *Proxels* aus dem *LandsurfaceProxel* ist. Ebenso erbt die *NaturalProxelTable* alle Eigenschaften von *ProxelTable* und *LandsurfaceProxelTable*.

Das Paket *natural* hat eine weitere wichtige Unterstruktur, das Paket *canopy* (Abb. 2). Die sich hier befindenden Klassen, enthalten die Variablen und Methoden zur Simulation der verschiedenen Landnutzungstypen (Tab. 1).

So beschreibt die Klasse *Canopy*, als oberste Ebene, die allgemeinen, für alle Landnutzungstypen gültigen Bedingungen. Auf der zweiten Ebene werden die Bereiche in Wald- (Klasse *Forest*) und andere naturnahe Ökosystem (Klasse *NaturalCanopy*) unterteilt. Die Landnutzungstypen selber werden mit ihren spezifischen Eigenschaften (Variablen, Methoden) in eigenen Klassen beschrieben.

Eine derart detaillierte Aufschlüsselung in verschiedene Klassen hat den entscheidenden Vorteil, dass Änderungen für einzelne Landnutzungstypen durchgeführt werden können, ohne dass die anderen Typen davon beeinträchtigt werden. Ebenso lassen sich mit diesem Konzept sehr schnell neue Typen in das System einführen.

1a.



1b.

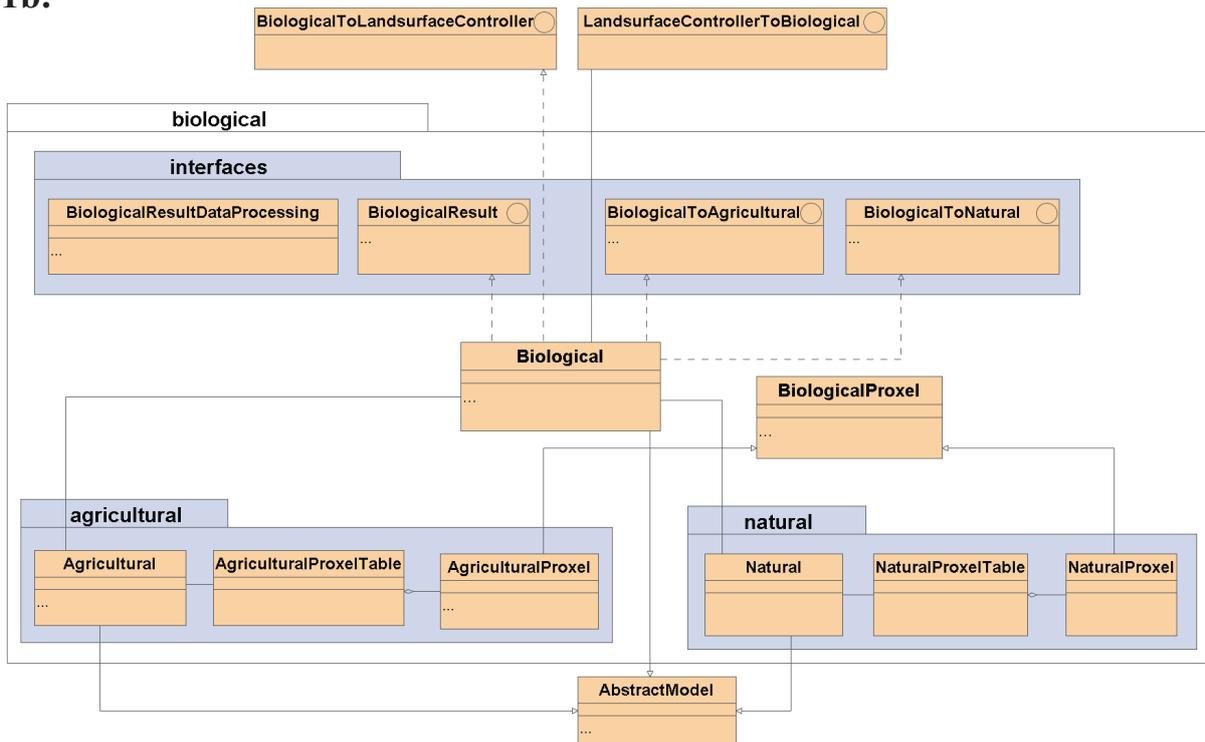


Abb. 1: UML-Diagramme des neuen *Biological*-Objektkomplexes: a) *Interfaces*: Zeigt die Schnittstellen zu Objekten außerhalb und innerhalb des *Biological*-Objekts; b) *Structural details*: Zeigt die neue Objektstruktur mit den Unterobjekten *Natural* und *Agricultural* und ihre Anbindung über die Klasse *Biological* an die Umgebung.

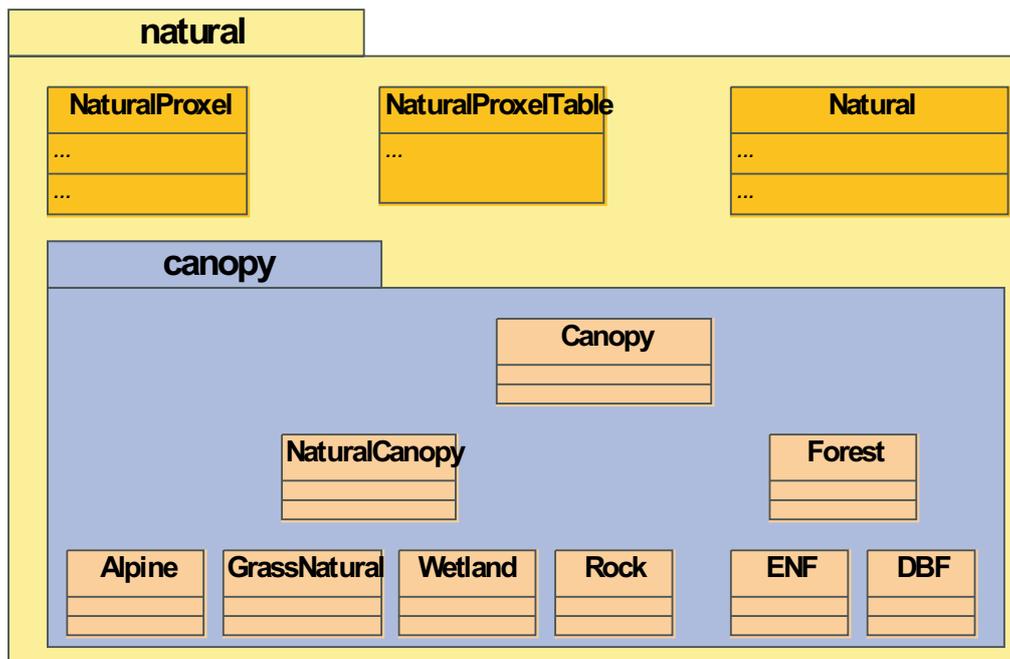


Abb. 2: Strukturelles UML-Diagramm des neuen Pakets *natural* mit dem Unterpaket *canopy* und den angegliederten Klassen.

Modell *Biological* in der neuen Testumgebung

Mit dem neuen DANUBIA-Framework ab Version 1.1.9 wurde eine erweiterte Testumgebung zur Verfügung gestellt. In dieser kann das Modell alleine oder im Verbund mit anderen getestet werden. Für das zurückliegende Berichtsjahr wurde das Modell *Biological* von der Arbeitsgruppe Agrarökologie in Köln für den Einsatz in der Testumgebung optimiert. Die zum Testen verwendeten Wetterdatensätze wurden ebenfalls von dieser Gruppe zur Verfügung gestellt. Dadurch war sichergestellt, dass die Arbeitsgruppen in Köln und Bayreuth unter den gleichen Voraussetzungen die Tests durchführen konnten.

Durch den Einsatz der neuen Testumgebung war es möglich, trotz der Aufteilung des Modells auf zwei Gruppen, separate Änderungen am Modellcode durchzuführen und diese zu testen.

Da die bisherigen Ergebnisse einer Simulation mit der Testumgebung nur bedingt mit denen des gesamten *Frameworks* vergleichbar sind, wurden weitere Komponenten des Pakets *landsurface* mit in die Testumgebung integriert. Vor Allem die Komponenten *RadiationBalance* und *Soil* spielen hier eine wichtige Rolle. *RadiationBalance*, weil es unter Anderem die photosynthetisch aktive Strahlung und das Windprofil der Schichten bereitstellt. *Soil*, weil hier der Bodenstickstoff umgesetzt und den Pflanzen das Wasser zur Verfügung gestellt wird. Es wird erwartet, dass durch diese Erweiterungen das Verhalten des Modells *Biological* besser verstanden wird bzw. dass vorhandene Schwachstellen bei der Kopplung der Modelle aufgespürt und beseitigt werden können.

3. Parametrisierung des Ökosystemmodells für DANUBIA

Im Zusammenhang mit dem generellen Ziel des Projektes, nämlich der Erstellung von Vegetationsobjekten (*Biological*-Objekt in DANUBIA) für die im GLOWA-Danube Untersuchungsgebiet identifizierten Vegetationsklassen, sind spezifische Parametrisierungen für den Gasaustausch und das Wachstum von Nadelwald, sommergrünem Laubwald, Getreide, Wiesen, Feuchtgebiete usw. erforderlich. Wichtige Fortschritte bei der Parametrisierung und eine Überprüfung der Ergebnisse der DANUBIA Referenzläufe mit dem *Biological*-

Objekt sind im Abschlußbericht der ersten Phase von GLOWA-Danube zusammengefasst. Es handelte sich um einen Vergleich der ersten Modellberechnungen von Kronendachprozessen und Wachstum in DANUBIA mit den zu erwartenden Ergebnissen, d.h. mit Schätzungen der Transpiration, CO₂-Aufnahme und LAI-Änderungen von einzelnen Ökosystemtypen in Plotstudien an verschiedenen Standorten.

In der zweiten Phase von GLOWA-Danube wurden die folgenden Themen in Bezug auf die Parametrisierung weiter entwickelt:

1. Die Ergebnisse der Transpirationmessungen im Nationalpark Berchtesgaden entlang von Höhengradienten, die wichtige Begrenzungen der Bestandesleitfähigkeit und dabei den Wasserverbrauch und die Produktion von Wäldern in Abhängigkeit von der Höhe in den Alpen zeigen, wurden benutzt, um ein konventionell geschichtetes SVAT-Modell zu parametrisieren. Das SVAT-Modell wurde dann verwendet, um H₂O- und CO₂-Gaswechsel von Waldbeständen entlang von Höhengradienten im Testgebiet Stubaital zu simulieren. Die unkonventionelle Parametrisierung in DANUBIA, wo nur zwei Blattschichten benutzt werden, um die Recheneffizienz zu steigern, wird anhand der Simulationsergebnisse im Stubaital überprüft und kalibriert.
2. Ähnlicherweise wurde im Testgebiet Stubaital der H₂O- und CO₂-Gaswechsel, das Wachstum und die LAI-Entwicklung von Grasland-Beständen entlang von Höhengradienten im Testgebiet Stubaital simuliert. Die Ergebnisse wurden anhand von Haubendaten validiert und liefern jetzt Kalibrierungsdaten für das *Biological*-Objekt in DANUBIA.
3. Die H₂O- und CO₂-Gaswechselraten, das Wachstum für Grasland-Bestände und die LAI-Entwicklung wurden auf Landschaftsebene für das Testgebiet Stubaital im Jahr 2002 mit zwei Auflösungen (100 m und 1 km) simuliert. Dabei wird überprüft, ob die Ergebnisse von ökophysiologischen Freilandstudien (die verwendet werden, konventionelle SVAT-Modelle zu parametrisieren) auf die Skala der Simulationen in DANUBIA übertragbar sind, d.h. Upscaling-Methoden werden überprüft, die eine akzeptable Modellierung der Ökosystemprozesse innerhalb heterogener Pixel auf der 1 km² Skala und für unterschiedliche Teilgebiete (z.B. Alpenhänge gegen Voralpenland) erlauben.
4. Die Ergebnisse der Referenzläufe mit DANUBIA werden zur Zeit mit dem zu erwartenden saisonalen Verhalten von Grasland und Waldbeständen entlang von Höhengradienten verglichen. In der Testumgebung wird ein Fine-Tuning durchgeführt, um realistische vegetations- und standort-spezifische Simulationen von Wasser- und CO₂-Haushalt in DANUBIA zu bekommen.

Die Schritte, um eine akzeptable Parametrisierung des *Biological*-Objekts in DANUBIA zu erreichen, sind in den folgenden Abschnitten beschrieben und illustriert.

H₂O- und CO₂-Gaswechsel, das Wachstum und die LAI-Entwicklung entlang von Höhengradienten in den Alpen

Im Antrag zur zweiten Phase des GLOWA-Danube-Projekts wird das Ötztal als mögliches Testgebiet für Simulationen bzw. Szenarien beschrieben. Aufgrund der besseren Datenlage und der Kenntnisse aus dem Stubaital wurde dieses als Testgebiet ausgewählt, um die Parametrisierung vom *Biological*-Objekt zu unterstützen. Insbesondere stehen hier Informationen über die Landnutzung, den Blattflächenindex in Waldbeständen (siehe Projektbericht für 2003 von GLOWA-Danube), die zeitabhängige Entwicklung der Biomasse und des LAIs, Messdaten für CO₂-Gasaustausch in Grasbeständen an verschiedenen Standorten, die Gradienten in Klimavariablen und die räumlich modellierte Einstrahlung (WANG et al. 2005) zur Verfügung. Diese Informationen stammen aus einer Reihe von EU-Projekten und aus der ersten Phase von GLOWA-Danube (Einstrahlung und LAI vom Wald).

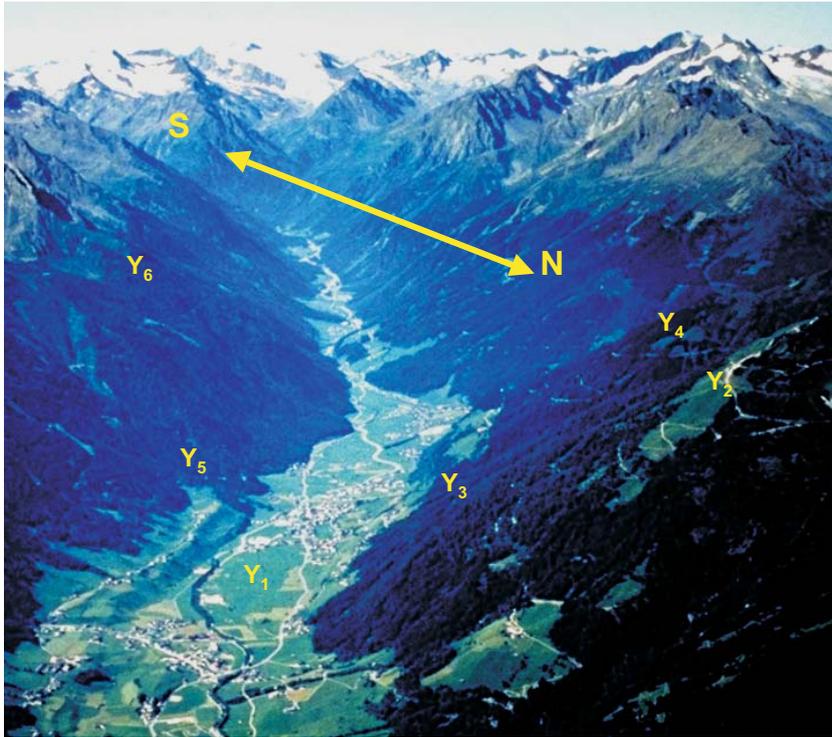


Abb. 3: as Testgebiet Stubaital südlich von Innsbruck. Die Standorte für den Vergleich von H_2O - und CO_2 -Gaswechsel, des Wachstums und der LAI-Entwicklung entlang von Höhengradienten sind mit gelben Buchstaben identifiziert: Y_1 = intensive Talwiese in der Nähe von Neustift bei 980 m, Y_2 =brachliegendes Grasland bei 1960 m, Y_3 und Y_4 =südexponierte Fichtenbestände im Tal und an der Baumgrenze, Y_5 und Y_6 =nordexponierte Fichtenbestände im Tal und an der Baumgrenze.

Die Fülle an Daten erlaubt eine Parametrisierung des für Fichten- und Graslandbestände validierten SVAT-Modells $PROXEL_{NEE}$ (TENHUNEN et al. 2001; FALGE et al. 2003) entlang von Höhengradienten im Stubaital und auch eine räumlich (100m) und zeitlich (stundenweise) hoch aufgelöste Simulation des Gasaustausches von Wald- und Wiesenbeständen im ganzen Stubaital. Die Ergebnisse der Simulationen liefern eine Beschreibung des Gaswechsels auf Landschaftsebene, die so gut wie möglich mit unseren Kenntnissen aus ökologischen Freilandstudien übereinstimmen soll und überprüft werden kann. Damit ist es möglich, an beliebig ausgewählten Standorten Sollwerte für das *Biological*-Objekt in DANUBIA zu berechnen. Solche Werte sind notwendig, weil das *Biological*-Objekt als unkonventionelles Bestandes-Modell gebaut ist (nur zwei Schichten in der Strahlungsbilanz), um eine hohe Effizienz für die Prozessbeschreibung im Rahmen von DANUBIA zu erreichen (siehe GLOWA-Danube 2002 Projektbericht). Eine direkte Übertragung der Information über den Bestandesgaswechsel aus Freilandstudien auf die Parametrisierung vom *Biological*-Objekt ist in diesem Fall nicht ohne weiteres zulässig, sondern das zu erwartende Verhalten muss im Rahmen der Testumgebung in einem Kalibrierungsverfahren erfolgen und geprüft werden. Dieses Fine-Tuning erlaubt realistische vegetations- und standort-spezifische Simulationen vom Wasser- und CO_2 -Haushalt in DANUBIA, die für die Gesamtbilanzen im Donaeinzugsgebiet sehr wichtig sind.

Einige ausgewählte Pixel für die Kalibrierung des *Biological*-Objekts im Stubaital sind in Abbildung 3 illustriert. Die ausgesuchten Standorte (gelbe Buchstaben in Abb. 3) für den Vergleich von H_2O - und CO_2 -Gaswechsel, des Wachstums und der LAI-Entwicklung entlang von Höhengradienten charakterisieren die Einflüsse von den größten Unterschieden in Habitatbedingungen zwischen der Tallage und der Baumgrenze. Die simulierte Transpiration, die Bruttoprimärproduktion (GPP), der Nettoökosystem- CO_2 -Austausch (NEE) und die Ökosystematmung (R_{eco}) der ausgewählten Fichtenbestände im Stubaital sind in Abbildungen 4 und 5 dargestellt. Der H_2O - und CO_2 -Gasaustausch mit der Atmosphäre wird an der Baumgrenze und an südexponierten Hängen auf ungefähr die Hälfte reduziert. Diese Verminderung im Gasaustausch ist nur teilweise mit den Änderungen in Temperatur und relativer Feuchte zu erklären. Die Parametrisierung der Unterschiede in der physiologischen Aktivität der Waldbestände basieren auf Saftflussmessungen, die in der ersten Phase von GLOWA-Danube im Testgebiet Berchtesgaden durchgeführt worden sind (KOLCUN 2006). Wichtig in der Steuerung der stomatären Leitfähigkeit der Waldbäume sind noch nicht erklärbare Unterschiede in der Physiologie entlang des Höhengradienten, die im Modell

phänomenologisch reproduziert wird.

Die Unterschiede entlang von Höhengradienten in der Wassernutzung, im CO₂-Austausch und in der saisonalen LAI-Entwicklung von Grasland-Beständen sind in Abbildungen 6

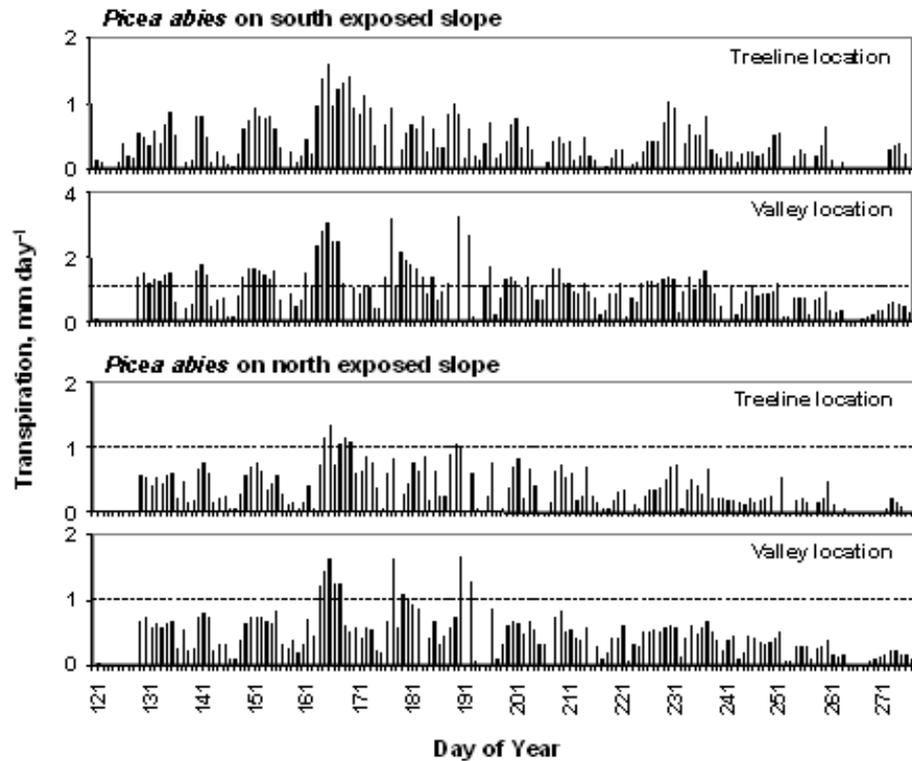


Abb. 4: Simulierte Transpirationsraten von Fichtenbeständen für das Jahr 2002 an süd- und nordexponierten Hängen, in Tallagen und an der Baumgrenze im Stubaital (Standorte Y₃, Y₄, Y₅ und Y₆ in Abb. 3; s. auch Text).

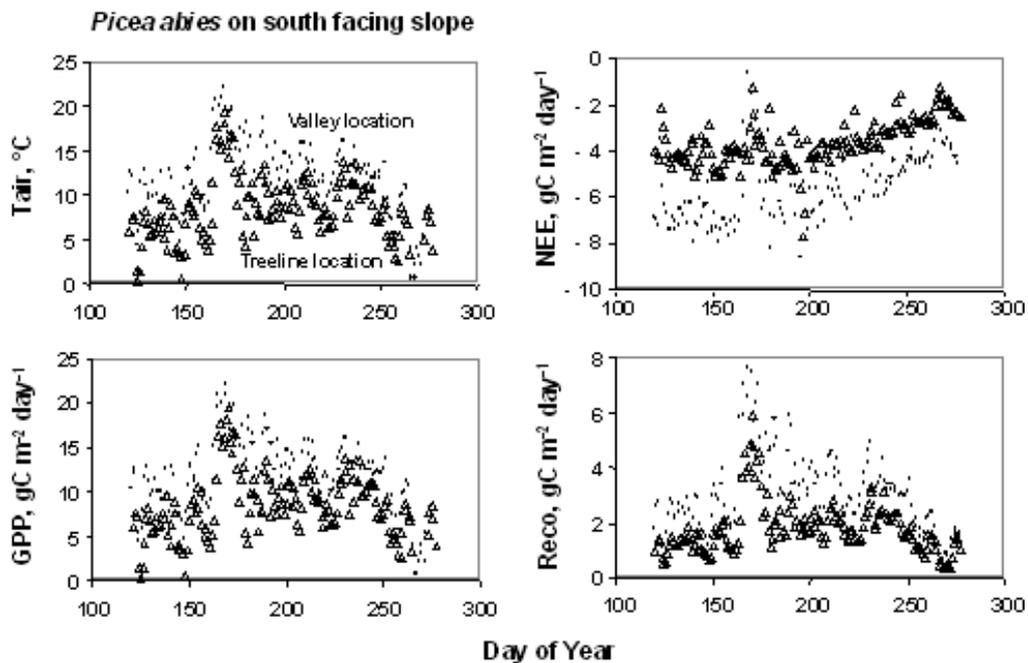


Abb. 5: Simulierte Bruttoprimärproduktion (GPP), Nettoökosystem-CO₂-Austausch (NEE) und Ökosystematmung (Reco) von Fichtenbeständen für das Jahr 2002 an einem südexponierten Hang, in einer Tallage (Y₃ in Abb. 3) und an der Baumgrenze (Y₄ in Abb. 3) im Stubaital. Die Unterschiede in der Lufttemperatur sind auch gegeben.

und 7 abgebildet. Soweit wie möglich wurden die simulierten Austauschraten anhand von Kammermessungen überprüft, die im Tal und über der Baumgrenze durchgeführt wurden.

Die maximale Transpiration ist bei 980 m im Tal ungefähr zweimal so hoch als für den bei 1960 m Höhe geschätzten Wert. Dadurch steigt der Gesamtwasserverbrauch im Tal um un-

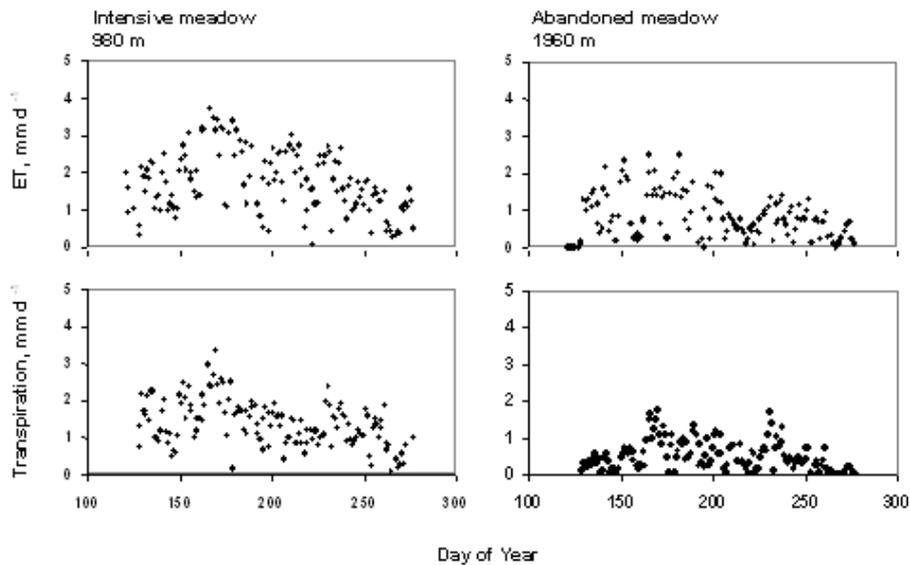


Abb. 6: Simulierte Transpiration und Evapotranspiration (ET) von einer intensiv gedüngten Wiese im Tal in 980 m Höhe und einer brachliegenden Wiese an einem südexponierten Hang in 1960 m Höhe für das Jahr 2002 im Stubaital (Standorte Y₁ und Y₂ in Abb. 3; s. Text).

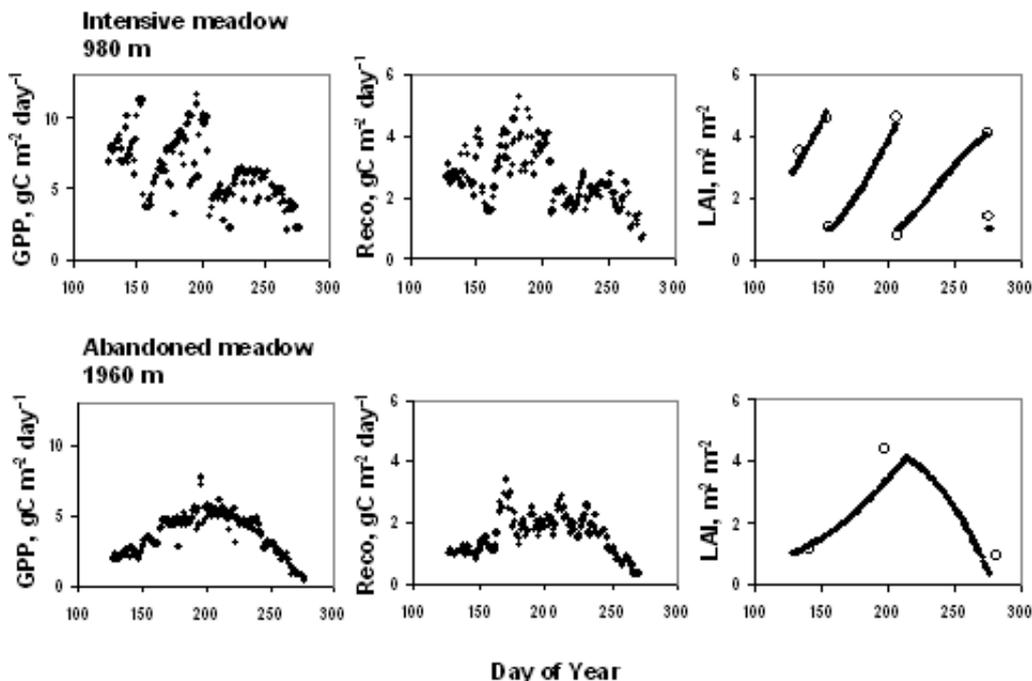


Abb. 7: Simulierte Bruttoprimärproduktion (GPP), Ökosystematmung (Reco) und zeitliche Entwicklung vom Blattflächenindex (LAI) von einer intensiv gedüngten Wiese im Tal und einer brachliegenden Wiese an einem südexponierten Hang in 1960 m Höhe für das Jahr 2002 im Stubaital (Standorte Y₁ und Y₂ in Abb. 3; s. auch Text). Offene Kringel sind gemessene Werte für den LAI, welcher über Biomasseernten errechnet wurde.

gefähr 25% an (siehe Tab. 2). Gemittelte Werte für die Transpiration und Evapotranspiration und für unterschiedliche Landnutzungen sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tab. 2: Mittelwerte für den Wasserverbrauch durch Transpiration und Evapotranspiration von verschiedenen Ökosystemtypen über die Zeitperiode vom 8. Mai bis 4. Oktober in 2002 im Testgebiet Stubaital. Die Gasaustauschraten wurden über alle 100 x 100m Pixel der einzelnen Landnutzungen geschätzt.

Auflösung Landnutzung bzw. Ökosystem	100 m Evapotranspiration (mm)	100 m Transpiration (mm)
Montaner Nadelwald	168	77
Subalpiner Nadelwald	142	49
Intensivst genutzte Wiese	270	123
Weniger intensiv genutzte Wiese	236	88
Extensive genutzte Wiese	225	85
Brachgefallene Wiese	214	89
Alpine Matten	239	92

Die Bruttoprimärproduktion (GPP) und Ökosystematmung (R_{eco}) entsprechen in 1960m Höhe ungefähr 50% von den geschätzten Werten im Tal bei gleichem Blattflächenindex. Diese Verminderung in der CO_2 -Austauschkapazität ist durch niedrigere Temperaturen verursacht, aber auch durch eine Verschiebung der Stickstoff-Investitionen in den Pflanzen, die zu niedrigeren Netto-Photosyntheseraten in höheren Lagen führen. Gute Schätzungen der Biomasseproduktion auf Wiesen- und Almflächen werden im Rahmen von DANUBIA gebraucht, weil die Bewirtschaftung, bzw. das Brachlegen von Almflächen oder die Ausbreitung der Wälder in Höhenlagen, wichtige sozioökonomische Konsequenzen im Donaueinzugsgebiet haben und durch Landnutzungsänderungen in den Hochlagen wichtige Änderungen im Gebietswasserhaushalt und in der Agrarproduktion stattfinden werden.

Kalibrierung des Biological-Objekts auf dem 1 km² Raster in den Alpen

„Upscaling“-Versuche müssen durchgeführt werden, um die Modellierung von Ökosystemprozessen innerhalb heterogener Pixel auf der 1 km² Skala und für unterschiedliche Teile des Donaueinzugsgebietes (z.B. Alpenhänge gegen Voralpenland) zu untersuchen, um auf eine akzeptable Kalibrierung vom vereinfachten *Biological*-Objekt in DANUBIA zu gelangen. Die Alpen umfassen etwa ein Drittel des Donaueinzugsgebietes und sie verursachen steile Gradienten in meteorologischen Faktoren, die adäquat beschrieben werden müssen. Abhängig von den meteorologischen Faktoren auf Ökosystemebene sind die Schlüsselprozesse Transpiration, Evapotranspiration, Bruttoprimärproduktion und Ökosystematmung, die über das Jahr die CO_2 -Bilanz und den Wasserhaushalt von Teileinzugsgebieten je nach der Landschaftsstruktur und der Verbreitung von unterschiedlicher Ökosystemtypen bestimmen. Die H_2O - und CO_2 -Gaswechselraten, das Wachstum der Graslandbestände und die LAI-Entwicklung wurden auf Landschaftsebene für das Testgebiet Stubaital und für das Jahr 2002 mit zwei Auflösungen (100 m und 1 km) simuliert, um zu überprüfen, wie man die Information von existierenden ökophysiologischen Freilandstudien für ein Fine-Tuning des atmosphärischen Austausches auf der Skala der Simulationen in DANUBIA benutzen kann.

Die Ergebnisse von ökologischen Freilandstudien können direkt nur für die Parametrisierung von Modellen benutzt werden, die konzipiert sind für eine Prozessbeschreibung im gleichen Skalenbereich. Wir haben im Rahmen der Untersuchung von wichtigen Steuerfaktoren und Gasaustauschraten im Stubaital angenommen, dass die existierende Information uns erlaubt, ein homogenes Verhalten der Flussraten für einzelne Pixel mit einer Größe 100m x 100m zu bestimmen. Die entsprechend berechneten Flussraten liefern dann über das detailliertere und höher aufgelöste Modell (PROXEL_{NEE} verifiziert anhand von Freilanddaten) Zielwerte entlang von Höhengradienten in den Alpen für das *Biological*-Objekt (siehe Abb. 8 bis 10 oben).

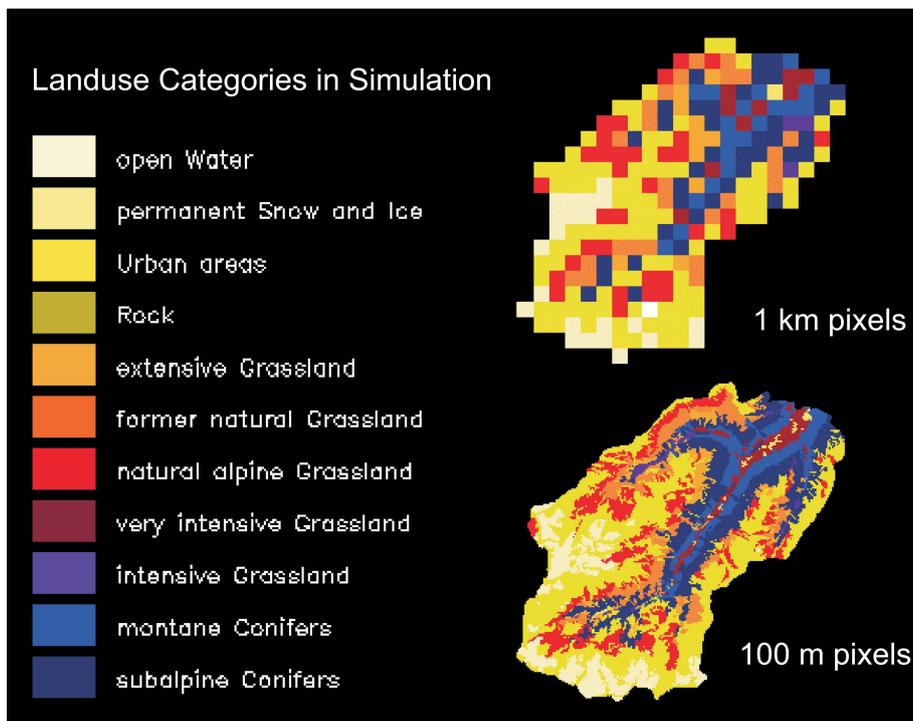


Abb. 8: Vergleich der angewandten Landnutzung in den Simulationen der H₂O- und CO₂-Gaswechselraten, des Wachstums für Graslandbestände und der LAI-Entwicklung mit 100m- bzw. 1km-Auflösung im Stubaital. Die 100m-Pixelkarte basiert auf einer Auswertung von Luftbildern, wobei diese Karte auch schon eine Vereinfachung der dokumentierten Landnutzung ist.

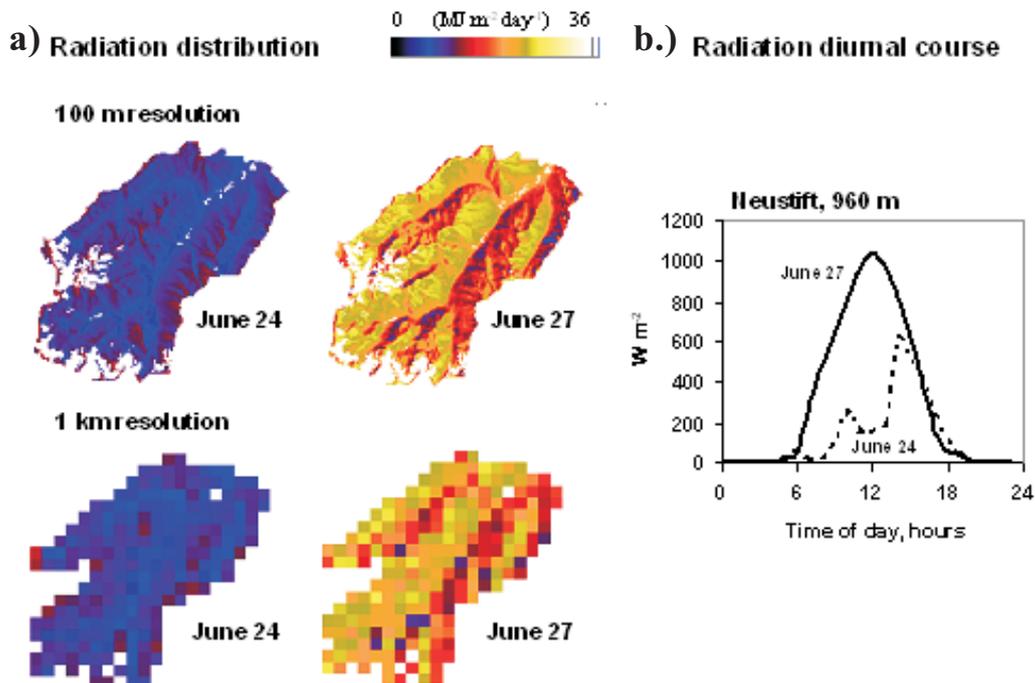


Abb. 9: a) Vergleich der Strahlungsverteilung bei 100m- bzw. 1km-Auflösung im Stubaital für einen strahlungsarmen (24.06.02) bzw. strahlungsreichen (27.06.02) Tag. b) Tagesgang der Strahlung an den selben Tagen im Gebiet Neustift.

Es ist wichtig in einem nächsten Schritt zu untersuchen, welche Einflüsse eine Änderung in der Skala auf die Modellergebnisse hat. Dabei soll man versuchen die Gradienten in meteorologischen Faktoren, in der Geländestruktur (bzw. in dem neuen Geländemodell) und in der Landnutzung soweit wie möglich aneinander anzupassen, um danach zu überprüfen wie weit dasselbe Kernmodell ähnliche oder unterschiedliche Ergebnisse liefert. Für die Simu-

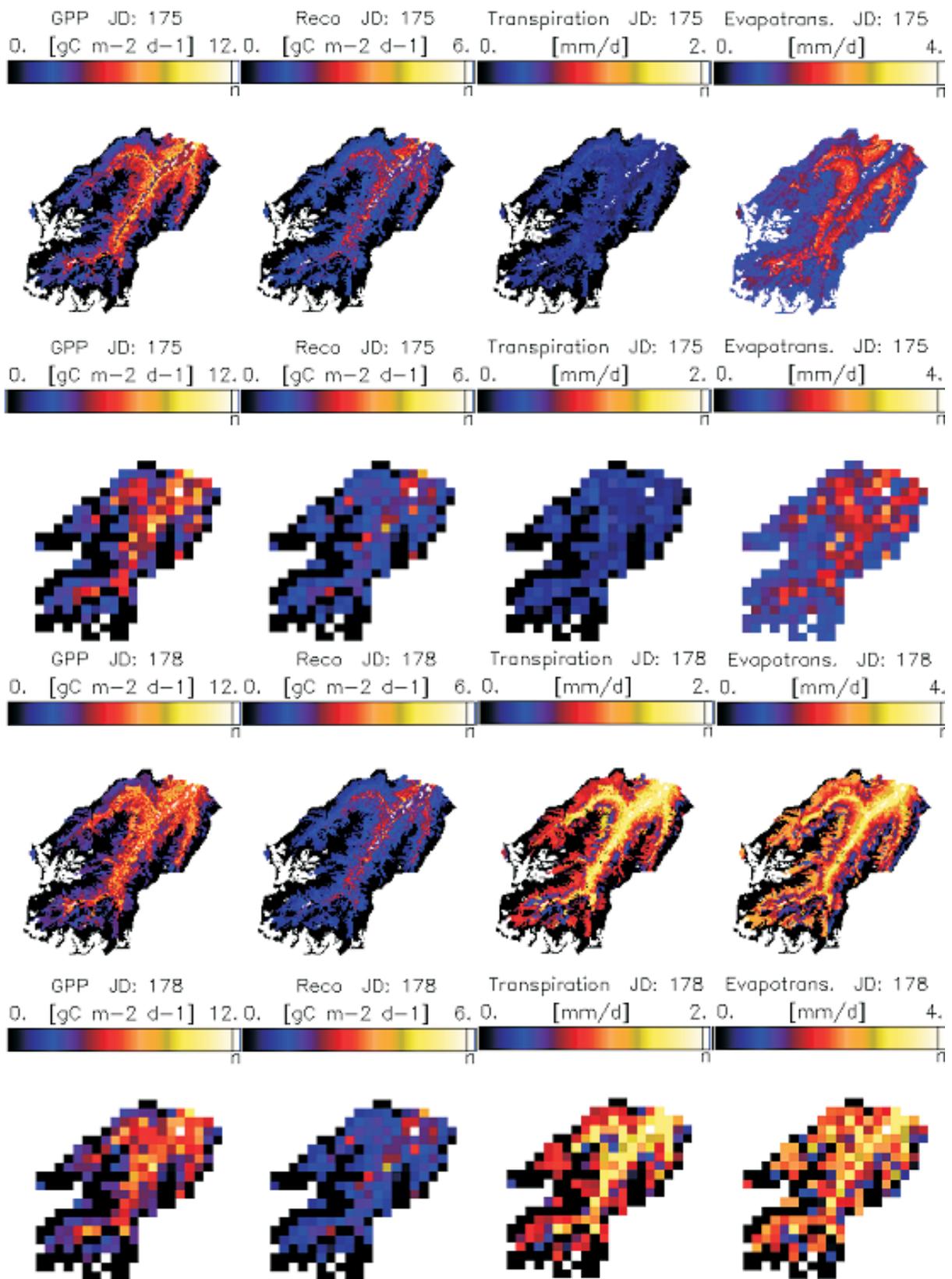


Abb. 10: Vergleich der Ergebnisse der Simulationen der H_2O - (Transpiration, Evapotranspiration) und CO_2 - (GPP, R_{eco}) Gaswechselraten mit 100m- bzw. 1km-Auflösung im Stubaital. Die Ergebnisse sind jeweils für einen strahlungsarmen (24.06.02) und einen strahlungsreichen (27.06.02) Tag dargestellt.

lationen im Stubaital wurden die 100 x 100m Pixel Informationen als Eingabe für geographische Regridding-Routinen benutzt. Ein Vergleich der zwei resultierenden Landnutzungskarten ist in Abbildung 8 abgebildet. Ähnlicherweise wurden stündliche Werte für die meteorologischen Treibergrößen, die im Kilometerraster anzuwenden sind, abgeleitet. Als Bei-

spiel sieht man in Abbildung 9 einen Vergleich der täglichen Einstrahlung an einem klaren und einem trüben Tag bei einer Auflösung von 100m bzw. 1km. Die im Tageslauf gemessene Strahlung auf der Basisstation im Tal in Neustift ist auch gegeben. Im Prinzip ist bei beiden Auflösungen das gleiche Muster zu erkennen, obwohl die quantitative Auswirkung auf berechnete Flussraten noch aussteht. Für beide Tage sind die täglich aufsummierte Brutto-primärproduktion, die Ökosystematmung, die Transpiration und Evapotranspiration im Stubaital in Abbildung 10 abgebildet. Trotz des groben Charakters der Abbildung bei einer 1km-Auflösung ist ein ähnliches Muster für die Gasaustauschraten in beiden Simulationen zu erkennen.

Die ersten Ergebnisse des Vergleichs der Gaswechselraten auf zwei verschiedenen Skalen sind in der Tabelle 3 zu sehen. In der angewandten Modellformulierung gibt es keine wesentliche Unterschiede für CO₂- und H₂O-Flüsse im Talbereich oder an den unteren Hängen. Die Transpiration zeigt möglicherweise für Wald und Graslandbestände eine Reduzierung in höheren Lagen. Die Differenz wird aber durch kompensierende Einflüsse bei der Evapotranspiration kaum bemerkbar, d.h. sie wird keinen großen Einfluss auf die Hydrologie im Gebiet haben.

Tab. 3: Mittelwerte für den Wasserverbrauch durch Transpiration (Tr) und Evapotranspiration (Et) von verschiedenen Ökosystemtypen über die Zeitperiode vom 8. Mai bis 4. Oktober in 2002 im Testgebiet Stubaital bei einer Auflösung für das digitale Geländemodell, die meteorologischen Treibervariablen und der Landnutzung von einem Quadratkilometer. Die proportionalen Änderungen der Wasserflüsse und des CO₂-Austauschs (Bruttoprimärproduktion=GPP; Ökosystematmung=R_{eco}) von den Ökosystemtypen im Verhältnis zu der Simulation mit 100m Auflösung ist ebenfalls gegeben.

Auflösung Landnutzung bzw. Ökosystem	1 km Et (mm)	1 km Tr (mm)	1km/100m Δ% Et	1 km/100m Δ% Tr	1km/100m Δ% GPP	1 km/100m Δ% Reco
Montaner Nadelwald	168	76	0	-1	-2	-5
Subalpiner Nadelwald	149	44	5	-10	-10	-7
Intensivst genutzte Wiese	275	124	2	1	-2	1
Weniger intensiv genutzte Wiese	222	82	-6	-7	-3	-4
Extensiv genutzte Wiese	246	96	9	13	8	11
Brachgefallene Wiese	214	71	0	-20	3	2
Alpine Matten	225	69	-6	-25	-2	-3

Die CO₂-Austauschraten zeigen ein nahezu einheitliches Bild bei der Ökosystematmung (R_{eco}) für den strahlungsarmen (JD 175) bzw. strahlungsreichen Tag (JD 178). Höhere Werte der Atmung (ca. 3g C/m²Tag) gibt es nur in den Tallagen auf den intensiver genutzten Flächen. Für die anderen Lagen sind die Raten sehr ähnlich und liegen bei ca. 1g C/m² Tag.

Die Bruttoprimärproduktion (GPP) ergibt ein differenzierteres Bild. Während die intensiver genutzten Talflächen auch an einem strahlungsarmen Tag hohe Werte (über 6g C/m² Tag) aufweisen, erreichen die Hanglagen bzw. Wälder diese Werte nur bei genügend hoher Einstrahlung. Die alpinen Grasländer zeigen eine durchweg niedrigere Produktion, unabhängig von den Strahlungsbedingungen.

Die Auswertung der Simulationen auf unterschiedlichen räumlichen Skalen (1km- gegen 100m-Auflösung) zeigt, dass ein Skalenübergang mit den bisherigen Modellen auf physiologischer Ebene durchaus möglich ist. Eine Anpassung der Parametrisierung erscheint aufgrund der in Tabelle 3 gezeigten Ergebnisse sinnvoll zu sein und muss noch umgesetzt werden.

Prototyp des Waldwachstumsmodells

Ein Schwerpunkt in der Weiterentwicklung des Modellteils *Natural* ist der Aufbau und die Parametrisierung eines einfachen Waldwachstumsmodells. Da es eine ganze Reihe derartige Modelle gibt, ist zu ergründen, welcher Typ sich am besten in das DANUBIA-Konzept einbinden lässt (Wo ist die Kopplung mit anderen Modellen? Welche Steuergrößen braucht das Modell?) und welche Fragen mit dem Modell beantwortet werden sollen (Soll die Biomasseentwicklung an sich beschrieben werden? Sollen forstliche Größen wie Bonität, Baumhöhe, Ertrag eine Rolle spielen?).

Im Prinzip gibt es zwei unterschiedliche Ansätze mit entsprechend vielen verschiedenen Unter- und Zwischenformen.

Auf der einen Seite gibt es Modelle für den speziellen Einsatz in forstlicher Hinsicht. Diese sind sehr komplex gebaut und mit einer entsprechend speziellen Parametrisierung ausgestattet. Ein bekannter Vertreter ist das SILVA-Modell (PRETZSCH et al. 2002). Hier wird ein dreidimensionales System von Einzelbäumen modelliert, wobei die Berechnung in Fünfjahresschritten erfolgt. Das Ganze ist optimiert für die forstliche Nutzung.

Die andere Seite sind Wachstumsmodelle, welche auf rein wissenschaftlichen Grundsätzen arbeiten. Dies können generalisierende Modelle sein, die einfache Zusammenhänge aus Literaturdaten und Messungen ableiten und daraus generelle mathematische Beziehungen für beliebige Waldtypen erstellen. Ein Vertreter für den diesen Typ ist das 3PG - Physiological Principles in Predicting Growth (LANDSBERG et al. 1997). Oder es können komplett prozessorientierte Modelle sein, welche wiederum entsprechend komplex aufgebaut sind. Hierzu gehört z.B. das BIOME- bzw. FOREST-BGC (THORNTON 1998; RUNNING et al. 1988; CHURKINA 2003).

Für erste Tests wurden die grundlegenden Wachstumsroutinen des Modells 3PG genommen und mit dem physiologischen Teil des *Biologicals* verknüpft. Eine schematische Übersicht hierzu zeigt Abbildung 11.

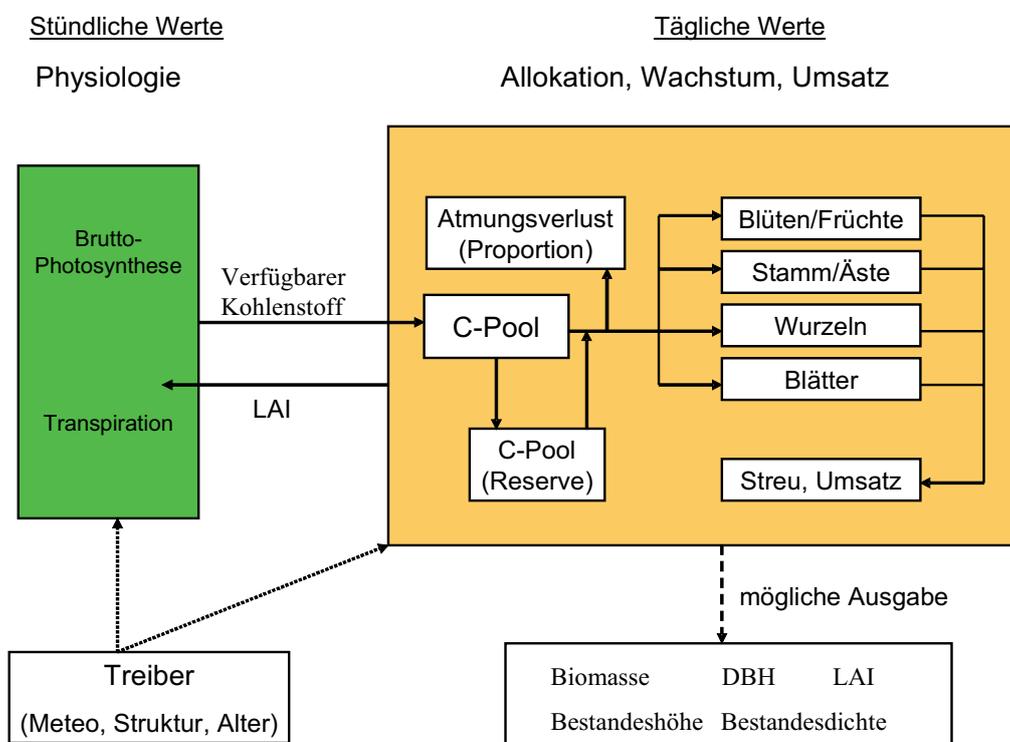


Abb. 11: Schematische Darstellung des Waldwachstumsmodells mit seiner Kopplung zum physiologischen Teil des bestehenden *Biologicals*, den notwendigen Treibern und den möglichen Modellausgaben.

Da das physiologische Modell auf Stundenbasis, die Waldwachstumsmodelle im allgemeinen auf Monats- oder Jahresbasis arbeiten, wurde zunächst geprüft, wie unterschiedlich die Werte für die Bruttoprimärproduktion (GPP), als Eingangsgröße für die Wachstumsroutinen, auf monatlicher Basis zwischen den Modellen sind. Hierzu wurde eine 10-Jahres-Simulation mit unterschiedlichen klimatischen Bedingungen durchgeführt. Abbildung 12 zeigt, dass das *Biological* tendenziell ein geringeres GPP berechnet als das 3PG. Bei hohen Werten kann es auch zur Überschätzung kommen. Wird die Regressionsgerade durch den Nullpunkt gelegt, liegen die Abweichungen bei ca. 14% bei einem R^2 von 0,89.

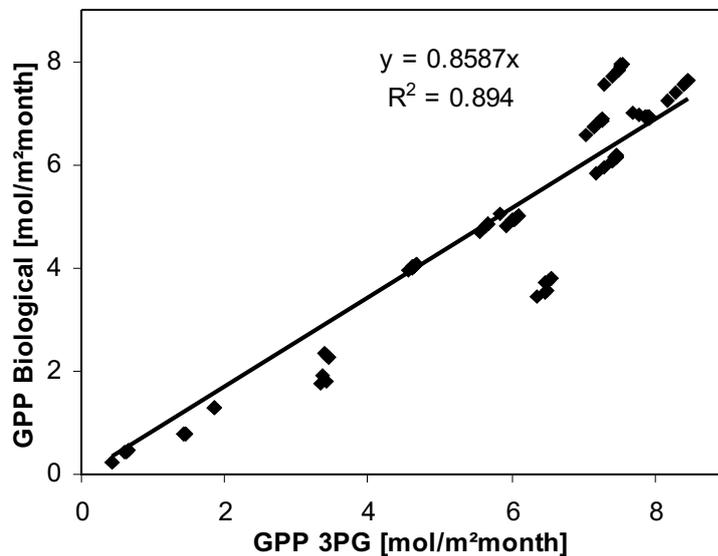


Abb. 12: Vergleich der Bruttoprimärproduktion (GPP) auf monatlicher Basis zwischen den Modellen *Biological* und 3PG. Als Grundlage dient eine 10-Jahres-Simulation mit unterschiedlichen klimatischen Bedingungen. Das Bestimmtheitsmaß R^2 ist für den Fall angegeben, dass die Regressionsgerade den Nullpunkt schneidet.

