



## **GLOWA – Danube**

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

### **Abschlussbericht Phase 2**

über den Fortgang des Projektes 07GWK04

Berichtszeitraum: 01.03.2004 – 30.04.2007

Zusammengestellt durch:

Prof. Dr. Wolfram Mauser

Dr. Ulrich Strasser

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





## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart Abschlussbericht Phase 2
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, technische Produktion Vera Erfurth. <u>Die einzelnen Kapitel wurden von den Leitern der Teilprojekte verfasst.</u>	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.04.2007
	6. Veröffentlichungsdatum 31.10.2007
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n))	7. Form der Publikation Druck
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)  Ludwig-Maximilians-Universität Fakultät für Geowissenschaften Department für Geographie Lehrstuhl für Geographie und Geographische Fernerkundung Luisenstr. 33 80333 München	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen *) 07GWK04
	11a. Seitenzahl Bericht 509
	11b. Seitenzahl Publikation
	12. Literaturangaben
13. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (bmb+f)  53170 Bonn	14. Tabellen 65
	15. Abbildungen 271
16. Zusätzliche Angaben - Dieser Abschlussbericht ist (mit farbigen Abb.) auch auf CD erhältlich -	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)  Uta von Witsch, Projektträger DLR, Bonn	
18. Kurzfassung  <ul style="list-style-type: none"> <li>• Weiterentwicklung des Global Change Entscheidungsunterstützungssystems DANUBIA z.B. in den Komponenten der land surface (soil, biological, snow, river network, groundwater)</li> <li>• Weiterentwicklung und Implementierung des Modellansatzes der <i>deep actors</i> in der Akteursmodellierung (farming, economy, water supply, water use and tourism)</li> <li>• Entwicklung von Ansätzen zur Berücksichtigung von Subpixel-Variabilität</li> <li>• Entwicklung von Methoden zum downscaling von Klimamodelldaten</li> <li>• Ausbau des Clusterrechners (zur Steigerung der Performanz) sowie der Satellitenempfangsstation</li> <li>• Erste Szenarienrechnungen mit DANUBIA</li> <li>• Produktion eines Global Change Atlases für die obere Donau in gedruckter sowie als Online-Version ... u.v.m.</li> </ul> <p>Zur Erreichung der Ziele wurden die folgenden, z.T. neuen integrativen Techniken eingesetzt und benutzt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Die objektorientierte Modellierung mit der Unified Modeling Language (UML) und die Programmiersprache JAVA</li> <li>• Das netzbasierte, verteilte Rechnen</li> <li>• Die Repräsentation der sozio-ökonomischen Prozesse durch Akteure</li> <li>• Die Nutzung der satellitengestützten Fernerkundung zur Umweltbeobachtung (Meteorologie, Landnutzung)</li> <li>• Erste Ansätze zur Strukturierung der Zusammenarbeit mit den Stakeholdern</li> </ul>	
19. Schlagwörter  DANUBIA, UML, JAVA, Proxel, Parameter, gekoppelte Modelle, Datenbank, Schnittstellen, Szenarien	
20. Verlag	21. Preis

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



## Inhaltsverzeichnis

<b>I.</b>	<b>GLOWA-Danube: Integrative Techniken, Szenarien und Strategien zum Globalen Wandel des Wasserkreislaufs am Beispiel des Einzugsgebiets der Oberen Donau</b>	<b>I</b>
<b>II.</b>	<b>Berichte der Teilprojekte</b>	
	Prof. Dr. Hennicker, LMU München, Lehr- und Forschungseinheit für Programmierung und Softwaretechnik <b>DANUBIA: Ein Web-basiertes Modellierungs- und Entscheidungs-Unterstützungssystem zur integrativen „Global-Change“-Forschung im Bereich der oberen Donau</b>	<b>1</b>
	Prof. Dr. Mauser, LMU München, Lehrstuhl für Geographie und Geographische Fernerkundung <b>Modellierung von Wasser- und Stickstoffflüssen an der Landoberfläche mit Fernerkundung</b>	<b>21</b>
	Prof. Dr. Kuhn, Universität Innsbruck, Institut für Meteorologie und Geophysik und Kommission für Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften München <b>Modellierung der Schneedecke und der Gletscher im Einzugsgebiet des Pegels Passau-Achleiten</b>	<b>65</b>
	Prof. Dr. Egger/PD Dr. Zängl, LMU München, Lehrstuhl für Theoretische Meteorologie <b>Mesoskalige Modellierung der Atmosphäre</b>	<b>109</b>
	Prof. Dr. Wirth, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Physik der Atmosphäre <b>Datenbasierte Qualitätskontrolle zur Wechselwirkung zwischen Niederschlag und Landoberfläche</b>	<b>127</b>
	Prof. Dr. Bendix, Philipps-Universität Marburg, Lehrstuhl für Geoökologie, Klimatologie und Fernerkundung Fachbereich Geographie <b>Niederschlagsretrieval auf Basis von optischen mikrowellenbasierten Satellitendaten sowie bodengebundenen Radaren</b>	<b>141</b>
	Dr. Willems/Prof. Dr.-Ing. Kleeberg, IAWG, Institut für Angewandte Wasserwirtschaft und Geoinformatik (IAWG) <b>Integration wassermengen- und wasserqualitätsrelevanter technischer Strukturen und Detektion von Überlastungen in Oberirdischen Gewässern</b>	<b>161</b>
	Dr. Barthel, Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Hydraulik und Grundwasser <b>Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung, Wasserversorgung</b>	<b>205</b>

Prof. Dr. Ernst, Universität Kassel, Wissenschaftliches Zentrum für Umweltsystemforschung <b>Modellierung typischer Wassernutzer im Einzugsgebiet der Donau</b>	255
Prof. Dr. Dabbert, Universität Hohenheim, Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre (410A) <b>Sozioökonomische Analyse und Modellierung von Wassernutzung und Land- nutzung durch Landwirtschaft</b>	303
Prof. Dr. Tenhunen, Universität Bayreuth, Lehrstuhl für Pflanzenökologie <b>Einfluss der Vegetation auf die Wasser- und Stickstoffflüsse, die Kohlenstoff- bilanz und die Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte auf der Ebene von Landschaften und Regionen</b>	339
Prof. Dr. Schneider, Universität zu Köln, Lehrstuhl für Hydro- und Klimageographie <b>Modellierung der Auswirkungen landwirtschaftlicher Nutzungsänderungen und Anbaumethoden auf Wasser-, Nährstoff- und Kohlenstoffflüsse</b>	357
Prof. Dr. Egger, ifo Institut für Wirtschaftsforschung, München, <b>Weiterentwicklung des Regionalmodells RIWU zu einem „tiefen“ Akteurs- modell</b>	391
Prof. Dr. Rolf-Ulrich Sprenger, ifo Institut für Wirtschaftsforschung, München, <b>Entwicklung, Durchführung und Evaluierung eines problemgerechten und computerbasierten informellen Beteiligungsver- fahren</b>	437
Prof. Dr. Schmude, Universität Regensburg, Lehrstuhl für Wirtschaftsgeographie <b>Wechselbeziehungen zwischen dem Tourismus und der Ressource Wasser im Untersuchungsraum von GLOWA Danube</b>	461
Jürgen Braun, Ph.D. und Prof. Dr. Kobus, Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Hydraulik und Grundwasser <b>Ausbildungsforum und Know-How Transfer in Schwellen und Entwicklungs- länder</b>	485

# **GLOWA-Danube: Integrative Techniken, Szenarien und Strategien zum Globalen Wandel des Wasserkreislaufs am Beispiel des Einzugsgebiets der Oberen Donau**

Teilprojekt:	Koordination
Leiter:	Prof. Dr. Wolfram Mauser
Ausführende Stelle:	Department für Geographie Lehrstuhl für Geographie und Geographische Fernerkundung Ludwig-Maximilians-Universität München Luisenstraße 37, 80333 München
Berichtersteller:	Dr. F. Siebel, Dr. U. Strasser, Prof. Dr. W. Mauser,

## **1. Kurzbeschreibung des Teilprojektes**

GLOWA-Danube untersucht die Auswirkungen des Globalen Wandels im Einzugsgebiet der Oberen Donau. Die Alpen und ihre Vorländer bewirken auf engstem Raum große Gradienten in Klima, Vegetation und Wasserverfügbarkeit und machen zusammen mit der exzellenten Datenlage in Natur- und Sozialwissenschaften die Obere Donau zum geeigneten Prototyp.

Die Größe und Komplexität von GLOWA-Danube sowie die Strukturierung des GLOWA-Teams als verteiltes Kompetenznetzwerk erfordern eine zentrale und straffe Koordination des Projektes. Die Organisationsform eines verteilten Kompetenznetzwerks hat sich in der ersten Projektphase bewährt. Aufgabe des Zentralprojektes sind die Projektkoordination (incl. Mittelverwaltung, Seminare, Kolloquien, Workshops, Dokumentation), Aufbau und Pflege der zentralen Datenbestände und des GIS sowie Bereitstellung zentraler Dienste, wie Zugang zum Rechnercluster des Koordinators und zentrale Aufbereitung der Ergebnisse. Für diese Arbeitsbereiche wurden von der Koordination auch Mitarbeiter eingesetzt und angeleitet.

Insgesamt wurde in der beantragten zweiten Projektphase die Struktur dahin gehend geändert, dass auf Grund der Breite der fachlichen Anforderungen das Teilprojekt Pflanzenökologie kostenneutral von zwei Gruppen bearbeitet wurde. Darüber hinaus wurde eine wissenschaftlich fundierte Stakeholder-Beteiligung durch ein weiteres Zentral-Projektes „Stakeholder“ initiiert. Damit waren innerhalb der zweiten Bewilligungsphase 17 Gruppen am Antrag beteiligt, die sich in 12 Kerngruppen, 3 Ergänzungsgruppen und sowie das Zentralprojekt gliedern.

## **2. Organisatorisches**

### **2.1 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 bis 30.06.2006 von Frau Anja Colgan bearbeitet und dann an Frau Ruth Weidinger übergeben: zusammen mit Herrn D. Waldmann (siehe Projektbericht HydFern) wurden 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 seit 01.08.2004 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 sowie Herrn Dr. Johann Wackerbauer (alle ifo-Institut München) durchgeführt.

## **2.2 Veranstaltungen und 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/durchgeführt bzw. besucht:

### **2.2.1 GLOWA-Danube (intern)**

#### **2004**

- 17.-18.03.2004 GLOWA-Danube, Entwickler-Workshop I, München
- 17.05.2004 Projektleitertreffen, München
- 31.05.-04.06.2004 GLOWA-Danube, Eröffnung 2. Phase, Frauenchiemsee
- 16.-17.09.2004 GLOWA-Danube, Vorbereitung Statuskonferenz, München
- 11.10.2004 Projektleitertreffen, München
- 12.10.2004 GLOWA-Danube, Entwickler-Workshop II, München

#### **2005**

- 08.03.2005 GLOWA-Meeting, München
- 26.04.2005 Deep Actors Treffen in Stuttgart
- 09.05.2005 Erstes Stakeholdertreffen „Wasserwirtschaft“ in München
- 17.05.-19.05.2005 GLOWA-Statuskonferenz in Köln
- 11.07.05 GLOWA-Meeting, München
- 10.08.2005 Treffen zur Spezifikation der DANUBIA-Benutzerschnittstelle (München)
- 18.10.2005 Zweites Stakeholdertreffen „Wasserwirtschaft“ in München
- 20.10.2005 Stakeholdertreffen „Landnutzung“ in München
- 30.11.-03.12.2005 Klausurtagung in Linden

#### **2006**

- 13.05.2006 Projektleitertreffen in München
- 19.05.2006 Projektleiter-Meeting in München

## **2007**

- 18.01.2007 Szenario-Workshop: “Szenarien der industriellen Entwicklung und Wassernutzung im Donaeinzugsgebiet“, im Ifo (Institut für Wirtschaftsforschung), München.
- 25.01.2007 Szenario-Workshop: “Szenarien der regionalen demographischen Entwicklung im Donaeinzugsgebiet“, im Ifo Institut für Wirtschaftsforschung, München.

### **2.2.2 Andere Veranstaltungen**

## **2004**

- 30.08.-02.09.2004 XXIIInd Conference of the Danubian countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management. Brno, Czech Republic.
- 13.-15.10.2004 INTERGEO-Kongress und Fachmesse für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, Stuttgart.
- 27.09.-01.10.2004 International Conference on Hydrology of Mountain Environments. Berchtesgaden.
- 22.11.2004 Klimaänderung - Auswirkungen auf den Hochwasserschutz. Fachgespräch Umweltbundesamt. Berlin.

## **2005**

- 18.-20.01.2005 2. Internationalen Fachmesse acqua alta 05. München.
- 27.01.2005 Internationales Symposium „Wasserwirtschaft in der Fläche“. Europäisches Patentamt, München.
- 04.-09.03.2005 69. Jahrestagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft. Berlin.
- 24.-30.04.2005 European Geosciences Union, General Assembly. Wien, Österreich.
- 20. - 23.06.2005 HeadWater'2005 - 6th International Conference on Hydrology, Ecology and Water Resources in Headwaters. Bergen, Norwegen.
- 15.-17.09.2005 3rd Symposium of the Hohe Tauern National Park for research in protected areas. Kaprun, Österreich.
- 01.-08.10.2005 55. Deutsche Geographentag. Trier.

## **2006**

- 04.03.2006 Seminar: Perspektiven des alpinen Wintertourismus in Zeiten des Klimawandels “Skifahren unter Palmen?” des Bildungswerk des Naturschutz in Bayern, BN-Arbeitskreis Alpen und BN-Kreisgruppe Berchtesgadener Land. Berchtesgaden.
- 02.-07.04.2006 European Geosciences Union, General Assembly. Wien, Österreich.
- 28. - 31.08.2006 XXIII Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Belgrade, Serbien.

- 27.-30.09.2006 Jahrestagung der International Association for Landscape Ecology (IALE). Kiel.
- 05.-07.10.2006 Alpine\*Snow\*Workshop ([www.alpinesnowworkshop.org](http://www.alpinesnowworkshop.org)), Organisation und Durchführung einer internationalen Konferenz mit ca. 70 gemeldeten Teilnehmern aus aller Welt durch das Team der GLOWA-Danube Koordination inkl. Vorträge, Posterpräsentationen und field trip. Ergebnis sind fruchtbare Diskussionen und Zusammenarbeiten mit den Partnern aus aller Welt, sowie ein peer-reviewter Tagungsband (in Druck). München.
- 31.10.2006 Informativen Workshop zur Politikberatung „Wasser“ der GTZ, Eschborn.
- 03.-05.11.2006 Workshop des Forschungsschwerpunkt „Globaler Wandel - regionale Nachhaltigkeit“. Geographischen Institutes der Universität Innsbruck. Obergurgl.

## 2007

- 12.-14.02.2007 Konferenz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie des Umweltbundesamtes „Time to Adapt - Climate Change and the European Water Dimension. Vulnerability-Impacts-Adaptation“. Berlin.

### 2.3 GLOWA-Danube Partnerprojekte

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

- Anwendung von GLOWA-Danube *know-how* am Châteauguay und Ottawa River (Québec, Kanada), Förderung durch das Konsortium Ouranos, das Ministre du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation der Provinz Québec und das Bayerische Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz im Rahmen der Länderkooperation Bayern/Québec: die Pilotphase des Projektes wurde bewilligt und verläuft seit 12/2006 sehr erfolgreich. Ouranos ist ein Konsortium aus den vier Universitäten in Montréal, der Firma Hydro-Québec (weltweit größter Wasserkrafterzeuger) und sechs Ministerien der Regierung von Québec. Ihr Ziel ist es, die Wirkungen des Globalen Wandels auf Quebec zu erforschen. Die Aktivitäten dieser Kooperation werden von Herrn Marco Braun (ehemaliger Doktorand in GLOWA-Danube) in München wissenschaftlich koordiniert. Ouranos ist an einer Zusammenarbeit mit GLOWA-Danube und der Nutzung der in GLOWA-Danube entwickelten Tools sehr interessiert. Aus der Zusammenarbeit mit Ouranos resultieren wichtige Synergien und der Import von technischem *Know-how* für die Entwicklung von Klimaszenarien und Adaptationsstrategien sowie die Integration von Stakeholdern. Im April fand hierzu an der LMU München ein erster Workshop mit einer Delegation von Ouranos und zahlreichen bayerischen Vertretern aus Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung statt.
- Transfer von GLOWA-Danube *know-how* auf das Einzugsgebiet des oberen Brahmaputra (Tibet, Bhutan, Indien): unsere Gruppe an der LMU ist Partner eines EU-Projektconsortiums für Brahmatwinn (<http://www.brahmatwinn.uni-jena.de/>) (Sustdev-2005-3.II.3.6), das vom Koordinator Prof. Dr. W.-A. Flügel (Jena) beantragt und bereits bewilligt wurde. Ziel ist die Übertragung von *know-how* von der Donau für nachhaltiges Wassermanagement an den oberen Brahmaputra. Projektbeginn war der 1.6.2006, Dauer 3 Jahre. Die Projektarbeiten werden von Frau Monika Prasch in Zusammenarbeit mit Herrn Dr. Strasser und Prof. Wolfram Mauser in München durch-



geführt. Bis jetzt wurden ein erfolgreicher field trip nach Tibet zur Erhebung von Geländeparametern durchgeführt (M. Prasch), sowie eine Vielzahl von Anpassungen von DANUBIA-*Light* für die Verhältnisse am Brahmaputra vorgenommen. U.a. können jetzt vergleichsweisen neben den MM5- und REMO- Daten solche des CLM integriert werden, auch für die Donau. Dies stellt eine weitere Vergleichs- und Validierungsmöglichkeit für GLOWA-Danube dar. Die Mitglieder der Brahmawinn-Community werden als prime users die ersten Open Source Versionen von DANUBIA testen können. Durch die Beteiligung an Brahmawinn ergibt sich für GLOWA-Danube außerdem die Möglichkeit zum Einsatz des River Basin Information Systems RBIS.

- Angestrebte Zusammenarbeit 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 ( $A=160.000\text{km}^2$ ) Szenarien für eine nachhaltige Entwicklung unter Global Change Bedingungen zu simulieren. Im Jahr 2006 wurden dazu workshops im Rahmen des Sino-German Science Centres in Beijing durchgeführt, die in einem gemeinsam Forschungsprojekt des chinesischen Konsortiums und deutscher Wissenschaftler münden.

## 2.4 Anschaffungen

Entsprechend der beantragten/bewilligten Mittel sowie der Geräteliste wurden in der 2. Förderphase des Projektes von der Koordination folgende Geräte beschafft:

- Xeon Cluster Rechner (13.041,24 € )
- 1 Meteosat (MSG) Satelliten-Empfangsstation (42.450,20 €)
- Opteron Rechner (25.102,40 € )
- PCs (1757,61 €)

Darüber hinaus wurden für die Modellentwicklung benötigte Softwareprogramme (u.a. ArcGIS 8.2) inkl. Lizenzen erworben und bereits vorhandene Software-Lizenzen entsprechend verlängert. Daten?

## 2.5 Veröffentlichungen und Berichte

### 2.5.1 Publikationen, Vorträge und Posterpräsentationen

BARTHEL, R., MAUSER, W., STRASSER, U., LUDWIG, R., WILLEMS, W. und FRÜH, B. (2007): Potential Climate Change Impacts on the Groundwater Resources in the Upper Danube Watershed - a Scenario Case Study using the DANUBIA Decision Support System. In: Abstracts of the IAH Meeting, Sept. 2007, Lissabon, Portugal.

HENNICKER, R., JANISCH, S., KRAUS, A., LUDWIG, M., MAUSER, W, STRASSER, U. und LUDWIG, R. (2005): DANUBIA: Design and implementation of an integrative simulation and decision support system for the Upper Danube basin (EGU, Wien).

LUDWIG, R., MAUSER, W., WILLEMS, W. und BARTHEL, R. (2005): Integrative hydrologic modeling across scales in a coupled expert system (Headwaters, Bergen).

MAUSER, W., STRASSER, U. und LUDWIG, R. (2004): GLOWA-Danube: Sustainable Water Resources Management in the Upper Danube River Basin under Conditions of Global Change. In: Abstracts of the XXIIInd Conference of the Danubian countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management. Brno, Czech Republic.

- MAUSER, W., STRASSER, U. und LUDWIG, R. (2005): Simulation of Global Warming Effects on the Water Balance of the Upper Danube Catchment - first results of the GLOWA-Danube Project. In: Geophysical Research Abstracts, abstracts of the European Geosciences Union General Assembly 2005, Vienna, Austria.
- MAUSER, W., STRASSER, U., BERNHARDT, M. LUDWIG, R. und SIEBEL, F. (2005): Integrative hydrological simulations of the Upper Danube Catchment. In: 69. Jahrestagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Berlin, 4.-9. März 2005.
- MAUSER, W., STRASSER, U., ERNST, A., HENNICKER, R., BARTHEL, R., DABBERT, S., SCHNEIDER, K. und LUDWIG, R. (2006): Natur und Mensch in GLOWA-Danube - Beiträge zu einer integrativen Modellierung der regionalen Auswirkungen des globalen Wandels. Vortrag zur Jahrestagung der International Association for Landscape Ecology (IALE), Germany. Kiel, 27.-30.9.2006 (invited).
- MAUSER, W., SIEBEL, F. und STRASSER, U. (2006): DANUBIA: Ein integratives Simulationssystem für das Wassermanagement unter Globalem Wandel. Poster-Beitrag für einen informativen Workshop zur Politikberatung „Wasser“ der GTZ, 31. Oktober 2006, Eschborn.
- MAUSER, W. und STRASSER, U. (2006): German Global Change Research and Integrated Ecosystem Assessment. Impulsreferat zum Workshop des Forschungsschwerpunkt „Globaler Wandel - regionale Nachhaltigkeit“ des Geographischen Institutes der Universität Innsbruck. Obergurgl, 3.-5.11.2006 (invited).
- MAUSER, W., STRASSER, U., ERNST, A., HENNICKER, R., BARTHEL, R., DABBERT, S., SCHNEIDER, K. und LUDWIG, R. (2006): GLOWA-Danube: Beiträge zu einer integrativen Modellierung der regionalen Auswirkungen des globalen Wandels. Impulsreferat zum Workshop des Forschungsschwerpunkt „Globaler Wandel - regionale Nachhaltigkeit“ des Geographischen Institutes der Universität Innsbruck. Obergurgl, 3.-5.11.2006 (invited).
- MAUSER, W. und STRASSER, U. (2007): GLOWA-Danube: Integrative Techniques, Scenarios and Strategies regarding the Global Change of the Water Cycle in the Upper Danube Catchment. Posterbeitrag für die Konferenz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie des Umweltbundesamtes „Time to Adapt - Climate Change and the European Water Dimension. Vulnerability-Impacts-Adaptation“. 12.-14. Februar 2007, Berlin (invited).
- SIEBEL, F., MAUSER, W., LUDWIG, R. und STRASSER, U. (2005): GLOWA-Danube: Integrative hydrological simulations of the Upper Danube Catchment. In: Abstracts der Frühjahrstagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Berlin.
- SPRENGER, R.-U., WACKERBAUER, J. und WIELAND S. (2007): Entwicklung und Anwendung eines Verfahrens zur informellen Beteiligung von Stakeholdern im Rahmen von GLOWA-Danube (in Vorbereitung).
- STRASSER, U., MAUSER, W. und LUDWIG, R. (2004): GLOWA-Danube: Sustainable Water Resources Management in the Upper Danube River Basin under Conditions of Global Change. In: Abstracts of the International Conference on Hydrology of Mountain Environments, Berchtesgaden, Germany.
- STRASSER, U., MAUSER, W. und STOLZ, R. (2004): GLOWA-Danube: Integrative Techniken, Szenarien und Strategien zum globalen Wandel des Wasserkreislaufs. Posterpräsentation auf der INTERGEO-Messe, Stuttgart, Germany.
- STRASSER, U. und MAUSER, W. (2005): GLOWA-Danube: Integrative Global Change Scenario Simulations for the Upper Danube Catchment - First Results. In: Abstracts of the International Conference on Headwater Control VI: Hydrology, Ecology and Water Resources in Headwaters. Bergen, Norway.

- STRASSER, U. und MAUSER, W. (2005): GLOWA-Danube: Beispiel für ein objektorientiertes Entscheidungs-Unterstützungssystem. In: Abstracts der 2. Internationalen Fachmesse aqua alta 05, Neue Messe München, Deutschland.
- STRASSER, U., LUDWIG, R. und MAUSER, W. (2005): GLOWA-Danube: Integrative Global Change Scenario Simulations for the Upper Danube Catchment - First Results. In: Geophysical Research Abstracts, abstracts of the European Geosciences Union General Assembly 2005, Vienna, Austria.
- STRASSER, U., MAUSER, W. und LUDWIG, R. (2005): GLOWA-Danube: Sustainable Water Resources Management in the Upper Danube River Basin under Conditions of Global Change. In: HERRMANN, A. und RICHTER, O. (Eds.): Landschaftsökologie und Umweltforschung, H. 48: Proceedings of the International Conference on Hydrology of Mountain Environments Berchtesgaden, Braunschweig, Germany, S. 237-243.
- 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.
- 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. 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. und VOGEL, M. (Eds.) (2007): Proceedings of the Alpine\*Snow\*Workshop ([www.alpinesnowworkshop.org](http://www.alpinesnowworkshop.org)), Munich, October 5-6, 2006, Germany. Berchtesgaden National Park research report, Nr. 52 (in print).
- STRASSER, U. (2007): Schneelast im Wandel des Klimas - neue Risiken? Vortrag zum Symposium Schnee - Risikovorsorge und Katastrophenmanagement, Bayerische Versicherungskammer München, 18.01.2007 (invited).
- TRIFKOVIC, A., BARTHEL, R., NICKEL, D., MAUSER, W., STRASSER, U., LUDWIG, R., WILLEMS, W. und FRUEH, B. (2006): Using the DANUBIA Decision Support System to Identify Climate Change Effects on Groundwater Management Perspectives. In: proceedings of the XXIII Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, August 28-31th 2006, Belgrade.

## 2.5.2 Berichte und Anträge

Im Berichtszeitraum wurden folgende Rechenschaftsberichte angefertigt:

- Kurzbericht, englisch, an die Gutachter zum Statusseminar 2005 (Februar 2005)
- Jahresbericht 2005 an das BMBF (April 2005)
- Jahresbericht 2006 an das BMBF (April 2006)

Die Fortsetzung des Projekts ab dem 01.03.2007 wurde beantragt:

- Folgeantrag für den Projektzeitraum 2007-2010 an das BMBF (Juni 2006)

## 2.6 Diplomarbeiten

REITER, A. (2007): Entwicklung und Geographie des Einsatzes von Beschneigungsanlagen im Land Salzburg sowie energiewirtschaftliche, hydrologische und umweltrelevante Auswirkungen. Ludwig-Maximilians-Universität München.

## 3. Aufgaben und Ziele der Koordination

Das Projekt GLOWA-Danube hat zum Ziel, über Fachdisziplinen hinweg Kenntnisse zu integrieren und daraus das netzbasierte Entscheidungsunterstützungssystem DANUBIA zu schaffen. DANUBIA soll es ermöglichen, eine breite Palette von natur- und sozialwissenschaftlichen Aspekten des Globalen Wandels in Form von Szenarien durchzuspielen und Strategien für eine optimale Lösung von Wasserkonflikten in der Oberen Donau zu entwickeln. Das Projekt wird gemeinsam von 16 Gruppen bearbeitet und wird vom Antragsteller koordiniert.

Das Projekt ist als primär universitäres Kompetenz-Netzwerk ausgelegt. Dies heißt, dass kompetente Gruppen in diesem Netzwerk zusammenkommen, um das Projekt gemeinsam zu bearbeiten.

Sowohl die Struktur als auch vor allem der integrative Charakter der Fragestellung von GLOWA-Danube erfordert einen intensiven persönlichen Austausch zwischen den Projektgruppen. Dieser Austausch soll im Projekt über die mit den modernen Kommunikationsmitteln mögliche dezentrale Maß hinaus durch eine abgestufte Struktur von Veranstaltungen beginnend mit bilateralen Treffen über die Arbeitsgruppenebene bis hin zu einwöchigen Workshops im nötigen Maß institutionalisiert und damit gesichert werden.

Das Projekt bedient sich Daten unterschiedlichster Herkunft und Struktur. Sie reichen von Satellitenbildern und aus ihnen abgeleiteten Parametern, über Geographische Informationssysteme und ihre Inhalte, Abfluß- und Wetterdaten bis hin zu empirischen wie statistischen sozio-ökonomischen Daten zu Bevölkerung und Industrie. Diese Daten sollen, sofern sie von mehr als einer Gruppe benötigt werden, nicht nur gemeinsam genutzt, sondern auch zentral beschafft und verwaltet werden.

Folgende Aufgaben sollten im Rahmen der Koordination des Projektes im Bereichszeitraum durchgeführt werden:

- Wissenschaftliche und organisatorische Vorbereitung, Begleitung und Auswertung der Treffen auf den unterschiedlichen Kommunikationsebenen. Hierzu gehören die Kolloquien, Workshops, Arbeitsgruppentreffen.
- Wissenschaftliche und technische Koordination des Projektes. An erster Stelle ist dabei das LINUX Rechnercluster zu nennen, mit dessen Hilfe die komplexen und Rechenzeit und -ressourcen aufwendigen Modellläufe von DANUBIA durchgeführt werden.
- Dazu gehört auch die Betreuung von Gelände-Messgeräte, wie Eddy-Korrelationsstation und Durchführung und Auswertung von Geländemesskampagnen, deren Daten allen Projektpartnern zur Verfügung gestellt werden sollen.
- Zentrale Beschaffung von Daten sowie Betreuung und Wartung der Großgeräte (z. B. Linux-Rechnerclusters und Satellitendaten-Empfangsstation) zur gemeinsamen Nutzung im Projekt.
- Zentrale Dokumentation der Methoden und Ergebnisse der einzelnen Projektpartner sowie die interne wie externe Veröffentlichung der Resultate.



- Verwaltung der gemeinsamen Eingangs- und Ergebnisdaten, die zu Szenariobewertung herangezogen werden, in einer zentralen Datenbank und GIS.
- Aufbereitung von Daten für die Modellierung mit DANUBIA sowie zentrale Generierung, Verbesserung und Bereitstellung der Basisdaten für alle Projektpartner.
- Erweiterung und Wartung der Projekthomepage [www.glowa-danube.de](http://www.glowa-danube.de), als wichtiges Medium, um die Projektinhalte und Ergebnisse einer interessierten Öffentlichkeit (u.a. Stakeholder) präsentieren zu können.

#### **4. Redaktion, Fertigstellung und Auslieferung 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 (Abb. 1).

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.

##### **4.1 Print-Atlas**

Nachdem in der zweiten Jahreshälfte 2004 die Konzepte für die Druck- und Online-Version des Atlas fertig gestellt 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. In der zweiten Jahreshälfte 2005 wurde mit der detaillierten Ausarbeitung des Print-Atlases begonnen, die im 1. Halbjahr 2006 sich fortsetzte, so dass die Fertigstellung und Drucklegung im Juni/Mai 2006 erfolgen konnte. Schließlich wurden Mitte Juli ausgewählte Kapitel an Stakeholder und Entscheidungsträger verschickt (Abb. 1). Die in der 1. Lieferung enthaltenen Beiträge zeigen sektorale und integrative Ergebnisse von DANUBIA und stehen damit als wichtige Arbeits- und Diskussionsgrundlage den Mitarbeitern und Interessensvertretern zur Verfügung. Diese erste Ausgabe umfasst zwei Kapitel mit Beiträgen zu: 1. Natur- und Sozialraum und 2: Simulationsmodelle der Teilprojekte.

In Kapitel 1 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 2 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 3 (Szenarien und Ergebnisse) werden ab der 2. Lieferung die Simulationsergebnisse unterschiedlicher Szenariorechnungen über die möglichen Entwicklungen der Oberen Donau in den nächsten Jahrzehnten dokumentiert. Dieses Kapitel wird im Laufe der 3. Förderphase durch einen fortlaufenden Diskussionsprozess mit Entscheidungsträgern und Stakeholdern dynamisch wachsen.

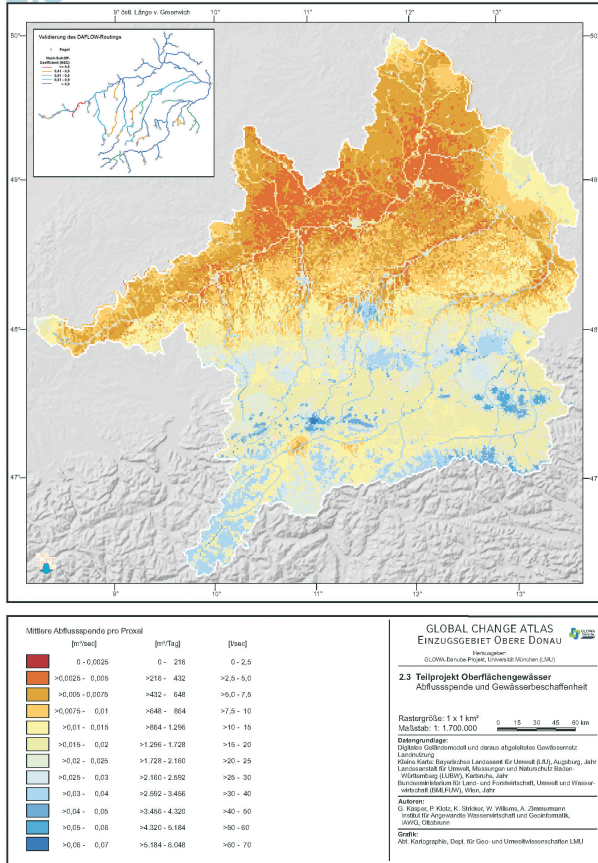


Abb. 1: Beitragsbeispiel aus dem Print-Atlas

Die Vorgabe einer Standardgliederung und die zweistufige Begutachtung der Textinhalte durch die anonyme Review-Gruppe (wie im Jahr 2005 beschlossen) führten zu einem einheitlichen Gesamtbild und zu einer ansprechenden und vermittelnden Aufbereitung der einzelnen, oft sehr unterschiedlichen Themen auch für Nichtexperten. Die Aufbereitung der Daten für die Kartendarstellungen wurden entweder von den Autoren selbst oder in enger Zusammenarbeit mit dem jeweiligen Autor vom GIS-Datenbank-Mitarbeiter der Koordination (Frau Weidinger) übernommen. Die Aufbereitung der Kartendarstellung samt Legenden erfolgte dabei unter fachlichen Gesichtspunkten und kartographischen Gestaltungsmöglichkeiten in enger Absprache zwischen den Teilprojekten, der Redaktion und der Kartographie.

Die Organisation des Review-Prozesses und des „workflows“ für die Darstellung der Karten oblag der Redaktion. Dabei musste auch die technische Ausstattung berücksichtigt werden. Die Endbegutachtung und Endredaktion erfolgte durch den Projektkoordinator.

Im Mai/Juni 2006 wurden von der Firma Dinauer GmbH in Puchheim die Ordner und Beiträge für die erste Lieferung in einer Auflage von 150 Stück erstellt. Lagerung, Bestückung, Verpackung und Versand erfolgte durch die Koordination.

Für die erfolgreiche Einbindung von Stakeholdern und Entscheidungsträgern hat die Koordination eine Adressdatenbank erstellt. Die 1. Lieferung erfolgte Mitte Juli 2006. Altanfragen gingen u.a. an folgende Adressen: Bayerisches Landesamt für Umwelt, Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst und an die Wasserwirtschaftsämter in Bayern. Diese Datenbank wird von der Koordination fortgeführt und gepflegt. Das Konzept des offenen Ringbuchs ermöglicht eine fortlaufende Verbesserung, Ergänzung und Erweiterung des Atlases und unterstützt damit den Stakeholder-Prozess. Die Adressdaten werden voraussichtlich ein bis zwei Mal pro Jahr mit weiteren Lieferungen versorgt. Die Beantragung der Kosten für Druck, Verpackung und Versand liegen dem Projektantrag für die 3. Förderphase bei.



Abb. 2: Beitragsbeispiel aus dem Print-Atlas

Die Vorgabe einer Standardgliederung und die zweistufige Begutachtung der Textinhalte durch die anonyme Review-Gruppe (wie im Jahr 2005 beschlossen) führten zu einem einheitlichen Gesamtbild und zu einer ansprechenden und vermittelnden Aufbereitung der einzelnen, oft sehr unterschiedlichen Themen auch für Nichtexperten. Die Aufbereitung der Daten für die Kartendarstellungen wurden entweder von den Autoren selbst oder in enger Zusammenarbeit mit dem jeweiligen Autor vom GIS-Datenbank-Mitarbeiter der Koordination (Frau Weidinger) übernommen. Die Aufbereitung der Kartendarstellung samt Legenden erfolgte dabei unter fachlichen Gesichtspunkten und kartographischen Gestaltungsmöglichkeiten in enger Absprache zwischen den Teilprojekten, der Redaktion und der Kartographie.

Die Organisation des Review-Prozesses und des „workflows“ für die Darstellung der Karten oblag der Redaktion. Dabei musste auch die technische Ausstattung berücksichtigt werden. Die Endbegutachtung und Endredaktion erfolgte durch den Projektkoordinator.

Im Mai/Juni 2006 wurden von der Firma Dinauer GmbH in Puchheim die Ordner und Beiträge für die erste Lieferung in einer Auflage von 150 Stück erstellt. Lagerung, Bestückung, Verpackung und Versand erfolgte durch die Koordination.

Für die erfolgreiche Einbindung von Stakeholdern und Entscheidungsträgern hat die Koordination eine Adressdatenbank erstellt. Die 1. Lieferung erfolgte Mitte Juli 2006. Altanfragen gingen u.a. an folgende Adressen: Bayerisches Landesamt für Umwelt, Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Bayerisches Staatsministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst und an die Wasserwirtschaftsämter in Bayern. Diese Datenbank wird von der Koordination fortgeführt und gepflegt. Das Konzept des offenen Ringbuchs ermöglicht eine fortlaufende Verbesserung, Ergänzung und Erweiterung des Atlases und unterstützt damit den Stakeholder-Prozess. Die Adressdaten werden voraussichtlich ein bis zwei Mal pro Jahr mit weiteren Lieferungen versorgt. Die Beantragung der Kosten für Druck, Verpackung und Versand liegen dem Projektantrag für die 3. Förderphase bei.

## 4.2 Online-Atlas

Der Online-Atlas kann unter [www.glowa-danube.de/atlas](http://www.glowa-danube.de/atlas) eingesehen werden. Aufgrund der Kosten für die Veröffentlichungsrechte einiger Datensätze konnte die Internetseite bis jetzt lediglich Kennwort-geschützt ins Netz gestellt werden (das Kennwort kann bei der Koordination erfragt werden): damit wurde diese Art der Veröffentlichung kostenlos. Für die Bereitstellung des Online-Atlases im Internet ohne Kennwortschutz wurden im weiteren Verlauf der zweiten Förderphase mit den jeweiligen Firmen/Ämtern die Nutzungsvereinbarungen geklärt. Die Beantragung für die dadurch anfallenden Kosten erfolgte mit dem Projektantrag für die Förderphase III. Trotz dieser Kosten für die Veröffentlichungsrechte bleibt der Online-Atlas insgesamt kostengünstiger als der Print-Atlas mit den hohen Verpackungs- und Versandkosten.

Der im Jahr 2005 generierte Prototyp des Online-Atlas wurde im 2. Halbjahr 2006 hinsichtlich Datenstruktur und Geschwindigkeit verbessert. Im Detail konnte durch den Einsatz eines neuen Servers (Umstieg von Microsoft „Internet Information Server“ auf den Open Source Server „Apache“) und eines Updates der MySQL-Datenbank der Zugriff auf datenbankbezogene Daten innerhalb des Online-Atlas beschleunigt werden.

Das Auswahlmenü auf der linken Seite wurde in die drei Bereiche „Basis“, „Ergebnis“ und „Szenario“ aufgeteilt (Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.). Durch diesen Schritt wurde nicht nur eine Differenzierung der einzelnen Thematiken anschaulicher und verständlicher gemacht, sondern der Online-Atlas auch näher an die der Einteilung der Kartenblätter des Print-Atlas herangetragen. Die einzelnen Bereiche können nun über ein Pulldown-Menü oberhalb der Layerauswahl im linken Bereich ausgewählt werden.

Die Textbeiträge des Print-Atlases 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 Über-einanderlegen 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.

Durch die Möglichkeit einer laufenden und schnellen Aktualisierung, erlaubt der Online-Atlas zudem die aktuelle Bereitstellung von Forschungsergebnissen für Diskussionen.



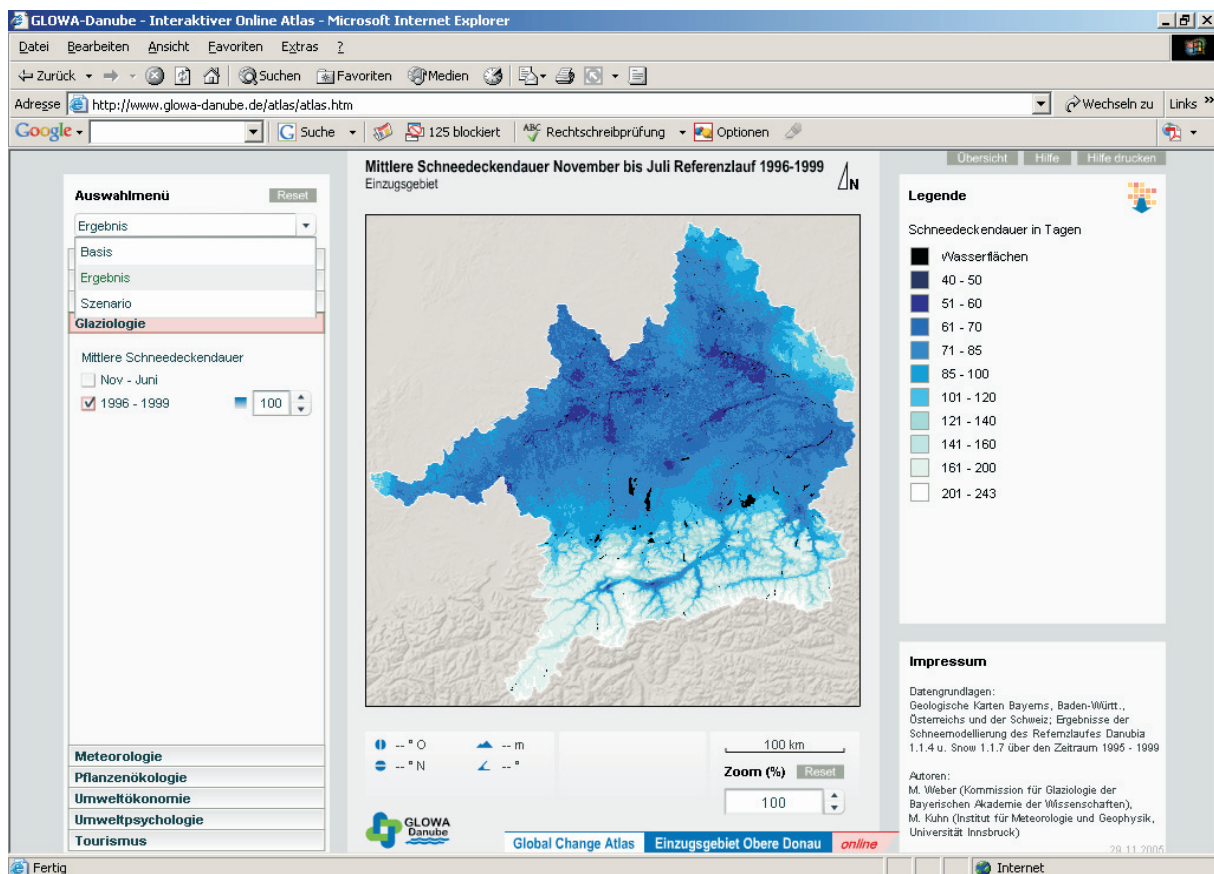


Abb. 2: Design des Online-Atlas mit Beispieldatensatz

## 5. Einführung Flussgebiets-Managementsystems (RBIS)

Durch die Kooperation mit dem GLOWA-Danube Partnerprojekt Brahmatwinn (<http://www.brahmatwinn.uni-jena.de/>) ergibt sich die einmalige Gelegenheit, das dort eingesetzte River Basin Information System auch für GLOWA-Danube zur Verfügung zu stellen. Dies ermöglicht es uns, sämtliche Projektdaten in eine strukturierte Geodatenbank mit speziellen Funktionalitäten für Flussgebiete einzustellen und den bisher verwendeten ftp-Server, der eine erhebliche Sicherheitslücke für die GLOWA-Danube Rechnerarchitektur darstellt, außer Dienst zu stellen. Mit RBIS wird den beteiligten Projektpartnern und später auch Stakeholdern ein mächtiges Werkzeug für die Suche, Auswahl und Visualisierung räumlicher Geodaten aus dem verteilten Datenbanknetzsystem (DBNS) zur Verfügung gestellt. Das System wurde für den Im- und Export von Vektor- und Rasterdaten mit einem georelationalen Bezugssystem unter Verwendung eines Web-Browsers als Nutzerschnittstelle entwickelt. RBIS unterstützt die Anwender bei Erstellung und Präsentation individueller Karten im Internet oder Intranet, basierend auf georelationaler Datenhaltung im Dateisystem oder in Oracle-, Informix-, DB2- oder PostgreSQL-Datenbanken mit speziellen räumlichen Erweiterungen. Zur Zeit wird von der Koordination, ob bzw. wie weit das System für die Anforderungen von GLOWA-Danube in der dritten Phase geeignet ist.

## 6. Fortführung des Stakeholder-Dialogs

Zielsetzung des GLOWA-Stakeholder-Projektes ist es, 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 das Ziel des GLOWA-*Stakeholder*-Projekts 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 et al. 2007). Auf dieser Basis wurde Einigkeit über folgende weiteren 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 Experten-Workshops  
Diese Experten-Workshops 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 von Referenzszenarien mit den *Stakeholdern*  
Auf der Basis der Teilnehmer der Experten-Workshops, aber auch unter Einbeziehung weiterer *Stakeholder* aus dem Akteursbereich sollten verschiedene Referenzszenarien entwickelt werden.
5. Entwicklung von Alternativszenarien mit den *Stakeholdern*  
Ebenfalls sollte mit diesen Akteuren ein oder zwei Alternativszenarios entwickelt werden. Bei der Entwicklung von Referenz- und Alternativszenarien 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 Szenarien einer größeren Öffentlichkeit zugänglich machen. Damit bietet sich zudem die Gelegenheit, neue *Stakeholder* zu gewinnen.
7. 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.

Zur Fundierung und Verbesserung der Validität der GLOWA-Teilmodelle und zur Diskussion offener Fragen bzgl. Modellannahmen und Datensituation spielen Experten- und Szenario-Workshops eine wichtige Rolle. Im Zentrum der Arbeiten der 2. Förderphase stand die Vorbereitung und Durchführung von drei Experten- und zwei Szenario-Workshops (vgl. 2.2). Diese Workshops sollten bei Fachleuten Interesse an GLOWA-Danube wecken und sie zur Teilnahme an den weiteren Aktivitäten im Rahmen des *Stakeholder*-Projekts zu gewinnen und zu motivieren. Folgende drei Experten-Workshops wurden 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 Modellie-

rung 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 Szenario-Workshops sollten insbesondere Gelegenheit bieten, über die Modellgrundlagen und die Modellimplementation der GLOWA-Teilmodelle *Economy* und *Demography* zu diskutieren. Dabei wurden auch externe Experten zu Präsentationen eingeladen, um die Erfahrungen mit der Vorgehensweise bei vergleichbaren Forschungsprojekten einzubeziehen.

Für den Szenario-Workshop “Szenarien der industriellen Entwicklung und Wassernutzung im Donaueinzugsgebiet“ konnten als externe Referenten Thomas Hillenbrand vom Fraunhofer Institut für System- u. Innovationsforschung, Karlsruhe, Timo Mitze von der Gesellschaft für Finanz- u. Regionalanalysen Münster und Konar Mutafoğlu von der Technischen Universität Berlin gewonnen werden. Nach Einführungen von Prof. Dr. Sprenger in die Vorgehensweise der Stakeholder-Beteiligung und von Dr. Wackerbauer in das ifo Modell „Regional Industrial Water Use“ stellte Timo Mitze verschiedene Regionalisierungsansätze in der empirischen Wirtschaftsforschung vor und strich Parallelen zum GLOWA-Teilprojekt „Economy“ sowie unterschiedliche Vorgehensweise heraus. Thomas Hillenbrand referierte über technische Trends der industriellen Wassernutzung, die für die Modellierung des GLOWA-Teilprojekts „Economy“ relevant sein könnten. Konar Mutafoğlu stellte verschiedene Szenarien industrieller Wassernachfrage im Elbe-Einzugsgebiet dar, die im Rahmen des BMBF-Projekts GLOWA-Elbe entwickelt wurden und generell Hinweise auf die Möglichkeiten der Regionalisierung von Szenarien der industriellen Entwicklung und Wassernutzung in verschiedenen Wassereinzugsgebieten bieten. Im letzten Vortrag stellten Markus Zimmer und Dr. Mario Larch, vom ifo Institut die Vorgehensweise bei der Modellierung des industriellen Wasserverbrauchs im GLOWA-Danube-Teilprojekt „Ökonomie“ dar. Als Gäste beteiligten sich an der Veranstaltung und der abschließenden Diskussion verschiedene Experten der Industrie- und Handelskammer München und Oberbayern, des Landesverbandes Bayern des Verbandes der Chemischen Industrie sowie aus unterschiedlichen Unternehmen aus den Bereichen Anlagen- und Verfahrenstechnik sowie Ingenieurbüros.

Für den Szenario-Workshop “Szenarien der regionalen demographischen Entwicklung im Donaueinzugsgebiet“ konnten als externe Referenten Jana Borgwardt von der Technischen Universität Berlin, Dr. Jürgen E. Flöthmann von der Universität Bielefeld, Dr. Monika Meyer-Künzel vom Leibniz Institut für Ökologische Raumentwicklung, Dresden und Dr. Erika Schulz vom Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin, gewonnen werden. Nach einer Einführung die Vorgehensweise der Stakeholder-Beteiligung und in das GLOWA-Danube-Projekt durch Prof. Dr. Rolf-Ulrich Sprenger und Dr. Johann Wackerbauer stellten Dr. Meyer-Künzel und Dr. Flöthmann aus ihren Arbeitsgebieten Methoden, Indikatoren und ausgewählte Ergebnisse kleinräumiger demographischer Szenarien vor. Dr. Erika Schulz und Jana Borgwardt referierten über die Vorgehensweise bei Regionalisierung sozioökonomischer Szenarien im Projekt GLOWA-Elbe und abschließend stellten Dr. Mario Larch und Markus Zimmer den entsprechenden Ansatz des GLOWA-Danube Teilprojekts „Demographie“ vor. Als Gäste beteiligten sich an der Veranstaltung und der abschließen-

den Diskussion Vertreter der Bayerischen Landesämter für Umwelt und für Statistik, der Regierung von Oberbayern, dem Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie, des Umweltamtes der Stadt Passau, des Bundesinstituts für Bevölkerungsforschung, Wiesbaden, von Sinus Sociovision Heidelberg, der Technischen Universität München sowie von Versorgungs- und Consultingunternehmen.

Die Vorträge der Workshops wurden für zahlreiche Fragen und vertiefende Diskussionen mit den teilnehmenden Experten genutzt. Generell wurde bei beiden 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 Stakeholderprozess 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 sowie Hinweise auf eigene modellbasierte Projekte zum industriellen Wasserverbrauch und zur demographischen Entwicklung gegeben (z.B. von Vertretern des bayerischen Landesamtes für Umwelt).

Darüber hinaus wurden in der 2. Förderphase Anstrengungen unternommen, die Website verstärkt als Schnittstelle zwischen GLOWA-Projektpartnern und externen Stakeholdern zu nutzen. Neben konzeptionellen Überlegungen sind hierzu diverse Umsetzungsmaßnahmen erfolgt (z.B. durch Einstellen von Präsentationen, Ablegen von Kommentaren u.ä.). Weitere Bemühungen zielen auf erhöhte Bedienungsfreundlichkeit und Nutzerintegration.

Schließlich wurden die einzelnen Workshops jeweils im Sinne einer Qualitätskontrolle in Gestalt einer Qualitätssicherung und –verbesserung nachbereitet. Dies beinhaltete zum einen eine kritische Selbstevaluation und Reflexion und zum anderen ein Feed-Back zu den Teilnehmern.

In der 2. Förderphase hat somit ein intensiver Stakeholderprozess stattgefunden, der es auch ermöglichte, die Interessen der Stakeholder mit den Zielen von GLOWA-Danube abzugleichen. Allerdings konnten während der zweiten Projektphase umfangreiche Erfahrungen gesammelt werden, die letztendlich zu einer Modifikation des bisher eingeschlagenen Weges führten. Diese Neu-Orientierung innerhalb des Stakeholderprozesses ist ausgesprochen erfolgsversprechend (s. Antrag 3. Phase).

## **7. Weiterentwicklung der Analysetools zur Auswertung von DANUBIA-Läufen**

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 inner-

halb von GLOWA-Danube der Bedarf für ein standardisiertes, zeit- und speicherplatzsparendes Datenauswertungswerkzeug. Während der zweiten Phase des Projekts wurde mit dem *AnalysisTool* ein solches Werkzeug realisiert. 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. 3) 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

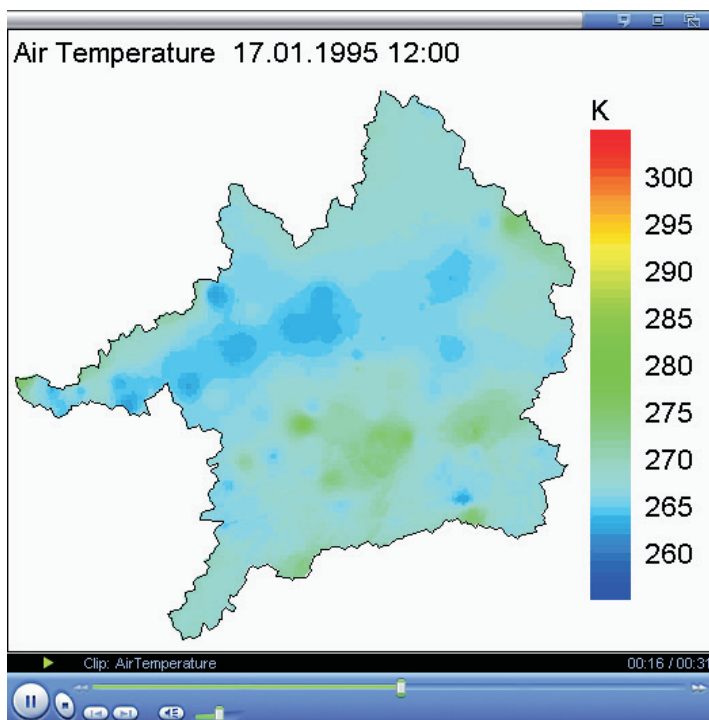


Abb. 3: Darstellung der mittleren täglichen Lufttemperatur im Einzugsgebiet

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. 4).

Um die Qualität modellierter Abflüsse nachzuweisen, bietet das entwickelte Tool gebräuchliche statistische Maße an, welche die Abweichungen zu realen 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.

Abbildung 5 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 4 und 5 auch im HTML-Format ausgegeben werden. Daraus lässt sich eine Website generieren, welche bequem über das Internet mit einem Browser erreichbar ist.

Momentan sind die Analysefunktionen der Software über Konsolenaufruf erreichbar, so dass eine große Menge von sukzessiven Verarbeitungsschritten als Batch-Prozess zusammengefasst werden kann. Desweiteren wurde eine graphische Benutzeroberfläche implementiert, welche die Handhabung erleichtert.

Um die technische Zusammenarbeit zwischen den Teilgruppen zu erleichtern, wurde die Software auf einem zentralen Server in das Versionierungssystem Subversion eingepflegt. Dadurch wird den Interessenten die Möglichkeit gegeben einzelne Teilmodule ihren Wünschen anzupassen, oder eigene Module hinzuzufügen. Nachdem die Software im Laufe der zweiten Phase rege genutzt wurde, haben Erfahrungen gezeigt, daß durch den modularen Aufbau und die Verwaltung durch das Versionierungssystem Entwickler sehr leicht Änderungen vornehmen und neue Implementierungen hinzufügen können. Daher wird erwartet, daß durch die klare Strukturierung der Software ein fließender Übergang in die dritte Projektphase geschaffen wurde, wenn der DANUBIA-Quellcode veröffentlicht wird.

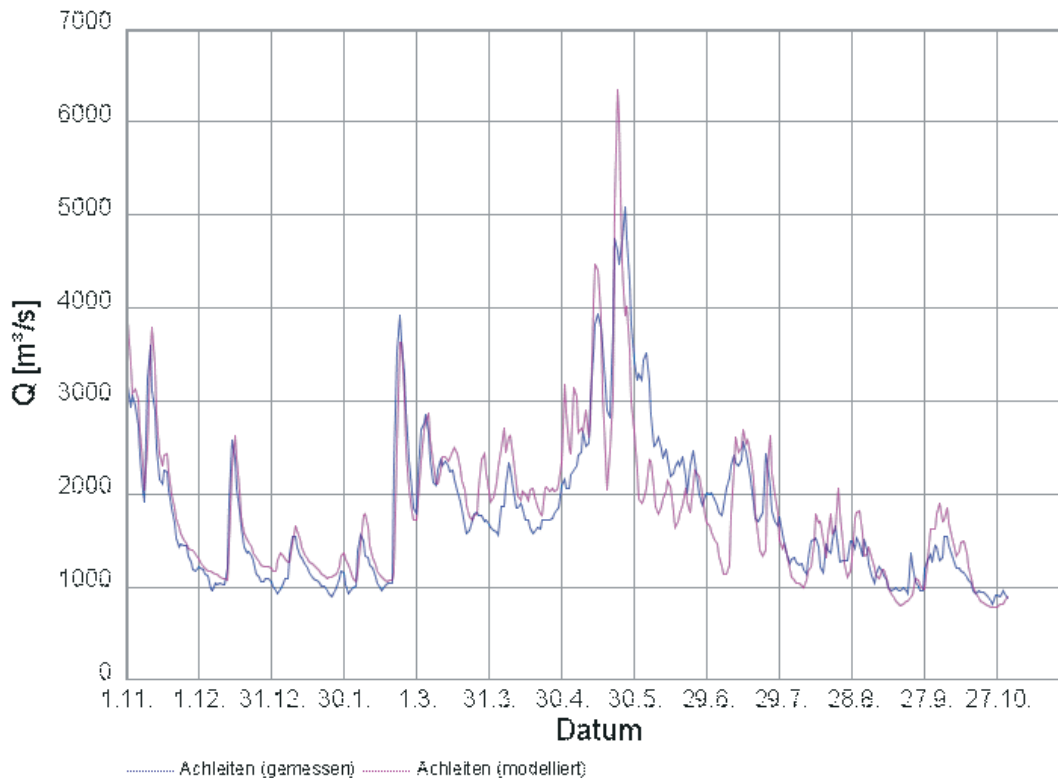


A <sub>Eo</sub> : 76653 km <sup>2</sup> PNP: NN + 288 m Lage: 2223 km		Pegel: Achleiten Gewässer: Donau Gebiet: Donau												
Tageswerte	Tag	2035		2036										
		Nov	Dez	Jan	Feb	Mae	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	
	1	1715	1235	1127	1427	1844	1498	2153	1123	1027	1906	1178	2364	
	2	1552	1190	1098	1814	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	1883	
	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		
		Winter	Sommer	Jahr
	NQ [m <sup>3</sup> /s]	1187	1148	1148
	MQ [m <sup>3</sup> /s]	1439	1628	1533
	HQ [m <sup>3</sup> /s]	2376	4468	4468
	Nq [l/s*km <sup>2</sup> ]	15	15	15
	Mq [l/s*km <sup>2</sup> ]	19	21	20
	Hq [l/s*km <sup>2</sup> ]	31	58	58
2001 - 2036				
	NQ [m <sup>3</sup> /s]	1019	846	846
	MNQ [m <sup>3</sup> /s]	1459	1253	1220
	MQ [m <sup>3</sup> /s]	1466	1595	1530
	MHQ [m <sup>3</sup> /s]	4045	4455	5037
	HQ [m <sup>3</sup> /s]	8193	8246	8246
	MNq [l/s*km <sup>2</sup> ]	19	16	16
	Mq [l/s*km <sup>2</sup> ]	19	21	20
	MHq [l/s*km <sup>2</sup> ]	53	58	66

Abb. 4: Aufbereitete Abflussdaten nach Vorbild des Gewässerkundlichen Jahrbuchs

# 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

## 8. 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 erneut in die Hardware des Linux-Cluster investiert. Angesichts des Preis-Leistungsverhältnisses und der Flexibilität wurden weitere 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 und getestet. Damit kann die effektive Rechenleistung des DANUBIA-Gesamtsystems nun weiter gesteigert werden. Zusätzlich wurde das interne Netzwerk des Linux-Cluster aktualisiert und ein Gigabit-Switch einschließlich der notwendigen Netzwerkkarte für den Zentral-

knoten sowie Verkabelung angeschafft und installiert. Damit konnten bestehende Engpässe in der Netzwerk-kommunikation beseitigt werden.