Auf dieser Grundlage wurde entschieden, dass die weiteren Tests für das Wachstum auf monatlicher Basis durchgeführt werden. Die physiologischen Berechnungen selber erfolgen weiterhin auf Stundenbasis, um mit dem Zeittakt der *Landsurface*-Komponente kongruent zu bleiben.

Abbildung 13 zeigt als ein Ergebnis einer Simulation die Blattmassenentwicklung bei Buche über einen Zeitraum von 5 Jahren. Die Berechnungen wurden in Monatsschritten auf der Grundlage der mathematischen Beziehungen des 3PG-Modells durchgeführt. Der aus der Blattmasse berechnete Blattenflächenindex (LAI) ist ebenfalls abgebildet.

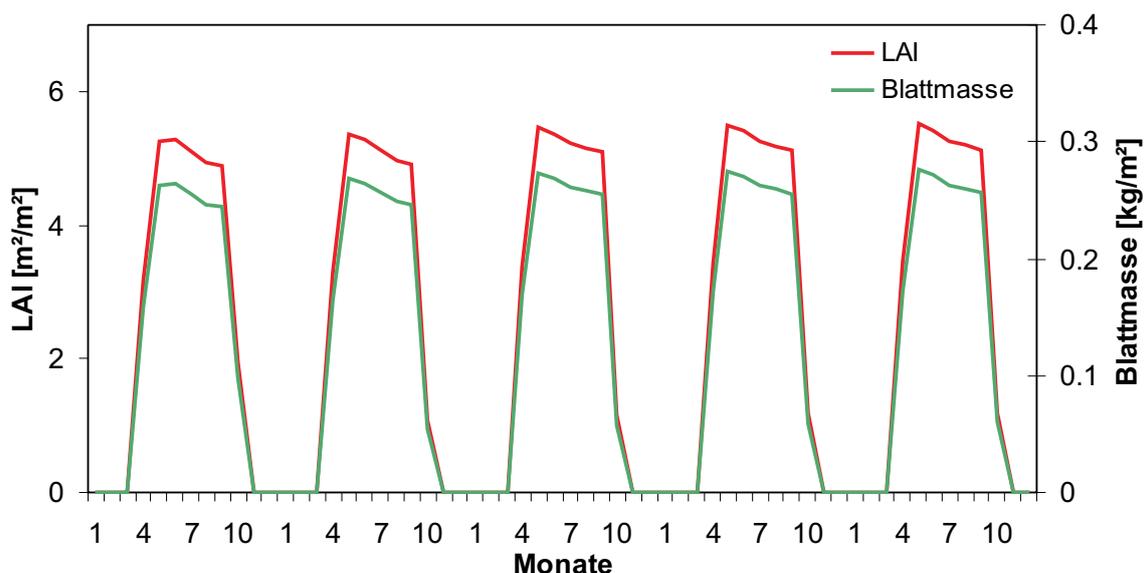


Abb. 13: Simulierte Entwicklung der Blattmasse für Buche für einen 5-Jahres-Zeitraum. Das Wachstum ist in monatlichen Schritten berechnet. Angegeben ist auch der LAI, welcher aus der Blattmasse berechnet wird.

Die Wachstumsmodellierung auf monatlicher Basis dient auch der Vergleichbarkeit mit gemessenen Daten. Während es für physiologische Daten auf Stundenbasis recht umfangreiche Datensätze gibt (z.B. aus Eddy-Kovarianz-Messungen), werden Strukturmessungen in Waldgebieten eher in großen Zeitabständen durchgeführt.

Als Grundlage zur Parametrisierung bzw. Überprüfung des Waldwachstumsmodells werden demnächst Datensätze für einen Buchen- bzw. Fichtenstandort zur Verfügung stehen.

Die Daten werden dankenswerterweise von André Granier (INRA, Nancy) für den Buchenstandort Hesse (Frankreich) und von Prof. Christian Bernhofer (Technische Universität Dresden) für den Fichtenstandort Tharandt (BRD) zur Verfügung gestellt. Diese umfassen verschiedene Meßreihen (Struktur, Eddy-Kovarianz, Klima) von ca. 1996-2004.

Ausblick

In der verbleibenden Zeit der Phase II des Projekts GLOWA-Danube wird als Schwerpunkt das Waldwachstumsmodell weiterentwickelt.

Nach Auswertung der entsprechenden Datensätze von A. Granier und C. Bernhofer wird das Modell auf verschiedenen zeitlichen Skalen (Stunde, Tag, Monat) getestet. Diese Tests dienen der Fehlerabschätzung hinsichtlich der Skalenübergänge. Des Weiteren sollen sie zeigen, inwieweit die zeitliche Skala die Performanz des Modells signifikant beeinflusst.

Soweit es sich als notwendig und sinnvoll erweist, wird das Waldwachstumsmodell hinsichtlich seiner Prozesse erweitert. Als Grundlage hierzu kann das BIOME- bzw. FO-REST-BGC-Modell (THORNTON 1998; RUNNING et al. 1988) dienen, welches noch auf die Zweckhaftigkeit im Rahmen des *Biological*-Modells zu prüfen ist.

Aufgrund der Arbeiten zur Waldentwicklung von KONNERT (2000) im Nationalpark Berchtesgaden soll eine Validierung des Waldwachstumsmodell für dieses Gebiet ermöglicht werden.

4. Literatur

KOLCUN, O. (2006): Water Use of Forests Along Elevation Gradients in the Berchtesgaden National Park. Doctoral Thesis, University of Bayreuth, 203 S.

KÖRNER, C. (2003): Alpine Plant Life. Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems. Springer Verlag, Heidelberg, 337 S.

ADIKU, S.G.K., REICHSTEIN, M., LOHILA, A., DINH, N.Q., AURELA, M., LAURILA, T., LUEERS, J. und TENHUNEN, J.D. (2006): PIXGRO: A model for simulating the ecosystem CO₂ exchange and growth of spring Barley. Ecological Modelling 209, S. 260-276.

REICHSTEIN, M. (2001): Drought Effects on Carbon and Water Exchange in Three Mediterranean Ecosystems. Bayreuther Forum Ökologie 89, 150 S.

LANDSBERG J. et al. (1997): A generalised model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning, Forest Ecology and Management 95: S. 209-228.

RUNNING S. et al. (1988): A general model of forest ecosystem processes for regional applications, I. Hydrologic Balance, canopy gas exchange and primary production processes, Ecological Modelling 42, S. 125-154.

CHURKINA G. et al (2003): Analyzing the Ecosystem Carbon Dynamics of Four European Coniferous Forests using a Biogeochemistry Model, Ecosystems 6, S. 168-184.

- PRETZSCH H. et al. (2002): The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation. *Forest Ecology and Management* 162, S. 3-21.
- KONNERT V. (2000): Waldentwicklung im Nationalpark Berchtesgaden von 1983 bis 1997, Gemeinsame Auswertung der 1. und 2. permanenten Stichproben-Inventur, *Forschungsbericht* 43, S. 7-92.
- THORNTON, P.E. (1998): Description of a numerical simulation model for predicting the dynamics of energy, water, carbon, and nitrogen in a terrestrial ecosystem. Ph.D. dissertation, University of Montana, Missoula, MT, 280 S.

Modellierung der Auswirkungen landwirtschaftlicher Nutzungsänderungen und Anbaumethoden auf Wasser-, Nährstoff- und Kohlenstoffflüsse

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

1. Organisation

1.1 Kurzbeschreibung der Aufgabe des Teilprojektes

Zentrale sektorale Aufgaben des in der zweiten Projektphase neu eingerichteten Teilprojekts Agrarökosysteme sind die Entwicklung eines flächendetaillierten, mesoskaligen Wachstumsmodells für landwirtschaftliche Nutzpflanzen innerhalb des *Biological*-Modellsmodellierung der Stickstoffumsatzprozesse sowie die Modellierung des Stickstoffumsatzprozesses innerhalb des *Soil*-Modells. Beide Modellkomponenten bilden die Grundlage zur Abschätzung der Auswirkungen des Klimawandels sowie landwirtschaftlicher Nutzungsänderungen auf Wasser-, Stickstoff- und Kohlenstoffflüsse. Gegenstand der laufenden Bewilligungsphase ist neben der Neu- und 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 der Stickstoffdynamik in Agrarökosystemen. In Kooperation mit den Projektpartnern ist die Entwicklung entsprechender Schnittstellen insbesondere zu der Modellkomponente *Farming* von zentraler Bedeutung. Aus der räumlich und zeitlich unterschiedlichen Entwicklung der landwirtschaftlichen Erträge wird in der Modellkomponente *Farming* über Bewirtschaftungsalternativen entschieden (*FarmingDecider*). Die Stickstoffumsatzmodellierung ermöglicht die flächenverteilte Abschätzung des Stickstoffaustrags in das Grundwasser. Dies ist eine wichtige Eingangsgröße für die Modellierung der zukünftigen Wasserqualitätsentwicklung in der Modellkomponente *Groundwater*.

1.2 Personal

1.2.1 Wissenschaftler

Für die Durchführung des Forschungsvorhabens waren die zugewiesenen Personalstellen der Ergänzungsausstattung im Berichtszeitraum folgendermaßen besetzt:

- 1 x BAT IIa/2 (Doktorand) mit Herrn Dipl.-Geogr. Christian Klar. Herr Klar beschäftigte sich im Projektteil Stickstoffumsatz mit der Entwicklung einer Modellkomponente zur mesoskaligen, prozessorientierten Modellierung der Stickstoffumsatzprozesse im Boden und führte Geländemessungen für die Modellvalidierung durch.
- 1 x BAT IIa/2 (Doktorandin) mit Frau Dipl.-Geogr. Victoria Lenz. Frau Lenz beschäftigte sich im Projektteil Pflanzenwachstum mit der prozessbasierten Wachstumsmodellierung landwirtschaftlicher Nutzpflanzen und der Analyse der Auswirkungen des globalen Wandels auf das Pflanzenwachstum. Zudem führte sie Geländemessungen durch, welche teils der Modellvalidierung und teils der Parametrisierung dienen.

- 1 x BAT IIa/2 war vom 01.09.2004 bis 31.01.2005 mit Frau Dipl.-Met. Susan Pohle besetzt. Sie war mit dem Aufbau einer Eddy-Kovarianz-Station beschäftigt und führte erste Testmessungen durch. Aufgrund des Wechsels von Frau Pohle auf eine Promotionsstelle im Meteorologischen Institut übernahm Herr Dipl.-Geogr. Marius Schmidt ab dem 1.4.2005 diese Aufgaben und die Untersuchungen zu CO₂-Flüssen und Transpiration von Zuckerrübenbeständen.

Darüber hinaus wurden die Arbeiten des Teilprojektes aus der Grundausrüstung durch Dr. P. Fiener, Dr. M. Thönnessen und Prof. Dr. K. Schneider in der Projektadministration, wissenschaftlichen Betreuung, Laborarbeiten und Modellentwicklung unterstützt.

1.2.2 Studentische Hilfskräfte

- | | |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Frank, Tobias | - Unterstützung bei Geländemessungen, Laboranalysen |
| Neuhaus, Peter | - JAVA-Programmierung, Unterstützung bei Geländemessungen, Administration der Testumgebung |
| Wendt, Hanno | - JAVA-Programmierung, Systemadministration, Administration der Testumgebung |

1.3 Veranstaltungen

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

- 2. *GLOWA-Statuskonferenz*, 17.-19. Mai 2005, Köln.
- *GLOWA-Projekttreffen*, 11. Juli 2005, Geographisches Institut der LMU.
- *Workshop Modelling 2005*, 19./20. September 2005 im UfZ (Umweltforschungszentrum Halle-Leipzig). "Modelling soil processes in different time scales", Vortrag zum Thema: „Designing an object-oriented architecture for the process-based modelling of soil nitrogen fluxes in DANUBIA“ (Klar, Neuhaus).
- *Stakeholder-Treffen* „Veränderung von Landnutzung und Wasserbedarf im Donaueinzugsgebiet unter Global Change Bedingungen“, 20. Oktober 2005, München.
- *GLOWA-Klausurtagung*, 30. November-3. Dezember 2005, Linden.
- *Koordinationstreffen mit dem Teilprojekt* "Natürliche Ökosysteme", 12./13. Dezember 2005, Geographisches Institut der Universität zu Köln.
- *Workshop zur Programmierung von Datenloggern der Firma Campbell Scientific*, 8. März 2006, Innovations- und Technologiezentrum, Bremen.
- *Workshop zu Bodenkammer-Messsystemen des Herstellers Licor*, 23./24. März 2006, Interdisziplinäres Forschungszentrum (IFZ) Institut für Pflanzenökologie, Giessen.

1.4 Publikationen

- COLGAN, A., KRIMLY, T., PROBECK, M. und SCHNEIDER, K.: Teilprojekt Koordination - Landbedeckung und Landnutzung. In: GLOWA-Danube-Projekt, Universität München, LMU (Hrsg.): Global Change Atlas, Einzugsgebiet Obere Donau. München, im Druck.
- DABBERT, S., FIENER, P., HENSELER, M., KLAR, C., KRIMLY, T., LENZ, V., SCHARFENBERG, H.-J., SCHNEIDER, K., TENHUNEN, J., WIRSIG, A., und ZARATE, M. (2005): Landuse und Agriculture: Integration Results. 2nd GLOWA Statusconference. May 17-19, 2005, Cologne. Poster.

- FIENER, P., KLAR, C., LENZ, V., SCHARFENBERG, H.-J., SCHNEIDER, K. und TENHUNEN, J. (2005): Modeling Plant Growth, Water, Nitrogen and Carbon Fluxes. 2nd GLOWA Statusconference. May 17-19, 2005, Cologne. Poster.
- FIENER, P., KLAR, C., LENZ, V., SCHARFENBERG, H.-J., SCHNEIDER, K. und TENHUNEN, J.: Teilprojekt Pflanzenökologie - Pflanzenwachstum und Biomasseproduktion. In: GLOWA-Danube-Projekt, Universität München, LMU (Hrsg.): Global Change Atlas, Einzugsgebiet Obere Donau. München, im Druck.
- FIENER, P., KLAR, C., LENZ, V., SCHARFENBERG, H.-J., SCHNEIDER, K. und TENHUNEN, J.: Teilprojekt Pflanzenökologie - CO₂-Flüsse und Transpiration. In: GLOWA-Danube-Projekt, Universität München, LMU (Hrsg.): Global Change Atlas, Einzugsgebiet Obere Donau. München, im Druck.
- LENZ, V., KOHRING, K. und SCHNEIDER, K. (2005): Deriving plant parameters from remote sensing data for assimilation into crop growth models. In: ERASMI, S., CYFFKA, B. und KAPPAS, M. (Eds.)(2005): Remote Sensing GandIS for Environmental Studies: Applications in Geography. Göttinger Geographische Abhandlungen 113, Göttingen.
- SCHNEIDER, K. und V. LENZ, V. (2005) The use of remote sensing data in a spatially-distributed land surface process model. Proc. ISSDQ Beijing
- STRASSER, U., MAUSER, W., LUDWIG, R., SCHNEIDER, K., LENZ, V., BARTHEL, R. und SAX, M. (2005): GLOWA-Danube: Integrative Global Change Scenario Simulations for the Upper Danube Catchment - First Results. In: Papers of the International Conference on Headwater Control VI: Hydrology, Ecology and Water Resources in Headwaters. IAHS, Bergen, Norway.

1.5 Laufende Abschlussarbeiten

- BÜNEMANN, E. (2006): Der Einfluss der Variabilität von Temperatur und Niederschlag auf die ackerbauliche Produktion in Oberbayern. Zulassungsarbeit.
- FRANK, T. (2006): Untersuchungen zur Dynamik der Stickstoffpools im Boden unter verschiedenen landwirtschaftlichen Nutzungen. Diplomarbeit.
- KORRES, W. (2006): Untersuchung zur zeitlichen und räumlichen Variabilität der Bodenatmung unter zwei verschiedenen landwirtschaftlichen Kulturen. Diplomarbeit.

2. Sektorale Arbeiten

2.1 Ziele für den Berichtszeitraum

Zur Abschätzung des gegenwärtigen und zukünftigen Wasserumsatzes im Einzugsgebiet der Oberen Donau ist eine Modellierung des Pflanzenwachstums unterschiedlicher Ökosysteme und der damit in Zusammenhang stehenden Wasser-, Nährstoff- und Kohlenstoffflüsse von zentraler Bedeutung. Um den deutlichen Unterschieden in der Modellierung von natürlichen Ökosystemen und Agrarökosystemen Rechnung zu tragen, wurde in der zweiten Projektphase das Teilprojekt Agrarökosysteme neu eingerichtet. Die Modellierung des Pflanzenwachstums erfolgt nun in zwei Teilprojekten: Natürliche Ökosysteme (Bayreuth, Prof. Tenhunen) und Agrarökosysteme (Köln, Prof. Schneider).

In Agrarökosystemen sind Bewirtschaftungsmaßnahmen und Anbauentscheidungen als Steuerungsgrößen für die Wasser-, Nährstoff- und Kohlenstoffflüsse von großer Bedeutung. Das Teilprojekt Agrarökonomie (Prof. Dabbert, Hohenheim) stellt diese Bewirtschaftungsinformationen bereit, die über Schnittstellen bei der Modellierung berücksichtigt werden. Aufbauend auf Vorarbeiten aus Bayreuth bearbeitet das Teilprojekt "Agrarökosysteme" die Modellierung des Pflanzenwachstums landwirtschaftlicher Nutzpflanzen und ergänzt den

Modellansatz durch die Modellierung des Stickstoffumsatzes, der insbesondere in Agrar-ökosystemen eine der wichtigsten Steuerungsgrößen für das Pflanzenwachstum ist.

Aufgrund des Einstiegs in die zweite Förderphase des Projekts war zunächst eine intensive Einarbeitung in das komplexe technische Rahmenwerk von DANUBIA erforderlich. Folgende wissenschaftliche Ziele standen im Zentrum der Arbeiten: (i) Verbesserung der bestehenden Nutzpflanzen-Modellkomponenten, (ii) Neuentwicklung von Wachstumsmodellen für landwirtschaftliche Nutzpflanzen, (iii) Entwicklung, Implementierung und Validierung eines Stickstoffumsatzmodells für die Mesoskala, (iv) Abstimmung des Datenaustausches über die Schnittstellen, um zukünftige landwirtschaftliche Nutzungsänderungen in Wechselwirkung mit dem Teilprojekt Agrarökonomie abbilden zu können und (v) Durchführung von Geländemessungen und Aufbau einer Datenbank aus eigenen und externen Daten zur Modellvalidierung.

2.2 Material und Methoden

2.2.1 Modellansätze zur Pflanzenwachstumsmodellierung

Um im Rahmen von Glowa-Danube Szenarien für den zukünftigen Wasserhaushalt im Einzugsgebiet der Oberen Donau untersuchen zu können, muss das Pflanzenwachstum auch unter geänderten Klimabedingungen korrekt abgebildet werden. Voraussetzung dafür ist eine prozessbasierte Pflanzenwachstumsmodellierung, welche die Auswirkungen eines geänderten atmosphärischen CO₂-Gehaltes, einer geänderten Lufttemperatur sowie einer veränderten Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit berücksichtigt.

Auf den Arbeiten des Bayreuther Teilprojektes Natürliche Ökosysteme aufbauend, wird das Wachstum von Winterweizen, Sommergerste, Mais und Wiesen simuliert. Die bisherigen Modellteile für die genannten Kulturen sind vom Teilprojekt Agrarökosysteme gründlich überarbeitet und verbessert worden. Die Wachstumsmodellierung von Zuckerrüben und Kartoffeln befindet sich zur Zeit in der Entwicklung.

Die bedeutendsten Prozesse für die Modellierung des Wachstumsverlaufes und der Biomasseproduktion sind: Phänologie, Photosynthese, Transpiration, Respiration, Wurzelwachstum, Wasser- und Stickstoffaufnahme, Allokation des produzierten Kohlenstoffs und des aufgenommenen Stickstoffs, Absterben der Pflanzensubstanz (Seneszenz) sowie Stressreaktionen.

Die bisherige Modellierung der **Phänologie** auf Basis von Temperatursummen wurde durch einen detaillierteren Ansatz abgelöst. Dieser berücksichtigt nicht nur die Lufttemperatur als Einflussfaktor, sondern auch die Vernalisation (Blühinduktion durch Kälteperiode) und den Photoperiodismus (Tageslängenabhängigkeit von Entwicklungsvorgängen). Der Einfluss der Umweltparameter Temperatur, Kälteperiode und Beleuchtungsdauer wird jeweils als nichtlineare Funktion abgebildet und bestimmt die tägliche Entwicklungsrate der Pflanzen in einem multiplikativen Modell (STRECK et al. 2003). Während die Vernalisation nur bei Wintergetreide bedeutsam ist, wird bei der Tageslängenabhängigkeit in Langtags- und Kurztagspflanzen unterschieden (z.B. Winterweizen bzw. Mais). Der Zeitpunkt der Keimung wird mit Hilfe der Parameter Bodentemperatur- und feuchte ermittelt. Die bisherige Einteilung in lediglich fünf Entwicklungsphasen ist durch elf Phasen ersetzt worden. Als Basis dient die erweiterte BBCH-Skala (**B**iologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, **B**undessortenamt und **C**hemische Industrie) zur einheitlichen Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen (BBA 2001).

Die Prozesse der **Photosynthese, Transpiration und Respiration** bestimmen die CO₂- und Wasserflüsse (Gasaustausch) der Pflanzen. Sie werden in *Biological* durch Teilmodelle der Energiebilanz am Blatt, der biochemischen Photosynthese (FARQUHAR und von CAEMMERER 1982; HARLEY und TENHUNEN 1991) und der stomatären Leitfähigkeit (BALL, WOODROW und BERRY 1987) abgebildet. Die CO₂- und Wasserflüsse werden prozessbasiert, gekoppelt und wechselwirkend modelliert. So bestimmt beispielsweise die

Transpiration über die Energiebilanz die Blatttemperatur, welche wiederum die Raten der biochemischen Photosynthesereaktionen maßgeblich beeinflusst.

Die Modellierung des Gasaustausches wurde bereits in der ersten Förderphase von dem Teilprojekt Natürliche Ökosysteme implementiert. Innerhalb des Teilprojektes Agrarökosysteme wird die spezifische Parametrisierung für die verschiedenen Nutzpflanzen vorgenommen. So erfordert beispielsweise das Photosynthesemodell pflanzenartsspezifische physiologische Parameter wie den CO₂-Kompensationspunkt, die Lichtausnutzungseffizienz, die Carboxylierungs-, RuBP (Ribulose-1,5-bisphosphat)- Regenerations- und Atmungskapazität der Blätter. Zur Bestimmung dieser Parameter dienen sowohl in der Literatur verfügbare Daten als auch eigene Messungen. Mit einem tragbaren Porometer wurden zahlreiche Messreihen (Licht- und A/Ci-Kurven) des Blattgaswechsels verschiedener Nutzpflanzenarten (Winterweizen, Mais, Zuckerrüben, Kartoffeln) vorgenommen.

Die Modellierung des **Wurzelwachstums** erfolgt in drei Bodenschichten. Für alle Nutzpflanzen wurde der Modellansatz aus CERES (JONES und KINIRY 1986) übernommen, welcher die Wurzelbiomasse unter Berücksichtigung bodenhydraulischer Parameter sowie der aktuellen Wasser- und Stickstoffverfügbarkeit auf die Bodenschichten verteilt. Herrscht in den oberen Bodenschichten Wasser- oder Stickstoffmangel, wird ein verstärktes Wurzelwachstum in der Tiefe simuliert. Proportional zur Wurzellängendichte wird die Wasser- und Nährstoffaufnahme modelliert. Entsprechend der Stickstoffumsatzmodellierung (siehe Kap. 2.2.2) wurde für die Modellierung der **Wasser- und Stickstoffaufnahme** ebenfalls der CERES-Ansatz übernommen. Die Wasseraufnahme aus jeder Bodenschicht wird als Funktion des pflanzenverfügbaren Bodenwassergehaltes, der Wurzellängendichte und der Transpiration berechnet. Differenziert in Ammonium und Nitrat wird die Stickstoffaufnahme der Pflanzen je nach Verfügbarkeit in den verschiedenen Schichten modelliert. Hierbei werden die Wurzellängendichte, der Bodenwassergehalt, die mineralischen Stickstoffreservoirs und der aktuelle Stickstoffbedarf der Pflanzen berücksichtigt.

Die Allokation des produzierten Kohlenstoffs wird bisher durch statische Allokationsfaktoren als Funktion der phänologischen Phasen modelliert. Da jedoch Umweltbedingungen die **Verteilung der Assimilate und des Stickstoffs** auf die Pflanzenorgane modifizieren, wird in der nächsten Modellversion das Konzept der dynamischen Allokationsmodellierung eingesetzt. Dieser im Model GECROS implementierte Ansatz basiert auf der Theorie des funktionalen Gleichgewichtes zwischen Wurzel und Spross und ermöglicht eine Kopplung der C- und N-Allokation (YIN und VAN LAAR 2005). Entsprechen die neu gebildeten Assimilate während der phänologischen Kornfüllungsphase nicht dem Bedarf, so wird dieser durch den als Reserve modellierten Anteil des Kohlenstoffs gedeckt. Aufgrund der Bereitstellung des Nutzpflanzenenertrags für das Teilprojekt Agrarökonomie kommt der Modellierung der Allokation eine wesentliche Bedeutung zu. In Verbindung mit der dynamischen Allokationsmodellierung soll die **Seneszenz** in Abhängigkeit des Stickstoffgehaltes und somit physiologisch begründet abgebildet werden. Sinkt der Stickstoffgehalt in den Blättern unter den für die Photosynthese erforderlichen Wert, so sterben diese ab.

Insbesondere im Hinblick auf den globalen Klimawandel und Änderungen der agrarischen Bewirtschaftung ist zur Bewertung künftiger Szenarien die Berücksichtigung von **Wasser- und Stickstoffmangel** bei der Wachstumsmodellierung unerlässlich. Gemäß dem CERES-Modellansatz entspricht die Bodenwasserentnahme durch die Pflanzen zunächst der potentiellen Transpiration. Ist nicht genug pflanzenverfügbares Bodenwasser vorhanden, wird die Wasser-aufnahme und damit die potentielle Transpiration dementsprechend reduziert (tatsächliche Transpiration). Ausgehend von der Annahme eines partiellen Stomataschlusses bei Wasserstress wird folglich die Rate der Bruttopräprimärproduktion verringert. Bisher wird Stickstoffmangel lediglich bei der Modellierung des Wurzelwachstums berücksichtigt (siehe oben), in Zukunft wird die Stressreaktion komplexer im Zusammenhang mit der Stickstoff-Allokation abgebildet werden.

Alle genannten Modellansätze beruhen auf pflanzenartspezifischen Parametrisierungen. Derzeit sind prozessbasierte Wachstumsmodelle für Winterweizen (stellvertretend für Wintergetreide), Sommergerste (für Sommergetreide), Mais (für Hackfrüchte) und Wiesen/Weiden implementiert. Die Ernteerträge der restlichen zehn Nutzpflanzenkulturen werden momentan empirisch aus den modellierten Ernteerträgen von Nutzpflanzen mit vergleichbarer Phänologie abgeleitet. Grundlage für die Regressionsbeziehungen bilden Ertragsstatistiken über mehrere Jahre (BStMLF 2004). Diese Ableitung der Erträge wird sukzessiv durch prozessbasierte Wachstumsmodelle ersetzt.

2.2.2 Modellansätze zur Stickstoffumsatzmodellierung

In DANUBIA werden die Stickstoffumsätze und -flüsse prozessorientiert modelliert. Als Grundlage dient das von JONES und KINIRY (1986) entwickelte Modell CERES Maize 2.0, das in einer Vielzahl von Arbeiten (ALLISON und ENTEMANN 1993; HOFFMANN 1993; MOORE 1999; RITCHIE und OTTER 1985; RITCHIE und GODWIN 1993) bereits erfolgreich getestet wurde. Sein Komplexitätsgrad und die prozessnahe Abbildung der Stickstoffumsetzungen im Boden stellen eine geeignete Kombination dar, um die Reaktionen des Systems Boden-Pflanze auf den Globalen Klimawandel hinsichtlich N-Bedarf, -Verfügbarkeit und -Verlagerung (Auswaschung, N₂O-Emissionen) zu untersuchen. Es ist in der Wissenschaft etabliert und gut validiert. Ferner ist der Code samt Dokumentation frei zugänglich. Die vom Stickstoffumsatzmodell abgebildeten Umsetzungsprozesse sind Mineralisation, Immobilisation, Nitrifikation, Denitrifikation und die Hydrolyse von Harnstoff (Abb. 1). Zudem wird die Nitratauswaschung in das Grundwasser modelliert und somit ein zentraler Wasserqualitätsparameter bereitgestellt.

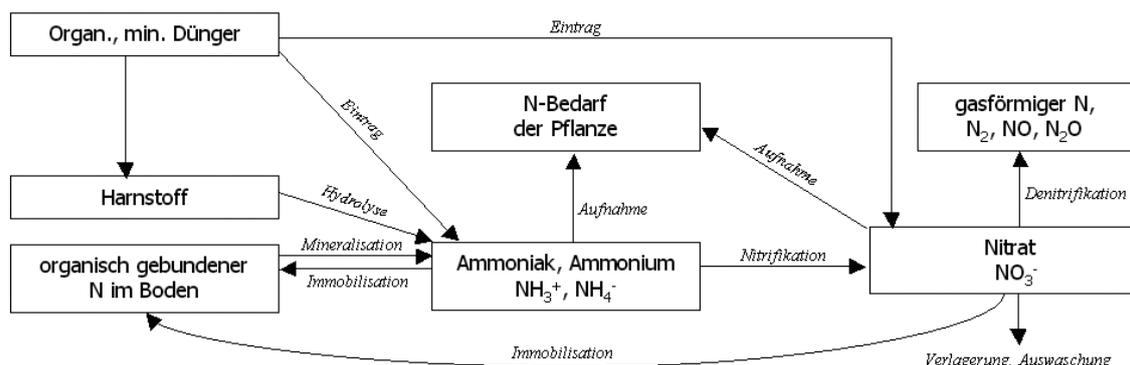


Abb. 1: Schematischer Überblick der Stickstoffumsatzmodellierung

Mit Ausnahme der Hydrolyse von Harnstoff (Annahme: Düngerapplikation erfolgt nur auf Oberfläche bzw. in der obersten Schicht) werden die Prozesse für jede Bodenschicht separat modelliert, wobei eine vertikale Verbindung zwischen den Schichten durch die Modellierung von Translokationsprozessen besteht. Laterale N-Verlagerung im Boden werden auf der gegebenen Raumskala nicht berücksichtigt. Mit täglichem Zeitschritt werden mikrobiellen Umsatzprozesse und -raten modelliert. Dabei wird die potentielle Umsatzrate durch limitierende Faktoren reduziert. Die Berechnung der Faktoren für die Prozesse Mineralisation/Immobilisation, Nitrifikation, Denitrifikation sowie die Hydrolyse von Harnstoff erfolgt auf Grundlage der Bodentemperatur und -feuchte (Tagesmittelwerte). Weitere wichtige Parameter sind der C-Gehalt und das C:N-Verhältnis. Beide werden dynamisch modelliert. Physikalische Eigenschaften unterschiedlicher Böden werden durch die Verwendung bodenartspezifischer Modellparameter (nutzbare Feldkapazität, Welkepunkt, Sättigungswassergehalt und Trockenlagerungsdichte) berücksichtigt. Durch einen Kaskadenansatz, der auf der Modellierung der Wasserflüsse im *Soil*-Modell basiert, wird die vertikale Stickstoffverlagerung (nur als Nitrat) abgebildet. Zunächst wird der Anteil des perkolierenden Wassers am gesamten Wassergehalt der Bodenschicht berechnet und dann die vertikal verlagerte Nitratmenge. Sie ergibt sich aus dem mit dem diesem Perkolationsanteil multiplizierten Nitratgehalt der Schicht (GODWIN und SINGH 1998). Die Modellierung der N-Verlagerung erfolgt mit stündlichem Zeitschritt.

Das Modell ist in der Lage, die Dynamik von vier unterschiedlichen Stickstoffreservoirs im Boden abzubilden. Dazu zählt neben den beiden pflanzenverfügbaren mineralischen N-Verbindungen Nitrat (NO_3^-) und Ammonium (NH_4^+) der in der organischen Substanz festgelegte Stickstoff (N in der frischen organischen Substanz, N im Humus).

Im Zusammenhang mit den Umsetzungsprozessen spielen anthropogene Einträge in das System in Form von mineralischen und organischen Düngern eine zentrale Rolle. Daher ist die Modellierung des Düngereintrags ein wesentlicher Bestandteil des Modells. Die Schnittstelle zum *Farming*-Modell wurde sowohl im Bezug auf die Stickstoffflüsse als auch auf weitere landwirtschaftliche Anbaumaßnahmen wesentlich erweitert. Die Schnittstelle zum Pflanzenwachstumsmodell ermöglicht die dynamische und prozessorientierte (pflanzenphysiologischer N-Bedarf) Modellierung des N-Entzugs durch die Pflanzen.

Die N-Reservoirs, physikalische Bodeneigenschaften und weitere Parameter (z.B. hydraulische Bodeneigenschaften) werden mit Literaturwerten oder mit eigenen Geländemessungen (N-Gehalte im Boden etc.) initialisiert.

2.2.3 Validierungskonzept für die Pflanzenwachstumsmodellierung

Modellvalidierung auf der Punkt- und Feldskala

Die modellierten Prozesse des Pflanzenwachstums werden auf der Punkt- bzw. Feldskala anhand einer Vielzahl von bestehenden Datensätzen und eigener Messungen validiert (Abb. 2).

Vom Projektpartner Hydrologie/Fernerkundung in München liegen langjährige Messungen (1992-2001) für verschiedene Nutzpflanzen im Ammerinzugsgebiet vor. Im wesentlichen sind dies zwei- bis vierwöchige Messungen der folgenden Parameter für Wiesen, Winterweizen, Sommergerste und Mais: Trockengewicht der Biomasse, Phänologie und Wuchshöhe; zudem für einzelne Testfelder Blattflächenindex, Feucht- und Trockengewicht sowie C- und N-Gehalte der einzelnen Pflanzenorgane. Für die Validierung der Modellierung des Zuckerrübenwachstums werden Messungen zur Blattflächen- und Biomasseentwicklung von Zuckerrüben eingesetzt werden, die im Rahmen einer Dissertation am Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen erhoben wurden. Diese Messungen wurden auf repräsentativen Standorten der Zuckerrüben-Anbauregionen Deutschlands in den Jahren 2000 und 2001 durchgeführt und umfassen 14 Versuchsfelder mit deutlich heterogenen Witterungsverhältnissen (KENTER 2003). Zusätzlich stehen Geländemessungen zur Bio-

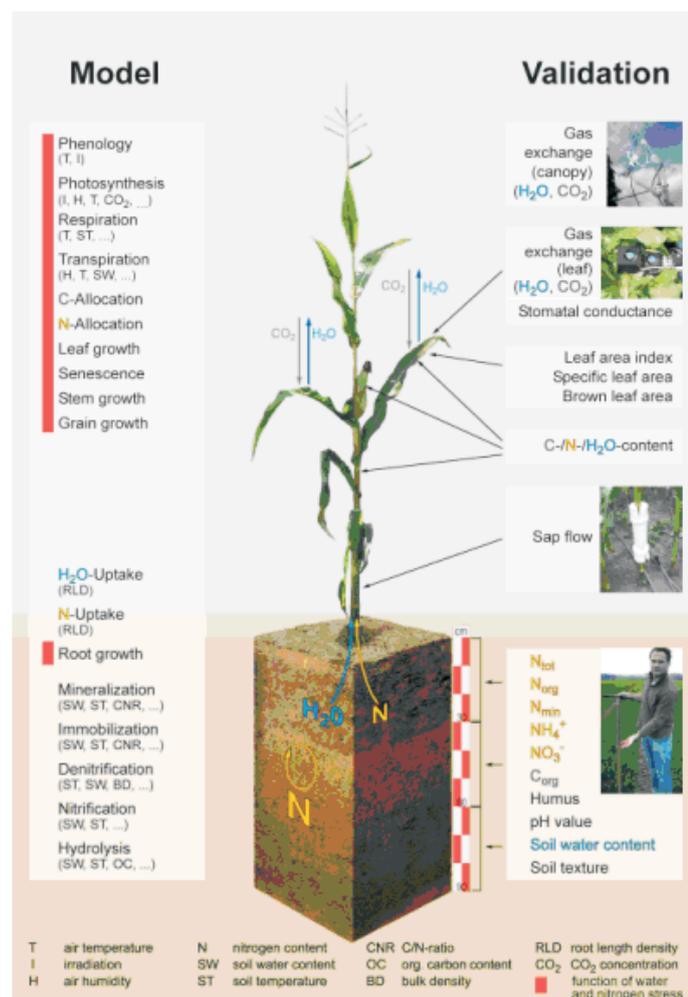


Abb. 2: Übersicht der modellierten Prozesse (Model, linke Spalte) und der Geländemessungen, die zur Validierung herangezogen werden (Validation, rechte Spalte)

Zusätzlich stehen Geländemessungen zur Bio-

masseentwicklung bei Winterweizen, Sommergerste, Kartoffeln und Zuckerrüben aus den Jahren 1989 – 1991 im Harzvorland zur Verfügung (McVOY et al. 1995).

Die vorhandenen Datensätze zur Validierung werden durch eigene Geländemessungen ergänzt (Tab. 1), die teilweise auch zur Modellparametrisierung verwendet werden. Zwischen 2003 und 2005 wurden im Siegeinzugsgebiet östlich von Bonn Messungen zur Biomasse- und Blattflächenentwicklung sowie zur Wuchshöhe und Phänologie von Mais, Winterweizen, Zuckerrüben, Kartoffeln sowie unterschiedlich bewirtschafteter Wiesen durchgeführt. Alle Messungen erfolgten während der Vegetationsperiode im Abstand von zwei bis drei Wochen, wobei die Messkampagnen zum CO₂-Austausch am Blatt witterungsabhängig durchgeführt wurden.

Da das Jahr 2003 durch unterdurchschnittliche Niederschlagsmengen und außergewöhnlich hohe Sommertemperaturen geprägt war, lässt sich die Güte des Modells in Bezug auf die Abbildung von Wachstumsstress untersuchen.

Tab. 1: Übersicht der Messparameter, die im Siegeinzugsgebiet im Zeitraum zwischen 2003 und 2005 erfasst wurden

Messparameter	Messverfahren bzw. Messgerät	Bezug zum Modell
Blattflächenindex (gesamt)	indirektes Verfahren <i>SunScan Canopy Analysis System</i>	Validierung der Blattflächenentwicklung und Seneszenz
Blattflächenindex (getrennt nach grüner und brauner Blattfläche)	direktes Verfahren <i>LI-3000A und LI-3050A</i>	
Biomasse (Feucht- und Trockengewicht, getrennt nach Pflanzenorganen)	destruktiv	Validierung der Biomasseentwicklung und Allokation der Assimilate
C- und N-Gehalt der Biomasse (getrennt nach Pflanzenorganen)	Laboranalyse <i>CNS-Elementaranalysator</i>	Validierung der C- und N-Aufnahme sowie C- und N-Allokation
Phänologie		Validierung der Phänologie
Wuchshöhe		Validierung der Wuchshöhe
CO ₂ -Austausch am Blatt (Licht- und A/Ci-Kurven)	Porometer <i>CIRAS-1, Blattkuvette PLC6 (U)</i>	Parametrisierung der pflanzenphysiologischen Größen für die Photosynthese- und Transpirationsmodellierung
CO ₂ -Austausch am Blatt, Blattwiderstand (unter herrschenden Umweltbedingungen)		Validierung der Photosynthese- und Transpirationsmodellierung
vertikale PAR (photosynthetisch aktive Strahlung)-Verteilung im Bestand	<i>SunScan Canopy Analysis System</i>	Validierung der Strahlungsverteilung im Bestand
Gesamtchlorophyllgehalt des Blattes	optisches Verfahren <i>Hydro N-Tester</i>	Validierung des Blattstickstoffgehaltes
H ₂ O-Fluss über einem Bestand	<i>Bowen-Ratio-System</i>	Validierung der Transpiration (Bestand)
H ₂ O- und CO ₂ -Flüsse über einem Bestand	<i>Eddy-Kovarianz-System (Campbell)</i>	Validierung der Transpiration und CO ₂ -Aufnahme (Bestand)
Bodenrespiration	<i>Bodenatmungskammer CFX1, Gasanalysator EGM-4</i>	Validierung der CO ₂ -Aufnahme (Bestand) in Verbindung mit dem Eddy-Kovarianz-Messsystem

Zur Erweiterung der Messungen, die ab 2003 vorliegen, wurden im Jahr 2004 vier weitere Messsysteme in Betrieb genommen: eine Saftflussmessanlage, ein Eddy-Kovarianz-Meßsystem, ein Bowen-Verhältnis-Messsystem und eine Bodenatmungskammer. Während im Jahr 2004 erste Testmessungen mit den neuen Stationen durchgeführt wurden, liegen für die Vegetationsperiode im Jahr 2005 größtenteils kontinuierliche Messreihen der Stationen vor. Sämtliche Messungen wurden auf dem Dikopshof (Versuchsgut der Universität Bonn) durchgeführt.

Das Eddy-Kovarianz-System wurde in einem Zuckerrübenfeld eingesetzt. Die Messreihen decken den Zeitraum von Mitte Mai bis Ende September 2005 ab. Das Messsystem dient primär zur Bestimmung der CO_2 -, H_2O - und Energieflüsse über dem Bestand. Zusätzlich werden Global- und Nettostrahlung, Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Bodenfeuchte und Bodentemperatur gemessen. Diese zusätzlichen Daten dienen zum einen der Überprüfung und Einschätzung der ermittelten Flüsse und werden zum anderen als Eingangsparameter für die Modellläufe benötigt.

Abbildung 3 zeigt exemplarisch die Abhängigkeit des CO_2 -Flusses von der Globalstrahlung im Tagesverlauf über einem Zuckerrübenbestand. Dargestellt sind Halbstundenmittelwerte. Die CO_2 -Aufnahme durch die Pflanzen wird durch negative CO_2 -Flüsse dargestellt. Positive CO_2 -Flüsse signalisieren die nächtliche Boden- und Bestandesrespiration.

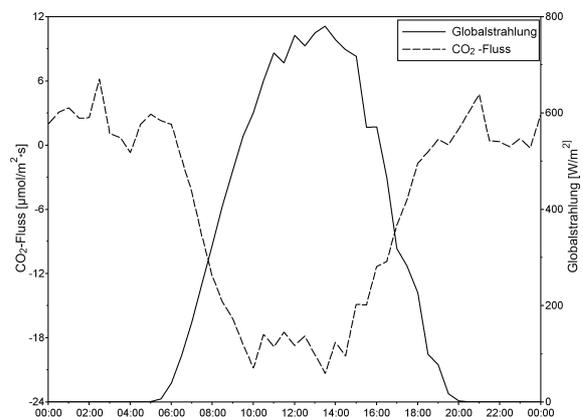


Abb. 3: Beispiel für eine Messung des CO_2 -Flusses über einem Zuckerrübenfeld (18.08.05)

Das Bowen-Ratio-Messsystem wurde in einem Maisfeld platziert. Kontinuierliche Messungen liegen hier von Mitte Juni bis Ende Oktober 2005 vor. Das Messsystem dient in erster Linie der Bestimmung des fühlbaren und latenten Wärmestromes, wobei letzterer in die Gesamtverdunstung des Feldes umgerechnet werden kann. Die zusätzlich gemessenen Parameter Global- u. Nettostrahlung, Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Bodenfeuchte, Bodentemperatur und Bodenwärmestrom ermöglichen die Schließung der Energiebilanz. Diese kann als ein Qualitätskriterium für die mit dem System bestimmten fühlbaren und latenten Wärmeflüsse herangezogen werden und dient zur Ableitung geeigneter Korrekturverfahren. Ein Beispiel für die gemessenen und berechneten Energieflüsse an der Bowen-Ratio-Station zeigt Abbildung 4 für den 29.08.2005. Dabei wird die Nettostrahlung negativ dargestellt.

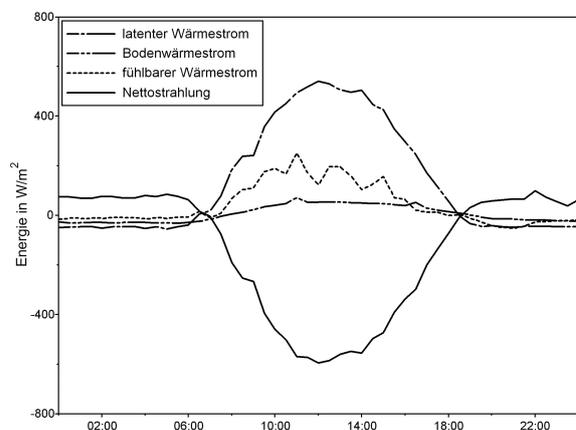


Abb. 4: Gemessene und berechnete Energieflüsse (29.08.05)

Das Saftflussmesssystem wurde in unmittelbarer Nähe des Bowen-Ratio-Systems im Maisbestand eingesetzt. Kontinuierliche Messungen liegen für den Zeitraum vom 14.7.2005 bis zum 15.10.2005 vor. Die kombinierten Messungen der Wasserflüsse in der Atmosphäre (Bowen-Ratio-System) und in der Pflanze (Saftflussmesssystem) sollten die Trennung der Bestandestranspiration von der Gesamtverdunstung eines Feldes ermöglichen. Es hat sich jedoch gezeigt, dass das Saftflussmesssystem für kontinuierliche Messungen in Maisbeständen nicht geeignet ist. Die Transpiration der Maispflanzen entlang des Stängels führt zu Wasseransammlungen an den Temperatursensoren und Korrosion auf den Sensoren. Die Saftflussmessungen werden in Zukunft daher nur in kurzen Messkampagnen eingesetzt.

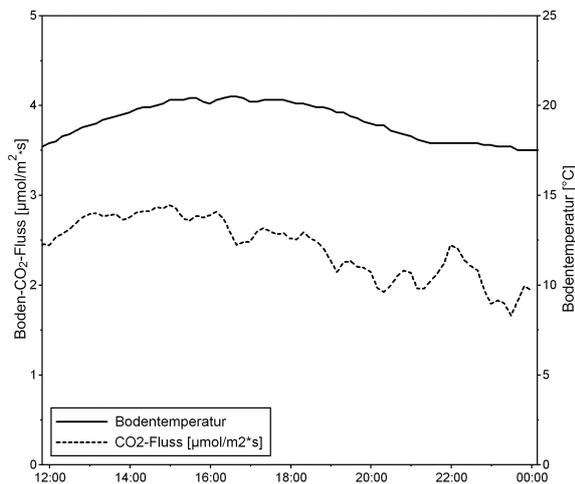


Abb. 5: Tagesgang der Bodenrespiration in Abhängigkeit von der Bodentemperatur (08.09.05)

Die CO₂-Flussmessungen mit der Eddy-Kovarianz-Messstation stellt die Summe aus Bodenrespiration und CO₂ Flüssen der Pflanze dar. Um diese beiden Komponenten zu trennen wurden Messungen der Bodenatmung mit einer Bodenatmungskammer und einem Infrarot-Gasanalysator von August bis Oktober 2005 durchgeführt. Messungen wurden an vierundzwanzig Messorten für ein Zuckerrüben- und Maisfeld, in unmittelbarer Nähe zu den mikrometeorologischen Messstationen durchgeführt. Abbildung 5 zeigt den Tagesverlauf der Bodenrespiration und -temperatur am 08.09.2005 im Zuckerrübenbestand und die deutliche Abhängigkeit der Bodenrespiration von der Bodentemperatur.

Die Vielzahl der verfügbaren Messungen für unterschiedliche Nutzpflanzen liefert die Basis für eine gründliche Validierung der Modellkomponenten des Pflanzenwachstumsmodells.

Flächenhafte Validierung

Für die flächenhafte Validierung auf der Mesoskala werden landwirtschaftliche Ertragsstatistiken von Baden-Württemberg und Bayern auf Bundesland- und Landkreisebene eingesetzt. Insbesondere die Ertragsdaten einzelner Landkreise, welche die naturräumlichen Heterogenitäten im Oberen Donaeinzugsgebiet repräsentieren, liefern eine solide Basis für die Quantifizierung von Modellunsicherheiten.

2.2.4 Validierungskonzept für die Stickstoffumsatzmodellierung

Punktuelle Validierung

Zur prozessnahen Validierung am Punkt werden externe und eigene Geländemessungen eingesetzt. Aus dem Einzugsgebiet der Oberen Donau stehen NO₃⁻- und N_{min}-Messungen aus dem Projekt Forschungsverbund Agrarökosysteme München (FAM) zur Verfügung. Im Rahmen des FAM-Projektes wurden zwischen 1993 und 1998 Daten zur Stickstoffdynamik unter Winterweizen, Mais, Kartoffeln (konventionelle (integrierte) Bewirtschaftung) sowie Sommergerste, Kartoffeln und Klee gras (ökologische Bewirtschaftung) erfasst. In Kombination mit vorliegenden Detailinformationen zur Bewirtschaftung eignen sich diese Daten bestens, um Auswirkungen unterschiedlicher landwirtschaftlicher Anbaumethoden auf den Stickstoffumsatz zu untersuchen. Auf dem Versuchsgut zeichnen zwei meteorologische Messstationen alle für den Modellantrieb notwendigen Parameter auf, die ebenfalls in der FAM-Datenbank abrufbar sind.

Des Weiteren werden Daten verwendet, die im Rahmen des SFB 179 „Water and Matter Dynamics in Agroecosystems“ erhoben und von McVOY et al. (1995) speziell für die Validierung von Agrarökosystemmodellen publiziert wurden. Neben Messungen zur N_{min}-, Bodenfeuchte- und Biomassedynamik stellen McVOY et al. Bewirtschaftungsinformationen und bodenartspezifische Eigenschaften (hydraulische Parameter) zur Verfügung, wodurch sich die Daten zur punktuellen Validierung eignen. Es liegen Daten für zwei verschiedene Bodenarten (IS, IU) und vier Landnutzungen (Winterweizen, Sommergerste, Zuckerrüben, Kartoffeln) vor. Meteorologische Messungen auf den Untersuchungsflächen, die als Modellantrieb benötigt werden, wurden durch die Universität Braunschweig bereitgestellt.

Zusätzlich wurden für die prozessnahe Validierung und Prüfung der räumlichen Übertragbarkeit während des Berichtszeitraumes eigene Geländemessungen auf drei verschiedenen konventionell bewirtschafteten Schlägen (Mais, Zuckerrüben, Winterweizen) im Siegeinzugsgebiet durch-

geführt (Tab. 2). Die Messungen wurden 2-wöchentlich durchgeführt um die zeitliche Stickstoffdynamik während der Vegetationsperiode zu erfassen (z.B. Abb. 6). Auf jedem Feld wurden 10 Bodenproben aus drei Tiefen (0-30, 30-60, 60-90 cm) entnommen und zu einer Mischprobe vereinigt. An drei Terminen wurden ebenso Einzelproben ausgewertet um die kleinräumige Variabilität zu untersuchen. Im Labor wurden die Bodenproben auf NO_3^- , NH_4^+ , N_{org} , N_{min} , N_{tot} , C- und Wassergehalt untersucht, dabei wurden Standardverfahren (DIN ISO 14255, DIN ISO/TS 14256-1, Kjeldahl-Verfahren) angewandt.

Tab. 2: Übersicht der gemessenen Bodenparameter im Jahr 2006

Bodenparameter	Landnutzung	Messfrequenz
NO_3^- , NH_4^+ , N_{org} , N_{min} , N_{tot} , C-, Wassergehalt	Winterweizen Mais Zuckerrüben	2-wöchentlich

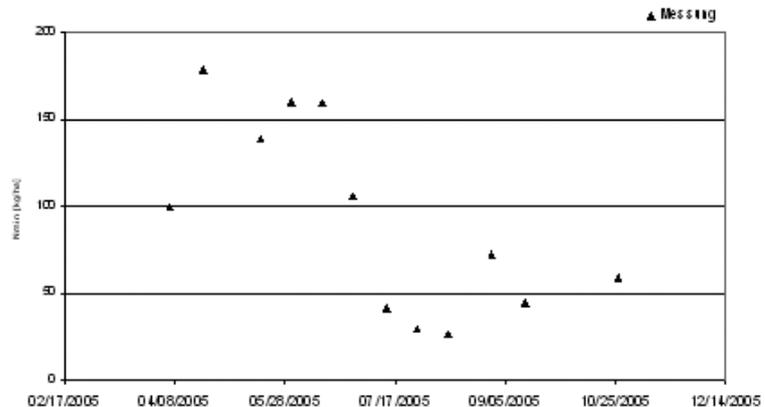


Abb. 6: Messungen zur N_{min} -Dynamik unter Zuckerrüben (2005) in Feienberg bei Köln

Die Bodenart auf den untersuchten Schlägen ist schluffiger Lehm (uL) und ergänzt das zur Validierung verfügbare Bodenartenspektrum. In einer laufenden Diplomarbeit wird derzeit die schlaginterne N-Variabilität der Versuchspartellen und ihre zeitliche Dynamik untersucht. Meteorologische Messungen wurden entweder durch eine eigene Bowen-Ratio-Station gemessen oder von der nah gelegenen DWD-Station Köln-Wahn bereitgestellt.

Flächenhafte Validierung

Direkte flächenhafte Messungen sind auf der Mesoskala nicht verfügbar. Daher gestaltet sich die flächenhafte Validierung auf regionaler Ebene weitaus schwieriger und wurde bis zum jetzigen Zeitpunkt in den meisten Agrarökosystemmodellen noch nicht befriedigend gelöst. In mehreren Arbeiten beschreiben BACH und FREDE (1996, 1998) Verfahren zur empirischen oder statistischen Ermittlung von Stickstoffbilanzen auf Gemeindeebene. Die Anwendung dieser Methoden stellt einen vielversprechenden Ansatz zur flächenhaften Validierung dar, weil sie einen direkten Vergleich der Salden sowie einzelner Bilanzglieder ermöglicht.

Für Bayern ist im Zuge der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) eine Bilanzierung des Stickstoffsaldos für einzelne Teileinzugsgebiete zeit- und flächenintegrierend durchgeführt worden (AUTH et al. 2005). Um eine Bilanz zu berechnen und die fehlende Haushaltsgröße (N-Austrag ins Grundwasser) zu ermitteln, mussten die einzelnen Komponenten des Stickstoffhaushaltes quantifiziert bzw. hinreichend genau geschätzt werden. Dazu wurden mit Hilfe der Agrarstatistik und Expertenwissen alle übrigen Input- (N-Fixierung, Düngung, Deposition) und Outputgrößen (Pflanzenentzug, gasförmige Verluste) des zu bilanzierenden Systems abgeleitet bzw. geschätzt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zur Nährstoffbelastung der Gewässer durch die Landwirtschaft dienen als wichtige Evidenz zur Qualitätsabschätzung der Modellergebnisse auf der Mesoskala.