Auf dem kompletten Linux-Cluster ist SuSE Enterprise Desktop 9 (SLED 9) installiert worden. Darüber hinaus erfolgte die Einrichtung einer zentralen Benutzerverwaltung. Dies wurde mit OpenLDAP umgesetzt.

Die Satellitendaten-Empfangsstation wurde erfolgreich für den Empfang, die Verarbeitung und Archivierung der MSG-Daten aufgerüstet und auf dem neuesten Stand gehalten. Auch ein reibungsloser Empfang von MERIS-Daten konnte sichergestellt werden. Die empfangenen Daten stehen allen Projektteilnehmern zur Verfügung. Zudem wurde der Empfang des DWDSat-Datenstromes ermöglicht. Die gewünschten Daten können auf andere Arbeitsstationen übertragen werden.

## **9. Vergabe von Aufträge an Dritte und kostenneutrale Verlängerung**

Die Bereiche der ordnungspolitischen und institutionellen Entwicklung sowie und Abschätzung der Entwicklung der Wassertechnologien sind als Teilprojekte nicht in GLOWA-Danube vertreten. Zur Ermittlung der politischen, institutionellen sowie der technologischen Rahmenbedingungen für den Szenario-Lauf 2025-2030 sollten Aufträge an Experten vergeben werden, die mögliche und wahrscheinliche Entwicklungspfade im Bereich Technologie und Politik bis zum Jahr 2025 formulierten. Allerdings wurden für die Vergabe der Gutachten über Politik und Technologie keine Partner mit hinreichender Kompetenz gefunden, die den Anforderungen von GLOWA-Danube in hinreichender Weise Genüge hätten tun können.

Auch für die Erstellung des Multimediadokuments in Form einer Videosequenz konnte sich kein geeigneter Partner finden, der den hohen Qualitätsansprüchen des Projektes genügt hätte. Die dadurch verbliebenen Restmittel ermöglichten dafür die kostenneutrale Verlängerung des Gesamtprojektes bis 31. April 2007.

Im Rahmen der kostenneutralen Verlängerung konnten durch Einsparungen in einzelnen Teilprojekten, finanzielle Engpässe anderer Projekte ausgeglichen werden (u.a. Grundwasser, Uni Stuttgart; Glaziologie, Uni Innsbruck; Meteorologie, Uni Mainz). Die zentrale Koordination dieser finanziellen Belange oblag ebenfalls dem Teilprojekt Koordination.

## **10. Literatur**

SPRENGER, R.-U., WACKERBAUER, J. und WIELAND, S. (2007): Entwicklung und Anwendung eines Verfahrens zur informellen Beteiligung von Stakeholdern im Rahmen von GLOWA-Danube (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. Organisation

### 1.1 Kurzbeschreibung des Teilprojektes

Zentrale Aufgabe des Teilprojekts Informatik ist die Entwicklung des integrativen Simulations- und Entscheidungsunterstützungssystems DANUBIA. Die Architektur des DANUBIA-Systems ist in Abbildung 1 dargestellt.

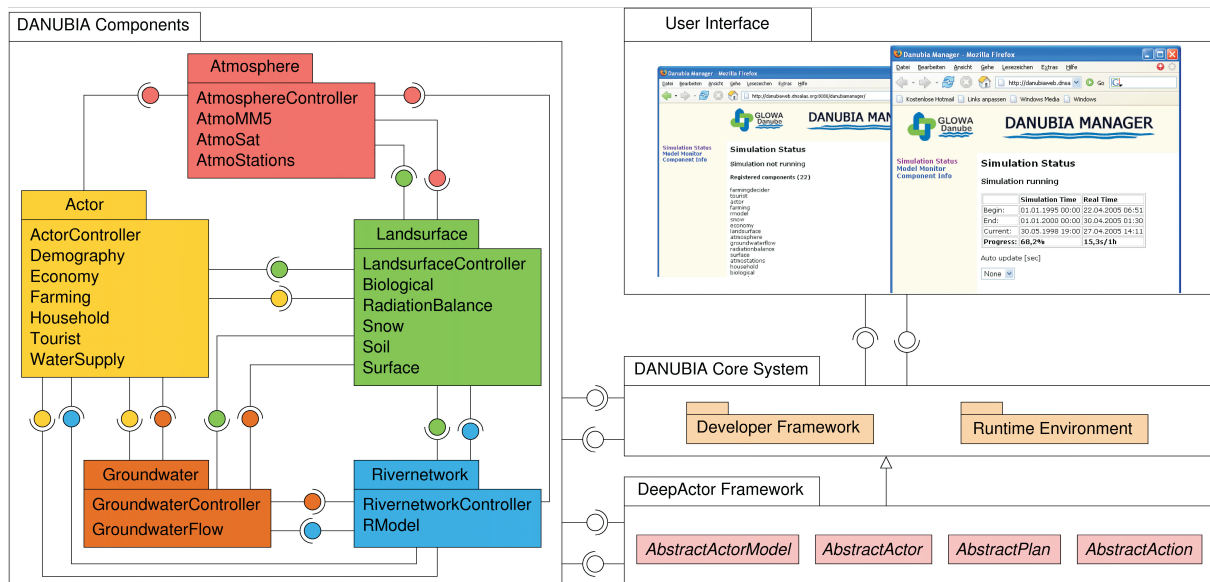


Abb. 1: Architektur des DANUBIA-Systems

Das System besteht aus vier Hauptkomponenten, die über Schnittstellen miteinander verbunden sind. 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, sowie 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.

Folgende grundlegende Arbeiten wurden von der Gruppe Informatik im Berichtszeitraum durchgeführt:

- Realisierung einer Web-basierten Systemoberfläche als Instrument zur Entscheidungsunterstützung (vgl. Kap. 2.2),

- Entwicklung eines Multiakteurskonzepts zur Modellierung und Simulation sozio-ökonomischer Akteure sowie Implementierung in dem *DeepActor-Framework* (vgl. Kap. 2.3),
- Erweiterung und Restrukturierung des DANUBIA-Kernsystems zur flexiblen Einbindung zusätzlicher Funktionalitäten (vgl. Kap. 2.4),
- Durchführung von Qualitätssicherungsmaßnahmen (u.a. formale Spezifikation der zeitlichen Koordination von Simulationsmodellen und von Schnittstellen; vgl. Kap. 2.5),
- 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. Jahresbericht 2005 (INFORMATIK 2005)).

Des Weiteren hat die Gruppe Informatik kontinuierlich die einzelnen Fachgruppen bei der Entwicklung ihrer Simulationsmodelle und deren Integration in das *DANUBIA-Framework* (einschl. *DeepActor-Framework*) unterstützt und technische Wartungsarbeiten (z.B. die Umstellung auf die neue Java Version 1.5) übernommen.

## **1.2 Personal**

### **1.2.1 Wissenschaftler**

Für die Durchführung des Projektvorhabens wurden die zugewiesenen Personalstellen 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: 01.03.2004-30.04.2007, 1 BAT IIA Stelle
- Dipl.-Phys. Andreas Kraus: 01.08.2004-30.04.2007, 1/2 BAT IIA Stelle
- Dipl.-Inf. Stephan Janisch: 01.03.2004-31.07.2004, 1 BAT IIA Stelle
- Dipl.-Inf. Stephan Janisch: 01.08.2004-30.04.2007, 1/2 BAT IIA Stelle
- Dipl.-Inf. Michael Barth: 01.04.2005-30.09.2005, 1/3 BAT IIA Stelle
- Dr. M. Birna van Riemsdijk: 01.09.2006-28.02.2007, 1 BAT IIA Stelle

### **1.2.2 Wissenschaftliche Hilfskräfte**

Wissenschaftliche Hilfskräfte wurden für Modellierungsaufgaben, für Programmierarbeiten am DANUBIA-System und zur Erstellung von begleitenden Dokumentationen zur Systementwicklung eingesetzt. Als wissenschaftliche Hilfskräfte waren im Berichtszeitraum tätig: Herr Simon Brodt, Herr Thomas Hubauer, Herr Michael Maier, Herr Heribert Mühlberger und Herr Max Zeumer.

## **1.3 Anschaffungen**

Zu Demonstrationszwecken auf Projektreffen, Workshops und Konferenzen wurde ein Notebook angeschafft:

- 1 MEDION Notebook MD 95400, 1.299,00 Euro.

## 1.4 Veranstaltungen

### 1.4.1 Projekttreffen

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

#### 2004

- 17.-19.03.2004 GLOWA-Danube-Workshop (Entwicklertreffen), München (Hennicker, Janisch, Ludwig)
- 31.05.-04.06.2004 GLOWA-Danube Klausurtagung, Frauenchiemsee (Hennicker, Janisch, Ludwig)
- 16.-17.09.2004 GLOWA-Danube-Workshop, München (Janisch, Kraus, Ludwig)
- 11.10.2004 Projektleitertreffen, München (Hennicker)
- 12.10.2004 Entwicklertreffen, München (Institut für Informatik) (Hennicker, Janisch, Kraus, Ludwig)
- 12.07., 04.08., 10.12. Verschiedene *DeepActors* Arbeitstreffen mit Vertretern des Teilprojekts Koordination und der sozioökonomischen Teilprojekte Umweltpsychologie und Wasserversorgung/Grundwasserwirtschaft in Stuttgart und Kassel (Janisch, am 10.12. auch Hennicker)

#### 2005

- 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 *DeepActors* Arbeitstreffen mit Vertretern der sozioökonomischen Teilprojekte (Umweltpsychologie, Grundwasserwirtschaft/Wasserversorgung, Umweltökonomie, Tourismusforschung, Agrarökonomie) in München, Kassel und Stuttgart (Janisch)

## 2006

- 13.05.2006 Arbeitstreffen des Lenkungsausschusses von GLOWA-Danube, München (Hennicker)
- 19.05.2006 Projektleitertreffen, München (Hennicker)
- 17.07.2006 Arbeitstreffen mit Vertretern der Gruppen Agrarökonomie, Glaziologie und Pflanzenökologie (Agrarökosysteme) zum Thema „Veränderliche Landnutzung in DANUBIA“, Stuttgart-Hohenheim (Ludwig)
- 09.11.2006 Arbeitstreffen mit Vertretern der Gruppen Umweltpsychologie, Umweltökonomie, Tourismusforschung, Agrarökonomie und Grundwasserwirtschaft/Wasserversorgung zum Thema „Szenarienrechnungen mit *DeepActor*-Modellen“, Stuttgart (Janisch).

Neben den genannten Treffen haben Mitarbeiter der Gruppe Informatik an zahlreichen bilateralen Treffen in München, insbesondere mit der Projektgruppe Hydrologie/Fernerkundung, teilgenommen.

### 1.4.2 Konferenzen und Forschungsaufenthalte

Mitglieder der Gruppe Informatik haben an folgenden internationalen Veranstaltungen teilgenommen, bei denen für GLOWA-Danube relevante Forschungsthemen behandelt wurden. Dabei wurde jeweils in eigenen wissenschaftlichen Vorträgen oder in Diskussionen über die Forschungsergebnisse der Gruppe berichtet.

- 19.03.-02.04.2005 Forschungsaufenthalt an der Ecole Normale Supérieure de Cachan, Frankreich, mit Vortrag über „Property-Driven Development of a Coordination Model for Distributed Simulations“ (Hennicker, R.).
- 15.-17.06.2005 Teilnahme an der Internationalen Konferenz über „Formal Methods for Open Object-Based Distributed Systems (FMOODS 2005)“, Athen, Griechenland, mit Vortrag über „Property-Driven Development of a Coordination Model for Distributed Simulations“ (Hennicker, R., Ludwig, M.).
- 17.-21.10.2005 Teilnahme an dem Internationalen Kolloquium über „Theoretical Aspects of Computing“ (ICTAC’05), Hanoi, Vietnam, mit Vortrag über „Externalized and Internalized Notions of Behavioral Refinement“ (Hennicker, R.).
- 24.-25.10.2005 Teilnahme am Internationalen Workshop über „Formal Aspects of Component Software“ (FACS’05), Macao, mit eingeladenem Vortrag über „A Component Model for Architectural Programming“ (Hennicker, R.).
- 24.-26.03.2006 Teilnahme an der internationalen Konferenz „MODELLIERUNG 2006 (MOD’06)“, Innsbruck, Österreich, mit Vortrag über „Design and Implementation of a Coordination Model for Distributed Simulations“ (Hennicker, R., Ludwig, M.).
- 21.02.+02.08.2006 Vorträge über „DANUBIA“ beim Arbeitskreis „Software Engineering Live“ der GI/GChACM Regionalgruppe München, 21.02.2006, sowie beim Seminar der Siemens Corporate Technology am 02.08.2006 (Hennicker, R.).

- 08.03.+11.04.2006 Vorträge über „A Component Model for Architectural Programming“ beim Department für Software Engineering, Karls-Universität Prag, 08.03.2006, sowie beim französischen Forschungsinstitut INRIA, Sophia-Antipolis, 11.04.2006 (Hennicker, R.).
- 20.-22.09.2006 Teilnahme am Internationalen Workshop über „Formal Aspects of Component Software“ (FACS’06), Prag, Mitglied des Programmkomitees (Hennicker, R.).
- 11.-14.10.2006 Teilnahme an Deutsch-Chinesischen Symposium „On Integrated Ecosystem Assessment and Comprehensive Watershed Management of Poyang Lake Basin“, Nanchang, China, mit Vortrag über „DANUBIA: A System for Integrated Modelling of Environmental Processes in GLOWA-Danube“ (Janisch, S.).
- 11.-12.12.2006 Organisation und Teilnahme am Workshop der MDWenet-Gruppe (Model Driven Web Engineering Network) an der Ludwig-Maximilians-Universität München (Hennicker, R., Kraus, A.).
- 27.02.2007 Vorstellung des DANUBIA-Kernsystems an der Technischen Universität Braunschweig (Hennicker, R.).

## 1.5 Veröffentlichungen

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

- BARTH, M., HENNICKER, R., KRAUS, A. und LUDWIG, M. (2004): DANUBIA: An Integrative Simulation System for Global Change Research in the Upper Danube Basin. In: *Cybernetics and Systems*, 35(7-8), S. 639-666.
- 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.
- 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, Abstracts of the European Geosciences Union General Assembly. Vienna, Austria.
- BAUMEISTER, H., HACKLINGER, F., HENNICKER, R., 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. 160, S. 75-96.
- BIDOIT, M. und HENNICKER, R. (2005): Externalized and Internalized Notions of Behavioural Refinement. In: DANG VAN HUNG and WIRSING, M. (eds.): *Proc. ICTAC 2005, 2nd Int. Colloq. on Theoretical Aspects of Computing*, 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*, Koblenz, Fälbach, S. 158-164.
- ERNST, A., SCHULZ, C., SCHWARZ, N. und JANISCH, S. (2007): Modeling of Water Use Decisions in a Large, Spatially Explicit Coupled Simulation System. To appear in: B. EDMONDS, C.H. Iglesias, and K.G. TROITZSCH (eds.), *Social Simulation: Technologies, Advances and New Discoveries*, Idea Group Inc.



- 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. and ZAVATTARO, G. (eds.): Proc. FMOODS 2005, 7th Int. Conf. on Formal Methods for Open Object-Based Distributed Systems, Athens, Springer Lecture Notes in Computer Science 3535, S. 290-305.
- HENNICKER, R. und LUDWIG, M. (2006): Design and Implementation of a Coordination Model for Distributed Simulations. In: MAYR, H.C. und BREU, R. (Hrsg.): Proc. Modellierung 2006 (MOD'06) Bd. P-82, Gesellschaft für Informatik (Lect. Notes Informatics), S. 83-97.
- 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.
- KRAUS, A., KNAPP, A. und KOCH, N. (2007): Model-Driven Generation of Web Applications in UWE. In: Proc. of 7th International Conference on Web Engineering (ICWE 2007), Como, Italy, eingereicht.

### **Diplomarbeiten, Fortgeschrittenenpraktika und technische Berichte**

- MIRTICHEV, B. (2005): Spezifikation und Implementierung einer Recovery-Funktionalität für verteilte Umweltsimulationen. Projektarbeit, Institut für Informatik, Ludwig-Maximilians-Universität München.
- BRACK, A. (2006): Verwaltung der Landnutzung in DANUBIA - der Unified Process angewendet, Diplomarbeit, Institut für Informatik, Ludwig-Maximilians-Universität München.
- LANGNER, A. (2006): Sensoren im *DeepActor-Framework*. Projektarbeit, Institut für Informatik, Ludwig-Maximilians-Universität München.
- JANISCH, S. (Dez. 2005, Jan. 2006, Jul. 2007): *DeepActor-Framework* Reference Manual.
- JANISCH, S. (Jan. 2006): Spezifikation und Implementierung von DANUBIA-Schnittstellen.
- JANISCH, S., KRAUS, A. und LUDWIG, M. (Jan. 2006): Versioning, Delivery and Distribution of DANUBIA-Components.
- JANISCH, S. (Aug. 2006): Dynamische Planverwaltung - Erläuterungen zur *DeepActor-Framework* Release 1.2.0.
- JANISCH, S. und LUDWIG, M. (Nov. 2006): Design, Implementation, Delivery and Deployment of Resource-Intensive Simulation Models in DANUBIA.
- KRAUS, A. und JANISCH, S. (Okt. 2004): DANUBIA - Anleitung zur Performanceoptimierung.
- LUDWIG, M. (Sep. 2004): DANUBIA - Kernsystem.
- LUDWIG, M. (Jan 2006): Datentypen und Datentabellen in DANUBIA.

## 2. Ergebnisse

### 2.1 Formulierte Ziele der Zweiten Förderphase

Aufbauend auf dem in der ersten Förderphase entwickelten Prototypen von DANUBIA als einem Modellverbund zur Durchführung gekoppelter Simulationen wurden im Projektantrag für die zweite Förderphase folgende wesentliche Ziele genannt und wie im Folgenden beschrieben umgesetzt:

- **Ausbau von DANUBIA zu einem entscheidungsunterstützenden System:** Als Instrument zur Entscheidungsunterstützung wurde eine Web-basierte Benutzeroberfläche geschaffen, mit deren Hilfe u.a. Szenarien definiert sowie Simulationen konfiguriert und ausgeführt werden können. Hierzu wurde im Rahmen einer mit sehr gutem Erfolg abgeschlossenen Dissertation (KRAUS 2007) eine im Projektantrag als sektorale Zielsetzung genannte Methode zur modellgetriebenen, automatisierten Erzeugung von Web-Anwendungen aus UML Modellen entwickelt, implementiert und für die Erzeugung der DANUBIA-Web Applikation angewendet.
- **Multiakteurskonzept:** Zur Modellierung und Simulation sozioökonomischer Akteure wurde ein Konzept entwickelt, das die grundlegenden Eigenschaften aller in GLO-WA-Danube modellierten Akteure (wie z.B. Landwirte, Touristen, Wasserversorger, Haushalte) beschreibt und durch Spezialisierung auf konkrete Akteure in den sozioökonomischen Modellen realisiert werden kann. Das Multiakteurskonzept beinhaltet die Behandlung von Entscheidungsprozessen tiefer Akteure und ist in dem geschaffenen *DeepActor-Framework* implementiert, das von allen sozialwissenschaftlichen Teilprojekten verwendet wird,
- **Qualitätssicherung:** Die bereits in der ersten Förderphase eingehaltene objektorientierte Entwicklungsmethodik stellt eine konstruktive Qualitätssicherungsmaßnahme dar, die in mehrfacher Hinsicht ergänzt wurde. Einerseits wurde die objektorientierte Methodik auf einen komponenten-orientierten Ansatz erweitert, der die Flexibilität von Systemmodifikationen, z.B. bei Hinzunahme zusätzlicher Funktionalitäten, und die Systemwartbarkeit unterstützt. Die komponenten-orientierte Methodik bezieht, wie im Projektantrag als sektorales Ziel formuliert, verschiedene Systemsichten mit ein. Andererseits wurde der für die Zuverlässigkeit von DANUBIA essentiell wichtige Mechanismus zur zeitlichen Koordination gekoppelter Simulationen mit Methoden der Prozessalgebra formal spezifiziert und verifiziert.
- **Die Machbarkeit des im Projektantrag angestrebten Verfahrens zur Fehleranalyse für gekoppelte Systeme wurde analysiert;** eine umfassende Behandlung des Problems hat sich jedoch, insbesondere wegen der vorhandenen Feedback-Schleifen, als zu komplex und im Rahmen der Projektphase nicht durchführbar erwiesen. Statt dessen wurde ein Format zur Spezifikation der Schnittstellen zwischen Simulationsmodellen geschaffen, das es erlaubt, die Kompatibilität von Export- und Importschnittstellen zu überprüfen und damit die Qualität der ausgetauschten Daten unterstützt.

### 2.2 Realisierung einer Web-basierten Systemoberfläche

Zentral für DANUBIA in der Rolle eines Entscheidungs-Unterstützungssystems ist der Begriff des Umweltprojekts als Kontext zur Untersuchung von Szenarien. Im Berichtszeitraum wurden, ausgehend von einer in der ersten Projektphase durchgeführten Anwendungsfall-Analyse, die grundsätzlichen Anforderungen und Begriffe analysiert sowie ein Fachmodell zur Verwaltung von Umweltprojekten entworfen, das mit Methoden und Techniken des Model-Driven Web-Engineering in einer Web-Applikation (DANUBIA Manager) implementiert wurde. Abbildung 2 zeigt das Ergebnis der Analyse der statischen Struktur des Fachmodells und Abbildung 3 Screenshots der resultierenden Webschnittstelle. Dabei wurden sowohl die Ergebnisse der Anwendungsfall-Analyse (INFORMATIK 2004, S.8ff) als auch die Ergebnis-

se eines Arbeitstreffens mit Vertretern der Projektgruppen Hydrologie/Fernerkundung und Umweltpsychologie zum Thema „DANUBIA-Benutzerschnittstelle“ berücksichtigt und integriert.

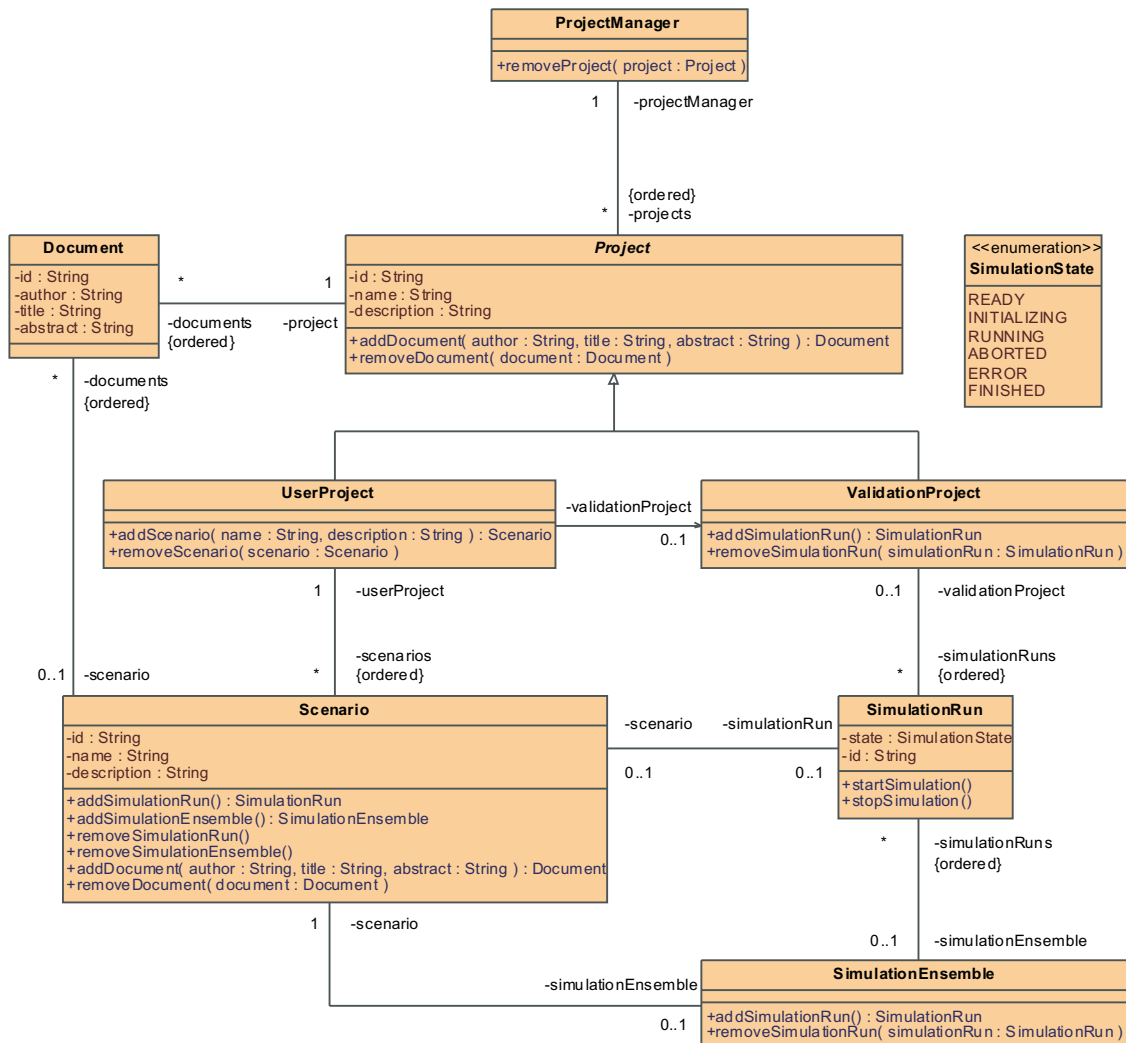


Abb. 2: Projektverwaltung in DANUBIA

Ein Umweltprojekt (Project) umfasst eine Menge von Dokumenten (Document), die verschiedenste Informationen zum Projektinhalt bereitstellen. Dazu gehören beispielsweise Gesamtzielsetzung oder Rahmenbedingungen für Simulationsläufe.

In DANUBIA werden Benutzer- und Validierungsprojekte (UserProject, ValidationProject) unterschieden. Erstere dienen der Untersuchung von Fragestellungen der Form:

- Wie ändert sich die Häufigkeit des Auftretens von Extremabflüssen am Pegel P in den nächsten 100 Jahren?
- Wie verändert sich der Wasserverbrauch der Haushalte in Abhängigkeit von der Bevölkerungszahl?

Mögliche Antworten beziehen sich immer auf einen Vergleich berechneter Ergebnisse bezüglich einer Menge von Szenarien (Scenario). Im ersten Fall könnten Szenarien mit verschiedenen abgestuften Temperaturerhöhungen in den nächsten 100 Jahren, im zweiten Fall Szenarien mit sinkender, gleichbleibender und steigender Bevölkerung verglichen werden. Ein Szenario basiert damit auf einer speziellen Annahme, die durch eine informelle Beschreibung im Kontext des Szenarios (description) festgehalten wird. Für jedes Szenario



wird ein Simulationslauf (SimulationRun) oder ein Ensemble (SimulationEnsemble) von Simulationsläufen ausgeführt. Ein Ensemble bezeichnet eine Menge statistisch äquivalenter Simulationsläufe und ist damit von einer nicht weiter spezifizierten Menge von Simulationsläufen, beispielsweise im Kontext eines Szenarios, zu unterscheiden.

Um festzustellen ob DANUBIA eine gegebene Fragestellung mit hinreichender Genauigkeit beantworten kann, werden Validierungsprojekte (ValidationProject) verwendet und dem entsprechenden Benutzerprojekt zugeordnet. Beispielsweise lässt sich ein Validierungsprojekt mit Simulationsläufen über den Zeitraum 1990-2000 durchführen, um die Anzahl der real gemessenen Extremabflussereignisse mit den berechneten Ergebnissen zu vergleichen.

Die vollständige Implementierung des DANUBIA Manager wurde weitgehend automatisch aus dem in Abbildung 2 gezeigten Fachmodell sowie hier nicht erläuterten Navigations-, Prozess- und Präsentationsmodellen erzeugt. Details hierzu sind in (KRAUS 2007) ausführlich beschrieben. Abbildung 3 zeigt beispielhaft einige Screenshots der Anwendung.

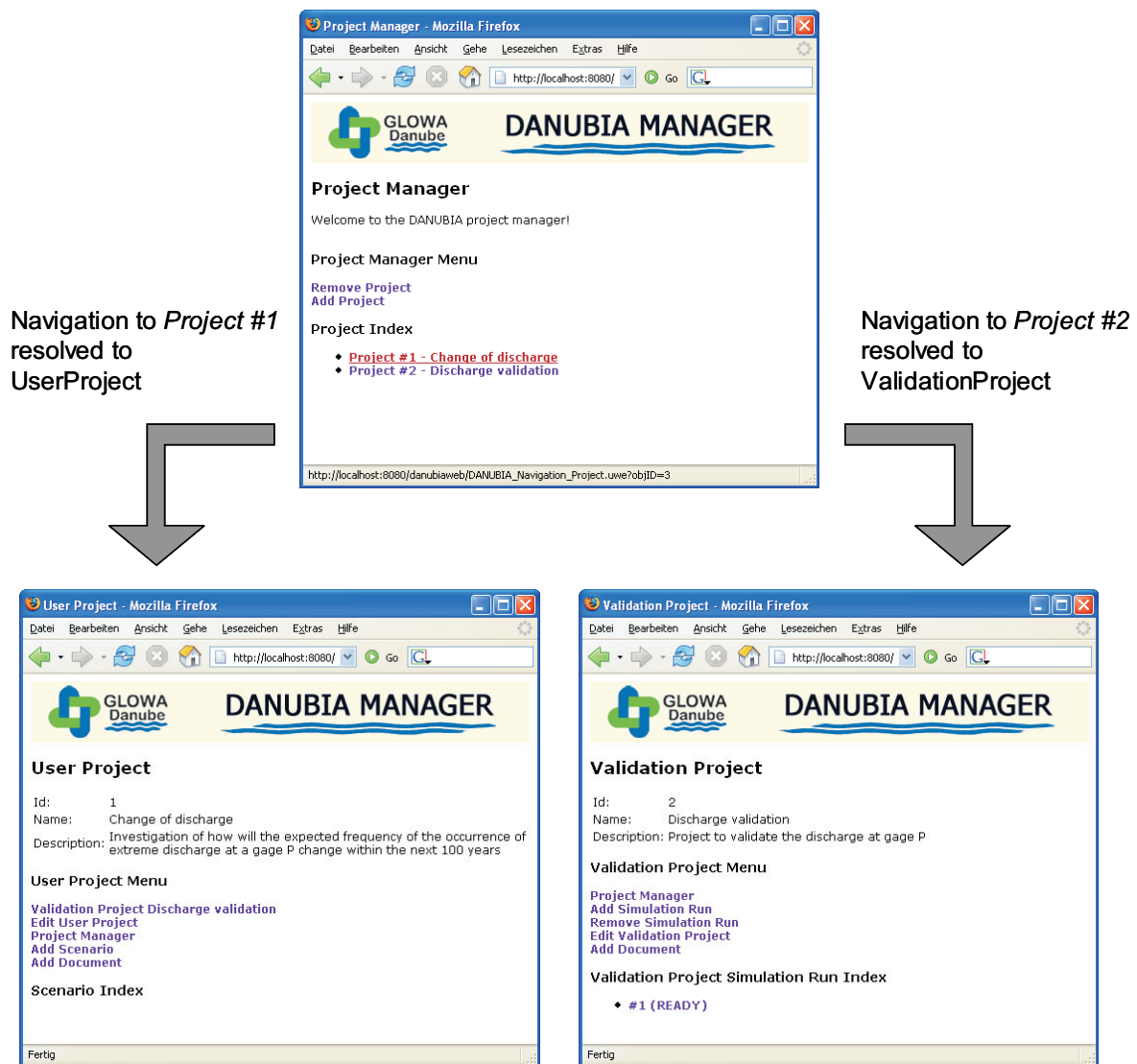


Abb. 3: Screenshots DANUBIA Manager - Verwaltung von Umweltprojekten

Die Implementierung wird gegenwärtig mit der im Jahresbericht 2005 (INFORMATIK 2005) beschriebenen Schnittstelle zur Systemverwaltung integriert. Zur Systemverwaltung gehört eine Möglichkeit zur Verwaltung der DANUBIA-Simulationskomponenten, der globalen Eingabedaten und der Ergebnisdaten sowie eine Anbindung an das DANUBIA-Kernsystem zur Durchführung und Überwachung von Simulationsläufen.

Die Verwaltung der Simulationskomponenten baut auf einem für alle Projektpartner verbindlichen Standard zur Abgabe der Simulationskomponenten auf. Das Format umfasst ein einheitliches Versionierungsschema sowie Namenskonventionen und Strukturvorgaben für Konfigurationsdaten, Eingabedaten und Quellcode-Archive der Simulationsmodelle. Details hierzu finden sich im Jahresbericht (INFORMATIK 2005) und der Entwickler-Dokumentation (JANISCH, KRAUS und LUDWIG 2006).

## 2.3 Multiakteurskonzept und DeepActor-Framework

Ein wesentliches Ziel der zweiten Projektphase war die Entwicklung und Umsetzung eines abstrakten Multi-Akteurskonzepts zur direkten Unterstützung von Modellierung und Simulation wasserbezogener Entscheidungsprozesse durch die sozioökonomischen Disziplinen in GLO-WA-Danube. Der hierfür konzipierte Ansatz zur agentenbasierten Simulation, im Folgenden bezeichnet als *DeepActor*-Ansatz (manchmal auch allgemeiner als „Multiakteurs-Ansatz“), liefert eine einheitliche abstrakte Gesamtsicht auf grundlegende Akteurseigenschaften, die von verschiedenen Simulationsmodellen verschieden konkretisiert werden können. Nachfolgend werden Konzeption sowie deren Implementierung im Rahmen eines generischen *Java-Frameworks* (*DeepActor-Framework*) kurz erläutert. Das *Framework* ist vollständig in DANUBIA eingebunden. Details und ausführlichere Beschreibung finden sich im Jahresbericht 2005 (INFORMATIK 2005). Im Jahresbericht 2006 (INFORMATIK 2006) und im Speziellen in der Entwickler-Dokumentation zum *DeepActor-Framework* (JANISCH 2006).

### 2.3.1 Konzeption der grundlegenden Akteurseigenschaften

Ein Akteur repräsentiert eine zur individuellen Reaktion auf Umweltveränderungen fähige Entität. Reaktionen sind Entscheidungen, die ein Akteur basierend auf seinen grundlegenden Eigenschaften und Präferenzen fällt. Entscheiden bedeutet in diesem Sinne der gegenwärtigen Situation entsprechend aus einer Menge von individuellen Handlungsoptionen eine oder mehrere zur Umsetzung auszuwählen. Der Begriff der gegenwärtigen Situation umfasst den Simulationszeitpunkt, und die zu diesem Zeitpunkt gültige Ausprägung von Umgebung. Letztere umfasst neben sämtlichen Daten und Informationen, die in DANUBIA zur Laufzeit von anderen Modellen berechnet und zur Abfrage bereitgestellt werden, auch modellspezifische, extern dem Akteur gegenüber zu betrachtende Daten wie politische Rahmenbedingungen oder Entscheidungen anderer Akteure des gleichen Simulationsmodells. Aus diesen Betrachtungen ergeben sich eine Reihe gemeinsamer struktureller Eigenschaften die im Folgenden kurz erläutert werden.

Zum Aspekt der räumlichen Auflösung sei daran erinnert (vgl. INFORMATIK 2004), dass der Simulationsraum in DANUBIA über ein km<sup>2</sup>-Raster „proxelweise“ definiert ist. Damit repräsentiert ein Akteur in den meisten Fällen eine gewisse Abstraktion über real existierende Akteure. Beispielsweise wird eine Sinus-Milieu Zuordnung für Privathaushalte prozentanteilig je Proxel modelliert. Für ein gegebenes bewohntes Proxelobjekt modelliert ein Akteursobjekt den Anteil konservativ orientierter Haushalte und ein anderes Akteursobjekt beispielsweise den Anteil von Postmaterialisten.

Abbildung 4 zeigt die zentralen Aspekte des *DeepActor*-Ansatzes. Eine Modellklasse *Actor-Model* verbindet einerseits die Modellierungskonzepte des Ansatzes mit den bereits durch DANUBIA vorgegebenen Konzepten zu Raum (Proxel), Zeit (timestep, processGetData...) und Datenaustausch (Export/ImportInterface) und andererseits referenziert und verwaltet das Modell eine Menge von Akteuren (Actor). Durch die Einbindung in DANUBIA lässt sich ein *DeepActor*-Modell wie jedes andere DANUBIA-Modell über Schnittstellen und einen modellspezifischen Zeitschritt in den DANUBIA-Verbund von Simulationsmodellen einfügen.

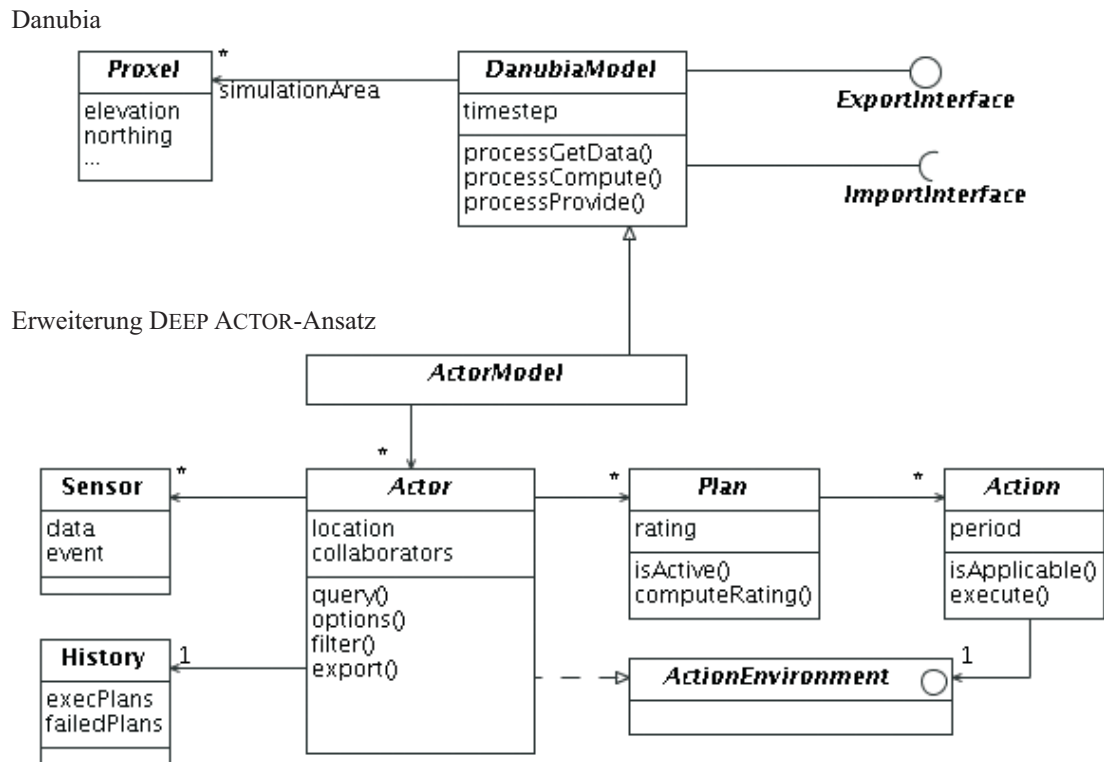


Abb. 4: Konzepte des *DeepActor*-Ansatzes im Überblick

Ein Akteur verfügt über eine räumliche Auflösung (`location`) und definiert optional eine Menge anderer Akteure des gleichen Simulationsmodells zur Kollaboration (`collaborators`). Eine explizite räumliche Auflösung erlaubt u.a. den proxelbasierten Datenaustausch mit anderen DANUBIA-Modellen; Referenzierung anderer Akteure ermöglicht beispielsweise die Simulation sozialer Netzwerke. Handlungsoptionen eines Akteurs werden durch Pläne repräsentiert, die ihrerseits aus Mengen von Aktionen bestehen. Letztere modellieren explizit Änderungen am Zustand des ausführenden Akteurs oder der durch die räumliche Definition des Akteurs referenzierbaren Proxel. Die Sensoren dienen der „Beobachtung der Umgebung“ durch das Einlesen von Daten (`data`) oder die Benachrichtigung von Ereignissen (`event`). Ereignisse modellieren eine modell- oder auch akteurspezifische Interpretation über Daten. Schließlich verfügen Akteure über eine `History`, die es erlaubt, Entscheidungen vorangegangener Zeitschritte in den gegenwärtigen Entscheidungsprozess zu integrieren.

Die konkrete Planauswahl kann durch beliebig komplexe Entscheidungsalgorithmen über den nachfolgend erläuterten Schritten `query`, `options`, `filter` und `export` implementiert werden:

1. `query`: Ein Akteur verwendet Sensoren zur „Wahrnehmung“ der Umgebung
2. `options`: Vorabauswahl der relevanten Handlungsoptionen (Pläne)
3. `filter`: Definitive Auswahl und Aktivierung der auszuführenden Pläne
4. `export`: Explizite Bereitstellung von Information für andere Akteure (`collaborators`)

Die Unterscheidung von `options` und `filter` in der Planauswahl eines Akteurs ermöglicht die Implementierung von einfach prioritätsbasierten Entscheidungsalgorithmen, als auch solcher, die auf einer Multiattribute Utility Theory (NORVIG und RUSSELL 2003) aufbauen. Hierzu lässt sich eine Planbewertung (`rating`) verwenden, die zwischen den Schritten 2 und 3 für jede Entscheidung neu berechnet wird. Daneben wird mit einer Zuordnung von Aktionen zu Simulations-Zeiträumen (`period`) oder anderer akteursunabhängiger Rahmenbedingungen (`isApplicable`) ein Konzept zur Unterscheidung erfolgreicher gegenüber gescheiterter Planausführung unterstützt.

### 2.3.2 DeepActor-Framework

Die eben beschriebenen Konzepte des *DeepActor*-Ansatzes wurden durch ein generisches Java-Framework als Erweiterung des DANUBIA Entwickler-Frameworks implementiert. Die *Framework*-Komponenten einer hierarchisch angeordneten Architektur ergeben sich dabei im Wesentlichen direkt aus der in Abbildung 4 illustrierten Konzeption. Als exemplarisches Beispiel zeigt Abbildung 5 die externe Sicht (vgl. Kap. 2.4) der Komponente *Actor*.

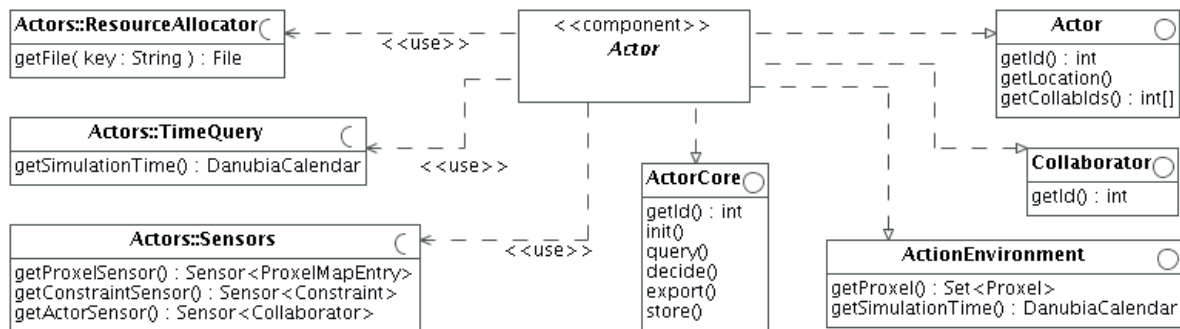


Abb. 5: Externe Sicht zur Komponente *Actor*

Die jeweilige Implementierung der Komponenten (interne Sicht) beinhalten abstrakte Basisklassen, die von konkreten Simulationsmodellen als Ausgangspunkt zur Implementierung des Modells verwendet werden. Die Menge aller Basisklassen zusammen mit den jeweils vorgegebenen Beziehungen untereinander bildet dann ein rein objektorientiertes Entwickler-Framework. Abbildung 6 zeigt das entsprechende Grundgerüst von Basisklassen und Schnittstellen im *DeepActor*-Framework. Man beachte, dass die gezeigten Elemente durch die Schnittstellen der Komponenten (z.B. Schnittstelle *Actor* aus Abb. 5) zueinander in Beziehung gesetzt werden. Abbildung 6 ist also nicht mit einer Architektursicht für das *Framework* im Sinne von Kapitel 2.4 zu verwechseln.

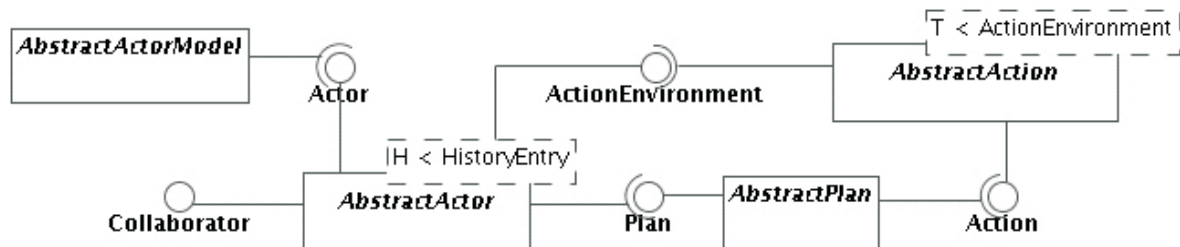


Abb. 6: Basisklassen und Schnittstellen im *DeepActor*-Framework

### 2.3.3 Performanzverbesserung durch dynamische Planverwaltung

Die *DeepActor*-Modelle *Household* und *Farming* überschreiten mit ursprünglich geplanten 100.000 bzw. 250.000 zu simulierenden Akteuren den durch die *Hardware-Konfiguration* des DANUBIA-Clusters bestimmten maximalen Speicherbedarf von gegenwärtig 1.7 GB je Simulationsmodell. Um die gekoppelte Ausführung solcher Modelle dennoch zu ermöglichen, wurde in *Framework* Revision 1.2.0 die statische Verwaltung von Akteursplänen durch eine dynamische Planverwaltung ersetzt. Im statischen Ansatz werden sämtliche Pläne (Objekte) eines Akteurs ungeachtet ihrer jeweiligen Relevanz als tatsächliche Handlungsoption zu Simulationsbeginn erzeugt und bis Simulationsende nicht mehr aus dem Speicher entfernt. Demgegenüber erhält im dynamischen Ansatz jeder Akteur flexible Kontrolle über Erzeugung und Entfernung von Planobjekten, so dass sich der Speicherbedarf in jedem Simulationsschritt auf die tatsächlich relevante Menge von Planobjekten reduzieren lässt.

Konkret wurde das Entwickler-*Framework* um eine Utilityklasse `PlanMap` erweitert, die die erforderliche Dynamik implementiert. Ein Akteur verwendet statt des wie in Abbildung 7 als veraltet markierten Plan-Zugriffs `plans()` die Referenz `planMap()` und erhält auf diese Weise den erforderlichen Zugriff auf zusätzliche Operatoren zur Verwaltung von Planobjekten.

<b>AbstractActor</b>	<b>PlanMap</b>
...	
<<deprecated>> <code>planMap()</code> : <code>DataMap&lt;Plan&gt;</code> <code>plans()</code> : <code>PlanMap</code>	<code>load( planIds : Set&lt;Integer&gt; ) : PlanMap</code> <code>load( planId : int ) : PlanMap</code> <code>retain( planIds : Set&lt;Integer&gt; )</code> <code>retain( planId : int )</code> <code>getPlans()</code> : <code>Collection&lt;Plan&gt;</code> <code>getPlanDataMap()</code> : <code>DataMap&lt;Plan&gt;</code> <P extends Plan> <code>getPlanMapProjection( planType : Class&lt;P&gt; ) : DataMap&lt;P&gt;</code> <code>available()</code> : <code>SortedSet&lt;Integer&gt;</code> <code>loaded()</code> : <code>SortedSet&lt;Integer&gt;</code> <code>retained()</code> : <code>SortedSet&lt;Integer&gt;</code>
...	

Abb. 7: Erweiterungen zur dynamischen Planverwaltung

Um die Performanz-Eigenschaften von Modellen mit dynamischer Planverwaltung zu evaluieren, wurden verschiedene lokale und gekoppelte Simulationsläufe auf einer Dual-CPU Maschine (2x AMD Opteron 248, 2GHz) mit 16 GB Hauptspeicher durchgeführt. Die Evaluierung zeigte unter anderem, dass die *Framework*-Erweiterung die Simulation von bis zu 250.000 Akteuren bei einem Speicherbedarf von 1.7 GB ermöglicht. Details und weitere Ergebnisse hierzu finden sich im Rahmen der Entwickler-Dokumentation (JANISCH 2006).

## 2.4 Erweiterung und Restrukturierung des DANUBIA-Kernsystems

Bei der Entwicklung von DANUBIA wurden verschiedene Entwicklungsprinzipien angewendet, u.a. um die Komplexität des Systems handhaben zu können und Systementwürfe und Implementierungen übersichtlich zu gestalten.

Insbesondere erwies es sich als günstig, charakteristische Aspekte des Systems getrennt zu betrachten, für die einzelnen Aspekte software-technische Lösungen zu erarbeiten und diese Lösungen später zu einem Gesamtsystem zu integrieren. Zu den charakteristischen Aspekten des DANUBIA-Systems zählen unter anderem

- die Behandlung des Simulationsraums,
- die zeitliche Koordination der parallel laufenden Simulationsmodelle während einer integrativen Simulation,
- die Spezifikation des Datenaustauschs zwischen den Simulationsmodellen,
- die Integration von Simulationsmodellen in das Gesamtsystem,
- die Realisierung der Netzwerkverteilung.

Während die Entwicklung der Simulationsmodelle Aufgabe der jeweiligen Teilprojekte ist, besteht eine wesentliche Aufgabe des Teilprojekts Informatik in der Entwicklung, dem Ausbau und der Pflege des DANUBIA-Kernsystems, das sowohl eine Programmierschnittstelle zur Entwicklung von Simulationsmodellen als auch eine Laufzeitumgebung zur Durchführung integrativer Simulationsläufe bereitstellt.

In der zweiten Förderphase bezogen sich die Arbeiten am DANUBIA-Kernsystem einerseits auf die Erweiterung um neue Funktionalitäten, zum Beispiel die Entwicklung einer Komponente zur Verwaltung einer dynamischen Landnutzung (vgl. Jahresbericht 2006), andererseits auf die Konsolidierung des Systems. Dazu wurde das in der ersten Förderphase erstellte objektorientierte Kernsystem unter Verwendung eines komponentenbasierten Ansatzes restrukturiert. Während beim rein objektorientierten Ansatz Klassen und Pakete die einzigen Strukturierungsmerkmale darstellen, kommt beim komponentenbasierten An-



satz die Komponente als Strukturierungsmerkmal hinzu. Eine Komponente zeichnet sich dadurch aus, dass sie mit anderen Komponenten nur über die von ihr angebotenen und benötigten Schnittstellen kommuniziert. Das Gesamtsystem ergibt sich dann aus einer Menge von Komponenten, die über jeweils zueinander passende Schnittstellen kommunizieren. Durch die komponentenbasierte Restrukturierung werden Wartbarkeit und Flexibilität des Systems deutlich erhöht.

Im Zusammenhang mit der Restrukturierung des Systems wurde auch eine Methodik zur Modellierung und Dokumentation komplexer Systeme entwickelt, die insbesondere auf das DANUBIA-Kernsystem angewendet werden kann. Diese Methodik berücksichtigt die Aufteilung des Systems in verschiedene inhaltliche Aspekte. Die nach dieser Methodik erstellte Systemdokumentation dient als Grundlage für die Wartung und Pflege des Systems in der Zukunft. Im Folgenden wird die entwickelte Methodik der Modellierung und Dokumentation komplexer Systeme anhand eines Beispiels aus dem DANUBIA-Kernsystem in groben Zügen erläutert. Die Methodik basiert auf bekannten und geläufigen Methodiken der Software-Technik, erweitert diese jedoch um die Behandlung von Komponenten im Sinne der UML 2.0.

Die Modellierung erfolgt in verschiedenen Abstraktionsstufen. In der ersten Stufe wird eine Analyse des Problembereichs vorgenommen, wobei sich der Problembereich hier über jeweils einen charakteristischen Aspekt des Systems erstreckt. Auf dieser Stufe werden UML-Klassendiagramme für die statische Analyse, sowie Zustands-, Aktivitäts- und Sequenzdiagramme für die dynamischen Aspekte verwendet. Ebenso ist der Einsatz formaler Methoden wie zum Beispiel beim Aspekt „zeitliche Koordination“ (vgl. Kap. 2.5.1) möglich.

Auf einer nächsten Stufe wird eine erste Entwurfsidee entwickelt, für deren Modellierung ebenfalls die genannten UML-Diagrammarten zum Einsatz kommen. Bei den Klassendiagrammen werden hier auch Operationen und Typen der Attribute dargestellt.

Die dritte Abstraktionsstufe stellt den Komponentenentwurf dar, der als Grundlage für die spätere Implementierung dient. Um eine Komponente vollständig und übersichtlich zu modellieren werden verschiedene Sichten auf die Komponente betrachtet. Zunächst werden alle Komponenten, die einen Systemaspekt betreffen, in einer Architektursicht dargestellt. Die Architektursicht stellt die Verknüpfung der beteiligten Komponenten über ihre Schnittstellen dar, ohne dabei auf Details einzugehen.

Für jede der in der Architektursicht dargestellten Komponenten werden nun die folgenden Sichten (vgl. HITZ, KAPPEL KAPSAMER und RETSCHNITZEGGER 2005]) modelliert, um ein vollständiges Modell der Komponente zu erhalten:

- die externe Sicht, die auf die angebotenen und benötigten Schnittstellen fokussiert,
- die interne Sicht, die die innere Struktur der Komponente zeigt, sowie
- die Abbildungssicht, die den Zusammenhang zwischen externer und interner Sicht herstellt, indem die Schnittstellen mit den Elementen der Komponente, die sie implementieren bzw. benötigen, in Beziehung gesetzt werden.

Die einzelnen Sichten werden im Folgenden anhand eines Beispiels erläutert.

Als Beispiel betrachten wir den Systemaspekt „Integration eines Simulationsmodells“. Die Komponente, die diesen Aspekt realisiert, ist die Komponente Model. Abbildung 8 zeigt die Architektursicht des Aspekts, indem die Verknüpfungen der Schnittstellen der Komponente Model mit den Schnittstellen der anderen Komponenten dargestellt werden. Die Schnittstellen werden in dieser Sicht in einer Kurznotation (ball-and-socket-Notation) dargestellt. Durch Multiplizitäten kann bei benötigten Schnittstellen bestimmt werden, wie viele Instanzen einer Komponente zur Laufzeit existieren können.

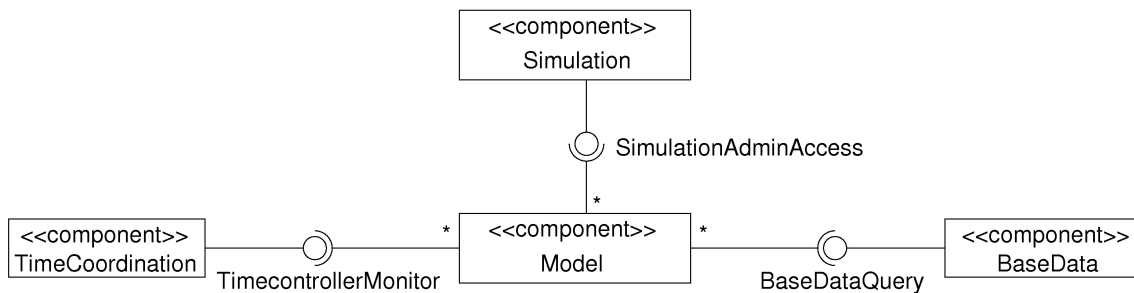


Abb. 8: Architektursicht

Für die weiteren Betrachtungen beschränken wir uns auf die Komponente Model. Abbildung 9 zeigt die externe Sicht dieser Komponente. In dieser Sicht liegt der Fokus auf den Schnittstellen, daher werden sie in ausführlicher Form dargestellt. Im Beispiel benötigt die Komponente Model die Schnittstellen TimecontrollerMonitor, SimulationAdminAccess und BaseDataQuery, was durch den gestrichelten Pfeil mit offener Spitze und dem Schlüsselwort <<use>> modelliert wird. Eine angebotene Schnittstelle wird dagegen durch einen gestrichelten Pfeil mit geschlossener Spitze modelliert.

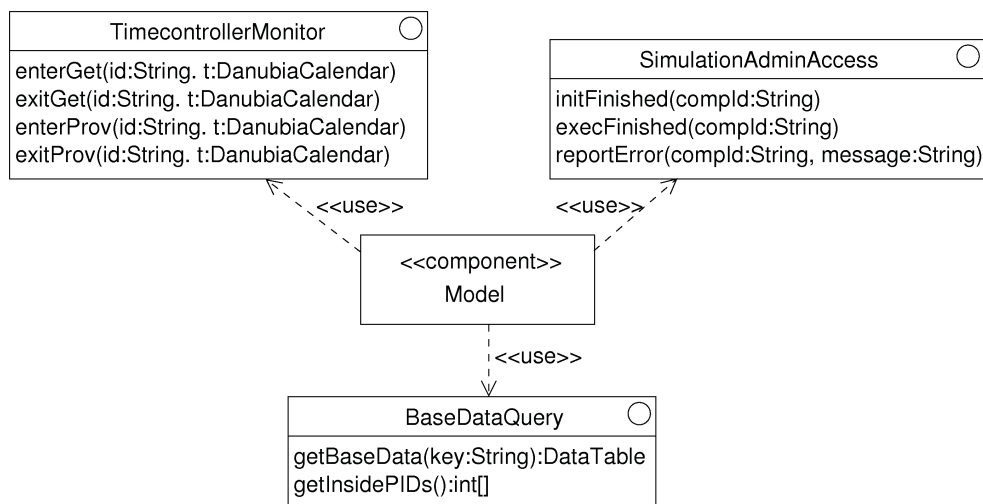


Abb. 9: Externe Sicht

Nach der externen Sicht betrachten wir nun die interne Sicht der Komponente Model, die in Abbildung 10 dargestellt ist. Diese Sicht stellt die innere Struktur der Komponente dar, indem sie ihre Elemente und deren Beziehungen untereinander aufzeigt. Elemente einer Komponente können dabei Klassen, Schnittstellen oder weitere Komponenten sein. Zum Beispiel enthält die Komponente Model die Komponente Proxel, die die Schnittstelle ProxelTableAccess anbietet. Des Weiteren können Elemente aus einem Paket importiert werden. Dies ist im Beispiel bei den Klassen ComponentCore und AbstractComponent der Fall. Der Import aus einem Paket p wird durch den Zusatz {from p} modelliert, im Beispiel also durch den Zusatz {from component}. Während importierte Elemente und enthaltene Komponenten sowie deren Schnittstellen nur in Kurzform notiert werden (diese Elemente werden an anderer Stelle dokumentiert), werden alle anderen Elemente der Komponente ausführlich, das heißt mit ihren Attributen und Operationen, dargestellt. Das dynamische Verhalten wird durch geeignete UML-Diagramme (meist Sequenz-, Aktivitäts- oder Zustandsdiagramme) spezifiziert.

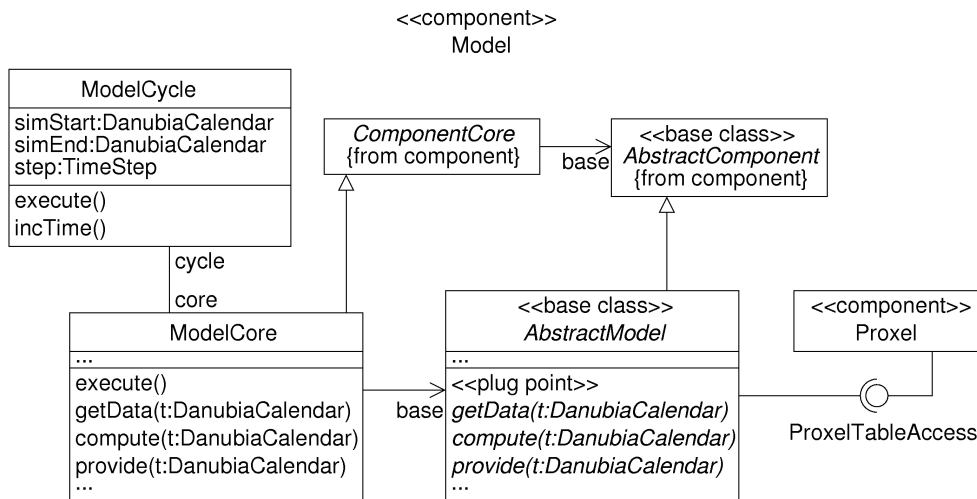


Abb. 10: Interne Sicht

Die Abbildungssicht einer Komponente, wie sie in Abbildung 11 für die Komponente Model dargestellt ist, stellt den Zusammenhang zwischen externer und interner Sicht her. In dieser Sicht werden nur die Schnittstellen und die Elemente der Komponente (in Kurzform) dargestellt, die mit den Schnittstellen in Beziehung stehen. Die Beziehung zwischen dem Element der Komponente und einer Schnittstelle wird durch einen gestrichelten Pfeil modelliert. Handelt es sich bei einem Element wiederum um eine Komponente, so wird die Beziehung in der Abbildungssicht dieser Komponente aufgelöst.

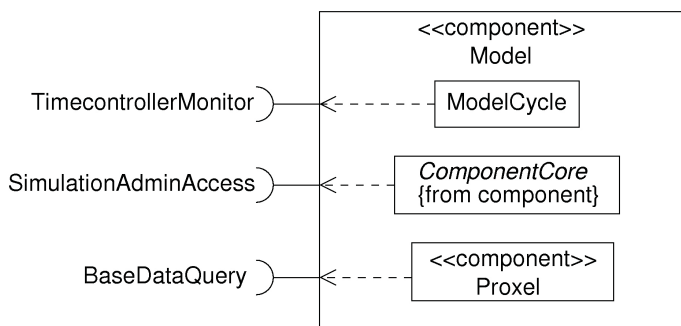


Abb. 11: AbbildungssichtSicht

Ferner wurde ein Muster zur systematischen Überführung des Komponentenentwurfs in eine Implementierung entwickelt, das zur Implementierung der Komponenten des DANUBIA-Kernsystems in Java verwendet wurde. Die Anwendung dieses Musters auf die Komponente Model ist in Abbildung 12 dargestellt und wird im Folgenden beschrieben.

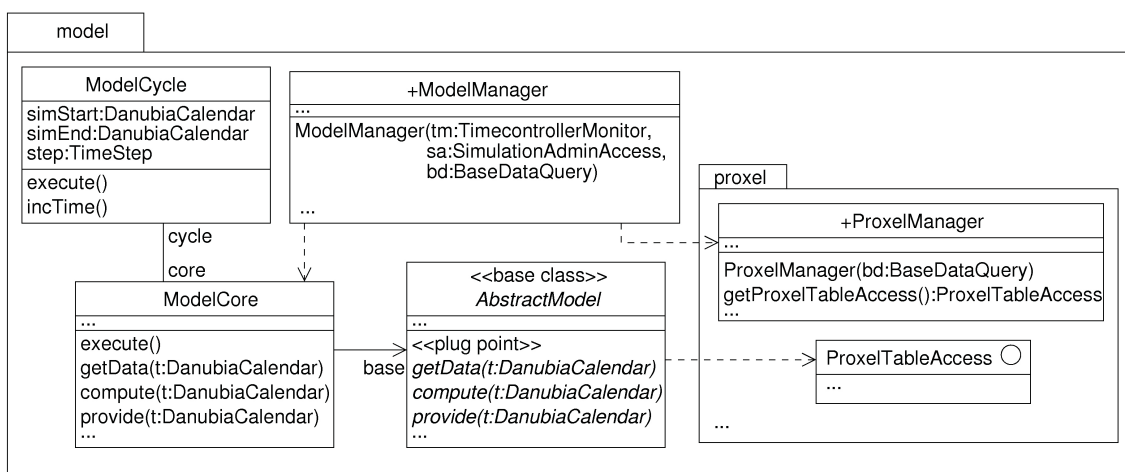


Abb. 12: Implementierungsmuster

Eine Komponente der Entwurfsebene wird auf Implementierungsebene durch ein Paket repräsentiert, das den klein geschriebenen Namen der Komponente trägt. Dieses Paket enthält neben den in der internen Sicht auf Entwurfsebene dargestellten Elementen und den Unterpaketen, die den Subkomponenten entsprechen, eine öffentliche Klasse mit dem Namen der Komponente und dem Suffix „Manager“ (zum Beispiel ModelManager). Die Parameter des Konstruktors dieser Klasse entsprechen den benötigten Schnittstellen der Komponente. Beim Aufruf des Konstruktors werden die innere Struktur der Komponente, sowie die Manager-Klassen in den Subkomponenten-Paketen (im Beispiel die Klasse ProxelManager) instanziiert. Die Manager-Klasse repräsentiert die Komponente nach außen, das heißt, sie bietet Operationen zur Abfrage von Instanzen der angebotenen Schnittstellen der Komponente (im Beispiel die Methode getProxelTableAccess der Klasse ProxelManager).

## **2.5 Qualitätssicherungsmaßnahmen**

### **2.5.1 Koordination integrativer Simulationen**

Die zeitliche Koordination der verteilt und parallel arbeitenden Simulationsmodelle während einer verteilten Simulation ist ein zentraler Aspekt von DANUBIA. Da die Qualität der Simulationsergebnisse wesentlich von einer korrekten Koordination abhängt, wurde dieser (BARTH und KNAPP 2004) Aspekt mit formalen Methoden der Software-Technik behandelt. 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). Im Folgenden wird dieser Ansatz, der bereits in (INFORMATIK 2005) ausführlich dargestellt wurde, in knappen Zügen erläutert.

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

1. Holen von Daten von anderen Modellen
2. Berechnen neuer Daten für den nächsten Zeitschritt
3. Bereitstellen von (neu berechneten) Daten für andere Modelle

Dieses Verhalten kann in der Sprache FSP formal durch einen Prozess MODEL ausgedrückt werden (vgl. INFORMATIK 2005).

Um in einer integrativen Simulation verlässliche Ergebnisse zu erhalten, müssen beim Datenaustausch während einer integrativen Simulation folgende Anforderungen 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 dieser Anforderungen durch das DANUBIA-System formal nachweisen zu können, wurden diese zunächst durch so genannte Property-Prozesse in FSP formalisiert (vgl. INFORMATIK 2005).

Die Angabe von Property-Prozessen stellt jedoch noch keine Lösung des Problems dar, da aus ihnen 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 (vgl. INFORMATIK 2005) beschrieben wird, aufzufassen. Die Koordination erfolgt über die Synchronisation der parallelen Prozesse durch gemeinsame Aktionen.

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. Das Entwurfsmodell kann auf systematische Weise in eine Implementierung der Koordinationskomponente von DANUBIA überführt werden.

## 2.5.2 Schnittstellen-Spezifikationen mit Gültigkeitsbereichen

Bereits in der ersten Förderphase von GLOWA-Danube wurden Schnittstellen zum Datenaustausch zwischen den DANUBIA-Simulationskomponenten definiert. Im Laufe der zweiten Förderphase wurden diese Schnittstellen um Spezifikationen ergänzt, die zu den ausgetauschten Daten einen Wertebereich definieren. Eine solche Spezifikation wird dabei im Kontext einer Simulationskomponente für jede Methode einer jeden Import- und Export-schnittstelle angegeben. Abbildung 13 zeigt das Beispiel einer Spezifikation für Schnittstel-

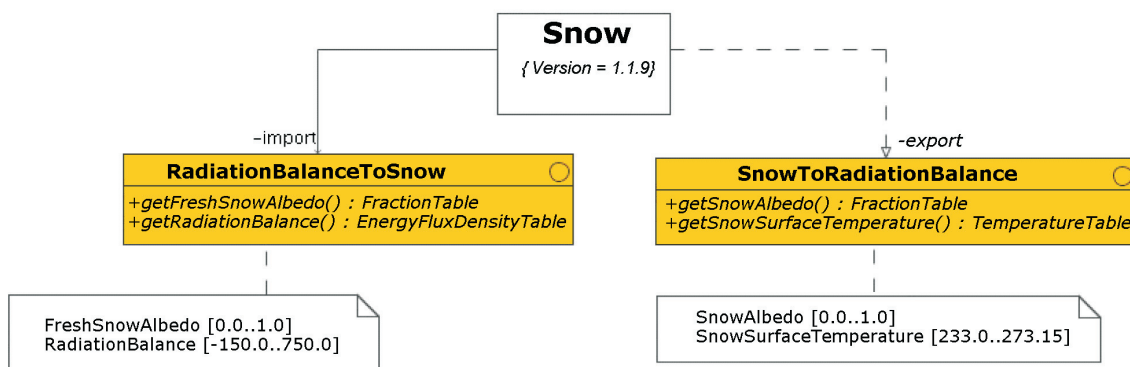


Abb. 13: Beispiel einer Spezifikation von Import- und Exportschnittstellen

len der Komponente Snow.

Für die Spezifikation wurde ein einfaches Datenformat entwickelt (vgl. JANISCH 2006). Vor einem Simulationslauf werden die Spezifikationen der einzelnen Komponenten manuell auf ihre Verträglichkeit geprüft. Dadurch kann während eines Simulationslaufs die Regularität der ausgetauschten Daten alleine durch die Laufzeitüberprüfung der exportierten Daten (innerhalb der exportierenden Komponente) gewährleistet werden.

Gegenwärtig erfolgt im Rahmen einer Diplomarbeit die Entwicklung einer formalen Spezifikationssprache zur Wertebereichsspezifikation, die eine größere Ausdrucksmächtigkeit als das bisher verwendete Datenformat besitzt, sowie eines Werkzeugs zur automatischen Überprüfung der Verträglichkeit von Spezifikationen.

Für die Zukunft ist auch die automatische Generierung und Integration von Komponenten zur Laufzeitüberwachung der zwischen Simulationskomponenten ausgetauschten Daten – basierend auf der entwickelten Spezifikationssprache - vorgesehen, um die bisher manuell implementierte Laufzeitüberprüfung der Exportdaten zu ersetzen.



### 3. Zusammenfassung: Stand der Entwicklung und Ausblick auf die dritte Förderphase

DANUBIA ist ein integratives Simulations- und Entscheidungs-Unterstützungssystem, das in der zweiten Projektphase weiterentwickelt und konsolidiert wurde. Eine wesentliche Erweiterung stellt der Entwurf des gemeinsam für alle sozialwissenschaftlichen Teilprojekte entwickelten Multiakteurskonzepts und dessen Implementierung in dem *DeepActor-Framework* dar. Damit können tiefe Akteursmodelle, die auf Entscheidungsprozessen beruhen, realisiert und in das DANUBIA-System integriert werden. Ausgewählte tiefe Akteursmodelle wurden bereits in Teilverbände von DANUBIA-Modellen integriert und getestet. Eine vollständige Integration aller tiefen Akteursmodelle von GLOWA-Danube erfolgt gegenwärtig zu Beginn der dritten Förderphase. Eine zweite wichtige Erweiterung der Funktionalität von DANUBIA betrifft die dynamische Änderbarkeit der Landnutzung des Einzugsgebiets während der Durchführung einer integrativen Simulation. Hierzu wurde ein Konzeptmodell ausgearbeitet, die Zulässigkeit von Landnutzungsänderungen spezifiziert und eine Landnutzungskomponente entworfen und implementiert. Die Implementierung der Landnutzungskomponente wird gegenwärtig zu Beginn der dritten Förderphase auf die subskalige Landnutzung von Proxeln erweitert.

Zur Konsolidierung und flexiblen Änderbarkeit des Systems wurde eine Restrukturierung vorgenommen, die die bisherige rein objektorientierte Vorgehensweise um einen komponenten-basierten Ansatz gemäß neuester methodischer und technologischer Entwicklungen des Software-Engineering ergänzt. Eine möglichst leichte Wartbarkeit, Änderbarkeit und Erweiterbarkeit des Systems ist insbesondere im Hinblick auf die in der dritten Förderphase angestrebte Veröffentlichung von DANUBIA im Rahmen eines Open Source Projekts von Bedeutung.

Ebenso wichtig für die zukünftige Nutzbarkeit von DANUBIA ist die weitere Verbesserung der Performanz. Dazu wurden bereits im Berichtszeitraum signifikante Fortschritte erzielt sowohl durch den Einsatz leistungsfähigerer Hardware als auch durch software-technische Maßnahmen, wie etwa die Entwicklung eines Patterns zur internen Parallelisierung von Algorithmen innerhalb einzelner Simulationsmodelle. Im Vergleich zum Ende der ersten Förderphase konnte die Laufzeitkomplexität des Systems um den Faktor 11 verbessert werden. Weitere Anstrengungen zur Verbesserung der Effizienz sowohl der einzelnen Simulationsmodelle als auch der zum Kernsystem von DANUBIA gehörenden Laufzeitumgebung werden in der dritten Förderphase unternommen.

### 4. Literatur

- BARTH, M. und KNAPP, A. (2004): A coordination architecture for time-dependent components. In: HAMZA, M.H. (ed.), Proc. 22nd Int. Multi-Conf. Applied Informatics. Software Engineering (IASTED SE'04), 6-11, ACTA Press.
- HENNICKER, R. und LUDWIG, M. (2005): Property Driven Development of a Coordination Model for Distributed Simulations. In: STEFFEN, M. and ZAVATTARO, G. (eds.): Proc. FMOODS 2005, 7th Int. Conf. on Formal Methods for Open Object-Based Distributed Systems, Athens, Springer Lecture Notes in Computer Science 3535, S. 290-305.
- HITZ, M., KAPPEL, G., KAPSAMER, E. und RETSCHNITZEGGER, W. (2005): UML@Work. Heidelberg, dpunkt.verlag.
- INFORMATIK (2004): Abschlussbericht Teilprojekt Informatik, Glowa-Danube.
- INFORMATIK (2005): Jahresbericht 2005 - Teilprojekt Informatik, Glowa Danube, 2006.
- INFORMATIK (2006): Jahresbericht 2006 - Teilprojekt Informatik, Glowa Danube, 2007.

- JANISCH, S. (2006): Spezifikation und Implementierung von DANUBIA-Schnittstellen. DANUBIA-Manual, Januar 2006.
- JANISCH, S. (2006b): DeepActor-Framework Reference Manual.
- JANISCH, S. (2006c): Dynamische Planverwaltung - Erläuterungen zur DeepActor-Framework Release 1.2.0. Aug 2006
- JANISCH, S., KRAUS, A. und LUDWIG, M. (2006): Versioning, Delivery and Distribution of DANUBIA-Components.
- KRAUS, A. (2007): Model Driven Software Engineering for Web Applications, Dissertation, Institut für Informatik, Ludwig-Maximilians-Universität München.
- MAGEE, J. und KRAMER, J. (1999): Concurrency - State Models and Java Programs, John Wiley & Son.
- NORVIG, P. und RUSSELL, S.J. (2003): Artificial Intelligence: A Modern Approach, 2.Ed. Prentice Hall.

# Modellierung von Wasser- und Stickstoffflüssen an der Landoberfläche mit Fernerkundung

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

## 1. Kurzbeschreibung des Teilprojektes

Gesamtziel des Teilprojektes „Hydrologie und Fernerkundung“ ist die realistische, physikalisch basierte Beschreibung der Wasser- und Stickstoffflüsse auf der Landoberfläche für mesoskalige Einzugsgebiete. Dazu wird ein flächendetailliertes, mesoskaliges, hydrologisches Objekt der gesamten Oberen Donau entwickelt. Das Objekt beschreibt innerhalb des Gesamtmodellverbundes DANUBIA die Energie- und Wasserflüsse im System Boden-Pflanze-Atmosphäre sowie die mit dem Wasser transportierten Stickstoffflüsse im Boden auf dem 1 km Modellraster. Direkte Schnittstellen zu Objekten für Pflanzenwachstum (*Biological*), Meteorologie (*Atmosphere*), Grundwasser (*GroundwaterFlow*) und Oberflächengewässern (*RiverNetwork*) werden für die Kopplung in DANUBIA mit den dafür zuständigen Arbeitsgruppen und gemeinsam mit der Gruppe Informatik entwickelt. Aus hoch- und mittelauflösenden Fernerkundungsdaten insbesondere der Sensoren von TERRA und ENVISAT sollen Parameter der Landbedeckung bestimmt und im Objekt zur Initialisierung, Validierung und Regionalisierung genutzt werden.

Auf der Grundlage der subskalig aus konventionellen Datenquellen und der Fernerkundung verfügbaren Informationen zu den Geofaktoren (Relief, Landnutzung, Böden) wurden exemplarisch optimierte Strategien entwickelt, um das *Upscaling* von der Mikro- auf die Mesoskala durch Bildung *subskaliger* Geokomplexe unter besonderer Berücksichtigung des Boden- und Reliefeinflusses zu ermöglichen. Die im Teilprojekt entwickelten Objekte *RadiationBalance*, *Surface*, *Soil* und *AtmoStations* werden in DANUBIA zur Simulation des Ist-Zustandes im gesamten Donau-Einzugsgebiet eingesetzt.

## 2. Organisatorisches

### 2.1 Personelles

#### 2.1.1 Wissenschaftler

1. Dr. Florian Siebel hat den Rechnercluster und die Aktivitäten im Bereich Verkehrsmodellierung betreut.
2. An Doktoranden waren und sind beschäftigt: Herr Matthias Bernhardt (seit 1.04.2004, Schneetransport-Modellierung), Frau Monika Tepfenhart (seit 01.09.2004, Verkehrsmodellierung), Herr Markus Muerth (seit 01.06.2004, Bodentemperaturmodellierung), Herr Markus Probeck (seit 01.03.2004 bis 15.5.2006, Fernerkundung), Herr Thomas Marke (seit 01.03.2005, Kopplung Landoberfläche-Atmosphäre) und Herr Daniel Waldmann (seit 16.03.2005, Bodenerosionsmodellierung)

3. Dr. Ralf Ludwig ist zum 1.10.2006 nach Kiel gewechselt und ist seitdem an GLOWA-Danube assoziiert.

### **2.1.2 Wissenschaftliche Hilfskräfte**

Die Forschungsarbeiten im Teilprojekt wurden im Berichtszeitraum durch studentische Hilfskräfte unterstützt. Sie wurden unter Anleitung mit folgenden Aufgaben betraut: Durchführung von Geländemessungen, Aufbereitung von Fernerkundungsdaten, Bildverarbeitung, Datenerfassung und Archivierung.

### **2.2 Anschaffungen**

Für die umfangreichen und rechenintensiven Arbeiten im Bereich der Modellentwicklung, Bildverarbeitung und GIS wurden zu Projektbeginn 1 Notebook (1.297,00 €) sowie 2 PCs (4.912,44 €) beschafft.

### **2.3 Veranstaltungen**

Neben einer Vielzahl von kleineren Abstimmungstreffen zwischen einzelnen Projektgruppen wurden im Berichtszeitraum folgende interne GLOWA-Projektmeetings bzw. öffentliche Konferenzen von dem Teilprojekt Hydrologie und Fernerkundung besucht bzw. durchgeführt:

#### **2.3.1 GLOWA-Danube (intern)**

Die Arbeitsgruppe Hydrologie/Fernerkundung hat an zahlreichen internen Veranstaltungen des Projektes teilgenommen (vgl. Bericht Zentralprojekt). Darüber hinaus fanden zahlreiche bilaterale Gespräche, insbesondere mit den Teilprojekten Informatik, Pflanzenökologie, Grundwasser, Oberirdische Gewässer und Glaziologie statt, in denen integrative Fragestellungen zur Modellkopplung zwischen den Projektpartnern behandelt wurden.

#### **2004**

- 17.-18.03.2004 GLOWA-Danube, Entwickler-Workshop I, München
- 17.05.2004 Projektleitertreffen, München
- 31.05.-04.06.2004 GLOWA-Danube, Eröffnung 2. Phase, Frauenchiemsee
- 16.-17.09.2004 GLOWA-Danube, Vorbereitung Statuskonferenz, München
- 06.-07.10.2004 Erfahrungsaustausch zum Aufbau der Eddy-Kovarianz-Station mit der Arbeitsgruppe „Hydrologie/Fernerkundung“, München
- 11.10.2004 Projektleitertreffen, München
- 12.10.2004 GLOWA-Danube, Entwickler-Workshop II, München
- 28.-29.10.2004 Treffen mit den Arbeitsgruppen „Hydrologie/Fernerkundung“ und „Informatik“, München

#### **2005**

- 08.03.2005 GLOWA-Meeting, München
- 26.04.2005 Deep Actors Treffen in Stuttgart
- 09.05.2005 Erstes Stakeholdertreffen „Wasserwirtschaft“ in München
- 17.05.-19.05.2005 GLOWA-Statuskonferenz in Köln

- 11.07.05 GLOWA-Meeting, München
- 10.08.2005 Treffen zur Spezifikation der DANUBIA-Benutzerschnittstelle (München)
- 18.10.2005 Zweites Stakeholdertreffen „Wasserwirtschaft“ in München
- 20.10.2005 Stakeholdertreffen „Landnutzung“ in München
- 30.11.-03.12.2005 Klausurtagung in Linden

## **2006**

- 13.05.2006 Projektleitertreffen in München
- 19.05.2006 Projektleiter-Meeting in München
- 12.-13.10.2006 GLOWA-Danube-Atmosphäre, Projekt-Meeting, München
- 12.-13.12.2006 GLOWA-Danube-Atmosphäre, Projekt-Meeting, Mainz

## **2007**

- 18.01.2007 Szenario-Workshop: “Szenarien der industriellen Entwicklung und Wassernutzung im Donaeinzugsgebiet“, im Ifo (Institut für Wirtschaftsforschung), München
- 25.01.2007 Szenario-Workshop: “Szenarien der regionalen demographischen Entwicklung im Donaeinzugsgebiet“, im ifo (Institut für Wirtschaftsforschung), München
- 22.03.2007 Abstimmungstreffen HydFern-Meteorologie

### **2.3.2 Andere Veranstaltungen**

Das Teilprojekt hat in eigener Sache, bzw. stellvertretend für das Gesamtprojekt, an verschiedenen Tagungen und Konferenzen teilgenommen und dort die Forschungsansätze von GLOWA-Danube einem fachkundigen nationalen und internationalen Auditorium vorgestellt und zur Diskussion gestellt:

## **2004**

- 25.-30.04.2004 European Geosciences Union, General Assembly 2004. Nizza, Frankreich.

## **2005**

- 24.-29.04.2005 European Geosciences Union, General Assembly 2005. Wien, Österreich.
- 20.-23.06.2005 HeadWater'2005 - 6th International Conference on Hydrology, Ecology and Water Resources in Headwaters. Bergen, Norwegen.
- 15-17.09.2005 3rd Symposium of the Hohe Tauern National Park for research in protected areas. Kaprun, Österreich.
- 01.-08.10.2005 55. Deutsche Geographentag. Trier.



## 2006

- 02.-07.04.2006 European Geosciences Union, General Assembly 2006. Wien, Österreich.
- 10.-12.09.2006 Internationales Symposium Klimawandel und Naturgefahren. Neukirchen am Großvenediger/Salzburg, Österreich.
- 05.-07.10.2006 Alpine\*Snow\*Workshop ([www.alpinesnowworkshop.org](http://www.alpinesnowworkshop.org)). München.
- 10.-12.10.2006 INTERGEO - Kongress und Fachmesse für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement. München.
- 31.10.2006 Workshop zur Politikberatung „Wasser“ der GTZ. Eschborn.
- 14.11.2006 Geoinformatik-Kolloquium der Universität Salzburg (Z\_GIS). Salzburg.

## 2007

- 18.01.2007 Symposium Schnee - Risikovorsorge und Katastrophenmanagement. Bayerische Versicherungskammer München.
- 26.-27.01.2007 16. Jahrestagung des AK Hochgebirge des VGDH. Marburg.
- 14.03.2007 Vortragsreihe Nationalpark Berchtesgaden „Die Schneedecke im Hochgebirge“. Berchtesgaden.
- 15-20.04.2007 European Geosciences Union, General Assembly 2007. Wien, Österreich.

## 2.4 Veröffentlichung und Berichte

### 2.4.1 Publikationen, Vorträge und Posterpräsentationen

- BERNHARDT, M., STRASSER, U., ZÄNGL, G. 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). In: Geophysical Research Abstracts, abstracts of the European Geosciences Union General Assembly 2005, Vienna, Austria.
- BERNHARDT, M., STRASSER, U., ZÄNGL, G. und MAUSER, W. (2005): Using MM5-derived wind fields for the modelling of snow transport processes. In: Abstracts of the 3rd Symposium for Research in Protected Areas, Kaprun, 15.-17.Sept. 2005, Austria.
- BERNHARDT, M., STRASSER, U., LISTON G.E., ZÄNGL, G. und MAUSER, W. (2006): Creation of a MM5 wind field library for the purpose of snow transport modeling Eastern Snow Conference. Delaware, USA, Abstract, published.
- BERNHARDT, M., ZÄNGL, G., LISTON, G.E., STRASSER, U. und MAUSER, W. (2006): Modelling snow transport processes in a high alpine area (Berchtesgaden National Park, Germany) using SnowTran3D. In: Abstracts of the Alpine\*Snow\*Workshop ([www.alpinesnowworkshop.org](http://www.alpinesnowworkshop.org)), Munich, October 5-6, 2006, Germany.
- BERNHARDT, M., LISTON, G.E., ZÄNGL, G., STRASSER, U. und MAUSER, W. (2007): High resolution modelling of snow transport in complex terrain using simulated wind fields. In: STRASSER, U. and VOGEL, M. (Eds.): Proceedings of the Alpine\*Snow\*Workshop ([www.alpinesnowworkshop.org](http://www.alpinesnowworkshop.org)), Munich, October 5-6, 2006, Germany. Berchtesgaden National Park research report, Nr. 53 (in print).

- BERNHARDT, M., STRASSER, U., LISTON, G.E. und MAUSER, W. (2007): On snow cover variability in alpine terrain In: Abstracts of the XXIV. IUGG General Assembly 2007, Perugia, Italy, Abstract, published.
- BERNHARDT, M., STRASSER, U., ZÄNGL, G. und MAUSER, W. (2007): High resolution modelling of snow transport in complex terrain using simulated wind fields. In: Arctic, Antarctic and Alpine Research (submitted).
- BERNHARDT, M., STRASSER, U., ZÄNGL, G. und MAUSER, W. (2007): Using wind fields from a high resolution atmospheric model for simulating snow dynamics in mountainous terrain. In: Hydrological Processes, (accepted).
- DE JONG, C., STRASSER, U. und LAWLER, D. (2006): Constraints of resolution and spatial discretization of field experiments and models on process understanding in mountain catchments. In: Geophysical Research Abstracts, abstracts of the European Geosciences Union General Assembly 2006, Vienna, Austria.
- FRANZ, H., BERNHARDT, M., PRASCH, M., KONNERT, V. und STRASSER, U. (2007): Field trip to the Ice Chapel in the National Park Berchtesgaden on Saturday, October 7, 2006. In: STRASSER, U. and VOGEL, M. (Eds.): Proceedings of the Alpine\*Snow\*Workshop ([www.alpinesnowworkshop.org](http://www.alpinesnowworkshop.org)), Munich, October 5-6, 2006, Germany. Berchtesgaden National Park research report, Nr. 53 (in print).
- LUDWIG, R. und MUERTH, M. (2006): Natur- und Sozialraum: Bodenarten - Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung. In: GLOWA-Danube-Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, 1.2.
- MAUSER, W., PRASCH, M. und STRASSER, U. (2007): Physically based Modelling of Climate Change Impact on Snow Cover Dynamics in Alpine Regions using a Stochastic Weather Generator. In: Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation MODSIM07, 2007, Christchurch, New Zealand.
- MUERTH, M. (2005): „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).
- MUERTH, M., MAUSER, W. und LUDWIG, R. (2006): Development of a soil heat flux and storage model for Global Change Assessment on the regional scale. In: Geophysical Research Abstracts, abstracts of the European Geosciences Union General Assembly 2006, Vienna, Austria.
- MUERTH, M., MAUSER, W. und LUDWIG, R. (2006): „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. (2006): „Regionalisierung und Validierung der Bodenparameter in mesoskaligen SVAT-Modellen“ - Vortrag beim Workshop der AG Hydrologische Modellierung 2006 in Potsdam (18. bis 19.05.2006).
- PRASCH, M., STRASSER, U. und MAUSER, W. (2007): Physically based modelling of climate change impact on snow cover dynamics in Alpine regions. In: Abstracts of the International Congress on Modelling and Simulation MODSIM07, 2007, Christchurch, New Zealand.
- PRASCH, M., BERNHARDT, M., WEBER, M., STRASSER, U. und MAUSER, W. (2007): Physically based modelling of snow cover dynamics in Alpine regions. In: Abstracts of the International Congress ‘Managing Alpine Future - strategies for sustainability in times of change’, 2007, Innsbruck, Austria.

- PRASCH, M., STRASSER, U. und MAUSER, W. (2007): Validation of a physically based snow model for the simulation of the accumulation and ablation of snow (ESCIMO). In: STRASSER, U. und VOGEL, M. (Eds.): Proceedings of the Alpine\*Snow\*Workshop ([www.alpinesnowworkshop.org](http://www.alpinesnowworkshop.org)), Munich, October 5-6, 2006, Germany. Berchtesgaden National Park research report, Nr. 53 (in print).
- PRASCH, M., STRASSER, U., BERNHARDT, M., WEBER, M. and MAUSER, W. (2007): Physically based modelling of snow cover dynamics in Alpine regions, Proceedings of the International Congress 'Managing Alpine Future - strategies for sustainability in times of change', Innsbruck, Proceeding, accepted.
- PRASCH, M., STRASSER, U. und MAUSER, W. (2007): Application of a physically based snow model in the alpine mountain regions of the Upper Danube and the Upper Brahmaputra. Beitrag zur 16. Jahrestagung des AK Hochgebirge des VGDH, Marburg, 26.-27.1.2007.
- ROTHBART, M., STRASSER, U. & MAUSER, W. (2006): ESCIMO - a physically based model for the simulation of accumulation and ablation of snow. In: Abstracts of the Alpine\*Snow\*Workshop ([www.alpinesnowworkshop.org](http://www.alpinesnowworkshop.org)), Munich, October 5-6, 2006, Germany.
- SCHLENZ, F. und SIEBEL, F. (2006): Performanceanalyse für parallele Java-Programme - Multi-Threading und JavaParty - Interner Bericht.
- 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. (2005): Simulating vehicular traffic in a network using dynamic routing. 69. Jahrestagung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Arbeitskreis Physik sozioökonomischer Systeme, Berlin, 4.-9. März 2005.
- SIEBEL, F. und MAUSER, W. (2005): Inverse modelling of traffic flows. 5th European Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services, Hannover, 1.-3. Juni 2005.
- SIEBEL, F. (2006a): A Hyperbolic System of Balance Laws for Traffic Flow Modelling, Laboratoire J.A. Dieudonné, Université de Nice - Sophia Antipolis, Einladung von Prof. Michel Rascle, Nizza, Juli 2006.
- SIEBEL, F. und MAUSER, W. (2006b): A Hyperbolic System of Balance Laws for Traffic Flow Modeling, Traffic Flow Modeling & Management - A meeting on mathematical problems motivated by traffic, Brescia, Januar 2006.
- SIEBEL, F. und MAUSER, W. (2006c): On the Fundamental Diagram of Traffic Flow, SIAM Journal on Applied Mathematics, 66, 1150-1162.
- SIEBEL, F. und MAUSER, W. (2006d): Synchronized flow and wide moving jams from balanced vehicular traffic, Physical Review E 73 066108
- SIEBEL, F., MAUSER, W., MOUTARI, S. und RASCLE, M. (2006): Balanced vehicular traffic at a bottleneck, eingereicht bei Physica A, Preprint <http://arxiv.org/abs/physics/0609237>.
- STRASSER, U., WEBER, M., MAUSER, W., HENNICKER, R. und KUHN, M. (2004): Integration of Expert Model Components into the Object Oriented Decision Support System DANUBIA - the Example of Snow Modelling. In: Geophysical Research Abstracts, abstracts of the European Geosciences Union 1st General Assembly, Nice, France.
- STRASSER, U. und ETCHEVERS, P. (2005): Using subgrid parameterisation and a forest canopy climate model for improving forecasts of snowmelt runoff. In: DE JONG, C., COLLINS, D. and RANZI, R. (Eds.): Climatology and Hydrology of Mountain Areas, Wiley, S. 29-44.

- STRASSER, U., FRANZ, H. und MAUSER, W. (2006): Flächenverteilte Modellierung von Schneedeckenprozessen im Nationalpark Berchtesgaden. Posterpräsentation auf der INTERGEO-Messe, München, Germany.
- STRASSER, U., FRANZ, H. und MAUSER, W. (2006): Distributed modelling of snow processes in the Berchtesgaden National Park (Germany). In: Abstracts of the Alpine\*Snow\*Workshop ([www.alpinesnowworkshop.org](http://www.alpinesnowworkshop.org)), Munich, October 5-6, 2006, Germany.
- STRASSER, U. (2006): Modellierung der Schneedecke im Nationalpark Berchtesgaden - Einsatz eines automatischen Stationsmessnetzes mit flächenverteilten, physikalisch basierten Modellen. Vortrag im Geoinformatik-Kolloquium der Universität Salzburg (Z\_GIS). Salzburg, 14.11.2006 (invited).
- STRASSER, U. (2007): Die Schneedecke im Hochgebirge. Vortrag im Rahmen der Wintervortragsreihe des Nationalparks Berchtesgaden. Berchtesgaden, März 2007 (invited).
- STRASSER, U. (2007): Snow loads and changing climate - new risks? In: Geophysical Research Abstracts, abstracts of the European Geosciences Union General Assembly 2007, Vienna, Austria.
- STRASSER, U. (2007): Snow loads in a changing climate: new risks? Outcomes of a symposium held by the Bayer. Versicherungskammer in Munich, January 2007. In: Nat. Haz. Earth Sys. Sci. (submitted).
- STRASSER, U. und VOGEL, M. (Eds.) (2007): Proceedings of the Alpine\*Snow\*Workshop ([www.alpinesnowworkshop.org](http://www.alpinesnowworkshop.org)), Munich, October 5-6, 2006, Germany. Berchtesgaden National Park research report, Nr. 53 (in print).
- STRASSER, U., BERNHARDT, M., WEBER, M., LISTON, G.E. und MAUSER, W. (2007): Is snow sublimation important in the alpine water balance? In: The Cryosphere Discuss., 1, 303-350, Reviewed, published.
- STRASSER, U., FRANZ, H. und MAUSER, W. (2007): Distributed modelling of snow processes in the Berchtesgaden National Park (Germany). In: STRASSER, U. & VOGEL, M. (Eds.): Proceedings of the Alpine\*Snow\*Workshop ([www.alpinesnowworkshop.org](http://www.alpinesnowworkshop.org)), Munich, October 5-6, 2006, Germany. Berchtesgaden National Park research report, Nr. 53 (in print).
- STRASSER, U., FRANZ, H. und MAUSER, W. (2007): Distributed modelling of snow processes in mountain canopies (Berchtesgaden National Park, Germany). In: Abstracts of the XXIV. IUGG General Assembly 2007, Perugia, Italy.
- TEPFENHART, M., MAUSER, W. und SIEBEL, F. (2006): Climate change and the competition among ski areas for day tourists, Proceedings of the Alpine\*Snow\*Workshop, Munich, 2006, in Druck.

#### **2.4.2 Berichte und Anträge**

Im Berichtszeitraum wurden folgende Rechenschaftsberichte angefertigt:

- Kurzbericht, englisch, an die Gutachter zum Statusseminar 2005 (Februar 2005)
- Jahresbericht 2005 an das BMBF (April 2005)
- Jahresbericht 2006 an das BMBF (April 2006)

Die Fortsetzung des Projekts ab dem 01.03.2007 wurde beantragt:

- Folgeantrag für den Projektzeitraum 2007-2010 an das BMBF (Juni 2006)



## 2.5 Diplomarbeiten

BLITZ, M. (2007): Bestimmung von Wald-Bestandesparametern für die schneehydrologische Modellierung im Nationalpark Berchtesgaden (in Bearbeitung).

MITTERMEIER, A. (2007): Vergleich verschiedener Parameterisierungsverfahren zur Bestimmung der Schneecalbedo. Ludwig-Maximilians-Universität München.

WARSCHER, M. (2007): Flächendifferenzierte Modellierung der saisonalen Schneedeckendynamik im Nationalpark Berchtesgaden (in Bearbeitung).

## 3. Aufgaben und Ziele des Teilprojektes

### Formulierte Ziele der zweiten Förderphase

#### 3.1 Integrative Zielsetzung

Die vorgesehenen Arbeiten des Teilprojektes Hydrologie/Fernerkundung am Verbundobjekt *Landsurface* sollten der Qualitätssicherung und -verbesserung der Modellierungsergebnisse des gesamten DANUBIA-Systems dienen. Ziel ist die verbesserte Kopplung sowohl innerhalb von *Landsurface* als auch mit anderen Objekten innerhalb DANUBIA. Alle Interaktionen werden weiterhin in der Unified Modelling Language (UML) dargestellt, strukturiert und modelliert. Charakteristisch für die zweite Projektphase ist die objektübergreifende *subskalige* Betrachtung des Proxels, die für alle Modelle des Verbundobjektes *Landsurface* durch die Implementierung der Geokomplexe realisiert wird. Die Erschließung externen Sachverständes durch die Einbindung von Stakeholdern und die gemeinsam mit allen Projektpartnern definierten Szenarien sollten hierbei den Schwerpunkt der Integrationsarbeit bilden. Sie stellen die Grundlage für praxisnahe Modellierung mit DANUBIA und für die realitätsnahe Validierung der in DANUBIA abgebildeten gekoppelten Prozesse des Wasser-, Energie- und Stoffhaushaltes dar.

#### 3.2 Sektorale Zielsetzung

In der zweiten Förderphase sollten drei große Themenbereiche bearbeitet werden: Die Skalierung von Landoberflächenprozessen, die Nutzung der Fernerkundung sowie die Erweiterung vorhandener Modellkomponenten und deren Qualitätssicherung.

##### 3.2.1 Skalierung von Landoberflächenprozessen

- Weiterentwicklung des Skalierungsansatzes „Geokomplexe“: Das Konzept der Geokomplexe wird auf das gesamte Untersuchungsgebiet exemplarisch übertragen und auf Implementierung im Verbundobjekt *Landsurface* geprüft.
- Untersuchungen zur Skalierbarkeit der Prozessbeschreibungen: Ziel der Entwicklung ist es, eine skalenübergreifende Prozessbeschreibung in den *Landsurface*-Objekten *Radiation- Balance*, *Surface* und *Soil* zu schaffen, die die räumliche Übertragbarkeit der Teilmodelle sicherstellt.
- Modellierung von Szenarien auf verschiedenen Skalen: Die erarbeiteten Methoden zur skalenübergreifenden Prozessbeschreibung sollen in das DANUBIA-System implementiert werden. Dadurch sollen Szenarienläufe auf verschiedenen räumlichen Skalen in Teileinzugsgebieten und für das Gesamtgebiet durchgeführt werden.



### 3.2.2 Nutzung der Fernerkundung für DANUBIA

- Parameterableitung aus Fernerkundungsdaten und deren Assimilierung in DANUBIA: Die abgeleiteten Landoberflächenparameter werden innerhalb ihrer gesicherten Gültigkeit in DANUBIA assimiliert. Hierzu sollen Verfahren entwickelt werden, die sich in UML-Notation an den etablierten Schnittstellen orientiert und zu den bereits bestehenden DANUBIA-Objekten kompatibel sind.
- Validierung von DANUBIA mit synthetischen Satellitenbildern: Aus Resultaten der Modellierung mit DANUBIA werden virtuelle sensor-spezifische Satellitenbilder erzeugt. Dadurch können synthetisch generierte Flächendaten mit aktuellen Fernerkundungsdaten verglichen werden. Das Verfahren soll schließlich als disziplinübergreifendes Validierungswerkzeug für DANUBIA bereitgestellt werden.

### 3.2.3 Verbesserung und Erweiterung der Landoberflächen-Objekte in DANUBIA

- Qualitätsprüfung und -sicherung: Die Fehlerabschätzung der bereitgestellten Modell-Objekte erfolgt mit einem dreistufigen Validierungsschema. Über intensive Sensitivitätsanalysen soll dann der Einfluss der Eingangsdaten, der Parametrisierung, und deren Skalenabhängigkeit auf das Modelergebnis identifiziert und quantifiziert werden.
- Entwicklung eines Erosions- und Feststofftransportmodells: Das Objekt *Soil* des Verbundobjektes *Landsurface* wird um das Modul *Erosion* erweitert, um die Berechnung der Erosion und des Feststofftransportes zu ermöglichen.
- Weiterentwicklung der vorhandenen Modellobjekte in DANUBIA: Die entwickelten Algorithmen zur Prozessbeschreibung an der Landoberfläche werden gemäß der Anforderungen der zu stellenden Szenarien überprüft und in ihrer Funktionalität entsprechend erweitert. Schwachstellen hinsichtlich der Objektkopplung in DANUBIA sollen gezielt untersucht und Lösungen erarbeitet werden.

## 4. Ergebnisse

Erste Resultate der 2. Förderphase wurden bereits auf der GLOWA-Statuskonferenz in Köln im Mai 2005 präsentiert. Das Teilprojekt Hydrologie und Fernerkundung verwies hierbei auf folgende bedeutende Ergebnisse:

Hydrology:

- Verbesserung der Bodenparametrisierung
- Entwicklung eines physikalisch-basierten Bodentemperaturmodells
- Komplementierung des Skalierungsansatzes „Geokomplexe“
- Wissenschaftliche und technische Verbesserung der DANUBIA Sub-Komponenten *Surface*, *RadiationBalance*, *Soil* and *AtmoStations*

Remote Sensing:

- Entwicklung eines skalen-unabhängigen Verfahrens zur Bereitstellung verlässlicher Input- und Validationsdaten für DANUBIA
- Verwendung von MODIS und ENVISAT-ASAR Bildern zur Erfassung räumlicher Informationen über den Blattflächenindex und zur oberflächennahe Bodenfeuchte

Integrative Aktivitäten:

- Konzeption und Implementierung eines Regionalisierungs- und Validierungs-Konzepts für hydrologische Flüsse zwischen den Modellkomponenten *Landsurface*, *Groundwater* und *RiverNetwork*
- Etablierung eines Interfaces zu der *Actors*-Modellkomponente
- Implementierung des Stickstoffstransformations- und transportmodells in Zusammenarbeit mit der Modellkomponente *Biological*
- Entwicklung eines stochastischen Wettergenerators“ basierend auf gemessenen Klimadaten

Die Statuskonferenz hat wesentlich zum intensiven Informationsaustausch und zur weiteren wissenschaftlichen Ausrichtung von GLOWA-Danube beigetragen. Die hier stattgefundenen anregenden Diskussionen bildeten zudem die Grundlage für das weitere erfolgreiche wissenschaftliche Arbeiten in der 2. Projektphase.

Die Ergebnisse der einzelnen sektoralen Forschungsaktivitäten sind im Folgenden detailliert beschrieben.

## **4.1 Sektorale Arbeiten**

Die sektoralen Forschungsaktivitäten umfassen sowohl hydrologische als auch fernerkundliche Fragestellungen. Im Bereich der Hydrologie stehen Arbeiten zur Modellentwicklung der DANUBIA-Objekte sowie die Konzeptentwicklung und Prüfung des Skalierungsansatzes Geokomplexe im thematischen Fokus des Teilprojektes. Die Aktivitäten im Projektteil Fernerkundung umfassen neben der multisensoralen Datenbeschaffung und -aufbereitung multiskalige Methoden zur Ableitung von Landnutzungsinformation für das Gebiet der Oberen Donau sowie einen Ansatz zur wissensbasierten Entmischung von Reflexionswerten multiskaliger Fernerkundungsdaten.

### **4.1.1 Weiterentwicklung der Komponenten *soil* und *surface***

Das im folgenden vorgestellte 4-Schicht *Soil Heat Transfer Module* (SHTM-4L) ist ein physikalisch basiertes Bodentemperatur-Modell, 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 kann 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 vier Schichten berechnet (Abb. 1). In einer virtuellen Schicht unterhalb der eigentlichen Modellhorizonte wird die Temperatur über eine analytische Lösung mathematisch abgeschätzt und als untere Randbedingung bei der Wärmetransfer-Simulation berücksichtigt. Die Schichtdicken wurden in Anlehnung an BEST et al. (2005) berechnet, um der (für das Bodentemperaturmodell) idealen Schichtung möglichst nahe zu kommen.

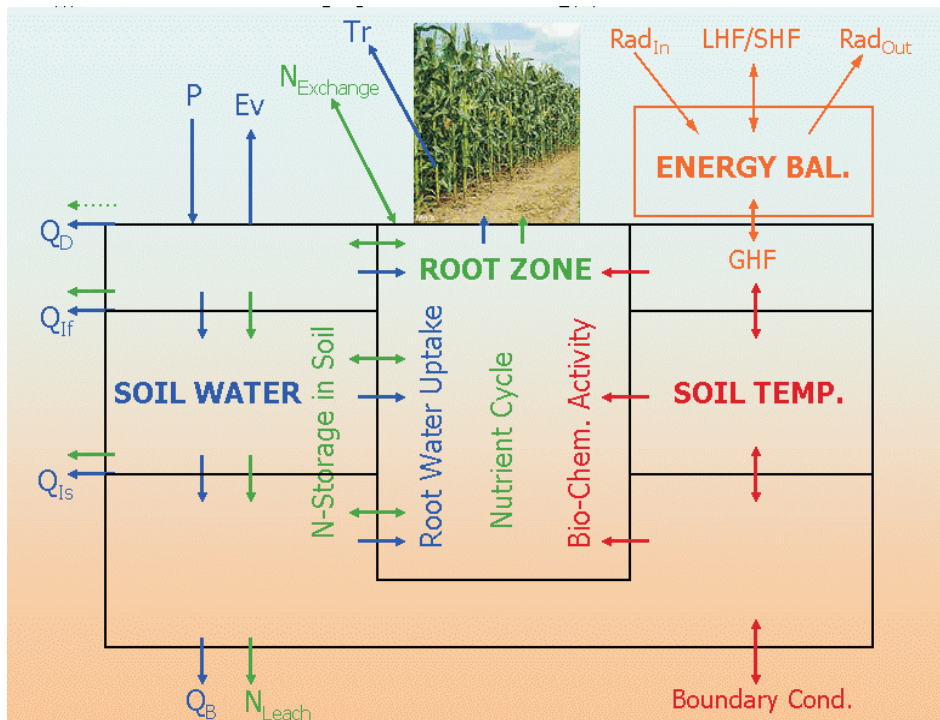


Abb. 1: Schematische Darstellung der Bodensäule mit virtueller Schicht

#### 4.1.1.1 Regionalisierung des Bodenparameter

Auf der Basis der Erfahrungen mit dem Bodenwassermodell von DANUBIA und der Einführung einer Bodentemperaturkomponente wurde die Bodenübersichtskarte von Deutschland im Maßstab 1:1.000.000 (BÜK1000) im Bereich der Oberen Donau neu klassifiziert und parametrisiert. Die Reklassifikation wurde unter folgenden zusätzlichen Gesichtspunkten durchgeführt:

- Parametrisierung von 4 Bodenschichten
- Einfluß des organischen Materialgehalts auf Wasser- und Energieflüsse im Boden
- Berücksichtigung des Ausgangsgesteins bei flachgründigen Böden
- Extrapolation der Bodenklassen im Bereich der Alpen auf Grund von Relief und Landnutzung
- Unterscheidung der Gebirgsböden nach mittleren und extremen Höhenlagen
- Stärkere Berücksichtigung der Skelettanteile bei der Berechnung der Parameter
- Vergleich der Parametrisierung mit der europäischen Klassifikation nach WÖSTEN et al. (1999) und den Waldstandorten von HAMMEL und KENNEL (2001)

Als Ergebnis der Neu-Klassifikation (s. Abb. 2) wurde die Anzahl der Bodenklassen auf 15 erhöht. Die mit den Modellgleichungen berechneten Wassergehalte bei Feldkapazität und Welkepunkt wurden mit den Angaben in der BÜK1000 und den Feldmessungen von HAMMEL und KENNEL (2001) verglichen (s. Abb. 3). Es konnte gezeigt werden, daß sich sowohl die Simulation von Abflußbildung und Bodenwassergehalten als auch die Modellierung der Bodentemperatur durch den Einsatz der neuen Bodeninformationen verbesserte. Nach Abgleich der Ergebnisse mit der Arbeitsgruppe zur Modellierung der Stickstoffprozesse im Boden (*Biological*) werden die detaillierten Ergebnisse als technische Dokumentation zur Verfügung gestellt.

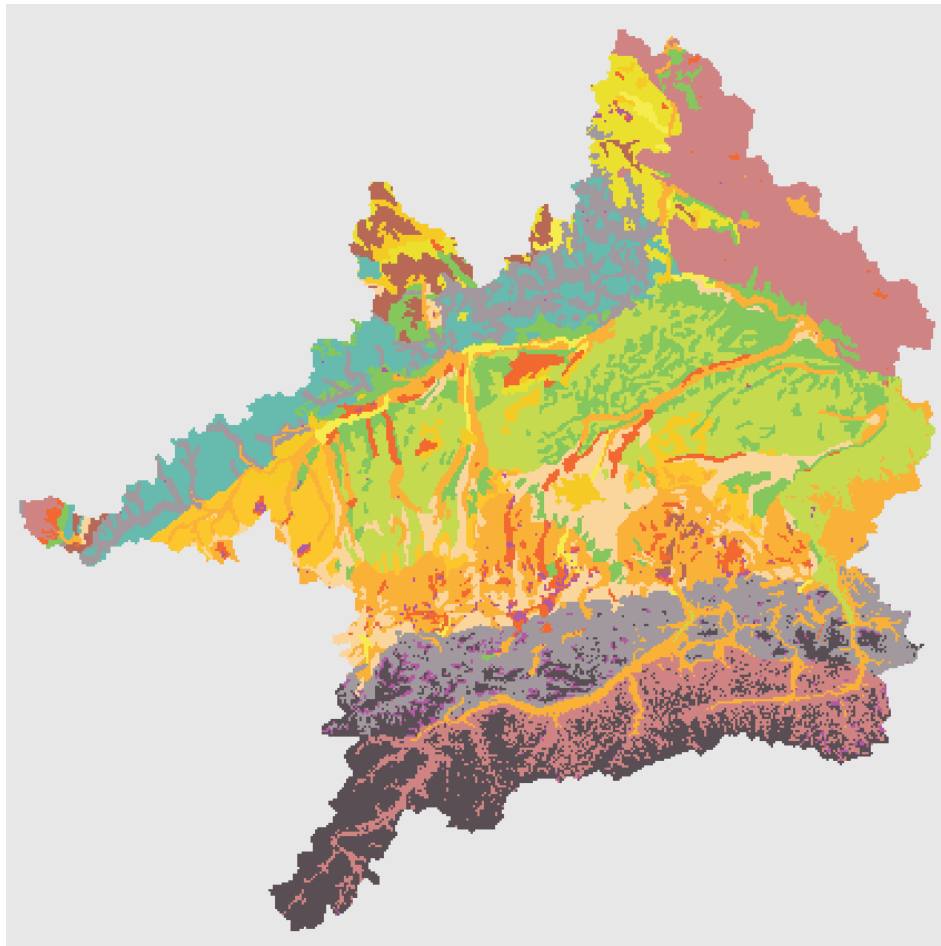


Abb. 2: Übersicht über die Verteilung der Bodenartklassen im Donau-EZG

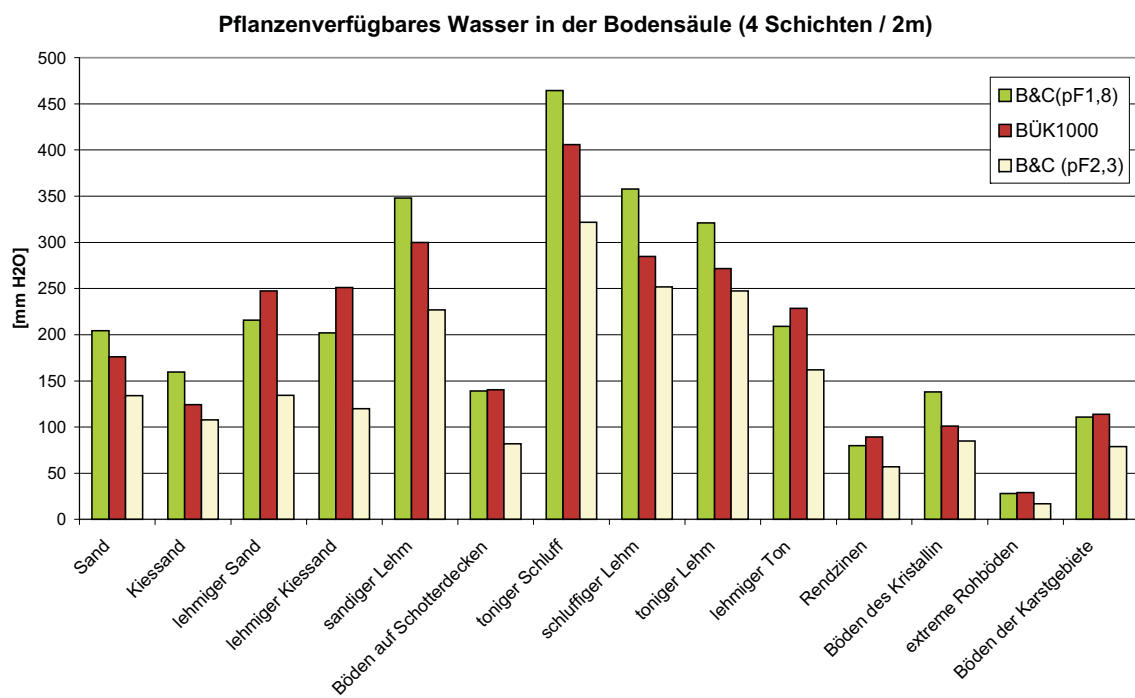


Abb. 3: Pflanzenverfügbares Wasser in der Bodensäule pro Bodenartklasse

#### 4.1.1.2 Die Grundgleichungen des Modells

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  $\lambda$  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 der 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

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

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]
- $\omega$  = Winkelgeschwindigkeit
- $\tau$  = Oszillationsperiode (365 Tage)
- $t_0$  = Tag des Jahres höchster Lufttemperatur
- $z$  = betrachtete Tiefe
- $t$  = betrachteter Zeitschritt (DOY)

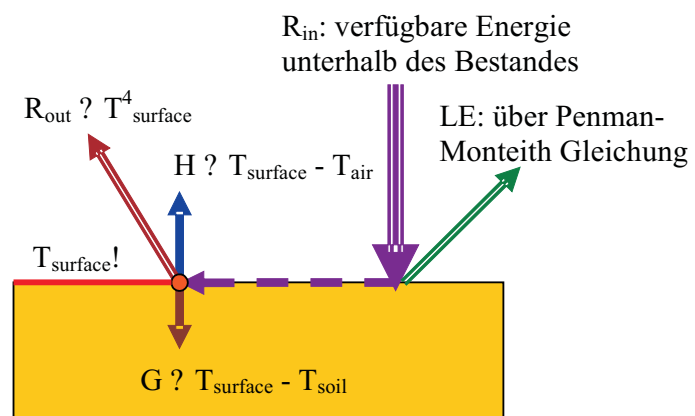


Abb. 4: Schematische Darstellung der Energieflüsse an der Bodenoberfläche



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 Ausstrahlung  $R_{out}$ , 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. Bei der Berechnung der thermischen Parameter wird der Gehalt an Wasser bzw. Eis im Boden zu jedem Zeitschritt berücksichtigt. Die thermische Leitfähigkeit  $\lambda$  wird über das verbreitete Modell von DE VRIES (1963) ermittelt.

Die Effizienz des Berechnungsverfahrens begründet sich auf zwei wesentlichen Punkten: Zum Einen basieren Wassertransport und andere Prozesse auf drei Bodenschichten, die Anwendung von SHTM-4L in DANUBIA erfordert also keine Erweiterung der bisherigen Struktur des Bodenmodells. Zum Anderen 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.

#### 4.1.1.3 Simulation der Bodengefrorenis

Die physikalisch-basierte Simulation der Bodengefrorenis wurde im Berichtsjahr 2006 abgeschlossen. Um den Temperaturverlauf des Bodens im Winter und die Speicherung von latenter Energie im Boden besser darzustellen, wurde ein empirisches Verfahren entwickelt, welches das Mengenverhältnis von flüssigem zu gefrorenem Wasser in einem Boden unterhalb des Gefrierpunktes ermittelt. Das Verfahren wurde aus den Laboruntersuchungen von WATANABE und MIZOGUCHI (2002) abgeleitet und verhindert einen zu statischen Temperaturverlauf bei Erreichen des Gefrierpunktes.

Um eine potentielle Verbesserung der Berechnung von Direktabfluss bei Schneeschmelze und Starkniederschlägen im Frühjahr zu erreichen, wurde außerdem ein Verfahren implementiert, welches das verfügbare Porenvolumen und das bewegliche Wasser im Boden um den Anteil an gefrorenem Wasser verringert. Das verwendete Verfahren lehnt sich an die Arbeit von BOONE et al. (2000) an, die dadurch eine Verbesserung der simulierten Temperaturen und Energieflüsse des Bodens erreichen konnten. Die Validierung hinsichtlich der Abflußbildung ist allerdings nicht eindeutig, da ein Einfluss der Bodengefrorenis auf die Abflußbildung nur unter bestimmten Umständen beobachtet werden kann (s. hierzu z.B. NYBERG et al. 2001 und BAYARD et al. 2005).

#### 4.1.1.4 Kopplung der Energieflüsse Schnee - Boden

Schließlich wurde die Bestimmung der treibenden Variable des Bodentemperaturmodells, der Bodenwärmestrom an der Oberfläche nicht nur anhand der Oberflächenenergiebilanz, sondern auch bei geschlossener Schneedecke physikalisch basiert implementiert. Die Konzeption orientiert sich hierbei am Punktmodell CoupModel (JANSSON und KARLBERG 2001). Das Iterationsverfahren zur Lösung der Energiebilanz der Schneedecke berechnet für jeden

Iterationsschritt den Bodenwärmestrom in die oberste Bodenschicht. Nach Abschluss der Schneedeckenmodellierung wird dann mit diesem Bodenwärmestrom das komplette Bodentemperaturmodell durchlaufen, um den neuen energetischen Zustand des Bodens zu berechnen. Das Verfahren ermöglicht zusammen mit dem Algorithmus zur Bodengefrorenis eine absolut plausible Darstellung der winterlichen Bodentemperaturen. Eine beispielhafte Validierung am Punkt findet sich im Anschluss.

#### 4.1.1.5 Validierung von SHTM-4L mit gemessenen Eingangsdaten

Um das Bodentemperaturmodell gegen Messdaten zu validieren, wurden zwei Strategien angewandt. Zum einen wurden aus Zeitreihen der zwei GLOWA-Danube Eddy-Korrelations-Stationen 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 ( $\approx$ DANUBIA) benutzt um die gemessenen Zeitreihen der Bodentemperatur der Eddy-Stationen und zufällig ausgewählter Agrarmeteorologischer Stationen des bayrischen Landesamtes für Landwirtschaft (LfL) zu reproduzieren.

Die Eddy-Korrelations-Station „Gut Hüll“ ( $48,09^\circ\text{N}$ ,  $11,33^\circ\text{E}$ ) stand im Sommer 2003 in einem Rapsfeld westlich von München auf einem lößlehm-bedeckten Moränenwall der Risseiszeit. Die Station „Wielenbach“ ( $47,89^\circ\text{N}$ ,  $11,16^\circ\text{E}$ ) steht seit Mai 2004 auf einer Feuchtwiese im Auenbereich der Ammer südlich des Ammersees.

Für die Validierung des Stand-Alone-Modells sei auf den Jahresbericht 2005 hingewiesen, hier noch einmal das Vergleichsdiagramm für die Station „Gut Hüll“. Es zeigt die geringe Abweichung von gemessener zu simulierter Temperatur bei gemessenem Bodenwärmestrom.

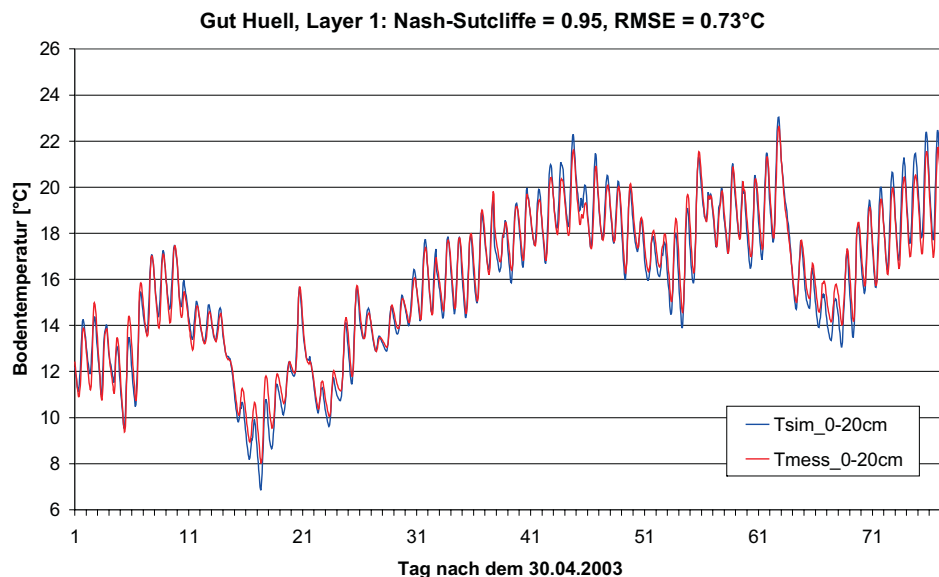


Abb. 5: Vergleich von gemessener Bodentemperatur mit SHTM-4L Ergebnissen für „Gut Hüll“ vom 30.04.2003 bis 15.07.2003

#### 4.1.1.6 Validierung von SHTM-4L in *Landsurface*

Im Folgenden werden die Simulationsergebnisse mit DANUBIA an den Standorten „Gut Hüll“ und „Wielenbach“ verglichen und kurz diskutiert. Dabei ist immer zu berücksichtigen, dass punktuelle Messungen mit Ergebnissen auf der Kilometerskala verglichen werden. Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass physikalische Prozesse durch Regionalisierung der Parameter auf verschiedenen Skalen ihre Gültigkeit behalten. Bis auf die Landnut-

zungsklasse wurde kein Parameter auf die örtlichen Verhältnisse angepasst, sondern der in DANUBIA flächenhaft gültige Datensatz benutzt.