Zusätzliche Evidenzen einer brauchbaren Stickstoffumsatz- und Stickstoffaufnahmemodellierung können flächen- und zeitintegrierende Messungen des Nitratstickstoffs im Grundwasser, Daten zur Nettoenergielaktation von Wiesen oder Proteingehalte von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen liefern.

2.3 Etablierung einer Modell-Testumgebung

Die sektorale Modellentwicklung und -validierung setzt voraus, dass die Modellkomponenten auch ohne Integration in DANUBIA in einer lokalen Testumgebung lauffähig sind. Daher war es unerlässlich, die vom Teilprojekt Informatik zur Verfügung gestellte Testumgebung durch zusätzliche Werkzeuge zu erweitern, um die Teilmodelle *Biological* und *Soil* lokal weiter entwickeln und validieren zu können.

Dazu wurde eine generische Dummy-Modell-Klasse entwickelt, die als Basis für die Erzeugung aller weiteren Dummy-Modelle dient. Weitere Werkzeuge waren nötig, um den Datenfluss über die Schnittstellen sicherzustellen. Hierfür wurden zwei sog. *DataReader* (XML-Reader, ASCII-Reader) generiert, die sowohl XML- als auch ASCII-formatierte Eingabeparameter in stündlichen Zeitschritten einlesen. Eingabedatensätze für die Modelle liegen für unterschiedliche Modellzeiträume vor. Als Eingabeparameter dienen wahlweise Daten, die in der Arbeitsgruppe in Köln bereits vorhanden waren oder Modellergebnisse, die bei DANUBIA-Läufen (1995-2000) ausgegeben wurden und so einen direkten Vergleich mit den DANUBIA-Ergebnissen ermöglichen.

Zusammen mit der Installation der Testumgebung wurde eine Optimierung des Arbeitsumfeldes vorgenommen, die neben der Anschaffung leistungsstarker Simulationsrechner auch die Einrichtung einer Codeverwaltung zur kollaborativen Modellentwicklung beinhaltet. Lokal entwickelte Modellrevisionen sind in Simulationsläufen einzeln oder im Modellverbund (*Biological-Soil-RadiationBalance*) hinsichtlich ihrer Güte jederzeit überprüfbar. Testläufe im Modellverbund sind wichtig, um im Vorfeld bereits die prozessspezifischen Wechselwirkungen zwischen den Teilmodellen unabhängig von DANUBIA zu prüfen, und das Auftreten technischer Probleme oder fehlerhafter Parameterübergaben der Schnittstellen zu vermeiden.

2.4 Ergebnisse

2.4.1 Pflanzenwachstum

Die Wachstumsverläufe von Winterweizen, Sommergerste, Mais, sowie intensiv und extensiv bewirtschafteten Wiesen werden gut abgebildet. Exemplarisch zeigt Abbildung 7 eine Gegenüberstellung von modellierter und gemessener Biomasse für Winterweizen und Sommergerste. Im Vergleich zur Sommergerste zeigt Winterweizen eine insgesamt höhere Biomasseproduktion. Die Zunahme der Fruchtbiomasse wird durch das Modell zunächst überschätzt, weicht jedoch am Ende der Wachstumsperiode um lediglich 0,05 kg/m² und damit weniger als 10% von der Messung ab. Der Vergleich von modellierter und gemessener Blatt- und Stängelbiomasse zeigt Standardabweichungen von 0,05 kg/m² bzw. 0,36 kg/m².

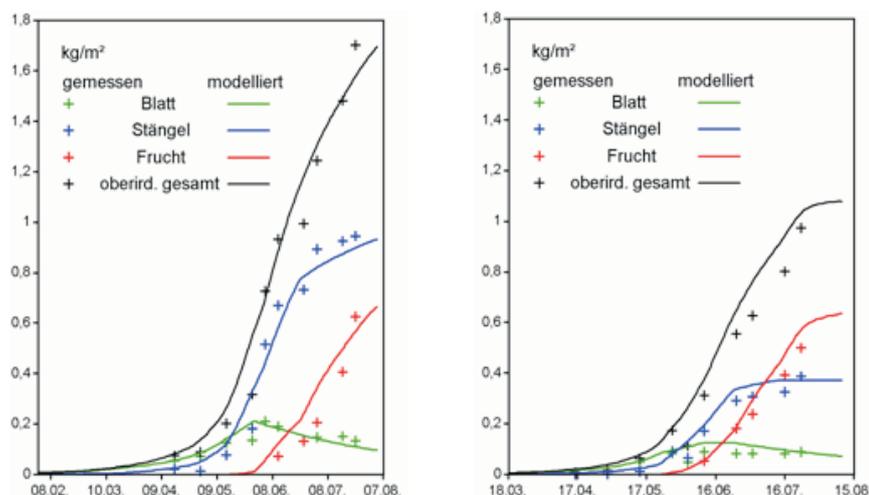


Abb. 7: Modellierter und gemessene Biomasse (Trockengewicht) unterschiedlicher Pflanzenorgane von Winterweizen (links) und Sommergerste (rechts) im Jahr 1997; für ausgewählte Flächen im Landkreis Weilheim/Schongau

Für Sommergerste stimmen die simulierten Daten weitgehend mit den Messwerten überein. Von Beginn der Wachstumsperiode bis Anfang Juni beträgt die Standardabweichung der gesamten oberirdischen Biomasse $0,09 \text{ kg/m}^2$. Im weiteren Verlauf tritt eine tendenzielle Überschätzung durch das Modell ein. Die größte absolute Abweichung der gesamten oberirdischen Biomasse erreicht Mitte Juli $0,16 \text{ kg/m}^2$. Die Abweichungen verringern sich jedoch im Reifestadium wieder deutlich.

2.4.2 Stickstoffumsatz

In DANUBIA ist derzeit noch eine unvalidierte Version des Stickstofftransformationsmodells (SNT) implementiert. Daher wird auf eine Auswertung der flächenverteilten Resultate des Szenarienlaufs verzichtet. Die hier vorgestellten Ergebnisse sind in der lokalen Testumgebung im Rahmen der Punktvalidierung berechnet worden und basieren auf dem Datensatz von McVOY et al. (1995). Dabei wurde eine Strategie verfolgt, die eine separate Überprüfung der Funktionalität von SNT erlaubt und noch ohne Kopplung mit dem *Soil*-Modell bzw. dem Pflanzenwachstumsmodell erfolgt. Anhand der meteorologischen Messdaten sowie der zuvor beschriebenen Zusatzinformationen wurde mit Hilfe des validierten Landoberflächenprozessmodells PROMET-V (SCHNEIDER 1999) ein Teil des Modellinputs (Bodenfeuchte, Wasserflüsse, Wurzellängendichteverteilung) für SNT generiert. Zusammen mit den Messwerten bzw. Informationen zu Nmin-Gehalten, Biomasseentwicklung und Bewirtschaftung wurden die modellierten Eingabeparameter (N-Aufnahme, Bodentemperatur, Düngung) zu einem Eingabedatensatz für SNT zusammengefasst. Mit dieser Vorgehensweise sollten Fehler, die sich aus den komplexen Wechselwirkungen zwischen den Modellen ergeben können, verhindert und eine fokussierte Prüfung der in SNT implementierten Algorithmen gewährleistet werden. Beispielhaft sind im Folgenden die Resultate für die Modellierung der N-Dynamik unter Sommergerste dargestellt (Abb. 8).

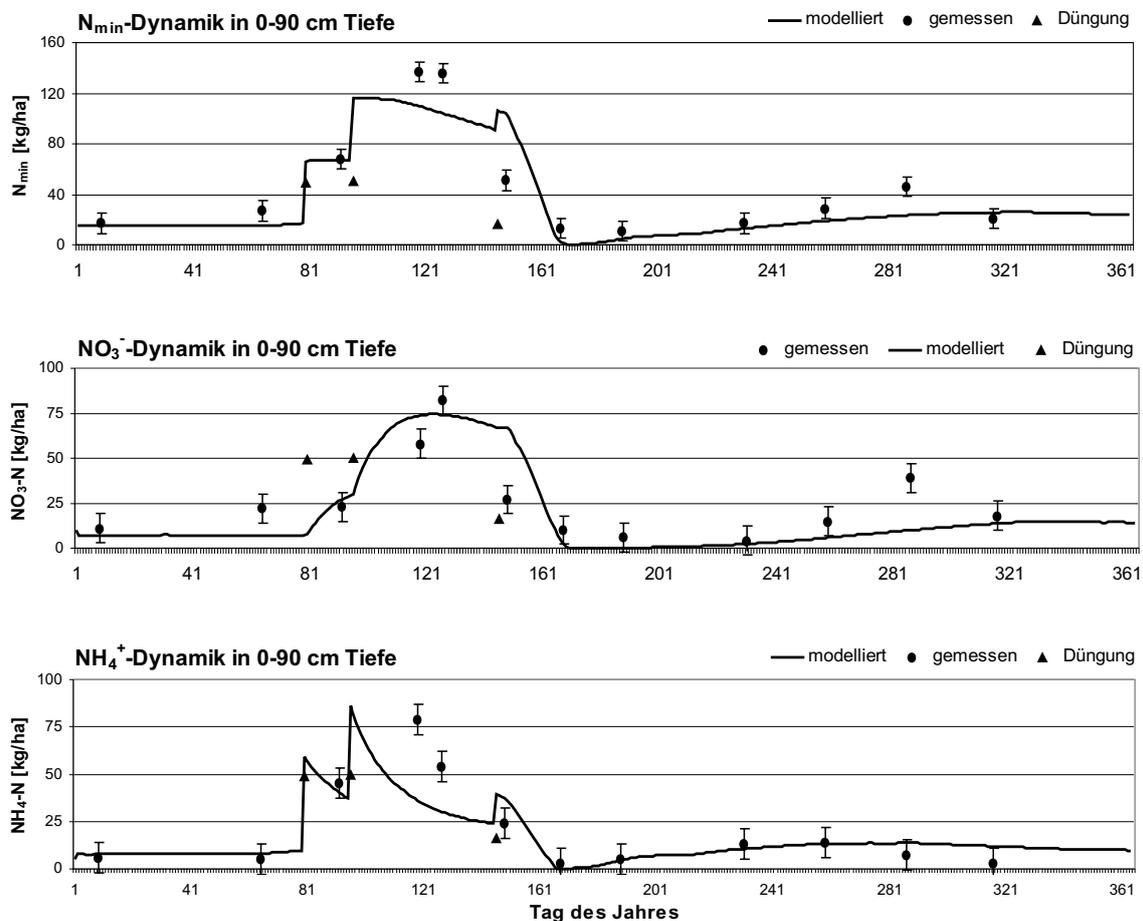


Abb. 8: Modellerte und gemessene N-Reservoirs unter Sommergerste (1990) bei Braunschweig Fehlerindikatoren zeigen die Bestimmungsgenauigkeit (0-90cm) entsprechend $\pm 8 \text{ kg N/ha}$ Abweichung (Nuske 1983)

In mehreren Studien (z.B. KERSEBAUM 1995; GRANT 1995) wurden die Resultate anderer Modelle, die mit den gleichen Eingangsdaten angetrieben wurden, präsentiert. Beim Vergleich mit diesen zeigt sich, dass SNT sowohl bei der Modellierung der absoluten Umsatzraten als auch bei der Abbildung der N-Dynamik während der Vegetationsperiode sinnvolle, nachvollziehbare und qualitativ vergleichbare Ergebnisse berechnet. Modellerweiterungen wie z.B. die Implementierung gasförmiger N-Verluste bei der Applikation organischer Düngemittel oder dem Abbau der auf dem Feld verbleibenden Biomasse nach der Ernte sowie die weitere Parametrisierung sensibler Parameter (z.B. hydraulische Leitfähigkeit), werden die Güte der Modellergebnisse zusätzlich optimieren. In folgenden Untersuchungen wird die Sensitivität des Modells hinsichtlich dieser Parameter ermittelt. Zum jetzigen Zeitpunkt der Validierung ergeben sich folgende Qualitätsmerkmale für SNT (Tab. 3):

Tab. 3: Mittlere quadratische Abweichung und Modelleffizienz (ME) basierend auf der Analyse der oben gezeigten Ergebnisse für Sommergerste

	RMSE	ME*
N_{\min}	21,4 kg/ha	0,75
NO_3^-	16,3 kg/ha	0,46
NH_4^+	15,2 kg/ha	0,59

* Model efficiency nach NASH-SUTCLIFFE (1970)

Weitere Modellläufe zur Validierung am Punkt werden momentan mit unterschiedlichen Nutzpflanzen durchgeführt. In einem nächsten Schritt werden die Wechselwirkungen (integrativ) der beiden einzeln validierten Modelle *Soil* und *Biological* in einem gekoppelten Modelllauf in der Testumgebung untersucht und ggf. Anpassungen vorgenommen. Der erfolgreiche Test über einen mehrjährigen Zeitraum bildet den Abschluss der separaten und integrativen Punktvalidierung.

3. Integrative Arbeiten

3.1 Überarbeitung des *Biological*-Modells

Aufgrund der Unterschiede bei der Modellierung naturnaher Ökosysteme und landwirtschaftlicher Nutzungen ist eine unabhängige Weiterentwicklung von *Biological* durch die beiden Teilprojekte Natürliche Ökosysteme und Agrarökosysteme erforderlich. Daher wurde *Biological* in die Submodelle *Natural Ecosystems* und *Agricultural Ecosystems* aufgeteilt (Abb. 9). Innerhalb von DANUBIA bildet *Biological* weiterhin eine Einheit, die externe Schnittstelle und auch die Kommunikation zu den anderen Modellen ist unverändert geblieben. Die Trennung findet innerhalb der Komponente durch Schaffung interner Schnittstellen statt: *BiologicalToNatural* und *BiologicalToAgricultural* sowie *AgriculturalToBiological* und *NaturalToBiological*. Die Abgabe der Komponente für DANUBIA-Modellläufe erfolgt wie bisher gemeinsam.

Im folgenden wird das Submodell *Agricultural Ecosystems* kurz charakterisiert. In der Klasse *Plant* sind die Methoden für die Abbildung des Pflanzenwachstums implementiert bzw. deklariert (z.B. *calculateLeafGasExchange*, *calculateWaterUptake*, etc.). Eine Spezialisierung wird durch die Unterklassen *AgriculturalPlant*, *ExtensivelyManagedGrass*, *IntensivelyManagedGrass* sowie *ForageCrop* umgesetzt. *AgriculturalPlant* besitzt diverse Kindklassen, um die konkreten Nutzpflanzen (*WinterWheat*, *SummerBarley*, *Maize*, etc.) abzubilden (Abb. 10). Diese abgeleiteten Klassen beinhalten sämtliche pflanzenartspezifischen Parameter sowie Zuordnungen zu bestimmten inhaltlichen Untergruppen (z.B. *Short-DayCrop*), deren Eigenschaften sie erben. Alle vegetationsbezogenen Vorgänge auf dem *Proxel* werden in der zugeordneten Pflanzenklasse berechnet oder in themenorientierte Un-

terpakete delegiert. Diese Struktur bietet den Vorteil der einfachen und sehr übersichtlichen Erweiterbarkeit um neue Nutzpflanzen.

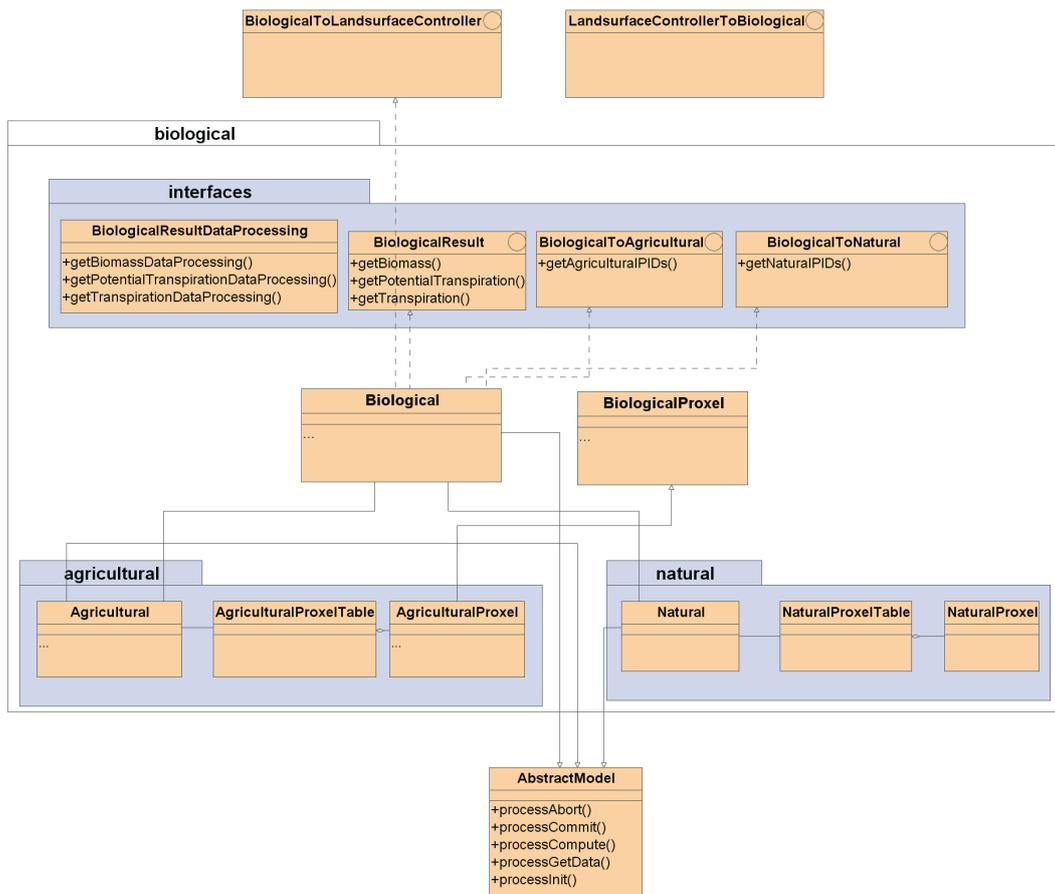


Abb. 9: Klassendiagramm - Aufteilung des *Biological*-Modells in die *Submodelle* *Natural Ecosystems* und *Agricultural Ecosystems*

Beispielhaft für die technische Umsetzung der Prozessabbildung wird auf die Phänologie-Modellierung eingegangen (Abb. 11). In dem neuen Phasenmodell bilden die Entwicklungsstadien der Pflanzen eine Kette von Zuständen, die durch Übergangsbedingungen miteinander verknüpft sind. Zum Aussattermin wird dem Proxel ein neues Objekt vom Typ *Plant* zugeordnet. Dieses besitzt ein Phasenobjekt, welches sich in der Initialphase (*Pregermination*) befindet. Allgemein bestehen die Phasenobjekte aus einer phasenspezifischen Implementierung der Berechnungsmethode zum Fortschritt der phänologischen Entwicklung und einer zugeordneten Folgephase, zu der übergegangen wird, sobald die spezifische Übergangsbedingung erfüllt ist (z.B. *Pregermination* zu *Germination*). Die Übergangsbedingung ist als ein pflanzenartspezifischer Grenzwert definiert, den die akkumulierte Entwicklungsrate einer Pflanze erreicht. Die Entwicklungsrate setzt sich aus mehreren phasen- und pflanzenartabhängigen Effekten zusammen, die sowohl von der aktuellen Phase, von der Vernalisation, der Photosensitivität der Pflanze usw. beeinflusst werden (siehe Kap. 2.2.1).

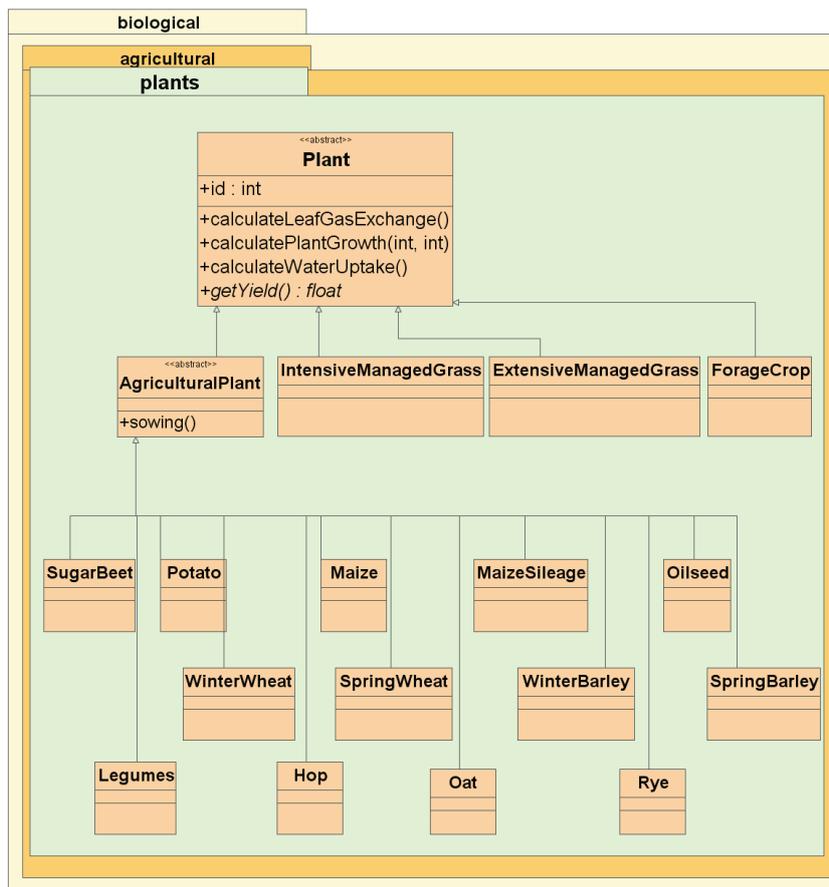


Abb. 10: Klassendiagramm - Ableitung der einzelnen Nutzpflanzenklassen von der Klasse *Plant*

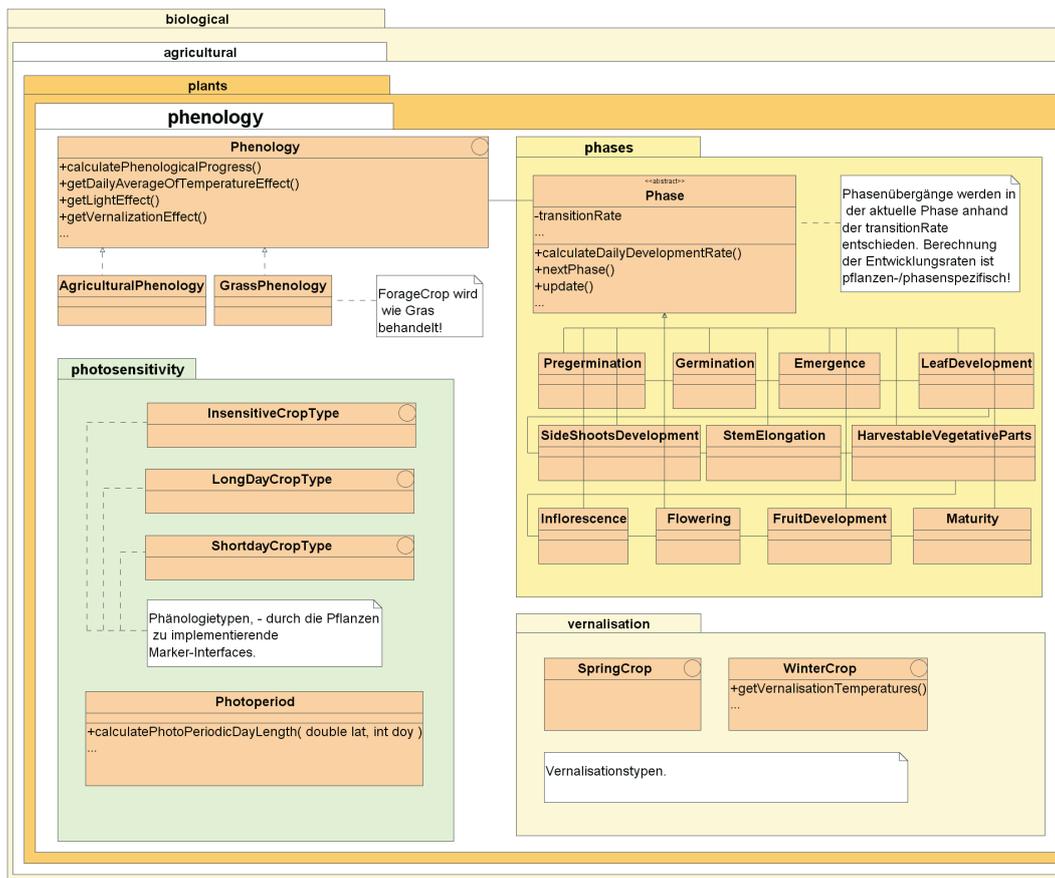


Abb. 11: Klassendiagramm - Struktur des Phänologiemodells in *Agricultural Ecosystems*

3.2 Erweiterung des *Soil*-Modells

Um eine konsistente Zuordnung von Prozessen zu entsprechenden Modellen in DANUBIA zu gewährleisten, wurde die Modellierung des N-Umsatzes in das *Soil*-Modell implementiert. Um die bestehende Struktur von *Soil* nicht zu ändern, wurde ein Paket, *SoilNTransformation* mit allen für die N-Umsatzmodellierung notwendigen Klassen dem Modell hinzugefügt. Die für die N-Umsatzmodellierung benötigten bodenartsspezifischen physikalischen Eigenschaften (Sättigungswassergehalt, Feldkapazität, permanenter Welkepunkt und Lagerungsdichte) wurden in der Klasse *SoilNitroUtilities* zusammengefasst und für die weiteren Berechnungen vom Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung zugänglich gemacht.

Anhand des Klassendiagramms (Abb. 12) lässt sich das Konzept zur Erweiterung der Funktionalität von *Soil* erläutern. Es zeigt das *SoilNTransformation*-Paket mit seinen Unterpaketen *Processes*, *Pools* und *Debugger*. Die beiden erstgenannten kapseln einerseits die einzelnen Prozesse und andererseits die unterschiedlichen Stoffreservoirs im Boden in eigenen Klassen. *SNTProxel* repräsentiert die räumliche Basiseinheit in DANUBIA und verbindet SNT mit dem *Soil*-Modell. Fast alle Berechnungen werden für jede der drei Bodenschichten in DANUBIA durchgeführt. Die Delegation wird von der Klasse *SNTLayer* übernommen. Im Unterpaket *Debugger* befinden sich Methoden zum komfortablen Schreiben der für die technische und wissenschaftliche Validierung notwendigen Werte.

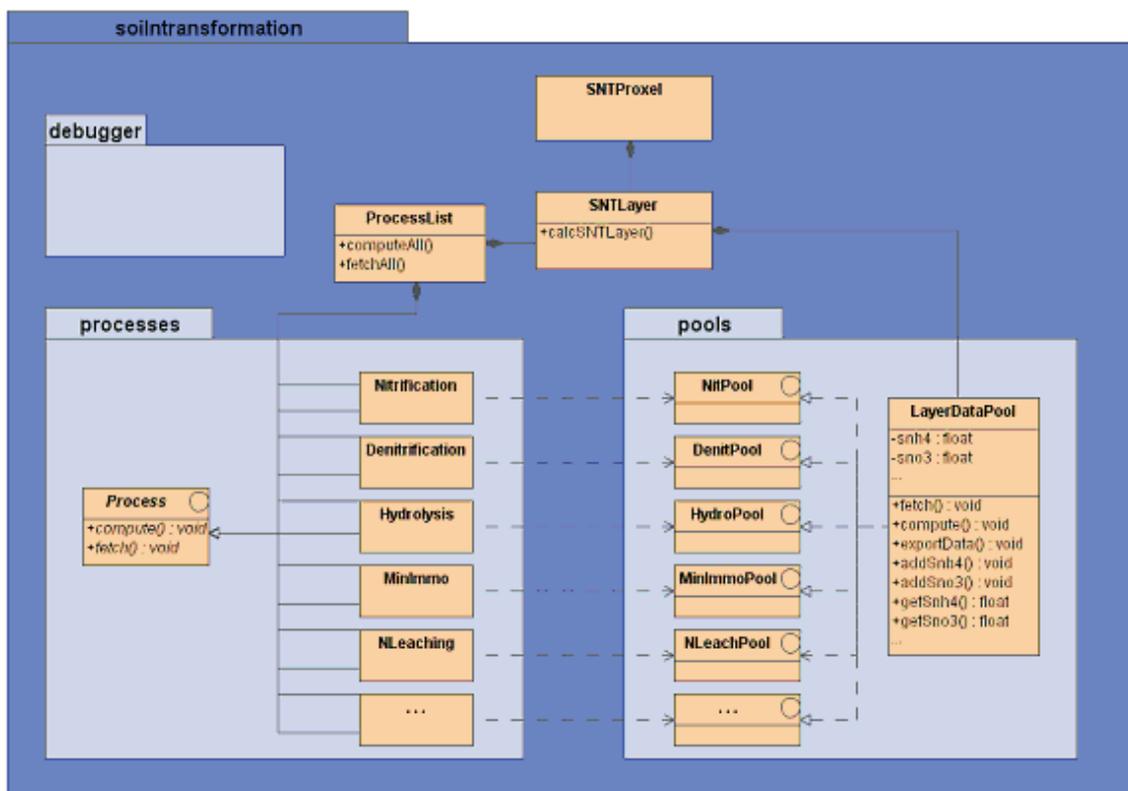


Abb. 12: Architektur von *SoilNTransformation*

Das Konzept zur Erweiterung von *Soil* ohne wesentliche Modifikationen der Modellstruktur von *Soil* hat bereits seine Tauglichkeit in einem Szenario-Lauf von DANUBIA unter Beweis gestellt. Durch die strikte Kapselung von SNT ist es mit minimalen Änderungen im *Soil*-Code nun möglich, beide Teile getrennt weiterzuentwickeln. Für die Implementierung des Gesamtmodells werden die unterschiedlichen Pakete zusammengefügt und gemeinsam abgeliefert.

3.3 Schnittstellenentwicklung

Biological - Farming

Um zukünftig die Auswirkungen von Nutzungsänderungen und Anbaumethoden auf Wasser-, Nährstoff und Kohlenstoffflüsse abzubilden, wurde die Schnittstelle zum *Farming*-Modell erweitert. Während *Farming* Angaben zur Bewirtschaftung an *Biological* (Saat-, Pflug- und Ernte- bzw. Schnitttermine) übergibt, stellt *Biological* den ökonomisch relevanten Ertrag der Nutzpflanzen (z.B. Kornertrag bei Körnermais, gesamte oberirdische Biomasse bei Silomais, jährlich akkumulierte oberirdische Biomasse bei Wiesen) für *Farming* bereit. Die Ergänzung des Datentyps *Biomass* durch den Parameter *yield* dient dabei der Optimierung des Exports.

Die aufgeführten Schnittstellen sind in der aktuellen DANUBIA-Version implementiert, lediglich die Pflugtermine werden derzeit inhaltlich noch nicht berücksichtigt.

Biological – RiverNetwork

Um das Pflanzenwachstum auf überfluteten Flächen adäquat simulieren zu können, erhält *Biological* bei Hochwasserbedingungen diese Information von dem Modell *RiverNetwork* in stündlicher Auflösung. Diese Schnittstelle ist in der aktuellen DANUBIA-Version implementiert, wird jedoch derzeit inhaltlich noch nicht berücksichtigt.

Biological - Soil

Den komplexen Wechselwirkungen zwischen Pflanzenwachstum und Stickstoffverfügbarkeit im Boden wurde durch eine Intensivierung der Kommunikation zwischen den beiden Modellen Rechnung getragen. *Biological* stehen nun stündlich die berechneten N-Pools in den Bodenschichten zur Simulation von Stressreaktionen der Pflanze zur Verfügung. *Soil* seinerseits erhält pro Zeitschritt die N-Aufnahme der Pflanze getrennt nach Nitrat und Ammonium.

Soil - Farming

Bei der Stickstoffumsatzmodellierung in Agrarökosystemen ist die Kenntnis über die dem System durch Düngung zugefügten N-Mengen ein wesentlicher Bestandteil. Daher wurde eine Schnittstelle zwischen *Soil* und *Farming* etabliert, über die *Farming* die applizierten N-Mengen flächenverteilt und landnutzungsspezifisch bereitstellt. *Aufgrund* fehlender direkter Messungen können die Daten nur als Reinnährstoff in kg/m^2 (aus der Agrarstatistik abgeleitet) angegeben werden und müssen dementsprechend unter der Annahme der guten fachlichen Praxis in konkrete Düngungsarten übertragen werden.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Im Berichtszeitraum wurde die notwendige Neustrukturierung der Komponenten *Biological* und *Soil* erfolgreich abgeschlossen. Das Pflanzenwachstum wurde durch die Parametrisierung und Implementierung neuer Teilmodelle (z.B. Phänologie) verbessert und validiert (Winterweizen, Sommergerste, Mais und Wiesen). Die Stickstoffumsätze werden durch das neu implementierte Umsatzmodell berechnet. Erste Vergleiche der Modellergebnisse mit Stickstoffmessungen auf der Feldskala zeigen gute Übereinstimmungen. Für die gekoppelte Validierung der Pflanzenwachstums- und Stickstoffumsatzmodellierung wurde eine umfangreiche Datenbank aufgebaut, die sowohl eigene als auch externe Messungen beinhaltet.

In Szenarienläufen von DANUBIA haben die Modellkomponenten ihre Eignung für die Anwendung unter Bedingungen des Globalen Wandels bewiesen. Die Modelle reagieren sensitiv und in zu erwartender Richtung auf die sich ändernden Umweltbedingungen. Durch die

Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und Boden werden Stressreaktionen auf Wasser- und Stickstoffmangel berücksichtigt.

Über Schnittstellen von *Farming* gehen flächendifferenziert unterschiedliche Bewirtschaftungsinformationen (Saat-, Ernte-, Schnitt- und Düngetermine, Düngerart u. -menge) in die Modellierung des landwirtschaftlichen Ertrags ein. Dieser wird in *Farming* zur Berechnung des Deckungsbeitrags eingesetzt. Hierdurch wird eine enge Wechselwirkung zwischen sozioökonomischen und natürlichen Prozessen realisiert.

Damit konnten die im Projektantrag formulierten Ziele erreicht werden. Einzig die Modellentwicklung und -validierung des Zuckerrüben- und Kartoffelmodells wurden noch nicht abgeschlossen. Dies wird jedoch innerhalb der nächsten Monate umgesetzt.

Im letzten Jahr der 2. Projektphase werden wie geplant die folgenden Arbeiten durchgeführt: (i) Abschluss der Modellerweiterungen für das Pflanzenwachstum und den Stickstoffumsatz, (ii) intensive Validierung aller Modellteile, (iii) Ausbau der Schnittstellen zu den Projektpartnern, (iv) Durchführung von Sensitivitätsanalysen und (v) Untersuchungen zum Skalverhalten von Modellparametern.

Auf Grundlage der nach Abschluss der 2. Projektphase verfügbaren und validierten Modelle werden in der 3. Projektphase Szenarien des Globalen Wandels und mögliche Handlungsalternativen in Wechselwirkung mit den übrigen DANUBIA Modellkomponenten analysiert.

5. Literatur

- ALLISON, B.E. und ENTENMANN, T. (1993): The use of the CERES-Maize model in Southwest Germany to predict corn yield and nitrogen leaching potential. *Agrarinformatik* 24: S. 97-108.
- AUTH, S., FORSTNER, S., RINTELEN, P.M., HALAMA, M. und AUERSWALD, K. (2005): Nährstoffbelastungen der Gewässer durch die Landwirtschaft. <http://www.lfl.bayern.de/ilb/agrarstrukturentwicklung/10645/>.
- BACH, M. und FREDE, H.-G. (1996): Vergleich zwischen empirisch und statistisch ermittelten Stickstoffbilanzen auf Gemeindeebene. *Z. f. Kulturtechnik und Landesentwicklung* 37: 269-274.
- BACH, M. und FREDE, H.-G. (1998): Agricultural nitrogen, phosphorus and potassium balances in Germany - Methodology and trends 1970 to 1995. *Z. f. Pflanzenernährung und Bodenkunde* 161: S. 385-393.
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN - BStMLF (Hrsg.) (2004): Bayerischer Agrarbericht 2004, München.
- BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT – BBA (Hrsg.) (2001): Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen. BBCH-Monographie. Braunschweig, 2. Auflage.
- GODWIN, D.C. und SINGH, U. (1998): Nitrogen balance and crop response to nitrogen in upland and lowlands cropping systems. In: TSUJI, G.Y., HOOGENBOOM, G. und THORNTON, P. (Hrsg.): *Understanding options for agricultural production*. Kluwer Academic Publishers Dordrecht, S. 55-79.
- GRANT, R.F. (1995): Dynamics of energy, water, carbon and nitrogen in agricultural ecosystems: simulation and experimental validation. *Ecological Modelling* 81: S. 169-181.

- HOFFMANN, F. (1993): Die CERES-Modelle – Übersicht, Weiterentwicklung, Erfahrungen. In: ENGEL, Th. und BALDIOLI, M.: Expert-N und Wachstumsmodelle. Referate des Anwenderseminars im März 1993 in Weihenstephan. Agrarinformatik 24: S. 139-150.
- JONES, P.K. und KINIRY, J.R. (Eds.)(1986): CERES-Maize. Simulation model of maize growth and development. Texas, pp. 194.
- KENTER, C. (2003): Ertragsbildung von Zuckerrüben in Abhängigkeit von der Witterung, Dissertation am Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen.
- KERSEBAUM, K.C. (1995): Application of a simple management model to simulate water and nitrogen dynamics. Ecological Modelling 81: S. 145-156.
- LÖSCH, R. (2003): Wasserhaushalt der Pflanzen. Wiebelsheim, 2. Auflage.
- McVOY, C.W., KERSEBAUM, K.C., ARNING, M., KLEEBERG, P., OTHMER, H. und SCHRÖDER, U. (1995): A data set from north Germany for the validation of agroecosystem models: documentation and evaluation. Ecological Modelling 81: S. 265-300.
- MOORE, G.A. und TYNDALE-BISCOE, J.P. (1999): Estimation of the importance of spatial variable nitrogen application and soil moisture holding capacity to wheat production. Precision Agriculture 1: S. 27-38.
- NUSKE, A. (1983): Ein Modell für die Stickstoffdynamik von Acker-Lößböden im Winterhalbjahr – Messungen und Simulationen. Dissertation, Hannover.
- RITCHIE, J.T. und OTTER, S. (1985): Description and performance of CERES-Wheat: A user-oriented yield model. ARS 38: S.159-175.
- RITCHIE, J.T. und GODWIN, D. (1993): Simulation of nitrogen dynamics in the soil plant system with the CERES models. In: ENGEL, Th. und BALDIOLI, M.: Expert-N und Wachstumsmodelle. Referate des Anwenderseminars im März 1993 in Weihenstephan. Agrarinformatik 24: 139-150.
- SCHNEIDER, K. (1999): Gekoppelte, flächenverteilte Modellierung von Pflanzenwachstum und Verdunstung im Ammereinzugsgebiet mit dem prozess-orientierten Evapotranspirations- und Vegetationsmodell PROMET-V. Habilitationsschrift, LMU München, 263 S.
- SCHNEIDER, K. (2003): Assimilating remote sensing data into a land surface process model. International Journal of Remote Sensing 24: S. 2959-2980.
- STRECK, N.A., WEISS, A., XUE, Q. und BAENZIGER, P.S. (2003): Improving predictions of developmental stages in winter wheat: a modified Wang and Engel model. In: Agricultural and Forest Meteorology 115: S. 139-150.
- YIN, X. und VAN LAAR, H.H. (2005): Crop Systems Dynamics. An ecophysiological simulation model for genotype-by-environment interactions. Wageningen.

Weiterentwicklung des ökonomischen Regionalmodells RIWU zu einem tiefen Akteursmodell

Teilprojekt: Umweltökonomie
Leiter: Matthias Egerer
Ausführende Stelle: ifo Institut für Wirtschaftsforschung
Poschingerstraße 5
81679 München

1. Überblick

Das Teilprojekt Umweltökonomie hat bis zum Zeitpunkt der letzten Statuskonferenz drei Modelle entwickelt: allen voran das regionalökonomische Modell RIWU zur Berechnung von wirtschaftlicher Entwicklung und industriellem Wasserverbrauch, ein damit verbundenes demographisches Modell zur Unterteilung der in RIWU generierten Bevölkerung nach jeweils fünf Haushaltsgrößen- und Einkommensklassen sowie ein davon unabhängiges Modell zur Berechnung von Trinkwasserpreisen für Haushalte.

Inhaltlich stand im Berichtszeitraum die Entwicklung des Tiefen Akteurs Industrieunternehmen im Vordergrund. Entgegen der ursprünglichen Planung wurde innerhalb des Projektteams beschlossen hierbei nicht auf das bisher entwickelte, flache Regionalmodell RIWU als Modellteil bzw. Modellgrundlage zurückzugreifen; denn aufgrund seiner relativ starren Auslegung ist es nur bedingt in der Lage, in Szenariorechnungen auf geänderte Rahmenbedingungen sinnvoll zu reagieren. Der Tiefe Akteur zur Modellierung industrieller Wassernutzung wurde vielmehr unabhängig von RIWU vollständig neu entwickelt. Die in RIWU erzielten Ergebnisse der letzten DANUBIA-Läufe dienten lediglich als Datengrundlage für eine erste Kalibrierung des neuen Modells.

Das Demographiemodell wurde bisher nicht grundlegend verändert. Seine Novellierung hin zu einer besseren Szenarienfähigkeit ist Schwerpunkt der Arbeiten bis zu den nächsten Modellläufen. Die bisher geleisteten Vorarbeiten hierzu sind ebenfalls Gegenstand dieses Berichts. Da RIWU durch die Berechnung der beiden Variablen Bevölkerung und Haushaltseinkommen die Datengrundlage des aktuellen Modells *Demography* liefert, war es dennoch notwendig, RIWU in den letzten DANUBIA-Läufen mitrechnen zu lassen.

Auch das Trinkwasserpreismodell blieb in seinen Grundzügen unverändert. Es wurde jedoch auf einer um österreichische Versorgungsunternehmen erweiterten Datenbasis erneut geschätzt. Die Ergebnisse dieser Schätzung wurden in das tiefe Akteursmodell *DeepWater-Supply* integriert. Da das bisherige Trinkwasserpreismodell lediglich einen Teil der Varianz der Preise erklären kann, wird für den weiteren Verlauf dieser Projektphase versucht, das Modell um eine räumliche Komponente zu erweitern. Der grundlegende Ansatz hierzu wird kurz skizziert.

2. Organisatorisches

2.1 Personalien

Die Personalbesetzung hat sich seit dem letzten Bericht geändert. Die Projektleitung wurde nach Abschluss seiner Dissertation an Matthias Egerer übertragen. Herr Prof. Sprenger schied aus dem Projektteam aus, die Doktorandenstelle wurde mit Herrn Zimmer neu be-

setzt. Die volle Wissenschaftlerstelle teilt sich auf 3 Personen auf. Dies ergibt folgende Projektbesetzung:

- Dr. Matthias Egerer: Projektleitung und -bearbeitung, Bereich Umwelt, Regionen, Verkehr,
- Dr. Johann Wackerbauer: Projektbearbeitung, Bereich Umwelt, Regionen, Verkehr,
- Dipl. Volkswirt Erich Langmantel: Projektbearbeitung, Bereich Konjunktur und Finanzmärkte,
- Die halbe Doktorandenstelle ist besetzt mit: Dipl. Volkswirt Markus Zimmer, Bereich Umwelt, Regionen, Verkehr.

2.2 Veranstaltungen

Das Teilprojekt Umweltökonomie hat an diversen internen Veranstaltungen des Projekts sowie an zahlreichen bi- und multilateralen Gesprächen unter den Projektteilnehmern teilgenommen. Im Einzelnen sind die folgenden Treffen besonders hervorzuheben:

- *Deep-Actors-Treffen in Stuttgart am 26.04.2005.* Von der Forschungsgruppe Umweltökonomie waren auf dem Workshop Dr. Matthias Egerer und Markus Zimmer anwesend. Das Treffen diente vor allem dazu, die Konzeptionen der Tiefen Akteure vorzustellen, abzustimmen und in Einklang mit den Vorgaben des informatischen *DeepActor-Frameworks* zu bringen.
- *GLOWA-Statuskonferenz in Köln von 18.05. bis 19.05.2005.* Das Teilprojekt Umweltökonomie nahm an der Statuskonferenz in Köln teil und präsentierte unter anderem ein Poster über den aktuellen Stand der Projektentwicklung. Ferner zeigte die Forschungsgruppe eigene Beiträge im GLOWA-Atlas.
- *Projektmeeting in München am 11.07.2005.* Die Forschungsgruppe Umweltökonomie wurde auf dem Meeting durch Dr. Matthias Egerer und Markus Zimmer vertreten. Das Treffen diente unter anderem dazu, den gemeinsamen GLOWA-Atlas auf den Weg zu bringen und den Stakeholder-Prozess abzustimmen. Die Umweltökonomie beteiligt sich an dem Atlas mit vorerst drei Beiträgen über Bruttoinlandsprodukt, industrielle Wassernutzung und Bevölkerungsverteilung.
- *Expertenrunde im Rahmen des GLOWA-Danube Stakeholder-Prozesses in München am 18.10.2005.* Die Forschungsgruppe Umweltökonomie war im Rahmen des Stakeholder-Prozesses auf der Expertenrunde „Veränderungen von Wasserverbrauch und Wasserversorgung im Donaueinzugsgebiet unter Global Change-Bedingungen“ durch Dr. Matthias Egerer vertreten. Dort wurde den teilnehmenden Stakeholdern die Vorgehensweise und die Ziele des Teilprojekts vorgestellt.
- *GLOWA-Danube Klausurtagung in Linden vom 30.11. bis 03.12.2005.* Von dem Teilprojekt Umweltökonomie nahmen an der Tagung Dr. Matthias Egerer und Markus Zimmer teil. Die Teilnehmer stellten den aktuellen Arbeitsstand der Forschungsgruppe Umweltökonomie vor und beteiligten sich an den Diskussionen und Arbeitsgruppen zur Abstimmung der einzelnen Teilmodelle im gemeinsamen Framework. Dabei wurde beschlossen den Tiefen Akteur Industrieunternehmen bis Ende Februar und damit rechtzeitig für die nächsten DANUBIA-Läufe umzusetzen. Wie später noch gezeigt wird, konnte dieses Ziel realisiert werden.

Um das Gesamtprojekt bzw. das Teilprojekt Umweltökonomie darüber hinaus näher an die wissenschaftliche Öffentlichkeit zu bringen, wurden Vorträge auf diversen referierten, internationalen Konferenzen gehalten bzw. Poster vorgestellt, in denen der Forschungsansatz von GLOWA-Danube und des umweltökonomischen Teilprojekts einem fachkundigen Auditorium vorgestellt und zur Diskussion gestellt wurden. Im Einzelnen haben Vertreter des Teilprojekts auf den folgenden Konferenzen teilgenommen:

- 11th International Sustainable Development Research Conference, 06.-08. Juni 2005, Helsinki,
- 7th Nordic Environmental Social Science Research Conference, 15.-17. Juni 2005, Göteborg,
- ESEE 2005 – the 6th International Conference of the European Society of Ecological Economics, 14.-17. Juni 2005, Lissabon,
- World Water Week, 21.-27. August 2005, Stockholm,
- Industrial Water 2006 - European Conference on Efficient Use of Water Resources in Industry, 06.-09. Feb. 2006, Frankfurt am Main,
- 12th International Sustainable Development Research Conference, 06.-08. April 2006, Hong Kong.

Des Weiteren wurden Einreichungen für drei weitere internationale Konferenzen in diesem Jahr akzeptiert, darunter für den 3rd World Congress of Environmental and Resource Economists in Kyoto.

2.3 Veröffentlichungen

Um die Außenwirkung von GLOWA-Danube über die Teilnahme an wissenschaftlichen Konferenzen hinaus zu verstärken, wurde und wird verstärkt auf die Publikation in referierten Zeitschriften Wert gelegt. Nachdem das alte RIWU-Modell bereits in diversen referierten Zeitschriften vorgestellt wurde, soll in Zukunft das neue, Tiefe Akteursmodell dem wissenschaftlichen Leserkreis nahe gebracht werden. Hierzu wurde bereits ein Papier beim Journal for Industrial Ecology eingereicht. Die Antwort hierzu steht noch aus. Ein weiteres Papier steht kurz vor der Fertigstellung und wird bei der Zeitschrift Environmental Management eingereicht werden. Herr Egerer hat darüber hinaus seine Dissertation abgeschlossen und im Rahmen der ifo Reihe Beiträge zur Wirtschaftsforschung veröffentlicht.

3. Modellentwicklungen

Im bisherigen Verlauf der zweiten Projektphase stand die Neuentwicklung des Tiefen Akteursmodells Industrieunternehmen zur Modellierung industrieller Wassernachfrage im Vordergrund. Das Modell wurde in einer ersten Version fertig gestellt (siehe Kap. 3.1) und kam nach zahlreichen Tests im aktuellen DANUBIA-Lauf bereits zum Einsatz (s. Kap. 4). Das Modell *Demography* blieb bisher unverändert. Für ein neues Modell, das die Abbildung der Bevölkerungsentwicklung und ihre Szenariofähigkeit verbessern soll, wurden jedoch bereits zahlreiche Vorleistungen erbracht. Diese werden in Kapitel 3.2 vorgestellt. Das neue Modell soll bis zu den nächsten DANUBIA-Läufen fertig gestellt werden. Das Trinkwasserpreismodell blieb in seiner Grundstruktur unverändert, wurde jedoch auf einer erweiterten Datenbasis neu geschätzt. Die Ergebnisse dieser Schätzungen sind ebenfalls Gegenstand dieses Kapitels. Ferner wird der grundlegende Ansatz zur Erweiterung des Modells um eine räumliche Komponente vorgestellt (siehe Unterkapitel 3.3).

Das regionalökonomische Modell RIWU diente in den letzten DANUBIA-Läufen dazu, die beiden Variablen Bevölkerung und Haushaltseinkommen zu berechnen, die in *Demography* zur Unterteilung der Bevölkerung in jeweils fünf Einkommens- und Haushaltsgrößenklassen notwendig sind. Die industrielle Wasserentnahme wird bereits in dem Tiefen Akteursmodell abgebildet. Auch wenn das RIWU-Modell mittelfristig zur Gänze durch neue Modelle abgelöst werden wird, soll an dieser Stelle, auch auf besonderen Wunsch der Gutachter hin, der letzte modifizierte Stand des Modells als kurzer Exkurs dargestellt werden.

Exkurs: Das regionalökonomische Modell RIWU

Wirtschaftliches Wachstum erfolgt normalerweise in einer räumlichen Struktur, die durch Agglomerationen und die zugehörige Peripherie gekennzeichnet ist. Auch in einem insgesamt hoch entwickelten Gebiet wie dem Einzugsbereich der oberen Donau lässt sich dies ansatzweise erkennen. In der Theorie der *New Economic Geography* resultieren räumliche Konzentrationsprozesse wirtschaftlicher Aktivitäten aus einer Interaktion von Zentripetal- und Zentrifugalkräften. Die zentripetalen Wirkungen der Agglomeration folgen in erster Linie aus der Größe des lokalen Marktes, die eine Produktion mit steigenden Skalenerträgen ermöglicht. Das Wachstum einer Agglomeration erhält dadurch eine sich selbst verstärkende Tendenz. Die zentrifugalen Wirkungen ergeben sich aus den Kosten der Ballung, die das Wachstum begrenzen. Zu ihnen zählen besonders immobile Produktionsfaktoren, wie beispielsweise Land oder natürliche Ressource (KRUGMAN 1999). Eine Konzentration ökonomischer Aktivitäten führt zu einer erhöhten Nachfrage nach Land, dies wiederum zu höheren Grundstückspreisen bzw. Mieten und damit zu negativen Anreizen weitere industrielle Aktivitäten in diese Gegend zu verlagern.

In empirischen Modellen der *New Economic Geography*, fungieren Preise für Wohnen als Hauptkraft zur Streuung wirtschaftlicher Aktivitäten, da in deren Zentren die Nachfrage nach Wohnraum größer und dieser dementsprechend relativ teurer ist (HANSON 1998; siehe für Deutschland BRAKMAN et al. 2001). Im RIWU-Modell wirken dementsprechend Landpreise als streuende Größen. Daneben wird im Hinblick auf die Fragestellung des Projektes der Aufwand für die Wasserförderung durch die Industrie als zweiter begrenzender Faktor eingeführt.

Grundlage des Modells bilden Landkreiswerte der amtlichen Statistiken, erweitert auf die Jahre 1980, 1988 und 1995. Da die Datenlage für die Schweiz, bzw. für den einzigen innerhalb des Einzugsgebietes liegenden Kanton Graubünden, relativ schlecht ist, wird hier lediglich der gesamte Kanton modelliert. Als weitere Änderung wurde eine erweiterte sektorale Gliederung in das Modell integriert: Neben dem BIP wird zwischen der Wertschöpfung von Industrie, Dienstleistungen und Staat differenziert. Ferner werden in dem modifizierten Modell Nachbarschaften zwischen einzelnen Landkreisen berücksichtigt, da davon auszugehen ist, dass wirtschaftliche Veränderungen eines Landkreises Spillover-Effekte auf benachbarte Landkreise ausüben.

Das Modell wird mit Hilfe der in Appendix 1 aufgeführten Variablen quantifiziert, indem für jede Variable jeweils eine Verhaltensgleichung durch Regressionsanalyse ermittelt wird. Ausgenommen sind die durch die politischen Autoritäten bestimmten Größen Landkreisfläche (FL) und Siedlungs- und Verkehrsfläche (SVFL) sowie der Wasserpreis (PEWA)¹ und die Arbeitsproduktivität der Industrie (π). Durch die drei regionalen Dummy-Variablen werden einmalige Sondereinflüsse erfasst, die durch den Modellzusammenhang nicht erklärt werden können. RIWU besteht aus insgesamt zehn Modellgleichungen, mit denen die Variablen Wasserverbrauch der Industrie (WAUF), Wertschöpfung der Industrie (WI), Wertschöpfung im Dienstleistungsbereich (WDL), Bruttoinlandsprodukt (BIP), Wertschöpfung Staat (WS), Baulandpreise (BLAP), Einwohner (B), Arbeitsproduktivität in der Industrie (π) und Haushaltseinkommen (YH) auf der Ebene der Landkreise geschätzt werden. Die Modellgleichungen finden sich ebenfalls im Appendix 1. Die Gleichungen bilden zusammen ein simultanes System, in dem der Bodenpreis den Rückkoppelungsmechanismus liefert, der zu einer stabilen regionalen Verteilung der wirtschaftlichen Aktivität führt.