In Abbildung 6 („Gut Hüll“) erkennt man eine Überschätzung der Temperaturen an warmen Tagen, die v.a. auf die Überschätzung der einfallenden Strahlung im meteorologischen Modell zurück zu führen ist. Der Einsatz eines 4-Schichtmodells wirkt sich positiv auf die Reproduktion der gemessenen Zeitreihen aus. Durch die oberste Schicht von 0 bis 5 cm wird die zweite Schicht (5 bis 20 cm) besser von der Oberflächentemperatur entkoppelt. Da viele Punktmessungen in Tiefen von 5 bis 30 cm durchgeführt werden, lassen sich so Modell und Wirklichkeit deutlich besser vergleichen als mit einem 3-Schicht Modell. Man beachte, dass die Messungen in 7,5 und 15 cm Tiefe gemittelt wurden, um sie besser mit der Simulation für die Schicht von 5 bis 20 cm vergleichen zu können.

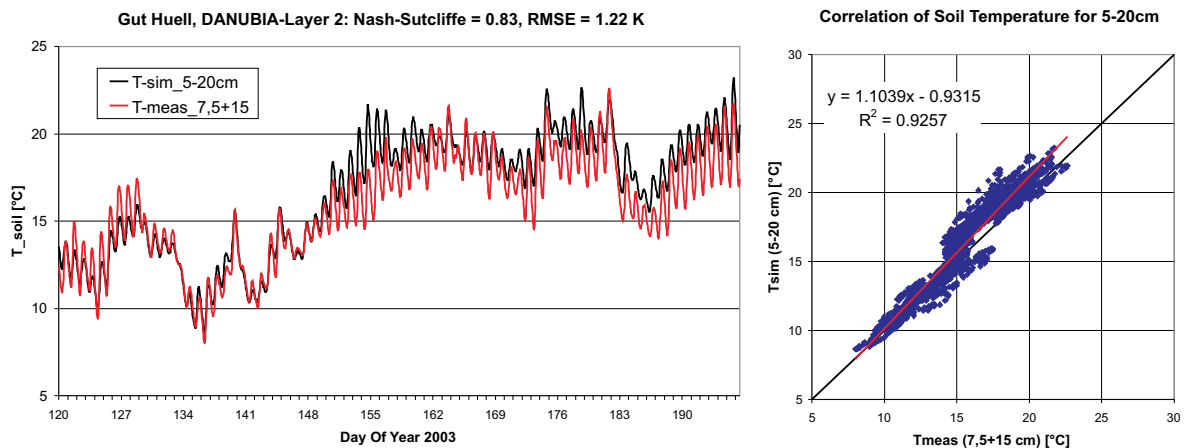


Abb. 6: Vergleich von gemessener Bodentemperatur(7,5 + 15cm Tiefe) mit DANUBIA Ergebnissen für „Gut Hüll“ vom 30.04.2003 bis 15.07.2003

Bei Abbildung 7 müssen die besonderen Bedingungen am Standort „Wielenbach“ angeführt werden. Der geringe Flurabstand und die verfilzte Auflage der untersuchten Feuchtwiese dämpfen den Temperaturgang erheblich im Vergleich zu anderen Wiesenstandorten. Nur eine stärkere Anpassung der Pflanzen- und Bodenparameter an die besonderen Verhältnisse könnten hier das Simulationsergebnis noch verbessern. Jedoch wurde versucht, vor allem im Bereich der Pflanzenparametrisierung Standarddatensätze aus DANUBIA zu nutzen, da diese für die flächenhafte Simulation eingesetzt werden müssen. Trotz allem zeigt sich, dass die Simulation des Energiehaushalts der Landoberfläche mit interpolierten Klimastationsdaten möglich ist und im Rahmen der mesoskaligen Modellierung zu guten Ergebnissen führt.

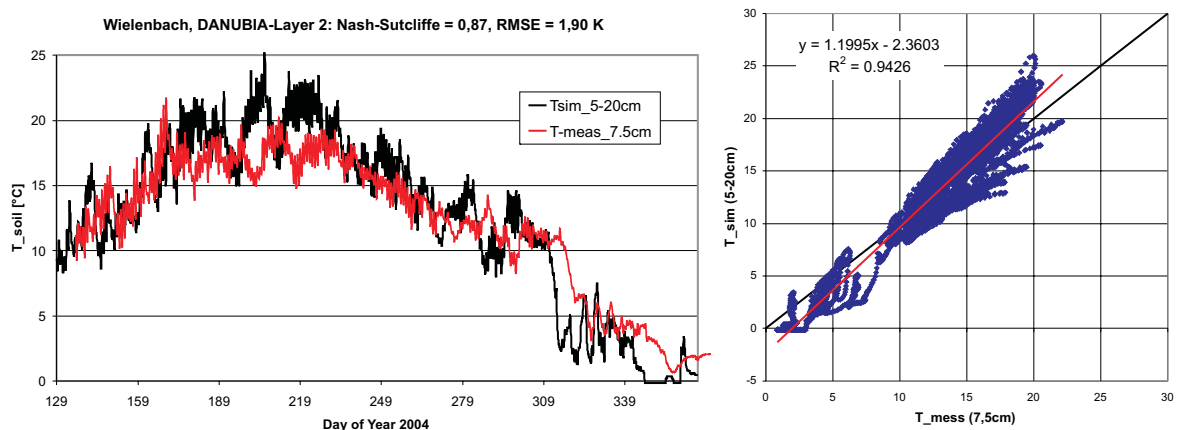


Abb. 7: Vergleich von gemessener Bodentemperatur (7,5cm Tiefe) mit DANUBIA Ergebnissen für „Wielenbach“ vom 08.05.2004 bis 30.12.2004

In Anlehnung an den Jahresbericht 2005 zeigt Abbildung 8 die mittlere Abweichung der simulierten von den gemessenen Bodentemperaturen der Jahre 2003 und 2004 für 7 der 28 ausgewählten agrarmeteorologischen Stationen. Die Auswertung der weiteren agrarmeteorologischen Stationen wird in der 3. Phase fortgesetzt und in einer abschließenden Doktorarbeit (M. Muerth) zusammen noch einmal ausführlicher behandelt.

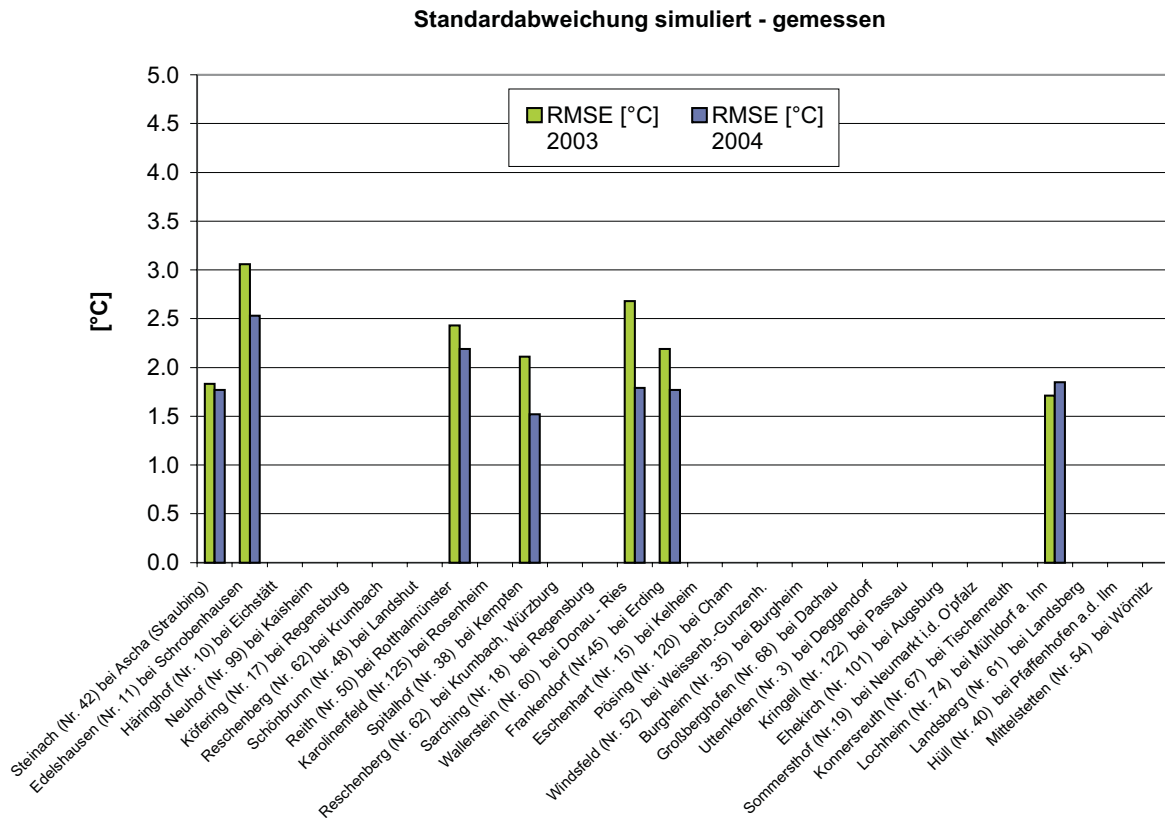


Abb. 8: Statistische Kennzahlen für die Simulation der Bodentemperatur mit DANUBIA an Agrarmeteorologischen Stationen in Bayern

#### 4.1.1.7 Validierung der Landoberflächentemperatur mit Fernerkundungsdaten

Die Landoberflächentemperatur ist die entscheidende Variable für die Bestimmung der Energieströme an der Landoberfläche (s. Abb. 4). Am Ende der 2. Phase wurde damit begonnen eine flächenhafte Validierung dieser Ausgabevariable auf Basis von Thermalbildern des NOAA/AVHRR-17 aufzubauen. Erste Ergebnisse wurden mit Produkten des Deutschen Luft- und Raumfahrtzentrums (DLR) produziert, um einen ersten Eindruck von der Vergleichbarkeit der Ergebnisse der beiden Methoden zu bekommen. Zu Beginn der dritten Phase wird eine Prozessierkette aufgebaut sein, um direkt methodisch konsistent erstellte Produkte des Satelliten NOAA/AVHRR-17 mit der Oberflächentemperatur von DANUBIA/*Surface* vergleichen zu können. Erste Auswertungen zeigen, dass die Differenz der beiden Oberflächentemperaturen eine relativ geringe Standardabweichung von ca. 2 K aufweist und die landnutzungsabhängigen Muster vor allem für größere zusammenhängende Flächen in beiden Produkten ähnlich auftreten. Für einen absoluten Vergleich muss erst eine Prozessierkette für NOAA-17 Thermalbilder vollständig aufgebaut werden, um die mögliche Genauigkeit von ca. 1 K für die satellitengestützte Beobachtung der Oberflächentemperatur zu gewährleisten.

#### 4.1.1.8 Einfluss der Bodengefrorenis auf die Abflussbildung

Um den Einfluss von gefrorenen Böden auf die Abflussbildung in größeren Gebieten zu quantifizieren, wurde das Teileinzugsgebiet der Ammer als Testgebiet ausgewählt. Da es sowohl teilweise in den nördlichen Kalkalpen, als auch zum größeren Teil im Alpenvorland liegt, stellt es einen repräsentativen Ausschnitt des Donaugebiets dar. Ungenauigkeiten des empirisch formulierten Einflusses der Bodengefrorenis auf die Abflussbildung und bei der Simulation des Zeitpunktes der Schneeschmelze führen zu Ungenauigkeiten des Modells bei der Simulation von Spitzenabflüssen im Winter und Frühjahr. Die Häufigkeit von Abflussspitzen und die Maxima der täglichen Abflüsse am Pegel Weilheim werden jedoch besser durch das Einbeziehen der Bodengefrorenis in die Abflussbildung simuliert. Abbildung 9 zeigt das Maximum des täglichen Abflusses gemittelt für die Dekade 1991-2000. Man kann erkennen, dass die simulierten Abflussspitzen mit Bodeneis näher an den gemessenen Abflussspitzen liegen und im Gegensatz zur Simulation ohne Bodeneis das mittlere Maximum nicht konsequent unterschätzt wird. Abbildung 10 stellt die Häufigkeit von täglichen Abflusswerten über  $24\text{m}^3/\text{s}$  dar, der mittlere jährliche Abfluss am Pegel Weilheim liegt bei  $15,5\text{m}^3/\text{s}$ . Auch hier kann man erkennen, dass die Simulation mit Bodeneis eher die winterlichen Hochwässer reproduzieren kann, als die Simulation ohne Bodeneis. Jedoch kann auch die neue Modellversion die extremen Abflüsse mit mehr als  $60\text{m}^3/\text{s}$  nur unzureichend darstellen.

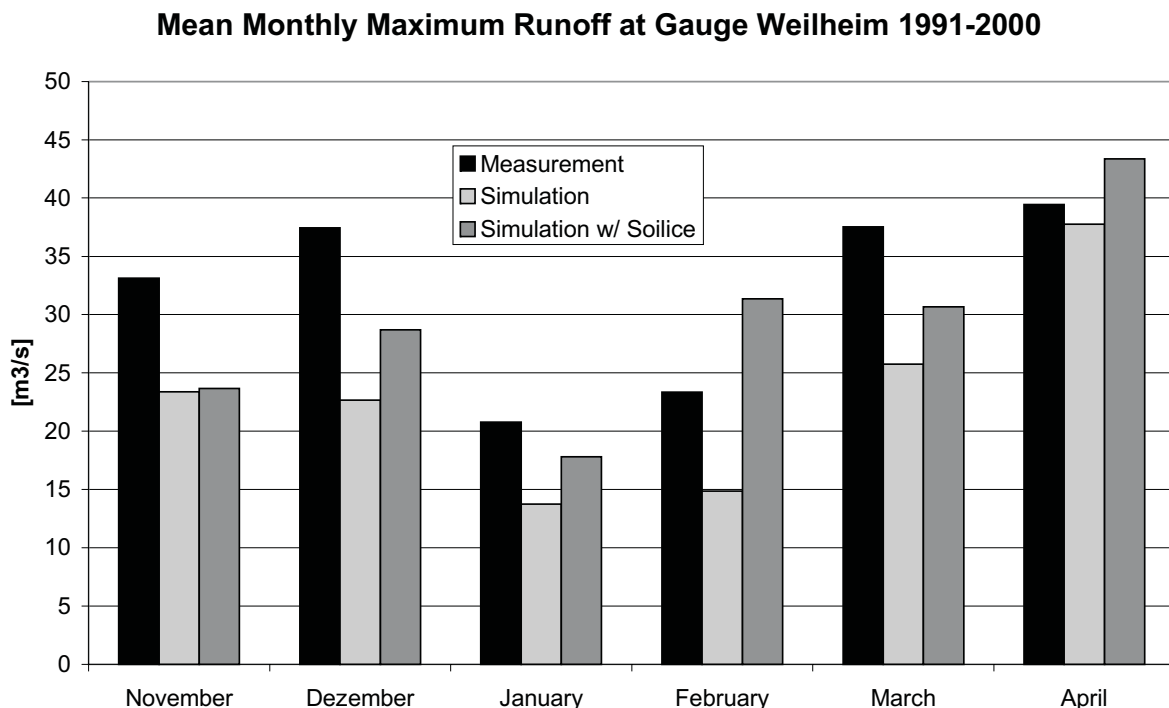


Abb. 9: Mittel von simuliertem und gemessenem monatlichem Maximum des täglichen Abflusses am Pegel Weilheim für die Dekade 1991-2000



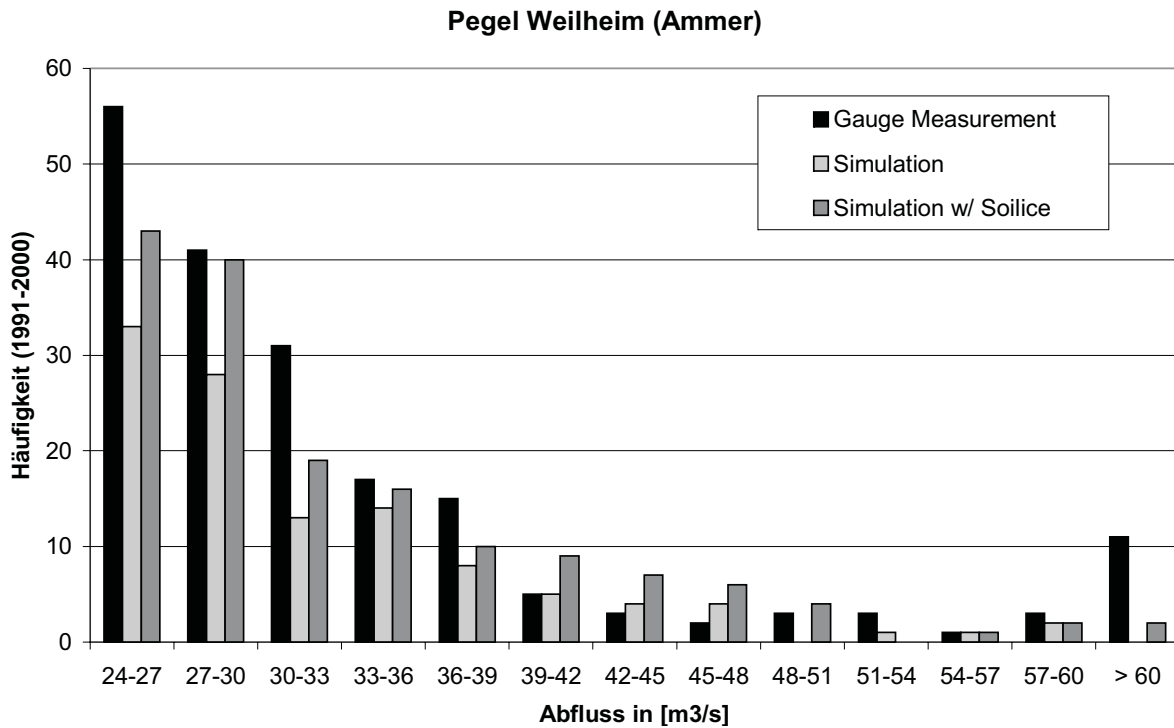


Abb. 10: Häufigkeit von täglichen Abflußmitteln im Winter (Pegel Weilheim, Ammer)

#### 4.1.2 Weiterentwicklung der Erosionskomponente des *Soil*-Modells

Für die Modellierung der Erosion in GLOWA-Danube wurde die Komponente *Soil* innerhalb von *Landsurface* um das Modul *Erosion* erweitert. Um gültige Ergebnisse für Szenarien-Läufe produzieren zu können, wurde ein physikalisch basiertes Modell implementiert. Die Anforderungen an das Modell sind die Berechnung der Erosion, des Transports und der Deposition. Dabei sollte sowohl der Transport von Feststoffen als auch von sorbierten chemischen Inhaltsstoffen des Bodens berücksichtigt werden. Wie geplant wurden dabei die physikalischen Grundlagen des Modells EROSION2D/3D von Schmidt und von Werner (s. z.B. SCHMIDT 2000; VON WERNER 1995) verwendet. Für die Simulation von Transportprozessen chemischer Stoffe sollte überprüft werden, 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.

Die technische Umsetzung und Integration des Erosionsmodells in das DANUBIA-Framework wurde in Phase 2 fertig gestellt. Da eine Validierung des Modells noch nicht durchgeführt werden konnte, wurde bisher auf eine Implementierung des Transports chemischer Stoffe verzichtet.

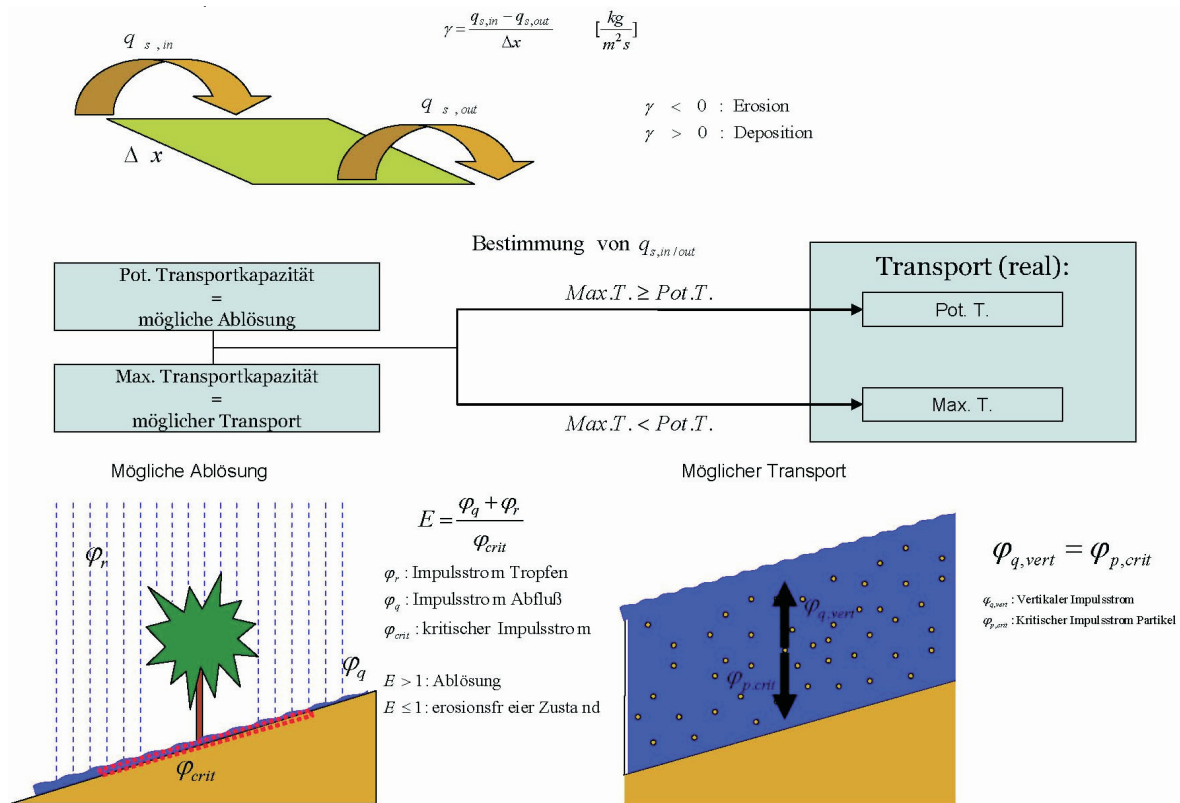


Abb. 11: Grundlegende Funktionsweise des Erosionsmodells Erosion3D

#### 4.1.2.1 Das Modul Erosion

Im Folgenden soll das Modell Erosion3D vereinfacht skizziert werden (s. Abb. 11), so wie es auch in DANUBIA implementiert wurde.

Auf Basis der Kontinuitätsgleichung wird bestimmt, ob Erosion oder Deposition stattfindet. Für jedes Proxel werden Feststoffmassenströme  $q_{in}$  und  $q_{out}$  berechnet, aus deren Differenz sich der Abtrag bzw. die Deposition auf dieser Fläche ergibt. Der reale Transport auf dem Proxel ist bedingt durch die Impulsströme, welche Ablösung und Transport verursachen:

- **potentielle Transportkapazität:** dem Impulsstrom der Regentropfen  $\varphi_r$  und der Impulsstrom des Abflusses  $\varphi_q$  auf dem Proxel wirkt ein kritischer Impulsstrom  $\varphi_{crit}$  entgegen, welcher dem Scherwiderstand des Bodens entspricht:

$$E = \frac{\varphi_q + \varphi_r}{\varphi_{crit}} \quad (1)$$

Wird die dimensionslose Erosionskennzahl  $E > 1$ , beginnt die Ablösung der Partikel aus der Bodenmatrix, ansonsten herrscht erosionsfreier Zustand.

- **maximale Transportkapazität:** wenn Transport stattfindet, gilt:

$$\varphi_{q,vert} = \varphi_{p,crit} \quad (2)$$

Der kritische Impulsstrom der Partikel  $\varphi_{p,crit}$  hängt ab von der Konzentration und Dichte der Partikel und ihrer Sinkgeschwindigkeit. Diesem ist eine vertikale Impulsstromkomponente  $\varphi_{q,vert}$  entgegengesetzt, welche sich aus den Impulsströmen des Oberflächenabflusses und der Regentropfen zusammensetzt.

Nach der Berechnung der Transportkapazitäten ergeben sich zwei Fälle:

- **Max. Transportkapazität  $\geq$  Pot. Transportkapazität:** es ist genug Energie vorhanden, um das gesamte Material, welches sich in Schwebelage befindet abzutransportieren, d.h. der reale Transport entspricht der potentiellen Transportkapazität.
- **Max. Transportkapazität  $<$  Pot. Transportkapazität:** die Energie reicht nicht aus, um die suspendierten Partikel abzuführen, daher wird der reale Transport gleich der maximalen Transportkapazität gesetzt.

#### 4.1.2.2 Parametrisierung

Zur Berechnung des realen Transports nach diesem Schema werden in DANUBIA die in Tabelle 1 aufgelisteten Parameter benötigt.

Tab. 1: Benötigte Eingabeparameter für das Erosionsmodul. (1): in DANUBIA nicht benötigt, (2) aus SCHMIDT et al. 1996 abgeleitet

Parameter	Herkunft
<b>Relief</b>	
DGM	DANUBIA-Basisdatensatz
<b>Boden</b>	
Lagerungsdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	(1)
Anfangsbodenfeuchte [Vol.-%]	(1)
Organikgehalt [Masse-%]	(1)
Erosionswiderstand [N/m <sup>2</sup> ]	(2)
Rauhigkeitsbeiwert (Manning n) [s/m <sup>1/3</sup> ]	(2)
Bedeckungsgrad durch Vegetation [0..1]	Biological
Korngrößenverteilung [%]	Soil
<b>Niederschlag</b>	
Niederschlagsdauer [min]	AtmoStations
Niederschlagsintensität [mm/min]	AtmoStations

Die mit (1) gekennzeichneten Parameter werden im Erosionsmodul von DANUBIA nicht benötigt, da diese in Erosion3D dazu verwendet werden, um den Oberflächenabfluß zu bestimmen, welcher in DANUBIA von der Komponente *Soil* und *Rivernetzwerk* bereitgestellt wird. Der Erosionswiderstand und der Rauhigkeitsbeiwert konnten über Literaturwerte (SCHMIDT et al. 1996) abgeleitet werden. Als Problem stellten sich die Niederschlagsparameter heraus, da diese von der Komponente *AtmoStations* nur stündlich herausgegeben werden. Zur Erstellung von Zukunftsszenarien wird neben MM5- und REMO-Datensätzen ein Klimagenerator (MAUSER et al. 2007) verwendet, der die meteorologischen Eingabedaten für *AtmoStations* bereitstellt.

#### 4.1.2.3 Regionalisierte Niederschlagsdisaggregation

Da die Erosionsvorgänge einer hohen zeitlichen und räumlichen Dynamik unterworfen sind, stellen insbesondere physikalische Modelle hohe Anforderungen an die Auflösung der Eingangsparameter. Auf zeitlicher Ebene werden hochaufgelöste Niederschlagsdaten (< 1 Stunde) benötigt, daher wurde versucht eine geeignete Methode zur Disaggregation des Niederschlags zu finden, welche dessen zeitliches Muster möglichst realitätsnah darstellt.

Die aktuelle Disaggregationsmethode, welche *AtmoStations* verwendet, differenziert lediglich zwischen advektiven und konvektiven Niederschlägen und verteilt den Niederschlag der Mannheimer Stunden auf Stundenwerte, wie in Abbildung 12 skizziert, was vor allem sommerliche Starkniederschläge in ihren Intensitäten stark abflacht.

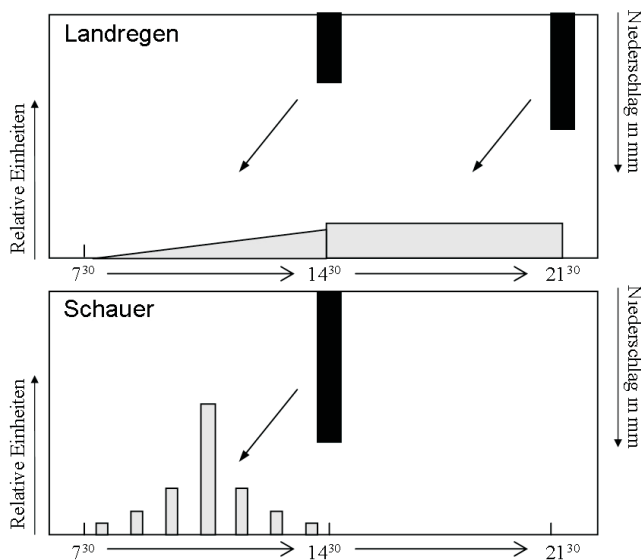


Abb. 12: Zeitliche Disaggregation des Niederschlags

Um realistischere Intensitäten zu erlangen, wurde ein Kaskadenmodell (nach OLSSON 1998) untersucht, 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 wurde versucht, Gesetzmäßigkeiten zu finden, um die Methodik im gesamten Einzugsgebiet anwenden zu können und eine Extrapolation der Modellergebnisse für (Zukunfts-)Szenarien zu gewährleisten. Zu diesem Zweck wurde Software entwickelt, mit der sich Niederschlagsreihen analysieren und disaggregieren lassen.

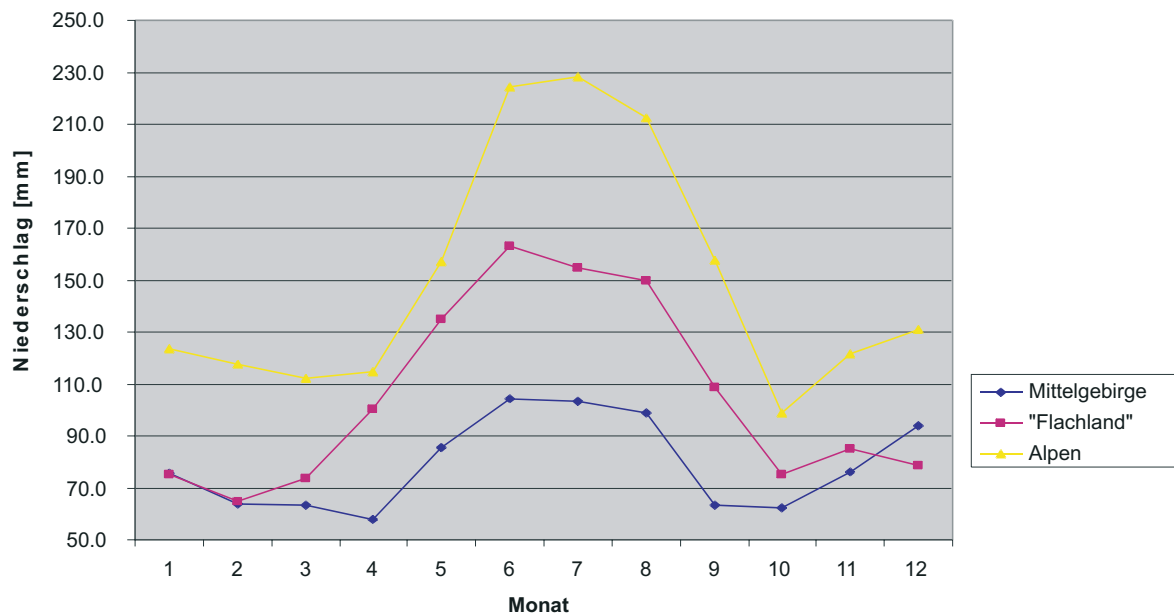


Abb. 13: Verwendete Niederschlagsregimes für die Regionalisierung der Disaggregation

Um Niederschlag nach dem Modell von Olsson disaggregieren zu können, wird ein Generator benötigt, welcher Statistiken über die Niederschlagsstruktur enthält. Dazu werden zunächst zeitlich hochaufgelöste (10-minütige) Messdaten bis auf eine Auflösung aggregiert, welche in etwa den Mannheimer Stunden entspricht. Während des Aggregationsprozesses werden dann empirische Daten über den Aufbau des Niederschlags gespeichert und daraus der Generator gebildet. Dieser enthält dann Wahrscheinlichkeiten, anhand derer eine Zeitreihe bestehend aus Mannheimer Stunden disaggregiert werden kann. Um die Übertragbarkeit des Modells in andere Gebiete zu gewährleisten, und eine geographisch fundierte Anwendbarkeit des Modells zu garantieren, wurde das DANUBIA-Testgebiet in Regionen verschiedener Niederschlagsregimes eingeteilt:

- „Flachland“ (Alpenvorland): Niederschlagsmaximum im Sommer, verursacht durch Konvektion,
- Mittelgebirgsregionen: zwei nahezu gleich große Maxima in Sommer und Winter, bedingt durch sowohl advektive, als auch konvektive Prozesse,
- Alpine Gebiete: sehr hohe Sommermaxima, aber auch beeinflusst durch Stauwirkung.

Für jede Region wurde ein *Generator* abgeleitet, welcher die Disaggregation in der Komponente *AtmoStations* übernimmt. Tabelle 2 und Tabelle 3 vergleichen die Ergebnisse der zwei Disaggregationsmethoden. Exemplarisch wurden drei Stationen ausgewählt, welche die drei verschiedenen Niederschlagsregimes (Wettkam: „Flachland“, Untersberg: Alpen, Kringell: Mittelgebirge) repräsentieren, und deren Niederschlagsreihen des Jahres 2002 disaggregiert.

Tab. 2: Vergleich gemessener und disaggregierter Niederschlagsereignisse (1: Messdaten, 2: Kaskadenmodell, 3: bisherige Methode); (Erosivität nach RENARD et al. 1996)

station	Wettkam			Kringell			Untersberg		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Mittl. Ereignisdauer [h]	12.5	10.1	27.6	11.1	11.1	26.5	14.7	12.9	29.7
Anzahl Ereignisse	141	179	102	140	154	102	139	167	102
Mittel der Ereignismaxima	3.12	3.36	1.07	2.99	3.53	1.53	3.02	3.90	1.53
Median der Ereignismaxima	1.60	1.96	0.74	1.45	1.90	1.03	2.20	2.69	1.03
Mittel der Ereignismittelwerte	0.77	0.97	0.43	0.91	1.13	0.65	0.96	1.40	0.65
Median der Ereignismittelwerte	0.55	0.65	0.32	0.55	0.62	0.52	0.73	0.83	0.52
Summe der Erosivitäten	1507	1381	465	1539	1765	500	2335	3423	1185

Die Ergebnisse in Tabelle 2 zeigen, dass die Disaggregation mit dem Kaskadenmodell generell bessere Werte liefert. Die mittlere Ereignisdauer, welche aus der Disaggregation mit Methode 3 resultiert, wird viel zu hoch eingeschätzt, was aus der relativ regelmäßigen Verteilung über den gesamten Zeitraum einer Mannheimer Stunde herrührt. Daher werden auch die Intensitäten zu stark abgeschwächt.



Tab. 3: RMSE-Werte der Maxima, Mittelwerte und Summen der Erosivitäten aller Niederschlagsereignisse (2: Kaskadenmodell, 3: bisherige Methode)

Station	Wettlkam		Kringell		Untersberg	
Methode	2	3	2	3	2	3
Maxima	4.31	4.50	3.40	4.13	3.40	5.79
Mittelwerte	1.20	0.97	1.57	1.21	1.72	2.01
Summe der Erosivitäten	27.31	25.90	20.83	25.40	19.40	94.67

Die schlechtesten RMSE-Werte aller Ereignisse finden sich bei der bisher verwendeten Methode an der Station Untersberg in den Alpen. Das Kaskadenmodell hingegen scheint konsistente Ergebnisse über alle Regionen zu liefern, was das Konzept der Regionalisierung der Generatoren bestätigt.

#### 4.1.2.4 Geschwindigkeit des Oberflächenabflusses

Die Partikelablösung und der Sedimenttransport werden in EROSION2D/3D über Impulsströme berechnet, welche wesentlich von der Rauigkeit der Bodenoberfläche abhängen. Dazu werden in der aktuellen Implementierung Rauigkeitswerte nach Manning benötigt, welche über einfache Look-Up-Tables aus Literaturwerten eingelesen werden. Da die Literaturwerte zum Teil sehr vagen Angaben unterliegen und die experimentelle Bestimmung der Rauigkeit sehr aufwendig ist, wurden Algorithmen zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Oberflächenabflusses aus physikalischen Parametern untersucht. Implementiert wurden dazu der Algorithmus nach (SAVAT 1980) zur Bestimmung des Fließwiderstandes von Dünnschichtabfluß und die Empfehlungen aus dem DVWK-Merkblatt 220/1991 zur Hydraulischen Berechnung von Fließgewässern (DVWK 1991), welche in abgewandelter Form auch bei (HU und ABRAHAMS 2006) in der Erosionsmodellierung zu finden sind.

Vorläufig wurde auf eine Integration der Algorithmen in das Erosionsmodul verzichtet, da diese einerseits relativ rechenzeitintensiv sind, und andererseits auf die technischen Anforderungen des Modells noch nicht zufriedenstellend angepasst werden konnten.

Um die Modellergebnisse bereits während der Entwicklungsphase besser beurteilen zu können und Änderungen der Eingangsparameter auf die Ergebnisse beurteilen zu können, wurde zusätzlich die vom USDA entwickelte Universal Soil Loss Equation in DANUBIA implementiert. Die einfach umzusetzende und über lange Jahre erprobte und verbesserte (z.B. RUSLE, ABAG) Gleichung stellt ein rechenzeiteffizientes Werkzeug dar, mit dessen Hilfe sehr schnell der Einfluß der Disaggregation beurteilt werden konnte (siehe oben: Erosivität der Niederschlagsereignisse).

Desweiteren soll die Formel auch unterstützende Referenzergebnisse für das eigentliche Modell liefern, um die Validierung zu unterstützen und Fehler leichter lokalisieren zu können.

### 4.1.3 Gekoppelte Modellierung von Landoberflächen- und Atmosphärenprozessen

#### 4.1.3.1 Kurzbeschreibung

Die gekoppelte Modellierung des Landoberflächen-Atmosphärensystems bietet die Möglichkeit, verschiedene Klimaszenarien für die Modellierung der Landoberflächenprozesse im DANUBIA Modell zu verwenden und ermöglicht die Abschätzung zukünftiger Auswirkungen des Klimawandels auf die Prozesse und Eigenschaften der Landoberfläche. Für die Übertragung der meteorologischen Simulationen auf das räumlich höher aufgelöste Landoberflächengitter wurden in der zweiten Projektphase geeignete Skalierungsverfahren entwickelt und in das Kopplungsprogramm SCALMET integriert (laufende Dissertation T.

Marke). Durch eine sich im Rahmen des Globalen Wandels dynamisch verändernde Vegetation und Landnutzung ermöglicht die bilaterale Kopplung von Landoberfläche und Atmosphäre die Einflussnahme der Landoberfläche auf die regionale Meteorologie. Dabei wird das Landoberflächenmodul im meteorologischen Modell durch die räumlich höher aufgelöste Modellierung der Landoberflächenprozesse im DANUBIA abgelöst und so der Nicht-linearität vieler hydrologischer Prozesse Rechnung getragen (KUSTAS und NORMAN 2000). Die hochaufgelöste Abbildung der Pflanzenprozesse im Modell DANUBIA (z.B. Transpiration, LAI, etc.) kann die Antwort auf offene Fragen im Bereich der Klimamodellierung geben und wesentlich zum Verständnis des Landoberflächen-Atmosphärensystems beitragen.

#### 4.1.3.2 Modelle

Für die Simulation der Atmosphäre wird von der Meteorologie-Gruppe das mesoskalige Atmosphärenmodell MM5 eingesetzt (GRELL et al. 1994). Neben seiner Fähigkeit zur mehrfachen Nestung bietet es verschiedene 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 ausgegebenen meteorologischen Parameter wurde für den Datenaustausch mit der Landoberfläche 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.

Seit Beginn der dritten Projektphase steht als weiteres meteorologisches Modell das regionale Klimamodell REMO (MPI Hamburg) zur Verfügung (JACOB 2001). Die ersten Daten, welche aus einer vom Umweltbundesamt (UBA) in Auftrag gegebenen Studie über mögliche zukünftige Klimaänderungen für Deutschland, Österreich und die Schweiz hervor gehen, konnten bereits Ende der zweiten Projektphase über den Server der CERA Datenbank bezogen werden (<http://cera-www.dkrz.de>). Es handelt sich um verschiedene Modellläufe, die sowohl Simulationen vergangener Zeiträume (Climate of the 20th Century), als auch Simulationen verschiedener Zukunftsszenarien (A2, B1, A1B) beinhalten. Diese Daten stehen zusammen mit umfangreichen MM5-Datensätzen, bereitgestellt durch das Teilprojekt Meteorologie (LMU München), für die hydrologische Modellierung im DANUBIA-Gebiet zur Verfügung.

Die Landoberflächenprozesse werden vom Modell DANUBIA-*Light* simuliert (MAUSER und SCHÄDLICH 1998). Die aktuelle Version des FORTRAN-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 und soll als Entwicklungsplattform für die gekoppelte Landoberflächen-Atmosphären-Modellierung dienen. Auch dieses Modell wurde in der zweiten Projektphase vom verantwortlichen Teilprojekt Hydrologie und Fernerkundung (LMU München) für die bevorstehende Modellkopplung umfangreichen strukturellen Anpassungen unterzogen.

Für die Skalierung der Modellergebnisse zwischen den beteiligten Modellen für Landoberfläche und Atmosphäre wurde das Skalierungsprogramm SCALMET entwickelt. Abbildung 14 gibt einen Überblick über das gekoppelte Modellsystem.

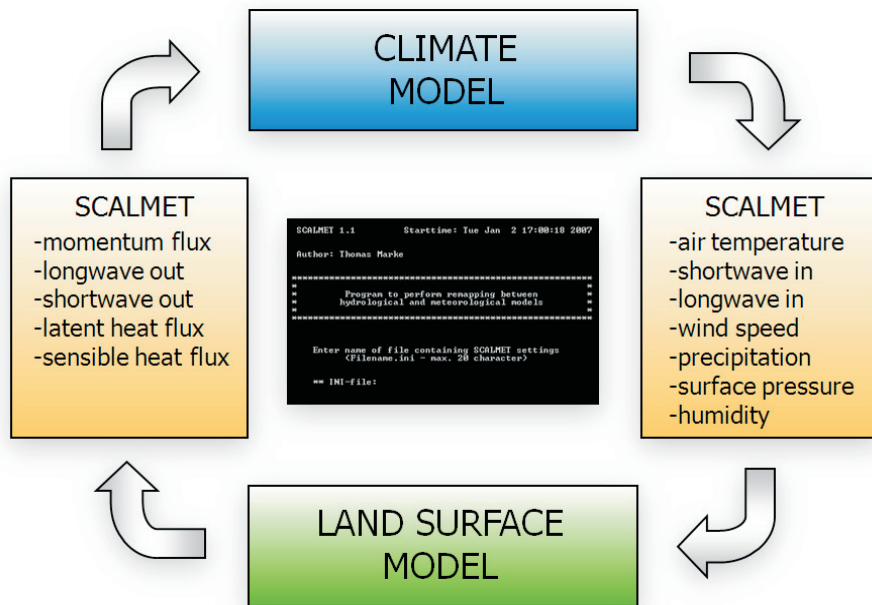


Abb. 14: Gekoppeltes Modellsystem und zwischen den Modellen ausgetauschte Parameter

Wie die Abbildung zeigt, ist das Programm zwischen die beiden Modelle der Atmosphäre und der Landoberfläche geschaltet. Bei einseitig gekoppelten Modellläufen werden nur die meteorologischen Simulationsergebnisse als Eingaben für die Landoberflächenmodellierung verwendet, während bei der bilateralen Kopplung die Ergebnisse der Landoberflächenmodellierung darüber hinaus als Eingaben für die meteorologische Modellierung dienen. In beiden Fällen muss der Skalensprung zwischen Atmosphäre und Landoberfläche durch geeignete Skalierungsverfahren realisiert werden. Um die REMO-Daten in der dritten Projektphase verarbeiten zu können, wurde das Programm SCALMET bereits Ende der zweiten Projektphase entsprechend erweitert. Dabei mussten v.a. Routinen zur Transformation der rotierten REMO-Koordinaten sowie Routinen zum Einlesen des REMO-Datenformates implementiert werden. Auch inhaltlich musste das Programm SCALMET auf die Verwendung der REMO-Meteorologie vorbereitet werden, um die REMO-Ausgabeparameter für die Skalierung und die anschließende Verwendung im Modell *DANUBIA-Light* entsprechend aufzubereiten.

#### 4.1.3.3 Datengrundlage für die gekoppelte Modellierung

Das Modellgebiet musste für die Kopplung von Landoberfläche und Atmosphäre wegen den Randbedingungen weit über die Grenzen des Einzugsgebietes der oberen Donau ausgedehnt werden. Entsprechend musste auch die für die Modellierung der Landoberflächenprozesse notwendige Datengrundlage erweitert werden. Dabei wurden Geländehöhe, Exposition und Hangneigung aus den Daten der jüngsten SRTM-Mission abgeleitet. Als Landnutzungsinformation stehen die Global Landcover 2000 Daten 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.

Abbildung 15 zeigt das erweiterte Modellgebiet und die Datengrundlage für die Landoberflächenmodellierung.



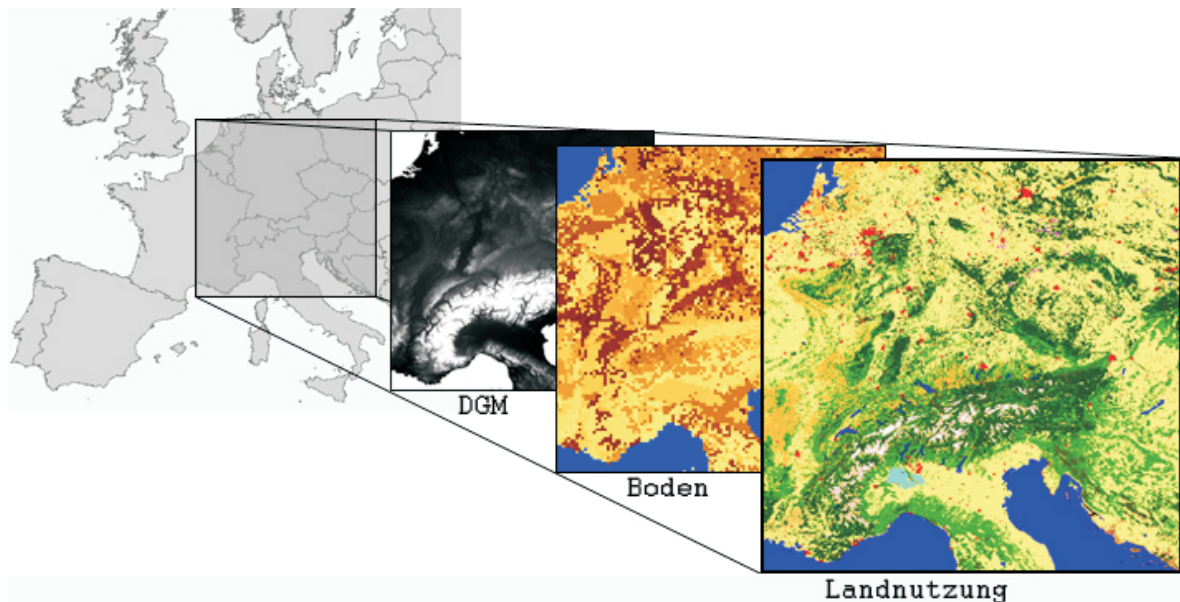


Abb. 15: Erweitertes Modellgebiet und Datengrundlage für die Modellierung der Landoberflächenprozesse

Während die verwendeten Daten der European Soil Database (ESDB) bis Mitte des Jahres 2006 lediglich in einer räumlichen Auflösung von 10 x 10 km verfügbar waren, stehen mit der ESDB Version 2 Bodendaten in einer wesentlich höheren räumlichen Auflösung von 1 x 1 km zur Verfügung. Die neuen Bodendaten wurden analog zur vorhergehenden Version der ESDB aufbereitet. Abbildung 16 zeigt die aus den unterschiedlichen Versionen der ESDB abgeleiteten Bodeninformationen.

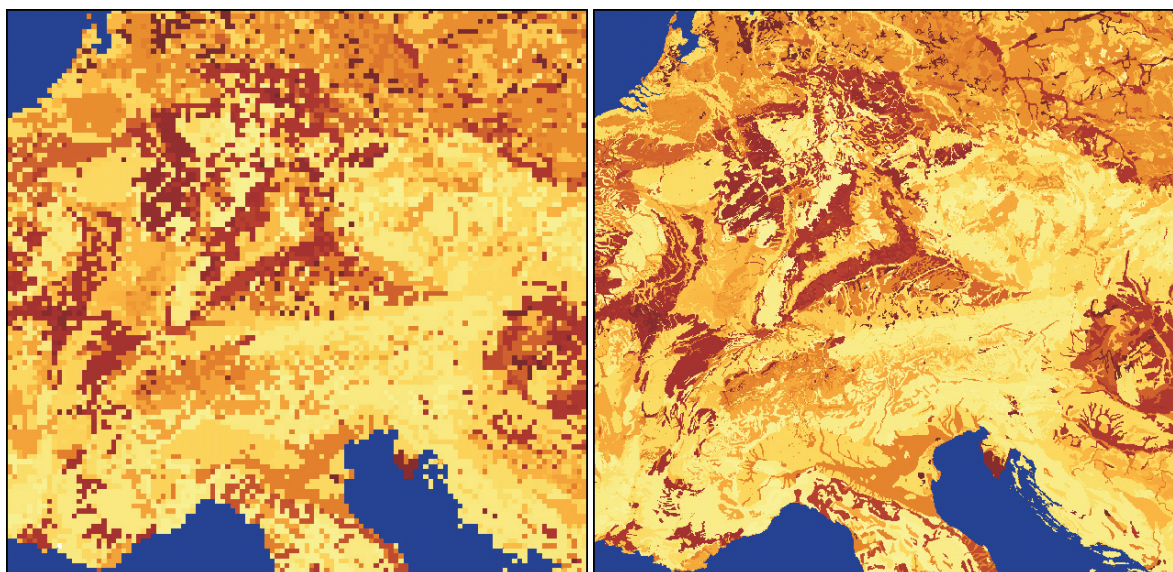


Abb. 16: Bodeninformationen für die interaktiv gekoppelte Landoberflächen-Atmosphären-Modellierung im DANUBIA in einer räumlichen Auflösung von 10 km x 10 km (links) und 1 km x 1 km (rechts)

#### 4.1.3.4 Skalierung

Die Prozesse in der Atmosphäre und auf der Landoberfläche werden in unterschiedlichen räumlichen Skalen beschrieben. Für die Skalierung der Modellergebnisse zwischen den Modellen für Landoberfläche und Atmosphäre wurden geeignete Verfahren in das Skalierungsprogramm SCALMET integriert.

### a. Direkte Interpolationsverfahren

Die direkte Interpolation der Klimasimulationen kann im Kopplungsmodul SCALMET über folgende Interpolationsverfahren durchgeführt werden:

- Inverse Distance Weighted Interpolation
- Bilineare Interpolation
- Konservative Interpolation zur Erhaltung von Energie und Masse

Im Fall der Inverse Distance Weighted Interpolation kann die bei der Interpolation zu berücksichtigende Pixelnachbarschaft vom Benutzer frei gewählt werden.

Neben den Standardverfahren der Inverse Distance Weighted Interpolation und der Bilinearen Interpolation wurde das Konservative Interpolationsverfahren nach JONES (1998) implementiert. Dieses Verfahren soll bei direkter Interpolation die exakte Erhaltung von Energie und Masse zwischen den Modellskalen gewährleisten. Dabei wird die Erhaltung von Energie und Masse über ein Flächenintegral gewährleistet:

$$\overline{F}_k = \frac{1}{A_k} \sum_{n=1}^N \int_{A_{nk}} f_n dA$$

mit

- $F_k$  = flux at destination grid cell  $k$
- $A_k$  = area of grid cell  $k$
- $N$  = number of overlapping source grid cells
- $f_n$  = flux at source grid cell  $n$
- $A_{nk}$  = area of grid cell  $n$  covered by grid cell  $k$

Zur Performanzsteigerung konnten diverse, für die Skalierung der Meteorologie erforderliche Rechenschritte ins Vorfeld des gekoppelten Modelllaufes verlegt werden. So können z.B. die für die Skalierung erforderlichen Interpolationsgewichte für alle Interpolationsmethoden bereits vor dem Modelllauf berechnet oder eingelesen werden, was zu einer enormen Reduzierung der Rechenzeit während des gekoppelten Modelllaufes führt.

### b. Statistische und physikalisch basierte Skalierungsverfahren

Die oft sehr geringe räumliche Auflösung der meteorologischen Modelle geht einher mit einer grob aufgelösten Darstellung der Erdoberfläche (s. Abb. 17).

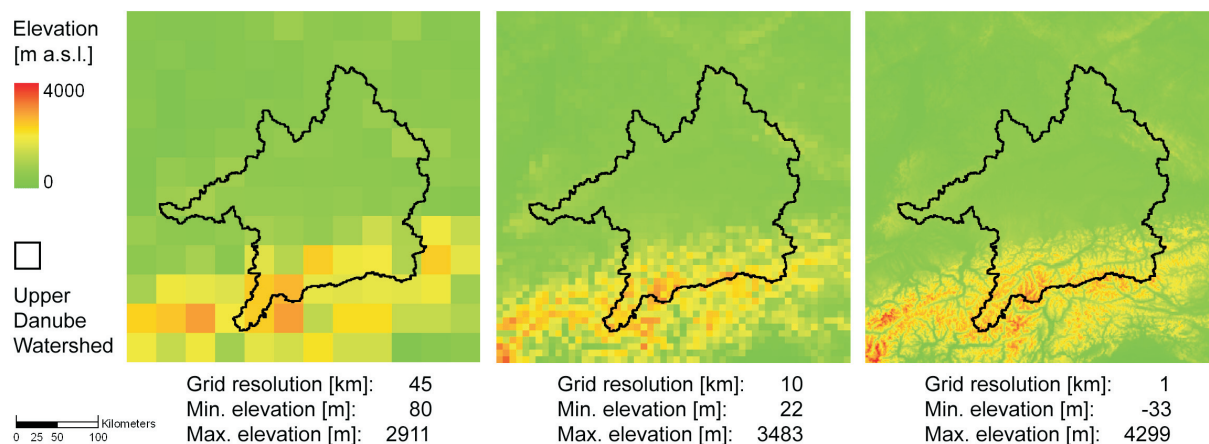


Abb. 17: Abbildung der Geländehöhe im Einzugsgebiet der oberen Donau in verschiedenen räumlichen Auflösungen



Um die daraus resultierende Diskrepanz zwischen der simulierten und der an einem Ort beobachteten Klimatologie zu reduzieren, können Skalierungsansätze eingesetzt werden, die über die direkte Interpolation der simulierten Meteorologie hinausgehen (FRÜH et al. 2006).

Für das *Downscaling* der MM5-Simulationen im Einzugsgebiet der oberen Donau wurden vom Teilprojekt Meteorologie Skalierungsfunktionen aus meteorologischen Messdaten abgeleitet. Diese Funktionen wurden in das Programm SCALMET integriert und stehen für die Skalierung der MM5-Simulationen im Einzugsgebiet der oberen Donau zu Verfügung. Zusätzlich wurden statistische und physikalisch basierte Skalierungsansätze implementiert, die zum *Downscaling* im erweiterten Modellgebiet zu Verfügung stehen und in der dritten Projektphase auch für die Skalierung der REMO Daten verwendet werden können. Der grundlegende Ablauf dieser Skalierungsverfahren ist in Abbildung 18 dargestellt.

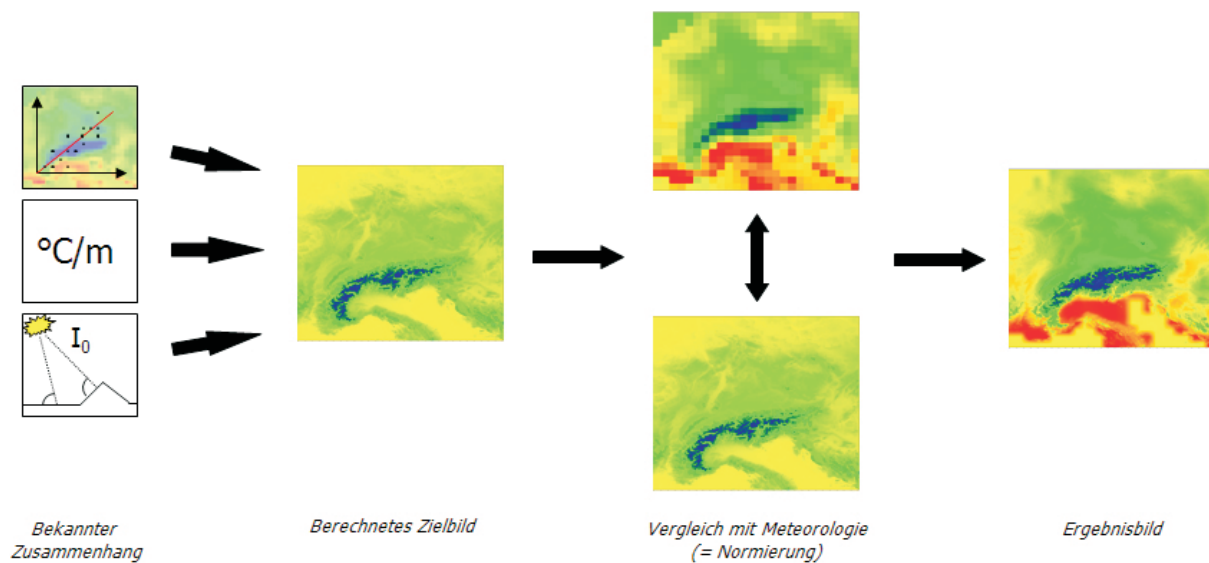


Abb. 18: Schematische Darstellung des Skalierungsprozesses unter Verwendung quasi-physikalischer Skalierungsansätze

Dabei wird ein bekannter Zusammenhang zwischen der simulierten Größe und einer Eigenschaft der Landoberfläche (z.B. Geländehöhe) eingesetzt, um die betrachtete meteorologische Variable auf das feinere Zielgitter zu übertragen. Im Anschluss daran muss die berechnete Meteorologie mit der vom Klimamodell simulierten Meteorologie verglichen werden.

Abweichungen zwischen dem Mittelwert aller Landoberflächenpixel innerhalb der Grenzen eines Klimamodellpixels und der simulierten Meteorologie des betreffenden Klimamodellpixels können über das feine Zielbildgitter interpoliert und mit den berechneten Zielbildwerten verrechnet werden.

Wird die Interpolation dieser Abweichungen durch das beschriebene Konservative Interpolationsverfahren durchgeführt, kann die exakte Erhaltung von Energie und Masse zwischen den Modellskalen sicher gestellt werden. Der den Verfahren zugrunde liegende bekannte Zusammenhang (s. Abb. 18, links) kann sowohl während des gekoppelten Modelllaufes aus den meteorologischen Simulationsergebnissen der Klimamodelle abgeleitet werden (Residuen-Verfahren) als auch der Literatur entnommen werden.

Liston und Elder (2006) beschreiben Verfahren, welche die Umverteilung meteorologischer Felder unter Verwendung quasi-physikalischer Ansätze ermöglichen. In Anlehnung an diese Methoden konnten Strahlungsmodelle zur Skalierung der langwelligen und kurzwelligen Strahlung, aber auch Verfahren zur Skalierung von Temperatur, Niederschlag und Luftfeuchte in das Kopplungsmodul SCALMET integriert werden.

Neben diesen quasi-physikalischen Skalierungsansätzen kann für den Großteil der meteorologischen Parameter ein Skalierungsverfahren verwendet werden, das als „Residuen-Verfahren“ bezeichnet wird und sich bereits bei der Interpolation von Stationsdaten für die hydrologische Modellierung bewährt hat (WEGE 1998). Das Verfahren bestimmt die Höhenabhängigkeit einer meteorologischen Größe während des gekoppelten Modelllaufes und verwendet die abgeleiteten Funktionen für die Höhenkorrektur der meteorologischen Simulationen der Klimamodelle. Der grundlegende Ablauf ist in Abbildung 19 dargestellt.

Im Hinblick auf dieses Verfahren wurde der Einsatz verschieden großer Regressionsfenster sowie der Einsatz von Höhengrenzwerten realisiert, um die Auswirkungen einer Verwendung unterschiedlicher Regressionsfunktionen für verschiedene Teilbereiche bzw. Höhenlagen im Kopplungsgebiet zu untersuchen.

Um die Höhenabhängigkeit der Windgeschwindigkeit im alpinen Raum bei der Skalierung besser berücksichtigen zu können, wurden 115 MM5-Datensätze für das Gebiet des Nationalparks Berchtesgaden in einer räumlichen Auflösung von 200m x 200m statistisch analysiert. Die Daten beinhalten Modellrechnungen für 72 Windrichtungen und 9 Kombinationen aus verschiedenen Windgeschwindigkeiten in 700 hPa und Meeressniveau. Es ist zu prüfen, inwieweit die resultierende Windfunktion zur Höhenanpassung der Windgeschwindigkeit im Alpenraum generell eingesetzt werden kann.

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

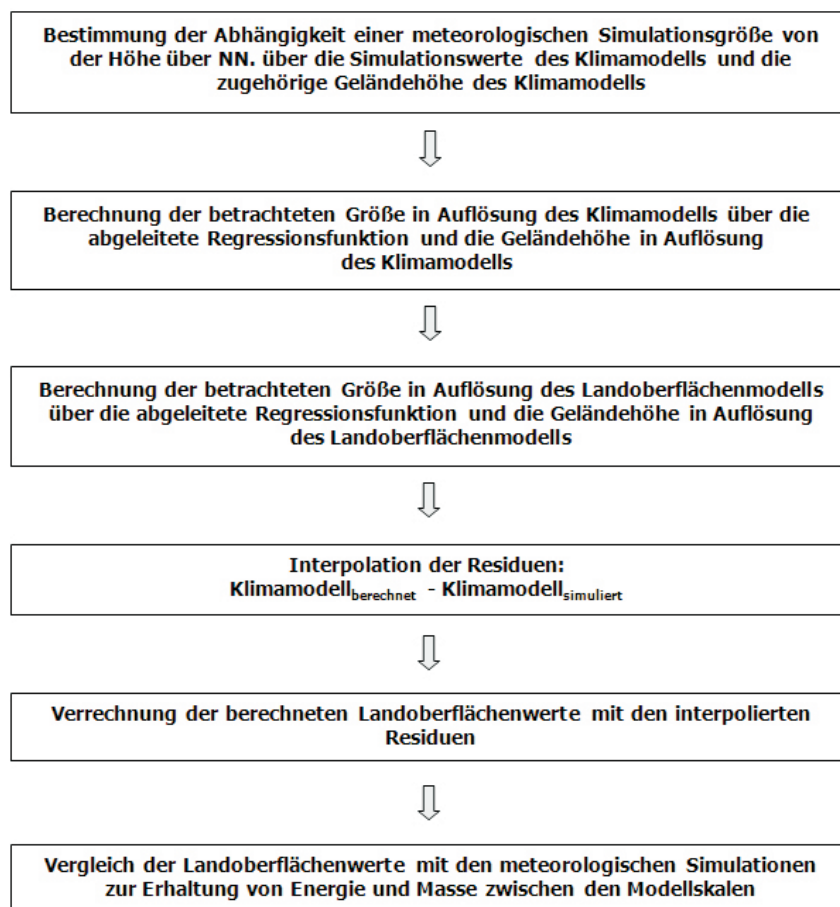


Abb. 19: Schematische Darstellung des Skalierungsprozesses unter Verwendung des Residuenverfahrens

#### 4.1.4 Entwicklung und Validierung des Modells für Wind-induzierten Schneetransport

Gemäß der Gutachter-Stellungnahme war die Arbeitsgruppe HydFern in der zweiten Projektphase auch intensiv mit der *subskaligen* Beschreibung der Schneedecken-Heterogenität beschäftigt (laufende Dissertation M. Bernhardt). In dem beschriebenen Teilprojekt wurde ein Ansatz entwickelt, der es zukünftig erlauben wird, die subskalige Schneeverteilung in zeiteffizienter Weise in DANUBIA zu berücksichtigen.

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 der Höhe zunehmenden Niederschlagsmenge, zum Anderen die Umverteilung der bereits vorhandenen Schneedecke. Letzteres beeinflusst damit auch die räumliche Variabilität und zeitliche Dynamik des Energie- und Wasserhaushalts der Schneedecke, die Vegetationsentwicklung und das Lawinenrisiko (DOESKEN und JUDSON 1996; BALK und ELDER 2000). Die Notwendigkeit, die Effekte des Schneetransports in großskalige Modelle zu implementieren, wurde z.B. von BOWLING et al. (2004) und LISTON (2004) erkannt und beschrieben. Durch die Entwicklung eines Modellansatzes zum windinduzierten Schneetransport in der GLOWA-Danube Super-Testsite Nationalpark Berchtesgaden wurden Erkenntnisse über die Auswirkungen des Schneetransportes auf die Hydrologie in alpinem Gelände gewonnen; dadurch wird u.a. auch eine an die im alpinen Raum vorherrschende Topographie angepasste Weiterentwicklung des Modells der Teilgruppe Glaziologie ermöglicht. Vor der Skalierung auf die in GLOWA-Danube übliche Skala von 1km<sup>2</sup> wurde zur Entwicklung und Validierung auf der Prozessskala gearbeitet (max. Auflösung 10m).

Als Eingangsdaten 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 physikalisch basierten Windfeldern wurde auf eine modifizierte Version des Atmosphärenmodell MM5 (Penn State University - National Center for Atmospheric Research, Version 3.3 (GRELL et al. 1995)) zurückgegriffen, dass auch im Teilprojekt Meteorologie zur Klimamodellierung benutzt wird. In der genutzten Konfiguration arbeitete das Modell mit fünf interaktiv genesteten Modelldomänen verschiedener Auflösung.

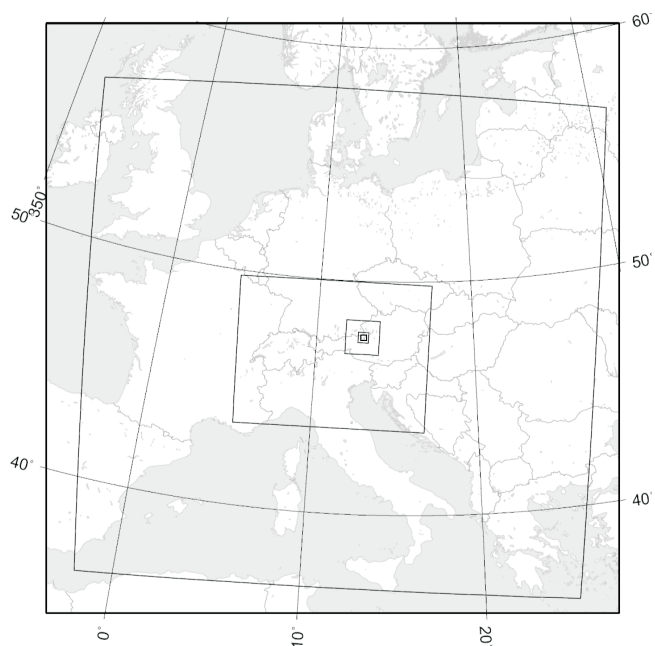


Abb. 20: MM5 Nesting-Domänen, von 1 (größte Erstreckung) bis 5 (Zielgebiet)

Da eine Einbindung von MM5 in den operationellen Teils der Modellkette zur Schneedeckensimulation zu einer signifikanten Beeinträchtigung der Performanz geführt hätte, wurden die MM5 Windfelder von der eigentlichen Schneetransportmodellierung getrennt und eine Bibliothek von repräsentativen Windfeldern offline erzeugt. 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. Eine detaillierte Beschreibung dieser Arbeiten findet sich in BERNHARDT et al. (2007).

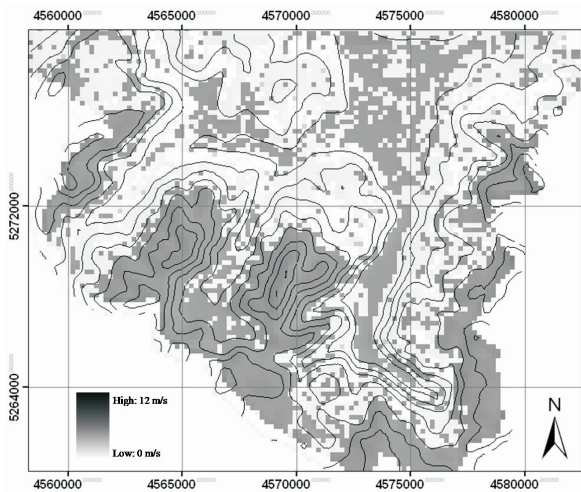


Abb. 21: Nach der Methodik von LISTON (1998) interpoliertes Feld der Windgeschwindigkeit. Die Windgeschwindigkeiten liegen zwischen 1m/s (Dunkelgrau) und 9m/s (Hellgrau)

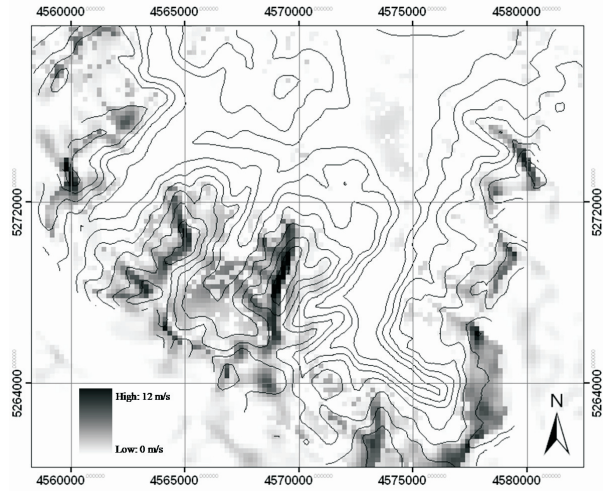


Abb. 22: MM5 generierte Windgeschwindigkeiten. Die Windgeschwindigkeiten liegen zwischen 1 m/s (Dunkelgrau) und 11m/s (Hellgrau)

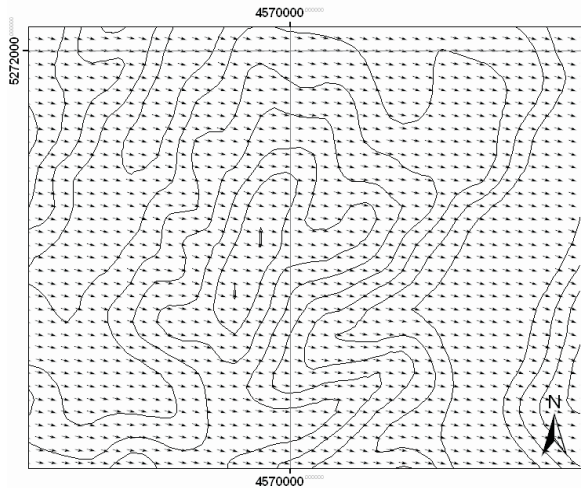


Abb. 23: Nach der Methodik von RYAN (1977) interpoliertes Feld der Windrichtungen. Ausschnitt aus dem gesamten Windfeld mit dem Watzmann im Zentrum

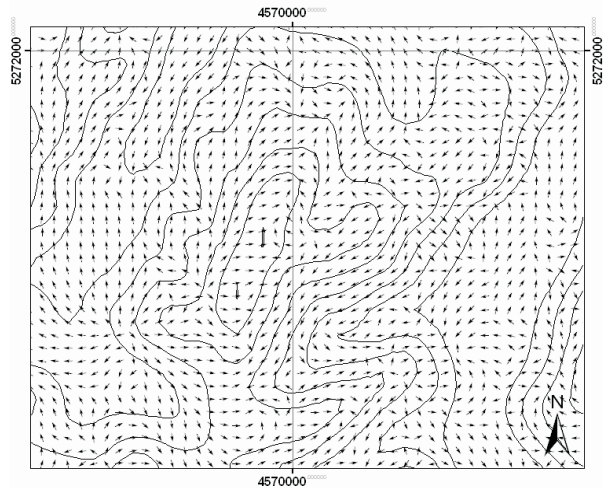


Abb. 24: MM5-generierte Windrichtungen. Ausschnitt aus dem gesamten Windfeld mit dem Watzmann im Zentrum

Für die Simulation der Schneetransportprozesse wurde auf *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.

Bei der Schneedeckenmodellierung fand zunächst das DGM in 200m Auflösung Verwendung, mit dem auch die MM5 Simulationen durchgeführt wurden. Anhand der Ergebnisse konnten erste Abschätzungen über die Modellgüte und die Relevanz der Schneetransport-



prozesse 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. 2007) (Abb. 25). Aber auch für zwischen den meteorologischen Stationen gelegene Testpunkte konnten gute Ergebnisse erzielt werden (Abb. 26). Dies ist besonders im Hinblick auf die Regionalisierbarkeit der Ergebnisse von Interesse. Durch die Tatsache, dass valide Ergebnisse auch zwischen den meteorologischen Stationen verfügbar sind, wurde es möglich, die Subpixelvariabilität der Schneedecke auch in Gebieten zwischen meteorologischen Stationen zu ermitteln.

**Schneehöhe gemessen vs. modelliert (Messpunkt Reiteralm)**

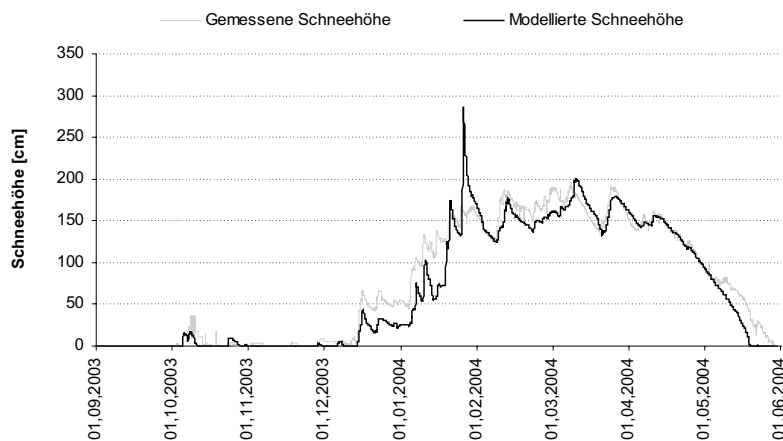


Abb. 25: Ergebnisse der Schneedeckenmodellierung für den Winter 2003/2004 an der meteorologischen Station Reiteralm 3. Die Werte zeigen einen Korrelationskoeffizienten von  $r^2 = 0.94$

**Schneehöhe gemessen vs. modelliert (Messpunkt Kühroint)**

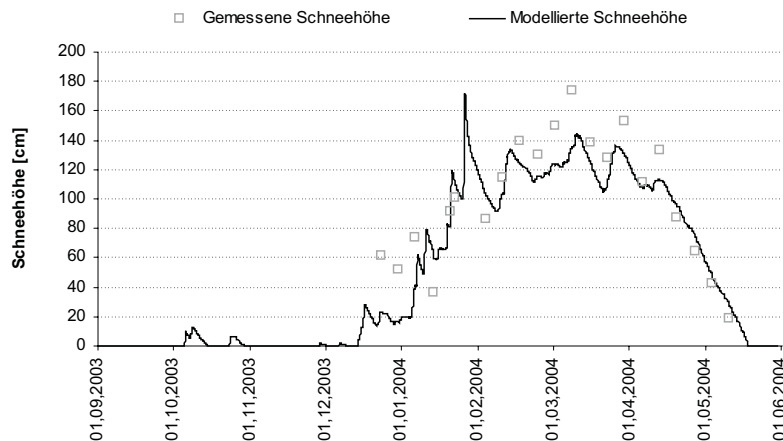


Abb. 26: Ergebnisse der Schneedeckenmodellierung für den Winter 2003/2004 an dem Messpunkt Kühroint. Die Werte zeigen einen Korrelationskoeffizienten von  $r^2 = 0.72$

Die erfolgreiche Validierung am Punkt erlaubt auch die Interpretation der Flächendatensätze. Es konnte gezeigt werden, dass bereits auf der Basis des 200m - DGMs 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. 27) 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 sich bei Nicht-Berücksichtigung der Transportprozesse generell unter 1% des Schneeniederschlags bewegen, während sie unter Transportbedingungen auf weit über 50% in den gipfelnahen Bereichen ansteigen (STRASSER et al. 2007, Abb. 28). Der Sublimationsprozess hat unmittelbare Konsequenzen auf das vorhandene Schneewasseräquivalent und den Betrag des abfließenden Schmelzwassers; somit ist es auch für Modellierungen auf der 1km<sup>2</sup>- Skala von Belang.

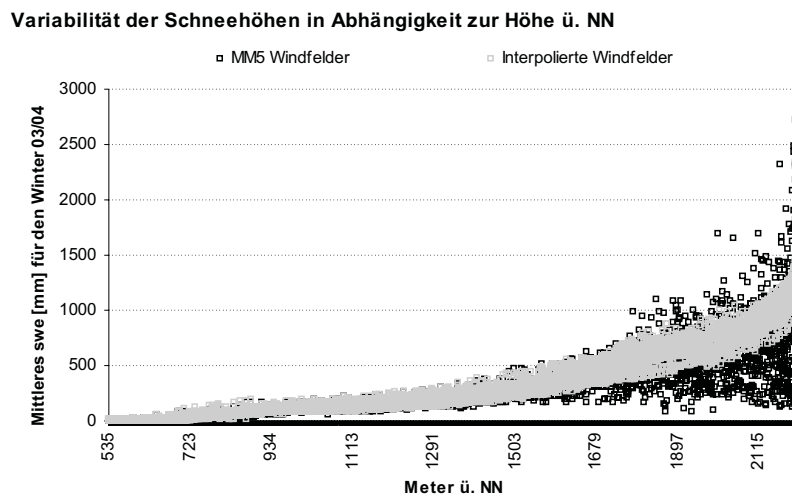


Abb. 27: Abhängigkeit des Schneewasseräquivalents von der Höhe ü. NN

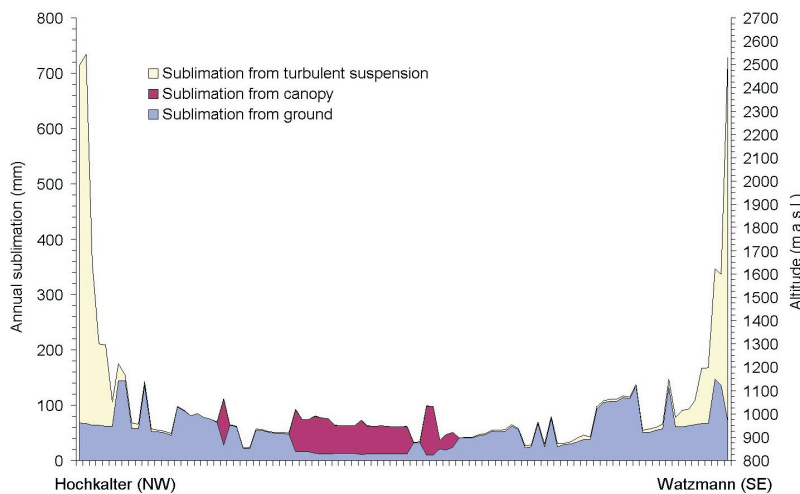


Abb. 28: Schnee-Sublimationsverluste entlang einer Traverse durch das Wimbachtal zwischen Hochkalter und Watzmann

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 10m benötigt. Um die Vergleichbarkeit zwischen gemessenen und modellierten Daten zu gewährleisten, mussten die Windfelder (200 Meter Auflösung) auf die Prozessskala (10m) skaliert werden. Der verwendete Ansatz wird in BERNHARDT et al. (2007b) beschrieben. Um eine möglichst gute Validierung der Modellergebnisse zu ermöglichen, wurden von der Verwaltung des Nationalparks Berchtesgaden in den Wintern 04/05 und 05/06 Geländekampagnen durchgeführt. Dabei wurden an definierten Pegellatten in wöchentlichem Zyklus die Schneehöhen abgelesen. Das gekoppelte Modell lieferte zufriedenstellende Ergebnisse. Die operationellen Schneehöhenmessungen an den Stationen und die aus Geländekampagnen stammenden Daten konnten gut reproduziert werden (vgl. Abb. 29).

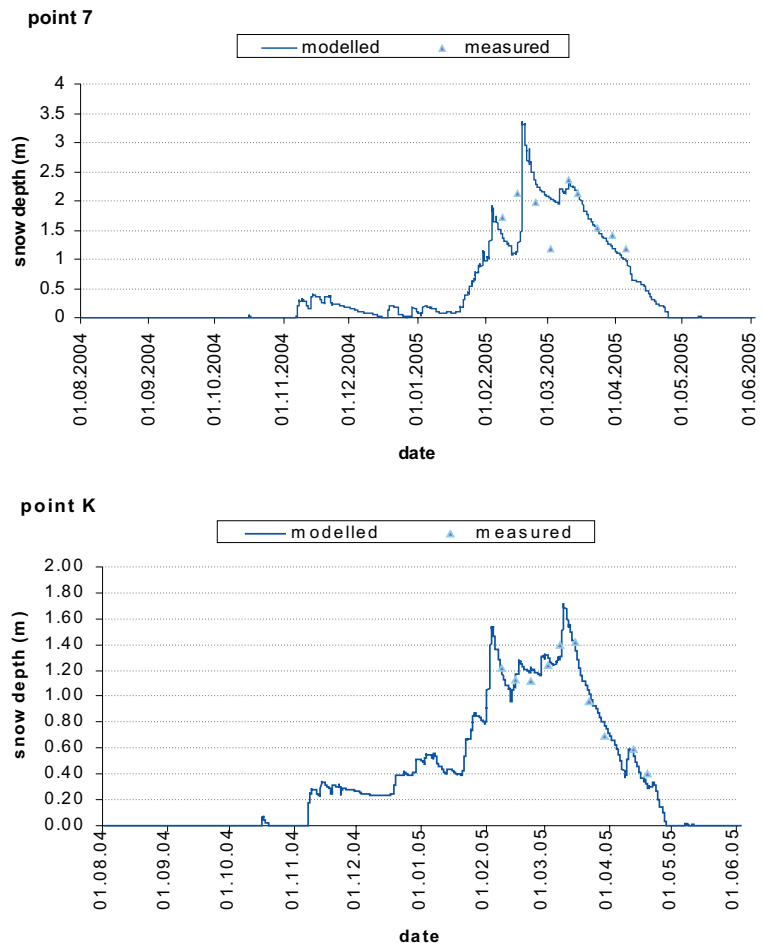


Abb. 29: Vergleich zwischen modellierten und gemessenen Schneehöhen unter Berücksichtigung von Schneetransport bei der Modellierung

Für die Einbindung der gefundenen Ergebnisse in DANUBIA wurden die berechneten Schneeverteilungsmuster mit stationären (z.B. Topographie), bzw. quasi-stationären (z.B. Vegetation) Parametern korreliert und dann auf das gesamte für GLOWA-Danube relevante Gebiet extrapoliert. Als Resultat erhält man ein Raster aus Zellen, bekommt man einen Variationskoeffizienten pro Proxel. Die Stabilität der SWE - Verteilung in einem beobachteten Gebiet über mehrere Jahre ermöglicht die Bestimmung einer allgemeingültigen Schneeverteilungswahrscheinlichkeitsfunktion pro Proxel aus der berechneten subskaligen Variation des SWE (KIRNBAUER und BLÖSCHL 1994; STURM et al. 1995). Die verwendete Funktion ist eine log-Normalverteilung, deren Form durch die subskaligen Analysen beschrieben werden kann (Abb. 30). Die Kenntnis über diese subskalige Heterogenität der Schneebedeckung wird es dem Teilprojekt *SNOW* ermöglichen, genauere Berechnungen des Massenhaushalts der Gletscher durchzuführen und wird die bereits implementierten subskaligen Methoden (s. Teilbericht *SNOW*) weiter verfeinern.

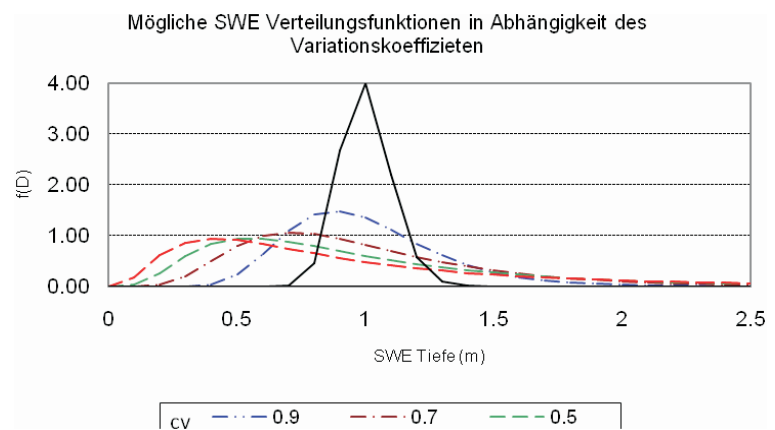


Abb. 30: SWE - Verteilungsfunktionen für ausgewählte Variationskoeffizienten (cv)

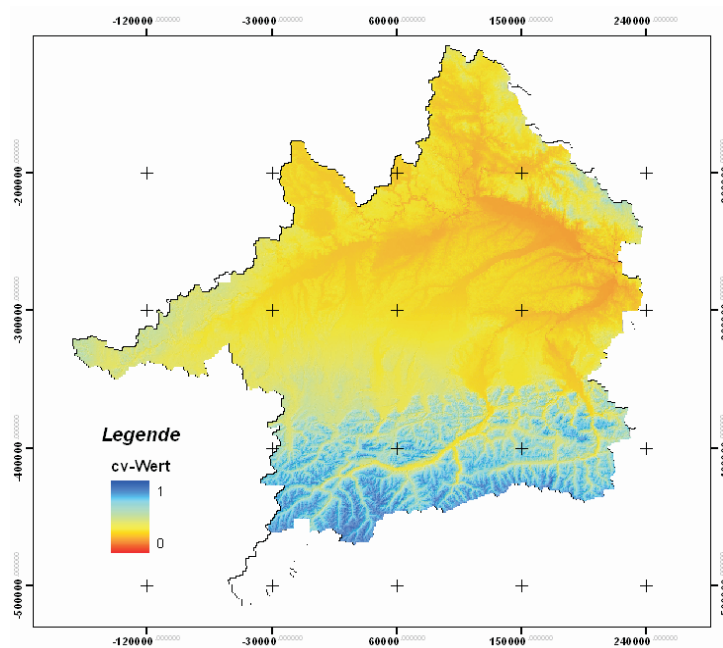


Abb. 31: Flächenhafte Darstellung des Variationskoeffizienten (cv)

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.

Außerdem wurde von der Gruppe HydFern unter der organisatorischen Leitung von U. Strasser der Alpine\*Snow\*Workshop geplant und am 5.-7. Oktober 2006 erfolgreich durchgeführt. Zu dieser Veranstaltung konnten über 70 international anerkannte und etablierte Wissenschaftler begrüßt werden. Am dritten Tag fand eine gemeinsame Exkursion zur Eiskapelle in der Super-Testsite Nationalpark Berchtesgaden statt. So wurde es möglich, die in GLOWA-Danube durchgeführten Arbeiten der Gruppe HydFern und Snow mit führenden Wissenschaftlern/innen in punkto Energiebilanz der Schneedecke und Schneetransport (Pomeroy J., Liston G., Sturm M., Essery R.,) und Schneedeckenfernerkundung (Nolin A., Rott H., Shi J.) zu diskutieren. Diese wertvollen Kontakte und Erfahrungen fließen unmittelbar in die Arbeiten an DANUBIA mit ein. Im Herbst 2007 erscheint ein gemeinsam von U. Strasser und dem Nationalparkleiter M. Vogel herausgegebener Tagungsband.

#### 4.1.5 Die Modellierung von Verkehrsflüssen und touristischer Nachfrage im Einzugsgebiet der oberen Donau

Innerhalb des *Deep-Actors-Frameworks* wurde das Modell „Traffic“ entwickelt, welches den Entscheidungsprozess von Tagestouristen abbildet (laufende Dissertation M. Tepfenhart). Zur Validierung des zugrundeliegenden Modells haben wir eine Befragung unter Tagestouristen durchgeführt. Bei der Auswertung der externen Parameter hat sich gezeigt, dass die Ergebnisse der Befragung unsere Modellannahmen bestätigen. Naherholungsverkehr ist ein entscheidender Faktor für die beobachteten Verkehrsflüsse an den Wochenenden. Daher wurde das Modell mit dem Verkehrsmodell *DaTraM* (Danubia Traffic Model) gekoppelt und an Modellverbesserungen gearbeitet. Mit Hilfe eines Discrete - Choice-Modells sind zwei Studien durchgeführt worden, in denen die Auswirkung der Klimawandels auf den Wettbewerb der Skibegiete um Tagestouristen und die damit verbundenen Veränderungen im Straßenverkehr untersucht wurden.

#### 4.1.5.1 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. Der Entscheidungsprozess wird modelliert 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. Abbildung 32 zeigt die Ergebnisse des Entscheidungsprozesses für mit DANUBIA modellierte Eingangsdaten der Schneehöhe und Wetterbedingungen für fünf ausgewählte Skigebiete.

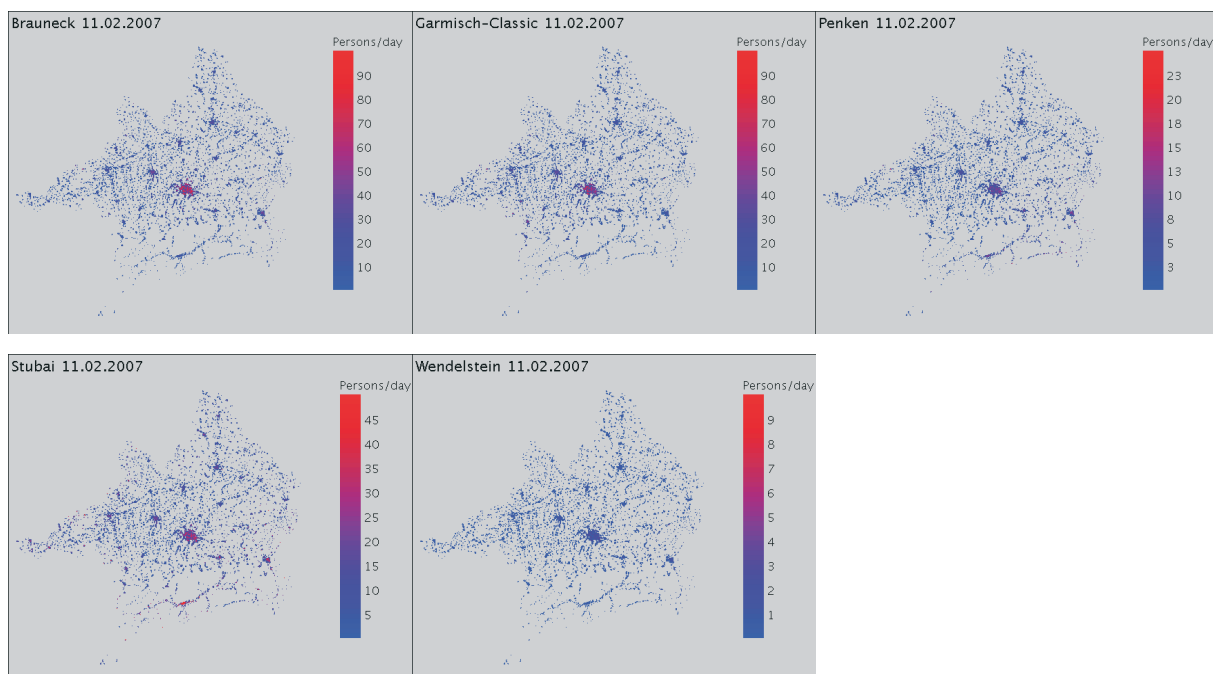


Abb. 32: Modellierte Anzahl von Tagesskitouristen pro Proxel für die Skigebiete Brauneck, Garmisch-Classic, Penken, Stubai und Wendelstein

Das Entscheidungsmodell wurde mit dem Verkehrsmodell *DaTraM* gekoppelt. Abbildung 30 zeigt die Ergebnisse der Verkehrsdynamik.

Die dynamische Simulation von Verkehrsszenarien ist rechenaufwendig. Daher wurde das Verkehrsmodell *DaTraM* parallelisiert (SCHLENZ und SIEBEL 2006). Darüber hinaus wurden ausgedehnte Studien zu Modellverbesserungen durchgeführt. Während die aktuelle Version von *DaTraM* auf der klassischen makroskopischen Beschreibung von Lighthill und Whitham beruht, wurde parallel an einer Erweiterung des Verkehrsmodells gearbeitet, um Verkehrsflüsse realistischer beschreiben zu können (SIEBEL und MAUSER 2006c und 2006d). Für das erweiterte Modell, das BVT-Modell, wurden in (SIEBEL et al. 2006) die Kopplungsbedingungen an Verkehrsknoten ausgearbeitet und in numerischen Simulationen angewendet.

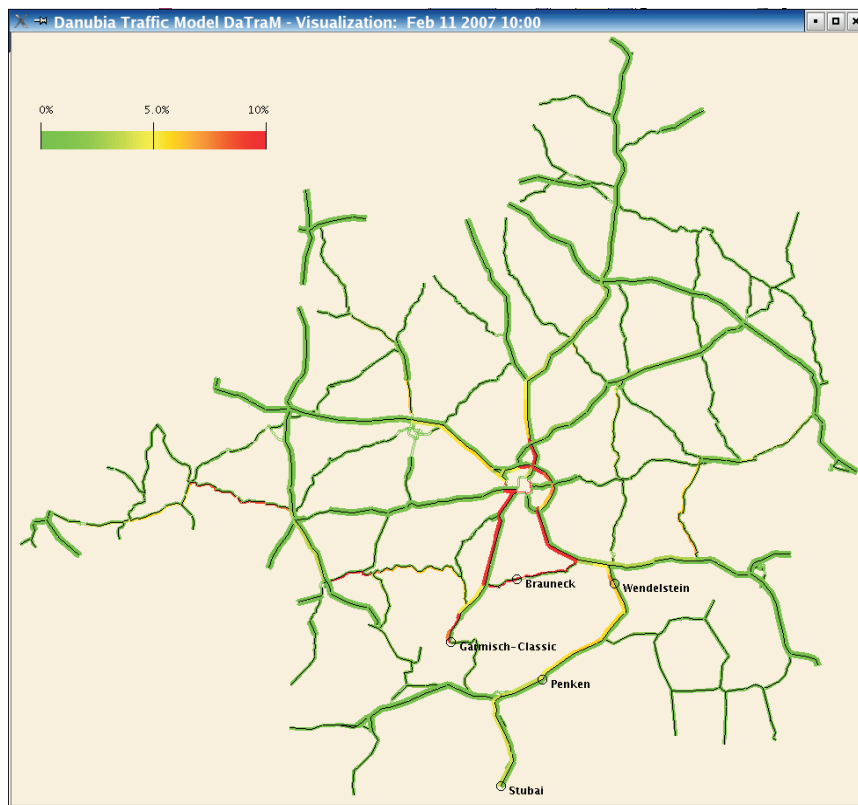


Abb. 33: Straßennetz der Oberen Donau. Die Abbildung zeigt die Sättigung der wichtigsten Autobahnen und Straßen am 11. Februar 2007 für den durch Skitouristen verursachten Verkehr nach dem Entscheidungsmodell *Traffic*. Zusätzlich wurden die entsprechenden Zielknoten in das Netzwerk eingezeichnet

Im Rahmen der Validierungsarbeiten wurde mit dem Verkehrsmodell eine Studie über die Auswirkungen des Klimawandels auf die Wettbewerbsdynamik der 237 Skigebiete der oberen Donau (Abb. 34) um Tagestouristen durchgeführt (TEPFENHART et al. 2006). Für Tagestouristen ist die Fahrzeit zwischen Wohnort und Skigebiet ein entscheidender Faktor, der mit dem Verkehrsmodell *DaTraM* berechnet werden kann. In Folge der Klimaerwärmung verschiebt sich die Höhengrenze der Schneesicherheit gegen höhere Lagen. Bei der Entscheidung eines Tagestouristen für ein Skigebiet spielt die Fahrzeit zwischen Wohnort und Skigebiet eine wesentliche Rolle. Der Vergleich zwischen euklidischen und realistischen Fahrzeiten zeigt, dass mit zunehmender Verschiebung der Höhengrenze der Schneesicherheit die Verwendung realistischer Fahrzeiten im Modell immer wichtiger wird. Die Anzahl der modellierten Tagespässe wird überschätzt, wenn diese mit euklidischen Fahrzeiten berechnet werden. Die Ursachen der Abweichungen sind: geringere Straßendichte in den Bergen und die Adaptation des Straßennetzes an die Topographie. Letztere führt zu steileren Straßen und folglich zu längeren Fahrzeiten. Die Untersuchung wurde daher mit realistischen, d.h. mit *DaTraM* modellierten Fahrzeiten durchgeführt.

Untersuchungsgegenstand war u.a. die geographische Verteilung der Skigebiete bei unterschiedlichen Höhengrenzen der Schneesicherheit (Abb. 35). Der Vergleich der übrig bleibenden Skigebiete bei einer verschobenen Höhengrenze der Schneesicherheit mit allen Skigebieten, welche unter idealen Bedingungen in Betrieb sind (Abb. 34), zeigt das Verschwinden der meisten Skigebiete im Bayerischen Wald bereits bei einer Höhengrenze der Schneesicherheit von 1200m ü. NN. Eine weitere Verschiebung der Höhengrenze der Schneesicherheit gegen höhere Lagen bewirkt eine Verminderung der Anzahl der Skigebiete in den Bayerischen Voralpen. Schließlich, d.h. bei einer Höhengrenze der Schneesicherheit bei 2100m ü. NN bleiben nur die Skigebiete in den Alpen übrig.



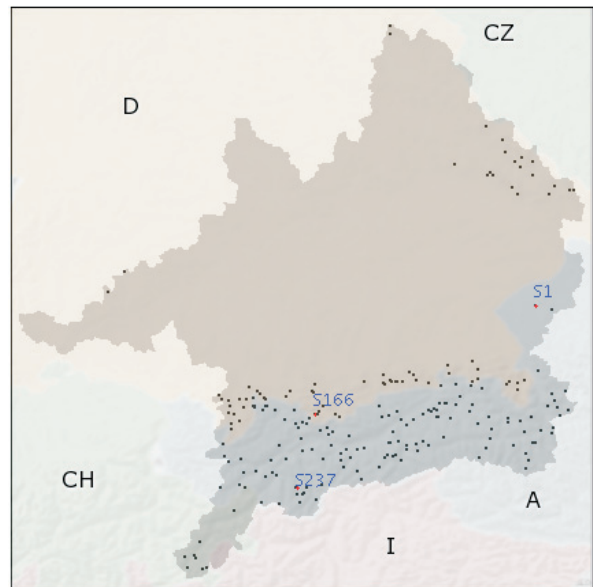


Abb. 34: Verteilung der 237 Skigebiete im Einzugsgebiet der oberen Donau. Das niedrigste/höchste Skigebiet (S1/S237) und Garmisch-Partenkirchen (S166) sind auf dem Bild gekennzeichnet

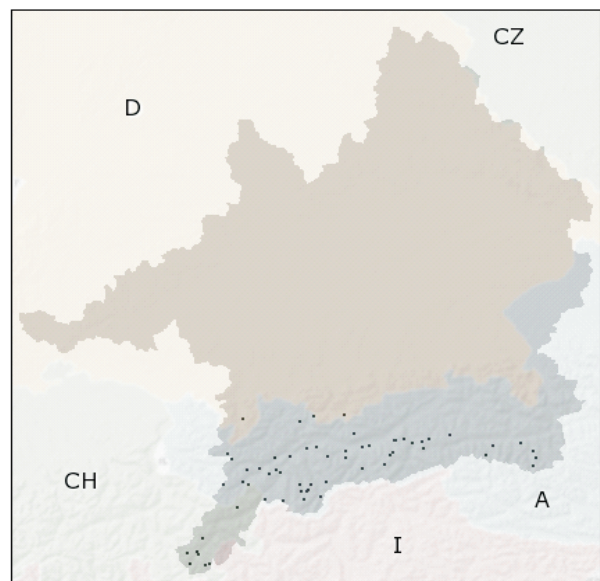
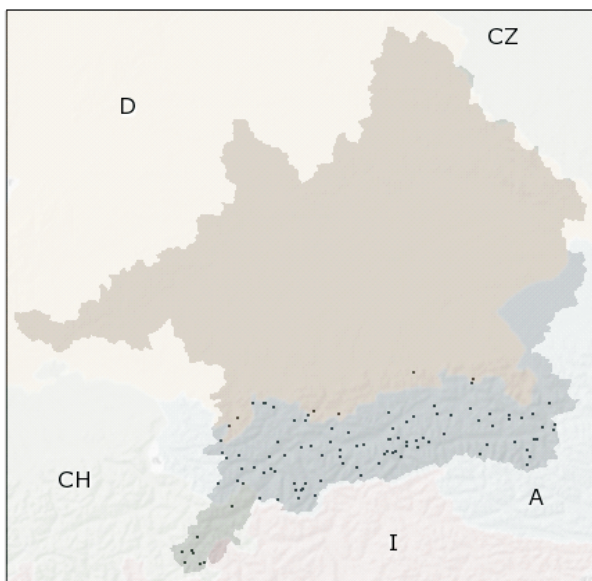
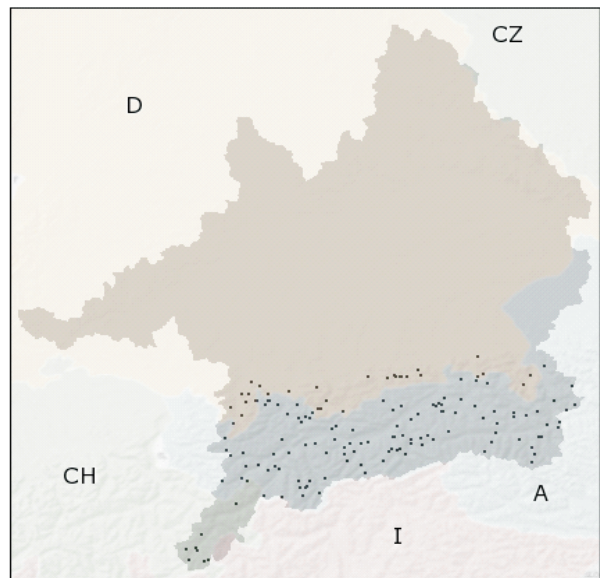
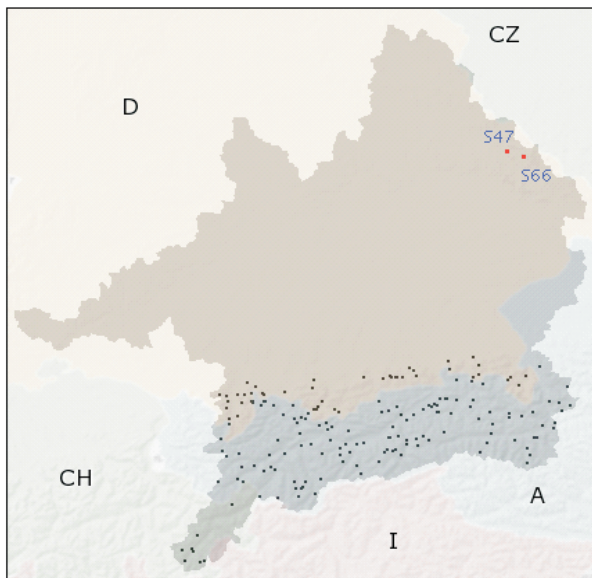


Abb. 35: Skigebiete welche trotz Verschiebung der Höhengrenze der Schneesicherheit zu 1200m ü. NN, 1500m ü. NN, 1800m ü. NN und 2100m ü. NN - dargestellt oben links, oben rechts, unten links und unten rechts im Bild - übrig bleiben

Unter veränderten klimatischen Bedingungen werden geographische Effekte auch in der Anzahl der verkauften Pässe bemerkbar (Abb. 36). Die Untersuchung der relativen Zunahme - das Verhältnis der Anzahl der verkauften Tagespässe bei einer bestimmten Höhengrenze der Schneesicherheit zu der Anzahl der verkauften Tagespässe unter idealen Bedingungen pro Skigebiet - zeigt, wie sich solche Effekte in der Anzahl der verkauften Pässe auswirken (Abb. 36). Die relativen Zunahmen in der Anzahl der verkauften Tagespässe sind beinahe konstant (mit wenigen Ausnahmen). Die beinahe gleichmäßige Zunahme in der Anzahl der verkauften Tagespässe wird durch die große Anzahl der Skigebiete verursacht, da diese zu ausgeglichenen Fahrzeiten führen. Die geographischen Effekte werden insbesondere bei der Höhengrenze der Schneesicherheit bei 1200m ü. NN sichtbar. Abbildung 36 zeigt, dass zwei der Skigebiete eine besonders hohe relative Zunahme in der Anzahl der verkauften Pässe verzeichnen. Diese Skigebiete entsprechen den Skigebieten S47 und S66 aus dem Bayerischen Wald, bei einer Höhengrenze der Schneesicherheit von 1200 m ü. NN sind diese die einzigen Skigebiete, welche dort übrig bleiben (s. Abb. 35).

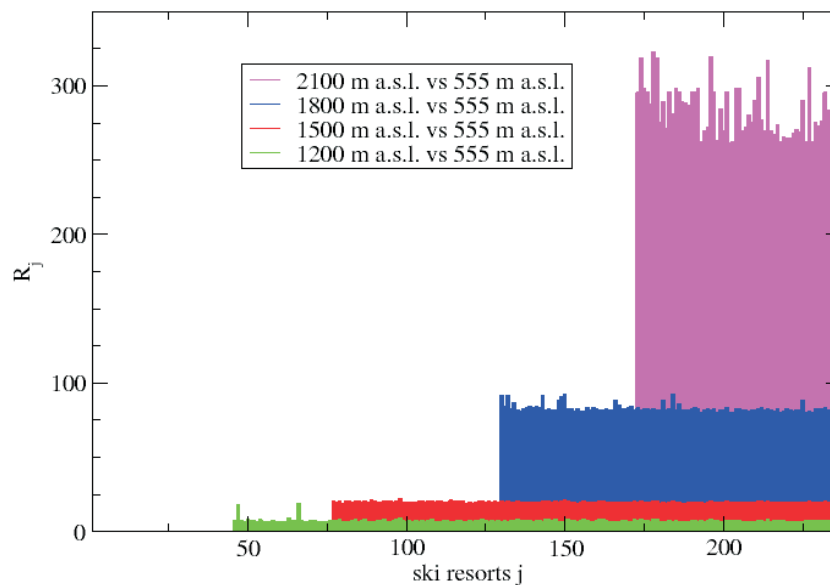


Abb. 36: Relative Zunahmen in der Anzahl der verkauften Tagespässe bei einer Verschiebung der Höhengrenze der Schneesicherheit auf 1200m ü. NN, 1500m ü NN, 1800m ü. NN und 2100m ü. NN

Im Rahmen der Validierungsarbeiten wurde mit dem Verkehrsmodell des weiteren eine Studie über die Auswirkungen auf den Verkehr in den Zugangsgebiet der 237 Skigebiete der oberen Donau (Abb. 34) durchgeführt (TEPFENHART et al. 2007).

Die Erhöhung der Höhengrenze der Schneesicherheit, führt zu Zunahmen in der Anzahl der verkauften Tagespässe in den übrig bleibenden Skigebieten und zu einer Konzentration des Verkehrs auf weniger Strassen. Daher haben wir zunächst die Länge der resultierenden Verkehrstaus auf den Zufahrtsstrassen für folgende Höhengrenzen der Schneesicherheit untersucht: 550m ü. NN, 1200m ü. NN, 1500m ü NN, 1800m ü. NN und 2100m ü. NN. Laut Verkehrstheorie kann der Verkehr in zwei Phasen unterteilt werden: freier Fluss und Stau. Der Übergangsbereich zwischen beiden Phasen liegt bei einer Verkehrsdichte von 20-30% der maximalen Verkehrsdichte. Abbildung 37 und 38 zeigen die Entwicklung der totalen Länge der Verkehrstaus in den entsprechenden Morgenstunden für die unterschiedlichen Höhengrenzen der Schneesicherheit und für zwei unterschiedliche Definitionen von Verkehrstaus.

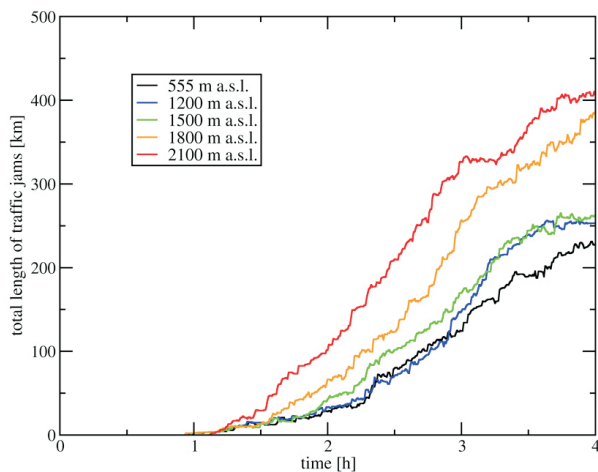


Abb. 37: Gesamtlänge der Verkehrsstaus vs. Zeit für die untersuchten Höhengrenzen der Schneesicherheit, unter der Annahme, dass Verkehrsstaus über eine Verkehrsdichte von 20 % existieren

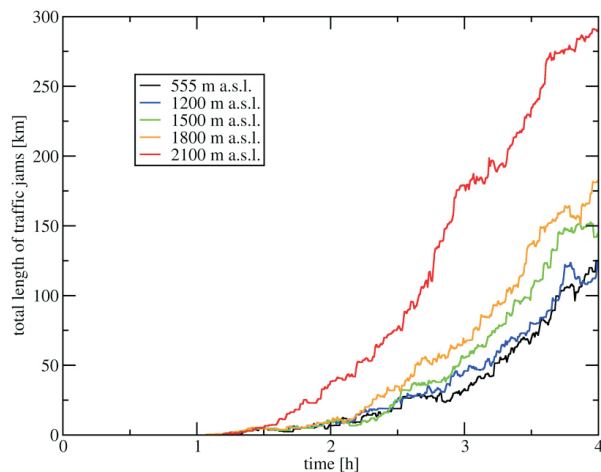


Abb. 38: Gesamtlänge der Verkehrsstaus vs. Zeit für die untersuchten Höhengrenzen der Schneesicherheit, unter der Annahme, dass Verkehrsstaus über eine Verkehrsdichte von 30 % existieren

Die Kurven sind in beiden Diagrammen monoton steigend, d.h. dass die Länge der Verkehrsstaus in allen untersuchten Szenarien mit der Simulationszeit ansteigt. Weiterhin steigt die Staulänge mit der Verschiebung der Höhengrenze der Schneesicherheit ebenfalls. Zusätzlich haben wir auch die relative Zunahme der Verkehrsstaus für die unterschiedlichen Definitionen der Verkehrsstaus und für die unterschiedlichen Höhengrenzen der Schneesicherheit untersucht. Die relative Zunahme wurde definiert zu  $L(sr)/L(555)$ , wobei  $L(sr)$  die Staulänge bei der Höhengrenze der Schneesicherheit  $srl$  ist und  $L(555)$  die Länge der Verkehrsstaus unter idealen Bedingungen, d.h. wenn alle Skigebiete schneesicher sind bzw. bei einer Höhengrenze der Schneesicherheit von 555m ü NN. Tabelle 4 fasst noch mal wesentliche Ergebnisse der Simulationen zusammen:

Tab. 4: Das Maximum der totalen Länge der Verkehrsstaus und die entsprechenden Mittelwerte der relativen Zunahmen  $L(sr)/L(555)$  der Verkehrsstaus in Prozent für die Definition der Verkehrsstaus über 20% und 30% der Verkehrsdichte und für die untersuchten Höhengrenzen der Schneesicherheit

	4.1.4.1 20% Verkehrsdichte		4.1.4.2 30% Verkehrsdichte	
[m a.s.l.]	max. Länge [km]	$\overline{L(sr)/L(555)}$	max. Länge [km]	$\overline{L(sr)/L(555)}$
555	231.2	100	125.1	100
1200	256.3	112.2	124.4	121.3
1500	256.2	123	152.5	132.6
1800	386.8	173	182.7	166
2100	410.4	249	291.1	360.2

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

Bei der inhaltlichen Validierung des entwickelten Entscheidungsmodells (TEPFENHART et al. 2007) wurden die Antworten der diesbezüglich durchgeführten Befragung ausgewertet. Durch die ersten Ergebnisse dieser Befragung haben sich wesentliche Punkte unserer Modellannahmen bestätigt. Des Weiteren hat sich am Beispiel der Fahrtzeiten gezeigt, dass das geäußerte Verhalten der Tagestouristen sehr gut mit ihrem tatsächlichen Verhalten übereinstimmt. Abbildung 39 stellt die Ergebnisse unserer Befragung und die Ergebnisse

einer Befragung über die tatsächlich aufgewendeten Fahrtzeiten nebeneinander. Abbildung 40 betrachtet zusätzlich die Korrelation bzw. den linearen Zusammenhang dieser Werte. Wir haben die Werte mit der Gerade  $y = 1,06 * x - 6,7$  gefittet, mit einem R-Quadrat von 0,943. Das geäußerte Verhalten der Tagestouristen stimmt daher sehr gut mit ihrem tatsächlichem Verhalten überein, wobei wir unsere Befragung in fünf unterschiedlichen Skigebieten durchgeführt haben, die tatsächlichen Werte dagegen in einem Skigebiet aufgenommen wurden.

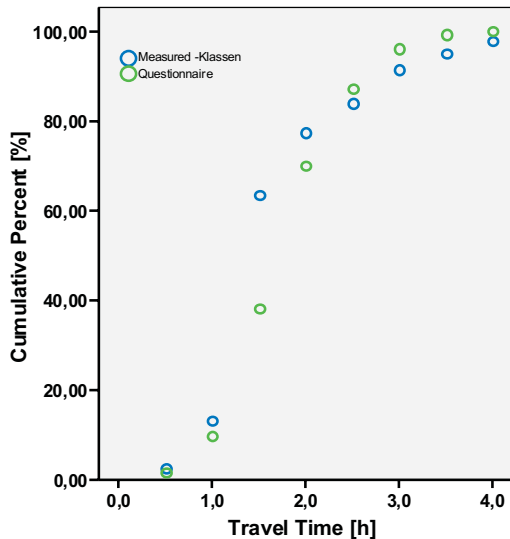


Abb. 39: Bereitschaft der Skitouristen eine bestimmte Fahrtzeit zum Skigebiet aufzubringen und tatsächlichen aufgebrauchten Fahrtzeiten (KLASSEN 2001)

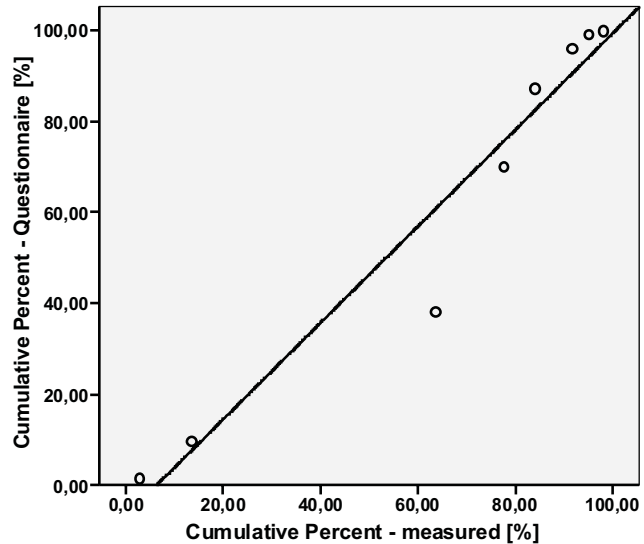


Abb. 40: Der lineare Zusammenhang zwischen den Fahrtzeiten unserer Befragung und der tatsächlich aufgebrauchten Fahrtzeiten(Klassen 2001)

## 5. Literatur

- 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.
- BAYARD, D., STÄHLI, M., PARRIAUX, A. und FLÜHLER, A. (2005): The influence of seasonally frozen soil on the snowmelt runoff at two Alpine sites in southern Switzerland. In: *Journal of Hydrology* 309, S. 66-84.
- 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.
- BOONE, A., MASSON, V., MEYERS, T. und NOILHAN, J. (2000): The influence of the inclusion of soil freezing on simulations by a soil-vegetation-atmosphere transfer scheme. In: *Journal of Applied Meteorology* 39, S. 1544-1568.
- BOWLING, L.C., POMEROY, J.W. und LETTENMAIER, D.P. (2004): "Parameterization of Blowing-Snow Sublimation in a Macroscale Hydrology Model." *Journal of Hydrometeorology*, 5, S. 745-762.
- CERA DATENBANK (2006): <http://cera-www.dkrz.de/>, Stand Februar 2007.
- 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. Fort Collins: Colorado State University.
- DVWK DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU E.V. (1991): Hydraulische Berechnung von Fließgewässern, Merkblätter 220/1991.
- FRÜH, B., SCHIPPER, J. W. und WIRTH, V. (2006): "A pragmatic approach for downscaling precipitation in alpine-scale complex terrain", Meteorologische Zeitschrift Vol. 15, No. 6, S. 631-646
- GRELL, G. A., DUDHIA, J. und STAUFFER, D.R. (1994): "A description of the Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5)" In: Tech. Note NCAR/TN-398+STR National Center for Atmospheric Research Boulder CO, 138 S.
- GRELL, G. A., DUDHIA, J. und STAUFFER, D.R. (1995): "A description of the fifth generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5)." Technical report, National Centre for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, USA.
- HAMMEL, K. und KENNEL, M. (2001): Charakterisierung und Analyse der Wasser-Verfügbarkeit und des Wasserhaushalts von Waldstandorten in Bayern mit dem Simulationsmodell BROOK90. Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 185.
- 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. Vol. 25, S. 379-403.
- hydraulic properties of European soils. In: Geoderma 90, S. 169-185.
- HU, S. UND ABRAHAMS, A. D. (2006): Partitioning resistance to overland flow on rough mobile beds. Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 31, S. 1280-1291.
- JACOB, D. (2001): "A note to the simulation of the annual and inter-annual variability of the water budget over the Baltic Sea drainage basin", Meteorology and Atmospheric Physics Vol. 77, S. 61-73.
- JANSSON, P.E. und KARLBERG, L. (2001): Coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere systems. Manual of the CoupModel, <http://www.lwr.kth.se/vara%20program/CoupModel/index.htm>
- JONES, P. (1998): "First- and Second-Order Conservative Remapping Schemes for Grids in Spherical Coordinates", Monthly Weather Review, Vol. 127, S. 2204-2210.
- KUSTAS, W.P. und NORMAN, J.M. (2000): "Evaluating the effects of subpixel heterogeneity on pixel average fluxes", Remote Sens. Environ. Vol. 74, S. 327-342.
- LISTON, G.E. (2004): "Representing Subgrid Snow Cover Heterogeneities in Regional and Global Models." Journal of Climate, 17, S. 1381-1397.
- LISTON, G. und ELDER, K. (2006): "A Meteorological Distribution System for High-Resolution Terrestrial Modelling (MicroMet)", Journal of Hydrometeorology, Vol. 7, S. 217-234.
- MAUSER, W. und SCHÄDLICH, S. (1998): "Modelling the spatial distribution of evapotranspiration on different scales using remote sensing data", J. Hydrol. (Special BAHC Issue): S. 212-250.
- MAUSER, W., PRASCH, M., STARSSER, U. (2007): Physically based Modelling of Climate Change Impact on Snow Cover Dynamics in Alpine Regions using a Stochastic Weather Generator. Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation MODSIM07, Christchurch, New Zealand.
- MONTEITH, J.L (1965): Evaporation and environment. - In: FOGY, G.T. (Hrsg.): Sympos. The state and movement of water in living organism. Cambridge, S. 205-234, (Univ. Press).



- NYBERG, L., STÄHLI, M., MELLANDER, P. und BISHOP, K. (2001): Soil frost effects on soil water on runoff dynamics along a boreal forest transect: 1. Field investigations. In: *Hydrological Processes* 15, S. 909-926.
- OLSSON, J. (1998): Evaluation of a scaling cascade model for temporal rainfall disaggregation. *Hydrology and Earth System Sciences* 2(1), S. 19-30.
- RENARD, K.G., FOSTER G.R., WEESIES G.A., McCOOL D.K. und YODER D.C. (1996): Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), *Agriculture Handbook 703*, USDA-ARS.
- SAVAT, J. (1980): Resistance to flow in rough supercritical sheet flow. *Earth Surface Processes*, Vol. 5, S. 103-122.
- SCHMIDT, J. (Hrsg.) (2000): *Soil Erosion - Application of Physically Based Models*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York. 319 S.
- STRASSER, U., BERNHARDT, M., WEBER, M., LISTON, G.E. und MAUSER, W. (2007): "Is snow sublimation important in the alpine water balance?" *The Cryosphere Discuss.*, 1, S. 303-350.
- VON WERNER, M. (1995): GIS-orientierte Methoden der digitalen Reliefanalyse zur Modellierung von Bodenerosion in kleinen Einzugsgebieten. Dissertation, FU Berlin.
- WATANABE, K. und MIZOGUCHI, M. (2002): Amount of unfrozen water in frozen porous media saturated with solution. In: *Cold Regions Science and Technology* 34, S. 103-110.
- WEGE, C. (1998): „Regionalisierung der aktuellen Verdunstung auf der Mesoskala mit Flächenparametern aus Fernerkundungsdaten“, Dissertation am Institut für Geographie der Ludwig-Maximilians-Universität München.
- WÖSTEN, J.H.M., LILLY, A., NEMES, A. und LE BAS, C. (1999): Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. *Geoderma* 90, S.169-185.

# Modellierung der Schneedecke und der Gletscher im Einzugsgebiet des Pegels Passau-Achleiten

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-St. 11, 80539 München  
Verfasser: Dr. M. Weber

## 1. Organisation

### 1.1 Kurzbeschreibung des Teilprojektes

Die Arbeiten des Teilprojektes Glaziologie umfassten in der zweiten Phase die Optimierung, Validierung und Anpassung der Schnee- und Eiskomponenten von DANUBIA an die Partner, bevor sie in Form von Szenarienrechnungen in der dritten Phase auf aktuelle Fragestellungen angewendet werden. Dazu werden zusätzliche experimentelle Daten hochalpiner Testgebiete einbezogen, in denen zugleich Fragen der Wasserwirtschaft, des Tourismus und sozioökonomische Fragen behandelt werden.