¹ Eine Sonderstellung in der Datenbasis nimmt die Variable PEWA ein. Da das von den Industriebetrieben genutzte Wasser zum größten Teil aus eigenen Quellen stammt, gibt es keinen offiziellen Preis analog zum Trinkwasserpreis für Kunden von Wasserversorgungsunternehmen. Um die Datengrundlage zu vervollständigen, muss diese Variable an Hand von theoretischen Überlegungen ermittelt werden. Geht man davon aus, dass Wasser einen Inputfaktor für die industrielle Produktion darstellt und unterstellt in den Unternehmen Produktionsverfahren, bei denen die Substitution der einzelnen Produktionsfaktoren (Arbeit, Kapital und Wasser) mit zunehmendem Einsatz immer teurer und damit unrentabler wird, dann ist der (implizite) Preis der industriellen Wasserentnahme äquivalent zum so genannten Grenzprodukt des Wassers. Dieses entspricht im Gewinnmaximum dem Verhältnis von industrieller Produktion und Wassereinsatz. Da diese beiden Variablen aus der Statistik bekannt sind, kann der Wasserpreis berechnet werden.

Zentrale Größe für die Prognose der wirtschaftlichen Entwicklung eines Landkreises ist die Produktivitätsentwicklung (π). Es ist davon auszugehen, dass diese, bedingt durch den Wettbewerb auf den Märkten, auch in Zukunft kontinuierlich weiter ansteigen wird. Da sich regionale Abweichungen der Landkreisproduktivität vom Durchschnitt in der Vergan-

Tab. 1: Wirkungen einer Wasserpreiserhöhung in ausgewählten Landkreisen

Gebiet	Wasserpreis	Industrieller Wasserverbrauch Veränderung in %	Bodenpreis	BIP
Ingolstadt	0,0	0,05	0,07	0,07
München	10,0	-7,68	-0,63	-0,49
Rosenheim	0,0	0,11	-0,09	0,06
Altötting	0,0	0,01	0,01	0,01
Bad Töl-Wolfratshausen	0,0	0,05	-0,10	0,01
Dachau	0,0	0,04	-0,35	-0,09
Ebersberg	0,0	0,00	-0,33	-0,11
Eichstätt	0,0	0,01	0,04	0,02
Erding	0,0	0,01	-0,34	-0,11
Freising	0,0	0,02	-0,30	-0,07
Fürstenfeldbruck	0,0	-0,02	-0,45	-0,22
Garmisch-Partenkirchen	0,0	0,02	0,00	0,01
Landsberg am Lech	0,0	0,08	-0,07	0,04
Miesbach	0,0	-0,07	-0,26	-0,17
Mühldorf am Inn	0,0	0,12	-0,02	0,10
München-Land	0,0	0,08	-0,56	-0,20
Neuburg-Schrobenhausen	0,0	0,12	0,04	0,12
Pfaffenhofen an der Ilm	0,0	0,14	0,03	0,16
Rosenheim	0,0	0,14	-0,11	0,10
Starnberg	0,0	-0,03	-0,45	-0,25
Traunstein	0,0	0,02	0,00	0,02
Weilheim-Schongau	0,0	0,03	-0,05	0,01
Landshut	0,0	0,11	-0,03	0,07

Quelle: Berechnungen des ifo Instituts

genheit kaum verändert haben, wird angenommen, dass die gegebenen regionalen Produktivitätsunterschiede auch bei Modellprognosen erhalten bleiben.

Die Wirkungsweise des Modells ist in Tabelle 1 am Beispiel einer Erhöhung des Wasserpreises (PEWA) dargestellt. Eine Erhöhung des Wasserpreises in München um 10% senkt den Wasserverbrauch, das BIP und den Bodenpreis. Über die Nachbarschaftseffekte pflanzt sich dieser Impuls in benachbarte Regionen fort. Je nach Grad der nachbarschaftlichen Verflechtung sinkt das BIP auch hier, was sich besonders in unmittelbar benachbarten Landkreisen zeigt. Das Nachlassen der wirtschaftlichen Aktivität führt aber auch zu einem Sinken der Bodenpreise, wodurch wiederum die lokale Industrie begünstigt wird. Durch diese Verschiebung der relativen Preise ergibt sich in manchen Regionen eine Ausweitung der industriellen Produktion, die auch von einer Zunahme des Wasserverbrauchs begleitet ist.

Unabhängig von den beschriebenen Änderungen in den Modellgleichungen, blieb das Prozedere zur Generierung von Proxelwerten anhand der aus den Bildern der Fernerkundung ermittelten Landnutzungsinformationen unverändert. Wie bisher wird die industrielle Wasserentnahme nach Grund- und Oberflächenwasser differenziert. Allen industriell besiedelten Proxeln, die gleichzeitig einen Fluss beinhalten oder in unmittelbarer Nachbarschaft zu einem Flussproxel liegen, wird ausschließlich Flusswasserentnahme zugewiesen, allen anderen Grundwasserentnahme.

In dem bisher dargestellten RIWU-Modell wird davon ausgegangen, dass jeder Zeit genügend Wasser vorhanden ist, um die Nachfrage der Industrieunternehmen zu decken. Um jedoch klimatische Szenarien sinnvoll berechnen und interpretieren zu können, war es notwendig auf Wassermangel reagieren zu können. Hierzu wurde RIWU um eine zweite Rechenstufe erweitert. Grundlage bildet hierbei ein proxelweiser Abgleich der berechneten industriellen Wassernachfrage mit dem vom Teilprojekt *WaterSupply* berechneten Wasserdargebot. Ist auf einem Proxel eines Landkreises die Nachfrage nicht gedeckt, ist es notwendig die Modellgleichungen noch einmal zu berechnen. Hierzu wird für jedes Proxel die Höhe des Wassermangels berechnet und von der Nachfrage des aktuellen Zeitschrittes subtrahiert. Für Proxel ohne Wassermangel bleibt die industrielle Wassernachfrage unverändert, von Mangel betroffene Proxel passen ihren Demand dem geringeren Dargebot an. Die neu ermittelten Werte werden aufsummiert und bilden die angepasste Wassernachfrage des Landkreises. Um die wirtschaftliche Entwicklung an diese neue Situation anzupassen, wird RIWU noch einmal neu berechnet. Hierzu wird der Wasserpreis der Eigenförderung der Industrie (PEWA) so lange minimal erhöht, bis das daraus resultierende Wasseraufkommen (WAUF) der neu berechneten Nachfrage entspricht. Dies hat negative Auswirkungen auf die wirtschaftliche Entwicklung, das Bruttoinlandsprodukt, die Bevölkerung und das Haushaltseinkommen der betroffenen Landkreise. Diese neu ermittelten Landkreiswerte werden auf die einzelnen Proxel verteilt und an die Schnittstelle übergeben.

Diese aus der zeitlichen Not heraus geborene Herangehensweise zur Abschätzung der Bedeutung von Wasser für wirtschaftliche Prozesse im Allgemeinen und der Folgen von Wassermangel im Speziellen wurde mittlerweile durch die Fertigstellung der ersten Version des Tiefen Akteurs Industrieunternehmen überholt, weiterentwickelt und erheblich verbessert. Dies sollen die folgenden Ausführungen zeigen.

3.1 Neuentwicklung des Tiefen Akteurs Industrieunternehmen

Ziel des Tiefen Akteurs Industrieunternehmen ist die möglichst realistische Simulation wasser-spezifischer Entscheidungen jedes einzelnen, für den Wasserkreislauf bedeutenden, Betriebes. Um die Rendite eines Unternehmens zu maximieren, muss das Management im Wesentlichen zwei grundlegende Probleme lösen: Wie viel produziere ich optimal und wie produziere ich diese Menge zu optimalen Kosten? Eine Antwort auf diese Problemstellung liefert in der ökonomischen Forschung ein Kostenminimierungsansatz. Die allgemeine Konzeptionierung des Tiefen Akteurs zur expliziten Modellierung von Entscheidungen wird damit in unserem Teilprojekt als ökonomischer Optimierungsansatz interpretiert und umgesetzt. Dabei werden unternehmerische Entscheidungen über die eingesetzte Wassermenge und die verwendete Technologie zur Mehrfach- und Kreislaufnutzung des geförderten Wassers - dies determiniert den so genannten Nutzungsfaktor²⁾ - explizit in den Vordergrund gerückt. Primäre Zielsetzung unseres Tiefen Akteurs ist es, den wirklichen Entscheidungsprozessen möglichst nahe zu kommen. Die gewählte zeitliche Ausdehnung der Entscheidungsprozesse, die berücksichtigten Kostenfaktoren und -strukturen und die Modellierung der Produktionstechnologie für den dynamischen Kostenminimierungsansatz ergaben sich dabei aus der Analyse der empirischen Zusammenhänge, aus intensiven Gesprächen mit Unternehmern unterschiedlicher Branchen und dem Studium der relevanten Produktionsprozesse vor Ort (siehe hierzu Modellgrundlagen in Kap. 3.1.2).

²⁾ Der Nutzungsfaktor ist definiert als Verhältnis des insgesamt genutzten Wassers zur Menge des geförderten Wassers.

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

3.1.1 Die Umsetzung des Akteurskonzepts im *DeepActorIndustry*-Modell

Der Tiefe Akteur Industrieunternehmen (*DeepActorIndustry*) wurde in Einklang mit den informatorischen Vorgaben des *DeepActor*-Frameworks entwickelt. Das folgende UML-Strukturdiagramm beschreibt die technische Umsetzung des Tiefen ökonomischen Modells (Abb. 1).

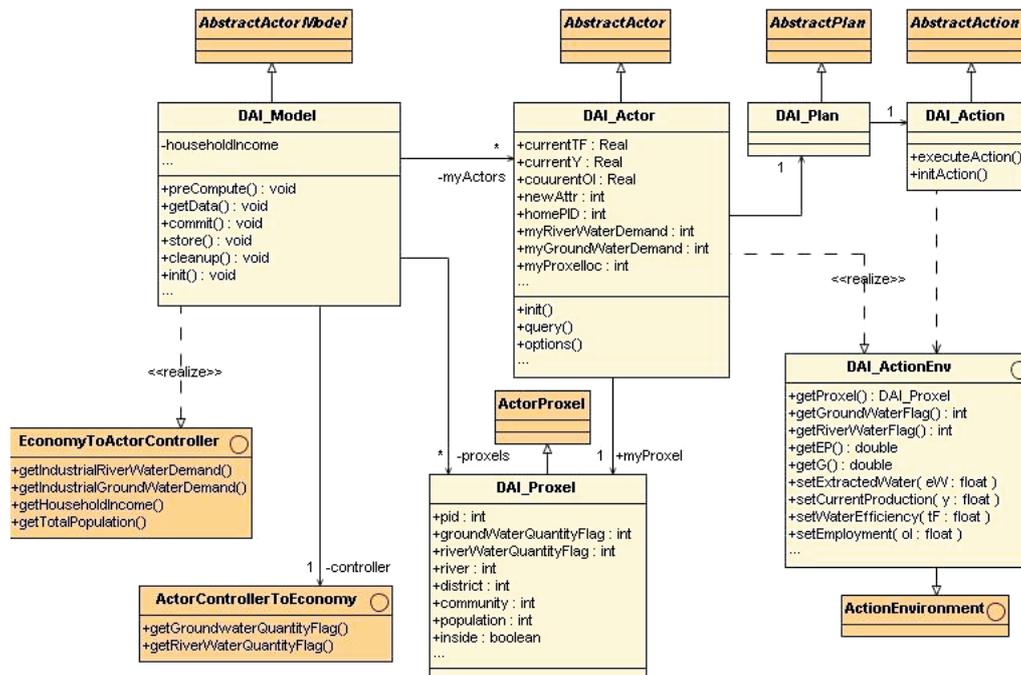


Abb. 1: Der Tiefe Akteur Industrieunternehmen im UML-Diagramm (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Die *DeepActorIndustry* (DAI)-Klassen für das tiefe Modell, den Tiefen Akteur, die Pläne und die Aktionen erweitern die vom Framework vorgegebenen abstrakten Klassen *AbstractActorModel*, *AbstractActor*, *AbstractPlan* und *AbstractAction* um die modellspezifischen Attribute und Methoden. In der *DAI_Model*-Klasse sind die Tabellen zur Berechnung des flachen (RIWU) und Tiefen Modells enthalten, ebenso wie die benötigten Utilities zum Schreiben und Auslesen der Parameter und Startwerte auf Proxel- und Kreisebene. Die *DAI_ActionEnv* (*Action Environment*) stellt die für die Berechnungen der Akteure und ihrer Aktionen notwendigen Werte zur Verfügung und speichert deren Ergebnisse lokal zwischen, um Sie später weiter zu geben. Der Datenaustausch mit den anderen Modellen erfolgt über die Schnittstellen *EconomyToActorController* (Datenexport) und *ActorControllerToEconomy* (Datenimport).

Durch die besondere Ausgestaltung von *DeepActorIndustry* weicht die Anwendung bzw. Interpretation des so genannten *computation cycles*, der den Ablauf des Entscheidungsprozess zur Auswahl der auszuführenden Pläne der Akteure beschreibt, von der sonst üblichen, sequentiellen Herangehensweise ab (Abb. 2). In der *preCompute*-Methode werden zunächst die beiden Variablen Bevölkerung (*TotalPopulation*) und Haushaltseinkommen (*HousholdIncome*) in der aktuellsten Version des flachen RIWU-Modell (siehe Exkurs oben) berechnet. Die so genannten aktiven Pläne (*active plans*), d.h. die in einem Zeitschritt theoretisch von einem Tiefen Akteur ausführbaren Pläne, in der *a.Options*-Methode beinhalten in *DeepActorIndustry* in jedem Zeitschritt sämtliche Entscheidungsvariablen des Akteurs. Bei den aktiven, theoretisch

ausführen, Plänen handelt es sich jedoch nicht um die Gesamtmenge aller durchführbaren Pläne; da diese unendlich ist, wird hier lediglich ein allgemeiner, abstrakter Plan jeder Entscheidungsvariable als Grundlage für jeden später tatsächlich ausgeführten, spezifischen Plan aktiviert. Durch die Interdependenzen aller Optionen untereinander (siehe Kap. 3.1.2 sowie Abb. 4) ist die Methode *p.computeRating* zur Bewertung der einzelnen Pläne Teil des *a.filter-Schrittes*, welcher für jede Entscheidungsvariable den jeweiligen optimalen Plan aus der unendlichen Menge der hypothetisch möglichen Pläne ermittelt. In der *a.execute-Methode* folgt dann die Ausführung und Umsetzung der konkret ausgewählten Pläne als Aktion (*action*) um.

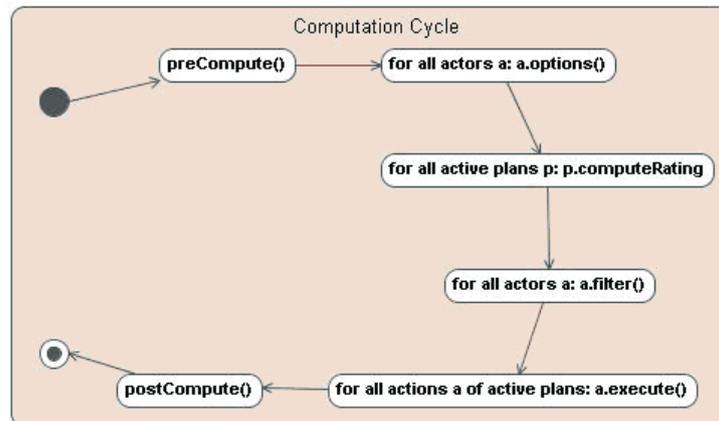


Abb. 2: Der computation cycle zur Auswahl der auszuführenden Pläne (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Abbildung 3 skizziert zunächst eine sequenzielle *rating-* und *filter-*Konzeption. Beispielhaft seien die beiden Parameter x_1 und x_2 als Entscheidungsvariable angenommen. In der Methode *options* werden drei Pläne mit unterschiedlichen Kombinationen verschiedener Ausprägungen der beiden Parameter aktiviert. Diese werden in der *rating-*Methode anhand einer beliebigen Nutzenfunktion bewertet und können so implizit geordnet werden. In der Abbildung sind die Optionen in ihrem Nutzen absteigend geordnet, sodass in der *filter-*Methode die am höchsten bewertete Option ausgewählt und umgesetzt wird.

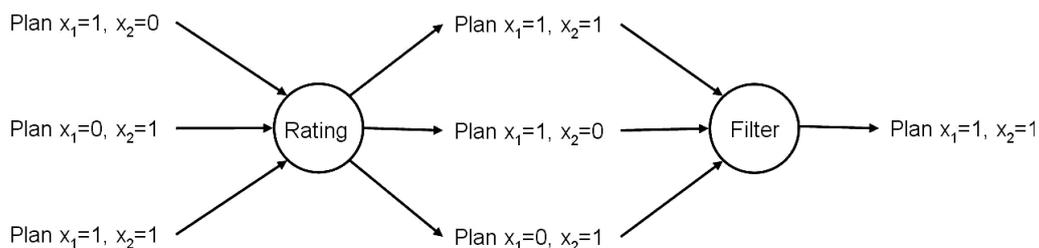


Abb. 3: Sequenzielle Ausführung der *rating-* und *filter-*Methoden (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Aus diesem Verfahren ergibt sich der Nachteile, dass lediglich Pläne realisiert werden können, welche bereits vorher festgelegt wurden. Damit scheidet zum einen unerwartete Handlungsalternativen aus, zum anderen ist es aufgrund der begrenzten Zahl von stetigen Alternativen unwahrscheinlich, das Optimum tatsächlich zu erreichen. Durch die im Tiefen Akteur Industrieunternehmen verwendete Methode der Optimierung wird versucht, diese Probleme zu überwinden. Die Kostenminimierung als kontinuierlicher Ansatz dient dabei gleichzeitig als *rating-* und *filter-*Element. Abbildung 4 illustriert dies für zwei Parameter über zwei Perioden. In der Kostenminimierung wird berücksichtigt, dass die Wahl einer Ausprägung für einen Parameter Auswirkungen auf andere Parameter sowie andere Perioden haben kann. Tätigt ein Betrieb beispielsweise in der aktuellen Periode Investitionen in die Erhöhung des Nutzungsfaktors des Wassers, so kommt ihm das auch in der nächsten Periode zu Gute.

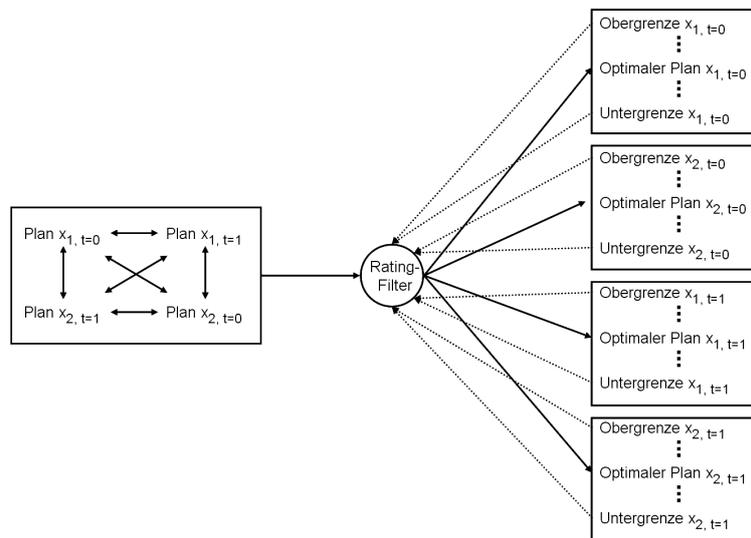


Abb. 4: Rating und filter im *DeepActorIndustry*-Modell Quelle: (Darstellung des ifo Instituts)

Bei der Wahl der optimalen Pläne müssen außerdem die Ober- und Untergrenzen der einzelnen Parameter berücksichtigt werden. Sie determinieren in welchem Rahmen die einzelnen Pläne ausgeführt werden können. Dabei kann die Wahl der Ausprägung eines Planes dessen Grenzen in einer anderen Periode sowie die Grenzen eines anderen Planes beeinflussen. Investiert der besagte Betrieb beispielsweise in die Erhöhung des Wassernutzungsfaktors, so hat er weniger Mittel zur Verfügung, die er für andere Investitionen ausgeben kann. Im Tiefen Industrieakteur können insbesondere die Potentiale der maximal einsetzbaren Technologie zur Mehrfachnutzung des Wassers als direkte obere Grenzwerte interpretiert werden (siehe auch Abb. 7 in Kap. 3.1.2).

3.1.2 Die Modellierung des Tiefen Akteurs

Modellgrundlagen und Informationsgewinnung

Der Tiefe Akteur Industrieunternehmen trifft optimale Entscheidungen mit dem Wissen über die Wirkungen seines Handelns, gegeben seiner aktuellen Umwelt, seinen Erwartungen, seiner beschränkten Rationalität und dem Bewusstsein über seine beschränkte Information. Der Entscheidungsprozess der Akteure erfolgt als dynamisch-adaptive Regelbildung in Reaktion auf die sich ändernde Umwelt. Der gewählte Ansatz beschreibt das kognitive Potenzial des Entscheidungsträgers Alternativen zu bilden. Den Akteuren wird keine fixe Menge an Plänen vorgegeben, aus denen sie eine geeignete Auswahl treffen, sondern es wird ein Prozess umgesetzt, nach dem die Akteure sich selbst Regeln definieren können, die den spezifischen Umweltzuständen entsprechen. Damit ist es möglich, auf Zustände zu reagieren, die bisher noch nicht eingetreten sind und für die daher noch keine Regeln beobachtet werden konnten. Natürlich ist gerade dabei besonders schwer abzuschätzen, wie sich ein Akteur verhalten wird. Eine Szenarienanalyse ist jedoch kaum notwendig, wenn dem nicht so wäre.

Die entscheidungsrelevante Umwelt des Akteurs lässt sich in drei Kategorien unterscheiden: als nicht beeinflussbar wahrgenommene Faktoren, beeinflussbare Faktoren und die von ihm direkt gewählten Entscheidungsgrößen:

- Faktoren, die der Akteur als nicht beeinflussbar wahrnimmt, sind der allgemeine technologische Fortschritt und der Wert der so genannten Flaggen. Die Flaggen repräsentieren in der Simulation auf einer Skale von 1 (grün, alles in Ordnung) bis 5 (schwarz, akuter Wassermangel) die Nachhaltigkeit der Wassernutzung. Die Flaggen sind derart angelegt, dass Sie von den einzelnen Akteurs-Gruppen individuell interpretiert werden

können. Sie werden für Grund- und Oberflächengewässer von den jeweils zuständigen Modellen berechnet und den Akteurs-Modellen über Schnittstellen zur Verfügung gestellt (*GroundwaterQuantityFlag* und *RiverWaterQuantityFlag* in Abb. 1). Entsprechend den Beobachtungen in der Praxis (siehe unten in diesem Abschnitt) beziehen die einzelnen Betriebe den Flaggenwert jedoch nicht aus Nachhaltigkeitsbemühungen in ihre Kalkulation ein. Die Flaggen können vielmehr als steigender institutioneller bzw. sozialer Druck der Behörden und allgemeinen Öffentlichkeit sowie steigende direkte Kosten durch vermehrtes Monitoring der Behörden interpretiert und umgesetzt werden. Steigende Flaggenwerte erhöhen damit direkt und vor allem indirekt (soziale Kosten) die Extraktionskosten des Wassers und senken so die Wassernachfrage des Unternehmens.³⁾

- Faktoren die der Akteur als von ihm beeinflussbar wahrnimmt ist vor allem der Anteil der laufenden Extraktionskosten, der durch den technischen Aufwand zur Mehrfach- und Kreislaufnutzung des Wassers determiniert ist.
- Diese Investitionen in die Erhöhung des Nutzungsfaktors des Wassers zählen nun, ebenso wie der Schadstoffausstoß, die entnommene Wassermenge, der Einsatz an Arbeitskräften, oder die Produktionsmenge, zur letzten Kategorie der direkt gewählten Entscheidungsgrößen.

Dabei berücksichtigt die Kostenminimierung insbesondere die Interpendenzen zwischen allen vom Akteur beeinflussten und direkt gewählten Faktoren sowie den Erwartungen, die er über die nicht beeinflussbar wahrgenommenen Faktoren trifft. Diese bildet er aus den Erfahrungen der Vergangenheit für den zukünftigen Zeitraum, den er in seine Kostenminimierung mit einbezieht.

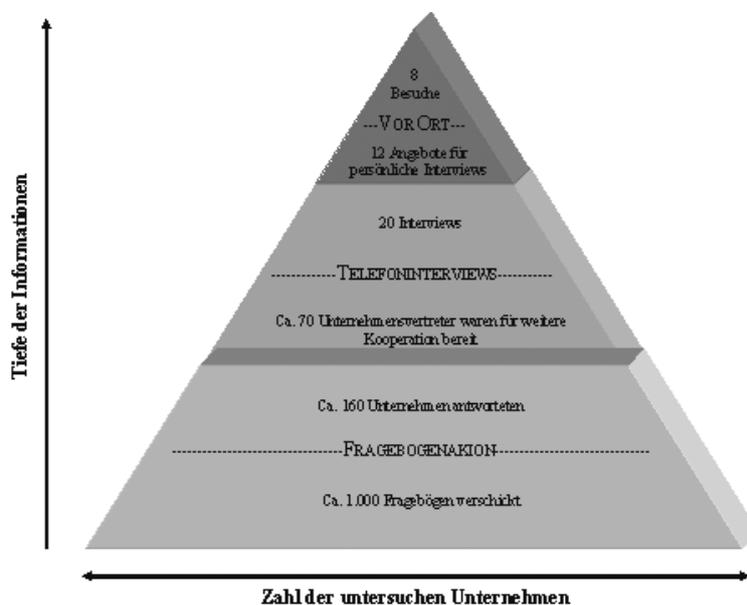


Abb. 5: Informationsbildung als dreistufiger Prozess (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Um die kurz skizzierten unternehmerischen Entscheidungsprozesse über Wasserförderung und Wassernutzung besser verstehen und in dem Tiefen Modell abbilden zu können, führten wir eine intensive, mehrstufige Unternehmensbefragung durch. Ziel dieses Informationsbeschaffungsprozesses war die Identifikation der, aus Sicht der Firmen, relevanten wasserspezifischen Fragestellungen und der damit verbundenen Problemlösungskonzepte,

³⁾ Strategische Interaktion zwischen den einzelnen Akteurstypen wird in unserem Modell bisher nicht behandelt. Der einzelne Industrieakteur berücksichtigt nicht, dass sein Verhalten andere Akteure beeinflusst und damit indirekt wieder auf ihn selbst zurückwirken kann.

um diese in einer möglichst realitätsnahen Modellierung umzusetzen. Abbildung 5 illustriert diesen partizipatorischen Prozess der Informationsfindung.

Die Identifikation relevanter Unternehmen erfolgte vornehmlich nach zwei Kriterien: der Ansiedlung des Produktionsstandortes innerhalb des Einzugsgebietes und der Zugehörigkeit des Betriebs zu einer wasserintensiven Branche. Für das Einzugsgebiet sind dabei vornehmlich die chemische Industrie und die Papierherstellung relevant. Allen mittleren und großen, über Firmendatenbanken (Hoppenstedt) identifizierbaren, Betriebe wurde zunächst ein Fragebogen zugeschickt (siehe Abb. I in Appendix 2 als Beispiel für einen ausgefüllt zurückgesandten Fragebogen). Zusätzlich wurde einer zufällig ausgewählten Kontrollgruppe nicht wasserintensiver Betriebe der identische Fragebogen zugesandt. Auf etwa 70 der 160 zurückgesandten Fragebögen brachten Firmenvertreter ihre Bereitschaft zur weiteren Kooperation zum Ausdruck; 20 davon wurden zu einem erweiterten Fragenset telefonisch interviewt. Dabei wurde vor allem der Themenbereich der produktionsspezifischen Wassernutzung vertieft diskutiert, sowohl allgemein als auch fokussiert auf die Fragestellung einer nachhaltigen Nutzung der Ressourcen. Als letzter Schritt konnten in persönlichen Treffen bei insgesamt 8 Produktionsstätten aus den Bereichen Chemische Industrie, Papierherstellung und Zementherstellung praktische Einblicke in die Produktionsprozesse gewonnen werden.

Von den antwortenden Betrieben fördern etwa 47% das eingesetzte Wasser selbst. Die Mehrheit von Ihnen nutzt dabei Grundwasser (Abb. II in Appendix 3). Das Wasser wird vornehmlich für Kühlzwecke verwendet. In den beiden wasserintensiven Branchen ist es als Produktionsmittel bedeutender als in seiner Verwendung zur Reinigung (Abbildung III in Appendix 3). Deutlicher werden die Unterschiede zwischen wasserintensiven und anderen Branchen in der Realisation von Investitionen zur Erhöhung des Nutzungsfaktors. So nutzt die Mehrheit von 60% der nicht wasserintensiven Betriebe das geförderte Wasser ausschließlich einmalig, während 46% der wasserintensiven Betriebe ihr Wasser mehrfach oder in einem Kreislauf nutzen und 23% sogar beide Technologien realisiert haben (Abbildung IV in Appendix 3).

Im extrem heißen und trockenen Sommer des Jahres 2003 mussten lediglich 2,6% der Betriebe einen Produktionsrückgang aufgrund der klimatischen Bedingungen verzeichnen (Abb. V in Appendix 3). Jedoch 14% der Unternehmen, die Wasser nur einmalig nutzen sowie 25% der anderen Betriebe können sich vorstellen, dass in Zukunft nicht mehr genügt nutzbares Wasser für ihre Produktionszwecke vorhanden ist (Abb. VI in Appendix 3). Die Unternehmen, die in Zukunft Probleme im verfügbaren Wasserdargebot erwarten, führen dies in 39% der Fälle auf die Wassermenge zurück, rund 21% gaben die Wasserqualität an, nur 4% die Wassertemperatur (Abb. VII in Appendix 3). Lediglich 5,2% aller Unternehmen gaben an, dass ein deutlicher Wandel in den klimatischen Bedingungen einen Einfluss auf ihre Standortwahl haben könnte (Abb. VIII in Appendix 3). Wie der weitere Verlauf der Informationsbeschaffung zeigte, würden die Unternehmen auf negative Änderungen in den klimatischen Randbedingungen vielmehr durch Investitionen in die Erhöhung des Nutzungsfaktors des Wassers reagieren. Dies sei darüber hinaus bereits jetzt, aufgrund behördlicher Restriktionen, die in den Unternehmen am häufigsten anzutreffende Strategie zur Reduzierung der Wasserförderung. In den Telefoninterviews und den Besuchen vor Ort, schloss folglich lediglich ein Unternehmensvertreter eine Standortschließung als Reaktion auf klimatische Veränderungen nicht aus.

Vor dem Hintergrund dieser Informationen wurde der Tiefe Akteur Industrieunternehmen als Kostenminimierungsmodell entworfen, bei dem Entscheidungen über den Einsatz von Technologien zur Nutzung des Wassers bei sich ändernden Rahmenbedingungen im Vordergrund stehen. Standortschließungen als weitere Entscheidungsmöglichkeit werden in dem Modell aufgrund nachrangiger Kontextrelevanz nicht berücksichtigt. Aufgrund der Ergebnisse der Fragebogenaktion (Abb. VII in Appendix 3) wurde das Modell zunächst für Änderungen in der nutzbaren Wassermenge entwickelt. Jedoch ist das Formelgerüst bereits jetzt mit einer Erweiterung für Fragestellungen der Wasserqualität entwickelt, jedoch bisher noch nicht umgesetzt worden.

Der grundsätzliche Modellierungsansatz

Jeder einzelne Akteur, jedes einzelne Unternehmen, maximiert seinen Nutzen bzw. minimiert seine Kosten in einem mehrstufigen Prozess. Zunächst bestimmt der Betrieb die für seine Entscheidungen notwendigen Parameter durch Abrufen der aktuellen Werte aus den Sensoren und *Interfaces*, der Werte der zurückliegenden Zeitschritten aus der *History* sowie der zukünftigen Werte aus seiner eigenen Erwartungsbildung. Daran anschließend erfolgt der zweistufige Prozess der Planfindung. Zunächst werden für ein gegebenes Produktionsniveau aus dem stetigen Kontinuum aller Kombinationsmöglichkeiten der gegenwärtigen und zukünftigen Entscheidungsvariablen die optimalen, kostenminimierenden Pläne bestimmt. Daraus resultiert anschließend die Bestimmung des optimalen Produktionsniveaus.

Im aktuell umgesetzten Modell werden bei der Kostenminimierung von den vier Parametern

- Wasserentnahme des Unternehmens,
- Höhe der Produktion,
- eingesetzte Technologie zur Realisierung des Nutzungsfaktors des Wassers und
- Beschäftigung

Vektoren über einen Zeitraum von zwei Jahren bzw. 24 Monaten für die jeweils gegenwärtigen und zukünftigen Werte realisiert. Die Modellierung dieser Parameter erfolgt auf der Ebene eines repräsentativen Betriebes pro Proxel. Die Zahl der modellierten Akteure entspricht somit der Zahl der anhand der Landnutzungsklassifizierung identifizierten Industrieproxele (aktuell 1354 Proxele). Die Attribute jedes Akteurs werden durch die Gegebenheiten auf dem entsprechenden Proxel bestimmt. Dazu zählen insbesondere die Art des entnommenen Wassers (Grund- oder Oberflächenwasser), der Umsatz der Industriebetriebe, die Förderkosten und der Nutzungsfaktor des Wassers. Jeder Akteur führt im Rahmen seiner Entscheidungsfindung in jedem Zeitschritt derzeit 9 Pläne aus die seine Kosten insgesamt minimieren: jeweils ein Plan für die gegenwärtigen und zukünftigen Werte für die Wasserentnahme, die Wassernutzung, die Beschäftigung und die Produktion sowie ein Plan zur Erwartungsbildung. Diese Pläne resultieren aus der Konkretisierung der *active-plans* in der *rating-* und *filter-*Methode (Abb. 4). Die Schwierigkeit der Modellierung liegt vor allem in der notwendigen simultanen Optimierung aller Entscheidungsvariablen, da sich die einzelnen Pläne gegenseitig beeinflussen.

Die Erwartungsbildung erfolgt im derzeitigen Modellstatus über so genannte naive Erwartungen, d.h. der Akteur erwartet, dass die Werte in der Zukunft den aktuellen Werten entsprechen. Derzeit unterliegen u.a. die folgenden Parameter der Erwartungsbildung:

- Kosten der Wasserentnahme
- Werte der Flaggen (siehe.)
- Kosten für technologische Innovationen zur Erhöhung des Nutzungsfaktors sowie das diesbezügliche Innovationspotential
- Eigener Wasserverbrauch
- Absatzpreise
- Wachstum (technologischer Fortschritt und Effizienzzuwachs)

Abbildung 5 illustriert zur Verdeutlichung des gewählten Modellansatzes beispielhaft die Planauswahl der Akteure bzw. die Konkretisierung der aktiven Pläne für 3 Plantypen. Sie zeigt die Auswirkungen der Variation von drei der berechneten Variablen bei Konstanz der anderen Variablen. Auf den beiden untern Achsen der Abbildungen sind jeweils das zukünftige Technologieniveau (tF_1 Innovationsparameter, entspricht dem Nutzungsfaktor des Wassers) sowie die aktuelle Wasserförderung (eW_0) aufgetragen. Die Abbildungen unter-

scheiden sich anhand des erwarteten Trends der Wasserförderung (A Trendparameter, entspricht dem Verhältnis von zukünftiger zu aktueller Wasserförderung: eW_1/eW_0). In der Höhe ist der Erwartungswert des Gewinns der in der Optimierung berücksichtigten nächsten 24 Monate aufgetragen, welcher im Tiefen Akteurskontext direkt als Parameter zum *rating* der einzelnen Pläne interpretiert wird.

Die Grafiken zeigen die Planauswahl für den diskreten Fall. Jede Abbildung unterscheidet zwischen 20 möglichen Extraktionsniveau- und Technologieniveauplänen. Ferner werden sechs mögliche Extraktionstrendpläne abgebildet. In diesem eingeschränkten diskreten Beispiel besteht also eine Gesamtzahl von 2400 Plankombinationen. Der einzelne tiefe Industrieakteur modelliert den kontinuierlichen Fall der neun oben genannten unterschiedlichen Plangrößen mit einer jeweils unendlichen Zahl von Planausprägungen.

In der unteren, mittleren Graphik der Abbildung 5 plant der Industriebetrieb in der aktuellen Periode 90 Einheiten Wasser zu extrahieren und zukünftig einen Technologieplan mit einem Nutzungsfaktor von 5,2 zu realisieren. Gegeben des Extraktionstrends von 1,4 stellt Punkt P_3 auf dem Gewinngebirge den Gipfel und damit das Erwartungsgewinnmaximum dar, also diejenige Kombination von Extraktions- und Technologieplan, welche das höchste *rating* generieren würde. Vergleicht man P_3 mit P_0 aus der oberen mittleren Grafik, so sind die Extraktions- und Technologiepläne identisch und auch P_0 gibt das Erwartungsgewinnmaximum in der Abbildung wider. Der geplante Extraktionstrend von 0,8 ist jedoch niedriger. Es ist leicht erkennbar, dass der Erwartungsgewinn im Punkt P_0 höher ist als in P_3 und deshalb ein geplanter Extraktionstrend von 0,8 dem von 1,4 vorzuziehen ist.

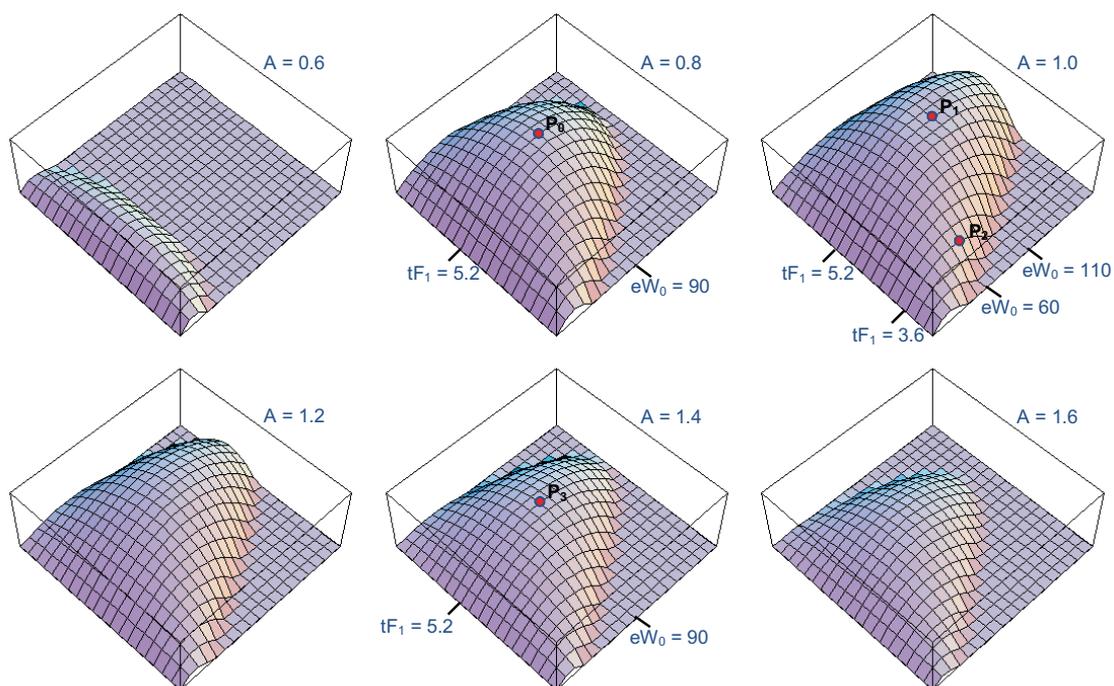


Abb. 6: Planauswahl eines Industrieakteurs (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Die einzelnen Abbildungen wurden bewusst in der Höhe beschränkt. Damit ist eindeutig ersichtlich, dass die rechte obere Grafik als einzige an die Obergrenze stößt und der dortige Gipfel höher als in den anderen Abbildungen liegt. Man kann erahnen, dass ein Extraktionsplan von 110 Einheiten, ein Technologieplan mit einem Nutzungsfaktor von 5,2 und ein geplanter Extraktionstrend von 1,0 in Punkt P_1 den Erwartungsgewinn über alle betrachteten Plangrößen maximieren. Es ist sofort ersichtlich, dass eine durch den Punkt P_2 gekennzeichnete Kombination von Plänen mit dem zwar optimalen Extraktionstrend aber suboptimalen Extraktions- und Technologieplänen zu einem niedrigeren Erwartungsgewinn als im optimalen Punkt P_1 der selben Abbildung führt.

Das Modell

Grundlage für die konkrete Planauswahl ist der Kostenminimierungsansatz in Appendix 4. Die Produktion wird dabei durch eine Leontieftechnologie mit den Bereichen Arbeitseinsatz, effektive Wassermenge und Schadstoffausstoß beschrieben.⁴⁾ Die effektive Wassermenge ergibt sich dabei aus einer Cobb-Douglas-Technologie, in der Wasser und Innovationen Substitute bilden. Arbeit wird in einem konstanten Verhältnis zum Kapitalstock eingesetzt und steigert ihre Produktivität über die Zeit, gegeben einem exogenen Effizienzparameter. Der in Innovationen investierte Kapitalstock bestimmt den Nutzungsfaktor des Wassers. Der Ausstoß der unterschiedlichen Schadstoffe ist über eine CES-Technologie untereinander sowie zusätzlich mit Investitionen in die Schadstoffvermeidung substituierbar. Die Kosten werden minimiert über die Wahl des Innovationsgrades der Wassernutzung (und in der Schadstoffvermeidung), über die entnommene Wassermenge, (über die ausgestoßenen Mengen der einzelnen Schadstoffe) und über die Wahl des Arbeitseinsatzes. Tabelle 2 fasst die in dem Modell verwendeten Variablen zusammen. Dabei wird unterschieden, ob sie bereits in der aktuellen Modellversion implementiert sind, oder ihre Verwendung im weiteren Verlauf der Projektphase geplant ist.

Besonders zu beachten ist die Art der Modellierung der mengenabhängigen Kostenentwicklung der Wasserentnahme, bzw. in der späteren Modellierung auch des Umfangs des Schadstoffausstoßes. Wie in Abbildung 7 dargestellt, steigen diese Kosten exponentiell an, wenn sich der jeweilige Umfang dem maximalen ökologischen Potential nähert. Damit wird berücksichtigt, dass die mit der Wasserentnahme bzw. dem Schadstoffausstoß verbundenen Kosten auf der einen Seite zwar eine Funktionen der physikalischen Extraktionskosten sind, auf der anderen Seite aber auch durch die Flaggenwerte beeinflusst werden, die die sozialen Kosten bzw. den soziale Drucks und die institutionellen Bedingungen miteinbeziehen.

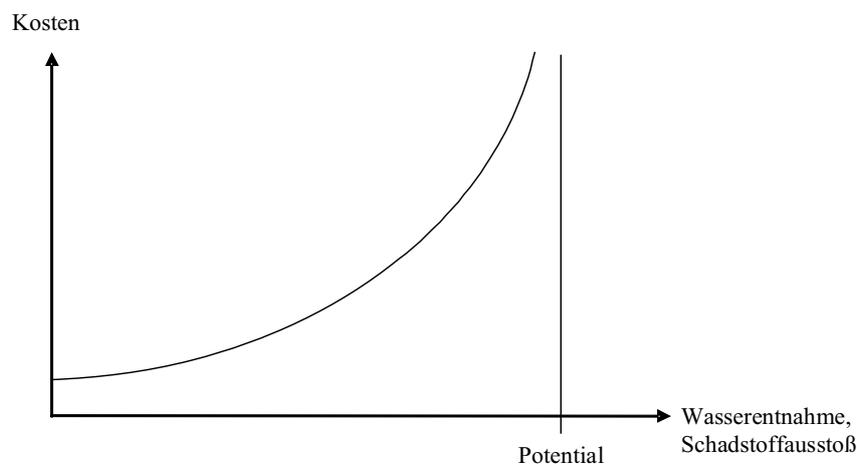


Abb. 7: Technologische Potentiale und Kostenentwicklung (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Das Potential entspricht dabei den von den Firmen empfunden Grenzen, welche nicht mit dem behördlich genehmigten Extraktionskontingent bzw. den gesetzlichen Grenzwerten übereinstimmen müssen. Vielmehr werden durch die Berücksichtigung der Flaggen bei der Bestimmung des unternehmensspezifischen Potentials auch soziale Faktoren berücksichtigt. Für die Szenarienanalyse ergibt sich dadurch die Möglichkeit endogene und exogene Trends in diesen Bereichen zu berücksichtigen und zudem durch Veränderungen des Potentials technologischen Fortschritt in langen, dynamischen Szenarienläufen plausibel abzubilden.

⁴ Die Modellierung von Schadstoffen in den Abwässern der Unternehmen ist lediglich im Minimierungsansatz angelegt, wird jedoch in der konkreten Umsetzung noch nicht berücksichtigt.

Tab. 2: *DeepActorIndustry* - Parameterübersicht und Implementierung

Parameter	Beschreibung	Bereits in der Simulation implementiert	In der weiteren Modellentwicklung geplant
J	Anzahl der berücksichtigten Perioden	Optimiert wird über 2 Jahresperioden, das Ergebnis auf 24 Monatsaktionen herunter gebrochen	Optimiert wird über 3 Jahresperioden, das Ergebnis auf 36 Monatsaktionen herunter gebrochen
H, h	Anzahl der unterschiedlichen Wasserbezugsarten (ohne Fremdbezug welcher mit „0“ indexiert ist)	Betrieb bzw. Proxel nutzt exklusiv Grund- oder Oberflächenwasser	Betrieb substituiert zwischen Grund- und Oberflächenwasser sowie Fremdbezug
I	Anzahl der berücksichtigten Schadstoffe	Keine	<ul style="list-style-type: none"> • Chem. Sauerstoffbedarf • AOX - Gehalt • Mech. Abwasserbehandlung • Chem. Abwasserbehandlung • Biol. Abwasserbehandlung
tAC	Anpassungskosten für effizientere Wassernutzung (Mehrfach-, Kreislaufnutzung)	Nein	Ja
tF	Nutzungsfaktor des Wassers (Mehrfach-, Kreislaufnutzung)	Ja	-
$twAC$	Anpassungskosten für Anlagen zur Reduktion des Schadstoffausstoßes	Nein	Ja
wI	Investitionen in Schadstoffvermeidung	Nein	Ja
cC	Vektor der konstanten Kosten	Ja	-
oC	Kosten für Kapital und Arbeit (bei konst. Kapitalintensität)	Ja	-
oI	Kapital- und Arbeitseinsatz (bei konst. Kapitalintensität)	Ja	-
eC	Kosten für den Wasserbezug der Wasserbezugsarten	Für den jeweiligen exklusiven Bezug	Oberflächen-, Grundwasser- und Fremdbezugs-kosten
eP	Von der Firma wahrgenommene Bezugspotentiale	Für den jeweiligen exklusiven Bezug	Oberflächenwasser- und Grundwasserpotential
eW	Bezogene Wassermengen	Für den jeweiligen exklusiven Bezug	Oberflächenwasser, Grundwasser und Fremd-bezug
tC	Nutzungsfaktorspezifische Anlagenkosten (Unterhaltskosten)	Ja	-
wC	Kosten für den Schadstoffausstoß	Nein	Siehe „I“
wP	Von der Firma wahrgenommene Grenzwerte für den Schadstoffausstoß	Nein	Siehe „I“
wO	Ausgestoßene Schadstoffe	Nein	Siehe „I“
twC	Unterhaltskosten der Anlagen zur Reduktion des Schadstoffausstoßes	Nein	Ja
p	Produktpreise	Ja	-
y	Produktionsoutput	Ja	-
gO	exogener Effizienzgewinn von Kapital und Arbeit	Ja	-
αoI	Technologieparameter Kapital und Arbeit	Ja	-
ϕoI	Kehrwert Produktpreis	Ja	-
αeW	Technologieparameter Wassereinsatz	Ja	-
ϕeW	Kehrwert Technologieparameter Wassereinsatz	Ja	-
βwO	Technologieparameter der Einzelschadstoffausstöße	Nein	Siehe „I“
αwO	Technologieparameter Gesamtschadstoffausstoß	Nein	Ja
ϕwO	Kehrwert Technologieparameter Gesamtschadstoffausstoß	Nein	Ja

Quelle: Darstellung des ifo Instituts

Formal bestimmen sich die von einem Unternehmen ausgeführte Pläne aus dem in Appendix 4 dargestellten Kostenminimierungsansatz. Dieser liefert die folgenden, bisher realisierten, optimalen Pläne für die Periode t . Dabei wird auch auf Modelldetails eingegangen, die in dem Optimierungsansatz bereits angelegt sind, jedoch noch nicht in dem konkret programmierten Modell umgesetzt wurden.

Optimaler Produktionsplan:

$$y_t = \left(\frac{1}{\sqrt{eCP_t}} \left((eCP_{t-1} + eCP_{t+1}) \sqrt{\alpha eW_t \phi eW_t} \sqrt{3tAC_t - 3tAC_{t+1} + tC_t} \right) + \frac{\sqrt{eCP_t \alpha eW_t \phi eW_t} (6tAC_t - 6tAC_{t+1} + tC_{t-1} + 2tC_t + tC_{t+1})}{\sqrt{3tAC_t - 3tAC_{t+1} + tC_t}} + (twAC_t - twAC_{t+1} + twC_{t-1} + twC_t + twC_{t+1}) \sqrt{\alpha wO_t \phi wO_t} \right)^2 \left/ \left(4p_t \left(-\frac{1}{(1+gO)^t} (oC_{t-1} + oC_t + oC_{t+1}) \alpha oI_t \phi oI_t \right)^2 \right) \right.$$

Aus dem Kostenminimierungsansatz ergibt sich die Kostenfunktion in Abhängigkeit der produzierten Menge. Die optimale Produktion folgt aus der Ableitung dieser indirekten Kostenfunktion und dem Gleichsetzen dieser Grenzkosten mit dem Grenzerlös. Dieser entspricht aufgrund des angenommenen vollkommenen Konkurrenzmarktes dem konstanten Absatzpreis. Aus Sicht des Produzenten ist der Absatz damit vollkommen preiselastisch. Gegeben der Annahme, dass

$$3tAC_t + tC_t > 3tAC_{t+1} \text{ also } 3tAC_t < 3tC_t$$

gilt, ergibt sich ein positives Produktionsniveau. Erwartungsgemäß interpretierbar sind auch die Terme im Nenner. Mehr Fortschritt resultiert in mehr, höhere Kapital- und Arbeitskosten in weniger Produktion.

Optimaler Arbeitseinsatzplan:

$$oI_t = \frac{1}{(1+gO)^t} p_t y_t \alpha oI_t \phi oI_t$$

Der Arbeitseinsatz steigt mit der produzierten Menge und sinkt mit steigender Effizienz der Arbeit.

Optimaler Technologieeffizienzplan des Wassernutzungsfaktors:

$$tF_t = \frac{\sqrt{eCP_t p_t y_t \alpha eW_t \phi eW_t}}{\sqrt{3tAC_t - 3tAC_{t+1} + tC_t}}$$

Da der Preis für den Fremdbezug von Wasser im Modell unabhängig von der Menge ist, müssen im Gleichgewicht die Grenzkosten für alle Wasserbezugsarten gleich sein. Für den Technologieeinsatz ist daher nur der Preis des Fremdbezuges maßgeblich. Steigt dieser, steigt auch der Nutzungsgrad. Ebenso intuitiv steigt der Nutzungsfaktor mit steigender Produktion und sinkt mit steigenden Unterhaltskosten der Anlagen zur Mehrfach- und Kreislaufnutzung.

Optimaler Oberflächenwasserentnahmeplan/Grundwasserentnahmeplan:

$$eW_{h,t} = eP_{h,t} - \frac{eC_{h,t}}{eC_{o,t}}$$

Erwartungsgemäß muss die Wasserentnahme unter dem jeweiligen Potential liegen, da bei positiven Entnahmekosten die Relation von Eigenförderungskosten zu Netzwasserkosten immer positiv ist. Der Intuition folgend steigt die Eigenförderung mit steigenden Kosten für den Fremdbezug von Wasser und sinkt mit steigen Eigenförderungskosten.

Wenn möglich, wurden die spezifischen Werte der einzelnen Variablen zur konkreten Umsetzung des Modells von RIWU-Modellläufen übernommen, so z.B. für die Wasserentnahme oder die produzierte Menge. Die anderen Variablen ergeben sich entweder endogen aus dem Modell, oder wurden zur Vereinfachung normiert. Wie Kapitel 3.1.3 zeigt, wird diese, etwas hemdsärmliche, erste Herangehensweise im weiteren Verlauf der Modellentwicklung durch einen konkreten Mikrodatensatz ersetzt werden. Die ersten Ergebnisse des Tiefen Akteurs Industrieunternehmen in einem DANUBIA-Lauf werden in Kapitel 4 dargestellt.

3.1.3 Geplante Arbeitsschritte für das Jahr 2006

An dieser Stelle sollen abschließend die nächsten Arbeitsschritte zur Weiterentwicklung des *DeepActorIndustry*-Modells zusammenfassend dargestellt werden. Konkret sind im Wesentlichen die folgenden Schritte vorgesehen:

- Durch eine bereits initiierte Kooperation mit den Forschungsdatenzentren der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder zur Gewinnung eines Mikrodatensatzes, planen wir, unser Modell in Zukunft auf der Ebene des einzelnen Betriebes zu schätzen, anstatt dem bisherigen repräsentativen Betrieb pro industriellem Proxel. Damit erfolgt auch die explizite Berücksichtigung der Branchenzugehörigkeit eines Unternehmens und des damit verbundenen spezifischen Verhaltens. Ein Datensatz zur proxelspezifischen Zuordnung wasserintensiver Betriebe wurde bereits erstellt. Bisher konnte lediglich vereinfachend unterstellt werden, dass auf Proxeln mit hoher Wasserentnahme Unternehmen wasserintensiver Branchen angesiedelt sind.
- Die Optimierung der Unternehmen soll in der nächsten Entwicklungsstufe des Modells auf bis zu 13 Vektoren erweitert werden. Die Betriebe werden nicht mehr auf eine Wasserbezugsart festgelegt sein, sondern zwischen Grund- und Oberflächenwasser sowie Fremdbezug substituieren können. Es wird nicht nur Frischwasser, sondern auch die Schadstoffbelastung des Abwassers modelliert und zusätzlich zu der jetzigen Möglichkeit in die Wasserbedarfsreduktion zu investieren, können die Betriebe weitere Umweltinnovationen zur Schadstoffvermeidung in den Abwässern tätigen.
- Der Planungshorizont der Unternehmen wird dabei von zwei auf drei Jahre erweitern und entspricht damit dem in der Praxis üblichem Niveau. Dieser Zeitrahmen wurde von der Mehrzahl der Betriebe in den Firmengesprächen (siehe Kap.3.1.2) als maßgeblich für Umweltinvestitionen angegeben.