Während die Behandlung der maßgeblichen Prozesse generell auf die 1x1 km-Skala des DANUBIA-Proxels ausgerichtet ist, müssen insbesondere zur Modellierung der Veränderungen der Gletscher im Rahmen der untersuchten Zeiträume von einigen Jahren bis zu mehreren Dekaden auch *subskalige* Zusammenhänge berücksichtigt werden. Die Bereitstellung der erforderlichen Geländedaten für die Vergletscherung erfolgte überwiegend in der 2. Projektphase.

Weiterhin wurden die Praktikabilität und Funktionalität der Schnee- und Eismodule daraufhin erprobt, um in Zusammenarbeit mit den anderen Teilprojekten spezifische Fragestellungen zur Problematik der Veränderungen des Klimas und deren Folgen auf den Wasserhaushalt des oberen Donaueinzugsgebietes zu untersuchen.

### 1.2 Personal

#### 1.2.1 Wissenschaftler

- 01.03.2004-30.04.2007: Dr. Markus Weber BATIIa

#### 1.2.2 Wissenschaftliche Hilfskräfte

keine

### 1.3 Anschaffungen

keine

## 1.4 Veranstaltungen

### Interne Projekttreffen

Die Arbeitsgruppe Glaziologie hat während der Laufzeit der zweiten Phase des Projektes an den folgenden internen Veranstaltungen teilgenommen:

- 17.03.2004 Entwicklertreffen in München (M. Weber)
- 17.05.2004 Projektleitertreffen (M. Kuhn)
- 31.05.-04.06.2004 Klausurtagung Frauenchiemsee (M. Weber, M. Kuhn)
- 16.-17.09.2004 GLOWA-Treffen (M. Weber)
- 11.10.2004 Projektleitertreffen (M. Kuhn)
- 12.10.2004 Entwicklertreffen in München (M. Weber)
  
- 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. Kuhn, M. Weber)
- 30.11.-03.12.2005 Klausurtagung in Linden (M. Weber)
  
- 19.05.2006 GLOWA-Projektleitertreffen in München (M. Weber)
- 17.07.2006 GLOWA-Treffen Landnutzung in Stuttgart Hohenheim (M. Weber)

### Konferenzen

- 23.-24.02.2006 Alpine Glaciology Meeting in München (M. Weber)
- 05.-06.10.2006 Alpine Snow Workshop in München (M. Weber)
- 11.10.2006 DMG Klimatagung in München (M. Weber)
- 01.-02.03.2007 Alpine Glaciology Meeting in Zürich (A. Mittermeier)

## 1.5 Veröffentlichungen

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.

BRAUN, L.N., ESCHER-VETTER, H., HEUCKE, E., SIEBERS, M. und WEBER, M. (2004): „Experiences with the new 'Vernagtbach' hydro-meteorological station“, in OERLEMANS & TIJM-REIJMER: Book of extended abstracts of presentation at the Workshop „Automatic Weather Stations on Glaciers“, Pontresina, 28 to 31 March 2004, IMAU, 38 - 44. Im Internet auch unter [http://www.glaziologie.de/download/a\\_Hlt179008639wBM\\_1\\_s\\_abstracts\\_v2.pdf](http://www.glaziologie.de/download/a_Hlt179008639wBM_1_s_abstracts_v2.pdf) herunterladbar.

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.

- BRAUN, L. und WEBER, M. (2006): „Hochwässer in vergletscherten alpinen Einzugsgebieten“, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 15.06: „Risikomanagement extremer hydrologischer Ereignisse“, Herausgeber: DISSE, M., GUCKENBERGER, K., PAKOSCH, S., YÖRÜK, A. und ZIMMERMANN, A., ISBN-10: 3 939057-31-2, S.37-48.
- 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 modeling“, Landschaftsökologie und Umweltforschung, TU Braunschweig, Vol. 48, S. 19-32. Im Internet zu finden unter <http://www.glaziologie.de/download/BerchtesgadenFullPaper.pdf>.
- HAGG, W., BRAUN, L.N., KUHN, M. und NESGAARD, T.I. (2007): „Modelling in glacierized Central Asian catchments for present-day and future climate“ Journal of Hydrology , Vol.332, S. 40-53.
- 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, Vol. 37, No 2, S. 93 - 105.
- KUHN, M. und ESCHER-VETTER, H. (2004): Die Reaktion der österreichischen Gletscher und ihres Abflusses auf Änderungen von Temperatur und Niederschlag. Österr. Wasser- und Abfallwirtschaft, Heft 1-2, 56 Jg., S. 10-16.
- KUHN, M. (2005): „Gletscher im Klimawandel“, in „Bedrohte Alpengletscher“ - Alpine Raumordnung Nr. 27/05, Fachbeiträge des Österreichischen Alpenverein OEAV, Innsbruck, S. 35-40.
- LAMBRECHT, A. und KUHN, M. (2007): „Glacier changes in the Austrian Alps during the last three decades, derived from the new Austrian glacier inventory“, Annals of Glaciology, Vol. 46.
- SPAN, N., FISCHER, A., KUHN, M., MASSIMO, M. und BUTSCHEK, M. (2005): “Radarmessungen der Eisdicke Österreichischer Gletscher, Band 1: Messungen 1995 bis 1998, Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, 33, 142 S.
- STRASSER, U., BERNHARDT, M., WEBER, M., LISTON, G.E. und MAUSER, W. (2007): “Is snow sublimation important in the alpine water balance?”, The Cryosphere Discuss., 1, S. 303-350.
- WEBER, M. (2005): „Mikrometeorologische Prozesse bei der Ablation eines Alpengletschers“. Dissertation, Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck. 311S. Siehe auch im Internet unter <http://www.glaziologie.de/publikat/Dissdownload.html>
- WEBER, M. (2006): „A parameterization for the turbulent fluxes over melting surfaces derived from eddy correlation measurements“, In: Strasser, U. and Vogel, M. (Eds.): Proceedings of the Alpine\*Snow\*Workshop ([www.alpinesnowworkshop.org](http://www.alpinesnowworkshop.org)), Munich, October 5-6, 2006, Germany. Berchtesgaden National Park research report, Nr. 52.
- WEBER, M. und BRAUN, L. (2004): Gletscherschmelze ohne Ende? - Hat der Klimawandel bereits begonnen? Mitteilungen des Österreichischen Alpenvereins Heft 1-04, S.16-20.
- WEBER, M. und BRAUN, L. (2004): Ursachen des Gletscherschwundes in den Alpen am Beispiel des Vernagtferners im Hinteren Ötztal, Geographie und Schule Heft 148, Aulis Verlag Deubner, S.21-27.
- WEBER, M., PRASCH, M., STRASSER, U. und KUHN, M. (2007): „Embedded sub-grid modelling of glacier change within the DANUBIA-System“, Hydrol. Proc. , submitted.

## 2. Ergebnisse

### 2.1 Formulierte Ziele der zweiten 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

Ein wesentlicher Anteil der Arbeiten der Arbeitsgruppe Glaziologie während der zweiten Phase des Projektes umfasste die Weiterentwicklung, Verbesserung und Implementation des Schnee- und Eisobjekts *Snow*, welches zur Modellierung des Schneespeichers und des Abflusses aus der Schnee- und Eisschmelze in das Landoberflächenobjekt integriert wurde. Da mittels *Snow* die Speicherung des Niederschlags als Schnee und Eis 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 erforderlichen Arbeiten umfassten somit sowohl Beiträge zur vollständigeren Beschreibung der an der Schnee- und Eisakkumulation und Ablation beteiligten Prozesse. Sie bezogen sich sowohl auf die Problematik einer verbesserten Parametrisierung der Ablationsprozesse (Albedo und Turbulenz) als auch auf die Berücksichtigung der überwiegend in den alpinen Bereichen bedeutsamen Prozesse bei der Akkumulation durch *subskalige* Umlagerungsprozesse, die in enger Zusammenarbeit mit Projekten am Lehrstuhl für Geografie und geografische Fernerkundung (LMU) realisiert wird. Ergänzend wurden Untersuchungen zur Validierung der Ergebnisse im Gesamtmodell durchgeführt.

Die Hauptarbeit bestand in der Entwicklung eines *subskaligen* Modellansatzes zur expliziten Modellierung der Veränderungen der Gletscherflächen im Einzugsgebiet, welcher zum Proxel-Konzept von DANUBIA kompatibel ist und dennoch detaillierte Information zur Veränderung der Vergletscherung liefert, welche sich in der Regel unterhalb der Proxelskala von einem Kilometer abbildet. Grundlage dafür ist die Bereitstellung der erforderlichen Initialisierungsdaten für das 16 große Gebirgsgruppen umfassende Einzugsgebiet der oberen Donau hauptsächlich 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 Datenbasis

Als Datenbasis für die Entwicklung und Tests des Schnee- und Gletschermodells dienten folgende speziell aufbereitete Daten:

- Stundenmittel der von der Kommission für Glaziologie (KfG) der Bayerischen Akademie der Wissenschaften im Vorfeld des Vernagtferners in den Öztaler Alpen auf 2640m kontinuierlich betriebenen Klima- und Abflussmessstation Vernagtbach,
- Daten von zwei im August 1998 und 2000 durchgeführten mehrtägigen Untersuchungen der Schmelzwasserproduktion auf der Basis von mikrometeorologischen Profil- und Turbulenzmessungen direkt über dem Eis des Vernagtferners,



- kontinuierliche Messungen der Schneehöhe und der Eisablation mittels Ultraschallabstandsmessung und der Luft- und Schneetemperatur auf dem Vernagtferner durch die KfG seit dem Sommer 2003,
- Ergebnisse der Messungen an den vom Meteorologischen Institut der Universität München betriebenen Stationen Garching bei München und am MIM im Stadtzentrum von München.

Die aufbereiteten Daten eignen sich sowohl für Studien zur Parametrisierung von physikalischen Prozessen, des Skalenübergangs als auch zur lokalen Validierung der Modellergebnisse der *Snow-Komponente* bei Simulationen des Gesamtsystems, da sie nicht Bestandteil der Datensätze zur Aufbereitung der meteorologischen Datenfelder ist. Die seit November 2001 an der Klimastation Vernagtbach installierte kontinuierliche Messung der Schneehöhe mittels Ultraschallabstandsmessung liefert ab diesem Zeitraum wichtige Informationen zur Validierung der Schneedeckenmodellierung in hochgelegenen Teileinzugsgebieten.

Für die Realisierung des Gletschermodells waren zudem erforderlich bzw. verfügbar:

- Kontinuierliche Massenbilanzmessungen nach der glaziologischen und der geodätischen Methoden an Gletschern im Ötztal, Zillertal und den Bayerischen Alpen,
- digitale Geländemodelle und Eisdickendaten der Gletscher mit einer Gitterpunktsweite von 30m, bereitgestellt vom Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck durch das neue Österreichische Gletscherinventar nach Luftaufnahmen von 1996-2002 der Gebirgsgruppen Allgäuer Alpen, Ankogel-Gruppe, Glockner-Gruppe, Granatspitz-Gruppe, Hochkönig, Lechtaler Alpen, Ötztaler Alpen, Samnaun-Gruppe, Silvretta-Gruppe, Sonnblick-Gruppe, Stubaiier Alpen, Venediger-Gruppe, Verwall-Gruppe und Zillertaler Alpen.
- Aktuelle Gelände- und Eisdickendaten der Bayerischen Gletscher an der Zugspitze, Watzmann und Hochkalter (Blaueis), bereitgestellt durch das DFG-Projekt „Bayerische Gletscher“
- Frei verfügbare Datenquellen aus dem Internet

Zur Unterstützung der Aufbereitung der Daten wurden zeitweise Praktikanten eingesetzt.

## 2.2.2 Modellentwicklung

Die Arbeiten zur Entwicklung oder Anpassung neuer Modellkomponenten konzentrierten sich primär auf die Entwicklung eines JAVA-kodierten Gletschermodells als Komponente für DANUBIA. Mangels geeigneter Möglichkeiten für umfangreiche Tests wurde das Modell zusätzlich in einfachere FORTRAN-basierte Testumgebungen (z.B. ESCIMO) übertragen, welche den Anschluss an DANUBIA-*Light* und somit umfangreichere Tests ermöglichte. Parallel dazu erfolgten Verbesserungen inhaltlicher oder formeller Art an der Komponente *Snow* als auch die Entwicklung einiger von DANUBIA unabhängiger Hilfsprogramme zur Analyse und Darstellung der Ergebnisse. Detaillierte Informationen zu den neuen Modellkomponenten folgen im Kapitel 2.3.

### 2.2.2.1 Detailuntersuchung zur Parametrisierung der Albedo

Die unter der Federführung der Kommission für Glaziologie (M. Weber, H. Escher-Vetter) gemeinsam mit dem Meteorologischen Institut (MIM) (Prof. R. Smith) und dem Lehrstuhl für Geografie und geografische Fernerkundung an der LMU München (U. Strasser) betreute Diplomarbeit von Alexandra Mittermeier zur Untersuchung der Parametrisierung der zeitlichen Abnahme der Schneeralbedo nach einem Neuschneeefall stand kurz vor Ende der zweiten Projektphase vor dem Abschluss.

Anhand umfangreichen Datensätzen an vier im Hauptuntersuchungsgebiet gelegenen Klimastationen (Garching bei München, Nationalpark Berchtesgaden, Vernagtbach in den Öztaler Alpen und Morteratsch im Engadin) wurden bislang innerhalb von Danubia und vergleichbaren Modellen verwendete Parametrisierungsverfahren getestet. Die Stationen repräsentieren charakteristische Landoberflächen und Höhenniveaus innerhalb des Modellgebietes:

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

Weiterhin wurde die Abhängigkeit der Parameter von den wichtigsten meteorologischen Größen (Temperatur, Feuchte, Wind) untersucht.

Der in der Komponente *Snow* verwendete Algorithmus zur Berechnung der Albedo mit einer mit der Zeit nach dem letzten Schneefall abklingenden Exponentialfunktion ist dagegen weitaus besser geeignet. Wie der Abbildung 1 entnommen werden kann, zeigt der Wertebereich der regressiv ermittelten Parameter an sämtlichen untersuchten Orten eine große Bandbreite. Der in vielen Schneemodellen Modellen wegen seiner leichten Anwendbarkeit verwendete Ansatz nach ROHRER (1992) mit zwei je nach Gefrier- oder Schmelzbedingungen unterschiedliche konstant gewählten Abklingparameter (-0.05 und -0.12) konnte in dieser universellen Form nicht bestätigt werden. Die empirisch bestimmten Koeffizienten der Abklingfunktion liegen je nach Witterung in einem Wertebereich von -0.01 bis -0.2 und es gibt keine signifikant für die individuellen Stationen eingrenzbar Bereiche.

Weitere Resultate:

- Generell lässt sich die Änderung der Albedo von Tag zu Tag in Abhängigkeit von der aufsummierten bodennahen Lufttemperatur genauer beschreiben als allein abhängig von der seit dem letzten Schneefall vergangenen Zeit. Dies gilt aber nur für längere Zeitskalen. Kurzfristige Albedoschwankungen lassen sich generell nur schwer parametrisieren.
- Es gibt eine allen Stationen gemeinsame Tendenz einer schnelleren Abnahme der Albedo (wachsende Zahlenwerte der Abklingkoeffizienten) im Laufe des Winterhalbjahres. Dies legt einen möglichen Zusammenhang nicht nur mit dem Temperatur-, sondern auch dem Feuchteregime nahe, der in der gegenwärtigen Abschlussphase der Arbeit noch untersucht wird. Die Verwendung der Äquivalenttemperatur als Variable kann somit das Ergebnis verbessern, aber nur in engem Rahmen und ebenfalls für länger währende Ereignisse.
- Der Umfang bislang untersuchter Strichproben lässt keine signifikante Aussage zu einer Ortsabhängigkeit der Neuschneealbedo zu. Einerseits erscheinen Werte oberhalb 0.85 nicht wirklich vertrauenswürdig, andererseits ergeben sich für die höher gelegenen Stationen Vernagtbach und Morteratsch etwas höhere Erwartungswerte um 0.9. Beide Stationen liegen jedoch im Bereich der inneralpinen Trockenklimate, so dass ein möglicher Zusammenhang mit dem Wasserdampfgehalt der Atmosphäre noch untersucht werden muss.

Insgesamt bestätigten die Resultate der Studie die Anwendbarkeit der Parametrisierungsansätze nach ROHRER (1992), zeigten aber auch deren Gültigkeitsgrenzen auf. Allerdings ist der Stichprobenumfang für die Ableitung allgemeingültiger Grundlagen für eine genauere Parametrisierung leider nicht ausreichend.

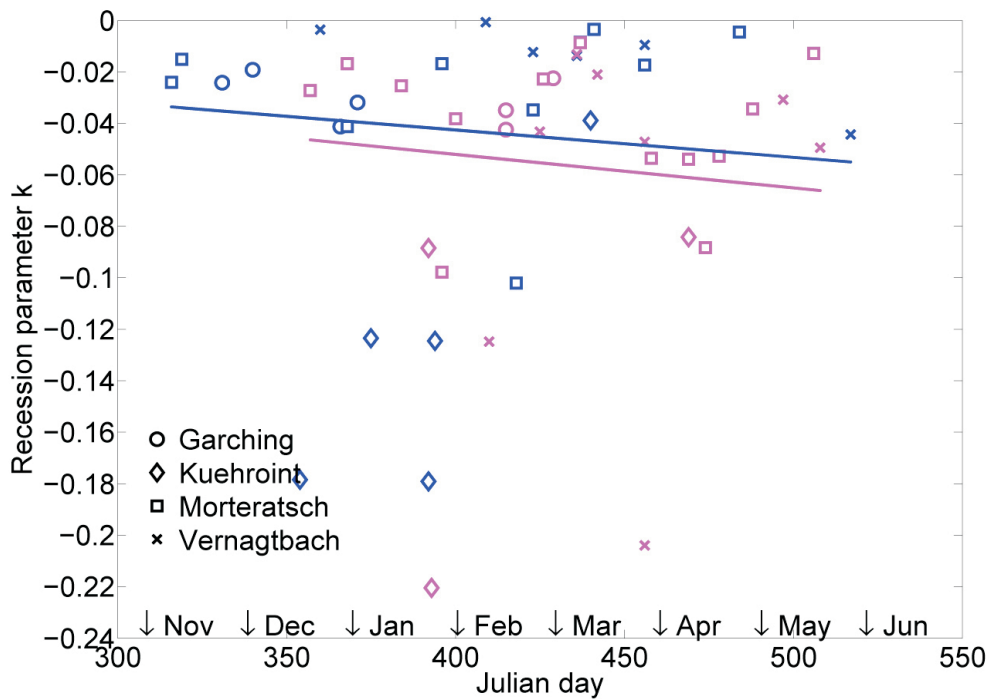


Abb. 1: Empirisch ermittelte Koeffizienten einer exponentiellen Abklingfunktion für die Albedo nach einem Neuschneefall an 4 Stationen im Untersuchungsgebiet. In blauer Farbe sind die Werte für eine Lufttemperatur unter dem Gefrierpunkt gekennzeichnet, in rot die für Zeiträume mit Schmelze (Quelle: MITTERMEIER 2007)

### 2.2.2.2 Implementierung neuer Parametrisierungsschemata für die turbulenten Flüsse

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

$$H = p \cdot c_p \cdot R_{wT} \cdot C_1 \cdot U \cdot (T - T_0)$$

mit

- $p$  = Dichte der Luft [kg/m<sup>3</sup>]
- $c_p$  = Spez. Wärmekapazität der Luft bei konst. Druck [J(kgK)<sup>-1</sup>]
- $R_{wT}$  = Korrelationskoeffizient zwischen der Vertikalwindfluktuation

und der Temperaturfluktuation mit  $R_{wT} = 0.119 \cdot \frac{(T - T_0)}{U} - 0.4375$

- $C_1$  = empirische Konstante (über Schnee und Eis z.B. 0.01182)
- $U$  = horizontale Windgeschwindigkeit [m/s]
- $(T - T_0)$  = Temperaturdifferenz zwischen der Oberfläche und 2m [K]

und der latenten Wärme

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

mit

- $l_v$  = Verdampfungswärme von Wasser [106 Jkg<sup>-1</sup>]
- $C_2$  = empirische Konstante (z.B. 0.0092)
- $(q - q_0)$  = Differenz der spez. Feuchte zwischen der Oberfläche und 2m

zwischen Schneeoberfläche und Atmosphäre für überwiegend stabile Schichtung 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 ursprünglich verwendete einfache Wärmeleitungsansatz
- auch die Abhängigkeit der Flüsse von der Seehöhe berücksichtigen und damit dem orographisch stark gegliederten Gelände des Einzugsgebietes besser gerecht werden
- sich auch hinsichtlich der Landnutzung und der Rauigkeit differenzieren lassen (Adaption der Konstanten  $C_1$  und  $C_2$ )
- sich jederzeit durch die Resultate weiterer Turbulenzmessungen über anderem Gelände erweitern lassen.

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. Er kann problemlos auch im *subskaligen* Gletschermodell angewandt werden. Das Regionalisierungsverfahren bringt es aber mit sich, dass sich in Einzelfällen gegenüber der Realität unwahrscheinliche Kombinationen der meteorologischen Parameter ergeben.

Die Auswertungen der ersten Referenz- und Szenarioläufe ermöglichten es, Vorkehrungen in Form von Überprüfungen der Eingangswerte mit sinnvollen Korrekturen zu implementieren, so dass die Algorithmen inzwischen unter allen Umständen plausible Werte liefern.

### 2.2.2.3 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 wurden für die Arbeitsgruppe Glaziologie durch das in der Projektleitung verankerte Dissertationsprojekt „Modellierung des windinduzierten Schneetransports“ (M. Bernhardt, U. Strasser) erarbeitet.

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 Zeitkonstante beschrieben werden. Zur Berechnung wurde ein einfaches eigenständiges Programmmodul für den PC entwickelt, das als Eingangsgrößen die stündliche Änderungen des Wasseräquivalents und den Niederschlag 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  $0.1 \text{ kgm}^{-3}$ ) 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. sie werden auch anhand von Beobachtungsdaten extern bestimmt.

Bislang 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.

#### 2.2.2.4 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 Speicherfähigkeit 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.

### 2.3 Modellierung der Gletscher 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 Entwicklung 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 Abflussspende aus hochgelegenen Einzugsgebieten.

In der ersten Projektphase wurde die Vergletscherung nur rudimentär behandelt. In der (bisher nicht veränderbaren) Landnutzungs-klassifikation 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 werden erstmals im Rahmen dieses Projekts durchgeführt.

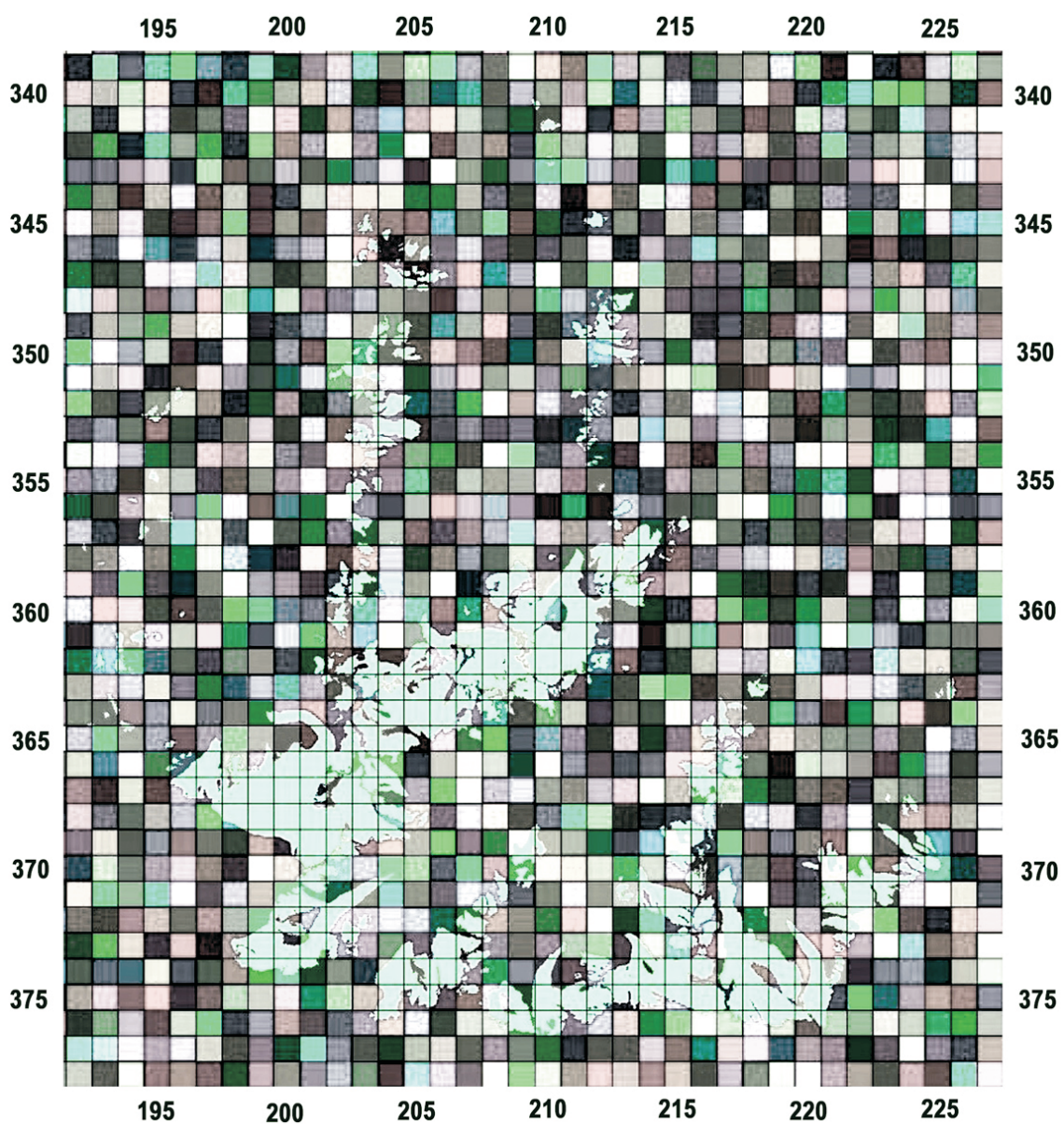


Abb. 2: Übersicht über die Verortung der Gletscher des Einzugsgebietes der Ötztaler Ache auf dem DANUBIA-Proxelraster nach den Daten des Österreichischen Gletscherinventars des Instituts für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck (IMG1). Die Skala am Rand ist identisch mit der Zeilen- und Spaltennummerierung des Proxelrasters

Die Problematik wird noch deutlicher, wenn man die vergrößerten Detailausschnitte der Abbildung 3 betrachtet: Große Gletscher wie 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.

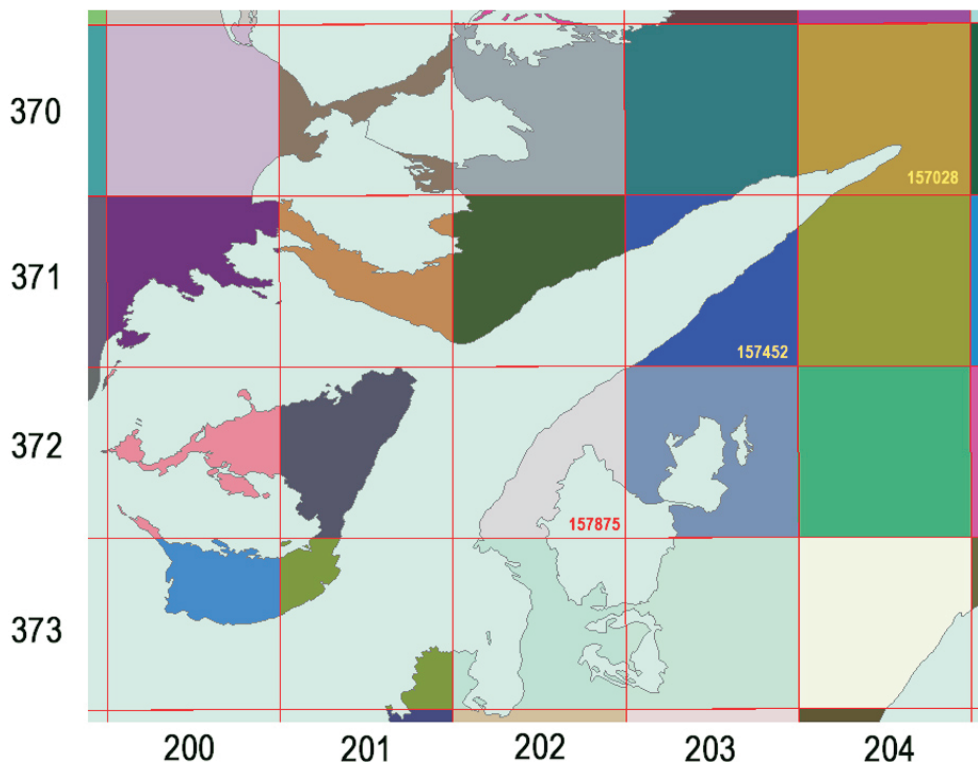


Abb. 3: Detailausschnitte der Lage der Gletscher auf den Proxeln um den Hintereisferner. Bei den 6-stelligen Ziffern handelt es sich um die Kennzahl für ein bestimmtes Proxel, die so genannte PID

Es ist daher leicht einsichtig, dass eine realistische Modellierung der Veränderung der Gletscher nur auf der Basis von *subskaligen* Informationen über den Eiskörper möglich ist. Der dazu entwickelte Modellansatz wird im nachfolgenden Abschnitt beschrieben.

### 2.3.1 Das *subskalige* Gletschermodell

Bei der Realisierung des Modells war eine Reihe von Kompromissen erforderlich, welche aus dem Konzept und der Architektur von DANUBIA resultieren. Die wesentlichen Punkte sind

- Der Algorithmus muss kompatibel zum Konzept des Proxels sein. Der Gletscher als Einheit ist zur Laufzeit des Systems unbekannt.
- Auch wenn die eigentlichen Berechnungen subskalig durchgeführt werden, müssen dem Modell die durch das System auf dem Proxel bereitgestellten meteorologischen Basisgrößen genügen.
- Die Berechnungen dürfen die Gesamtperformanz des Systems nicht wesentlich verschlechtern.

Das Resultat ist ein Algorithmus, der in dem *Landsurface*-Modul verankert werden kann. Seine allgemeine Funktionsweise ist in der Abbildung 4 dargestellt. Der Anteil des Gletschers auf dem Proxel wird durch eine einfache serielle Array-Datenstruktur beschrieben, die bei Programmstart mit den Basisdaten (Höhe der Höhenstufen, Flächenanteile pro Höhenstufe und Eisdicke pro Höhenstufe) initialisiert wird.





Um jedoch den Aufwand gegenüber letzterem deutlich zu reduzieren, werden die eingehenden Terme der Globalstrahlung unverändert vom *Landsurface-controller* übernommen. Der Verzicht auf eine eigenständige *subskalige* Modellierung der Bestrahlung mag in komplex strukturiertem Gelände zu Ungenauigkeiten führen, dies würde aber den Rechenaufwand und den Umfang der erforderlichen Basisdaten (Hangexposition und -Neigung, *subskalige* Geländedaten auch außerhalb der Gletscherflächen) extrem ausweiten. Die Reflex- und die langwellige Ein- und Ausstrahlung wird dagegen individuell entsprechend der intern ermittelten Oberflächenbeschaffenheit (Schneeoberfläche oder aperes Eis) auf der Teilfläche und der Oberflächentemperatur berechnet.

Mit Ausnahme der Berechnung der Eisschmelze folgt die Berechnung dem auf der Proxelskala betriebenen Schneemodell. Die Modellierung des Gletschers erfordert jedoch noch einige spezielle Ergänzungen. Da die Niederschläge von den Expertengruppen aus dem Bereich der Atmosphärenforschung auf der Proxelskala als korrekt angenommen werden, wird dieser Eintrag unmodifiziert aus Erhaltungsgründen übernommen. Lediglich der Aggregatzustand wird in Analogie zur Schneemodellierung anhand des *subskaligen* Temperaturfeldes bestimmt. Es können aber Modifikationen der Verteilung des Schnees ergeben, d.h. ein Teil des Schnees im Umfeld des Gletschers kann auf die Gletscherfläche verfrachtet werden. Gletscherflächen sind in der Regel kleinräumige Bereiche, in denen die Akkumulation überdurchschnittlich ist (auch Abb. 5). Der lokal erforderlichen Parameter (Anteil der flächenproportionalen Umverteilung) sind Ergebnisse aus der Untersuchung der Prozesse der Schneeverfrachtung ergeben (Arbeitsgruppe Hydrologie und Fernerkundung, M. Bernhard).



Abb. 5: Der Vernagtferner in der winterlichen Akkumulationsphase (10.1.2006, Foto W. Hagg)

Auf jeder Höhenstufe des Proxels wird die Massenbilanz berechnet und als Resultat ausgegeben. Zusätzlich stehen das Wasseräquivalent der aktuellen Schneedecke und des Eiskörpers im Stundentakt zur Verfügung.

Da das Modell für Berechnung der Gletscher über längere Modellzeiträume in der Größenordnung von einigen Dekaden konzipiert ist, müssen auch Prozesse wie die Umwandlung von Schnee in Firn und Eis als auch die Umlagerung von Eis durch die Eisbewegung in zwar einfacher, jedoch realistischer Weise berücksichtigt werden. Im anderen Fall ist zu erwarten, dass in den hohen Bereichen des Akkumulationsgebietes im Laufe der Modellierung die Schneedecke in unrealistischer Weise immer mächtiger wird. Daher wird die Andauer der Schneeauflage auf jeder Höhenstufe seit der letzten Ausaperung gespeichert. Nachdem ein in Form eines Steuerparameter vorgegebener Zeitraum (z.B. 1 oder 2 Jahre) vergangen ist, wird ein ebenfalls vorgegebener Anteil der Schneeauflage (z.B. 50%) dem Eiskörper zugerechnet.

Für die explizite Berücksichtigung eisdynamischer Prozesse bei allen Gletschern reichen dagegen gegenwärtig weder die verfügbaren Informationen noch die Ressourcen. Deshalb wird für jede Höhenfläche ein Umverteilungskoeffizient in der Einheit [mm/Jahr] eingeführt, der angibt, um wie viele mm die Oberfläche des Eiskörpers im Laufe eines Jahres durch eine imaginäre Eisbewegung abgesenkt wird. Das sich aus der Fläche der Höhenstufe und der Absenkrate berechnende Volumen wird an die nächst tiefer gelegene Höhenstufe weitergereicht und erhöht dort die Eisdecke im Verhältnis zu deren Fläche. Die Anpassung erfolgt zu einem wählbaren Termin innerhalb des Modelljahres. Eine dynamische Anpassung der Umverteilungsrates ist zunächst nicht realisiert, nur eine Begrenzung von deren Anwendung bei Unterschreitung eines vorgegebenen unteren Schwellenwertes für die Eisdecke. Die individuelle Wahl des Koeffizienten kann entweder auf empirischer Basis erfolgen oder auch als Korrektur verstanden werden, falls ein Gletscher im Bereich des Akkumulationsgebietes unrealistische anhaltende Zuwächse zeigt. Diese Funktion ist die Voraussetzung für die Simulation eines Gletschervorstoßes mit dem Gletschermodell.

Das Rückschmelzen der Gletscher ergibt sich im Modell, wenn Teilflächen vollständig vom Eis befreit werden, also die mittlere Eisdicke den Wert 0 annimmt. In der Regel wird es sich dabei um die am tiefsten gelegenen Flächen handeln, da dort die Schmelzraten am größten sind. Sofern jedoch eine realistische Eisdickenverteilung angenommen wurde, wird auch der Zerfall der Gletscher im Laufe des Abschmelzens realitätsnah wiedergegeben. Als Beispiel wird im folgenden Kapitel die Modellierung des abschmelzenden Vernagtferners anhand eines Probelaufs des Gletschermodells präsentiert. Der Vorgang wird generell umso realitätsnäher wiedergegeben, je detaillierter die Flächen-Höhen- und Eisdickenverteilung verfügbar ist. Aus dem Gletscherkataster wurden für den Österreichischen Teil des Einzugsgebietes Verteilungen in Höhenabstufung von 50m bestimmt, für manche Gletscher, darunter die kleineren in Bayern, wird eine Abstufung von 20m verwendet.

Das Gletschermodell ist unter entsprechenden Randbedingungen prinzipiell auch in der Lage, ein potentiell Gletscherwachstum zu beschreiben. Zwar führt eine positive Massenbilanz auf einzelnen Teilflächen zunächst nur zu einer Eisdickenzunahme, diese Massen können aber mittels der Umverteilungsfunktion in Richtung Zungenende verlagert werden. Am tiefsten Proxel resultiert sie dann in einer äquivalenten Flächenvergrößerung, da die Masse sonst nicht mehr weiter verlagert werden kann. Es können auch zusätzliche Flächen für potentiell Gletscherwachstum ausgewiesen werden, die zunächst mit der Eisdicke 0 initialisiert werden.

Eine Umverteilung von Masse zwischen benachbarten Gletscherproxeln widerspricht dem bisherigen Konzept von DANUBIA und ist daher bislang noch nicht implementiert. Als unbedingte Notwendigkeit bei der Modellierung einer längeren Episode mit Gletscherwachstum wäre auch diese Funktionalität im Gletschermodell dank der Speicherung in einem seriellen mehrdimensionalen Feld relativ einfach zu realisieren.

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. Wie im nächsten Abschnitt gezeigt, handelt es sich dabei um eine Zahl von insgesamt ca. 1500 Proxel. Der Aufwand würde aber bei der möglichen Berück-



sichtigung 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.

Im Laufe des Sommers findet graduell ein Übergang vom Oberflächenzustand mit maximaler Schneeeauflage zu einem immer größer werdenden, aperen Eisgebiet statt (s. Abb. 18, 19). 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 50m 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.

### **2.3.2 Ableitung der Basisdaten - Gletscherkataster Österreich**

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“ (Dr. W. Hagg) geliefert. Bezüglich der Gletscher im Bereich der Schweiz sind analoge Datensätze über das Schweizer Gletscherinventar an der ETH Zürich (Dr. Frank Paul) zugesagt.

Die grundlegenden Daten werden dem neuen Österreichischen Gletscherkataster (LAMBRECHT und KUHN, 2007) entnommen. Dazu wurden alle Österreichischen Gletscher in den Jahren 199-2002 mit Luftbildern erfasst und photogrammetrisch ausgewertet. Die für GLOWA-Danube interessanten Produkte sind digitale Geländemodelle der vergletscherten Gebiete und ihrer Umgebung mit Gitterpunktabständen von 30m, Schichtlinienpläne und Orthophotokarten im Maßstab 1:10.000 (WÜRLÄNDER und KUHN 2000). GLOWA leistete einen Beitrag zu den Kosten der photogrammetrischen Auswertung, ca. 5% der Gesamtkosten von etwa 700.000 Euro. Zur Modellierung ist die Bereitstellung einer Flächen-Höhen- und Eisdickenverteilung auf sämtlichen Proxeln mit Eisbedeckung erforderlich. Diese Basisdaten wurden mit Unterstützung eines Praktikanten (Christoph Baumann, Uni Freiburg), Dr. Chr. Mayer (KfG) und Dr. Astrid Lambrecht (IMG Innsbruck) anhand der Daten der hoch aufgelösten digitalen Geländemodelle des neuen Österreichischen Gletscherkatasters für insgesamt 1170 Proxel als EXCEL®-Tabellen berechnet. Sie bilden die Initialisierungsdaten für das neue Gletschermodell in DANUBIA.

Damit steht allen Arbeitsgruppen ein dem Jahr 2000 zugeordneter aktueller Datensatz der Vergletscherung im Österreichischen und deutschen Teil des GLOWA-Danube-Einzugsgebietes zur Verfügung.

Der direkte Vergleich des neu ermittelten Datensatzes mit den bislang in der Landnutzungsdatenbank integrierten Gletscherflächen in Abbildung 6 zeigt nicht nur signifikante Unterschiede, welche beispielsweise mit dem früheren Aufnahmedatum der Satellitenaufnahme erklärt werden könnten, sondern vor allem die sehr viel gröbere Flächenauflösung der bisher verwendeten Daten. Die maximale Auflösung betrug nur 6.25% der Fläche eines Proxels, entsprechend 6.25 ha. Die der anhand dem Österreichischen Glet-

scherkataster abgeleiteten Flächen beträgt dagegen 0.2 ha. Die Gesamtfläche der Vergleichen im Untersuchungsgebiet reduziert sich bei Verwendung des neuen Datensatzes von bislang 461km<sup>2</sup> auf ca. 380km<sup>2</sup> (Gletscherfläche in Tab. 1 + restliche Gebiete).

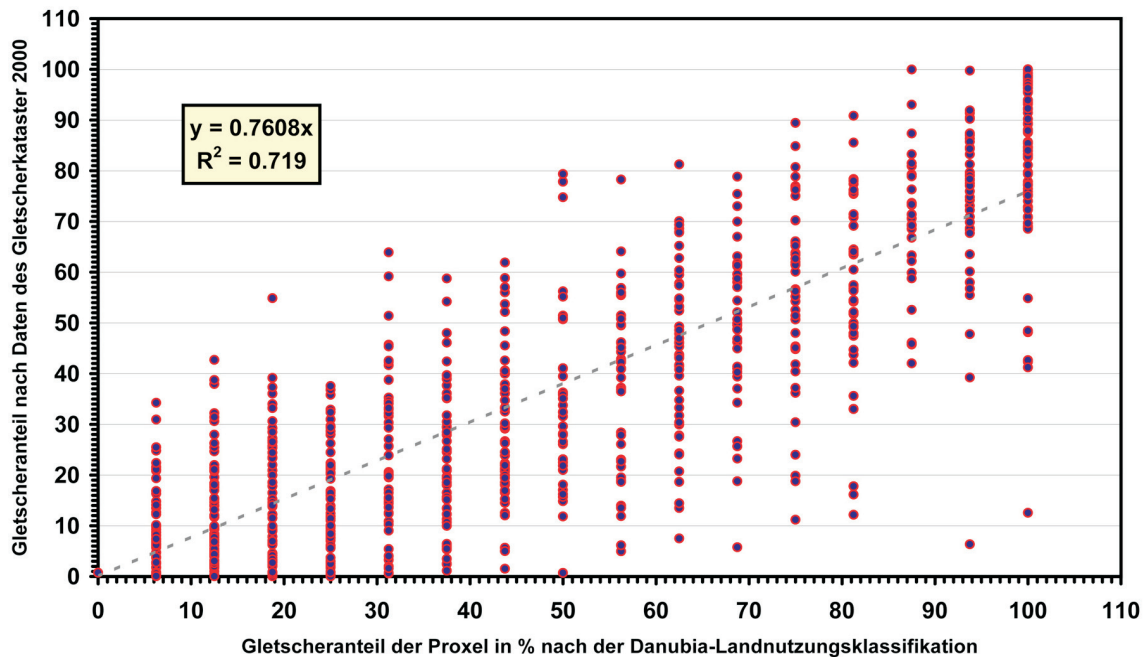


Abb. 6: Vergleich der bislang innerhalb von Danubia auf der Basis von Fernerkundungsdaten als Gletscherflächen ausgewiesenen Landnutzungsanteile auf den Proxeln, mit denen, die auf der Datenbasis des Österreichischen Gletscherkataster (Referenzzeitraum der Aufnahme: 1996-2002) neu bestimmt wurden

Tab. 1: Anzahl der Gletscher, Gesamtfläche und Anzahl der Proxel, über die sich die Gletscherfläche verteilt, für die Gebirgsgruppen im Österreichischen Teil des Einzugsgebietes von GLOWA-Danube. Die resultierende Anzahl der Gletscherproxel ist geringer als die Summe in der rechten Spalte, da sich einige Gletscherflächen ein Proxel teilen

Gebirgsgruppe	Anzahl Gletscher	Gesamtfläche [km <sup>2</sup> ]	Anzahl Proxel
Allgäuer Alpen	1	0.088	1
Ankogel	7	2.677	23
Glockner-Gruppe	41	27.247	114
Granatspitz-Gruppe	6	3.051	15
Hochkönig	1	1.689	11
Lechtaler Alpen	8	0.569	17
Ötztaler Alpen	132	151.708	466
Samnaun-Gruppe	2	0.082	6
Silvretta-Gruppe	21	10.380	52
Sonnblick-Gruppe	107	61.294	263
Venediger-Gruppe	27	34.347	111
Verwall-Gruppe	23	4.489	43
Zillertaler Alpen	83	50.802	231
Insgesamt	<b>459</b>	<b>348.433</b>	<b>1227 (1353)</b>

Abbildung 7 zeigt eine Statistik, die den *subskaligen* Charakter der Gletscherflächen in Bezug auf die GLOWA-DANUBIA-Rasterweite verdeutlicht. Lediglich 7.4% bzw. 87 von 1227 Proxeln sind vollständig mit Gletschern bedeckt. Nur diesem Fall sind die mittlere Höhenlage der Gletscheroberfläche und die Seehöhe des Proxels identisch. Bei gut einem Drittel der Gletscherproxel beträgt der Gletscherflächenanteil weniger als 10% oder 10ha, und das Kriterium der dominierenden Landnutzung weißt 2/3 aller Gletscherproxel nicht als solche aus, da der Flächenanteil weniger als 50% beträgt.

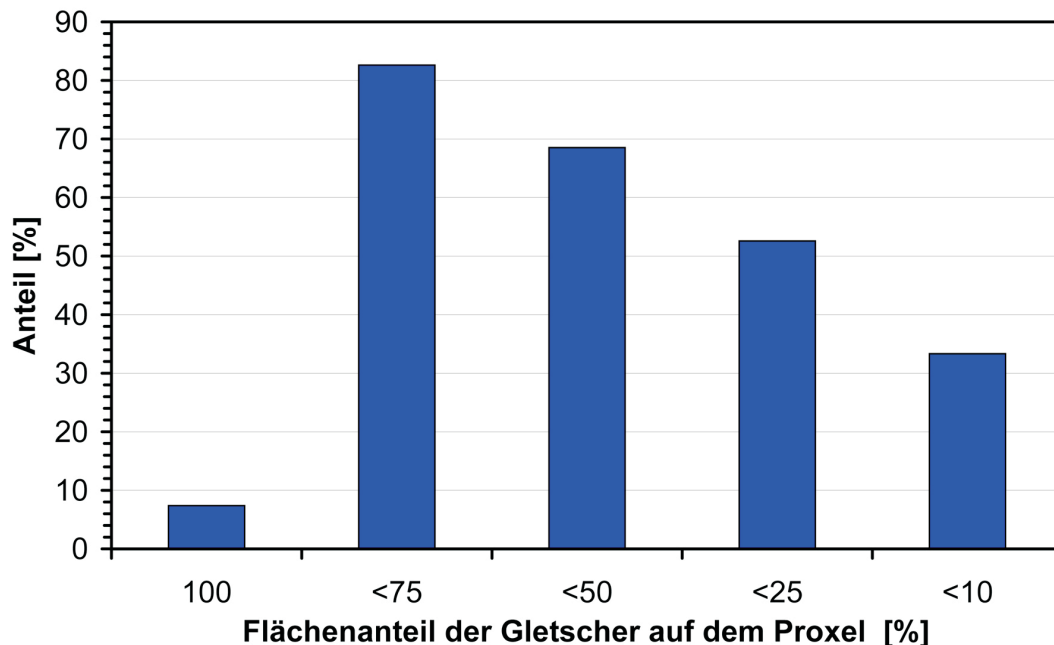


Abb. 7: Prozentualer Anteil der Proxel an der Gesamtzahl der Gletscherproxel (1227), auf denen Gletscher einen Flächenanteil unterhalb des angegebenen Schwellenwertes in % einnehmen

Je nach Steilheit des Geländes beträgt auf einem Proxel mit einer Kantenlänge von 1000m die Differenz zwischen der niedrigsten und der höchsten Gletscherfläche zwischen 150 und maximal 850 Höhenmeter, entsprechend einer hangparallelen Temperaturabnahme zwischen 1 K und 9 K je nach Witterung. Es fällt daher möglicherweise auf demselben Proxel in Teilbereichen der Niederschlag als Regen und an anderer Stelle in Form von Schnee. Auch werden häufig nur die tiefsten Teilflächen von der Ablation durch Schmelze erfasst.

Die Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Vergletscherung im Österreichischen Teil des Einzugsgebietes von GLOWA-Danube wieder, für die *subskalige* Datensätze der Flächen-Höhen-Verteilung auf die Proxel bezogen vorliegen. Dazu kommen noch 7 Proxel in den Bayerischen Alpen und 43 im restlichen Teil des Einzugsgebietes. Zur Erstellung der Eingabedatensätze für das Gletschermodell wurde ein passendes Umwandlungsprogramm entwickelt, um die entsprechenden Daten aus den Excel-Tabellen zu extrahieren.

### Bestimmung des Eisvolumens von Gletschern

Die Masse eines Gletschers ändert sich entsprechend der Bilanzierung von Akkumulation und Ablation an seiner Oberfläche in Abhängigkeit der klimatischen Randbedingungen und der von oben nach unten stattfindenden internen Umverteilung durch die Eisbewegung. Als Reaktion verändert sich die Oberfläche, was wiederum einen zusätzlichen Einfluss auf den zukünftigen Massenhaushalt hat. Somit wird ein schwindender Gletscher auch bei gleichbleibendem Klima mit der Zeit immer weniger an Masse verlieren, da seine Angriffsfläche immer kleiner wird. Bei einem wachsenden Gletscher wird die Rate der Flächenänderung vor allem durch die Eisbewegung bestimmt.

Während bei bekannter Flächen-Höhen-Verteilung die Änderung der Eisdicke je nach Modellansatz relativ realitätsnah modelliert werden kann, erfordert die Berechnung der Flächenänderung zusätzlich die genaue Flächenverteilung der Eisdicke. Dies ist gleichbedeutend mit der möglichst genauen Kenntnis über die vorhandenen Eisreserven.

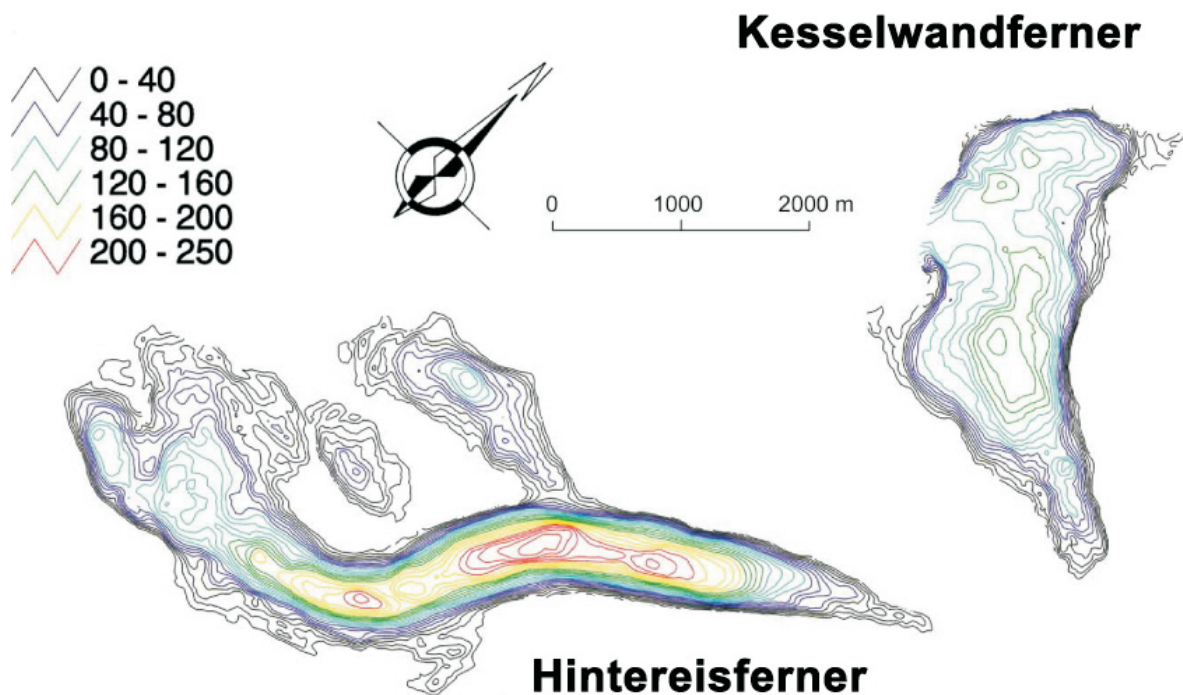


Abb. 8: Kartierung der Eisdicke anhand von Mikrowellensondierungen am Hintereisferner und Kesselwandferner in den Ötztaler Alpen. Daten von SPAN (1999)

Diese Informationen waren in der Vergangenheit nur sehr eingeschränkt vorhanden, so dass die explizite Modellierung der zukünftigen Gletscherentwicklung oder auch nur die Durchführung einer Sensitivitätsanalyse nur anhand statistischer Fortschreibungen, (z.B. ZEMP et al. 2006a + b; HALL und FAGRE 2003) durchgeführt wurde, nicht jedoch explizit auf physikalischer Basis. Damit haften den Prognosen zur Ausdehnung der Vergletscherung oder gar zum Zeitpunkt des Verschwindens individueller Gletscher neben der Unsicherheit der zukünftigen Klimaentwicklung zusätzlich die aus der Methodik und dem Ausgangszustand an.

Da das Konzept von DANUBIA eine explizite möglichst realitätsnahe Modellierung des Eiskörpers der Gletscher in Abhängigkeit von meteorologischen Eingangsdaten auf Stundenbasis vorsieht, muss jeder einzelnen der Teilflächen auch eine realistische Eisdicke zugewiesen werden.

Die ständige Verbesserung des Verfahrens der Eisdickenmessung auf Gletschern mittels Radioecholot (SPAN 1999) erweitert zunehmend die Kenntnis der Eisdickenverteilung ausgewählter Gletscher. In der Regel wird entweder das Gletscherbett (SPAN et al. 2005) oder die Eisdicke zum Zeitpunkt der Messung kartiert (Abb. 9). Sofern diese Information verfügbar ist, wird sie direkt im Modell verwendet. Von Mitarbeitern der KfG wurden 2006 im Rahmen des Projektes „Bayerische Gletscher“ das aktuelle Volumen der Gletscher an der Zugspitze mit einem Mikrowellenradar vermessen. Die Ergebnisse zeigen, dass der nördliche Schneeferner mit 45m an der dicksten Stelle weitaus größere Eisreserven besitzt als bislang angenommen und daher wahrscheinlich erheblich länger erhalten bleibt als die bislang geschätzten 15 bis 20 Jahre. Die bisherige Extrapolation ging von einer maximalen restlichen Eisdicke von weniger als 25m aus. Das Beispiel zeigt, dass belastbare Aussagen über die Zukunft der Gletscher in Abhängigkeit von Klimaszenarien ohne die Basisinformation der Eisdickenverteilung nicht sinnvoll sind. Erst diese ermöglicht einen sinnvollen physikalischen Modellansatz, der jedoch bislang nicht realisiert wurde.



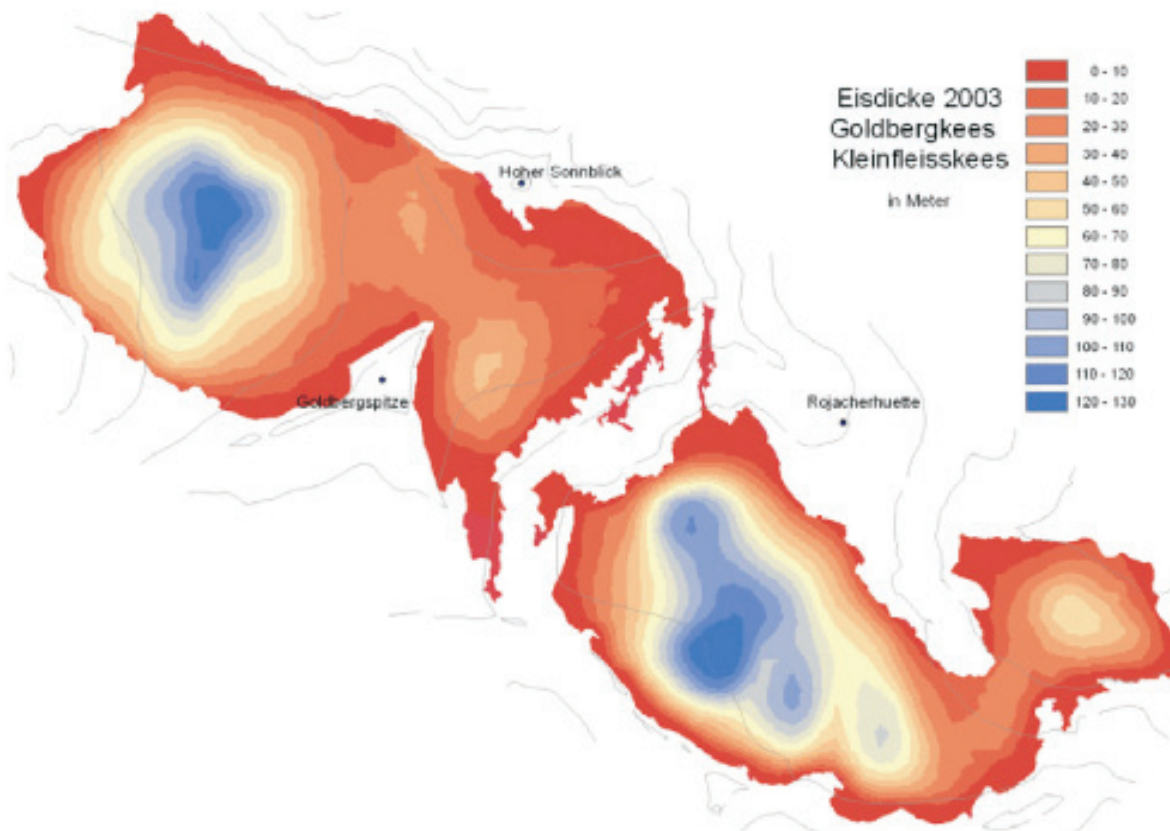


Abb. 9: Kartierung der Eisdicke des Goldbergkeeses und des Kleinfleisskees (HYNEK 2007)

Die Eisdickenbestimmung ist Bestandteil des Projektes zur Erstellung des Österreichischen Gletscherinventars (SPAN et al. 2005; FISCHER et al. 2007; LAMBRECHT und KUHN 2007), so dass für immer mehr Gletscher Eisdickenverteilungen verfügbar sein werden (s. Abb. 8 und 9). Das Gletscherbett des Vernagtferners in den Öztaler Alpen wurde bereits 1966/67 mit den Methoden der Sprengseismik bestimmt (MILLER 1972), die Grenzen der Genauigkeit des Verfahrens werden heute bereits sichtbar. Eine neue Radarvermessung wurde im Frühjahr 2007 durchgeführt, die des Blaueis- und Watzmann-gletschers sind im Herbst 2007 geplant. Insgesamt liegen zur Dickenverteilung konkrete Daten von etwa 10% der knapp 500 Gletscher im Untersuchungsgebiet vor (FISCHER und SPAN 2005). Deren Entwicklung kann im Rahmen der Modellunsicherheiten am vertrauenswürdigsten modelliert werden.

Für die Dickenverteilung der restlichen Gletscher werden zunächst Annahmen auf der Basis von Abschätzungen und empirischen Erfahrungswerten getroffen. Abgesichert werden diese Approximationen zusätzlich durch Untersuchungen der Volumen-Flächen-Beziehung (s. Abb. 10) nach Art der Bahr-Formel (BAHR 1997), die relativ gesicherte Informationen der mittleren Dicke des Gletschers liefert. Die Dickenverteilung über die Fläche wird in Analogie zu der von ähnlichen Gletschern angenommen, deren Eisdicke bekannt ist. Zusätzlich wird die Abschätzung durch die Anwendung einfacher Gesetzmäßigkeiten für die potentielle Maximaldicke von Gletschern in Abhängigkeit von der Geländeneigung abgesichert, wie sie beispielsweise bereits in PATERSON (1969) oder OERLEMANN (2001) erläutert werden.

Auf diesem Wege können sämtliche Gletscherflächen des Einzugsgebietes in die Modellierung einbezogen werden, wenn auch zunächst noch mit einer deutlich differenzierten Genauigkeit. Dank der einfach gehaltenen Struktur der Initialisierungsdateien ist aber in der nahen Zukunft ein problemloses dynamisches Anpassen der Daten möglich, sobald für einzelne Gletscher neue Informationen verfügbar sind.