3.2 Vorarbeiten für ein neues Modell zur Bevölkerungsentwicklung

Wie dargestellt, wurde die Modellierung industrieller Wassernutzung bereits in ein neues Modell überführt. Die Bevölkerungsentwicklung wird bisher weiterhin im Rahmen des RIWU-Modells abgebildet. Im Modell *Demography* erfolgt die Unterteilung der Bevölkerung in je fünf Einkommens- und Haushaltsgrößenklassen. Ziel des neu zu entwickelnden Bevölkerungsmodells ist die simultane Modellierung der Bevölkerungsentwicklung 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

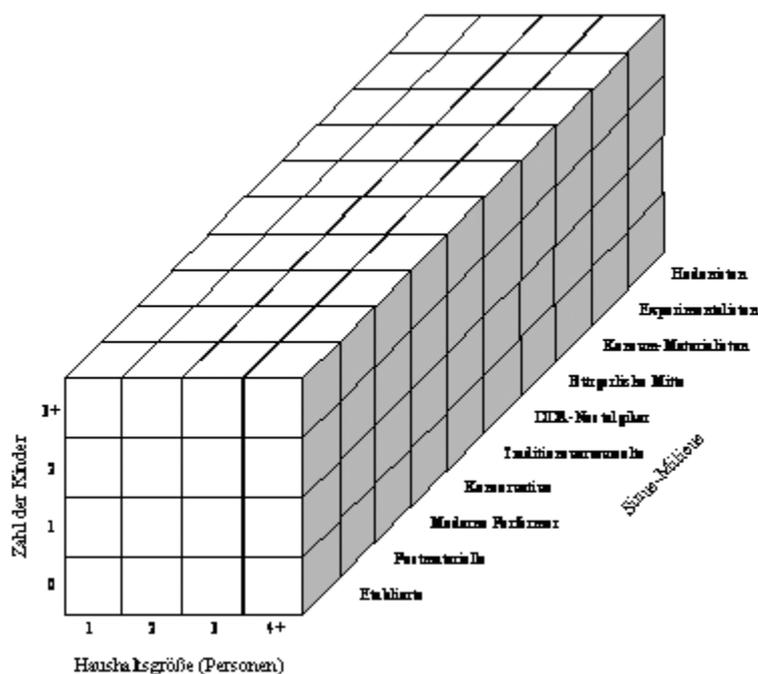
werden. In der bisherigen, sehr starren, Verknüpfung von RIWU und *Demography* ist dies schwer möglich. Für dieses neue Modell wurden bereits erhebliche Vorarbeiten, vor allem in der Generierung einer realistischen Verteilung der Ausgangsbevölkerung, durchgeführt. Diese Vorarbeiten sind vor allem Gegenstand dieses Kapitels.

Neben dem Selbstzweck der Abbildung unterschiedlicher Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung, dient ihre Modellierung in DANUBIA vor allem anderen Teilprojekten als Inputfaktor ihrer jeweiligen Modelle, allen voran dem Modell *DeepHousehold* zur Modellierung des Wasserverbrauchs der Haushalte. Dementsprechend ist es vorrangiges Ziel des neu zu entwickelnden Modells den Anforderungen und Wünschen der anderen Teilmodelle zu entsprechen. Als relevante Kriterien zur Differenzierung der Bevölkerung wurden in Abstimmung mit dem Teilprojekt *Household* drei Parameter definiert: Haushaltsgröße, Zahl der Kinder in einem Haushalt sowie Verteilung der Bevölkerung nach Sinus-Milieu-Zugehörigkeit. Bei den Sinus-Milieus handelt es sich um eine Unterteilung der Bevölkerung nach den beiden Kriterien soziale Lage und gesellschaftliche Grundorientierung. Die einzelnen Milieus zeigt Abbildung 8. Diese Milieus werden vor allem in der Marktforschung und im Bereich des Direktmarketing eingesetzt und sollen in DANUBIA dazu dienen, Unterschiede im Wasserverbrauch verschiedener Haushalte zu erklären.

Das Kapitel zeigt das entwickelte Verfahren zur Generierung einer realistischen Ausgangsverteilung der Bevölkerung und schließt mit einem kurzen Ausblick über die Möglichkeiten und Probleme in der Modellierung der Bevölkerungsentwicklung.

Die Abbildung der Bevölkerung in einer 4x4x10-Matrix

Erstes Ziel des neuen Bevölkerungsmodells ist die proxelbezogene, simultane Unterteilung der Bevölkerung nach den drei Kriterien Haushaltsgröße, Zahl der Kinder in einem Haushalt sowie Zugehörigkeit zu einem Sinus-Milieu. Diese drei Informationsbestandteile liegen jedoch lediglich isoliert und auf unterschiedlichen Aggregationsniveaus vor. Informationen über Haushaltsgröße und Zahl der Kinder liefert die jeweilige amtliche Statistik der Länder, die prozentuale Unterteilung der Bevölkerung nach Sinus-Milieus wurde für den deutschen Teil des Einzugsgebiets vom Anbieter dieser Informationen (Sinus-Sociovision) gekauft und auf das Proxel verteilt. Für Österreich liegt lediglich eine landesdurchschnittliche prozentuale Verteilung der Bevölkerung in die Milieus vor. Die Informationen der amtlichen Statistik liegen für Österreich



auf der Ebene der Landkreise vor, für Bayern und Baden-Württemberg auf der größeren Ebene der Regionen. Da die Daten über Kinderzahl und Haushaltsgröße für Bayern und Baden-Württemberg lediglich für jeweils vier Klassen vorliegen - in Österreich sind es 5 bzw. 6 Klassen - wird aus Gründen der Einheitlichkeit für das gesamte Einzugsgebiet, quasi als kleinster gemeinsamer Nenner, eine 4x4x10-Matrix entwickelt (Abb. 8).

Das entwickelte Verfahren zur Generierung einer proxelbasierten Bevölkerungsverteilung in die beschriebene 4x4x10-Matrix, basiert im Wesentlichen auf den folgenden drei Schritten:

Abb. 8: Unterteilung der Bevölkerung in eine 4x4x10-Matrix (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

- Bildung einer 4x4-Matrix aus Haushaltsgröße und Zahl der Kinder auf der feinsten verfügbaren Ebene der amtlichen Daten (s.o.): Die hierbei zur Verfügung stehenden Rohdaten der bayerischen und baden-württembergischen Landesämter unterscheiden sich, neben der räumlichen Auflösung, auch in ihren konkreten Inhalten von den Österreichischen, sodass das entwickelte Verteilungsverfahren jeweils leicht abgewandelt werden musste.
- Disaggregation der so ermittelten 4x4-Matrizen auf das Proxel, anhand der bekannten Informationen der Landnutzungsklassifizierung: Die relative, prozentuale Verteilung der Bevölkerung innerhalb der einzelnen Proxel-Matrizen eines Landkreises bzw. einer Region ist dabei identisch.
- Erweiterung der 4x4-Matrix um die 10 Sinus-Milieus: Die prozentuale Verteilung der Bevölkerung in die Milieus liegt auf der Proxelebene vor. Für den bundesdeutschen Durchschnitt ist darüber hinaus die relative Bedeutung der einzelnen Haushaltsgrößen in den Milieus bekannt. Die Zahl der Kinder wird dabei nicht berücksichtigt und innerhalb der einzelnen Haushaltsgrößenklassen- und Milieukombinationen konstant gelassen. Beide Informationen zusammen ermöglichen die Erweiterung der 4x4-Matrix.

Der aufwändigste, erste Schritt zur Generierung der 4x4-Matrix soll im Folgenden im Detail beschrieben werden.

Tab. 3: Datenbasis zur Ermittlung der 4x4-Matrix

	Bayern	Baden-Württemberg	Österreich
Basisjahr	2001	2001	2001
Ebene	Region	Region	Politische Bezirke (entspr. Landkreise)
Definition Haushalt	Als Haushalt (Privathaushalt) zählt jede zusammenwohnende und eine wirtschaftliche Einheit bildende Personengemeinschaft (Mehrpersonenhaushalt) sowie jede für sich allein wohnende und wirtschaftliche Einzelperson (Einpersonehaushalt). Zu einem Haushalt können verwandte und familiefremde Personen gehören; Untermieter bilden einen eigenen Haushalt. Gemeinschafts- und Anstaltsunterkünfte sind keine Haushalte, können aber solche in ihrem Bereich umfassen (z.B. Haushalt des Hausmeisters oder des Heimleiters).		
Daten allgemein	Hochgerechnete Werte auf 1.000 gerundet (1%-ige Mikrozensus-Stichprobe, hochgerechnet von den Ergebnissen aus 1993)	Hochgerechnete Werte auf 1.000 gerundet (1%-ige Flächenstichprobe der Repräsentativstatistik Mikrozensus)	Volkszählung 2001 (STATISTIK AUSTRIA 2005a)
Daten HH-Größe	Privathaushalte nach den Merkmalen Einpersonenhaushalt und Mehrpersonenhaushalt (1 bis 4 oder mehr)	Privathaushalte nach den Merkmalen Einpersonenhaushalt und Mehrpersonenhaushalt (1 bis 4 oder mehr)	Privathaushalte nach den Merkmalen Einpersonenhaushalt und Mehrpersonenhaushalt (1 bis 6 oder mehr)
Daten Kinder	Privathaushalte nach der Zahl der Kinder im Haushalt (0 bis 3 oder mehr)	Privathaushalte nach der Zahl der Kinder im Haushalt (0 bis 3 oder mehr)	Familien nach Familientyp (Ehepaar, Lebensgemeinschaft, Alleinerziehend) und Zahl der Kinder (0 bis 4)
Daten Familien	Familien nach Familientyp (Ehepaare, Alleinerziehende) und Anzahl der Kinder	Familien nach Familientyp (Ehepaare, Alleinerziehende) und Anzahl der Kinder	Familien nach Familientyp (Ehepaar, Lebensgemeinschaft, Alleinerziehend) und Zahl der Kinder (0 bis 4)

Quelle: Darstellung des ifo Instituts

Datenbasis der amtlichen Statistiken im Vergleich

Bei der Erstellung der 4x4-Matrix werden die Haushalte durch die beiden Attribute Anzahl der Kinder (0, 1, 2, 3 und mehr) und Anzahl der Personen in einem Haushalt (1, 2, 3, 4 und mehr) beschrieben. Als aktuellster Zeitpunkt, für den alle relevanten Daten in den einzelnen (Bundes)Ländern zur Verfügung stehen, konnte das Jahr 2001 identifiziert werden. Tabelle 3 zeigt die Datenbasis der drei Länder in einem zusammenfassenden Vergleich. Die bayerischen und baden-württembergischen Daten unterscheiden sich dabei von den österreichischen, sodass es notwendig war, zwei unterschiedliche Lösungsansätze zu entwickeln.

Die Entwicklung der 4x4-Matrix

Im Folgenden wird die generelle Belegung der 4x4-Matrix, am Beispiel des Bezirks Innsbruck Stadt, für den österreichischen Teil des Einzugsgebiets vorgestellt. Auf die Unterschiede für den deutschen Teil des Einzugsgebietes im Anschluss daran kurz eingegangen.

Tabelle 4 zeigt die aus der Statistik bekannten isolierten Daten über Haushaltsgröße und Zahl der Kinder, die es zu verknüpfen gilt.

Tab. 4: Statistische Daten Innsbruck Stadt

	Haushalte										
	insgesamt	Privathaushalte		Privatth mit ...Pers					6 und mehr		Anstaltshh
		Haushalte	Personen	1	2	3	4	5	Hh	Personen	
Innsbruck Stadt	53985	53903	111398	22847	15492	7943	5342	1613	666	4305	82

	Insgesamt		Mit ... Kindern aller Altersstufen					
	Familien	Kinder	0	1	2	3	4 und mehr	
							Familien	Kinder
Innsbruck Stadt	29122	29326	10515	10398	6247	1527	435	1853
Ehepaar	18835	18209	8224	4858	4312	1126	315	1349
Lebensgemeinschaft	3809	2252	2291	972	405	99	42	173
Alleinerziehend Vater	787	1047	0	585	157	33	12	49
Alleinerziehend Mutter	5691	7818	0	3983	1373	269	66	282

Quelle: Statistik Austria 2005a.

Das erste Problem bei der Verknüpfung der beiden Datensätze ist, dass zwischen Haushalten und Familien unterscheiden wird. Dabei ist zu beachten, dass ein Haushalt keine Familie sein muss (Einpersonenhaushalt, Wohngemeinschaft), ein Haushalt jedoch auch aus mehreren Familien (z.B. Generationen) bestehen kann. Da die 4x4-Matrix Haushalte beinhalten soll, ist es zunächst notwendig, die Familiendaten in Haushaltswerte zu übertragen. Aus der Statistik ist die Gesamtzahl der Haushalte und die Zahl der Ein- Zwei- sowie Drei- und mehr Familien-Haushalte bekannt (Tab. 5). Da auch die Zahl der Einpersonenhaushalt bekannt ist, lässt sich die Zahl der sonstigen Haushalte, die keine Familie bilden, ermitteln. In Tabelle 5 werden sie als Wohngemeinschaften bezeichnet. Ferner lässt sich bei den einzelnen Haushaltstypen die daraus resultierende Zahl der Familien erschließen. Lediglich bei den Drei- und mehr Familien-Haushalten ist dies nicht auf den ersten Blick klar. Nimmt man an, es gibt in dieser Kategorie nur Drei-Familien-Haushalte, so fehlen im Abgleich mit der Statistik drei Familien. Diese gehören einem Haushalt mit Drei und mehr Familien an, sodass insgesamt 48 Familien einem Drei und mehr Familien-Haushalt angehören.

Tab. 5: Haushalte und Familien in Innsbruck Stad

	Zahl der Haushalte	Zahl der Familien
Gesamtzahl aus der Statistik	53903	29122
Ein Familien HH	28186	28186
Zwei Familien HH	444	888
Drei und mehr Familien HH	15	45 → 48
Ein Personen HH	22847	0
Zahl der "Wohngemeinschaften"	2411	0
Kontrollsumme	53903	29122
Wie viele Familie sind mehr als Drei-Familien-HH?		3

Quelle: Berechnungen des ifo Instituts

Als nächster Schritt kann die Zahl der Einpersonenhaushalte aus der Statistik in die Matrix übertragen werden. Die Zahl der errechneten Wohngemeinschaften wird annahmegemäß zu gleichen Teilen auf die drei in Frage kommenden Haushaltsgrößenklassen verteilt. Da ein

Haushalt aus mindestens einem Erwachsenen bestehen muss, ergibt sich die folgende Zwischenstufe in Tabelle 6:

Tab. 6: 4x4-Matrix Innsbruck Stadt (I)

		Zahl der Kinder pro HH				
		0	1	2	3 und mehr	Summe HH
HH Personen	1	22847	0	0	0	22847
	2	804		0	0	15492
	3	804			0	7943
	4 und mehr	804				7621
	Summe	35505	10398	6088	1912	53903

Quelle: Berechnungen des ifo Instituts.

Hauptproblem beim weiteren Ausfüllen der Matrix ist, dass die Summe der aus der Statistik bekannten Werte für eine Zeile die aus der Statistik vorgegebene Zeilensumme überschreitet. Bei der Zahl der Zweipersonenhaushalte ergäbe sich aus der Zahl der Ehepaare und Lebensgemeinschaften ohne Kinder sowie der alleinerziehenden Väter und Mütter mit einem Kind eine Zeilensumme von 15.083 Haushalten. Hierzu kommen noch die geschätzten 804 Wohngemeinschaften. Damit sind 395 Haushalte zu viel in dieser Zeile. Dies lässt sich relativ einfach dadurch erklären, dass in einem Haushalt zusätzliche Personen leben können, die keine Kinder sind (siehe hierzu auch Definition in Tab. 3). Das weitere Ausfüllen der Matrix ist daher durch Zeilen- und Spaltenausgleiche geprägt, um die Summe der Felder einer Zeile an die vorgegebene Zeilensumme anzupassen. Anhand des Zeilenausgleiches wird festgelegt, aus welchen Feldern welcher Anteil des zu vielen abgezogen wird, anhand des Spaltenausgleichs wird festgelegt auf welche Felder er addiert wird; d.h. es wird festgelegt wie viele zusätzliche Personen in einem Haushalt leben. Der Zeilenausgleich erfolgt dabei anhand des relativen Anteils der Werte der amtlichen Statistik eines Feldes in einer Zeile. Der Spaltenausgleich der Zeile der Zwei-Personen-Haushalte auf die Zeilen der Drei- und Vier- und mehr Personen-Haushalte erfolgt im Verhältnis 2:1; d.h. es wird davon ausgegangen, dass es doppelt so viele Haushalte mit einer zusätzlichen Person wie mit zwei zusätzlichen Personen gibt. Aus der Zeile der Drei-Personen-Haushalte wird alles in die Spalte der Vier- und mehr Personen-Haushalte übertragen. Werden diese beiden Ausgleichsverfahren für die Zeile der Zwei-Personen-Haushalte durchgeführt, ergibt sich die in Tabelle 7 dargestellte Matrix.

Tab. 7: 4x4-Matrix Innsbruck Stadt (II)

	Insgesamt		Mit ... Kindern aller Altersstufen					
	Familien	Kinder	0	1	2	3	4 und mehr	
							Familien	Kinder
Innsbruck Stadt	29122	29326	10515	10398	6247	1527	435	1853
Ehepaar	18835	18209	8224	4858	4312	1126	315	1349
Lebensgemeinschaft	3809	2252	2291	972	405	99	42	173
Az.Vater	787	1047	0	585	157	33	12	49
Az.Mutter	5691	7818	0	3983	1373	269	66	282

		Zahl der Kinder pro HH					
		0	1	2	3 und mehr	Summe HH	
HH Personen	1	22847	0	0	0	22847	
	2	$804 + 8824$	$2291 - 183,5 - 91,5$	$= 85$	$3983 - 80 - 40$	0	15492
	3	$= 804 + 183,5$		$= 80$		0	7943
	4 und mehr	$= 804 + 91,5$		$= 40$			7621
	Summe	35505	10398	6088	1912	53903	

Quelle: Berechnungen des ifo Instituts

Da es in der Statistik keine Werte für Drei-Personen-Haushalte ohne Kinder gibt, ist auch dieses Feld bereits fertig berechnet. Dieses Verfahren des Zeilen- und Spaltenausgleichs wird für die beiden verbleibenden Zeilen ebenfalls durchgeführt. Dabei wird die Zeile der Vier- und mehr Personen-Haushalte zusätzlich um die Zahl der Mehrfamilien in den Haushalten nach unten korrigiert.⁵⁾ Die individuelle Korrektur in den Spalten orientiert sich am relativen Anteil der Kinderzahl in der Familie an der Gesamtzahl aller Familien. Somit ergibt sich folgende finale Belegung der 4x4-Matrix in Tabelle 8.

Tab. 8: 4x4-Matrix Innsbruck Stadt (III)

		Zahl der Kinder pro HH				Summe HH
		0	1	2,3 und mehr		
HH Personen	1	22947	0	0	0	22947
	2	11044	4448	0	0	15492
	3	987	5526	1429	0	7943
	4 und mehr	628	423	4658	1912	7621
	Summe	35505	10398	6088	1912	53903

Quelle: Berechnungen des ifo Instituts

Dieses grundsätzliche Verfahren zur Ermittlung der 4x4-Matrix in den Landkreisen Österreichs wurde auch für die Regionen in Bayern und Baden-Württemberg angewandt. Allerdings konnte es hier vereinfacht werden, da keine isolierten Informationen über Mehr-Familien-Haushalte und Kinderzahl differenziert nach familiärer Elternsituation vorliegen. Die Ergebnisse sind damit jedoch auch ungenauer. Ferner kam es bei der Ermittlung der bayerischen und baden-württembergischen Ausgangsverteilungen durch die Hochrechnungen in den Statistiken zu Rundungsfehlern. Die Abweichungen sind allerdings gering und leider nicht zu umgehen.

Im Anschluss daran wurden die oben genannten beiden Schritte zur Generierung der 4x4x10-Matrix umgesetzt.

Modellierung der Bevölkerungsentwicklung

Nachdem im bisherigen Verlauf der aktuellen Projektphase die Entwicklung einer sinnvollen Ausgangsverteilung der Bevölkerung im Vordergrund stand, ist für den weiteren Verlauf die Modellierung der Bevölkerungsentwicklung ein zentraler Arbeitsschwerpunkt. Ziel ist die Entwicklung eines Modells, das durch Variationsmöglichkeiten in den drei Hauptdeterminanten zur Veränderung der Bevölkerung (Geburtenrate, Sterberate und Migration) die Kalkulation unterschiedlicher Szenarien ermöglicht. Konzeptionellen Ausgangspunkt bilden dabei die Bevölkerungsvorausberechnungen der verschiedenen statistischen Ämter, die im Wesentlichen alle nach einem ähnlichen Prinzip arbeiten.

Die 10. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes, Bevölkerung Deutschlands bis 2050 ist beispielsweise die aktuellste Studie dieser Art für Deutschland (STATISTISCHES BUNDESAMT 2003). Sie setzt sich aus den Vorausberechnungen der einzelnen Bundesländer zusammen, sodass auch für diese separate Vorhersagen zu Verfügung stehen. Dabei werden anhand unterschiedlicher Annahmen über die Fertilitätsrate, die Lebenserwartung und die Außenwanderung neun Szenarien über die Entwicklung der Bevölkerung Deutschlands bis 2050 entworfen. Die folgende Tabelle fasst die Annahmen der Ausgangsbasis, der niedrigsten, der mittleren und der höchsten Prognosevariante zusammen. Die mittlere Variante wird als die wahrscheinlichste angesehen.

In allen Varianten geht der Bevölkerungsstand zurück. Grund hierfür sind die unterstellten niedrigen Geburtenzahlen, die wiederum zur Folge haben, dass weniger potentielle Mütter heranwachsen, was die Geburtenzahlen nochmals verringert. Auch die Zuwanderung kann demnach den Bevölkerungsrückgang langfristig nicht kompensieren.

⁵⁾ Im konkreten Beispiel: Mehrfamilien = 444+(48-15)=477.

	Ausgangsbasis (2001)	Niedrigste Annahme (2050)	Mittlere Annahme (2050)	Höchste Annahme (2050)
Fertilität	1,4	1,4	1,4	1,4
Lebenserwartung	74,8 Jahre Männer/ 80,8 Jahre Frauen	78,9/85,7 Jahre*	81,1/86,6 Jahre*	82, /88,1 Jahre*
Wanderung	+200.000 Personen/ Jahr	+100.000 Personen/ Jahr	+ 200.000 Personen / Jahr	+200.000, ab 2011 +300.000 Personen/ Jahr
Bevölkerungsstand	82.440.300	67.046.200	75.117.300	81.252.500

*Lebenserwartung für Neugeborene (Männer / Frauen) im Jahr 2050

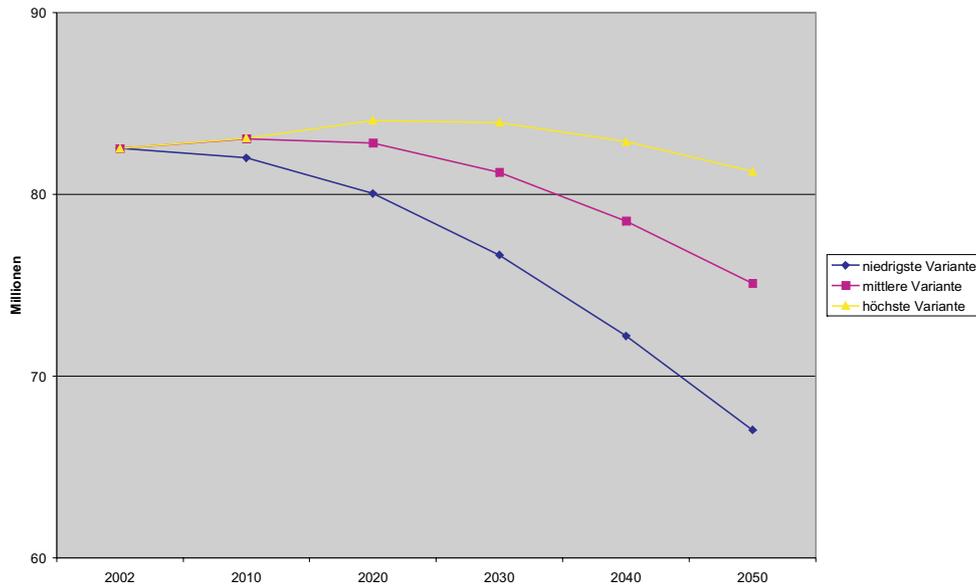


Abb. 9: Annahmen und Ergebnisse der 10. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung (Quelle: Darstellung des ifo Instituts nach Statistisches Bundesamt, 2003⁶)

Neben der Größe der Bevölkerung verändert sich auch deren Alterstruktur. Nach der mittleren Prognosevariante geht der Anteil der Bevölkerung unter 20 Jahren von einem Fünftel (2001) auf ein Sechstel im Jahr 2050 zurück. Der Anteil der Bevölkerung über 60 Jahren steigt von einem Viertel auf ein Drittel. Besonders stark vergrößert sich der Anteil der über 80-jährigen. Er verdreifacht sich bis 2050 auf 12% der Gesamtbevölkerung. So verändert sich der Altenquotient, d.h. das Verhältnis von über 60-jährigen zu 20-59-jährigen, von 44:100 auf 78:100.

Ziel des zu entwickelnden Modells ist die Kalkulation ähnlicher Szenarien auf der Basis der entwickelten 4x4x10-Matrix. Eine besondere Herausforderung an die Modellierung bildet dabei die prozelbasierte Ausgangsverteilung sowie die bisher fehlende Berücksichtigung der wichtigen Alterkomponente in den einzelnen Matrizen, was durch die Abbildung von Haushalten besonders erschwert wird. Die Überwindung dieser Schwierigkeiten bildet eine der Kernaufgaben der Forschungsarbeiten in den nächsten Wochen.

⁶ Die analoge Prognose für Österreich befindet sich im Appendix 5, Abbildung IX.

3.3 Das Trinkwasserpreismodell

Aktueller Stand

Das Trinkwasserpreismodell blieb in seiner Grundstruktur als regressionsanalytische Schätzgleichung unverändert, wurde jedoch auf einer erweiterten Datenbasis neu geschätzt und auf den österreichischen und schweizerischen Teil des Einzugsgebietes ausgedehnt. Die Datengrundlage für den deutschen Teil des Einzugsgebietes liefern unverändert zwei Statistiken des Bundesverbandes der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft, 1994, 1997). Leider liegen die für die Modellschätzung notwendigen unternehmensspezifischen Daten darüber hinaus nur für österreichische Versorger vor, nicht jedoch für die Schweiz. Die österreichischen Daten wurden uns dankenswerter Weise vom Teilprojekt *WaterSupply* zur Verfügung gestellt und stammen von der Österreichischen Vereinigung für das Gas- und Wasserfach (Österreichische Vereinigung des Gas- und Wasserfaches, 2002). Zu den bisher untersuchten 155 bayerischen und 22 baden-württembergischen Versorgern, kommen damit 31 Unternehmen aus den österreichischen Bundesländern Tirol, Oberösterreich und Salzburg hinzu.

Nach zahlreichen Regressionen mit der erweiterten Datenbasis konnte folgende beste neue Schätzgleichung für die Trinkwasserpreise des Jahres 1993 ermittelt werden:⁷⁾

$$\ln pber_{1993} = 1,571 - 0,508 \ln pkv + 0,068 \ln grög + 0,043 \ln AntBez \\ + 0,331 regionBW - 0,353 regionÖ ;$$

Der Trinkwasserpreis hängt negativ vom Pro-Kopf-Verbrauch ($\ln pkv$) und positiv von der Größe der versorgten Gemeinde ($\ln grög$) ab. Letzteres Ergebnis verwundert, da man davon ausgehen könnte, dass größere Unternehmen durch die Ausnutzung von economies of scale eine günstigere Versorgung realisieren. Die starke negative Abhängigkeit vom Pro-Kopf-Verbrauch spiegelt die enormen fixen Kosten der Trinkwasserversorgung von bis zu 90% wieder (KNIIEPS 2000; SCHNURRER 2001). Darüber hinaus steigt der Wasserpreis an, je höher der Anteil des Wassers ist, das ein Versorger nicht selbst fördert, sondern von einem anderen Unternehmen bezieht ($\ln AntBez$). Dieser Zusammenhang steht im Einklang mit der Überlegung, dass es günstiger ist, Wasser ortsnah zu fördern, als aufwendig zu transportieren. Darüber hinaus ist der Wasserpreis in Baden-Württemberg systematisch höher als im Rest des Einzugsgebietes (*regionBW*). Dies lässt sich zum Teil mit den dort erhobenen Wassercent erklären. Bei den neu berechneten österreichischen Versorgern ist der Wasserpreis im Durchschnitt um 35,3% niedriger als im deutschen Teil des Einzugsgebietes (*regionÖ*).

Alle Steigungskoeffizienten der Regression sind mit einem T-Wert, dessen Betrag größer als zwei ist, hoch signifikant. Der F-Wert der gesamten Regression ist mit 11,45 ausreichend hoch. Das korrigierte R^2 liegt bei 0,337. Ferner zeigte eine Untersuchung der verwendeten Variablen auf Multikollinearität und Heteroskedastizität keine Auffälligkeiten. Die Residuen der Regression sind normalverteilt.

Die Neuberechnung der Trinkwasserpreise in DANUBIA erfolgt jeden Januar. Die für ein Jahr berechneten Werte sind für jeden Monat dieses Jahres gültig. Für den Zeitraum 1995 bis 2000 wird darüber hinaus für jedes Wasserversorgungsunternehmen bzw. jede Gemeinde ein jährlicher Preisanstieg unterstellt, der der durchschnittlichen bundesdeutschen Trinkwasserpreisentwicklung entspricht. Diese Werte sind aus der Statistik bekannt (LÜBBE 2002; ROTHENBERGER 2003). Hierzu wird der jeweils aus der Regression ermittelte Preis mit dem passenden Koeffizienten multipliziert:

⁷⁾ Da eine Analyse der Histogramme der relevanten Variablen ergab, dass einige von ihnen nicht normalverteilt sind - statistische Tests bestätigten diese visuelle Analyse - wurden sämtliche Variablen vor der Verwendung in den Regressionen logarithmisch transformiert. Dies ermöglicht eine einfache Interpretation der Ergebnisse und bewirkt annähernde Normalverteilung aller Variablen.

- Januar 1995: 1,1253
- Januar 1996: 1,1723
- Januar 1997: 1,1979
- Januar 1998: 1,2229
- Januar 1999: 1,2412
- Januar 2000: 1,2532

Ab dem Jahr 2001 wird ein jährlicher, inflationsbedingter Anstieg der Preise von 2% unterstellt. Dies entspricht in etwa der durchschnittlichen Erhöhung der letzten 5 Jahre und bringt damit die einsetzende Dämpfung des Preisanstieges zum Ausdruck (ROTHENBERG 2003).

Leider sind für die Schweiz unternehmensspezifische Daten bei Verbänden und Regierungsstellen nicht verfügbar. Um Informationen über den Wasserpreis zu ermitteln, wurden die 31 Gemeinden des Einzugsgebiets angeschrieben und nach der Entwicklung und aktuellen Höhe ihres Trinkwasserpreises befragt. Elf Kommunen antworteten. Demnach wird in der Schweiz, anders als in Deutschland und Österreich, ein großer Teil der Kosten der Trinkwasserversorgung über eine fixe Gebühr gedeckt, die sich am Wert des versorgten Gebäudes orientiert. Der m³-Preis für Wasser ist dementsprechend mit einer Spanne von 0 bis 1,0 Franken (Durchschnitt ca. 0,30 Franken) relativ niedrig. Ferner war der m³-Preis in den 1990er Jahren in fast allen Kommunen relativ konstant; starke Preiserhöhungen wie in Deutschland fanden nicht statt. Bei den elf Kommunen, die auf die Umfrage antworteten, wird für 1995 der bekannte Preis, in Euro umgerechnet, gesetzt. Der Trinkwasserpreis der anderen Gemeinden wird als Durchschnitt der bekannten Werte geschätzt. Um der Konstanz der Preise Rechnung zu tragen, wird allgemein eine jährliche Steigerungsrate von lediglich 2% unterstellt.

Diese Konzeptionierung des Trinkwasserpreismodells wurde in das *DeepWaterSupply*-Modell integriert. Damit wird einerseits der Datenverkehr in DANUBIA reduziert, andererseits die Preissetzung als ein Teil der Handlungsmöglichkeiten eines Wasserversorgungsunternehmens im Rahmen der Tiefen Modellierung ihrem logischen Platz zugewiesen.

Ausblick

Wie das bisher erreichte R² von 0,337 zeigt, kann mit der ermittelten Regressionsgleichung lediglich ein Teil der Variation der Trinkwasserpreise erklärt werden. Ein möglicher Einfluss des Wasserpreises, der bisher nicht berücksichtigt wurde, kann jedoch nicht unmittelbar durch eine unabhängige, erklärende Variable erfasst werden: der Einfluss des Wasserpreises anderer naher Unternehmen. Im weiteren Verlauf des Projekts wollen wir diesen Einfluss untersuchen. Denn auch wenn die Wasserversorgung in Deutschland durch abgeschlossene Gebietsmonopole geprägt ist, ist davon auszugehen, dass räumliche Strukturen den Trinkwasserpreis beeinflussen. Höhere Wasserpreise sind schwerer zu rechtfertigen, wenn die umliegenden Gemeinden Trinkwasser deutlich günstiger verkaufen, vor allem da davon auszugehen ist, dass geologische Faktoren bei benachbarten Gemeinden kaum für eine große Varianz im Preis verantwortlich sein können. Für diese Analyse wollen wir erneut Daten des Bundesverbandes der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft verwenden, diesmal jedoch, aus Aktualitätsgründen, aus den Jahren 2000 und 2001 (Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft, 2001a und 2001b).

Die uns zur Verfügung stehenden Daten erlauben zunächst, analog zum bisherigen Vorgehen, eine Analyse der Abhängigkeit der Wasserpreises von einer Vielzahl von Firmencharakteristika. Wir schätzen zunächst eine indirekte Nachfragefunktion für Wasser, um die Bedeutung der einzelnen Einflussfaktoren herauszukristallisieren. Den Einfluss des Wasserpreises anderer naher Unternehmen werden wir durch eine räumliche Korrelation zu erfassen suchen (siehe hierzu ANSELIN 1988; CLIFF und ORD 1973 und 1981 sowie KELEJIAN und

PRUCHA 1999 und 2005). Dabei wird angenommen, dass der Wasserpreis von Unternehmen x_1 auch vom Wasserpreis aller anderen Unternehmen x_2, \dots, x_n abhängig ist. Die Gewichtung der Bedeutung der einzelnen Nachbarn erfolgt durch eine Gewichtungsmatrix. Dabei handelt es sich um eine $n \times n$ -Matrix, die auf der Hauptdiagonale Nullen (räumlicher Eigeneinfluss ist nicht vorhanden) und abseits davon jedem Nachbarn ein Gewicht zuordnet. Diese Gewichte können unterschiedlicher Art sein. So könnte man z.B. annehmen, dass nur das nächste Unternehmen einen Einfluss ausübt, was heißen würde, dass man für das nächste Unternehmen eine Eins, und für alle anderen Unternehmen eine Null in die Matrix schreibt. Man könnte aber auch die inverse Distanz zwischen den Unternehmen als Gewichtsmaß verwenden. Wir werden in unseren Schätzungen verschiedene Maße ausprobieren.

Im Prognosemodell wird sich diese räumliche Korrelation auswirken, wenn wir in Szenarioläufen Schocks in einer Region simulieren. Dann wird die Änderung des Wasserpreises in Region i auch eine Änderung des Wasserpreises in Region j bewirken, in der momentan kein Schock besteht. Dies erlaubt die Analyse, wie sich Veränderungen in den wasserspezifischen Rahmenbedingungen einer Region auf die umliegenden Regionen auswirken.

Aufgrund der BGW-Daten ist es uns möglich, langfristig noch einen Schritt weiter zu differenzieren. Wir werden versuchen drei räumliche Variable in die Regression aufnehmen. Da wir die Unternehmen danach unterscheiden können, ob sie (teil)privatisiert oder öffentlich sind, werden wir die Einflüsse dieser zwei unterschiedlichen Unternehmensformen aufeinander trennen. Öffentliche Unternehmen haben im Gegensatz zu (teil)privatisierten Unternehmen die zusätzliche Restriktion, dass sie kostendeckende Preise setzen müssen. (Teil)private Unternehmen hingegen dürfen auch Preise über ihren Kosten festsetzen und Gewinne erwirtschaften. Insofern haben private Unternehmen einen größeren Handlungsspielraum auf Preisänderungen ihrer Nachbarunternehmen. Hauptsächlich wird, wie oben kurz erwähnt, ein starkes Abweichen des Wasserpreises von dem Wasserpreis von Unternehmen in angrenzenden Gemeinden politische Auswirkung haben. Da (teil)privatisierte Unternehmen einen größeren Handlungsspielraum haben, vermuten wir eine höhere räumliche Korrelation zwischen (teil)privaten Unternehmen als bei öffentlichen Unternehmen. Eine positive (negative) Korrelation des Wasserpreises eines (teil)privatisierten Unternehmens auf ein anderes (teil)privatisiertes Unternehmen würde darauf hindeuten, dass die Gemeinden den Wasserpreis im politischen Wettbewerb als strategische Komplimente (Substitute) sehen. Ähnlich ist die Auswirkung des Wasserpreises eines öffentlichen Unternehmens auf ein anderes öffentliches Unternehmen zu interpretieren, wobei hierbei eben zusätzlich zu berücksichtigen ist, dass die Unternehmen das Kostendeckungsprinzip einzuhalten haben. Insofern sollte die räumliche Korrelation zwischen öffentlichen Unternehmen geringer sein als zwischen (teil)privaten. Die Kreuzkombination öffentlich – (teil)privat kann Aufschluss darüber liefern, ob sich (teil)privatisierte Unternehmen und öffentlichen Unternehmen gegenseitig stark beeinflussen. Man würde typischerweise erwarten, dass der Zusammenhang zwischen öffentlichen und (teil)privatisierten Wasserpreisen geringer ist als zwischen zwei (teil)privatisierten, was wiederum auf die Tatsache zurückzuführen ist, dass die öffentlichen Unternehmen kostendeckende Preise zu setzen haben.

4. Auswertung des Szenarien

Um unter anderem die Funktionsfähigkeit der Tiefen Akteure zu überprüfen, wurde in DANUBIA, nach zahlreichen Testläufen, ein Szenariolauf gestartet, bei dem relativ heiße und trockene klimatische Bedingungen hinterlegt wurden. Dadurch soll gewährleistet werden, dass die einzelnen Akteursmodelle, über das erwartete Normalmaß hinaus, reagieren. Aus Sicht des *DeepActorIndustry*-Modells ist mit relativ hohen Flaggenwerten zu rechnen, die zu erheblichen Schwankungen in der industriellen Wasserförderung führen. Zur Auswertung des Szenariolaufes stehen Daten der Jahre 2000 bis 2013 zu Verfügung.

Bevölkerungsentwicklung

Die Gesamtbevölkerung sank im Verlauf des Szenarios von 9,7 Mio. um rund 2% auf ca. 9,5 Mio. Einwohner. Vergleicht man dieses Ergebnis mit den Prognosen der amtlichen Statistik (Abb.g 9 und IX in Appendix 5), so bewegen sich die erzielten Ergebnisse jeweils in etwa im Rahmen der mittleren Prognoseszenarien (in Deutschland leicht sinkend, in Österreich leicht steigend). Die Bevölkerung auf einem einzelnen Proxel wuchs dabei maximal um 3% und sank im Extremfall um rund 8%. Die regionale Verteilung der Bevölkerungsveränderung zeigt Abbildung 10. Man sieht dabei sehr deutlich, dass die Bevölkerung vor allem im strukturstarken Süden Münchens wächst, im österreichischen Teil des Einzugsgebietes annähernd konstant bleibt und in dem, in der Vergangenheit eher strukturschwachen, Norden stärker zurückgeht.

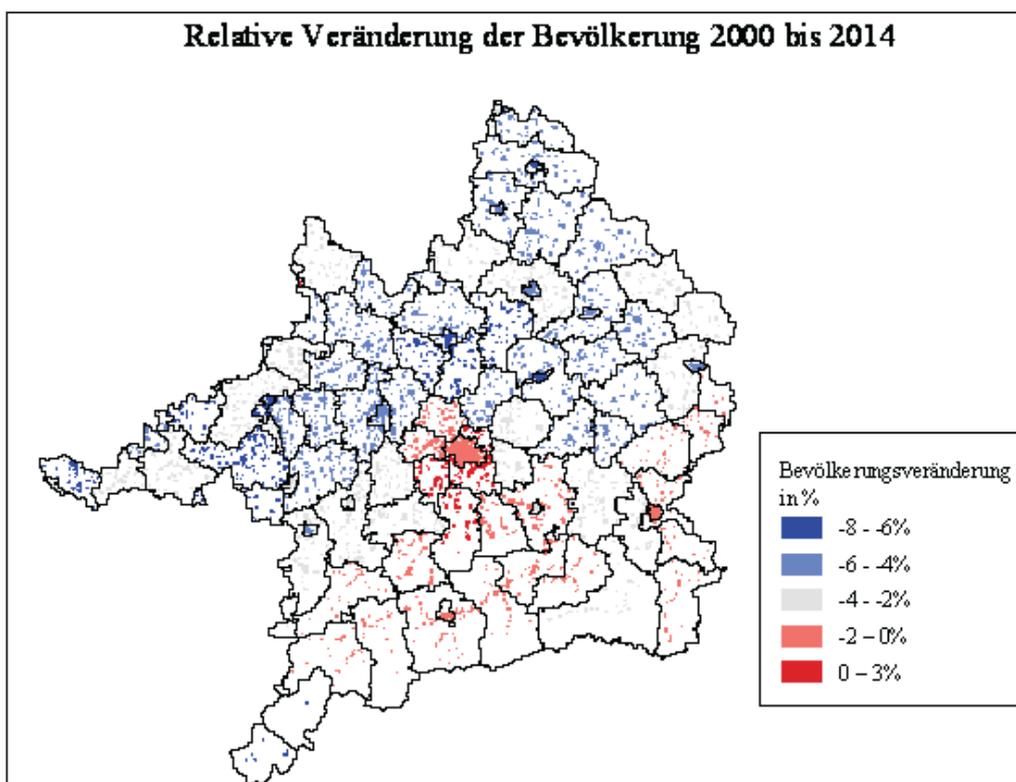


Abb. 10: Veränderung der Bevölkerung auf dem Proxel (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Entwicklung der industriellen Wasserentnahme

Die Grundwasserförderung steigt im Szenariozeitraum von 10,46 m³/sec auf 11,92 m³/sec leicht an. Eine ähnliche Entwicklung zeigt auch die Flusswasserförderung. Sie stieg von 22,56 m³/sec auf 23,17 m³/sec ebenfalls leicht an. Technischer Fortschritt, d.h. die effizientere Nutzung des Wassers, und wirtschaftliche Entwicklung halten sich damit fast annähernd die Waage. Vergleicht man dieses Ergebnis mit der Entwicklung der industriellen Wasserförderung in der Vergangenheit (Abb. 11), so wäre eher mit einem Rückgang der Wasserentnahmen zu rechnen. Wichtiger als die Gesamtveränderung der Wasserentnahme ist jedoch ihr Verlauf. Anders als in der bisherigen Modellierung in RIWU, folgt die Wasserförderung der Unternehmen keinem linearen Trend, sondern ist vielmehr durch erheblich Einschnitte und Wiederanstiege gekennzeichnet. Abbildung 12 zeigt die über alle Proxel summierte Grund- und Oberflächenwasserentnahme. Der durchschnittliche Nutzungsfaktor des Wassers stieg dabei von 3,4 auf 5,1 an.

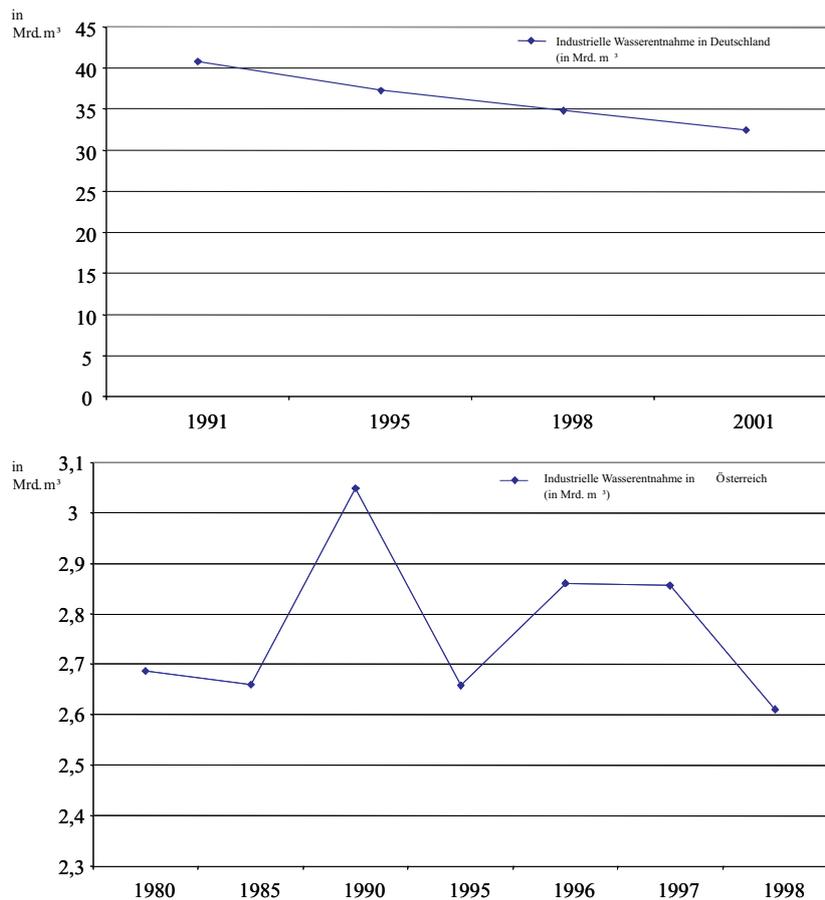


Abb. 11: Entwicklung der industriellen Wasserförderung in den letzten Jahren (Quelle: STATISTIK AUSTRIA 2002; STATISTISCHES BUNDESAMT 2005)

Das Modell bringt durch den leichten Anstieg der Wasserförderung die bei den Telefoninterviews und Besuchen der Unternehmen vor Ort gemachten Erfahrungen zum Ausdruck (siehe Kap 3.1.2). Gerade die Vertreter der Papierindustrie sahen kaum Spielraum für grundlegende Innovationen im Bereich der Wassernutzung, die ohne großen äußeren Druck umgesetzt werden würden. Vertreter der chemischen Industrie äußerten sich ähnlich skeptisch gegenüber grundlegenden, wassersparenden Innovationen. In dem Szenariolauf war damit offenbar genügend Wasser vorhanden, um flächendeckend grundlegende Innovationen in der Industrie zu verhindern.

Die Wirkungsweise des Modells soll im Folgenden am Beispiel dreier unterschiedlicher Proxel gezeigt werden. Das erste Beispiel ist Proxel 105739 in der Stadt Traunstein. Auf diesem Proxel beträgt der Flaggenwert während des gesamt Szenariolaufes 1. Es ist immer ausreichend Wasser für die Produktion vorhanden, auf die Unternehmen wird kein institutioneller und sozialer Druck ausgeübt, Wasser, über das aus der reinen, unternehmensinternen Kostenminimierung resultierende Maß hinaus, zu sparen. Dementsprechend steigt die industrielle Wasserentnahme mit einem konstanten Trend leicht an, von rund $0,825 \text{ m}^3/\text{sec}$ auf ca. $0,88 \text{ m}^3/\text{sec}$ (Abb. 13). Es ist zu beachten, dass die Menge des im Unternehmen genutzten Wassers als Folge des gestiegenen Nutzungsfaktors (von knapp über 4 auf etwas über 6) deutlich mehr gestiegen ist.

Im Gegensatz dazu stieg auf Proxel 110806 in der Gemeinde Rohrdorf, im Landkreis Rosenheim, ab Ende des Jahres 2004 der Flaggenwert innerhalb von 3 Monaten von 2 auf 5 an. Die Unternehmen reagieren auf diesen Anstieg mit einer radikalen Reduktion der Wasserförderung. (Abb. 13). Da sich der Flaggenwert nicht erholt hat, verharrete die Wasserentnahme des Unternehmens auf dem niedrigen Niveau.

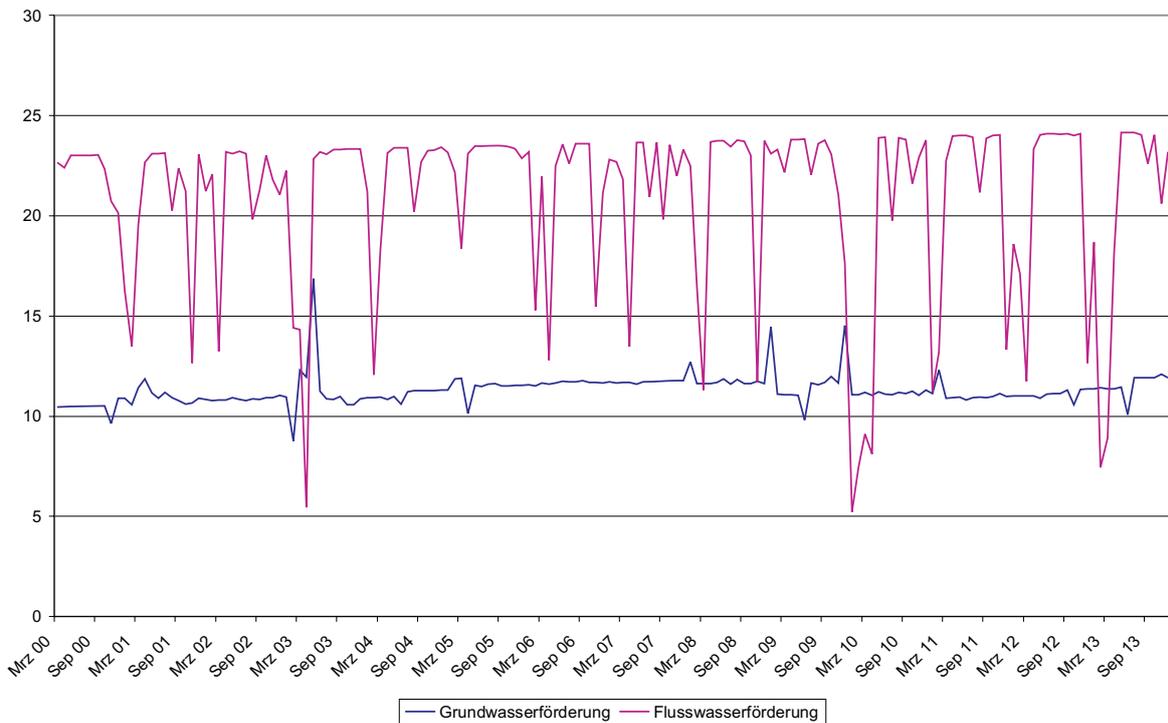


Abb. 12: Entwicklung der industriellen Wasserförderung im Szenariolauf (m³/sec) (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

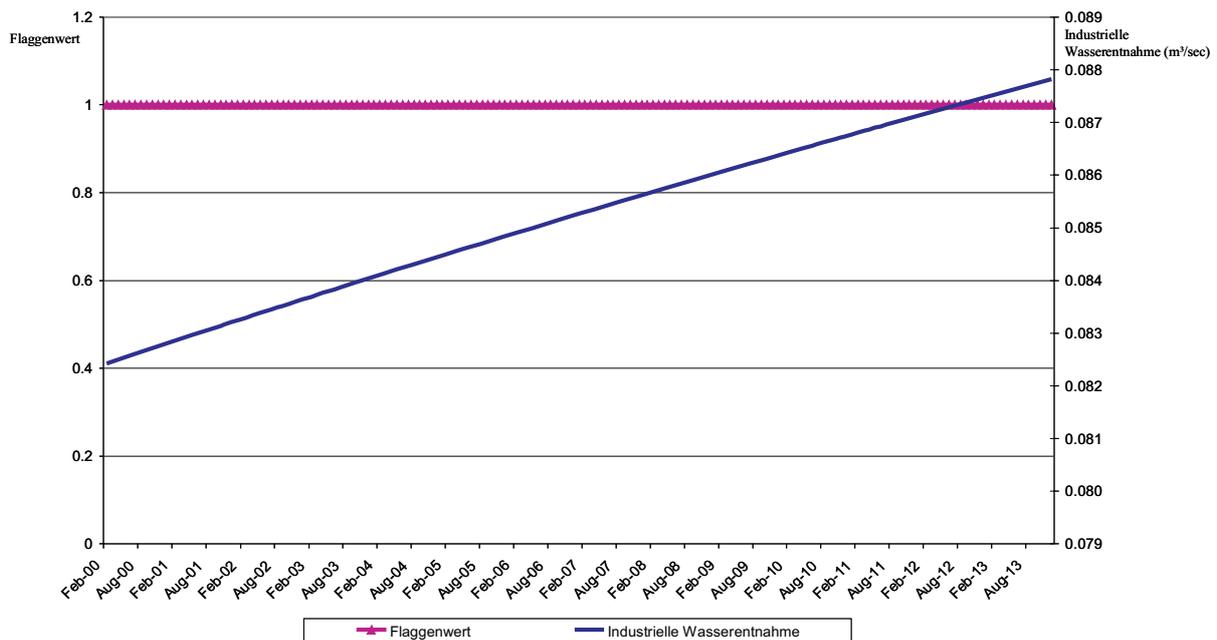


Abb. 13: Modellierung auf einem Proxel mit konstantem Flaggenwert 1 (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Auf Proxel 112440 in der Gemeinde Antdorf, im Landkreis Weilheim-Schongau, ist der Flaggenwert Schwankungen unterworfen und pendelt zwischen 1 und 2 hin und her. Sinkt der Flaggenwert von 2 auf 1 steigt die industrielle Wassernachfrage an, steigt der Wert auf 2 an, wird der Druck auf das Unternehmen leicht erhöht und die Wasserförderung geht dementsprechend wieder zurück (Abb. 15).

Es soll an dieser Stelle nicht verschwiegen werden dass die Abbildungen 14 und 15 einen noch vorhandenen Fehler in der Programmierung des Modells offen legen. Die Bewegung der Wasserentnahme in die gleiche Richtung der Änderung des Flaggenwertes für einen

Zeitschritt, ist aus der Modelllogik heraus nicht zu erklären, sondern stellt einen Programmierfehler dar, der wohl im Bereich der Erwartungsbildung zu suchen ist. Lässt man diese falschen, extremen Ausschläge außer acht, kann man erkennen, dass die Reaktion des Unternehmens in Abbildung 15 auf die Flagge 2 deutlich geringer ausfällt als die Reaktion des Unternehmens in Abbildung 14 auf die Flaggen mit der 5.