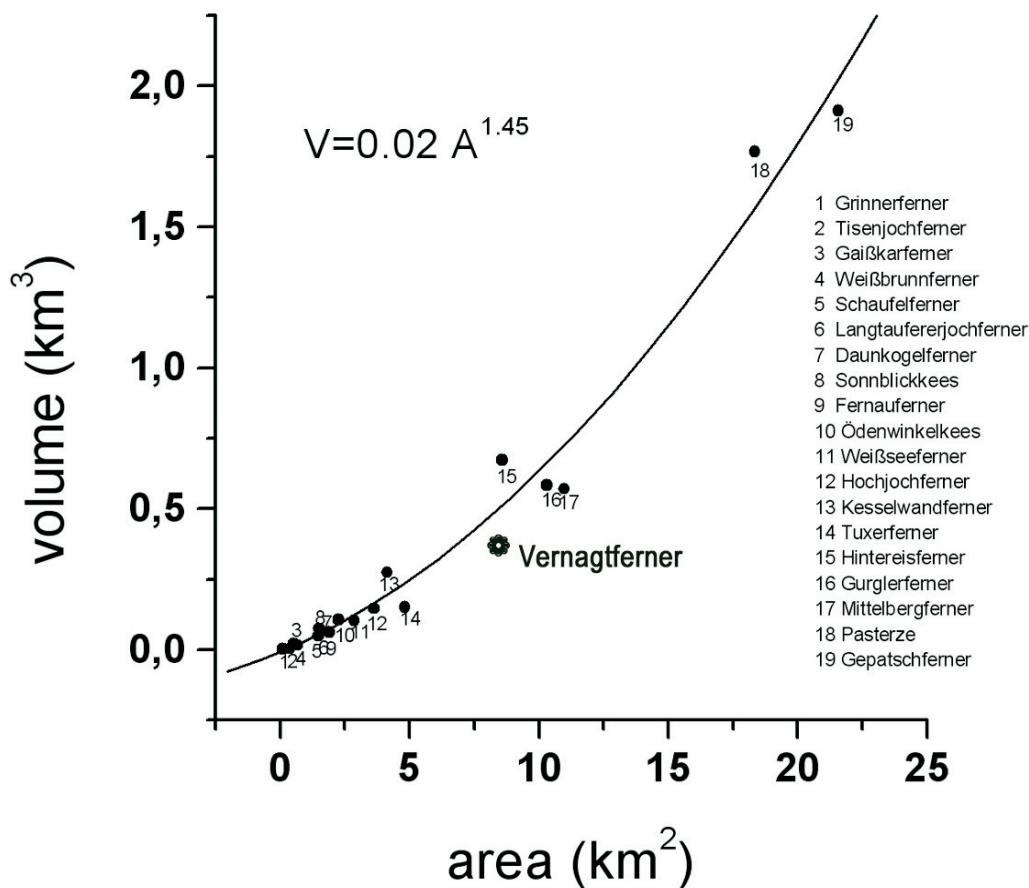


Abb. 10: Beziehung zwischen Eisvolumen und Gletscherfläche in Analogie zu BÄHR (1997) auf der Basis von Volumenmessungen an 19 Gletschern. Die Daten stammen aus Erhebungen zur Erstellung des Österreichischen Gletscherinventars des IMG I (LENTNER 1999). Zusätzlich eingetragen ist ein Wertepaar für den 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

## 2.4 Integrative Arbeiten

Im Mittelpunkt der Integrativen Arbeiten des Teilprojektes Glaziologie standen im Berichtszeitraum neben der Bereitstellung der Initialisierungsdaten für die Modellierung der Gletscherflächen in DANUBIA die Entwicklung der entsprechenden Modellkomponente und deren Tests. Validierung und Tests des Schneemodells erfolgten in Form so genannter Referenzläufe, die mit gemessenen Treiberdaten durchgeführt wurden und die Realität möglichst gut wiedergeben sollten. Des Weiteren wurde 2006 ein erster längerer Szenariolauf mit dem DANUBIA-Gesamtsystem und einem durch einen Klimagenerator erzeugten Testdatensatz durchgeführt.

Da gegen Ende der zweiten Phase keine weiteren Testläufe mit dem DANUBIA-Gesamtsystem erfolgten und auch von Seiten des Framework noch keine Möglichkeit zur Änderung der Landnutzung zur Laufzeit möglich ist, wurde das Gletschermodell zunächst als eigenständiges JAVA-Testprogramm entwickelt und getestet. Die im Kapitel 2.6.1 präsentierten Modellergebnisse wurden mit der Testversion und meteorologischen Treiberdaten realisiert, die aus den Messungen der KfG an der Klimastation Vernagtbach bereitgestellt wurden. Für weitere Tests zur Modellierung der Gletscher an der Zugspitze wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Geografie und geografische Fernerkundung der LMU München (M. Prash, U. Strasser, W. Mauser) eine Fortran-Version des Modells entwickelt, welche integriert in das Punktsystem ESCIMO (STRASSER et al. 2007) weitere Validierungsläufe mit Datensätzen über 30 Jahre ermöglichte.

### 2.4.1 Validierung des Schneemodells anhand von Referenzläufen

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.

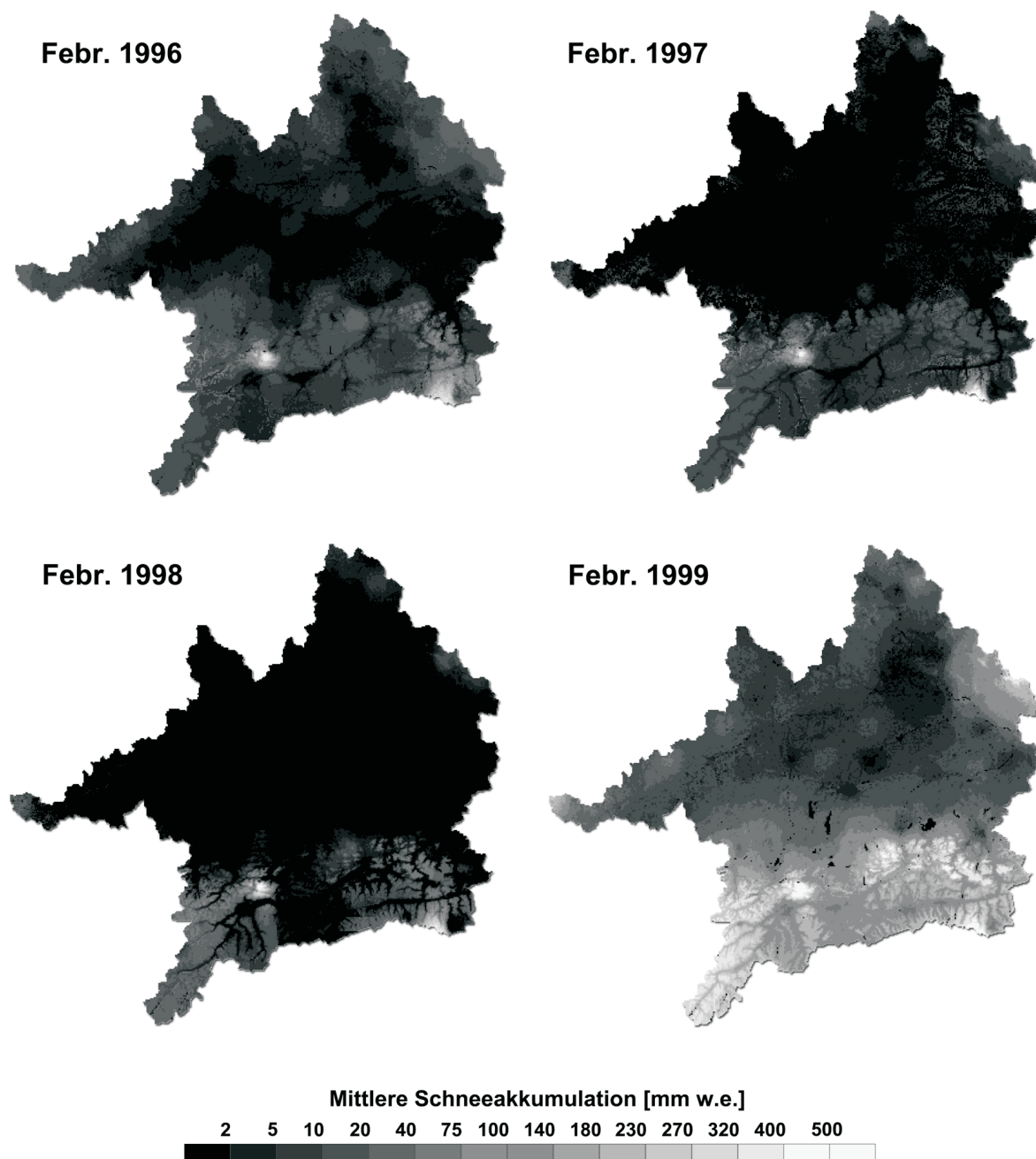


Abb. 11: Mittlere Schneeakkumulation im Einzugsgebiet von GLOWA-Dfanube für die Jahre 1996 bis 1999 jeweils im Februar

Die Entwicklung der Schneedecke wird auch mit den Daten des Klimamodells realistisch wiedergegeben. Die 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.

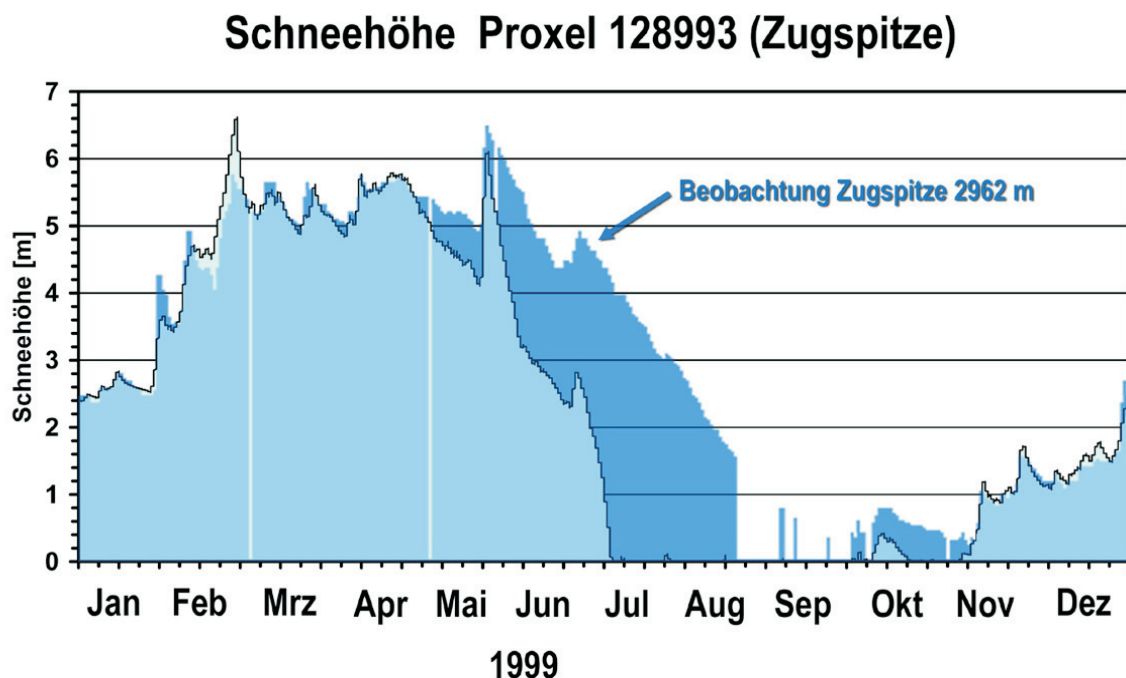
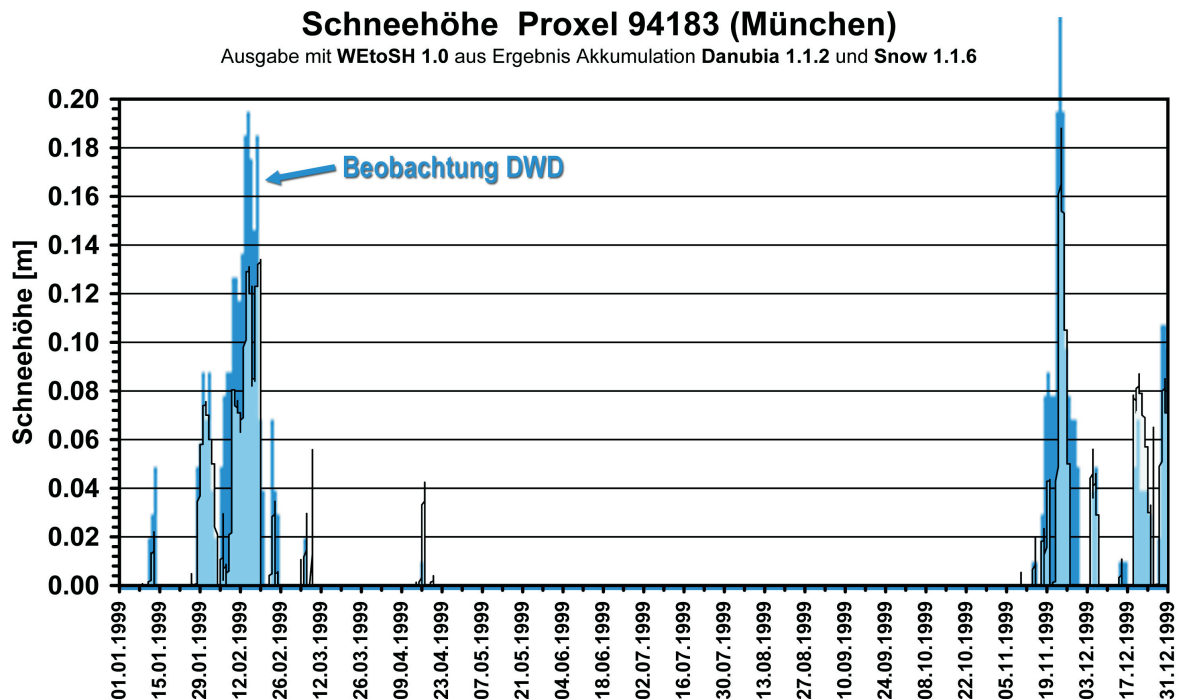


Abb. 12: Vergleich von modellierten und beobachteten Schneehöhen auf jeweils einem Proxel in München (oben) und auf dem Zugspitzplatt (unten)

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.

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 Regel ist die Übereinstimmung besonders in der Akkumulationsphase durchaus gut. Der Abbau der Schneedecke erfolgt mit der für den Referenzlauf verwendeten Version 1.1.6 von *Snow* jedoch allgemein deutlich schneller als in der Realität. Als Ursache ist einerseits eine Abweichung in der mittleren Höhenlage des Proxels mit nur 2272 m gegenüber mindestens 2700 m 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 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 (s. Kap. 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. Beispielsweise das Vorhandensein einer Schneedecke 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 aperaturen Oberfläche unter sonst gleichen Bedingungen. Als Resultat berechnet das Schneemodell in ei-



nem 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.

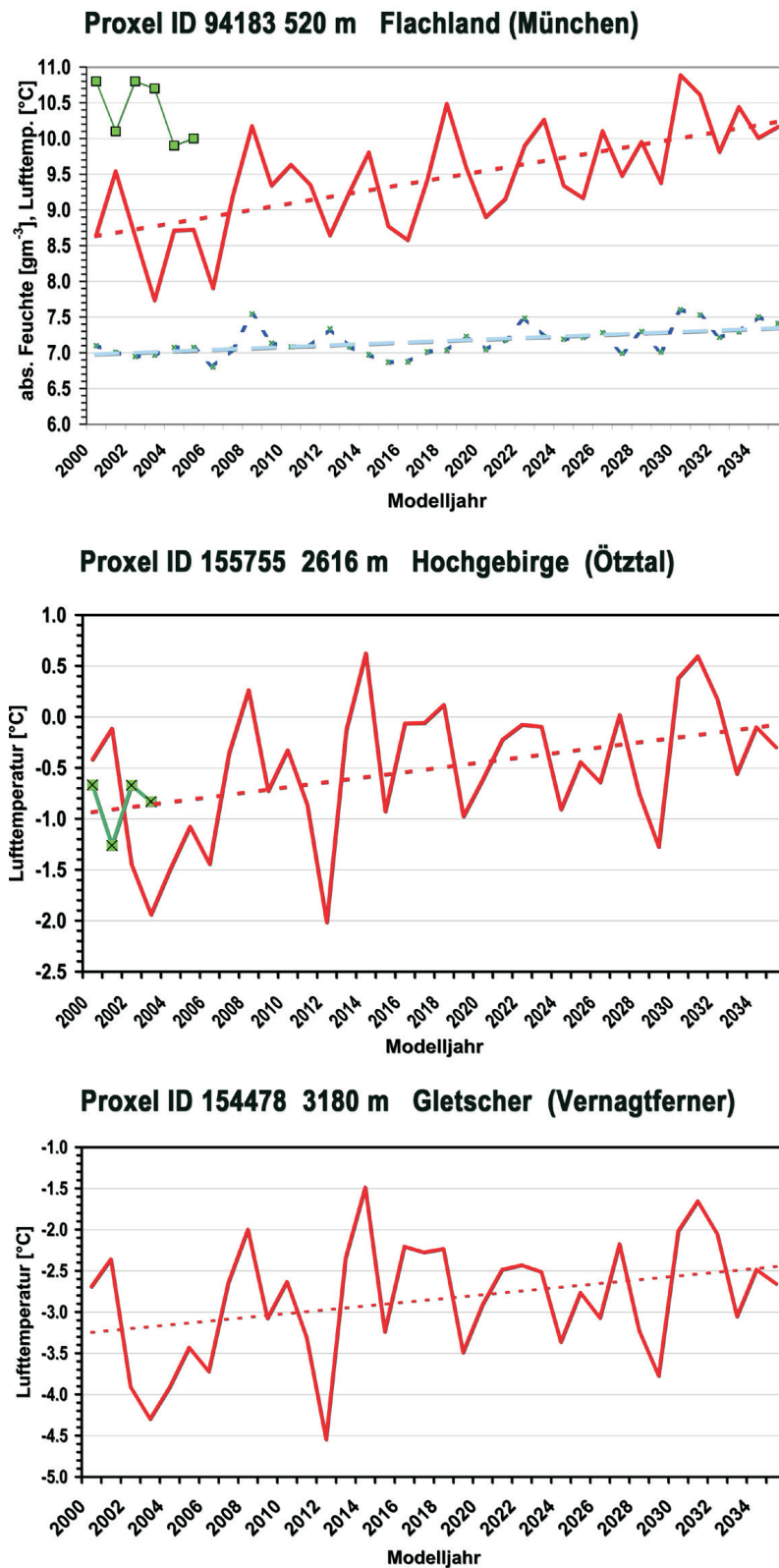


Abb. 13: Jahresmittelwerte und linearer Trend der bodennahen Lufttemperatur (rot) auf drei jeweils für eine Höhenlage repräsentativen Proxeln. In Grün werden zum Vergleich reale, unabhängige Messwerte ab dem Jahr 2000 angegeben, soweit sie am jeweiligen Standort verfügbar sind. Für das Proxel im Flachland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



Der 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 (s. 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 *AtmosStations* 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 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 verwendet, 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

den 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 (s. 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 (s. 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 Niederschlags, 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 (s. Abb. 15 unten) als auch in unvergletscherten hochgelegenen Regionen (s. 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 Bereich 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.

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. Obwohl sie häufig mächtiger ist als zu Beginn der Simulation, schmilzt sie in kürzerer Zeit. Im Flachland (s. 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 (WEBER und BRAUN 2004). Die Zunahme der Abflüsse aus vergletscherten Einzugsgebieten wird bereits beobachtet (BRAUN und WEBER 2002).

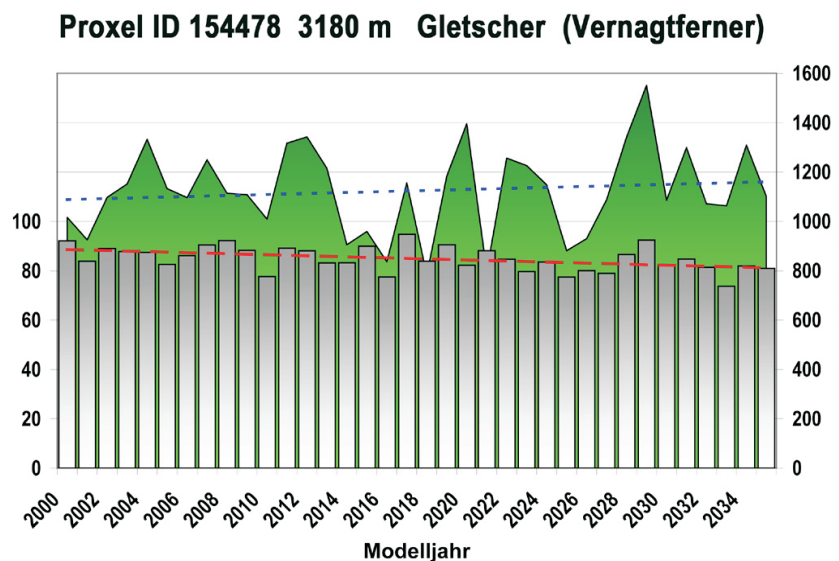
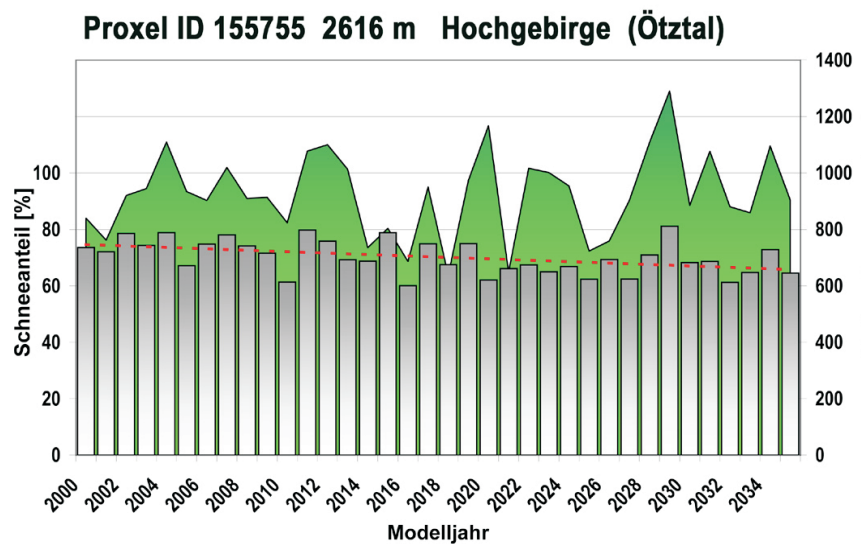
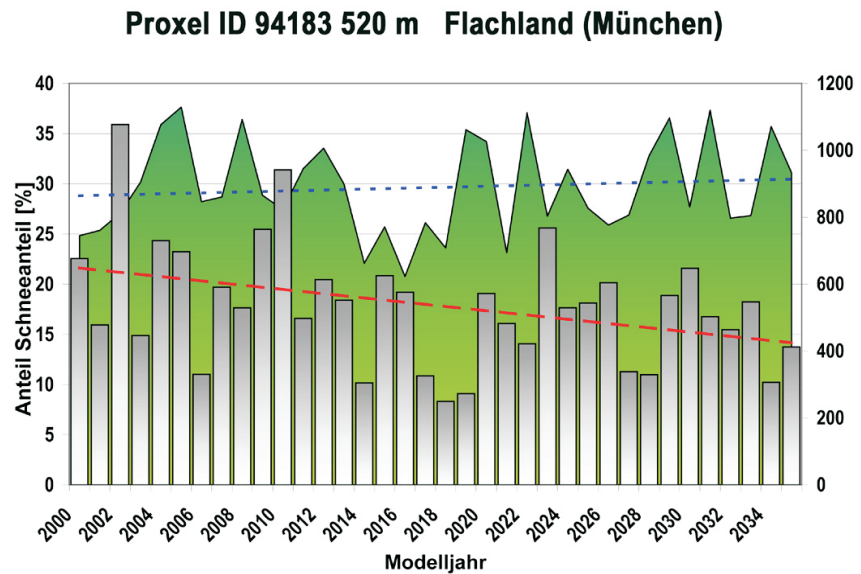


Abb. 14: Jahressummen des Gesamtniederschlags (grün, rechte Skala) und dessen Anteil in Form von Schnee (graue Säulen, linke Skala) auf drei repräsentativen Proxeln im DANUBIA-Einzugsgebiet

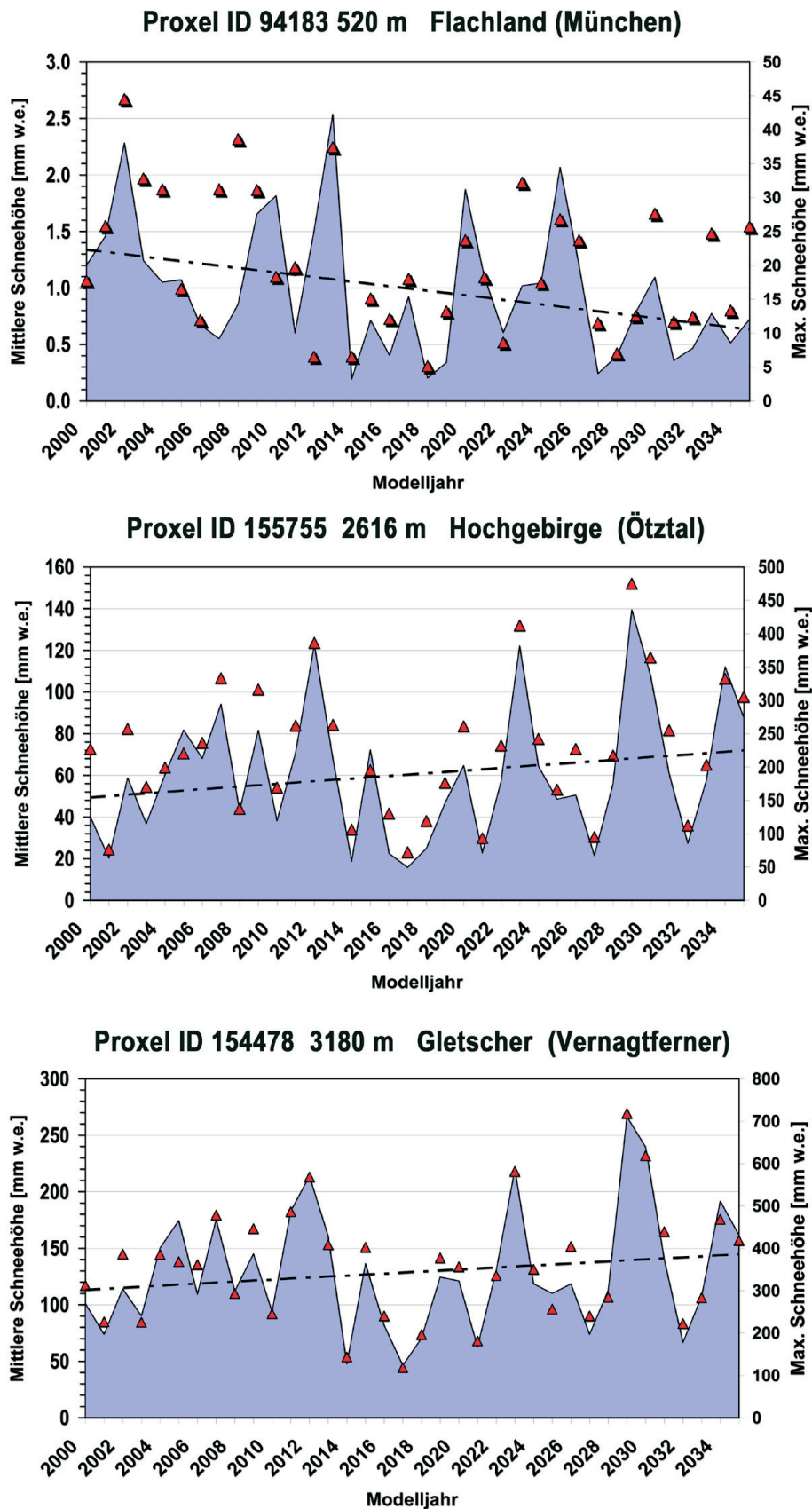


Abb. 15: Mittlere jährliches Wasseräquivalent der Schneedecke (blau, linke Skala) und maximale Schneehöhe (rechte Skala, Dreiecke) auf drei repräsentativen Proxeln im DANUBIA-Einzugsgebiet



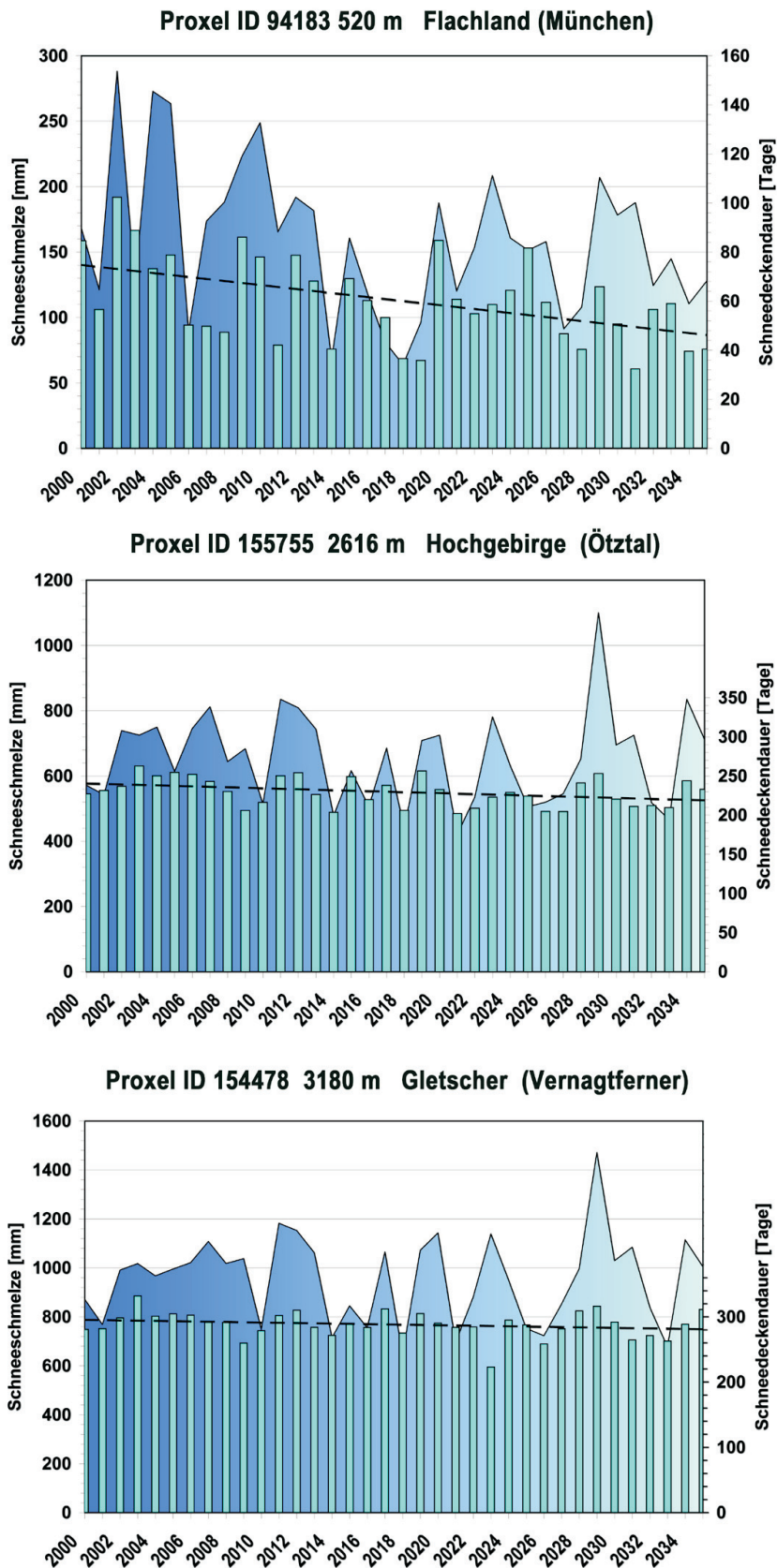


Abb. 16: Jahressumme der Schneesmelze (blau, linke Skala) und Schneedeckendauer (Säulen, rechte Skala) auf drei repräsentativen Proxeln im DANUBIA-Einzugsgebiet



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.

## 2.6 Tests und Validierungsergebnisse des Gletschermodells

Die Funktionsfähigkeit des Modells wurde zunächst eigenständig in einer ECLIPSE-3.1-Umgebung als JAVA-Anwendung ausgiebig getestet. Die simultane Analyse der Modellergebnisse auf zusammenhängenden Proxel-Cluster erlaubt die Untersuchung individueller Gletscher, für die noch weitere Informationen vorliegen. Die Abbildungen 22 bis 26 zeigen Resultate eines Testlaufs für das Areal des Vernagtferners in den Ötztaler Alpen.

Des Weiteren wurde eine Adaption des Modells für die Fortran-basierte Modellumgebung ESCIMO durchgeführt. Hier wurde sowohl eine Simulation zur Validierung mit einer 33 Jahre langen aus Stationsdaten abgeleiteten Messreihe (*Atmostations*) des nördlichen Schneeferners gerechnet, die mit Beobachtungsdaten verglichen werden.

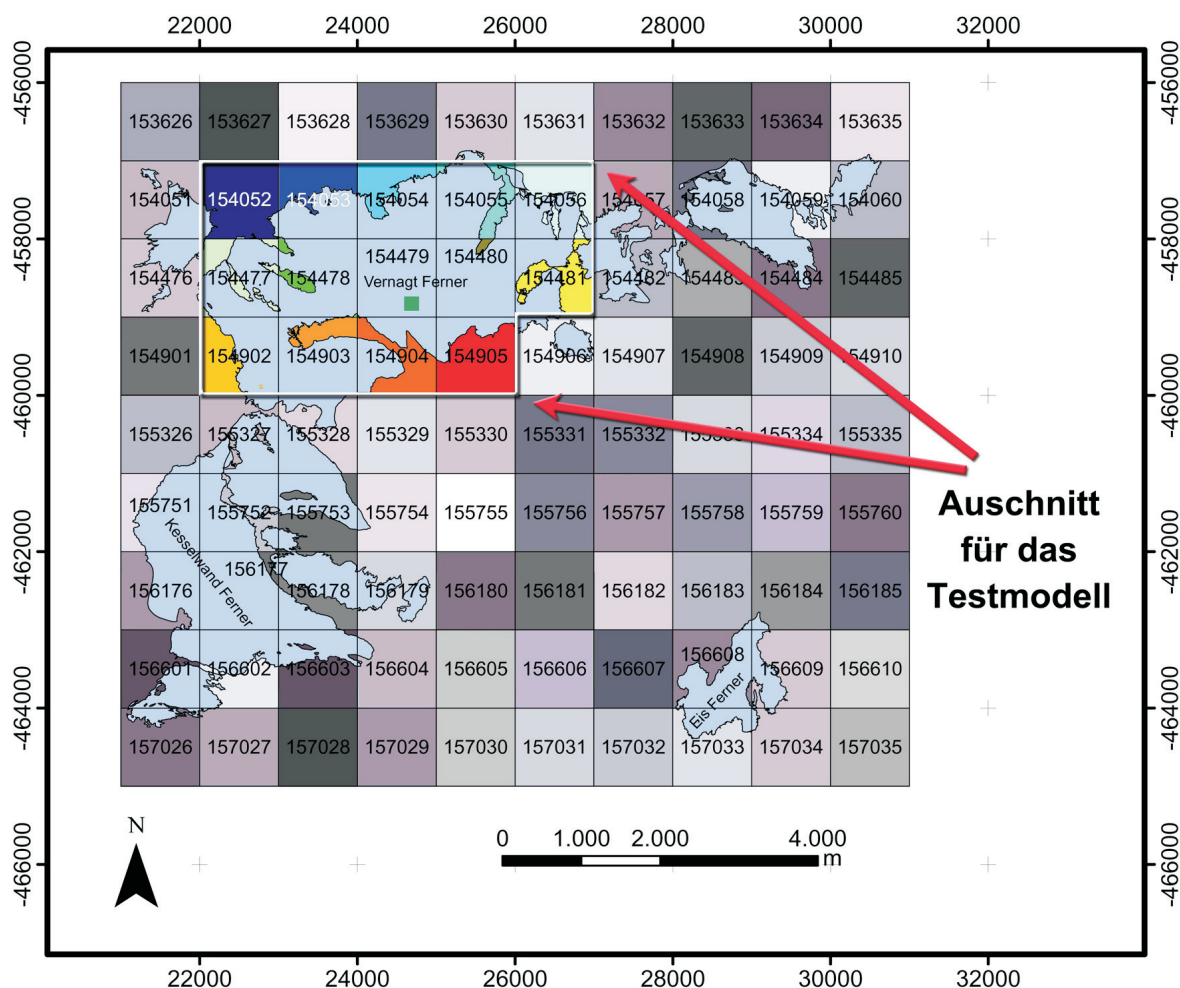


Abb. 17: Ötztal. Bei den 6-stelligen Ziffern handelt es sich um die Kennzahlen der Proxel, anhand derer ihre Lage innerhalb des Untersuchungsgebiet identifiziert werden kann. In dem besonders markierten Bereich befinden sich die 14 Proxel, von denen nachfolgend Simulationsergebnisse präsentiert werden. Die farbliche Kennzeichnung dient der vereinfachten Identifizierung der Lage von Flächen im Zusammenhang mit der Darstellung der Veränderung des Gletschers ab Abbildung 22

Durch einfache Wiederholungen der meteorologischen Eingangsdaten bzw. eines Teils der Datenreihe war auch die Simulation einer Szenarienrechnung möglich. Zu den Prognosen des ICCP passende Szenarien können dagegen erst in der 3. Phase des Projekts gerechnet werden.

Die Veränderungen der Gletscherflächen können zusätzlich an detaillierten Schichtlinienplänen oder Eisdickenkarten visualisiert werden. Für beide Methoden finden sich nachfolgend Beispiele. Zunächst wird die Funktion anhand einer Simulation eines Proxel-Clusters demonstriert, welches die Region des Vernagtferners beinhaltet.

Als meteorologische Ausgangsdaten für die Testmodellierung dienten Stundenmittel der Messungen von Globalstrahlung, Temperatur, Dampfdruck, Windgeschwindigkeit, Luftdruck und Niederschlag an der Klimastation Vernagtbach auf 2640m (BRAUN et al. 2004) in den Jahren 2002 und 2003. Die zusätzlich vom Modellalgorithmus benötigte Gegenstrahlung wird mit einem in WEBER (2005) genauer geschilderten Verfahren anhand von Temperatur und Feuchte für klaren Himmel berechnet. Wegen des erheblichen Aufwandes wurde auf eine Rekonstruktion der Bewölkung und der resultierenden Korrektur vorläufig verzichtet. Die Extrapolation der Messwerte auf die Proxel des Clusters wurde mit analogen Verfahren zu dem *subskalig* innerhalb des Proxel verwendeten durchgeführt. Die Globalstrahlung und Niederschlag wurden auf allen Proxeln unmodifiziert übernommen. Es wurden keine Hangexposition und Abschattung für die Tests berücksichtigt, da diese Prozesse in DANUBIA durch das Modul *RadiationBalance* berechnet werden.

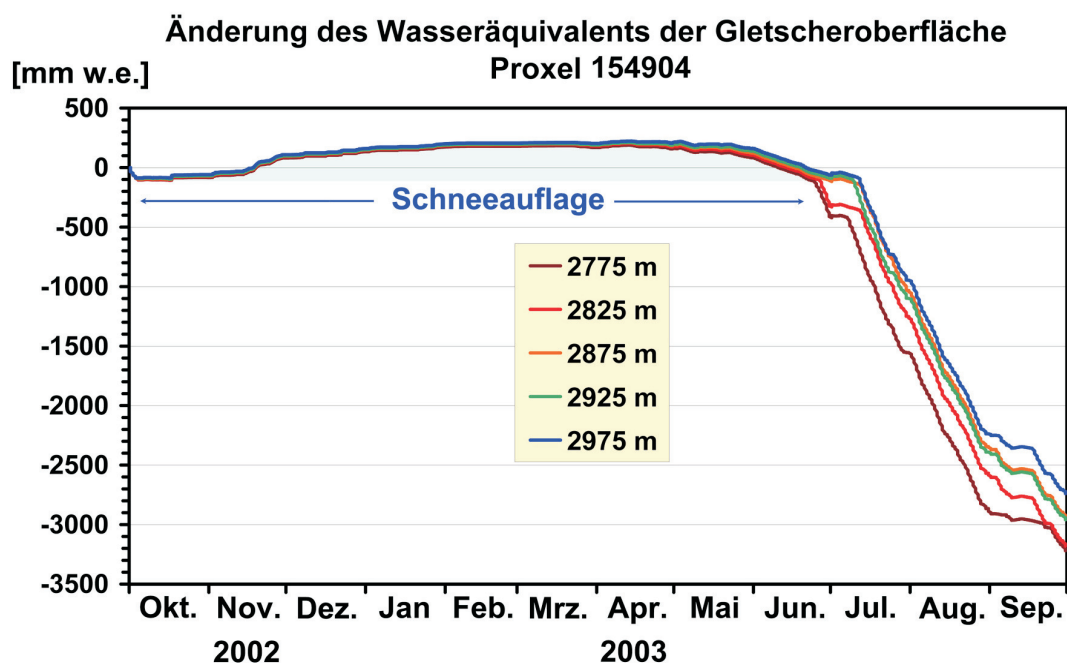


Abb. 18: Beispiel für die Simulationsergebnisse auf den Gletscherteilflächen auf einem im Gletscherzungenbereich des Vernagtferners gelegenen Proxel. Dargestellt ist die Änderung des Wasseräquivalents der Gletscheroberfläche anhand von stündlichen Berechnungen von Akkumulation und Ablation für den Zeitraum Oktober 2002 bis September 2003 auf der Basis von extrapolierten meteorologischen Messdaten an der Klimastation Vernagtbach

Beispiele für die Ergebnisse der *subskaligen* Berechnungen des Gletschermoduls zeigen die Abbildungen 18 und 19. Dargestellt ist jeweils auf einem ausgewählten Proxel für das extreme Massenhaushaltsjahr 2002/2003 der zeitlichen Verlauf der Modellierung der Änderung des Wasseräquivalents an der Oberfläche für auf 50m-Höhenstufen. Im Verlaufe der Akkumulationsphase von November bis April ist der Einfluss der Flächen-Höhen-Verteilung von untergeordneter Bedeutung. In der Ablationsphase zwischen Mai und September dagegen bestimmt die Höhenlage maßgeblich die Intensität der Schnee- und Eisschmelze. Während im Bereich des Zungenendes bereits in der zweiten Junihälfte die Eisschmelze einsetzt, sind die Bereiche um den Gipfel des Hinteren Brochkogel oberhalb 3500m erst



## Vernagtferner Flächen-Höhen-Verteilung 2000

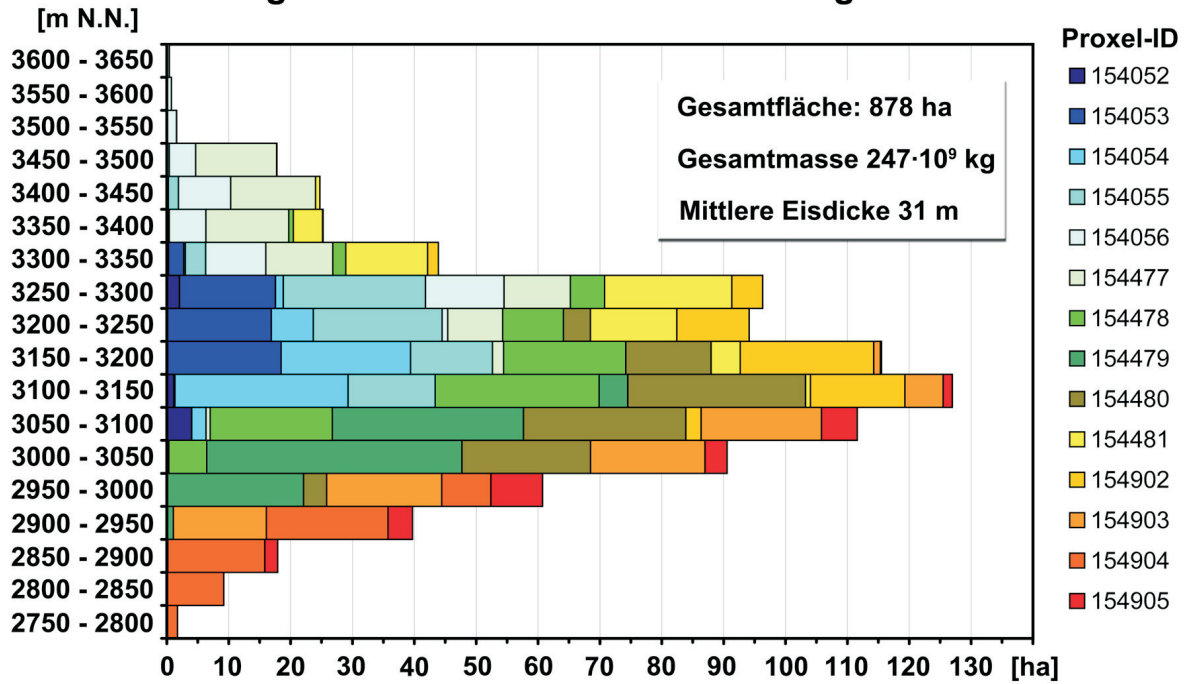


Abb. 21a: Zusammengefasste Flächen-Höhenverteilung der *subskaligen* Gletscherflächen auf 14 Proxeln im Bereich des Vernagtferners in den Öztaler Alpen. Die Farbkodierung erleichtert die Identifizierung der Lage der Flächen in Abbildung 17. Die Daten beschreiben den Eiskörper des Gletschers anhand des Österreichischen Gletscherinventars im Jahr 1998/99. Die Daten zur Massen- bzw. Eisdickenverteilung und Umlagerung basiert auf den Untersuchungen von MILLER (1972) und den langjährigen Massenhaushaltsuntersuchungen der Kommission für Glaziologie

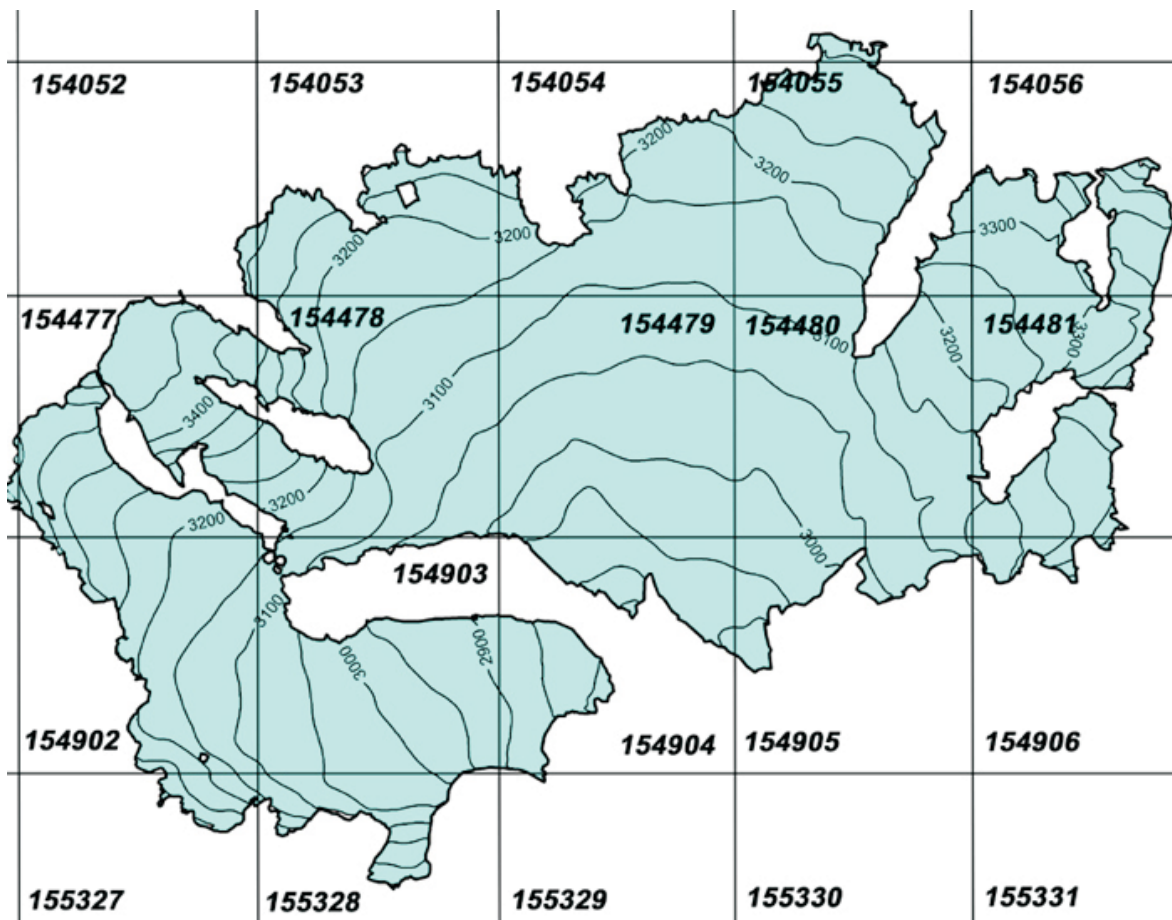


Abb. 21b: Schichtlinienplan des Vernagtferners im Jahr 2000



## Vernagtferner Flächen-Höhen-Verteilung +4x2003

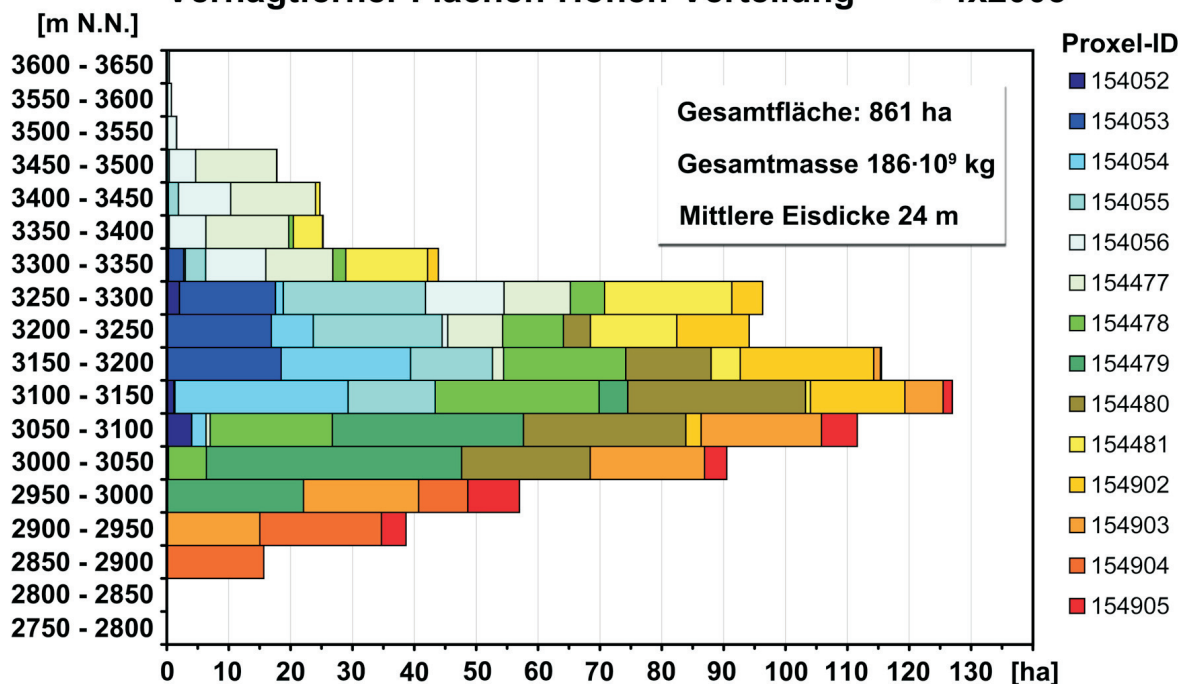


Abb. 22: Modellierter Flächenverteilung nach 4maliger Wiederholung der stündlichen Massenhaushaltsberechnung mit den während des Haushaltsjahres 2002/2003 an der Klimastation Vernagtbach gemessenen meteorologischen Basisdaten

## Vernagtferner Flächen-Höhen-Verteilung +10x2003

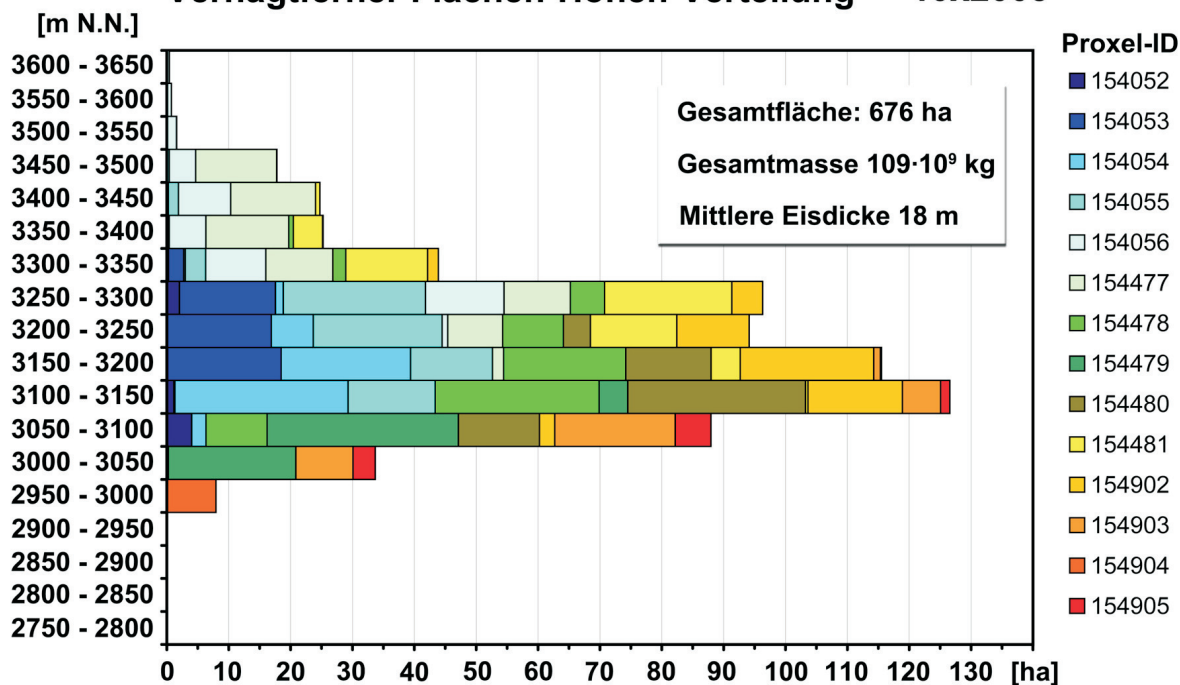


Abb. 23: Die sich nach 10 Modelljahren des Typs 2002/03 einstellende Flächen-Höhen-Verteilung und die sich ergebenden integralen mittlere Masse und Dicke



### Vernagtferner Flächen-Höhen-Verteilung +15x2003

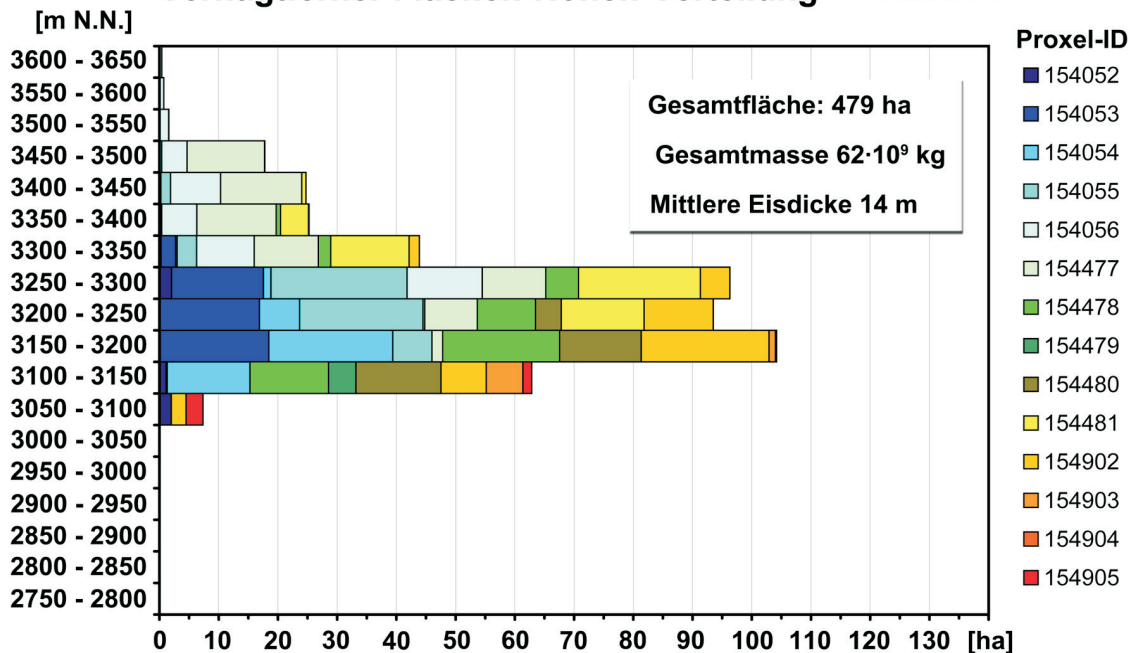


Abb. 24a: Die sich nach 15 Modelljahren des Typs 2002/03 einstellende Flächen-Höhen-Verteilung und die sich ergebende integrale mittlere Masse und Dicke für das Areal des Vernagtferners

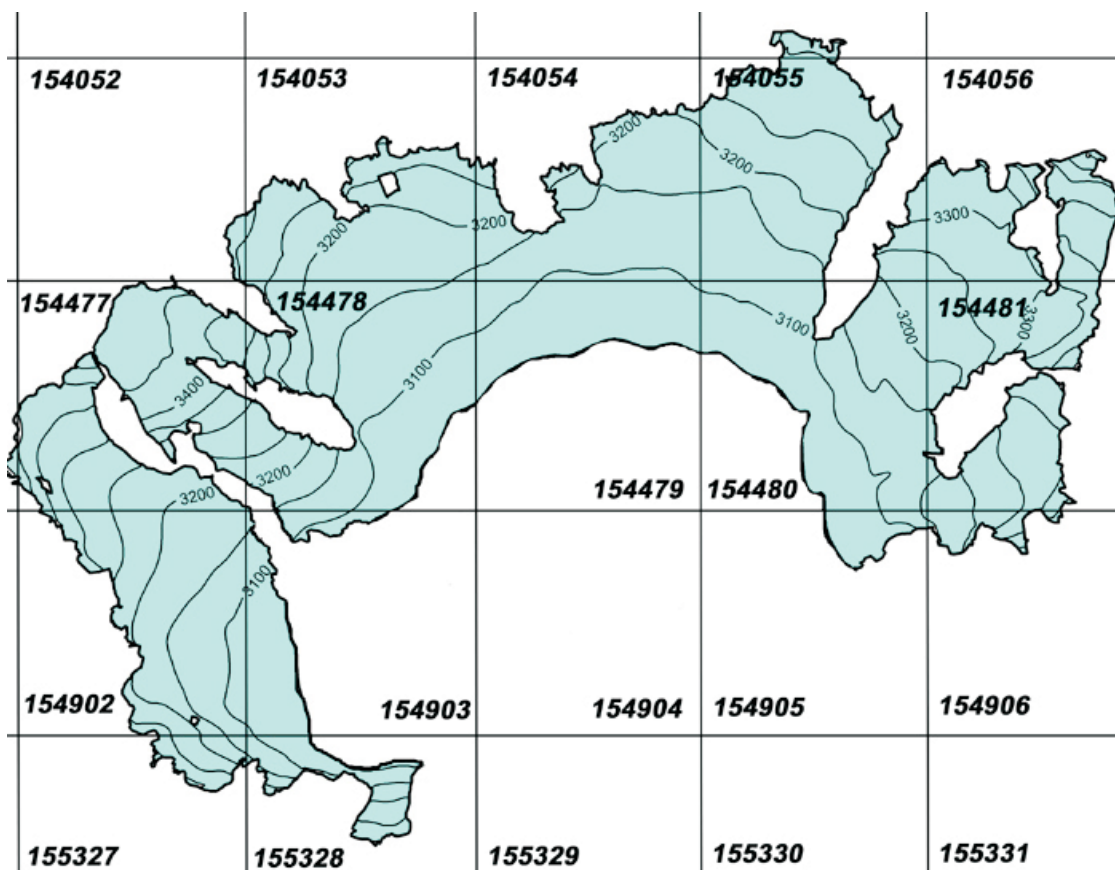


Abb. 24b: Der sich nach 15 Modelljahren des Typs 2002/03 nach den Modellergebnissen Abbildung 24a ergebende ungefähre Schichtlinienplan des Vernagtferners