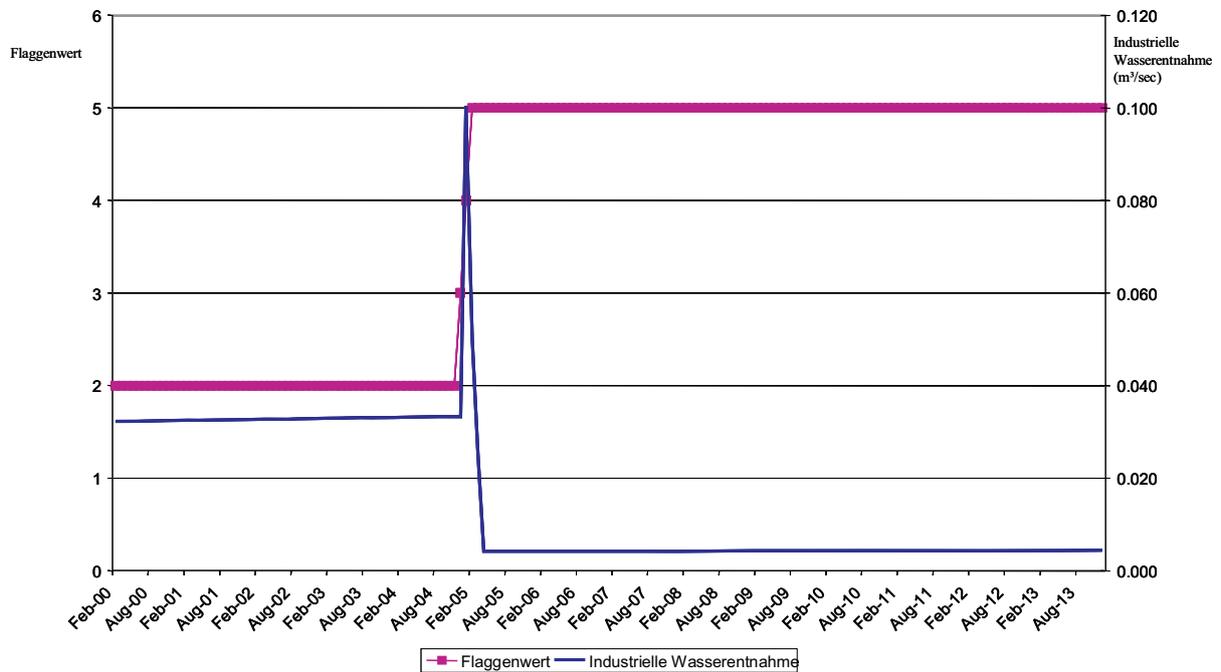


Abb. 14: Modellierung auf einem Proxel mit steigendem Flaggenwert (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

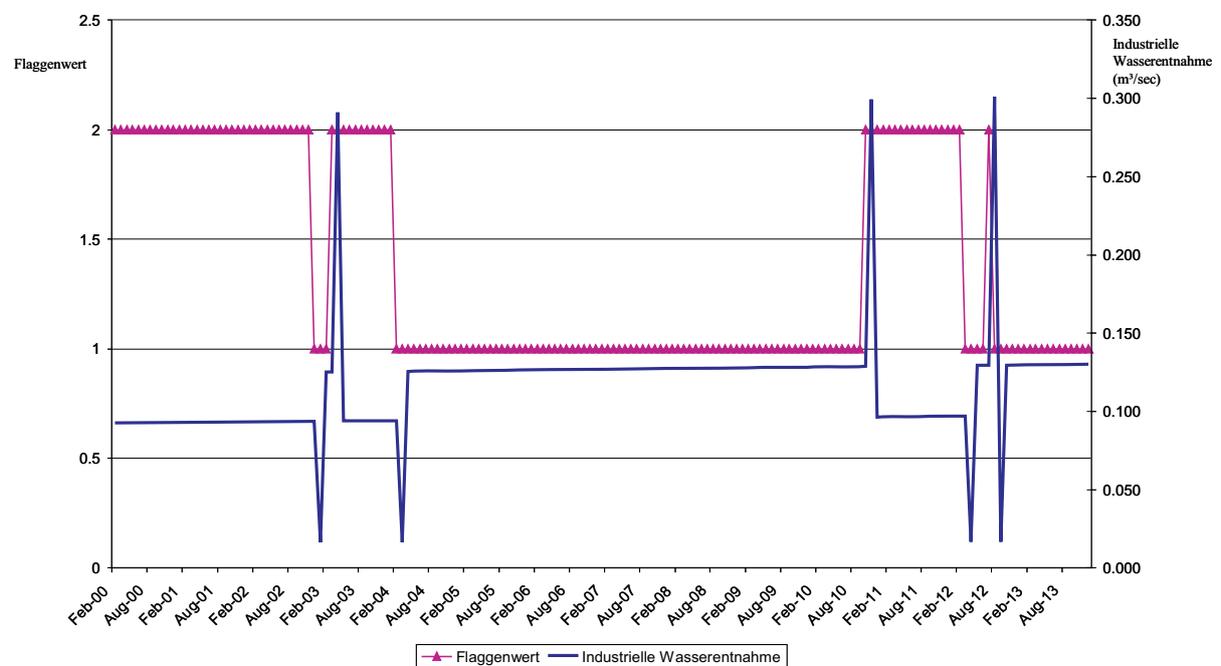


Abb. 15: Modellierung auf einem Proxel mit schwankendem Flaggenwert (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

5. Fazit

Die Tätigkeiten der Forschungsgruppe Umweltökonomie erfüllten bereits einen großen Teil der im Projektantrag gemachten Zusagen. Der Tiefe Akteur Industrieunternehmen wurde in einer ersten Version entwickelt. Die aufgezeigten Schwierigkeiten in der Programmierung sind nicht konzeptioneller Natur und sollten leicht im Modellcode zu identifizieren sein. Die grundsätzliche Konzeptionierung des Akteursmodells als Kostenminimierungsansatz soll im weiteren Lauf der Projektphase vertieft und verbessert werden. Weiterer Schwerpunkt der nächsten Wochen und Monate werden die weiteren Arbeiten an dem neuen Bevölkerungsmodell sein. Auch die Erweiterung des Trinkwasserpreismodells um eine regionale Komponente stellt einen weiteren Arbeitsschwerpunkt dar.

6. Literatur

- BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN GAS- UND WASSERWIRTSCHAFT (1994): 105. Wasserstatistik Bundesrepublik Deutschland - Berichtsjahr 1993, Bonn 1994.
- BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN GAS- UND WASSERWIRTSCHAFT (1997): Wassertarife 1997, Bonn 1997.
- BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN GAS- UND WASSERWIRTSCHAFT (2001a): 112. BGW-Wasserstatistik Bundesrepublik Deutschland - Berichtsjahr 2000, Bonn 2001.
- BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN GAS- UND WASSERWIRTSCHAFT (2001b): Tarife 2001, Bonn 2001.
- ANSELIN, L. (1988): *Spatial Econometrics - Methods and Models*, Boston 1988.
- CLIFF, A. und ORD J. (1973): *Spatial Autocorrelation*, London 1973.
- CLIFF, A. und ORD J. (1981): *Spatial Processes, Models and Applications*, London 1981.
- KELEJIAN, H. und PRUCHA, I. (1999): A Generalized Moments Estimator for the Autoregressive Parameter in a Spatial Model, *International Economic Review* 40(2), 1999, S. 509 - 533.
- KELEJIAN, H. und PRUCHA, I. (2005): *Specification with Autoregressive and Heteroskedastic*, University of Maryland, unveröffentlichtes Manuskript.
- KNIEPS, G. (2000): Der disaggregierte Regulierungsansatz der Netzökonomie, in: KNIEPS, G. und BRUNEKREEFT, G. (Hrsg.), *Zwischen Regulierung und Wettbewerb*, Heidelberg 2000, S. 7-22.
- KRUGMAN, P. (1998): What's New about the New Economic Geography?, *Oxford Review of Economic Policy* 14 (2), 1998, S. 7-17.
- LÜBBE, E. (2002): Jahreswasserbericht der Wasserwirtschaft : gemeinsamer Bericht der mit der Wasserwirtschaft befassten Bundesministerien - Haushaltsjahr 2001, *Wasser und Boden* 54 (7/8), 2002, S. 5-13.
- ÖSTERREICHISCHE VEREINIGUNG DES GAS- UND WASSERFACHES (2002): *Daten – Wasser; Betriebsergebnisse der Wasserwerke Österreichs*, Wien 2002.
- ROTHENBERGER, D. (2003): *Report zur Entwicklung des Versorgungssektors Wasser, Sektorreport Siedlungswasserwirtschaft für das Projekt "Integrierte Mikrosysteme der Versorgung"* im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung, Centre for Innovation Research in the Utility Sector, Kastanienbaum (Schweiz) 2003.
- SCHNURRER, N. (2001): Liberalisierung : der Griff nach dem Wasser, *Arbeit & Wirtschaft* 55 (9), 2001, S. 24-28.

- STATISTIK AUSTRIA (2002): Regionale Wasser-, Abwasser, und Abfalldaten 1980-1999, Statistische Nachrichten 5, 2002, S. 374-380.
- STATISTIK AUSTRIA (2005a): Volkszählung 2001 - Haushalte und Familien, Wien 2005.
- STATISTIK AUSTRIA (2005b): Zukünftige Bevölkerungsentwicklung Österreichs 2005-2050 (2075), Statistische Nachrichten 11/2005.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2003): Bevölkerung Deutschlands bis 2050 - 10. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung, Wiesbaden 2003.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2005): Umweltnutzung und Wirtschaft - Tabellen (Band 1) zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 2005, Wiesbaden 2005.

Appedix

1. Das Gleichungssystem des RIWU-Modells

Die folgenden Variablen finden in dem novellierten Modell Verwendung:

- BIP Bruttoinlandsprodukt (Mrd. Euro in jeweiligen Preisen)
- WI Wertschöpfung Industrie (Produzierendes Gewerbe, Mrd. Euro in jeweiligen Preisen)
- WDL Wertschöpfung Dienstleistungsbereich (Mrd. Euro in jeweiligen Preisen)
- WS Wertschöpfung Staat (Mrd. Euro in jeweiligen Preisen)
- BLAP Baulandpreis (Euro je Quadratmeter)
- B Einwohner
- FL Fläche (Quadratkilometer)
- SVFL Siedlungs- und Verkehrsfläche (Quadratkilometer)
- YH Haushaltseinkommen (Mrd. Euro in jeweiligen Preisen)
- WAUF Wasserverbrauch der Industrie
- PEWA Wasserpreis (geschätzte Kosten der Eigenförderung von Wasser durch die Industrie)
- π Arbeitsproduktivität in der Industrie
- $d\pi$ Abweichung der Produktivität vom Durchschnitt des gesamten Einzugsgebiets (π)
- T Zeittrend
- D1 Dummy für Altötting, Pfaffenhofen, Dingolfing und Rhön-Grabfeld
- D2 Dummy für München
- D3 Dummy für Kitzingen

Das RIWU-Gleichungssystem besteht aus den insgesamt zehn folgenden Modellgleichungen:

$$(1) \quad WAUF_i = \bar{\pi}^{-0.28} WI_i^{0.98} PEWA_i^{-0.77} e^{0.74};$$

$$(2) \quad WI_i = \bar{\pi}^{-0.90} WDL_i^{0.87} \pi_i^{0.84} \left(\sum_j n_{ij} \pi_j \right)^{0.30} BLAP_i^{-0.24} \left(\sum_j n_{ij} BLAP_j \right)^{-0.27} PEWA_i^{-0.06} e^{4.16+0.58D1};$$

$$(3) \quad WDL_i = \bar{\pi}^{0.67} WI_i^{0.40} WS_i^{0.46} \left(\sum_j n_{ij} BIP_j \right)^{0.42} \left(\sum_j n_{ij} \pi_j \right)^{-0.35} e^{1.05D2+0.67D3};$$

$$(4) \quad BIP_i = 16.88 + 1.32(WI_i + WDL_i);$$

$$(5) \quad WS_i = BIP_i^{0.90} e^{-1.51};$$

$$(6) \quad BLAP_i = (BIP_i/FL_i)^{0.73} (SVFL_i/FL_i)^{-0.86} \left(\sum_j n_{ij} BLAP_j \right)^{0.66} e^{7.02};$$

$$(7) \quad (B_i/FL_i) = \bar{\pi}^{-0.53} (BIP_i/FL_i)^{0.79} \pi_i^{-0.26} \left(\sum_j n_{ij} BIP_j/FL_j \right)^{0.05} \left(\sum_j n_{ij} \pi_j \right)^{-0.13} e^{-0.33-0.20D1};$$

$$(8) \quad YH_i = BIP_i^{0.75} \left(\sum_j n_{ij} BIP_j/FL_j \right)^{0.15} e^{9.34};$$

$$(9) \quad \bar{\pi} = e^{-93.77+0.04T};$$

$$(10) \quad \pi_i = d\pi_i \cdot \bar{\pi};$$

2. Die Fragebogenaktion als Teil eines dreistufigen Informationsgewinnungsprozesses

ifo Institut

für Wirtschaftsforschung

Forschungsbereich Umwelt, Regionen und Verkehr

Poschingerstraße 5

E-mail: egerer@ifo.de

Telefon: (089) 9224-0

Telefax: (089) 9224-2348

81679 München

Internet: http://www.ifo.de

bei Rückfragen: Fr. Gnegel App. 1244

Hr. Egerer App. 1348

ifo Institut für Wirtschaftsforschung

Umwelt, Regionen und Verkehr

Herrn Matthias Egerer

Poschingerstraße 5

81679 München

GLOWA-DANUBE

Verarbeitendes Gewerbe

Ihre Angaben werden streng vertraulich behandelt.
Der gesetzliche Datenschutz ist voll gewährleistet

Fragebogen-Nr.: 2005031036

Freiwillige Angaben:

Name des Betriebs: _____

Ansprechpartner: _____

Telefon: _____

E-mail: _____

Allgemeine Angaben	I Wassermenge	III Wasserqualität
<p>1) Die Produktionsstandorte unseres Unternehmens in Süddeutschland befinden sich in (bitte die 3 wichtigsten)</p> <p><u>89584 Ehingen</u></p> <p>PLZ Ort</p> <p>PLZ Ort</p> <p>PLZ Ort</p> <p>2) Wir fördern selbst</p> <p>ja <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>nein <input type="checkbox"/></p> <p>↳ Wenn ja:</p> <p>3) Wir fördern</p> <p>Grundwasser <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Oberflächenwasser (z. B. Fluss, See) <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>4) Wieviel m³ Wasser fördern Sie insgesamt durchschnittlich pro Jahr?</p> <p>ca. <u>10 Mio</u></p> <p>5) Wir fördern Wasser zur</p> <p>einmaligen Nutzung <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>mehrfachen Nutzung <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Kreislaufnutzung <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>↳ Bei Mehrfach- oder Kreislaufnutzung:</p> <p>6) Wieviel m³ Wasser nutzen Sie insgesamt durchschnittlich pro Jahr?</p> <p>ca. <u>55 Mio</u></p> <p>7) Wir verwenden das geförderte Wasser in erster Linie...</p> <p>zur Kühlung <input type="checkbox"/></p> <p>als Betriebsmittel <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>zur Reinigung/Spülung <input type="checkbox"/></p> <p>Sonstiges _____</p> <p>Relevanz von Wassermangel</p> <p>8) Können Sie sich vorstellen, dass innerhalb der nächsten Jahre Wasser nicht mehr in der erforderlichen Qualität oder Quantität für Ihre Produktion vorhanden ist?</p> <p>ja <input type="checkbox"/></p> <p>nein <input checked="" type="checkbox"/></p>	<p>9) Welcher Faktor wäre Ihrer Meinung nach für diese Situation ausschlaggebend?</p> <p>geringe Wassermenge <input type="checkbox"/></p> <p>erhöhte Wassertemperatur <input type="checkbox"/></p> <p>mangelnde Wasserqualität <input type="checkbox"/></p> <p>Sonstiges _____</p> <p>I Wassermenge</p> <p>10) Wird die Produktion Ihres Betriebs beeinträchtigt, wenn zu wenig Wasser vorhanden ist?</p> <p>ja <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>nein <input type="checkbox"/></p> <p>↳ Wenn ja:</p> <p>11) Wassermangel wirkt sich, außerhalb der üblichen Schwankungen, auf die Produktion Ihres Betriebs ab einem Zeitraum von...aus.</p> <p>bis zu einer Woche <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>bis zu sechs Wochen <input type="checkbox"/></p> <p>über 6 Wochen <input type="checkbox"/></p> <p>12) Wird die Produktion Ihres Betriebs beeinträchtigt, wenn zu viel Wasser vorhanden ist?</p> <p>ja <input type="checkbox"/></p> <p>nein <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>↳ Wenn ja:</p> <p>13) Eine zu hohe Wassermenge wirkt sich, außerhalb der üblichen Schwankungen, auf die Produktion Ihres Betriebs ab einem Zeitraum von...aus.</p> <p>bis zu einer Woche <input type="checkbox"/></p> <p>bis zu sechs Wochen <input type="checkbox"/></p> <p>über sechs Wochen <input type="checkbox"/></p> <p>II Wassertemperatur</p> <p>14) Wird die Produktion Ihres Betriebs beeinträchtigt, wenn die Wassertemperatur zu hoch ist?</p> <p>ja <input type="checkbox"/></p> <p>nein <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>↳ Wenn ja:</p> <p>15) Die Produktion wird beeinträchtigt ab einer Temperatur des geförderten Wassers von ___ Grad.</p>	<p>III Wasserqualität</p> <p>16) In welcher Form könnte die Qualität des Wassers die Produktion Ihres Betriebs beeinträchtigen?</p> <p>Wasserqualität spielt keine Rolle <input type="checkbox"/></p> <p>Bei einer Verschmutzung durch...</p> <p>- Schwebstoffe <input type="checkbox"/></p> <p>- Schadstoffe <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>- Algen <input type="checkbox"/></p> <p>- Sonstiges _____</p> <p>Folgen von Wassermangel</p> <p>17) In welchem Umfang musste Ihr Betrieb während der Trockenperiode im Sommer 2003 die Produktion zurückfahren?</p> <p>um ___ Prozent</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> keine Auswirkungen auf die Produktion</p> <p>18) Eine klimatische Veränderung hätte Auswirkungen auf Ihre <u>Kosten/Technologien</u>:</p> <p><input type="checkbox"/> wenn eine Trockenperiode wie im Sommer 2003 alle ___ Jahre zu erwarten wäre</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> keine Auswirkungen</p> <p>19) Eine klimatische Veränderung hätte Auswirkungen auf Ihre <u>Standortwahl</u>:</p> <p><input type="checkbox"/> wenn eine Trockenperiode wie im Sommer 2003 alle ___ Jahre zu erwarten wäre</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> keine Auswirkungen</p> <p>20) Wenn Sie aufgrund klimatischer Veränderungen in Technologien investieren würden, welche wären das?</p> <p>Mehrfache Nutzung des Wassers <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Kreislaufnutzung <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Sonstiges _____</p> <p>21) Wie würden Sie reagieren, wenn noch extremere klimatische Verhältnisse eintreten würden?</p> <p>Standortschließung <input type="checkbox"/></p> <p>Standortverlegung <input type="checkbox"/></p> <p>Sonstiges _____</p> <p>Keine Auswirkung <input checked="" type="checkbox"/></p>

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

GESAMTSFITTEN 01

Abb. I: Ein beispielhaft ausgefüllter Fragebogen (Quelle: Darstellung des ifo Instituts.)

3. Ausgewählte Ergebnisse der Unternehmensbefragung

Eigenförderung

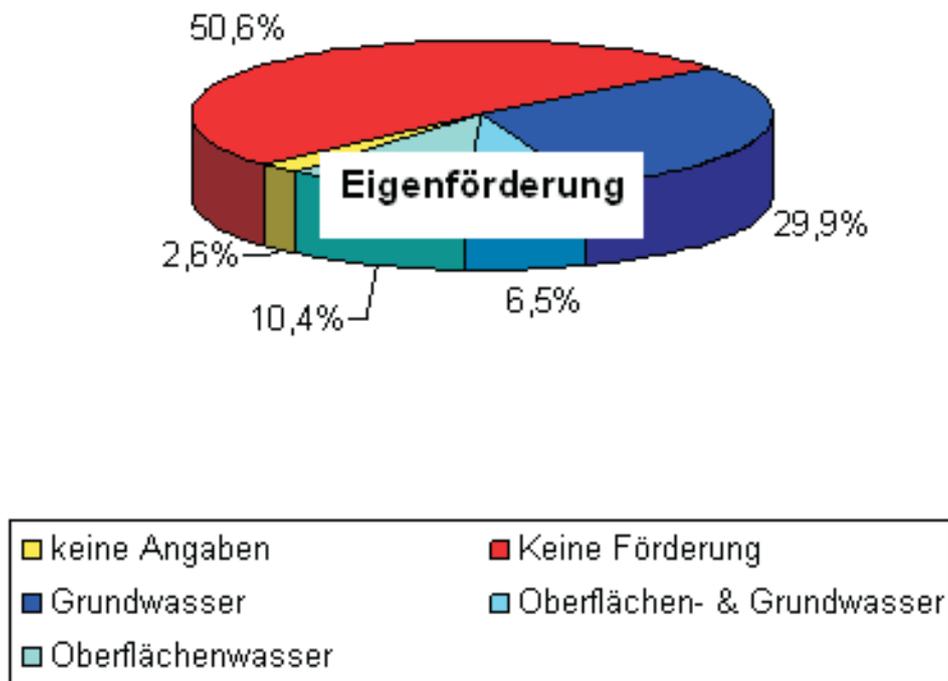


Abb. II: Herkunft des geförderten Wassers (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Nutzungsart nach Branchen

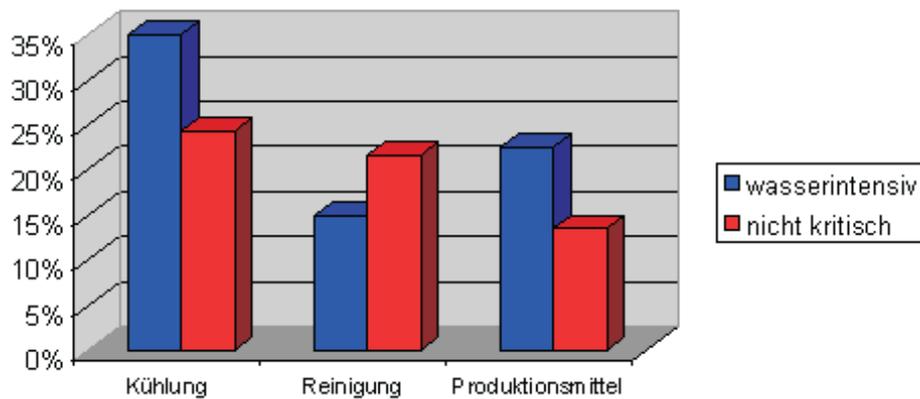


Abb. III: Nutzungsart des Wassers, differenziert nach wasserintensiven und nicht wasserintensiven Branchen (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

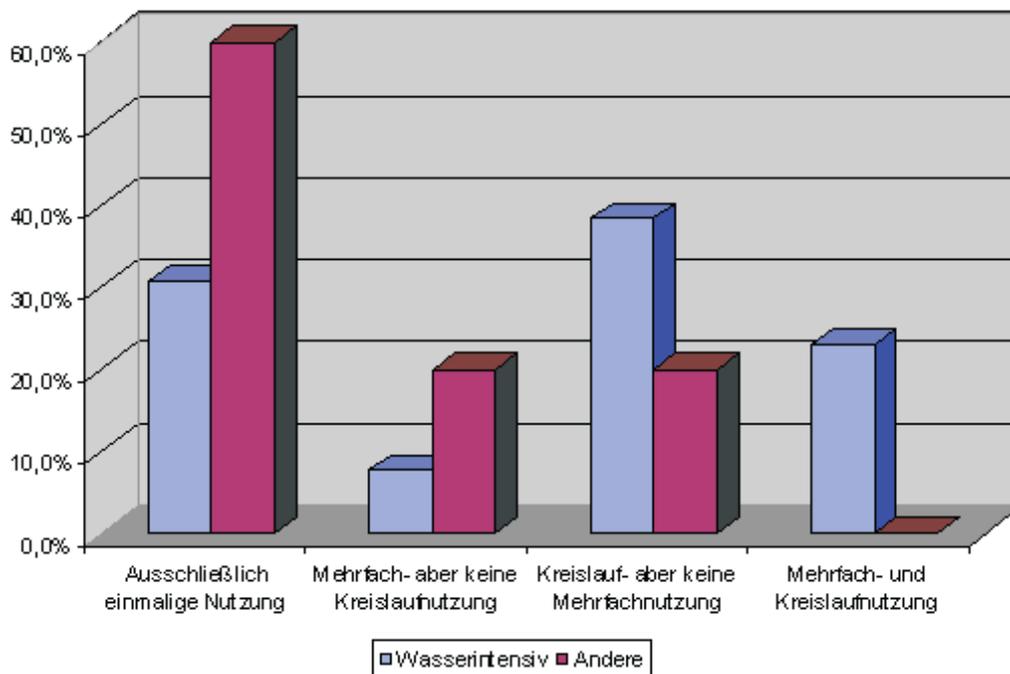


Abb. IV: Technologische Maßnahmen zur Reduktion des Frischwasserbedarfs nach wasserintensiven und nicht wasserintensiven Branchen (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Produktionsrückgang 2003

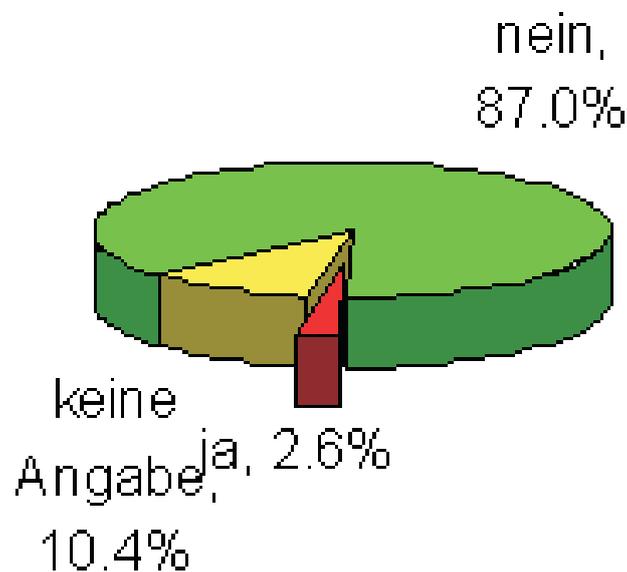


Abb. V: Klimatisch bedingter Produktionsrückgang im Jahr 2003 (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Problembewusstsein / Möglichkeit eines Wassermangels

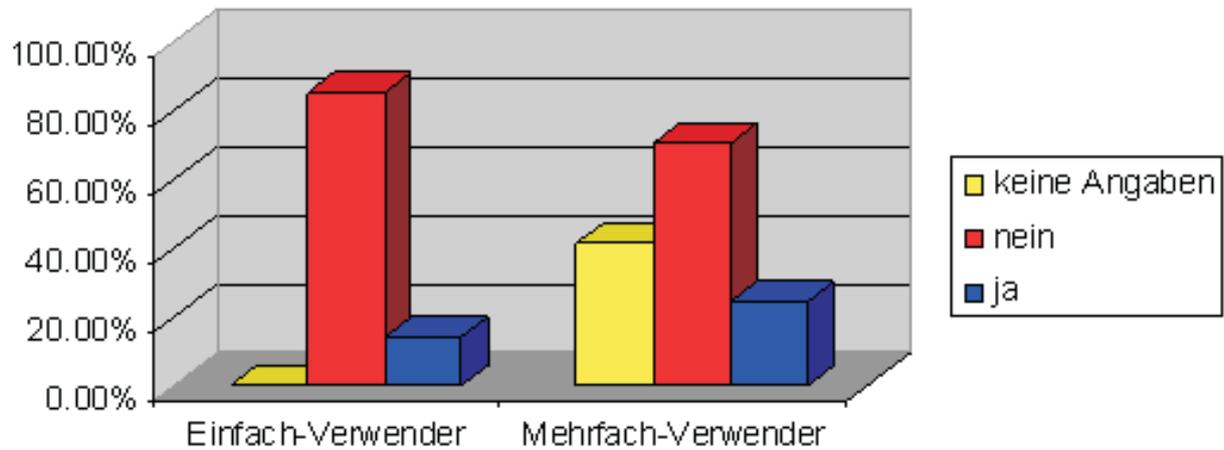


Abb. VI: Relevanz von Wassermangel (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Erwartete wasserspezifische Problemfelder

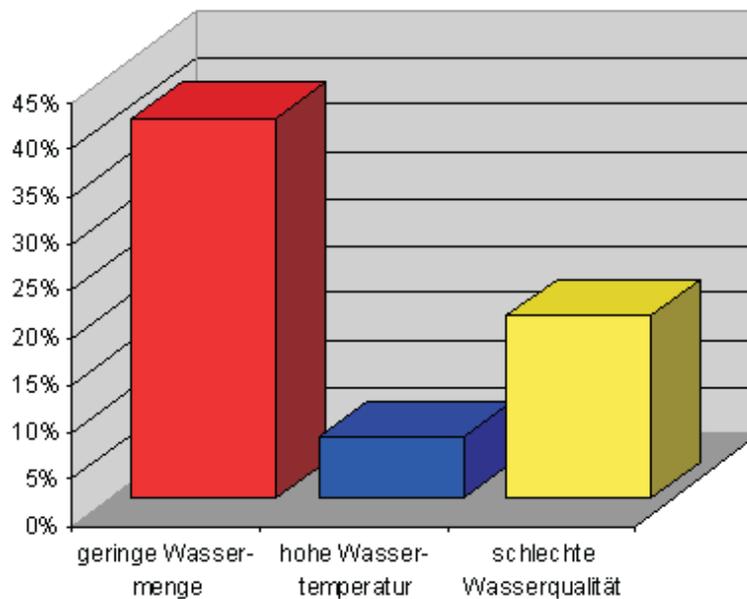


Abb. VII: Erwartete wasserspezifische Problemfelder (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Auswirkungen einer Veränderung des Klimas auf die Standortwahl

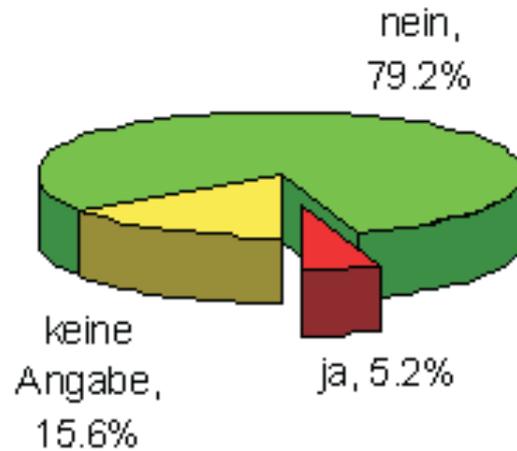


Abb. VIII: Betriebe deren Standortwahl durch eine kontinuierliche, negative Änderung der klimatischen Bedingungen beeinflusst wäre (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

4. Der Kostenminimierungsansatz des *DeepActorIndustry*-Modells

$$\begin{aligned}
 & \min_{tF, wI, oI, eW, wO} L : \\
 & \sum_{j=1}^J \left[tAC_{t+j} (tF_{t+j} - tF_{t+j-1}) + twAC_{t+j} (\sqrt{wI_{t+j}} - \sqrt{wI_{t+j-1}}) \right] \\
 & + \sum_{j=0}^J \left[cC_{t+j} + oC_{t+j} oI_{t+j} + \sum_{h=1}^H \left[eC_{h,t+j} \left(\ln \left[\frac{eP_{h,t+j}}{eP_{h,t+j} - eW_{h,t+j}} \right] \right) \right] + eC_{0,t+j} eW_{0,t+j} \right. \\
 & \left. + tC_{t+j} tF_{t+j} + \sum_{i=0}^I \left[wC_{i,t+j} \left(\ln \left[\frac{\sqrt{wP_{i,t+j}}}{\sqrt{wP_{i,t+j}} - \sqrt{wO_{i,t+j}}} \right] \right) \right] + twC_{t+j} \sqrt{wI_{t+j}} \right. \\
 & \left. - \lambda_{t+j} \left(\min \left[\frac{(1 + gO_{t+j})^{t+j} oI_{t+j} - \phi oI_{t+j} p_{t+j} y_{t+j}}{\alpha oI_{t+j}}, \frac{\sum_{h=0}^H [eW_{h,t+j}] tF_{t+j}}{\alpha eW_{t+j}} \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \left. - \phi eW_{t+j} p_{t+j} y_{t+j}, \frac{(\sum_{i=1}^I [\beta wO_{i,t+j} \sqrt{wO_{i,t+j}}] + \sqrt{wI_{t+j}})^2}{\alpha wO_{t+j}} - \phi wO_{t+j} p_{t+j} y_{t+j} \right] \right) \right]
 \end{aligned}$$

5. Bevölkerungsvorausberechnung der amtlichen Statistik in Österreich

Die aktuellste österreichische Bevölkerungsprognose, „Zukünftige Bevölkerungsentwicklung Österreichs 2005-2050 (2075)“, stammt von 2005 (STATISTIK AUSTRIA 2005b). Die Studie trifft ihre Prognose anhand derselben Parameter wie die deutsche. Die folgende Tabelle fasst die Daten der Ausgangsbasis, sowie die niedrigsten, mittleren und höchsten Annahmen zusammen. Die Studie prognostiziert mehrere Szenarien. Das Hauptszenario⁸⁾, das Wachstumsszenario⁹⁾, sowie das Alterungsszenario¹⁰⁾ werden in der folgenden Grafik dargestellt.

	Ausgangsbasis (2004)	Niedrigste Annahme (2050)	Mittlere Annahme (2050)	Höchste Annahme (2050)
Fertilität	1,4	1,4; 1,1 ab 2030	1,4; 1,5 ab 2030	1,4; 1,9 ab 2030
Lebenserwartung	76,4 Jahre Männer/ 82,1 Jahre Frauen	80,3/86 Jahre*	84,3/89 Jahre*	88,3/92 Jahre*
Wanderung	+50.582 Personen/ Jahr	+5000-10.000 Personen/ Jahr	+ 30.000, ab 2020 +20.000 Personen/ Jahr	+30.000 Personen/ Jahr
Bevölkerungsstand	8.174.733	7.576.597	8.986.033	10.974.237

*Lebenserwartung für Neugeborene (Männer / Frauen) im Jahr 2050

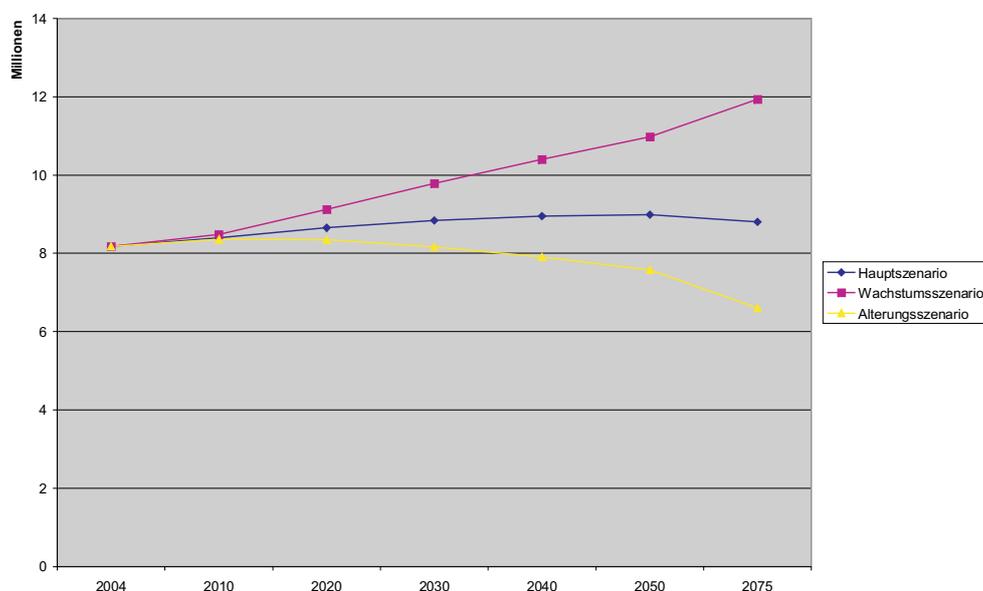


Abb. IX: Ergebnisse der österreichischen Bevölkerungsvorausberechnung von 2005 (Quelle: Darstellung des ifo Instituts nach STATISTIK AUSTRIA (2005b))

⁸ Mittlere Fertilität, Lebenserwartung und Wanderung.

⁹ Hohe Fertilität, Lebenserwartung und Wanderung.

¹⁰ Niedrige Fertilität, hohe Lebenserwartung, niedrige Wanderung.

Wechselbeziehungen zwischen dem Tourismus und der Ressource Wasser im Untersuchungsraum von GLOWA Danube

Teilprojekt: Tourismus
Leiter: Prof. Dr. Jürgen Schmude
Ausführende Stelle: Universität Regensburg, Lehrstuhl für Wirtschaftsgeographie
Universitätsstraße 31, 93040 Regensburg

1. Organisatorisches

Der Bericht beinhaltet die Aktivitäten des Teilprojektes Tourismus im Jahr 2004.

1.1 Zusammensetzung der Arbeitsgruppe und Besetzung der Stellen

Die Arbeitsgruppe Tourismus bestand im Jahr 2005 aus dem Projektleiter Prof. Dr. Jürgen Schmude, aus einem Wissenschaftler (BAT IIa), einem Wissenschaftler (BAT IIa/2) sowie einer ungeprüften studentischen Hilfskraft mit einer monatlichen Arbeitszeit von 30 Stunden. Die Wissenschaftlerstellen waren vom 01.01.2005 bis zum 31.12.2005 mit Dipl.-Geogr. Mario Sax und Dipl. Kfm./Wirtsch.-Inform. Alexander Dingeldey besetzt.

Als ungeprüfte studentische Hilfskraft war im Jahr 2005 Markus Steiger, sowie Andreas Damian überwiegend mit der Aufbereitung sekundärstatistischer Daten, der Verortung von touristischer Infrastruktur sowie der Pflege der erhobenen Daten beschäftigt.

Im Oktober 2005 konnte im Rahmen von GLOWA Danube eine Diplomarbeit an Bianca Knerr vergeben werden. Frau Knerr beschäftigt sich mit der Reaktion der Betreiber von Skigebieten auf eine Klimaänderung.

1.2 Veröffentlichungen

Im Berichtszeitraum wurden von der Forschungsgruppe Tourismus folgende Veröffentlichungen erstellt.

SAX, M. (2005): Bedeutung der Ressource Wasser für den Tourismus. In: Schmude, Jürgen; Piermeier, Astrid (Hrsg.) (2005): TTT 2004, Proceedings. S. 73-79. = Beiträge zur Wirtschaftsgeographie Regensburg, Band 8, Regensburg.

STRASSER, U., MAUSER, W., LUDWIG, R., SCHNEIDER, K., LENZ, V., BARTHEL, R. und SAX, M. (2005): GLOWA-Danube: Integrative Global Change Scenario Simulations for the Upper Danube Catchment - First Results. In: Papers of the International Conference on Headwater Control VI: Hydrology, Ecology and Water Resources in Headwaters. IAHS, Bergen, Norway.

SCHMUDE, J. und SAX, M., (2006): Zum Problem der Quantifizierung des touristischen Wasserbedarfs. In: Tourismus Journal, (im Review-Verfahren).

1.3 Finanzielles

Für die Finanzierung von Primärerhebungen erfolgte eine Umwidmung von Mitteln aus dem Bereich Geschäftsbedarf in Höhe von 316 €, aus dem Bereich Reisekosten Inland in Höhe von 495,05 €. Weiterhin wurde für die Beschaffung von Speicherweiterungen für die PCs im auf Eigenmittel des Lehrstuhls für Wirtschaftsgeographie in Höhe von 298 € zurückgegriffen.

1.4 Teilnahme an Veranstaltungen

Vertreter der Forschungsgruppe Tourismus haben im Jahr 2005 an verschiedenen Veranstaltungen teilgenommen, die GLOWA Danube betreffen bzw. die Inhalte der Forschungsarbeit nach außen bekannt machen.

- 11.-15.03.2005: **ITB Berlin:** Auf der Internationalen Tourismusbörse in Berlin wurden im Rahmen eines Messeauftritts im Wissenschaftszentrum dieser Veranstaltung unter Verwendung eines Posters und durch persönliche Gespräche mit Prof. Dr. Jürgen Schmude und Dipl. Geogr. Mario Sax am Stand des Lehrstuhls für Wirtschaftsgeographie die Untersuchungsansätze zur Ermittlung des touristischen Wasserbedarfs vorgestellt.
- 26.04.2005 **Actors-Treffen in Stuttgart:** An dem Actors-Treffen in Stuttgart nahmen von der Forschungsgruppe Tourismus Alexander Dingeldey und Mario Sax teil. Dieses Treffen der Akteurgruppen diente der Vorbereitung der Statuskonferenz in Bonn, sowie dem fachlichen Austausch der einzelnen Actorsgruppen untereinander für die Umsetzung des tiefen Akteurskonzepts.
- 17.-19. 05.2004 **GLOWA-Statuskonferenz in Bonn:** Alle Mitglieder der Forschungsgruppe Tourismus nahmen an der GLOWA-Statuskonferenz in Bonn teil, wo sie die Ansätze und Ergebnisse der Forschungsgruppe Tourismus vorstellten.
- 11.07. 2005 **Projektmeeting in München:** Das Projektmeeting in München besuchten Prof. Dr. Jürgen Schmude, sowie Alexander Dingeldey und Mario Sax. Dabei wurde u.a. vereinbart, dass sich die Forschungsgruppe Tourismus mit einem Vortrag an dem Stakeholdertreffen am 28.10. 2005 beteiligt. Ebenso erfolgte eine Vereinbarung über ein gemeinsames Treffen der Mitglieder von GLOWA-Danube in der 48. Kalenderwoche des vergangenen Jahres.
- 28.10.2005 **GLOWA-Danube Stakeholdertreffen im Ifo-Institut in München:** Auf dieser Veranstaltung waren von der Forschungsgruppe Tourismus Alexander Dingeldey und Mario Sax vertreten. Das Stakeholdertreffen diente u.a. dazu in Zusammenarbeit mit der Forschungsgruppe Ökonomie, Wasserversorgung und Haushalt, den Stakeholdern die bisherigen Ansätze und Ergebnisse bei der Modellierung der touristischen Wassernutzung vorzustellen.
- 30.11.-03.12.2005 **GLOWA-Danube Klausurtagung in Linden:** Von der Forschungsgruppe Tourismus waren auf der Klausurtagung Alexander Dingeldey, Mario Sax und der Projektleiter Prof. Dr. Jürgen Schmude anwesend. Die Teilnehmer stellten den aktuellen Arbeitsstand der Forschungsgruppe Tourismus vor und beteiligten sich an den Diskussionen und Arbeitsgruppen zu geeigneten Maßnahmen für den erfolgreichen Abschluss der zweiten Projektphase. Die Forschungsgruppe Tourismus verpflichtete sich dabei, bis zum 01. Februar 2006 folgende Arbeitsschritte zu erledigen:
 - Fertigstellung einer prototypischen Implementierung des tiefen touristischen Akteurmodells,
 - Planung von Veröffentlichungen,
 - Fehlerabschätzung des Modells erarbeiten,

- Erarbeitung von Fragestellungen für das Gutachten zur Politik,
- Übermittlung von Ergebnisvariablen für die Result-Interfaces,
- Weitergabe von Anforderungen an neue Datentypen und Änderungswünsche an die Hauptkomponentenschnittstellen.

Diese Aufgaben wurden von der Forschungsgruppe Tourismus entsprechend der zeitlichen Vorgabe erfüllt.

2. Arbeitsschritte im abgelaufenen Kalenderjahr 2005

Im Jahr 2005 lag der Arbeitsschwerpunkt sowohl auf der konzeptionelle Fertigstellung des touristischen Akteurmodells sowie auf der Erhebung von primärstatistischen Daten, welche im Jahr 2004 aufgrund der Beteiligung an der Konzeption des tiefen Akteurmodells zeitlich nach hinten verschoben worden waren. Folgende Arbeitsschritte wurden im Jahr 2005 durchgeführt:

- primärstatistische Erhebung zu den Motivationen und dem Aktivitätsspektrum der touristischen Nachfrager im Untersuchungsgebiet,
- primärstatistische Erhebung zur Wassernutzung der touristischen Infra- und Suprastruktur,
- Auswertung der primärstatistischen Erhebungen,
- Konzeption eines szenariofähigen, angebotsorientierten tiefen Akteursmodells,
- kontinuierliche Implementierung der Weiterentwicklungen des Modells in JAVA und Integration in DANUBIA,
- Auswertung erster Ergebnisse des Prototypen des tiefen touristischen Akteurmodells.

Auf die einzelnen Arbeitsschritte wird im Folgenden im Detail weiter eingegangen.

2.1 Primärstatistische Erhebungen zum Nachfragerverhaltens

Ein wesentlicher Arbeitsschwerpunkt im Jahr 2005 war die Durchführung von primärstatistischen Erhebungen zur Untersuchung des Verhaltens von Touristen im Untersuchungsgebiet. Die Erhebung wurde mittels persönlicher Interviews unter Verwendung standardisierter Fragebögen durchgeführt. Um sowohl zeitliche und räumliche Besonderheiten, die die Ergebnisse negativ beeinflussen könnten auszuschließen und sowohl die Eigenheiten des Sommer- als auch den Wintertourismus zu berücksichtigen, wurden an mehreren Befragungsorten im Untersuchungsgebiet Interviews durchgeführt. Die Befragung wurde an folgenden Standorten durchgeführt:

- Regensburg (Bayern) (Februar 2005),
- Zillertal (Tirol) (März 2005),
- München (Bayern) (August 2005),
- Starnberg (Bayern) (August 2005),
- Regensburg (Bayern) (August 2005),
- Deggendorf (Bayern) (August 2005),
- Zillertal (Tirol) (September 2005),
- München (Bayern) (Oktober 2005),
- Regensburg (Bayern) (Oktober 2005).

Insgesamt konnten durch diese Erhebungen etwa 2.300 Fragebögen gewonnen werden. Die Ergebnisse der Befragung dienen einerseits der Identifikation touristischer Angebotselemente, die für die Modellierung der touristischen Nachfrage von Bedeutung sind. Damit wird der Anregung der Gutachter für die Phase II Rechnung getragen, auch touristische Angebotselemente zu berücksichtigen, die über die wasserintensive touristische Infra- und Suprastruktur hinausgehen. Die auf Basis der Erhebungen ermittelten Angebotselemente werden für eine szenariofähige Modellierung der touristischen Nachfrage benötigt. Andererseits liefern die Erhebungen Informationen, in wie weit veränderte Umweltbedingungen und die veränderte touristische Attraktivität die Aktivitäten der Touristen beeinflussen. Diese Erkenntnisse fließen in das touristische Attraktivitätsmodell ein.

2.2 Primärstatistische Erhebungen zum Wassernutzungsverhalten der touristischen Infra- und Suprastruktur

Neben der Untersuchung der Nachfrageseite hat, entsprechend dem angebotsorientierten Ansatz der Forschungsgruppe Tourismus, die Untersuchung des touristischen Angebots eine wesentliche Bedeutung bei der Modellierung der touristischen Wassernutzung. Die Befragung von Betreibern touristischer Infra- und Suprastruktur zielt darauf ab, dass einerseits mehr Informationen über das Wassernutzungsverhalten, andererseits Einschätzungen der Betreiber hinsichtlich der Betroffenheit durch eine Klimaänderung und beabsichtigte Handlungsweisen in Erfahrung zu bringen. Die Primärerhebungen wurden mittels einer standardisierten schriftlichen Befragung durchgeführt. Folgende Einrichtungen der touristischen Infra- und Suprastruktur wurden befragt:

- Skigebiete mit und ohne Beschneigung (Süddeutschland, Österreich, Schweiz),
- Golfplätze (Untersuchungsgebiet),
- Beherbergungsbetriebe (Süddeutschland, Österreich, Schweiz),
- Gastronomiebetriebe (Süddeutschland, Österreich, Schweiz).

Eine Befragung von Bädern im Untersuchungsgebiet steht noch aus und ist für den April des Jahres 2006 vorgesehen.

2.3 Auswertung der primärstatistischen Erhebungen

Der Rücklauf der Erhebungen konnte z.T. schon ausgewertet werden, so dass erste Ergebnisse vorliegen, wie z.B. die Zusammensetzung des Wasserbedarfs bei Golfplätzen, die sich direkt in der Parametrisierung des tiefen Akteurmodells niederschlagen. Darüber hinaus konnten z.B. zusätzliche Informationen zur zeitlichen Verteilung des Wasserbedarfs von Golfplätzen und Skigebieten mit künstlicher Beschneigung ermittelt werden (vgl. Abb. 1 und 2).

Die zeitliche Verteilung des touristischen Wasserbedarfs von Beschneiungsanlagen bzw. Golfanlagen auf die einzelnen Monate stellt den Referenzwert dar, der für die Golf- bzw. Beschneigungsakteure im Modell nachgebildet werden soll und dient damit der Validierung des Verhaltens der tiefen Beschneigungs- und Golfplatzakteure. Um die abgebildete zeitliche Variation der Wassernutzung nachbilden zu können, wurde eine enge Kopplung der touristischen Akteure mit naturwissenschaftlichen Modellen entwickelt, wie weiter unten noch dargestellt wird.

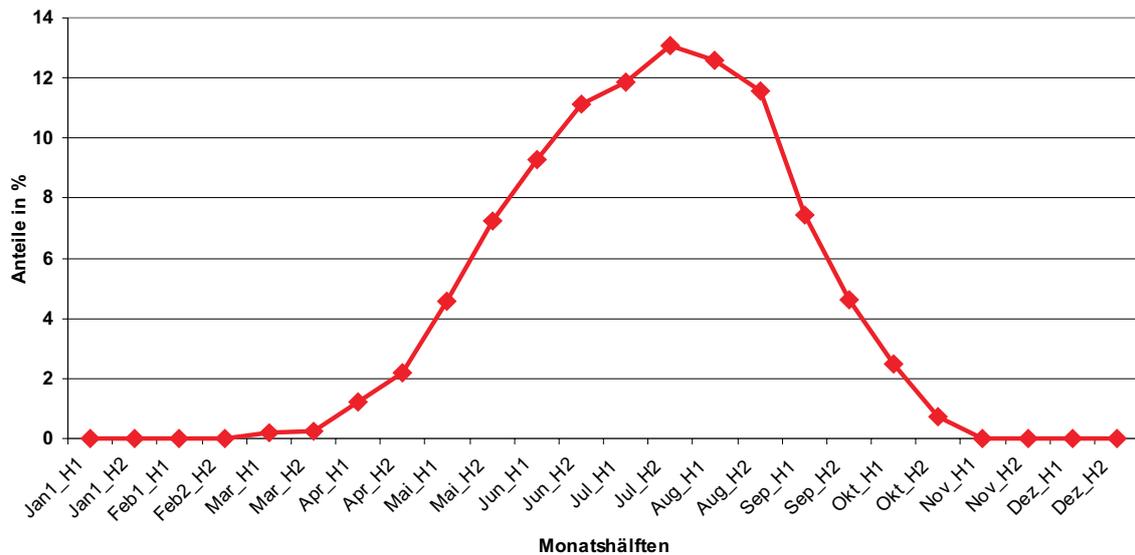


Abb. 2: Zeitliche Verteilung des Wasserbedarfs bei der Bewässerung der befragten Golfplätze (Quelle: Eigene Darstellung)

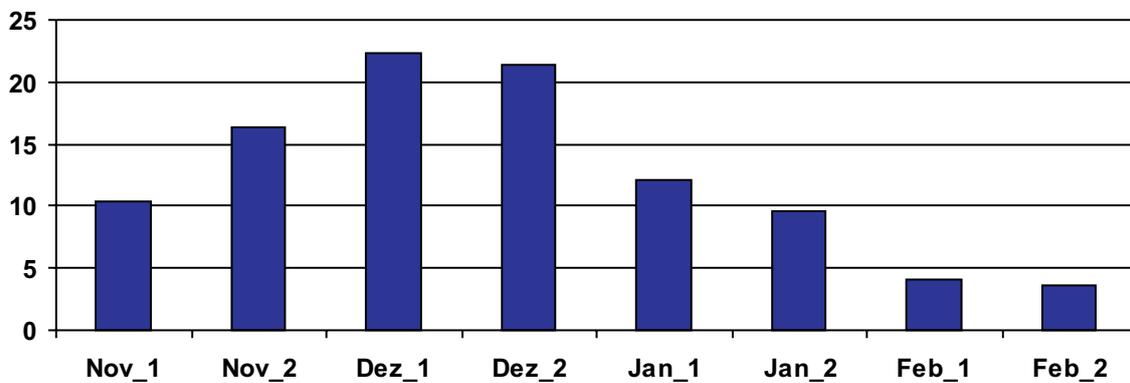


Abb. 1: Zeitliche Verteilung des Wasserbedarfs bei der künstlichen Beschneigung der befragten Skigebiete (Quelle: Eigene Darstellung)

2.4 Konzeption des angebotsorientierten Tourismusmoduls

Bei den bisherigen Berechnungen der Forschungsgruppe Tourismus stand die statische Berechnung des touristischen Wasserbedarfs im Untersuchungsgebiet im Vordergrund. Das Ziel dieser Projektphase ist u.a. eine szenariofähige Berechnung der touristischen Wassernutzung zu ermöglichen. Dazu wurde das Konzept eines tiefen touristischen Akteurmodells entwickelt. Ausgehend von den im Jahresbericht 2004 vorgestellten Konzept wurde im Jahr 2005 eine detailliertere Konzeption erarbeitet: Dies betrifft einerseits die konkrete Auswahl von touristischen Akteuren, deren genaue Funktionalität und Parametrisierung, andererseits die Abstimmung der Konzeption auf das *Deep-Actor-Framework* von Stephan Janisch, so dass nun eine Implementierung des tiefen Modellansatzes in DANUBIA möglich ist.

Um die Funktionsweise des touristischen Akteurmodells zu demonstrieren wird auf zuerst auf die fertiggestellte Grundkonzeption eingegangen. Weiterhin wird das Konzept und dessen Funktionsweise exemplarisch anhand des Entwurfs eines Skigebiets und eines Freibadakteurs dargestellt. Anschließend werden erste Ergebnisse des prototypischen tiefen Akteurmodells präsentiert. Zunächst wird jedoch auf die allgemeine Konzeption des tiefen Akteurmodells eingegangen.

2.4.1 Konzeption eines tiefen touristischen Akteurmodells

Damit das tiefe touristische Akteurmodell variabel auf Umweltbedingungen und damit auch auf Klimaszenarien reagieren kann, wurde in Zusammenarbeit mit den anderen Akteurgruppen (*Economy, Demography, Household, und Farming*) sowie der Gruppe Informatik eine tiefe Modellkonzeption erarbeitet. Diese neue Konzeption ermöglicht es, dass die modellierten touristischen Akteure (= Betreiber touristischer Infra- und Suprastruktureinrichtungen) entsprechend der jeweils wahrgenommenen relevanten Umweltbedingungen adäquate Entscheidungen fällen können. Dadurch kann im Vergleich zum bisherigen statischen Modell eine realistischere Modellierung der aktuellen touristischen Wassernutzung erreicht werden. Ebenso wird durch diesen dynamischen Ansatz die Bearbeitung von Szenariofragestellungen während der Simulationslaufzeit möglich. Durch die Entwicklung des tiefen touristischen Akteurmodells wird auf inhaltlicher sowie auf technischer Ebene eine stärkere Vernetzung mit den anderen Forschungsgruppen bei GLOWA Danube erreicht (vgl. Abb. 3), so dass eine integrative Betrachtung der touristischen Wassernutzung im Einzugsgebiet der oberen Donau möglich ist.

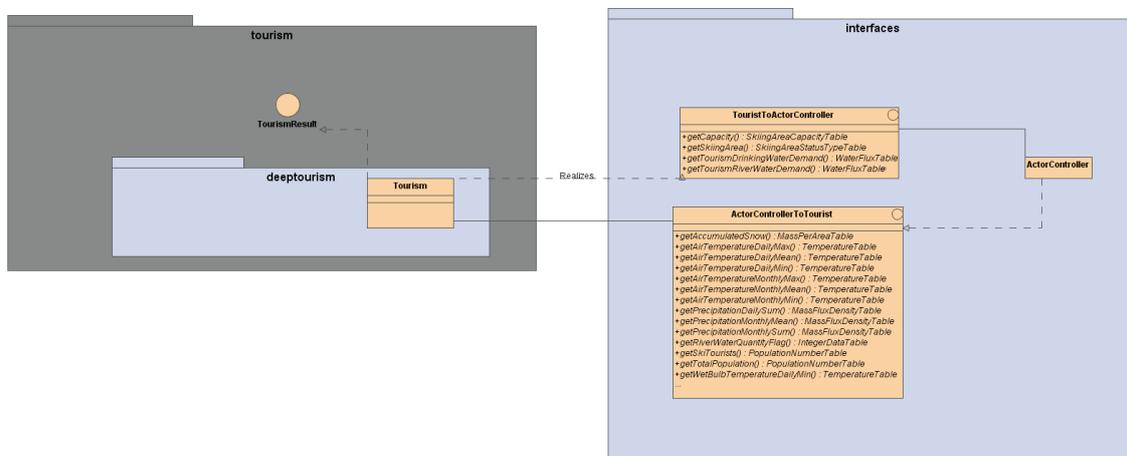


Abb. 3: Schnittstellen des Tourismusmoduls (Quelle: Eigene Darstellung)

Das tiefe Akteurmodell basiert inhaltlich auf dem bisherigen flachen Akteurmodell, das jedoch um zusätzliche Fähigkeiten erweitert wird. Der Kern der Konzeption umfasst die Fähigkeit, auf die durch die Modelle anderer Forschungsgruppen in DANUBIA simulierten Umweltbedingungen variabel und angemessen zu reagieren. d.h. ein Skigebietsakteur beginnt z.B. mit dem saisonalen Betrieb bei passender Schneelage oder beendet den Betrieb, wenn die notwendigen Bedingungen nicht mehr gegeben sind. Die dazu benötigten Informationen werden über die Schnittstellen übertragen.

Im Vergleich zum bisherigen flachen Modell wird der Zeittakt der Berechnungen von einer monatlichen Taktung auf tägliche Berechnungen erhöht. Dies ist sowohl aus technischen wie auch aus inhaltlichen Gesichtspunkten notwendig. Aus technischer Sicht wird die Reaktionszeit auf die Daten anderer DANUBIA-Modelle stark reduziert, so dass die durch die Modellkopplungen entstehende Zeitverzögerung nicht mehr ins Gewicht fällt. Aus inhaltlicher Sicht ist dies notwendig, da bei der dynamischen Konzeption des tiefen touristischen Akteurmodells monatliche Daten zu grob sind, um die Beeinflussung des touristischen Angebots und den touristischen Wasserbedarf durch klimatische Parameter darzustellen. Der Wasserbedarf eines Golfplatzes zum Beispiel hängt eher von tagesaktuellen Klimaparametern und deren Variabilität innerhalb eines Monats ab, als von langjährigen Mittelwerten des Niederschlags (vgl. auch DEUTSCHER GOLFVERBAND 1998, S. 8). Ähnlich ist es bei der künstlichen Beschneidung, die ebenfalls auf oftmals kurze Zeitfenster angewiesen ist, in denen die Beschneidung durchgeführt werden kann. Diesen Aspekten kann mit einer täglichen Taktung Rechnung getragen werden und ermöglicht eine auf dem tiefen Akteurskonzept basierende dynamische Berechnung des touristischen Wasserbedarfs.

Zur Umsetzung des Ansatzes des tiefen Akteurmodells wird auf das Konzept des Multiagentensystems (MAS) zurückgegriffen. Zentraler Aspekt beim Konzept des Agenten ist, dass er aufgrund seiner Wahrnehmungen eine Entscheidung fällt. Um zu einer Entscheidung zu gelangen, muss der Agent verschiedene Präferenzen hinsichtlich der Entscheidungsalternativen besitzen. Die Präferenzen können für das System fest definiert sein oder sie können sich durch iterative Prozesse herausbilden bzw. verändert oder verworfen werden. Für den Prozess der Entscheidungsfindung selbst werden in der Architektur verschiedene Ansätze diskutiert, auf die hier nicht eingegangen wird. Für das tiefe touristische Akteursmodell werden für die Entscheidungsfindung fest vorgegebene Regeln verwendet, die für das tiefe touristische Akteurmodell aufgrund fachlicher Gesichtspunkte entwickelt werden.

Für das tiefe Akteurmodell der Forschungsgruppe Tourismus werden die touristischen Leistungsanbieter der realen Welt (= touristische Infra- und Suprastruktur) durch die touristischen Akteure in der Simulation vertreten. Als Akteure kommen zunächst verschiedene Gruppen von Leistungsanbietern in Frage, die aufgrund inhaltlicher Aspekte (z.B. Aktivitäten von Touristen, bzw. Wasserbedarf) gewählt werden. Das tiefe touristische Akteurmodell basiert, wie auch im Jahresbericht 2004 erläutert, aus inhaltlicher Sicht auf drei Säulen, die jeweils verschiedene Gruppen von Akteuren enthalten werden (vgl. Abb. 4).

Die erste Säule beinhaltet die Betreiber von wasserintensiver Infrastruktur. Dies bedeutet, dass diese Einrichtungen für ihre Betriebsfähigkeit auf das Vorhandensein der Ressource Wasser angewiesen sind, wie z.B. Golfplätze oder Skigebiete mit künstlicher Beschneigung. Die zweite Säule umfasst Sonstige Infrastruktureinrichtungen, die nicht explizit Wasser benötigen, aber dazu beitragen, dass eine Destination für die Nachfrager attraktiv erscheint. Dies sind zum Beispiel Skigebiete ohne künstliche Beschneigung, Sehenswürdigkeiten, Freizeitparks oder auch Schiffsanlegstellen. Diese touristischen Akteure dienen nur der Generierung von touristischer Nachfrage und tragen mit dazu bei, den Wasserbedarf von touristischen Akteuren, die von der Nachfrage beeinflusst werden, zu quantifizieren (vgl. unten).

Die dritte Säule umfasst Leistungsanbieter der Suprastruktur, also die Anbieter touristischer Kernleistungen, wie etwa Beherbergungs- oder Gastronomiebetriebe, die ebenfalls auf die Verfügbarkeit von Wasser angewiesen sind, um Leistungen für Touristen zu erbringen. Der Wasserbedarf dieser touristischen Angebotelemente wird durch die touristische Nachfrage bestimmt, weshalb der angebotsorientierte Ansatz der Forschungsgruppe Tourismus auch zwei mit den touristischen Akteuren gekoppelte Nachfragekomponenten enthält (vgl. unten).

Die im Modell abzubildenden Angebotelemente weisen in unterschiedlichem Maße eine Abhängigkeit von der Umwelt auf. Die Umweltabhängigkeit kann sich lediglich auf die Wasserversorgung beziehen, aber auch auf klimatische Parameter, wie z.B. Temperaturdaten, Niederschlagsmengen oder Schneehöhen. Aufgrund bestimmter Zustände von Umweltbedingungen müssen die touristischen Akteure Entscheidungen treffen, die der jeweiligen Situation angemessen sind. Diese Entscheidungen müssen, um eine sinnvolle Reaktion an die Umwelt darstellen zu können (z.B. künstliche Beschneigung), täglich getroffen werden.

Das angebotsorientierte Akteurmodell basiert auf der Überlegung, dass die touristische Nachfrage vom touristischen Angebot abhängig ist, also ein Zusammenhang zwischen der Verfügbarkeit/Nutzbarkeit touristischer Angebotseinrichtungen und der touristischen Nachfrage besteht. Die Entscheidungen, die von den touristischen Akteuren getroffen werden, führen nun dazu, dass sie unterschiedliche Betriebszustände (= Pläne) (z.B. offen oder geschlossen) einnehmen können. Sofern eine Infrastruktureinrichtung für den Touristen nutzbar ist, übt sie Einfluss auf die Nachfrage aus, d.h. Nachfrager werden angezogen. Die touristische Nachfrage wird durch zwei unterschiedliche Submodelle berechnet. Die touristische Übernachtungsnachfrage wird durch das touristische Attraktivitätsmodell berechnet, die tagestouristische Nachfrage durch eine entsprechende eigenständige Komponente. Auf das touristische Attraktivitätsmodell wird weiter unten noch eingegangen.

Diese Pläne haben außerdem jeweils unterschiedliche Auswirkungen auf den Wasserhaushalt des Untersuchungsgebiets sowie auf die touristische Nachfrage. Dadurch kann auch der Wasserbedarf der touristischen Infra- und Suprastruktur in Abhängigkeit von der jeweiligen Umweltsituation modelliert werden. Da in der Realität für die touristische Infrastruktur nicht immer nur Trinkwasser Verwendung findet, wird auch der Bedarf an Grund und Oberflächenwasser berücksichtigt, was durch den gestrichelten Pfeil beim Wasserbedarf der touristischen Infrastruktur angedeutet wird (vgl. Abbildung 4). Die dazu notwendigen Informationen können aus den durchgeführten primärstatistischen Erhebungen entnommen werden.

Die Bestimmung der tagestouristischen Nachfrage (TA) geschieht unter Verwendung eines auf dem Gravitationsansatz basierenden probabilistischen Modells. Dieses Modell berechnet die Anzahl der Tagestouristen für jede Gemeinde, basierend auf der Bevölkerungszahl im Quellgebiet, die vom Modell Demography geliefert wird, der Reiseintensität der Bevölkerung, die verschiedenen Studien zum Tagestourismus zu entnehmen sind, den Betriebszuständen der touristischen Akteure in der Zielgemeinde, sowie der dazwischen liegenden Luftlinienentfernung. Grundsätzlich ist es den simulierten Bewohnern des Untersuchungsgebietes möglich, jede Gemeinde im Einzugsgebiet zu bereisen, allerdings mit sinkender Wahrscheinlichkeit je Größer die Entfernung und je kleiner das touristische Angebot ist. Aufgrund des probabilistischen Ansatzes kann die Attraktivität einzelner Gemeinden in Relation zu allen anderen Gemeinden berechnet werden. Dies hat zur Folge, dass je nach Zustand des touristischen Angebots (betriebsbereit oder nicht) einer Destination unterschiedliche Besucherströme in diese Destination gelenkt werden können. Ebenso können mit diesem Modell auch räumliche oder zeitliche Verlagerungen der tagestouristischen Nachfrage im Untersuchungsgebiet modelliert werden, wie z.B. fehlende Besucher aufgrund geschlossener Bäder oder Skigebiete.

Die Bestimmung der Übernachtungsnachfrage (ÜB) geschieht durch das touristische Attraktivitätsmodell, auf das unten noch genauer eingegangen wird. Abbildung 4 stellt die Struktur des tiefen touristischen Akteurmodells schematisch dar.

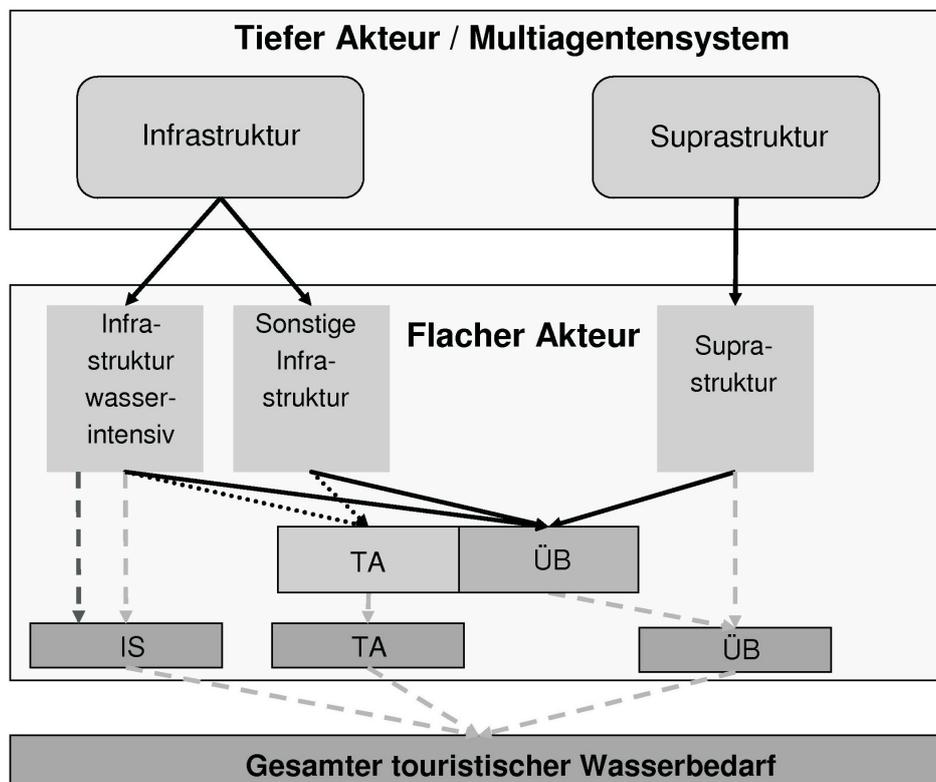


Abb. 4: Gesamtkonzeption des Modells der touristischen Wassernutzung (Quelle: Eigene Darstellung)

Auf Basis dieses Konzepts kann jeweils eine dynamische Berechnung der touristischen Nachfrage sowie des touristischen Wasserbedarfs vorgenommen werden. Nach der Erläuterung dieses inhaltlichen Konzepts wird nun verstärkt auf die Umsetzung im Rahmen von DANUBIA eingegangen und am Ende der Prototyp des touristischen Akteurmodells am Beispiel eines Skigebiets- sowie eines Freibadakteurs vorgestellt.

Bei den touristischen Akteuren handelt es sich um autonome Einheiten, die in der Lage sind eigenständig, in Abhängigkeit von der simulierten Umwelt täglich Entscheidungen bezüglich ihres Betriebszustandes oder ihrer Wassernutzung zu treffen. Dabei werden im tiefen touristischen Akteurmodell verschiedene Akteurstypen, mit speziellen Fähigkeiten, die wiederum Subtypen enthalten können (z.B. Skigebietsakteure mit Beschneigung als Sonderfall von Skigebietsakteuren) abgebildet. Diese touristischen Akteure bilden das für die touristische Wassernutzung relevante Verhalten der touristischen Leistungsanbieter im Untersuchungsgebiet im Modell ab (vgl. Abb. 5)

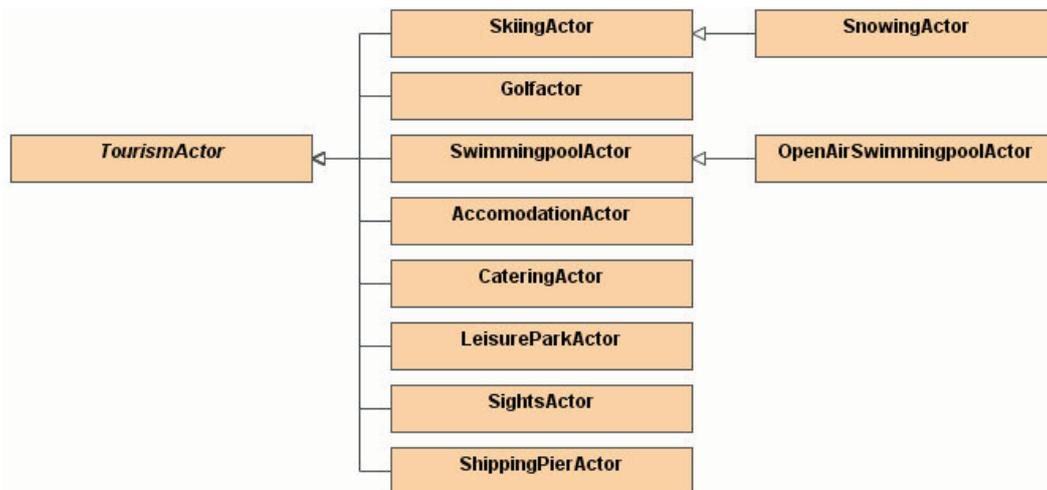


Abb. 5: Hierarchie touristischer Akteure (Quelle: Eigene Darstellung)

Tab. 1: Langfristig notwendige Öffnungstage von Skigebietten (Quelle: Eigene Erhebungen)

Region	Notwendige Öffnungstage	Anzahl Fälle
Bayern	70	19
Baden-Württemberg	25	5
Schweiz	108	9
Oberösterreich	55	7
Salzburg	91	8
Tirol	105	22
Vorarlberg	79	7

SkiingActors stellen die Betreiber von Skigebietten ohne künstliche Beschneigung dar. Ein konkreter Wasserbedarf wird diesen Objekten nicht zugeordnet, allerdings stellen sie eine wichtige Komponente für die touristische Nachfrage dar. Für die Betriebsfähigkeit von Skigebietten ist eine Schneedecke von mindestens 30cm notwendig (vgl. ABEGG 1996, S. 62). Die Höhe der Schneedecke in Form von Wasseräquivalenten wird vom Modell *Snow* bezogen. Weiterhin gilt als Maßstab zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit eines Skigebiets in der Schweiz, dass es zwischen Mitte Dezember und Mitte April nach Möglichkeit 100 Betriebstage aufweisen muss. Diese so genannte 100-Tage-Regel muss in einer Dekade in mindestens sieben Jahren erfüllt sein (vgl. ABEGG 1996, S. 62). Diese 100-Tage-Regel wird durch empirisch ermittelte

Daten regional abgewandelt. Von den befragten Skigebieten wurden folgende Werte bezüglich der langfristig notwendigen Öffnungstage pro Saison angegeben.

Mittels dieser Daten können die unterschiedlichen wirtschaftlichen Bedingungen der Skigebiete im Untersuchungsraum im tiefen Akteurmodell berücksichtigt werden, so dass eine vorzeitige Einstellung des Betriebs der Skigebietsakteure vermieden werden kann. Grundsätzlich ist eine Entscheidung über das Öffnen oder Schließen des Skigebiets zu treffen, was in Abhängigkeit von der Schneedecke geschieht. Zusätzlich wird über die Zahl der Öffnungstage entschieden, ob das Skigebiet dauerhaft schließt, da aufgrund der abgewandelten 100-Tage Regel in einer Dekade zu wenige Öffnungstage anfallen. Die Einsatzfähigkeit der Skigebietsakteure ist auch für das Modell Traffic von Bedeutung, mit dem entsprechende Daten ausgetauscht werden.

- *SnowingActors* repräsentieren Skigebiete mit Beschneiungsanlagen. Die Entscheidungen, die bei Skigebietesakteuren mit künstlicher Beschneigung getroffen werden müssen, sind prinzipiell die gleichen wie bei Skigebieten ohne Beschneigung. Zusätzlich muss jedoch entschieden werden, ob Kunstschnee erzeugt werden kann, was durch entsprechende Temperaturbedingungen und die Verfügbarkeit des dazu notwendigen Wassers beeinflusst wird. Der in der Realität zur Beschneigung anfallende Wasserbedarf richtet sich nach der beschneiten Fläche. Als Faustregel wird angenommen, dass man pro ha beschneiter Fläche 1.000-2.000 m³ Wasser pro Saison benötigt (vgl. LUTZ 2000, S. 8). Eine eigene Erhebung ergab einen durchschnittlichen Wasserbedarf von 1.647 m³/ha und Saison. Der Wasserbedarf umfasst dabei sowohl Trink-, und Grund- als auch Oberflächenwasser, das im Modell über Schnittstellen von anderen Teilmodellen (*WaterSupply* und *RiverNetwork*) in DANUBIA bezogen wird. Die künstliche Beschneigung ist nur bei bestimmten Mindesttemperaturen möglich. Als Obergrenze wird dabei eine Lufttemperatur von -5° C Feuchttemperatur angesehen. Entsprechende Werte werden vom Modell Atmosphäre bezogen. Der Wasserbedarf der künstlichen Beschneigung wird durch ein Regressionsmodell ermittelt, das als unabhängige Variable die Feuchttemperatur enthält. Die dazu notwendigen Informationen wurden der Literatur bzw. den Herstellerangaben entnommen. Dadurch ist es möglich, den Wasserbedarf täglich aufgrund der Wirkungsweise einer Schneemaschine ausgehend von der Mikroebene entsprechend den simulierten lokalen Bedingungen zu erzeugen. Zudem kann ein *SnowingActor* in adäquater Weise auf unterschiedliche klimatische Bedingungen reagieren. Auch die Tätigkeit der Skigebietsakteure mit künstlicher Beschneigung wird in Zukunft vom Verkehrs- und Skifahrermodell berücksichtigt.
- *GolfActors* sind Stellvertreter für die Golfplätze im Untersuchungsgebiet. Sie werden hinsichtlich der Anzahl ihrer Spielbahnen differenziert. Der durch Bewässerung aufzubringende Wasserbedarf richtet sich nach der Evapotranspiration, dem Niederschlag und der Schneebedeckung. Als Orientierungswert kann eine Wassermenge von etwa 9.900m³ bis über 50.000 m³/a für eine 18-Lochanlage angesehen werden (vgl. BAARTZ 1994 und Deutscher Golfverband, 2004), wobei regionale Variationen je nach Klima und Gestaltung der Anlage möglich sind. Als Modellannahme gilt, dass eine Bewässerung nur dann notwendig ist, wenn keine geschlossene Schneedecke vorhanden ist und die täglich evaporierte Wassermenge der Spielflächen die tägliche Niederschlagssumme übersteigt. Die Niederschlagswerte werden von Atmosphäre bezogen. Daher muss der jeweilige Akteur entscheiden, ob die Golfanlage betriebsbereit ist und künstliche Bewässerung notwendig ist. Falls die benötigten Wassermengen nicht zur Verfügung stehen, kann prinzipiell die Entscheidung anstehen, die Anlage aufgrund einer Trockenperiode für eine Saison zu schließen.
- *SwimmingPoolActors* stellen die im Untersuchungsgebiet erhobenen Schwimmbäder dar. Sie unterscheiden sich nach verschiedenen Typen (z.B. Freibad, Hallenbad etc.) und weisen einen unterschiedlichen Wasserbedarf während ihrer Betriebsphase auf und unterschiedliche Öffnungszeiten auf. Eine zusätzliche dynamische Anbindung an

Umweltbedingungen ist bei Freibädern realisiert, bei denen die maximale tägliche Lufttemperatur in Form eines siebentägigen gleitenden Mittels einen Einfluss auf die Zeitpunkte der saisonalen Öffnung und Schließung aufweist. Damit ist auch eine positive Anpassung der touristischen Infrastruktur an eine Klimaänderung möglich, da potentielle Badetage, für deren Anzahl eine Zunahme erwartet wird, im Modell abgebildet werden (vgl. auch STOCK 2005, S. 117). Die benötigten Temperaturdaten werden vom Modell *Atmosphere* bezogen. Schwimmbadakteure haben aufgrund der Wasserverfügbarkeit die grundsätzliche Entscheidung zu treffen, ob die jeweilige Anlage zu öffnen oder zu schließen ist. Weiterhin müssen Schwimmbadakteure, die ein Freibad darstellen, zusätzlich aufgrund der Temperaturverhältnisse entscheiden, wann die Saison eröffnet oder beendet ist. Grundsätzlich ist die Saison beschränkt auf den Zeitraum vom 01.04 bis zum 01.10. eines simulierten Jahres.

- Die Anbieter von Beherbergungsleistungen wie z.B. Hotels oder Pensionen werden im Modell durch *AccommodationActors* repräsentiert. Diese sind per Modellannahme auf allen besiedelten Proxeln verortet und rechnen auf der Basis der Gemeinden, da auf dieser administrativen Ebene alle notwendigen Informationen vorliegen. Alle Werte, die nach außen (andere Modelle in DANUBIA) über Schnittstellen kommuniziert werden, werden auf die Ebene der Proxel herunter gebrochen. Der Wasserbedarf von Beherbergungsakteuren wird durch die touristische Nachfrage bestimmt, die im Nachfragemodell Übernachtungstourismus berechnet wird. Die notwendigen Entscheidungen umfassen das Öffnen oder Schließen des Betriebs aufgrund des Wasserangebots, sowie der Erweiterung oder Verminderung der Bettenkapazität aufgrund einer sich verändernden Auslastung.
- *CateringActors* sind die Stellvertreter von Gastronomiebetrieben in der realen Welt. Ähnlich wie bei den Beherbergungsbetrieben werden sie auf allen besiedelten Proxeln verortet. Diese Einrichtungen stellen einen wichtigen Anziehungspunkt für den Tagestourismus dar, da nach HARRER (2005, S. 63) knapp 50 % der Tagesausflugsgäste einen Gastronomiebetrieb aufsuchen. Daher ist dieser Suprastrukturtyp ein wichtiger Baustein bei der Abbildung des touristischen Wasserbedarfs.
- *Leisurepark-, ShippingPier- und SightActors* dienen dazu, zusätzlich touristische Attraktionen in das Modell zu integrieren. Sie weisen gemäß einer Modellannahme keinen eigenen Wasserbedarf auf und sind grundsätzlich ganzjährig bzw. zu fest vorgegebenen Saisonzeiten geöffnet. Damit verfügen sie über keine richtige Verbindung zur Umwelt, was aber auch nicht notwendig ist, da davon auszugehen ist, dass diese Einrichtungen auch unter variablen Umweltbedingungen genutzt werden können. Auch bei den Akteuren, die Schiffsanlegestellen darstellen, wurde auf eine Umweltkopplung verzichtet, da mit Ausnahme von Hochwässern für den Untersuchungsraum immer zu erwarten ist, dass zumindest für kleinere Schiffe oder Boote die Wasserführung ausreichend ist.

Die Forschungsgruppe Tourismus wird die touristischen Akteure basierend auf dem Konzept reaktiver Agenten (vgl. WOOLDRIDGE 2002, S. 33) modellieren, die einen festgelegten Satz von Handlungsalternativen aufweisen. Dabei weisen die Akteure eine horizontale Architektur auf. Dies bedeutet, für jede Handlungsalternative (*Layer*) wird geprüft, ob sie in der jeweiligen Situation ausgeführt werden kann. Die Handlungsalternativen der touristischen Leistungsanbieter werden modellhaft vereinfacht in Form von Plänen in DANUBIA integriert. Die Pläne lassen sich unterteilen in Pläne, die den Betrieb eines Akteurs nachstellen (*OpenBusiness*), sowie das Schließen eines Betriebs in unterschiedlichen Abstufungen. Dabei kann unterschieden werden zwischen einem temporären Schließen eines Betriebs z.B. für einen Tag (*CloseBusiness*) sowie ein dauerhaftes Schließen (*CloseBusinessFinally*), wenn ein weiterer Betrieb aufgrund der Umweltbedingungen sowie u.U. wirtschaftlicher Aspekte nicht mehr gewährleistet ist. Von dem Plan *OpenBusiness* sind je nach touristischem Akteur spezielle Ausprägungen notwendig, die es ermöglichen, das Verhalten eines touristischen Akteurs im Modell abzubilden. Abbildung 6 zeigt die Pläne des tiefen touristischen Akteurmodells.

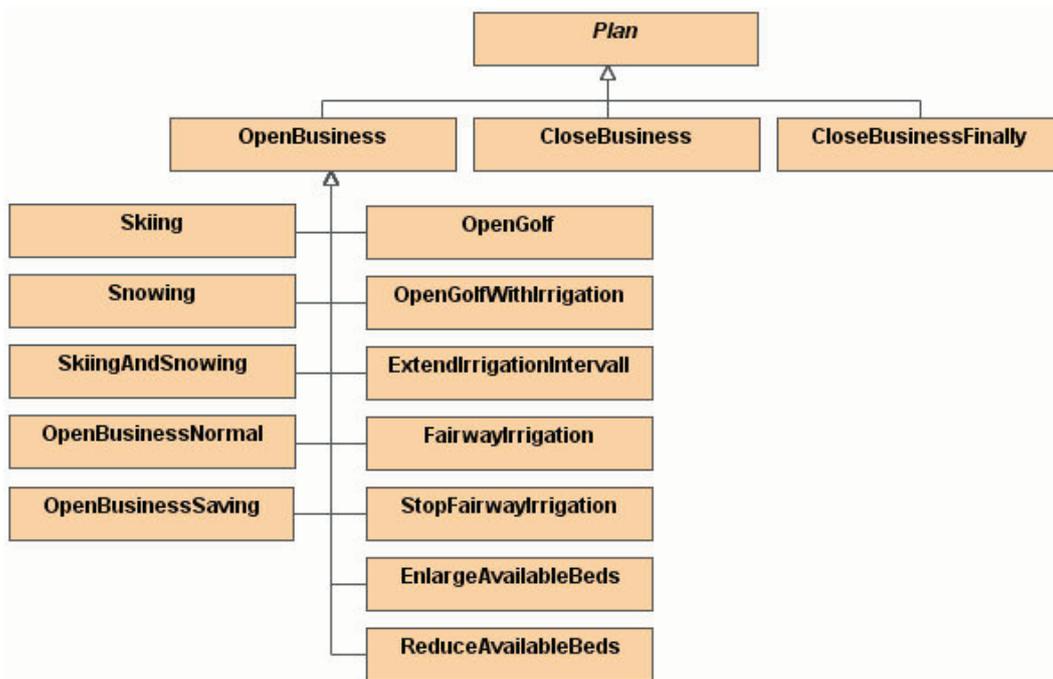


Abb. 6: Pläne der touristischen Akteure (Quelle: Eigene Darstellung)

Da es denkbar ist, dass aufgrund der über Sensoren wahrgenommenen Umwelt mehr als ein Plan gleichzeitig gewählt werden könnte, muss für diese Fälle ein Konfliktlösungsmechanismus geschaffen werden. Dazu wird jeder Plan aus inhaltlicher Sicht mit einer Priorisierung versehen. Im Zweifelsfalle wird der Plan mit der höchsten Priorität ausgewählt (vgl. Abb. 7).

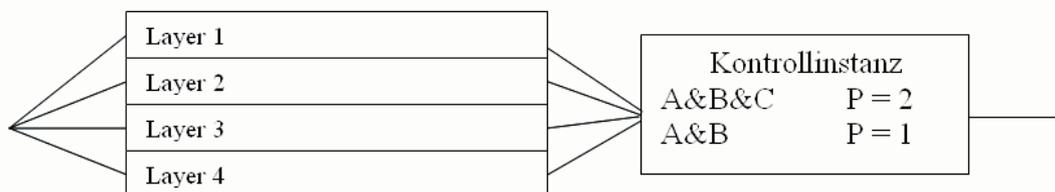


Abb. 7: Horizontale Akteursarchitektur mit Kontrollinstanz (Quelle: WOOLDRIDGE 2002, S. 98, verändert)

Mit Hilfe dieses Mechanismus kann immer eindeutig der jeweils passende Plan zu den aktuellen Umweltzuständen ermittelt werden. Diese Architektur wurde und wird für die Implementierung in das DeepActor-Konzept von Stephan Janisch von der Forschungsgruppe Informatik übertragen.

Alle touristischen Akteure besitzen eine eindeutige räumliche Zuordnung (Proxel). Jeder Akteur hat entsprechend seines Typs spezielle Sensoren, mit deren Hilfe er die Umwelt wahrnehmen kann. So berücksichtigen z.B. alle Akteure, die einen Wasserbedarf aufweisen, bei ihren Entscheidungen die Verfügbarkeit der jeweiligen Wasserquellen, die durch Quantity-flags (z.B. *DrinkingwaterQuantityFlag*) des Modells *WaterSupply* dargestellt wird.

Die zeitliche Auflösung zur Abfrage der Sensoren sowie der Berechnungstakt des tiefen touristischen Akteurmodells liegt bei einem Tag. Dadurch ist es möglich, auf die tatsächlichen Klimabedingungen, die das touristische Angebot in der Realität beeinflussen, im Modell zu reagieren. Der Wasserbedarf von Golfplätzen lässt sich durch die Berücksichtigung von täglichen Klimabedingungen besser ermitteln, als dies z.B. aufgrund gemittelter Monatswerte der Fall ist. Für den Austausch von Daten mit anderen Teilmodellen (z.B. *WaterSupply*) werden die Taktungen der korrespondierenden Modelle berücksichtigt und die ausgetauschten Werte entsprechend aggregiert.

Für die Umsetzung dieser Pläne und die Darstellung der Einwirkung der Akteure auf die simulierte Umwelt ist ein Satz von Aktionen notwendig. Diese lassen sich unterteilen in technische und wasserbezogene Aktionen sowie Aktionen, die den Betrieb eines Akteurs betreffen. Technische Aktionen sind rein modelltechnischer Art, die für ein reibungsloses Funktionieren des tiefen Akteurmodells sorgen. Aktionen dieser Art kommen in der realen Welt nicht vor. Die wasserbezogenen Aktionen regeln den Bezug und die Verwendung von Wasser von anderen Modellen in DANUBIA. Die Aktionen, die den Betrieb eines Akteurs betreffen, verändern die Attribute eines touristischen Akteurs, so dass z.B. andere Wasserbedarfswerte auftreten. Abbildung 8 zeigt einen Überblick über alle für das tiefe Akteurmodell relevanten Aktionen.

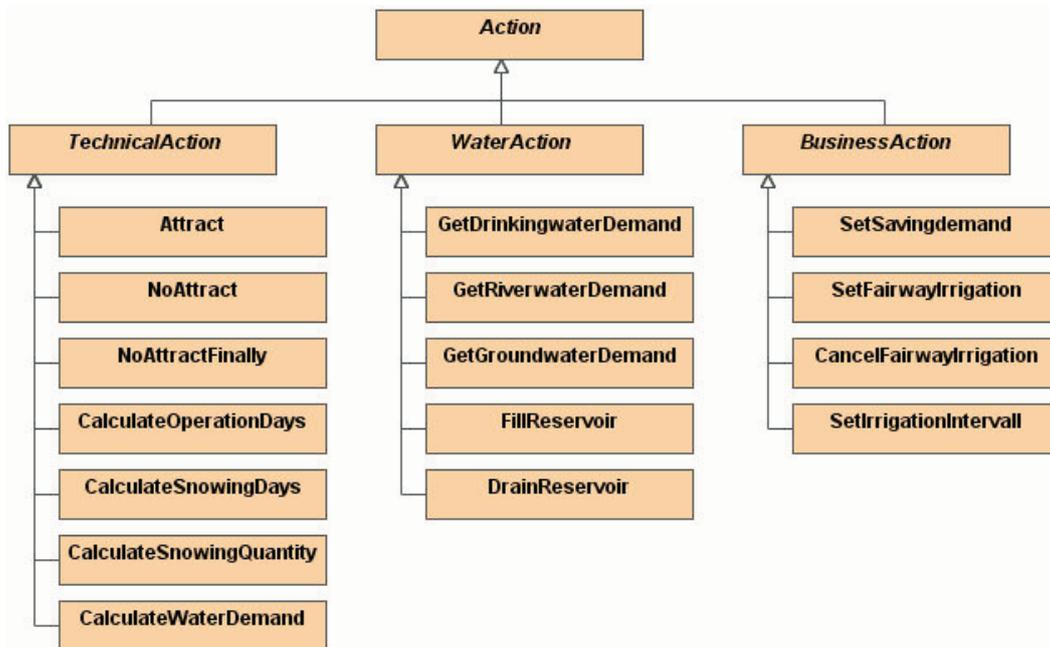


Abb. 8: Aktionen der touristischen Akteure (Quelle: Eigene Darstellung)

Jedem Akteur werden aus der Sammlung von Plänen und Aktionen diejenigen Elemente zugeordnet, die für die Abbildung des Verhaltens im Modell notwendig sind. Für jeden touristischen Akteur bestehen dabei jeweils eigene Verknüpfungen zwischen Plänen und Aktionen. Nach der Beschreibung des tiefen touristischen Akteurmodells wird im Folgenden auf ein Teilmodell der Nachfragekomponente eingegangen: Das Modell der touristischen Attraktivität.

2.4.2 Konzeption des touristischen Attraktivitätsmodells

Neben der Möglichkeit, Wasser als Verbrauchsgut im Tourismus zu nutzen, stellt das Vorhandensein von Wasser einen Attraktivitätsfaktor für eine Destination dar, der touristisch in Wert gesetzt werden kann. Diesem Aspekt wird mit dem Teilmodell der touristischen Attraktivität Rechnung getragen. Als Beitrag zur touristischen Attraktivität kann Wasser z.B. eine Kulissenfunktion aufweisen, etwa in Form von Uferlinien, die dazu beitragen, dass der Betrachter eine Landschaft als attraktiv empfindet. Bereits in den 1960er Jahren beschäftigten sich Wissenschaftler mit der Problematik der Bewertung einer Landschaft, um deren Eignung für die touristische Nutzung zu beurteilen.

Auf den früheren Ansätzen der Landschaftsbewertungsverfahren aufbauend wird ein Attraktivitätsmodell entwickelt, welches die touristische Attraktivität mittels Kennzahlen quantifiziert. Der Ansatz, den die Forschungsgruppe Tourismus verfolgt, unterscheidet sich stark von den Zielsetzungen in den 1960er Jahren. Damals sollten geeignete Gebiete für eine touristische Nutzung gefunden werden. Im Gegensatz dazu sind Ende der 1990er Jahre, die als Testzeit-

raum bei GLOWA Danube gelten, die Tourismusegebiete bereits erschlossen. Das Attraktivitätsmodell soll nun die aktuelle touristische Attraktivität und deren Schwankungen berechnen, wobei im Gegensatz zu Landschaftsbewertungsverfahren auch die touristische Infrastruktur bzw. deren Nutzungsmöglichkeiten mit einbezogen werden. Der wesentliche Unterschied zu den Landschaftsbewertungsverfahren ist die Messung der Attraktivität in Attraktivitätsfaktoren, die zur Berechnung der Übernachtungsnachfrage genutzt werden.

Insgesamt wirken auf die touristische Attraktivität verschiedene Einflussfaktoren, die sich in die vier Hauptkategorien Klima, Landschaft, Infrastruktur und Suprastruktur gliedern lassen (vgl. Abb. 9). Die in diesen Kategorien zusammengefassten Einflussfaktoren können bei der Modellbildung aufgrund der bereits beschriebenen Erhebungen bzw. durch die Implementierung von Schnittstellen zu anderen Teilmodellen verwendet werden. Die Einflussfaktoren, die dem touristischen Angebot zuzurechnen sind, können ihre Wirkung nur dann entfalten, wenn die Zugänglichkeit bzw. die Nutzbarkeit gewährleistet ist.

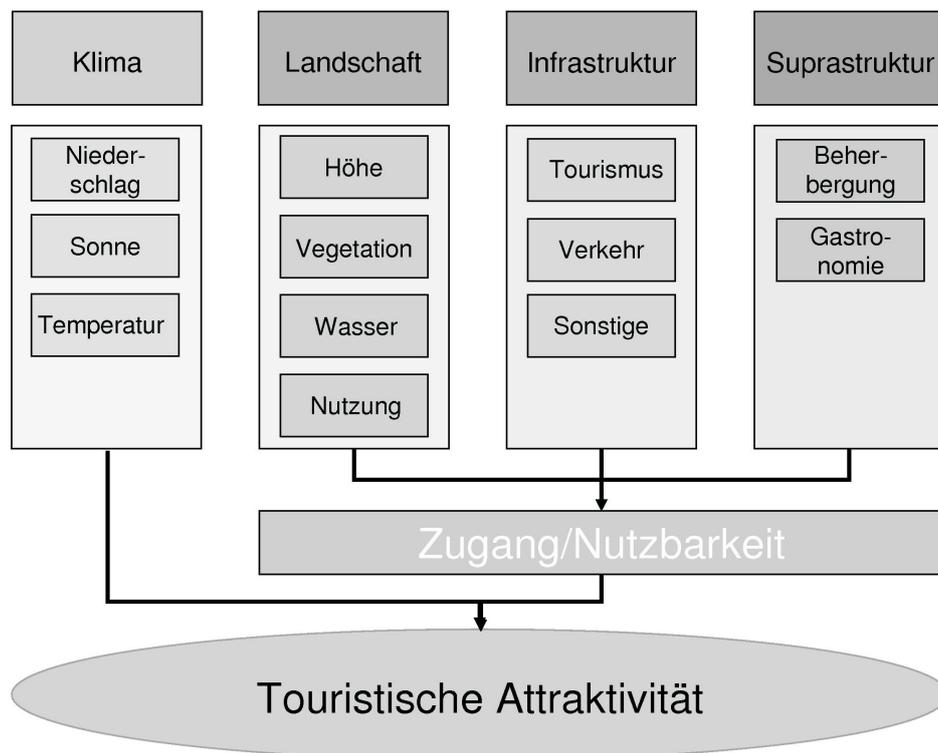


Abb. 9: Einflussfaktoren auf die touristische Attraktivität (Quelle: Eigene Darstellung)

Da das Landschaftsbild die touristische Attraktivität wesentlich beeinflusst, wird diesem Aspekt durch den Einsatz der allen Forschungsgruppen zur Verfügung stehenden einheitlichen Landnutzungsklassifikation Rechnung getragen. Wie bei der Quantifizierung des touristischen Wasserbedarfs liegt der Fokus des touristischen Modells der Wassernutzung auf den besiedelten Proxeln (vgl. Jahresbericht 2003). Analog dazu basiert das touristische Attraktivitätsmodell ebenfalls auf den Siedlungsflächen. Die Attraktivität eines besiedelten Proxels wird durch die touristische Anziehungskraft der umliegenden Attraktivitätspunkte beeinflusst.

Daher werden vom Attraktivitätsmodell alle relevanten Infrastruktureinrichtungen und Landschaftsmerkmale innerhalb eines bestimmten, mittels Literaturstudium und empirischen Erhebungen festzulegenden Umkreises gewichtet nach der Entfernung und Größe/Bedeutung bei der Berechnung von Attraktivitätskennzahlen berücksichtigt. Ein wesentlicher Teil sind hierfür die Betriebszustände und Nutzungsmöglichkeiten des tiefen Akteursmodells. Diese haben somit direkte Auswirkung auf die touristische Attraktivität und damit auf die touristische Nachfrage.

Die monatliche Berechnung berücksichtigt, tägliche Änderungen der Betriebszustände sowie Klimadaten. Somit ist die zeitliche Entwicklung der touristischen Attraktivität im Jahresgang und die Auswirkungen der unterschiedlichen Klima-Szenarien auf den Tourismus im Modell abgebildet.

Weiterhin ist beabsichtigt, die touristische Attraktivität im Hinblick auf bestimmte Zielgruppen, z.B. Wintersporttouristen, zu berechnen, so dass im Rahmen von Szenarien Aussagen bezüglich der Eignung bestimmter Gebiete für dieses Tourismussegment getroffen werden können. Einflüsse weiterer Attraktivitätsmerkmale können in das Modell sowohl statisch als auch dynamisch eingegeben werden.

Betrachtet man das gesamte Tourismusmodul (vgl. Abb. 10), so zeigt sich, dass die Umwelt einen zentralen Aspekt darstellt, der sowohl auf die touristische Wassernutzung als auch auf die touristische Attraktivität Einfluss ausübt. Durch die Kopplung der Modellkomponenten des touristischen Gesamtmodells untereinander sowie mit den Modellen anderer Forschungsgruppen von GLOWA Danube, die die notwendigen Umweltparameter zur Verfügung stellen, wird eine auf Szenarien basierende Untersuchung der touristischen Wassernutzung möglich.

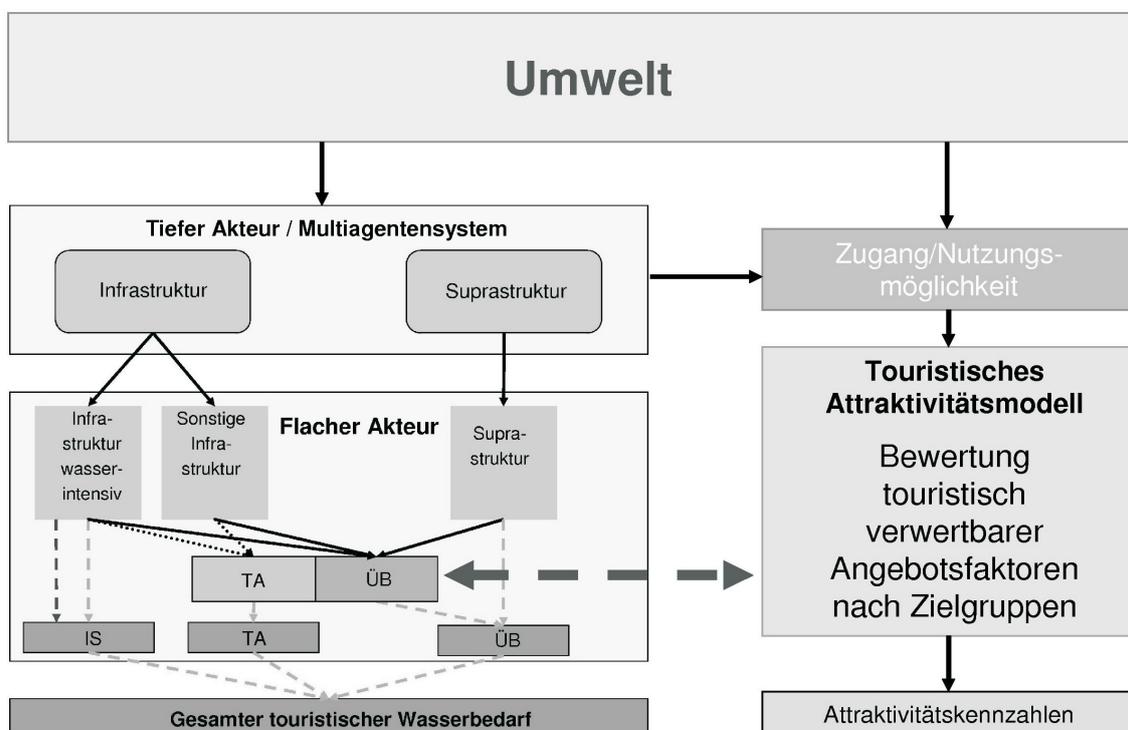


Abb. 10: Gesamtkonzeption des Tourismusmoduls (Quelle: Eigene Darstellung)

Durch das Modell der touristischen Attraktivität wird eine, durch die in DANUBIA simulierten Umweltbedingungen beeinflusste, Modellierung der touristischen Übernachtungsnachfrage möglich. Bei der Modellierung werden die durch die Primärerhebung bei den Nachfragern ermittelten Einstellungen gegenüber dem Klimawandel berücksichtigt. Grundlage dieses Modells ist dabei die Analyse der zeitlichen Entwicklung der touristischen Übernachtungsnachfrage in den einzelnen Gemeinden. Hierbei wurden sowohl die jährlichen als auch die monatlichen Entwicklungen untersucht. Für jede Gemeinde wurde eine Wachstums-/Schrumpfrate der touristischen Nachfrage, die saisonale Verteilung sowie die Absolute touristische Nachfrage gemessen in Gästeübernachtungen bestimmt.

Die monatlich berechneten Attraktivitätskennzahlen bestimmen die Grad der Änderung der touristischen Nachfrage einer Gemeinde. Somit sind Einflüsse auf die jährliche touristische Nachfrage als auch auf die Saisonalität modellierbar.

Es ist geplant in der zweiten Hälfte des Jahres 2006 Interviews mit Experten aus der Tourismuswirtschaft durchzuführen, um die Konzeption des Modells und die Parametrisierung zu validieren. Die Kombination aus touristischem Attraktivitätsmodell und tiefem Akteurmodell ergibt zusammen das Tourismusmodul (vgl. Abb. 10).

2.5 Kontinuierliche Implementierung der Weiterentwicklungen des Modells in JAVA und Integration in DANUBIA.

Das Modell der Forschungsgruppe Tourismus wurde kontinuierlich auch in technischer Hinsicht weiterentwickelt. So wurden die von der Forschungsgruppe Informatik als notwendig erachteten Änderungen, wie zum Beispiel die Umstellung auf DANUBIA 1.0.0, sowie alle weiteren Fortentwicklungen des Frameworks eingebaut. Die notwendigen Änderungen am Quellcode zur Verbesserung der Performance wurden von der Forschungsgruppe Tourismus umgesetzt. Ebenso wird die von der Gruppe Informatik entwickelte Testumgebung mit erweiterten Funktionalitäten verwendet. Dadurch konnte bereits ein erster Prototyp des vorgestellten Modellkonzepts realisiert werden. Die Abbildung 11 zeigt dabei die aktuelle statische Struktur des tiefen touristischen Akteurmodells für den Berichtslauf.

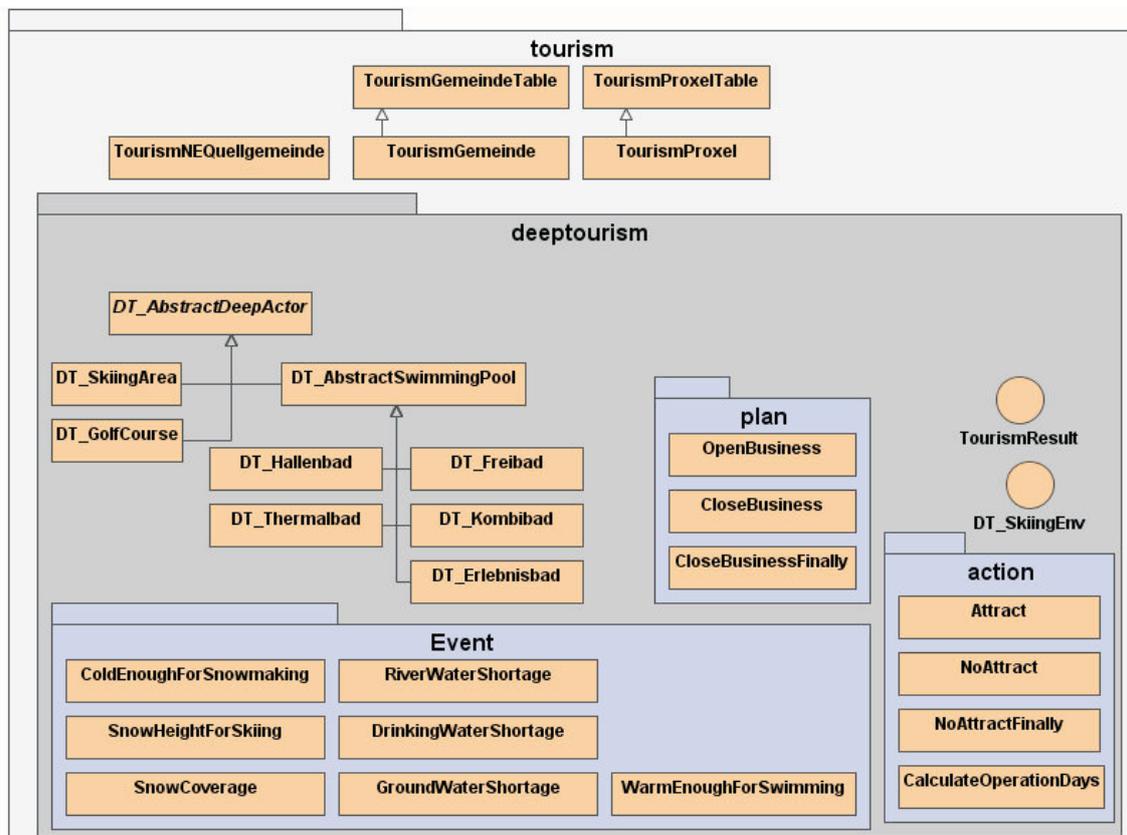


Abb. 11: Klassendiagramm Tourismusmodul Tourismusmoduls (Quelle: Eigene Darstellung)

2.5.1 Prototyp des tiefen touristischen Akteurmodells

Das oben vorgestellte Konzept des tiefen touristischen Akteurmodells wird im Folgenden exemplarisch an den im Berichtslauf bereits implementierten *Skiing-* und *OpenAirSwimming-PoolActors* (=Skigebiets- und Freibadakteur) dargestellt. Die Skigebietsakteure repräsentieren die realen Skigebiets im Einzugsgebiet der oberen Donau im Modell, die während des ersten Teils der Projektphase II recherchiert wurden. Dabei wurde die Fähigkeit künstliche Beschneigung durchzuführen noch außen vor gelassen. Das Kriterium, ob ein Skigebietsakteur über künstliche Beschneigung verfügt, wird lediglich als konstantes Attribut im Modell berücksichtigt, da diese Eigenschaft für die Berechnungen des *Traffic*-Modells von Bedeutung ist. Das *Traffic*-Modell berücksichtigt in seinen Berechnungen den Betriebsstatus (= ausgewählter

Plan) der Skigebietsakteure. Dadurch wird sowohl eine Kopplung des tiefen touristischen Akteurmodells mit den naturwissenschaftlichen Modellen als auch mit den sozialwissenschaftlichen Modellen erreicht. Die Funktion der künstlichen Beschneung als eigener Plan wird im Verlauf dieses Jahres sukzessive implementiert.

Der Skigebietsakteur verfügt über verschiedene Eigenschaften, die auch für die Entscheidungsfindung von Bedeutung sind. Diese Eigenschaften umfassen die Information, ob der Akteur grundsätzlich über eine Beschneigungsanlage (die Beschneigungsfunktion selbst ist derzeit noch nicht implementiert) verfügt und über welche Beförderungskapazitäten. Weiterhin wird dort die saisonale Öffnungszeit, die Anzahl der aus wirtschaftlicher Sicht notwendigen mittleren Öffnungstage, sowie die zum Skibetrieb unerlässliche Mindestschneehöhe festgelegt. Diese ist z.B. für die dynamische Berechnung der touristischen Nachfrage von Bedeutung. Auch verfügt der Skigebietsakteur über einen Betriebsstatus (offen oder geschlossen), der gegenwärtig an das *Traffic*-Modell und nach vollständiger Implementierung auch an die Nachfragekomponente im Tourismusmodul übermittelt wird (vgl. Abb. 4).

Die Skigebietsakteure verfügen über drei Pläne, die das Verhalten der Akteure festlegen. Die Pläne umfassen die Fähigkeit *Skiing*, *CloseBusiness* und *CloseBusinessFinally* (vgl. Abb. 12).

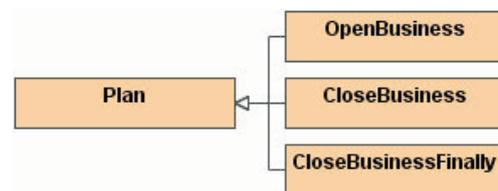


Abb. 12: Pläne Skigebietsakteur (Quelle: Eigene Darstellung)

Der erste Plan dient dazu, die normale Betriebstätigkeit eines Skigebiets im Modell abzubilden. Dabei entfaltet das jeweilige Gebiet eine Wirkung auf die touristische Nachfrage. Zu diesem Zweck wird, sofern ein Akteur diesen Plan auswählt, an das *Traffic*-Modell die Beförderungskapazität, die Fähigkeit zur Beschneigung sowie die Information, dass der Skigebietsakteur geöffnet hat, übermittelt. Dort werden diese Werte weiterverarbeitet. Der Plan *CloseBusiness* dient zur Darstellung der Phasen saisonaler Schließungen von Skigebiet während der Sommermonate sowie der vorübergehenden (täglichen) Schließung aufgrund ungünstiger Schneeverhältnisse während der Wintermonate. Der letzte Plan Skigebiet dauerhaft schließen sorgt dafür, dass Skigebietsakteure, die aufgrund der klimatischen Bedingungen im 10-jährigen Durchschnitt die notwendige Zahl an Öffnungstagen nicht mehr realisieren können, für den jeweiligen Simulationslauf dauerhaft schließen. Durch den letzten Plan kann die stärkste Form der Verwundbarkeit touristischer Infrastruktur gegenüber einer Klimänderung, nämlich die Aufgabe des alpinen Wintersporttourismus in bestimmten, in Zukunft nicht mehr geeigneten Destinationen, im Modell dargestellt werden. Durch die Einbeziehung regional differenzierter Mindestöffnungstage können auch die derzeit aktuellen wirtschaftlichen Strukturen der Skigebiets in den Simulationsläufen berücksichtigt werden. Gegenwärtig ist diese Funktion ausgeschaltet, um einen Eindruck zu bekommen, wie viele Betriebstage pro Saison bei den Szenariobedingungen des aktuellen Laufs überhaupt noch möglich wären (vgl. Ergebnisse unten).

Die Skigebietsakteure sind bei ihren Entscheidungen über Schnittstellen an die physische Umwelt gekoppelt. Über eine Schnittstelle zum *Landsurface*-Controller wird die pro Proxel akkumulierte Schneemenge bezogen und in Schneehöhen umgerechnet. Als Schwellenwert für die Öffnung eines Skigebiets kann eine Naturschneedecke von 30cm Höhe angesehen werden, was in etwa einem Wasseräquivalent von 50mm entspricht. Auf Basis des Datums des simulierten Tages, der Menge an akkumuliertem Schnee und der Anzahl der durchschnittlichen Öffnungstage wird der jeweils passende Plan ausgewählt. Die Entscheidungsfindung im Modell wird durch folgenden Pseudocode wiedergegeben:

```

WENN
Aktuelles Datum      >= Saisonbeginn (15. Dezember)      UND
Aktuelles Datum      <= Saisonende (15. April)          UND
Akkumulierter Schnee >= 50 mm                            UND
DANN
Skigebiet öffnen

SONST Skigebiet schließen;
  
```

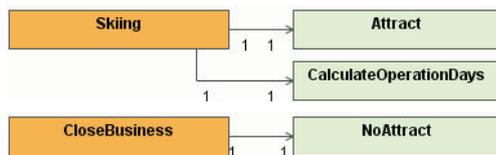


Abb. 14: Beziehungen zwischen Plänen und Aktionen (Quelle: Eigene Darstellung)

Das Modell ist dadurch in der Lage, auf die aktuellen Schneebedingungen zu reagieren. Dadurch können Aussagen darüber getroffen werden, in welchen Gebieten in Zukunft noch aufgrund der klimatischen Verhältnisse noch sinnvoll Wintersporteinrichtungen betrieben werden können. Um diese Pläne umsetzen zu können, verfügt ist ein jeweils für jeden Akteur spezifizierter Satz an Aktionen notwendig.

Abbildung 13 zeigt die Beziehungen zwischen Plänen und Aktionen des *SkiingActors*.

Neben den Skigebietsakteuren wurden auch die Schwimmbäder des Untersuchungsraums im tiefen Akteurmodellmodell abgebildet. Von besonderem Interesse sind an dieser Stelle die Freibäder (*OpenAirSwimmingPoolActor*), da diese an die Entwicklung der täglichen Maximaltemperatur gekoppelt sind. Es hat sich gezeigt, dass man mit Hilfe ein siebentägiges gleitendes Mittel der täglichen Maximaltemperatur mit einer Schwelle von 17°C, die üblichen saisonalen Öffnungszeiten zwischen Mai- und September in einem Modell abbilden kann. Dazu wurden für elf Klimastationen im Untersuchungsgebiet Temperaturdaten bis ins Jahr 1980 zurück ausgewertet und aggregiert (vgl. Abb. 14).

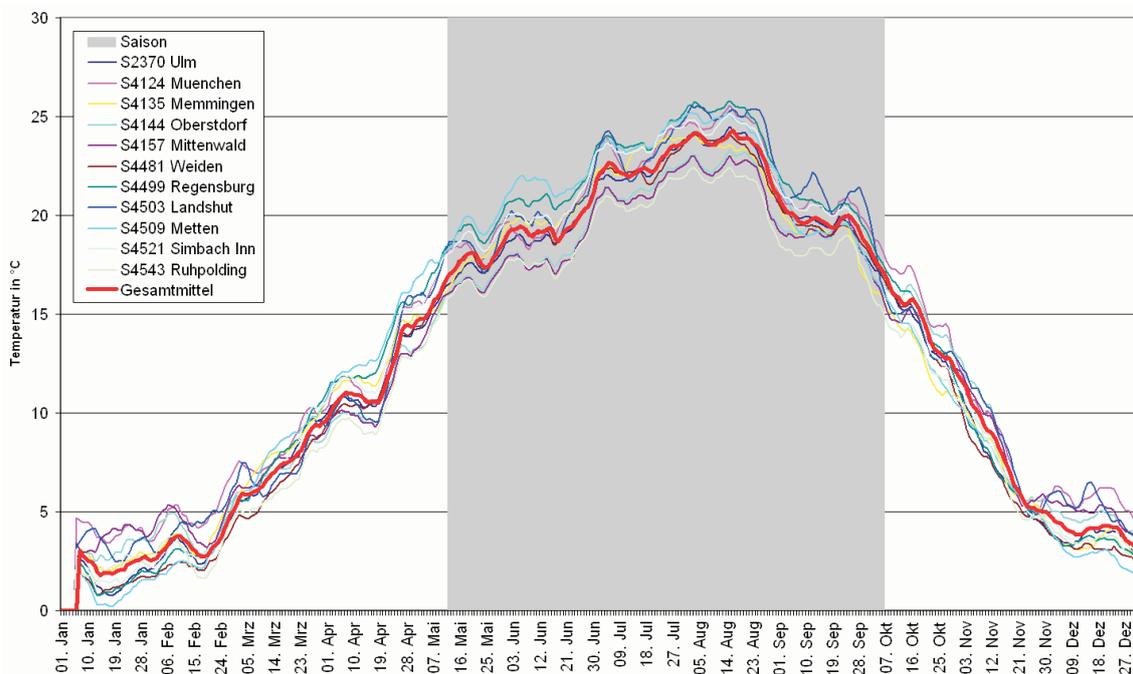


Abb. 13: Mittlere 7-tägige gleitende Mittel der täglichen Maximaltemperatur an ausgewählten Klimastationen im Untersuchungsgebiet (Quelle: Stationsdaten, eigene Darstellung und Berechnung)

Der *OpenAirSwimmingPoolActor* ist so konzipiert, dass sich im Extremfall eine Saison vom erste April eines Jahres bis zum 31.10 erstrecken kann. Dadurch ist die witterungsabhängige Öffnung von *OpenAirSwimmingPoolActors* gewährleistet, so dass bei Simulationsläufen sowohl gute als auch schlechte Badesaisons ermittelt werden können und darüber hinaus eine klimainduzierte Berechnung des Wasserbedarfs dieser Infrastruktureinrichtungen unter Berücksichtigung der simulierten lokalen Bedingungen ermöglicht wird.

Auf die Darstellung technischer Details dieses Akteurstyp wird an dieser Stelle verzichtet, da sie dem Prinzip des *SkiingActors* ähnlich ist.

2.5.3 Ergebnisse des Berichtslaufs vom Februar 2006

Bei dem Anfang Februar durchgeführten Berichtslauf kam der oben beschriebene Prototyp des tiefen touristischen Akteurmodells zum Einsatz. Durch die Berücksichtigung der im Modell *Snow* berechneten Schneehöhen können regional sehr unterschiedliche Öffnungs-

zeiten der Skigebietsakteure festgestellt werden (vgl. Karte 1). Weiterhin können mit dem Modell Unterschiede zwischen verschiedenen Jahren dargestellt werden.

Aufgrund der täglichen Berechnungen des Modells können auch klimatische Extremwerte, die sich auf die Schneebedeckung auswirken, im Modell berücksichtigt werden, ebenso können für einzelne ausgewählte Gebiete die langfristige Entwicklung anhand von Zeitreihen untersucht werden (vgl. Abb. 15).

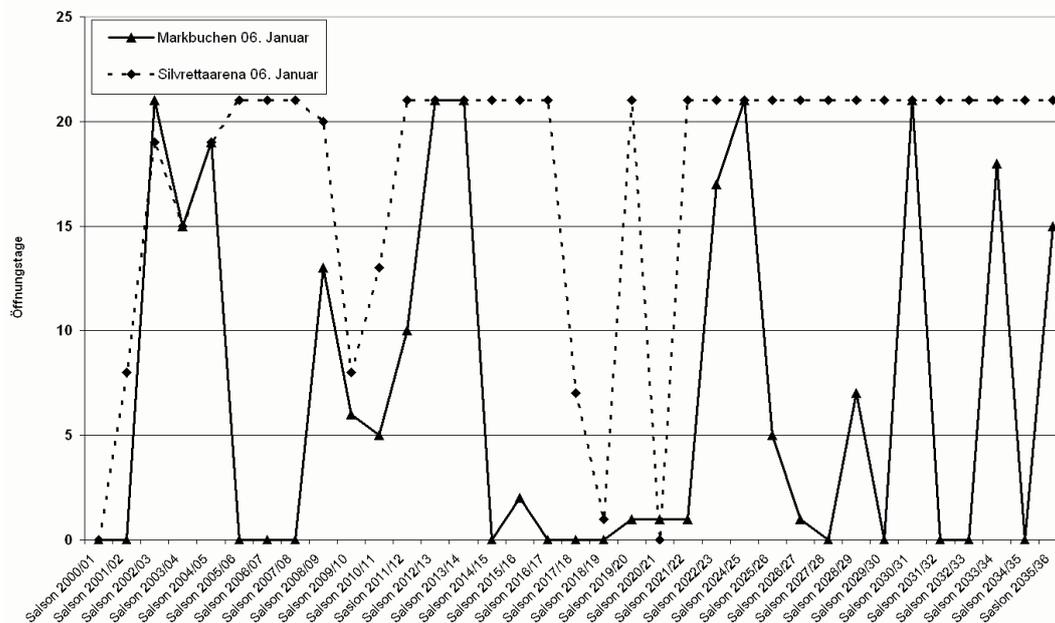


Abb. 15: Entwicklung der Öffnungstage für ausgewählte Skigebietsakteure von 2000/01 bis 2034/35 (Quelle: DANUBIA Berichtslauf, eigene Darstellung)

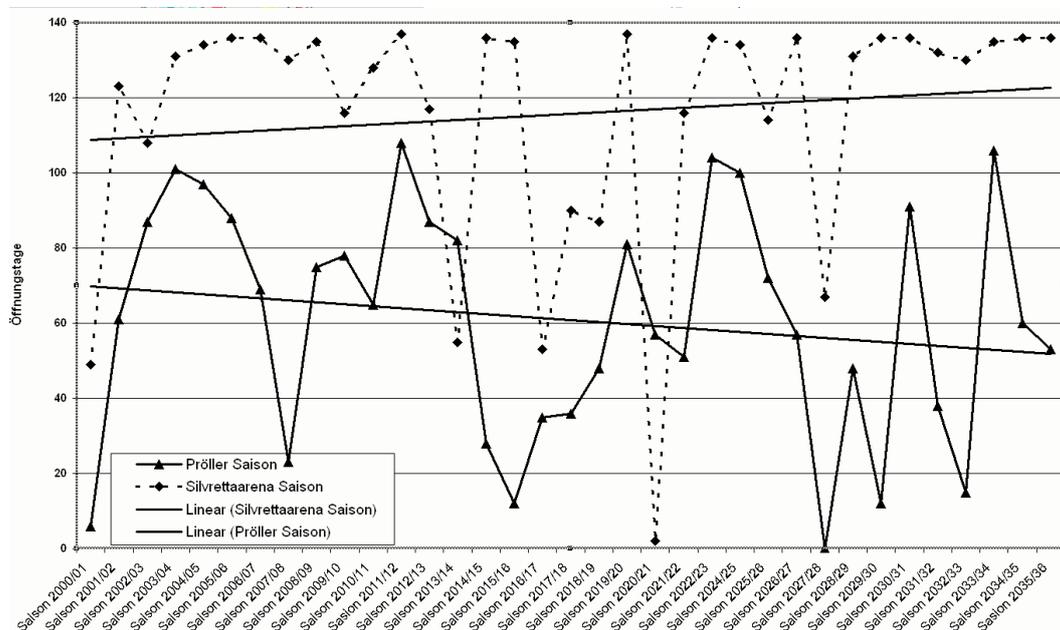
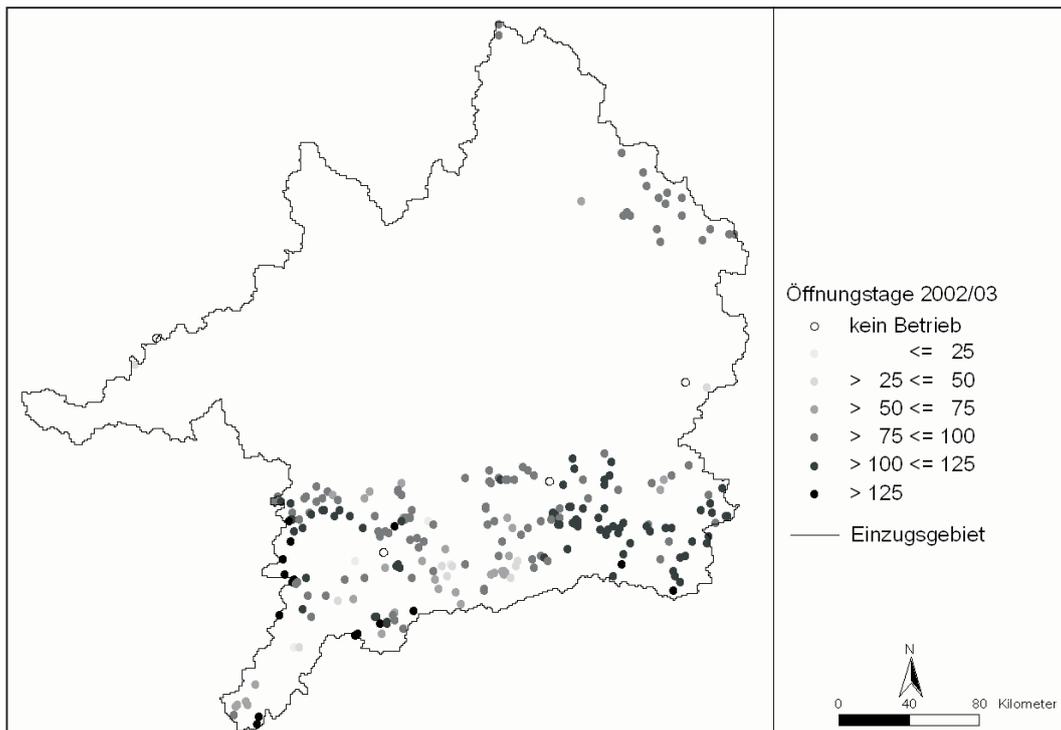


Abb. 16: Entwicklung der Öffnungstage für ausgewählte Skigebietsakteure von 2000/01 bis 2034/35 (Quelle: DANUBIA Berichtslauf, eigene Darstellung)

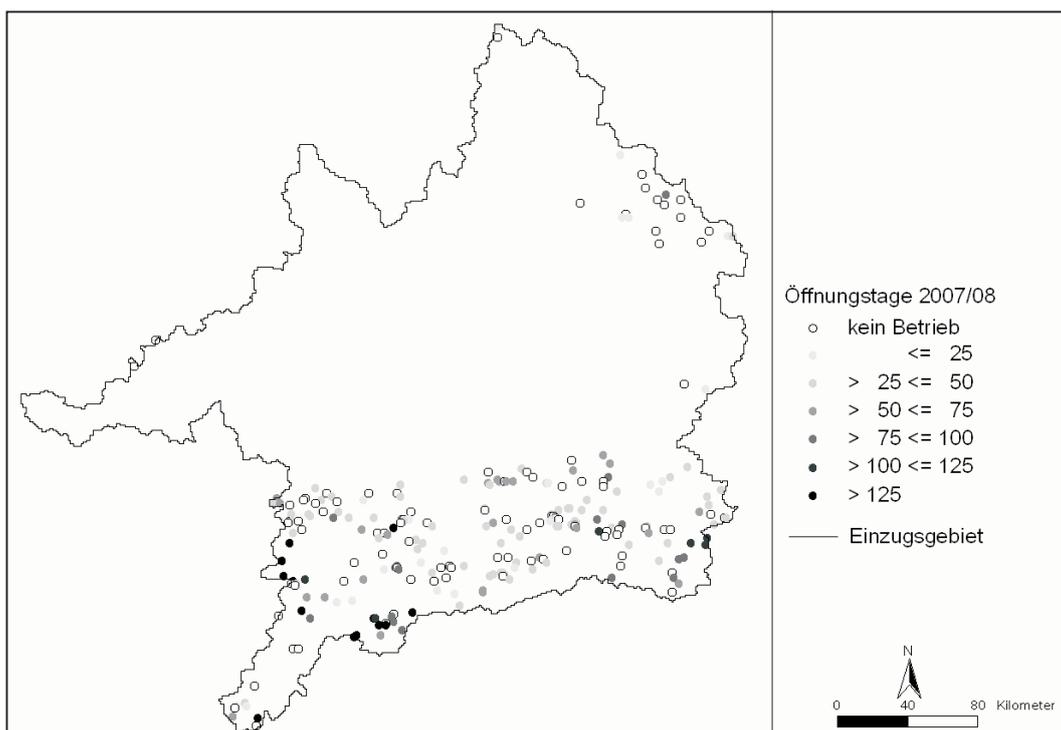
In Abbildung 15 und 16 kann man erkennen, dass die Zahl der Öffnungstage von Skigebietsakteuren von Jahr zu Jahr starken Schwankungen unterliegen kann. Ebenso zeigen sich starke Unterschiede hinsichtlich der Öffnungstage bis jeweils am 06. Januar. Hieraus ergeben sich Hinweise auf den pünktlichen Saisonbeginn und ein gelungenes, aus wirtschaftlicher Sicht für

den Betrieb wichtiges Weihnachtsgeschäft. Dabei zeigt sich, dass im Bayerischen Wald (Markbuchen) dies nicht immer gegeben ist, während im Skigebiet Silvrettaarena günstigere Bedingungen vorherrschen. Ein ähnliches Bild zeigt sich, wenn man die gesamten simulierten Öffnungstage pro Saison dieser beiden Skigebiete betrachtet. Bei den Öffnungstagen sind unterschiedliche Trends festzustellen (vgl. Abb. 16).

Die Ergebnisse des Berichtslaufs lassen sich auch in räumlicher Hinsicht darstellen. Deutlich zeigt sich der Unterschied z.B. zwischen der simulierten Skisaison 2002/2003 und der Saison 2007/2008. Letztere würde eine sehr schlechte Saison darstellen, da viele Skigebietsakteure in dieser Saison den Betrieb überhaupt nicht aufnehmen könnten, was in der Saison 2002/2003 nur bei wenigen der Fall war (vgl. Karte 1 und 2).

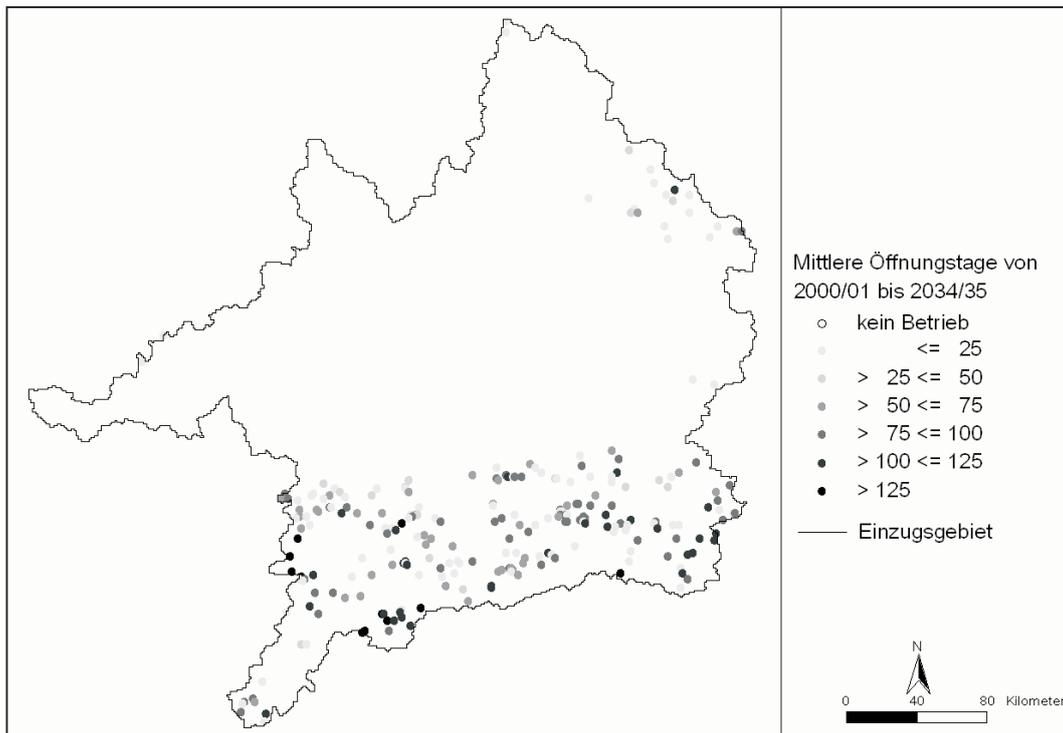


Karte 1: Öffnungstage der Skigebietsakteure in der Saison 2002/2003 (Quelle: DANUBIA Lauf, eigene Darstellung)



Karte 2: Öffnungstage der Skigebietsakteure in der Saison 2007/2008 (Quelle: DANUBIA Lauf, eigene Darstellung)

Bei der Betrachtung der mittleren Öffnungstage über den gesamten Simulationszeitraum (vgl. Karte 3) zeigen sich ausgeprägte regionale Unterschiede. Dadurch wird es ermöglicht unter verschiedenen Klimaszenarien zukünftige Gunst oder Ungunsträume zu identifizieren.



Karte 3: Mittlere Öffnungstage der Skigebietsakteure von Saison 2001/2002 bis 20012/20013 (Quelle: DANUBIA Lauf, eigene Darstellung)

Neben den Skigebieten wurden auch von den Freibadakteuren erste Ergebnisse ausgewertet. Im Berichtszeitraum konnten im Mittel von 2000 bis 20035 folgende Öffnungszeiten für ausgewählte Freibadakteure errechnet werden:

- Wöhrdbad (Regensburg): 142 Tage
- Freibad Vulpera: 61 Tage
- Freibad Scuol: 81 Tage

Das Wöhrdbad beginnt in der Realität die Saison (2005) am siebten Mai (vgl. www.westbad.de/info/aktuelles/article.php?id=87), das Saisonende lag z.B. im Jahr 2004 Ende September (vgl. www.westbad.de/info/aktuelles/article.php?id=101). Im Gegensatz ist das Freibad Vulpera (Graubünden) zwischen Ende Juni- und Ende August für die Besucher geöffnet (vgl. www.scuol.ch/sites/d/sommer/sportanlage.html). Für ein weiteres, beheiztes Freibad in Scuol wird die Öffnungszeit mit Ende Mai bis Anfang September angegeben (vgl. www.scuol.ch/sites/d/sommer/sportanlage.html).

Betrachtet man die Daten in jährlicher Auflösung, so zeigt sich, dass die Saisonlängen sehr unterschiedlich ausgeprägt sind. Am Beobachtungspunkt 30. Juni (vgl. Abb. 17) kann man deutlich erkennen, dass die Öffnungstage des Wöhrdbads um den Wert von 50 Tagen pendeln, was in etwa einem Öffnungstermin in der zweiten Maiwoche entspricht. In der Saison 2008 sowie in der Saison 2031 liegt der Wert bei über 60 Tagen, so dass in diesem simulierten Jahr die Saison bereits Ende April begonnen hat. Entsprechend den klimatischen Verhältnissen liegen die Öffnungstage in Vulpera und Scuol niedriger. Insgesamt zeigt sich für alle drei Orte eine Zunahme der Öffnungstage sowohl am Stichtag 30. Juni als auch im gesamten Saisonzeitraum (vgl. Abb. 18). Dies bedeutet, dass die Badesaison gemäß dem aktuellen Klimaszenario tendenziell eher beginnt und länger andauert.

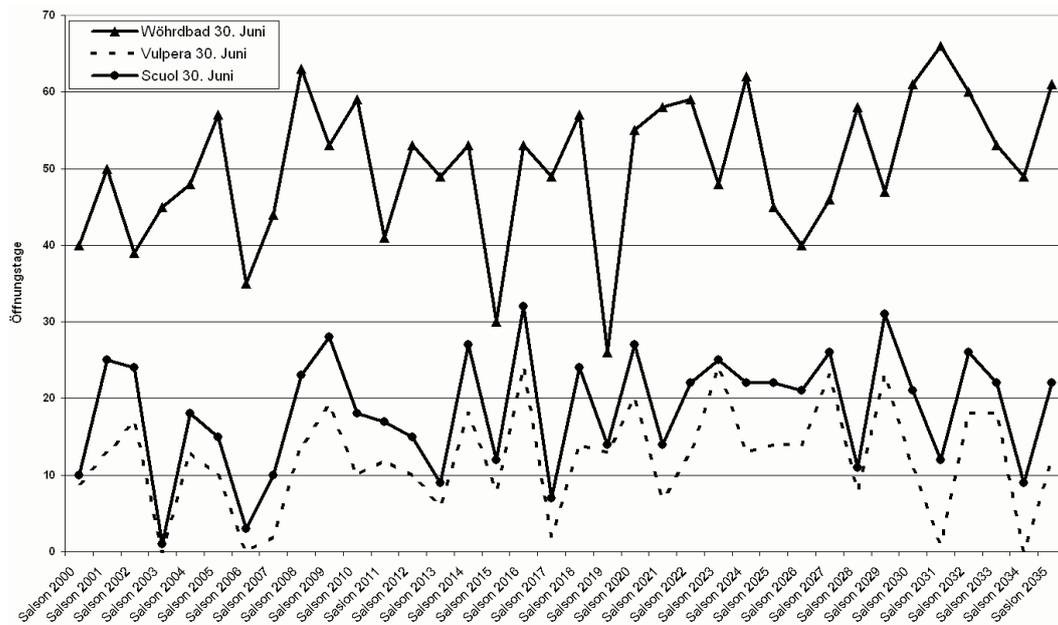


Abb. 17: Entwicklung der Öffnungstage jeweils am 30. Juni für ausgewählte Freibadakteure von 2000 bis 2035 (Quelle: DANUBIA Berichtslauf, eigene Darstellung)

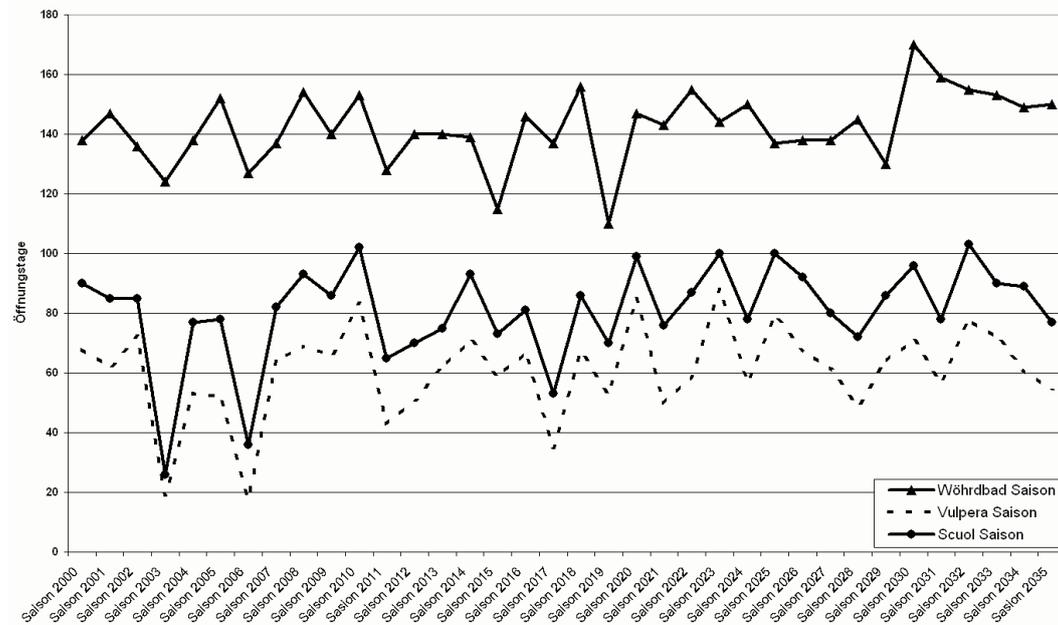
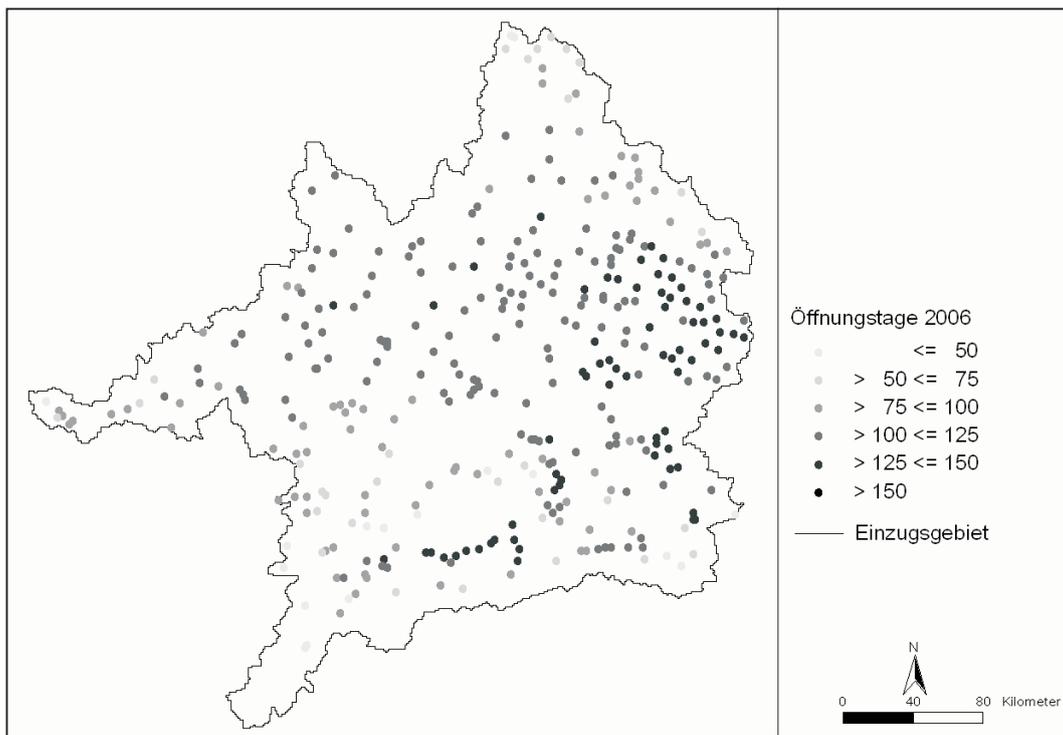
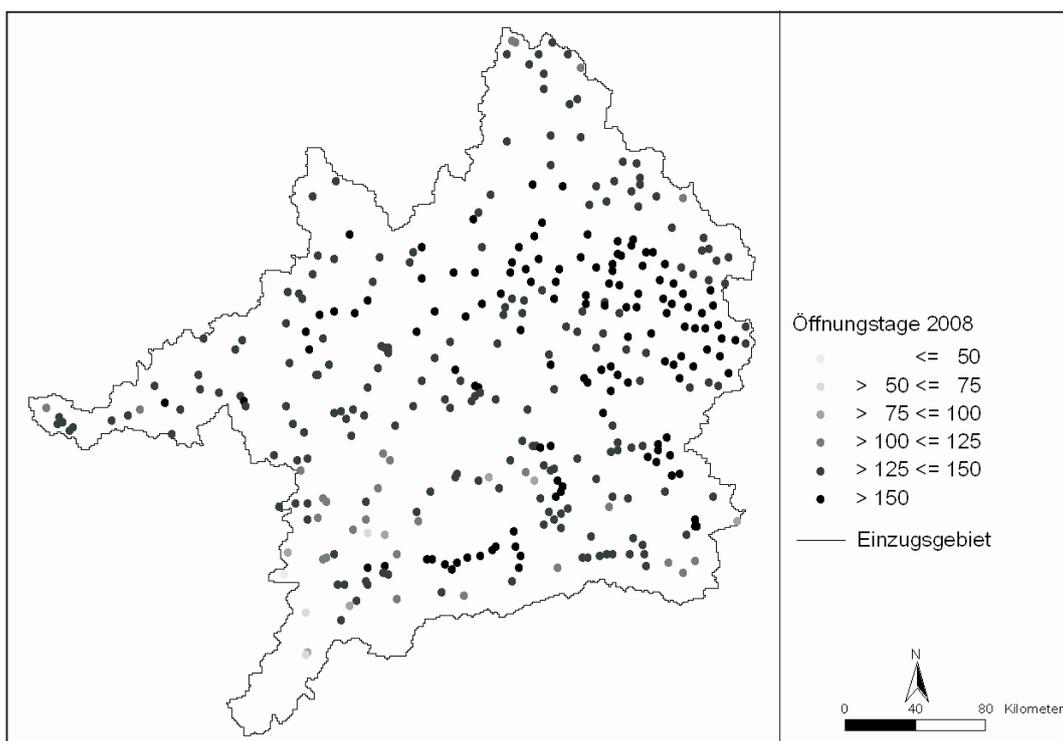


Abb. 18: Entwicklung der saisonalen Öffnungstage jeweils am 30. Juni für ausgewählte Freibadakteure von 2000 bis 2035 (Quelle: DANUBIA Berichtslauf, eigene Darstellung.)

In den Karten 4 bis 6 ist die Anzahl der von den Freibadakteuren realisierten Öffnungstagen dargestellt. Die Anzahl der Öffnungstage variiert je nach Ort und Saison. Wie die Ergebnisse des Berichtslaufs verdeutlichen, unterscheiden sich die simulierten Jahre 2006 und 2007 hinsichtlich der Eignung für die Freibadnutzung deutlich voneinander (vgl. Karte 4 und 5). Im Mittel (vgl. Karte 6) zeigt sich, dass mit dem gewählten Modellansatz die regional unterschiedlichen Öffnungszeiten von Freibädern in der realen Welt ebenfalls im Modell wiedergegeben werden können. Tendenziell herrschen in den niedrigeren Lagen des Untersuchungsgebiets für den Freibadbetrieb günstigere Bedingungen was sich in der Anzahl der Öffnungstage pro Saison niederschlägt. So finden sich im Nordosten (vgl. Karte 6) des Untersuchungsraums Freibadakteure, die im Mittel z.T. mehr als 150 Öffnungstage pro Saison verzeichnen können, was in etwa einer realen Öffnungszeiten in den Monaten Mai bis September entspricht.

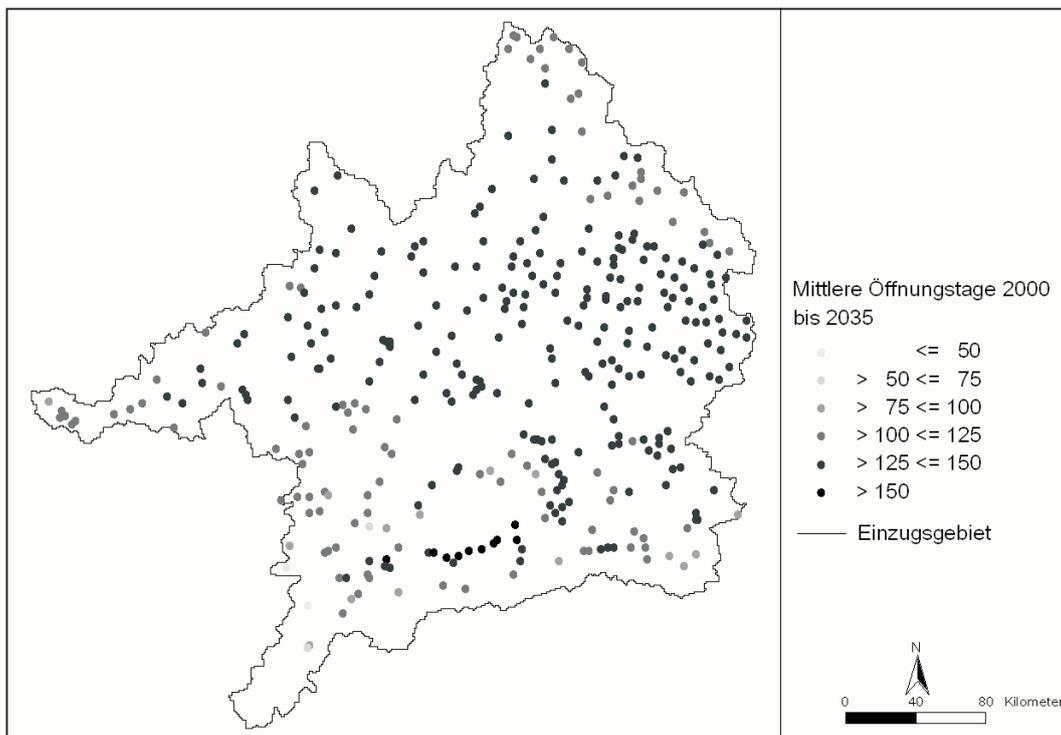


Karte 4: Saisonale Öffnungstage der Freibadakteure in der Saison 2006 (Quelle: DANUBIA Berichtslauf, eigene Darstellung)



Karte 5: Saisonale Öffnungstage der Freibadakteure in der Saison 2008 (Quelle: DANUBIA Berichtslauf, eigene Darstellung)

Diese Ergebnisse zeigen, dass sich mit dem gewählten Modellansatz die Wassernutzung der Freibäder in niedrig gelegenen Gebieten des Untersuchungsraums gut im Modell abbilden lässt, in den höher gelegenen Regionen ist eher von einer leichten Unterschätzung auszugehen.



Karte 6: Mittlere saisonale Öffnungstage der Freibadakteure von 2000 bis 2001 (Quelle: DANUBIA Berichtslauf, eigene Darstellung)

Insgesamt zeigt sich jedoch, dass mit dem gewählten Modellansatz das für die Wassernutzung und die Attraktion von touristischer Nachfrage relevante Verhalten der realen touristischen Leistungsanbieter mit dem gewählten Modellansatz in DANUBIA abgebildet werden kann, so dass in Zukunft durch die Kopplung an die simulierte Umwelt eine weitere Berechnung verschiedener klimatischer Szenarien und deren Auswirkung auf die touristische Wassernutzung möglich ist.

3. Geplante Arbeitsschritte für das Jahr 2006

Für das Jahr 2006 sind Arbeitsschritte vorgesehen, die die Weiterentwicklung und Umsetzung des tiefen Akteurmodells betreffen. Außerdem ist der Abschluss der Erhebung von Daten für diese Projektphase geplant. Wesentlich ist für das folgende Jahr die komplette Umsetzung des Modells in DANUBIA und sowie die Überprüfung der dabei erhaltenen Ergebnisse. Die Arbeitsschritte umfassen im Einzelnen:

- Implementierung der neuen Modellkonzeption (tiefes Akteurmodell und Attraktivitätsmodell). Aufbauend auf dem *Deep-Actor-Framework* der Gruppe Informatik wird ab Frühjahr damit begonnen, das neue Konzept des Modells der touristischen Wassernutzung sowie das Modell der touristischen Attraktivität prototypisch in ein lauffähiges Modell umzusetzen.
- Beteiligung an voll gekoppelten Modellläufen.
- Fertigstellung der Auswertung der Primärerhebungen des Jahres 2005 sowie der Erhebungen im Jahr 2006.
- Expertengespräche zum Wintertourismus u.a. Sybille Widemann (Bayer.Tourismmarketing GmbH), TUI AG (Mitglied des Direktoriums der TUI AG)
- Entwicklung komplexer touristischer Szenarien für die definierten Testzeiträume unter Berücksichtigung von Wassernutzungskonflikten mit anderen Akteuren.

4. Fazit

Mit aktuell vorliegenden Prototypen des tiefen touristischen Akteurmodells wurde ein weiterer Schritt getan hin zu einer Integration der Modellierungsarbeiten von Natur- und Sozialwissenschaften. Durch die Kopplung des tiefen touristischen Akteurmodells an die naturwissenschaftlichen Modelle in DANUBIA sowie auch der Kopplung innerhalb der sozialwissenschaftlich ausgerichteten *Actors*-Arbeitsgruppe können in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung bereits mit dem Prototypen des Modells Aussagen zur Verwundbarkeit der Skigebiete im Untersuchungsraum gegenüber einer Klimaänderung getroffen werden. Die wesentliche Neuerung ist dabei, dass durch die Modellierung aller für den Wasserhaushalt wichtigen natur- und sozialwissenschaftlicher Prozesse eine Identifizierung von zukünftigen Gunst- und Ungunsträumen z.B. für den Wintersporttourismus unter Berücksichtigung auch regionaler Klimaverhältnisse vorgenommen werden kann.

5. Literatur

- ABEGG, B. (1996): Klimaänderung und Tourismus. Klimafolgenforschung am Beispiel des Wintertourismus in den Schweizer Alpen. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, Zürich. = Schlussbericht NFP 31.
- LUTZ, G. (2000): Beschneiungsanlagen in Bayern - Stand der Beschneigung, potentielle ökologische Risiken. In: Technische Beschneigung und Umwelt. Tagungsband zur Fachtagung am 15. November 2000. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz. Augsburg.
- BAARTZ, R. (1994): Der Konflikt zwischen Sport und Umwelt dargestellt am Beispiel der Entwicklung des Golfsports im Raum Brandenburg-Berlin. = Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft in Hamburg, Band 84. Franz Steiner Verlag. Stuttgart.
- STOCK, M. (2005): KLARA. Klimawandel – Auswirkungen, Risiken, Anpassung. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung. Potsdam. = PIK Report No. 99.
- DEUTSCHER GOLFVERBAND (2004): Telefonat mit Herrn Beyer zum Wasserbedarf von Golfanlagen am 26.03.2004
- HARRER, B. (1996): Wirtschaftsgeographische Auswirkungen einer veränderten Ökologischen Situation. Konsequenzen für den Wintertourismus in Deutschland. DWIF, München. = Schriftenreihe des Deutschen Wirtschaftswissenschaftlichen Instituts für Fremdenverkehr an der Universität München, Heft 47.
- WOOLDRIGE, M. (2002): An Introduction to Multiagent Systems. John Wiley & Sons Ltd., Chichester.
- www.westbad.de/info/aktuelles/article.php?id=87 Stand: 22.02.2006
- www.westbad.de/info/aktuelles/article.php?id=101 Stand: 22.02.2006
- www.scuol.ch/sites/d/sommer/sportanlage.html Stand: 22.02.2006
- www.scuol.ch/sites/d/sommer/sportanlage.htm Stand: 22.02.2006

Ausbildungsforum und Know-How Transfer in Schwellen und Entwicklungsländer

Teilprojekt: Human Capacity Building
Leiter: Prof. Dr.h.c. Dr.-Ing. E.h. H. Kobus, Ph.D. (Emeritus)
Ausführende Stelle: Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau,
Pfaffenwaldring 61, 70569 Stuttgart

1. Ziele

Im Teilprojekt Human Capacity Building werden einerseits hochqualifizierte Nachwuchswissenschaftler aus Drittländern mittels Stipendien gefördert und andererseits soll ein wissenschaftlicher Austausch zwischen den an GLOWA-Danube beteiligten Nachwuchswissenschaftlern, den GLOWA-Danube-Stipendiaten und den Studierenden des auslandsorientierten Studiengangs WAREM der Universität Stuttgart geschaffen werden. Somit wird ein Multiplikationsforum geschaffen. Das heißt, die wissenschaftliche Diskussion wird über die im Rahmen des Projektes regelmäßig stattfindenden Diskussionsrunden hinaus verstärkt und gleichzeitig wird über die Einbeziehung der WAREM-Studenten der Wissenstransfer in Schwellen- und Entwicklungsländer sichergestellt.

2. Organisation

2.1 Personal

2.1.1 Wissenschaftler

Das Teilprojekt wurde von Professor Kobus beantragt und wird von ihm auch nach seiner Emeritierung (30. September 2002) betreut. Dabei wird er sowohl vom wissenschaftlichen Leiter der Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung (VEGAS), Herrn Dr. J. Braun, als auch vom Course Director Dr. M. Schneider sowie dem Sekretariat des auslandsorientierten Studiengangs WAREM unterstützt. Somit werden alle Personalkosten des Teilprojekts aus der Grundausrüstung der Universität Stuttgart bezahlt.

2.1.1 Wissenschaftliche Hilfskräfte

Die o.g. Koordinatoren des Teilprojekts werden von Herr Dipl.-Ing. Aleksandar Trifkovic, M.Sc. unterstützt. Herr Trifkovic ist als Stipendiat des BMBF-Programms IPSWAT mit seinem am Projekt GLOWA-Danube orientierten Promotionsvorhaben bereits seit zwei Jahren mit den Inhalten und Zielen des GLOWA-Projekt bestens vertraut. Somit ist eine projektorientierte Betreuung der Stipendiaten gewährleistet.

2.2 Investitionen

Alle notwendigen Anschaffungen wurden aus der Grundausrüstung finanziert.

2.3. Veröffentlichungen

Im Rahmen des Teilprojekts wurden im Berichtszeitraum eine Independent Study und drei Master's Theses betreut. Weiterhin waren die Stipendiaten (Co-)Autoren bei fünf Konferenzbeiträgen und einer Veröffentlichung.

Konferenzbeiträge der Stipendiaten im Berichtszeitraum:

- BARTHEL, R., BRAUN, J., NICKEL, D., MELEG, A. und TRIFKOVIC, A. (4/2004): An agent-based Water Supply Model as a link between the physical and the socio-economic section of the hydrological cycle on a river basin scale. Geophysical Research Abstracts, EGU - 1st General Assembly (25.-30. April 2004, Nice, France), European Geosciences Union.
- BARTHEL, R., NICKEL, D., MELEG, A. und BRAUN, J (10/2004): A Large-Scale Water Supply Model for the Upper Danube Catchment (Germany). Congress XXXIII IAH - 7° Alhsud groundwater flow understanding from local to regional scales (11.-15. Oktober 2004, Zacatecas City, Mexico), International Association of Hydrogeologists, .
- BARTHEL, R., JAGELKE, J., NICKEL, D., WOLF, J., ROJANSCHI, V., TRIFKOVIC, A., MELEG, A., BRAUN, J., MAUSER, W. und GAISER, T. (4/2005): Comparison of tools for integrated assessment and management of groundwater resources in different river basins with special regard to sustainability. Geophysical Research Abstracts, European Geosciences Union (EGU) - General Assembly (24.-29. April 2005, Wien, Österreich).
- BARTHEL, NICKEL, R., JAGELKE, D., WOLF, J., ROJANSCHI, J., TRIFKOVIC, V., MELEG, A. und BRAUN J. : Integrated Management of Groundwater Resources under Conditions of Global Change on a River Basin Scale. Poster Session, 2/2005. - International Conference on Integrated Assessment of Water Resources and Global Change: A North-South Analysis 23.-25. February 2005 Bonn, Germany.
- VASIN, M. und BARTHEL, R. (10/2005): Comparison of different approaches to model transport in groundwater on a very large scale with special regard to nitrogen in the upper Danube Basin. 31. IAHR Congress, Water Engineering for the Future: Choices and Challenges (11.-16. September 2005, Seoul, Korea), IAHR.

3. Derzeitiger Stand

3.1 Stipendiaten

In vorherigen Berichten wurde auf das Auswahlverfahren für die Stipendiaten, die speziellen Anforderungen des Preparatory-Semesters und die Anforderungen des WAREM-Studiums ausführlich eingegangen. Um sicher zu stellen, dass die Stipendien an die besten Studierenden vergeben werden und um gleichzeitig den akademischen Wettbewerb zu stärken, wurde beschlossen, weitergehende Stipendien nicht bereits vor der Ankunft in Deutschland, sondern nach erfolgreichem Abschluss des Preparatory-Semesters zu vergeben. Dadurch reduzierte sich die Dauer der Zuwendung. Nachdem die Zuwendungssumme durch die Bewilligung jedoch festgelegt ist, erhöhen sich die monatlichen Auszahlungsbeträge entsprechend. Dies macht das Stipendium auch im Hinblick auf die Angleichung an die höheren Raten anderer Stipendienprogramme für die Studierenden attraktiver.

Nachfolgend werden die Erfolge der Stipendiaten kurz zusammengefasst.

3.1.1 Stipendiaten der Gruppe GLOWA02 / Projektphase 1

Kwadwo Adusei Addai hat das Studium erfolgreich abgeschlossen. Seine Master's Thesis zum Thema „Coupling the HBV Model with ArcGIS: An Extension“ befasste sich mit der Kopplung von hydrologischen Modellen mit Geographischen Informationssystemen. Er kehrte, wie Seth Annang TETTEYFIO (Titel der Master's Thesis: “Ozone Applications for Advanced Wastewater Treatment”), nach erfolgreichem Studienabschluss in sein Heimatland Ghana zurück.

Milos VASIN (Serbien) war besonders stark in das GLOWA-Projekt eingebunden. Neben seiner Independent Study fertigte er auch seine Master's Thesis („Comparison of different approaches to model transport in groundwater on a very large scale with special regard to nitrogen in the Upper Danube Basin“) im Teilprojekt Grundwasser an und stellte seine Ergebnisse u.a. auf dem 31. IAHR-Kongress in Seoul vor. Seit dem erfolgreichen Abschluss seines Studiums promoviert Herr Vasin in der Jungwissenschaftlergruppe „Effective Soil Parameters for Infiltration Processes“ am Lehrstuhl für Hydromechanik und Hydrosystemmodellierung des Institutes für Wasserbau der Universität Stuttgart.

3.1.1 Stipendiaten der Gruppe GLOWA03

- Ahmet ÖZCAN (Türkei) hat alle Vorlesungen erfolgreich beendet und wird im April 2006 mit seiner Master's Thesis mit Schwerpunkt Membranfiltration beginnen. Diese Arbeit wird in enger Zusammenarbeit mit türkischen Partnern durchgeführt, so dass hier bereits während der M.Sc.-Thesis ein Technologietransfer in die Türkei stattfindet.
- Joanna STUDZINSKA (Polen) hat die Vorlesungen ebenfalls erfolgreich abgeschlossen. Ihre M.Sc.-Thesis schreibt sie über „River Basin Management Guidelines for Odra River with focus on chemical pollution“.
- Eloise BYRNE (England) hat ihre Vorlesungen erfolgreich beendet (Studienschwerpunkte „Urban Hydraulics and Sanitary Engineering“ und „Integrated Water Resources Planning and Management“) und plant nun eine Master's Thesis in dem mit GLOWA-Danube eng zusammenarbeitenden EU-Projekt RiverTwin.
- Phan Angh NGUYEN (Vietnam) hat das dritte Semester erfolgreich beendet und beginnt seine Master's Thesis („Reactivation of an old hydropower plant in Wolfegger Ach“) im Frühjahr 2006.
- Angela Aray VILLALBA (Kolumbien) möchte ebenfalls im Frühjahr 2006 ihre Master's Thesis beginnen. Ihr Studienschwerpunkt ist die Wasser- und Abwasserbereitung („Urban Hydraulics and Sanitary Engineering“). In diesem Themenbereich möchte sie auch ihre Master's Thesis anlegen.

4. Ausblick

Nach dem Preparatory-Semester 2006 werden weitere vier Stipendien auf der Grundlage der Ergebnisse aus den Vorkursen, wie bereits in Kapitel 3 beschrieben, vergeben.

Auch muss es weiterhin ein Ziel sein, insbesondere die Stipendiaten dazu anzuregen, ihre Master's Thesis bei einem unserer Projektpartner anzufertigen, um ihre Ausbildung interdisziplinär abzurunden.

Vor diesem Hintergrund wurde Prof. Wolfram Mauser eingeladen, im Rahmen des jährlichen Kolloquiums des IAHR-Student Chapters Stuttgart am 29. Juni 2005 einen Vortrag mit dem Titel „Aspects of Water Resources Management under Changing Climate Conditions“ zu halten. Stipendiaten, Studierende und Gäste erhielten einen Einblick in das Forschungsvorhaben GLOWA-Danube und nutzten die Gelegenheit mit Herrn Mauser über die Möglichkeiten eines Austauschs zu diskutieren.

Ein weiterer Vorteil eines solchen projektinternen Austausches ist, dass die Studierenden mit verschiedenen Forschungseinrichtungen und Universitäten Süddeutschlands vertraut werden und somit Beziehungen aufbauen können, die für sie mittelfristig, nach ihrer Rückkehr in ihr Heimatland, für ihre weiteren Tätigkeiten notwendig sind. Da davon auszugehen ist, dass Studierende mit einer Ausbildung im Ausland zukünftige Entscheidungsträger sein werden, ist eine solche Einbindung extrem wichtig.

Mit einer interdisziplinären Ausbildung, wie sie WAREM im Verbund mit den anderen Teilprojekten bieten kann, wird mittelfristig ein Wissenstransfer in Schwellen- und Entwicklungsländer sichergestellt.

5. Literatur

- ADDAI, K.A. (2005): Coupling the HBV Model with ArcGIS: An Extension. Master's Thesis, WAREM, Universität Stuttgart.
- BARTHEL, R., NICKEL, D., MELEG, A., TRIFKOVIC, A. und BRAUN, J. (2005): Linking the Physical and the Socioeconomic Compartments of an integrated Water and Land Use Management Model on a River Basin Scale using an Object-Oriented Water Supply Model. *Physics and Chemistry of the Earth*. - Nr.: 6-7 - Vol. 30, S. 389-397.
- TETTEFIYO, S.A. (2004): Ozone Applications for Advanced Wastewater Treatment. Master's Thesis, WAREM, Universität Stuttgart.
- VASIN, M. (2005): Determination of Filter Grain Size in Horizontal Wells according to DVGW, Bieske and Bush. Independent Study, WAREM, Universität Stuttgart.
- VASIN, M. (2005): Comparison of different approaches to model transport in groundwater on a very large scale with special regard to nitrogen in the Upper Danube Basin. Master's Thesis, WAREM, Universität Stuttgart.