## Vernagtferner Flächen-Höhen-Verteilung +20x2003

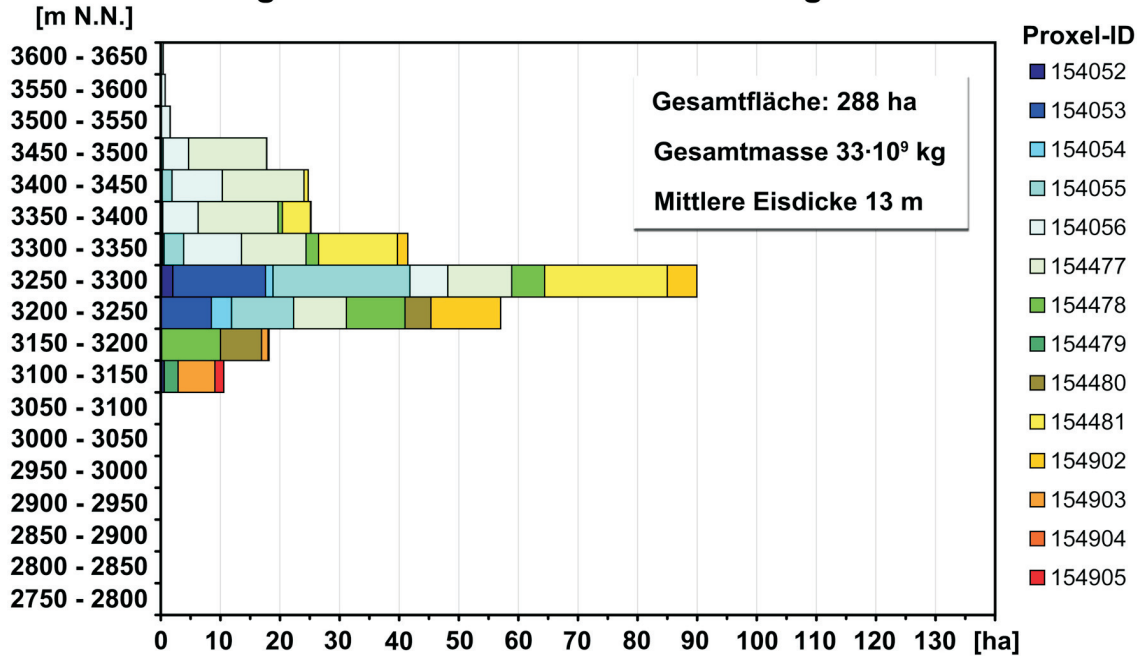


Abb. 25a: Die sich nach 20 Modelljahren des Typs 2002/03 einstellende Flächen-Höhen-Verteilung und die sich ergebende integrale mittlere Masse und Dicke für das Areal des Vernagtferners

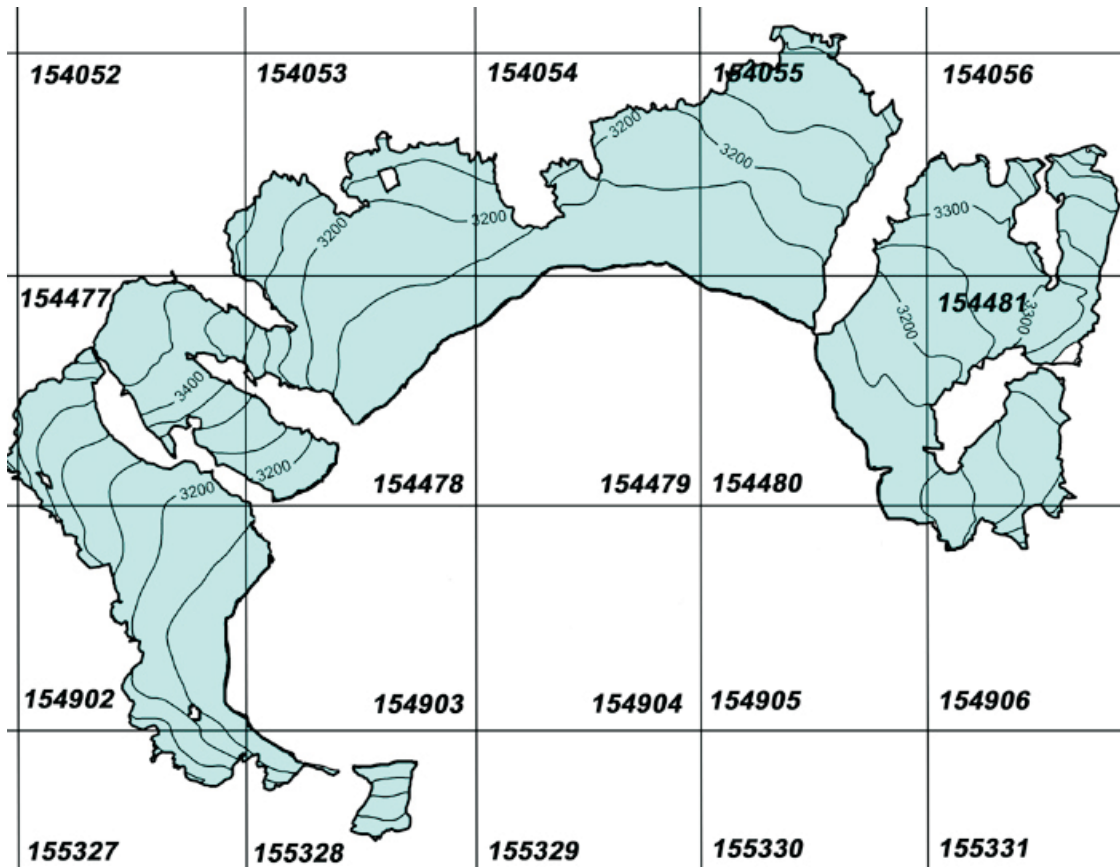


Abb. 25b: Der sich nach 20 Modelljahren des Typs 2002/03 nach den Modellergebnissen Abbildung 25a ergebende ungefähre Schichtlinienplan des Vernagtferners

## Vernagtferner Flächen-Höhen-Verteilung +25x2003

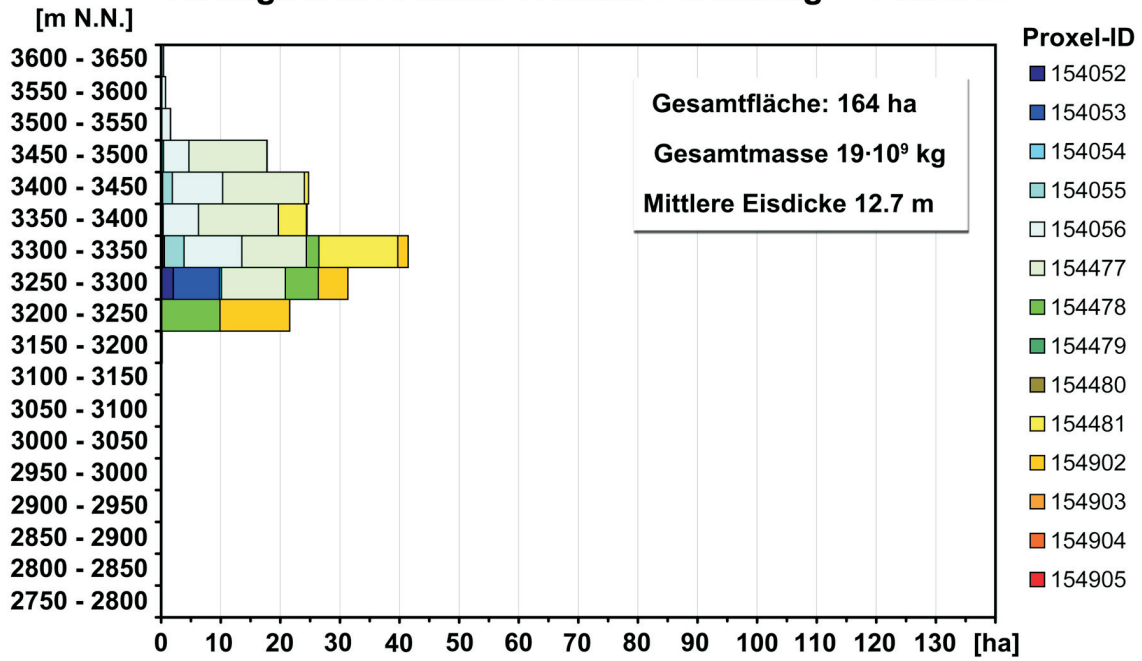


Abb. 26a: Endstadium der Modellierung des Areal des Vernagtferners nach 25 Modelljahren mit meteorologischen Treiberdaten des Typs 2002/03

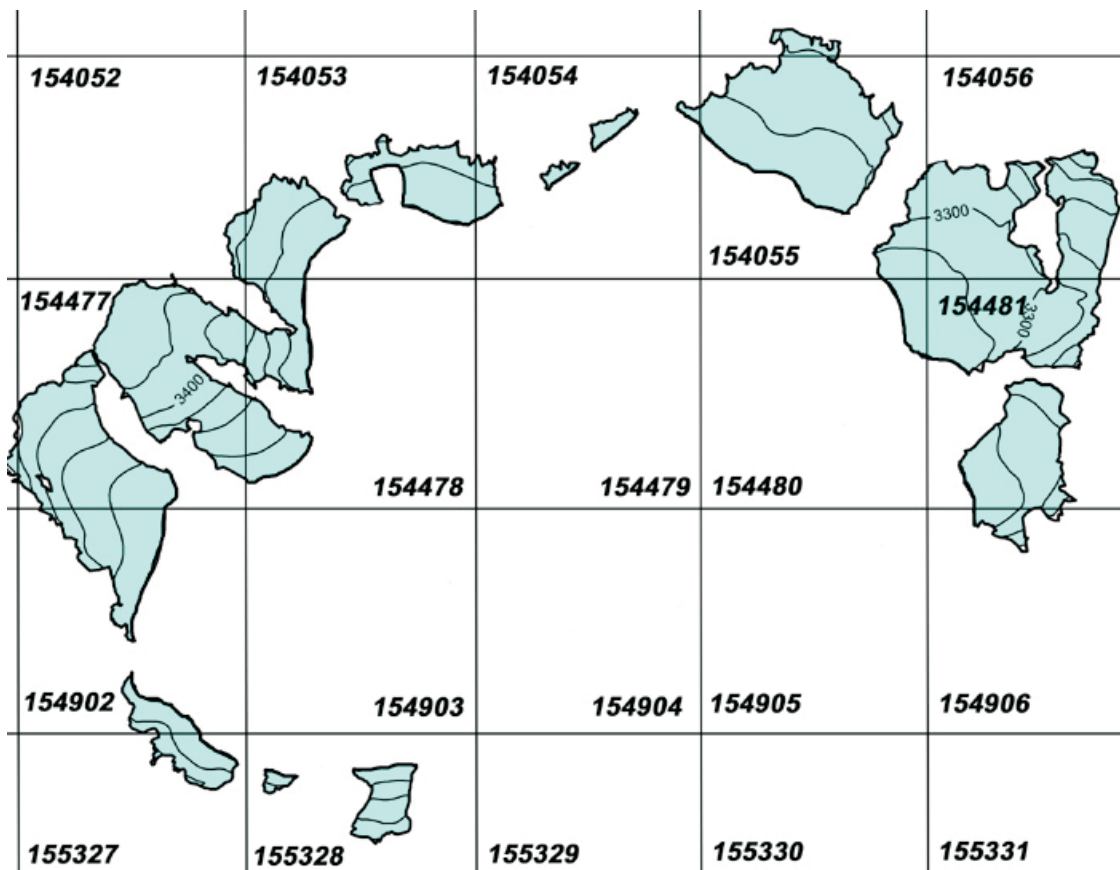


Abb. 26b: Visualisierung des Modellergebnisses in Abbildung 20a anhand des Schichtlinienplans des Vernagtferners



Als weiteres Beispiel für die Funktion des Modells dient die Simulation der Entwicklung des nur noch ca. 30ha messenden nördlichen Schneeferners auf dem Zugspitzplatt (s. Abb. 27). Eine erst im Jahr 2006 durchgeführte Eisdickenbestimmung und zahlreiche geodätische Vermessungen sowie die auf dem Gipfel und dem Schneefernerhaus betriebenen Klimastationen bieten eine besonders gute Datenbasis für die Validierung des Modells. Jahrelang wurden jedoch von der Bayerischen Zugspitzbahn anthropogene Maßnahmen zur Erhaltung des Gletschers unternommen.



Abb. 27: Der nördliche Schneeferner auf dem Zugspitzplatt (Foto: M. Weber)

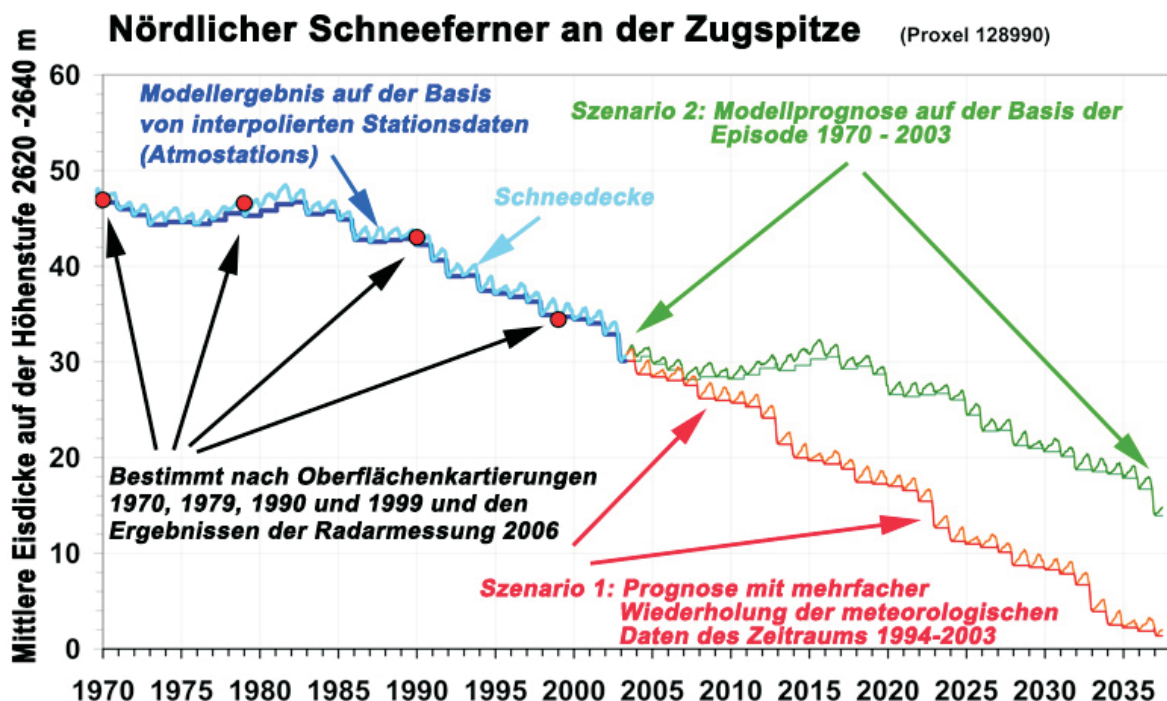


Abb. 28: Anwendung des Gletschermodells auf den nördlichen Schneeferner an der Zugspitze im Rahmen einer Modellierung mit ESCIMO

In Abbildung 28 ist die Veränderung der mittleren Eisdicke der Höhenstufe 2620-2640m, welche den mächtigsten Bereich des Gletschers darstellt, wiedergeben. Die 4 Messpunkte ergeben sich als Kombination aus den Resultaten der Eisdickenmessung vom 7.11.2006

und den im Abstand von etwa 10 Jahren mit der Methode der Photogrammetrie durchgeführten Kartierungen der Oberfläche. Die Punktmessungen lassen ein allmählich zunehmendes Abschmelzen von 1970 bis 2003 vermuten.

Die Anwendung des unkalibrierten Modells unter Vernachlässigung dynamischer Effekte durch die vernachlässigbare Eisbewegung zeigt in der linken Hälfte der Abbildung eine sehr gute Übereinstimmung zwischen Modellergebnis und Messung. In der Modellierung wird auch die bei fast allen Alpengletschern in der Zeit zwischen 1975 und 1985 beobachtete Massenzunahme sichtbar. Auch die kontinuierliche Massenabnahme innerhalb der letzten zwei Dekaden wird sehr realistisch wiedergegeben.

Auf der rechten Seite der Abbildung wurde die Entwicklung für zwei einfache Szenarien gerechnet. Im Szenario 1 (grün) das gegenwärtige Klima durch ständiges Wiederholen der Eingangsdaten der Periode 1994-2003 quasi unverändert, im Szenario 2 (rot) wird der relativ unrealistische Fall einer Wiederholung des Wetters von 1970 bis 2003.

Auch ohne weitere Erwärmung wird demnach der Gletscher innerhalb der nächsten 40 Jahre vollständig abschmelzen. Eine Abkühlungsphase wie in den 1970er-Jahren würde den Zeitpunkt des vollständigen Verschwindens jedoch deutlich hinausschieben. Anhand einer Eisdickenkarte kann zudem die zukünftige Geometrie des Gletschers veranschaulicht werden (s. Abb. 29).

### Nördlicher Schneeferner

(Zugspitze, Bayern)

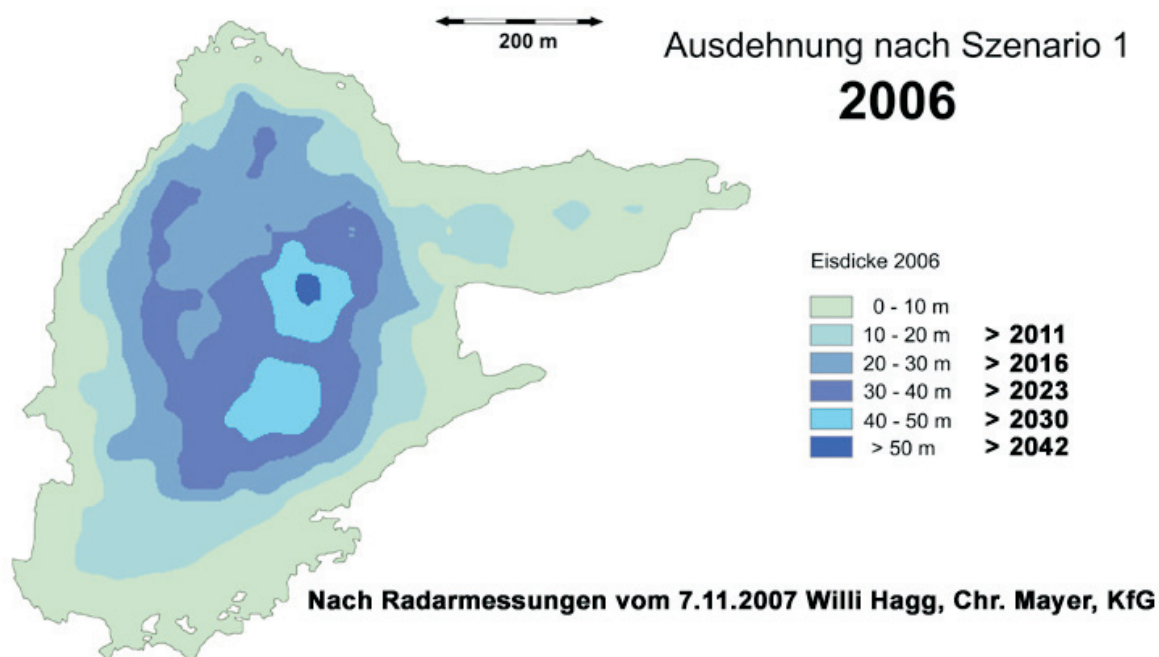


Abb. 29: Projektion des Szenarios für den nördlichen Schneeferner an der Zugspitze mit einer Fortschreibung des Klimas der letzten 10 Jahre in Form der Gletschergrenzen einer Eisdickenkarte

Das Gletschermodell kann durch diese, auch statisch durch Extrapolation des bislang beobachteten Massenverlustes ableitbaren Resultate gut validiert werden. Für einen realistischen Szenariolauf mit einer dynamischen Erwärmung sind dagegen kombinierte Läufe mit dem DANUBIA-Gesamtsystem erforderlich.



## 2.7 Kooperation mit anderen Modellteilen

Die Kooperation mit den anderen Teilprojekten hat sich in der zweiten Projektphase zunehmend verstärkt und erweitert. Schnee und Eis beeinflussen durch ihre temporären und stationären Veränderungen der Oberfläche auch die meisten anderen Modellkomponenten. Die Speicherung von Niederschlag in der Schneedecke und dessen verzögerte Abgabe in Form von Schmelzwasser bzw. die Kompensation des Ausfall von Abfluss in Trockenzeiten durch die Gletscher haben über die Schnittstelle des LandsurfaceControllers erheblichen Einfluss auf die Modellkomponenten *Groundwater* und *Rivernetwork*. Auch die biologischen Vorgänge wie beispielsweise das Pflanzenwachstum (*Biological*) und die Agrarökonomie (*Farming*) sind nicht unabhängig von der Schneebedeckung. Die Forschungsgruppe Tourismus benötigt zur Modellierung des Skitourismus weitreichende Unterstützung zur Modellierung des Umfeldes für den Skitourismus.

Aber auch das Teilprojekt Glaziologie ist auf die Unterstützung der anderen Teilprojekte dringend angewiesen. Ohne die Treiberdaten der Atmosphärengruppen können keine realistischen Szenarienrechnungen durchgeführt werden. Das Gesamtmodell und jede Teilkomponente benötigte wiederum zur Realisierung des Systems die Unterstützung der Informatik, welche die notwendige „Infrastruktur“ für den Betrieb des Systems und Werkzeuge zur Analyse und Visualisierung der Ergebnisse für alle Komponenten schafft.

## 3. Zusammenfassung

### Stand der Entwicklung

Nach Abschluss der Phase II konnten die für diesen Zeitraum geplanten Projektziele erreicht werden. Mit der Realisierung eines für das Konzept von DANUBIA angepassten physikalisch basierten Gletschermodells und der Bereitstellung aktueller und hochaufgelöster Geländedaten anhand des Österreichischen Gletscherinventars wird das Gesamtsystem um eine weitere wichtige Komponente ergänzt, um in der dritten Phase die Fragestellungen hinsichtlich der Schnee- und Eisbedeckung erfolgreich untersuchen zu können.

Im Verlauf der zweiten Phase konnte die Leistungsfähigkeit des Schneemodells erheblich verbessert und seine Funktionalität deutlich erweitert werden. 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 Schneemodell ist 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 1x1km - Skala von DANUBIA nur unzureichend dargestellt werden können. Die erforderlichen umfangreichen Zusatzinformationen in der hohen Auflösung liefert vordergründig das Österreichische Gletscherinventar.

Das Gletschermodell demonstriert, dass im Rahmen des Proxelkonzepts auch im Bereich der komplexen Beziehung zwischen der Atmosphäre und kleinräumigen natürlichen Landnutzungen eine detaillierte Behandlung von *subskaligen* Prozessen mit vertretbarem Aufwand möglich ist. Die Reaktion der Mehrzahl der größeren von rund 500 sich gegenwärtig im Untersuchungsgebiet befindlichen Gletscher auf Veränderungen der klimatischen Randbedingungen wird nun in DANUBIA so realistisch wie sonst in keinem Modell dieser Größenordnung beschrieben. Mit der angekündigten Realisierung der Berücksichtigung kleinräumiger Umlagerungsprozesse von Schnee durch Wind und Gravitation in analoger Weise im Schneemodell kann auch das Verhalten kleiner lawinengenährter Kargletscher realitätsnah beschrieben werden. In diesem Zusammenhang sei auch auf die Resultate des Teilprojekts „Modellierung des windinduzierten Schneetransports“ verwiesen.

In Kooperation mit den GLOWA-Danube-Arbeitsgruppen Hydrologie und Fernerkundung (*subskalige* Prozesse beim Schneedeckenauf- und -abbau, Abflussprozesse, Speicherung) und Meteorologie (Klimaszenarien) können in den zukünftigen gekoppelten Modellläufen immer noch offene Fragen wie beispielsweise nach den Ausmaßen der Vergletscherung in einem wärmeren Klima oder die Bedeutung der Gletscherschmelze auf den Wasserhaushalt und den Inhalt von Speicherseen sehr viel konkreter als bisher beantwortet werden.

Besonders interessant ist die Option, in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Tourismus mit einer leicht modifizierten Version des *subskaligen* Gletschermodells den Betrieb einer Skipiste mit künstlicher Beschneieung zu simulieren. Dazu müssen kurzfristig nur die erforderlichen Basisdaten (Geländedaten, Beschneiekapazitäten ect.) beschafft bzw. zu spezifiziert werden.

#### **4. Ausblick auf die dritte Förderphase**

Mit dem Beginn der 3. Phase ist die Entwicklung des Modells zunächst abgeschlossen. Nach einer kurzen Implementierungs- und Abstimmungsphase wird das System ausschließlich anhand von einer Serie von Szenarienrechnungen der Beantwortung der wissenschaftlichen Fragestellungen dienen.

Die Szenarien basieren auf Klimamodellierungen mit REMO (MPI) und MM5 (MIM), die notwendigen Treiberdaten werden von der Arbeitsgruppe „Atmosphäre“ zur Verfügung gestellt. Im Einzelfall können Eingangsdaten für weitere spezielle Studien auch mit dem im Rahmen des Projektes entwickelten „Klimagenerator“ erzeugt werden. Zusätzliche Parameterdaten zur Verbesserung der Schneemodellierung hinsichtlich *subskaliger* Prozesse (Schneetransport durch Wind, Interzeption an hoher Vegetation) werden in enger Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Hydrologie-Fernerkundung (HydFern) eingebracht.

Anhand der Analyse der Modellergebnisse werden quantitative Szenarien der Veränderung der Schnee- und Eisbedeckung erstellt und deren Auswirkung für die direkt davon betroffenen Akteure aus den Bereichen Tourismus, Verkehr, Wasserwirtschaft und Landwirtschaft in Zusammenarbeit mit den jeweiligen Expertengruppen untersucht. Beispielhaft sei hier lediglich das zukünftige Schicksal der Skigebiete und die Bewirtschaftung der Speicherseen der Wasserkraftwerke genannt. In Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe „Meteorologie“ wird der Zusammenhang zwischen der Modifikation der Oberflächenenergiebilanz auf Grund verringerter oder vermehrter Absorption von Energie durch die Schnee-/Eis-schmelze und der gegenüber dem Flachland überproportionalen Erwärmung der bodennahen Luftschicht im inneralpinen Raum untersucht.

## 5. Literatur

- BAHR, D.H. (1997): "The physical basis of glacier volume-area scaling.", J. of Geophys. Research, 102, N. 89, S. 20, 355-20, 362.
- BRAUN, L. 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, 38-44. Im Internet auch unter [http://www.glaziologie.de/download/aws\\_abstracts\\_v2.pdf](http://www.glaziologie.de/download/aws_abstracts_v2.pdf) herunterladbar.
- DUROT, K. (1980): Modélisation hydrologique distribuée du bassin versant nivo-pluvial de Sarennes. Validation des données d'entrée et développement d'un module de fonte nivale sous forLt. Dissertation, L'Institut National Polytechnique de Grenoble, 332 S.
- ELLENRIEDER, T. (2002): Abfluss und Gletschermassenbilanz im Einzugsgebiet des Vernagtferners - Eine Rekonstruktion für die Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert, Diplomarbeit, Geogr. Institut der Universität Würzburg und KfG, 133 S.
- 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.
- FISCHER, A. und SPAN, N. (2005): "A volume inventory of glaciers in Austrian Alps", Geophysical Research Abstracts, Vol. 7, 03495, 2005, SRef-ID: 1607-7962/ gra/ EGU05-A-03495.
- HALL, M.H.P. und FAGRE, D.B. (2003): "Modeled Climate-Induced Glacier Change in Glacier National Park", 1850-2100, Bioscience, 53 (2), S. 131-140.
- HYNEK, B. (2007): "Messungen zum Energiehaushalt am Goldbergkees", Diplomarbeit, Universität Wien, 122 S.
- 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.
- LENTNER, S. (1999): Volumsbestimmung von Gletschern der Ostalpen mittels Radardaten. Diplomarbeit am Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck.
- MILLER, H. (1972): „Ergebnisse von Messungen mit der Methode der Refraktionsseismik auf dem Vernagt- und Guslarferner.“ Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, Band VIII, S. 27-41.
- OERLEMANS, J. (2001): "Glaciers and Climate Change", A.A. Balkema Publishers, Lisse/Abingdon/ Exton/ Tokyo, ISBN 90 265 1813 7, 148 S.
- PATERSON, W.S.B. (1969): "The Physics of Glaciers", Pergamom Press Ltd., First Edition (1969), Second Edition (1981), ISBN 0 08 024005 4, 380 S.

- ROHRER, M.B. (1992): „Die Schneedecke im Schweizer Alpenraum und ihre Modellierung.“ Zürcher Geographische Schriften, Heft 49, ETH Zürich.
- SPAN, N. (1999): „Zur Dynamik des Kesselwandferners“, Dissertation Universität Innsbruck.
- SPAN, N., FISCHER, A., KUHN, M. MASSIMO und BUTSCHEK, M. (2007): Radarmessungen der Eisdicke österreichischer Gletscher I: 1995 bis 1998. Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik 33, 145 S.
- 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.
- ZEMP, M., HOELZLE, M. und HAEBERLI, W. (2006a): “Distributed modeling of the regional climatic equilibrium line altitude of glaciers in the European Alps”, Global Plant. Change, special issue on climate change impacts on glaciers and permafrost.
- ZEMP, M., HAEBERLI, W., HOELZLE, M. und PAUL, F. (2006b): “Alpine glaciers to disappear within decades?” Geophys. Research Letters, 33, L13504, doi:10.1029/2006GL026319.





# Mesoskalige Modellierung der Atmosphäre

Teilprojekt: Meteorologie  
Leiter: Prof. J. Egger, ab 01.04.2006 PD Dr. G. Zängl  
Ausführende Stelle: Lehrstuhl für Theoretische Meteorologie,  
Ludwig-Maximilians-Universität München  
Theresienstr.37, 80333 München  
Verfasser: A. Pfeiffer, G. Zängl, 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. Hier liegt mittlerweile der Schwerpunkt auf der interaktiven Kopplung des MM5 und der Landoberflächen-Modellierung der Gruppe HydFern im Kontext des durchgehend in FORTRAN codierten DANUBIA-Light. Entsprechend wurden der Gruppe HydFern umfangreiche Testdatensätze von mit MM5 simulierten Perioden des Jetztzeitklimas für das große Kopplungsgebiet bereitgestellt. Nach dem Abschluss umfangreicher Optimierungsarbeiten am MM5 wurde darüber hinaus eine neue, gegenüber der bisherigen Version deutlich verbesserte MM5-Klimatologie der Jahre 1991 bis 2000 auf Basis des ERA40-Datensatzes des ECMWF erstellt. Die umfangreiche, in enger Zusammenarbeit mit der Gruppe Meteorologie/Beobachtungsdaten (Wirth) erstellte Programm-bibliothek zum *Downscaling* der mit 45 km aufgelösten MM5-Daten auf das mit 1 km aufgelöste Gitter von DANUBIA wurde nach dem Ausscheiden der Gruppe Wirth im Verlauf der zweiten Phase von GLOWA-Danube von der Gruppe Meteorologie/MM5 zur weiteren Verwendung in Phase III übernommen. Als eine weitere wichtige Vorarbeit für die Phase III des Projekts wurde im Berichtszeitraum der Datensatz des A1B-Szenarios des globalen Klimamodells ECHAM5 für die Jahre 2001 bis 2100 besorgt und mit dem MM5 bereits vollständig über die gesamten 100 Jahre prozessiert, ergänzt um die Jahre 1971 bis 2000 als Referenz eines ECHAM5/MM5-Jetztzeitklimas. Die entsprechenden Skalierungsfunktionen für das *Downscaling* liegen ebenfalls vor.

### 1.2 Personal

#### 1.2.1 Wissenschaftler

Das Teilprojekt Meteorologie-Modellierung (Egger/Zängl) wurde in der Phase II mit Mitteln für 1,5 Wissenschaftler ausgestattet. Seit dem 1.07.2005 ist jedoch nur noch eine ganze Stelle im Projekt besetzt (Herr Pfeiffer), während Herr Schipper, dessen halbe Stelle in Absprache mit der Projektkoordination kostenneutral in eine ganze Stelle für einen Zeitraum von 1,5 Jahren umgewandelt wurde, mit dem Abschluss seiner Promotion zum 30.06.2005 das Projekt verlassen hat.

Für die Phase III von GLOWA-Danube wurden erneut 1,5 Stellen beantragt und mittlerweile bewilligt.

#### 1.2.2 Wissenschaftliche Hilfskräfte

In der Gruppe Egger/Zängl wurden im Berichtszeitraum folgende wissenschaftliche Hilfskräfte beschäftigt:

- Hella Garny: 01.10.2005-31.12.2005, 19 Wochenstunden  
01.01.2006-31.03.2006, 7 Wochenstunden
- Christoph Schmidt: 17.07.2006-01.09.2006, 19 Wochenstunden  
02.09.2006-13.10.2006, 19 Wochenstunden  
23.10.2006-15.12.2006, 8 Wochenstunden
- Dominik Aulehner: 01.11.2006-28.02.2007, 10 Wochenstunden

### 1.3 Anschaffungen

Im Berichtszeitraum wurde für das Teilprojekt Meteorologie/München für rund 1.600,- Euro zusätzliche Festplatten zur Datenspeicherung angeschafft.

### 1.4 Veranstaltungen

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

#### 1.4.1 GLOWA

- 17.-19.03.2004 GLOWA-Danube, Entwicklertreffen, München, (Pfeiffer)
- 31.05.-4.06.2004 GLOWA-Danube, Klausurtagung, Frauenchiemsee, (Egger, Pfeiffer)
- 16.-17.09.2004 GLOWA-Danube, Projekt-Meeting, München, (Pfeiffer)
- 11.10.2004 GLOWA-Danube, Projektleiter-Meeting, München, (Pfeiffer)
- 8.03.2005 GLOWA-Danube, Projekt-Meeting, München, (Pfeiffer)
- 17.-19.05.2005 GLOWA Statuskonferenz, Köln, (Pfeiffer, Schipper)
- 12.07.2005 GLOWA-Danube, Projekt-Meeting, (Egger, Pfeiffer, Zängl)
- 18.10.2005 GLOWA-Danube Stakeholderworkshop, München, (Pfeiffer)
- 20.10.2005 GLOWA-Danube Stakeholderworkshop, München, (Pfeiffer)
- 30.11.-03.12.2005, GLOWA-Danube, Klausurtagung, Linden, (Egger, Pfeiffer, Zängl)
- 19.05.2006 GLOWA-Danube, Projekt-Meeting, München, (Zängl)
- 12.-13.10.2006 GLOWA-Danube-Atmosphäre, Projekt-Meeting, München, (Zängl, Pfeiffer)
- 12.-13.12.2006 GLOWA-Danube-Atmosphäre, Projekt-Meeting, Mainz, (Werkstudent C. Schmidt)
- GLOWA-Danube, div. bilaterale Treffen mit der Gruppe Hyd-Fern, (Zängl, Pfeiffer)
- 05.-09.02.2007 GLOWA-Danube-Atmosphäre, Treffen mit der Gruppe REMO zur Vorbereitung der Zusammenarbeit in Phase III, Hamburg, (Zängl)

#### 1.4.2 Teilnahme an Konferenzen

- 25.-30.04.2004 European Geosciences Union, General Assembly 2004, Nizza:  
„Sensitivity of precipitation simulated by MM5 to the choice of parameterization schemes and different sources of boundary conditions“ (Pfeiffer, A., Schipper, J.W.).  
„Downscaling of precipitation in the Alpine region“ (Schipper, J.W., Früh, B., Pfeiffer, A.).
- 07.-10.09.2004 DACH Meteorologen-Tagung, Karlsruhe: „Hochaufgelöster Niederschlag im komplexen Gelände“ (Früh, B., Schipper, J.W., Pfeiffer, A., Wirth, V., Egger, J.).  
„Regionale Klimatologie des Niederschlags mit MM5: Parametrisierungen - Anfangs- und Randwerte - Datenassimilation“ (Pfeiffer, A., Schipper J.W., Egger, J.).
- 24.-29.04.2005 European Geosciences Union, General Assembly 2005, Wien:  
„A fast statistical dynamical downscaling method applied to the Alpine region“ (Schipper, J.W., Früh, B., Pfeiffer, A.).  
„Downscaling precipitation in the upper Danube catchment for use in a distributed hydrological model“ (Früh, B., Schipper, J.W., Pfeiffer, A., Wirth., V.).  
„Building a simulated and observed climatological time series for precipitation from a relatively short time period“ (Schipper, J.W., Pfeiffer, A.).
- 29.-30.09.2005 Climate Scenarios for the Future and their Use for Impact Studies. MPI, Hamburg
- 31.10.- 2.11.2005 Sixth International SRNWP-Workshop on Non-Hydrostatic Modelling, Bad Orb: „Wind direction dependent downscaling of precipitation in the Upper Danube Catchment“ (Schipper, J.W., Früh, B., Pfeiffer, A.).
- 2.-7.4.2006 European Geosciences Union, General Assembly 2006, Wien:  
„Simulating rainfall in mountainous terrain with MM5 - the role of physics parametrizations (Pfeiffer, A., Garny, H., Zängl, G.).  
„A Wind-Direction Dependent Downscaling Method for Precipitation Fields“ (Schipper, J.W., Pfeiffer, A., Früh, B., Zängl, G.).
- 04.-08.06.2006 2nd International Symposium on Quantitative Precipitation Forecasting and Hydrology, Boulder (CO, USA): „A pragmatic approach for downscaling precipitation in alpine scale complex terrain“ (Früh, B., Schipper, J.W., Pfeiffer, A., Wirth, V.).  
„A wind-direction dependent downscaling method for precipitation fields“ (Schipper, J.W., Früh, B., Pfeiffer, A., Zängl, G.).
- 09.-11.10.2006 7. Deutsche Klimatagung, München: „Niederschlagssimulation in gebirgigem Gelände mit MM5 - der Einfluß der eingesetzten Parametrisierungen“ (Pfeiffer, A., Zängl, G., Garny, H.).  
„Ursachen für den Unterschied des klimatologischen Niederschlagsgradienten zwischen dem Alpenvorland und dem Alpenraum“ (Wastl, C., Zängl, G.).

## 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, 15, S. 631-646.
- FRÜH, B., BENDIX, J., NAUSS, T., PAULAT, M., PFEIFFER, A., SCHIPPER, J.W., THIES B. und WERNLI, H. (2007): Verification of precipitation from regional climate simulations and remote-sensing observations with respect to ground-based observations in the upper Danube catchment. Meteorol. Zeitschrift, 16, S. 275-293
- SCHIPPER, J.W, FRÜH, B., PFEIFFER, A. und ZÄNGL, G. (2007): A wind dependent downscaling method for precipitation fields, in Vorbereitung.
- PFEIFFER, A. und ZÄNGL, G. (2007): Validation of climate-mode simulations with MM5 for the European Alpine region (in Vorbereitung).
- WASTL, C. und ZÄNGL, G. (2007): Analysis of the climatological precipitation gradient between the Alpine foreland and the northern Alps. Meteorol. Zeitschrift (im Druck).

## 2. Ergebnisse

### 2.1 Integrative Arbeiten

#### 2.1.1 *AtmoMM5* in DANUBIA

Die Einbindung von MM5 (GRELL et al. 1994; DUDHIA 1993) und dem zugehörigen, in Zusammenarbeit mit der Gruppe Meteorologie/Mainz entwickelten Downscalingalgorithmus (FRÜH et al. 2006), in das Gesamtmodell DANUBIA erfolgt über einen 'JAVAWrapper'. Das entsprechend als *AtmoMM5* bezeichnete Objekt ist Teil des von der Gruppe Niederschlag/Fernerkundung verwalteten Atmosphäre-Pakets, in dem die Ansteuerung von *AtmoMM5* und seiner Schnittstellen zu den anderen Objekten über den *AtmosphereController* innerhalb des Gesamtmodells DANUBIA implementiert ist. Die genaue Struktur und eine Darstellung mittels eines UML-Diagramms ist z.B. dem Jahresbericht 2005 der Gruppe Bendix zu entnehmen.

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 Ermittlung der täglichen und monatlichen Temperaturextrema, der Sonnenscheindauer und der minimalen Feuchttemperatur (Stichwort: Schneekanonen). Des Weiteren wurden noch die tägliche und monatliche Niederschlagssumme und die Niederschlagssumme zwischen 4:00 und 8:00 Uhr morgens (Stichwort: Erntewetter) gebildet.

Weitere Arbeiten betreffen die Anpassungen 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. Dieser Sachverhalt 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.

Ein neuer Referenzlauf des DANUBIA mit *AtmosMM5* ist bisher nicht erfolgt., da sich Teilmodelle einzelner GLOWA-Danube-Gruppen in einer intensiven Phase der Weiterentwicklung befanden, in der Testläufe möglichst ohne größere Veränderungen der Testbedingungen (und somit nicht zuletzt der meteorologischen Parameter) durchgeführt werden sollten. Spätestens, wenn Klimaszenarien unter Verwendung von *AtmoMM5* gerechnet werden sollen, wird ein weiterer Referenzlauf des DANUBIA mit *AtmoMM5* als Grundlage stattfinden, was evtl. auch entsprechende Anpassungen insbesondere derjenigen Teilmodelle erfordern wird, die auf eine Kalibrierung angewiesen sind.

Wesentliche weitere Arbeiten am Objekt *AtmoMM5*, also insbesondere am JAVA-wrapper des *AtmoMM5*, sind im Berichtszeitraum nicht erfolgt, da die hier innerhalb von DANUBIA zu gewährleistende Funktionalität, die im wesentlichen im Datenaustausch bzw. in der Datenaufbereitung in der Kommunikation mit anderen DANUBIA-Objekten besteht, als weitestgehend ausgereift angesehen werden kann.

Der Schwerpunkt der integrativen Arbeiten wurde zwischenzeitlich auf die interaktive Kopplung von MM5 an die Landoberflächensimulation (Boden, Vegetation, Schnee, etc.) der Gruppe HydFern innerhalb der Entwicklungsplattform *DANUBIA-Light* verlagert. Da innerhalb *DANUBIA-Light* alle Teilmodelle durchgehend in FORTRAN codiert sind, kommen so auch Langzeitsimulationen des interaktiv gekoppelten Systems unter dem Einfluss eines sich über mehrere Jahrzehnte ändernden globalen Klimas in den Bereich des technisch Machbaren. Hierzu wurden zunächst weitere Langzeitsimulationen des MM5 für längere Perioden des Jetztzeitklimas, aufbauend auf Daten des ERA40-Projektes (SIMMONS und GIBSON 2000), für weitere Tests der Landsurface-Komponente bereitgestellt. Zur Performancesteigerung des gekoppelten Systems wurde des Weiteren die technische Ausführung der von den Gruppen Meteorologie/Mainz und Meteorologie/München entwickelten *Downscaling*-Algorithmen (s. ergänzend hierzu auch Kap. 3.4) im interaktiven Betrieb auf die Seite des *DANUBIA-Light* übertragen. Weitere neue Anforderungen an das *Downscaling*, die sich insbesondere auch aus der Vergrößerung des Kopplungsgebiets ergeben, wurden und werden in enger Kooperation mit der Gruppe HydFern erarbeitet. Das *Upscaling*, das wiederum aus Performance-Gründen (Datentransfer!) technisch auf der Seite des *DANUBIA-Light* angesiedelt ist, gestaltet sich demgegenüber vergleichsweise unkritisch, da hier im Wesentlichen die vom Boden in die Atmosphäre gerichteten Flüsse der hochaufgelösten Landoberflächenmodellierung durch einfache Mittelung auf das gröbere Gitter des MM5 aggregiert werden. Weitere Entwicklungsarbeit wurde auf das MM5 selbst konzentriert. Hier stand insbesondere die weitere Optimierung der MM5-Simulationen im Vordergrund (s. auch unter Kap. 3 ‘Sektorale Arbeiten’).



### 3. Sektorale Arbeiten

Ein Schwerpunkt der sektoralen Arbeiten war die weitere Verbesserung und Qualitätssteigerung der meteorologischen Simulationen.

Im folgenden Abschnitt werden einige Arbeiten erläutert, die zunächst von sektoralen Interesse sind. Letztlich dienen jedoch auch diese Arbeiten einer weiteren Verbesserung und Qualitätssteigerung der in das DANUBIA eingespeisten meteorologischen Simulationsdaten. Die hierbei erreichten substantiellen Verbesserungen bilden die Grundlage für einen neu durchgeführten Referenzlauf des MM5 und einer hierzu systematisch durchgeführten Verifikation des Niederschlags und der bodennahen Temperatur.

#### 3.1 Änderungen im Simulationsaufbau

Um die spezifischen Defizite des früheren Referenzlaufes (Stand 2003) zu verringern, wurde sowohl die Auswahl der Physikparametrisierungen geändert als auch die Verteilung der Modellflächen modifiziert. Außerdem wurden am Modellcode, insbesondere im Boden-/Vegetationsschema des MM5, einige Modifikationen vorgenommen. Die Änderungen im Einzelnen:

- Die Betts-Miller-Konvektionsparametrisierung (BETTS und MILLER 1993) wurde durch die überarbeitete Kain-Fritsch-Parametrisierung (KAIN und FRITSCH 1990; KAIN 2004) ersetzt. Diese Version der Kain-Fritsch-Konvektionsparametrisierung war zum Zeitpunkt des früheren Referenzlaufes noch nicht verfügbar. Vergleichende Tests haben gezeigt, dass diese Änderung das sommerliche Niederschlagsfeld maßgeblich verbessert. Insbesondere wird die Überschätzung der Niederschlagsmenge im Alpenraum stark verringert.
- Zur Berechnung der horizontalen numerischen Diffusion der Temperatur und des Wasserdampf-Mischungsverhältnisses wird nun das in ZÄNGL (2002) beschriebene z-Flächen-Diffusionsschema verwendet. Im Gegensatz zum Standard-Diffusionsschema wird hier die horizontale Diffusion der prognostischen Modellvariablen nicht entlang der geländefolgenden Koordinatenflächen, sondern mittels vertikaler Interpolation zwischen den Modellflächen tatsächlich horizontal berechnet. Dies verhindert insbesondere beim Feuchtefeld systematische Fehler über Gebirgen: da das Wasserdampf-Mischungsverhältnis mit der Höhe rasch abnimmt (näherungsweise exponentiell), führt eine Diffusionsberechnung entlang der geländefolgenden Koordinatenflächen zu einem systematischen Aufwärtstransport von Feuchte über Bergen, was insbesondere bei konvektivem Niederschlag zu einer deutlichen Überschätzung der Niederschlagsmenge führt. Das neue Diffusionsschema trägt ähnlich viel zur Verbesserung des sommerlichen Niederschlagsfeldes über den Alpen bei wie der Wechsel der Konvektionsparametrisierung.
- Um die vertikale Auflösung in der oberen Troposphäre und im Tropopausenbereich zu verbessern, wurde die Zahl der Modellflächen von 27 auf 29 erhöht und außerdem die Verteilung der Modellflächen etwas gleichmäßiger gewählt. Diese Modifikation ermöglicht eine präzisere Modellierung der Intensität und der Zugbahnen der Tiefdruckgebiete, da die Entwicklung von Tiefdruckgebieten eng mit der Tropopausendynamik gekoppelt ist. Als Folge werden auch im Winter die simulierten Niederschlagsfelder etwas realistischer (s. Kap. 4.2.2).
- Im *Land-Surface*-Schema des MM5 (CHEN und DUDHIA 2001a,b) wurden einige Fehler korrigiert:
  1. Zur Berechnung des Sättigungsdampfdruckes über dem Boden wird nun bei Temperaturen unter 0°C der Sättigungsdampfdruck über Eis statt des Sättigungsdampfdruckes über Wasser verwendet. Dies ermöglicht eine halbwegs realistische Simulation der Reifdeposition am Boden und verhindert insbesondere die Bildung von permanentem Bodennebel bei tiefen Frosttemperaturen, wie sie im früheren Referenzlauf auftrat. Als Nebeneffekt verringert sich auch die Häufigkeit unrealistisch tiefer Nachttempera-

turen (unter - 25°C) in den Alpen. Außerhalb der Alpen ist der Einfluss auf die Monatsmittelwerte gering.

2. Im Zusammenhang mit der Kondensation von Tau bzw. Deposition von Reif wurde ein weiterer Fehler behoben, der die Kondensation bzw. Deposition verhindert hat, wenn die relative Feuchte auf der untersten Modellfläche 95% übersteigt.
3. Als weitere Maßnahme zur Vermeidung unrealistisch tiefer Nachttemperaturen in den Alpen wurde die Berechnung der partiellen Schneebedeckung (*snow-cover fraction*) so geändert, dass Wald und höherer Strauchbewuchs nicht mehr komplett im Schnee versinken können (das war bei Wald zuvor ab 80 mm Wasseräquivalent der Fall). Dieser Implementierungsfehler wird im Original-Code zwar bei der Berechnung der Albedo abgefangen, nicht jedoch bei der Berechnung der Wärmeleitung aus dem Boden, so dass über Waldflächen die Bodentemperatur unrealistisch niedrig werden konnte.
4. Die Vegetationsbedeckung Europas ist in den dem *Land-Surface*-Schema des MM5 zugrundegelegten Datensätzen (U.S. Geological Survey) offenbar deutlich zu hoch angesetzt. Eine pauschale Verringerung des ursprünglichen Vegetationsanteils um 30% liefert deutlich bessere Ergebnisse der sommerlichen bodennahen Temperaturen.

## 3.2 Validierung des simulierten Niederschlagsfeldes

### 3.2.1 Validierungsmaße

Zur Validierung der simulierten Niederschlagsfelder wurde sowohl die sog. *area-to-point* Methode als auch die sog. *point-to-area* Methode (TUSTISON et al. 2001) verwendet. Im ersten Fall werden die Modellergebnisse von den Modellgitterpunkten auf die Stationspunkte interpoliert, während im zweiten Fall die Stationsdaten auf die Modellgitterpunkte interpoliert bzw. gemittelt werden. Bei grober Modellauflösung ist die zweite Methode aussagekräftiger, da auf diese Weise die kleinskalige, auf dem Modellgitter nicht auflösbare, Niederschlagsvariabilität nicht in die Validierungsergebnisse einfließt. Daher werden in der folgenden Tabelle nur die Resultate für die *point-to-area* Methode gezeigt. Als Validierungsmaße werden im Folgenden der mittlere Fehler (bias) und der normalisierte absolute Fehler (normalized absolute error, NAE) verwendet. Letzterer ist wie folgt definiert:

$$NAE = \frac{1}{N} \sum_i \frac{(s_i - o_i)}{0.5(s_i + o_i)}$$

Dabei bezeichnet N die Zahl der verfügbaren Stationen (nur vollständige Zeitreihen werden verwendet), und  $s_i$  bzw.  $o_i$  die simulierten und beobachteten Niederschlagsmengen. Der NAE kann als Mittelwert des Produktes aus dem absoluten Fehler und dem relativen absoluten Fehler der Einzeldaten interpretiert werden. Im Vergleich zum häufiger verwendeten RMSE (*root-mean-square error*) wertet der NAE Abweichungen bei großen Niederschlagsmengen geringer als gleich große Abweichungen bei kleinen Niederschlagsmengen, was bei Feldern mit stark variablen Mittelwerten aussagekräftigere Ergebnisse liefert. Auch kommen die Verbesserungen gegenüber dem früheren Referenzlauf mit dem NAE noch deutlicher zum Ausdruck als beim RMSE, der ebenfalls berechnet wurde (z.B. Verbesserung beim Sommer-niederschlag im Alpenraum um Faktor 25 gegenüber Faktor 7 beim RMSE).

### 3.2.2 Resultate

Die folgende Tabelle zeigt diese Validierungsgrößen sowohl für die einzelnen meteorologischen Jahreszeiten (DJF, MAM, JJA und SON) als auch für die Jahresniederschlagssumme, jeweils im Mittel über die zehn simulierten Jahre (1991-2000). Als Regionen werden neben dem Gesamtgebiet (Bayern, Baden-Württemberg und Westösterreich, also alle verfügbaren

Niederschlagsdaten) auch das Alpenvorland (10°E-14°E, 47.4°N-48.5°N) und das Alpengebiet (10°E-14°E, 46.2°N-47.4°N) betrachtet.

Zeitintervall/Expt	Gesamtgebiet			Alpenvorland			NAE (mm)
	Beob. (mm/a)	bias	NAE (mm)	bias	NAE (mm)	bias	
DJF alt	211	+21%	17	+12%	7.6	+23%	12
DJF neu		+6%	8.9	+10%	3.6	+3%	6.2
MAM alt	242	+19%	24	+1%	12	+61%	78
MAM neu		+9%	6.8	+5%	2.1	+12%	9.3
JJA alt	351	+14%	67	-17%	59	+84%	249
JJA neu		-3%	4.9	-6%	4.7	-6%	9.9
SON alt	260	+2%	9.2	-7%	7.5	+9%	10
SON neu		-2%	4.4	+1%	1.1	-5%	3.8
Jahr neu	1064	+14%	86	-4%	49	+52%	277
Jahr alt		+3%	17	+3%	6.1	+2%	17

Es zeigt sich also in nahezu allen Belangen eine drastische Verbesserung des simulierten Niederschlagsfeldes. Die Überschätzung des Winterniederschlages geht auf einen Wert zurück, der innerhalb der Messungenauigkeit der operationellen Niederschlagsmessung liegt (systematische Unterschätzung bei Wind). Insbesondere verschwindet aber das Hauptproblem des früheren Referenzlaufes, die gewaltige Überschätzung des sommerlichen Niederschlages über dem Alpenhauptkamm bei gleichzeitiger Unterschätzung der Niederschlagsmenge am nördlichen Alpenrand, nahezu vollständig. Die Verbesserung der räumlichen Struktur zeigt sich am besten im NAE, der im Mittel über das Gesamtgebiet um einen Faktor von 14, Im Alpenvorland um einen Faktor von 12.5 und im Alpenraum um einen Faktor von 25 zurückgeht. Im Winter, wo konvektiver Niederschlag keine Rolle spielt, reduziert sich der NAE immerhin noch um die Hälfte.

### 3.3 Bodennahe Temperaturen

Die oben beschriebenen Änderungen am *Land-Surface*-Schema des MM5 führten, wie gesagt, zu einer Reduktion der extremen Tiefsttemperaturen über den Alpen. Eine quantitative Validierung der simulierten Temperaturen im Alpenraum ist jedoch schwierig, da sich die Modelltopographie sehr stark von der realen Topographie unterscheidet und insbesondere persistente winterliche Kaltluftseen in den Alpentälern prinzipiell nicht erfasst werden können. Die Validierung der 2m-Temperaturen konzentrierte sich daher auf das Flachland. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Fehler der Monatsmitteltemperaturen meist nicht über 1.5°C liegt, wobei es aber einzelne Ausreißer gibt (z.B. Januar 1996), in denen die Abweichung bis zu 3.5°C erreicht (damals gab es eine langanhaltende Hochnebellage, die im MM5 nicht richtig erfasst wird). Im Mittel über die zehn Jahre liegen die Fehler der Monatsmitteltemperaturen generell nicht über 0.9°C. Der alte und der neue Referenzlauf unterscheiden sich in dieser Hinsicht nur wenig.

Verbleibende kleinere Defizite zeigen sich bei einer näheren Analyse der Variabilität der Temperatur. So werden im Winter extreme Abweichungen vom Temperaturmittel unterschätzt, d.h. extrem kalte Tage sind in der Simulation nicht kalt genug bzw. extrem milde Tage nicht mild genug. Die Überschätzung extremer Tiefsttemperaturen beträgt bis zu 3°C und betrifft vor allem Situationen mit relativ dünner Schneedecke (~ 10cm) im Alpenvorland. In solchen Fällen scheint der vom *Land-Surface*-Schema berechnete Bodenwärmestrom zu hoch zu sein, da die maximale Schneebedeckung bei der dort vorgegebenen Mischvegetation erst bei ca. 35mm Wasseräquivalent erreicht wird. Kürzlich durchgeführte Tests mit einer modifizierten Parametrisierung, in denen die Berechnung des Schneebede-

ckungsgrades außerdem vom Wasseräquivalent auf die Schneehöhe umgestellt wurde (was realistischer ist), zeigten eine deutliche Reduktion des Fehlers. Für die Unterschätzung der Höchsttemperaturen bei winterlichen Warmlufteinbrüchen gibt es eine Reihe möglicher Gründe. Zum einen ist es möglich, dass durch die geglättete 45-km-Topographie Föhn-effekte der Alpen unterschätzt werden. Dies könnte man allenfalls durch eine höhere Modellauflösung in den Griff bekommen; Tests mit 15km Auflösung im Alpenraum zeigten hierbei aber noch keine nennenswerte Besserung. Denkbar wäre auch eine Unterschätzung der mechanisch induzierten Turbulenz in der Grenzschichtparametrisierung, jedoch ist dies mangels entsprechender Messdaten nicht zu verifizieren. Tests mit verschiedenen Grenzschichtparametrisierungen zeigten jedenfalls keine deutlichen Unterschiede. Schließlich zeigte eine Analyse der Energiebilanz am Boden, dass der latente Wärmestrom bei winterlichen Warmlufteinbrüchen ziemlich hoch ist. Dies könnte unter anderem daran liegen, dass der Jahresgang des Blattflächenindex nicht realistisch genug erfasst ist. Genauere Erkenntnisse auf diesem Gebiet erhoffen wir uns aus den gekoppelten MM5-DANUBIA-Simulationen. Eine Unterschätzung extremer Höchsttemperaturen um bis zu 3,5°C, wiederum verbunden mit auffällig hohen latenten Wärmeflüssen, tritt auch im Sommerhalbjahr auf. Auch hierüber sollten die gekoppelten MM5-DANUBIA-Simulationen näheren Aufschluss geben; eine Vermutung ist, dass die Temperaturabhängigkeit der Pflanzentranspiration im MM5 nicht realistisch genug implementiert ist.

### 3.4 Windabhängiges *Downscaling*

Basierend auf dem in der Dissertation von Herrn Schipper entwickelten windrichtungsabhängigen Niederschlags*downscaling* wurde eine Reihe weiterer Sensitivitätstests durchgeführt, um die Vorteile gegenüber einer lediglich jahreszeitabhängigen Skalierung klarer zu dokumentieren und die Robustheit des Verfahrens zu testen. Eine umfangreiche Validierung gegen beobachtete Niederschlagsfelder zeigte, dass die Berücksichtigung der Windrichtung im Alpenraum systematisch bessere Ergebnisse liefert als ein einfaches *Downscaling*. Im Flachland ist der Effekt jedoch gering. Tests mit verschiedenen Schwellwerten der Windgeschwindigkeit (ab denen die Windrichtung berücksichtigt wird) und verschiedenen Einteilungen der Windrichtungsklassen zeigten in der Validierung nur geringe Unterschiede, was für die Robustheit des Verfahrens spricht. In diesem Zusammenhang sei auch erwähnt, dass als Folge der drastischen Verbesserungen in der Qualität des MM5-Referenzlaufes (s. Kap. 3.2) der generelle Einfluss des *Downscalings* auf die Niederschlagsfelder zurückgegangen ist. Die Nachbearbeitung der Niederschlagsfelder im *Downscaling* kann sich nun im Wesentlichen darauf beschränken, im MM5 nicht aufgelöste kleinskalige Strukturen aufzuprägen, während zuvor eine viel größere Bias-Korrektur erforderlich war.

### 3.5 Parallelisierung von MM5

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 koppelnden Variablen mit sich. Ferner wurde auch die Möglichkeit zum interaktiven Koppeln der Parallelversion des MM5 an die Landoberflächensimulation der Gruppe Mauser im Kontext von DANUBIA-*Light* geschaffen.



### 3.6 Kopplung Landsurface - MM5

Im Berichtszeitraum wurden die Arbeiten zur interaktiven Kopplung zwischen MM5 und dem Landoberflächenmodell (Mauser, Schädlich) weiter vorangetrieben. Dies umfasst zum einen primär technische Fragen, wie sie unter Kapitel 3.5 skizziert wurden. Zum anderen wurden aber auch weitere grundsätzliche Untersuchungen des gekoppelten Systems Atmosphäre-Boden durchgeführt. Da Simulationen des Systems MM5/DANUBIA-*Light* noch ausstanden, wurden diese grundlegenden Fragen zunächst anhand der Kopplung des MM5- eigenen Landoberflächenmodells mit dem Atmosphären teil des MM5 angegangen. Hierzu wurde eine Schnittstellenstruktur geschaffen, die es ermöglicht, den „Standard-Boden“ des MM5 durch DANUBIA- *Light* zu ersetzen. Durch gezielte Manipulationen an dieser Schnittstelle wurden grundsätzliche Fragestellungen, wie sie in interaktiv gekoppelten MM5-DANUBIA-*Light*- Simulationen relevant werden, bereits vorab untersucht.

Abbildung 1 zeigt das Simulationsgebiet von MM5 und, farbig unterlegt, den Bereich, in dem DANUBIA-*Light* 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 DANUBIA-*Light* abzudecken; es ist jedoch nur schwer möglich, sämtliche für DANUBIA-*Light* benötigten Daten der Boden- und Vegetationsbeschaffenheit für dieses große Gebiet zu besorgen. Vielmehr waren schon außerordentliche Anstrengungen der Gruppe Mauser 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.

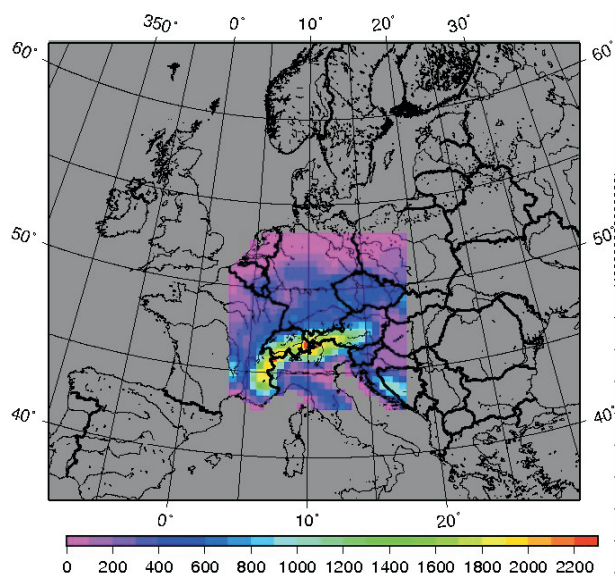


Abb. 1: Simulationsgebiet von MM5 und Gebiet der interaktiven Kopplung mit DANUBIA-*Light* (farbig unterlegt); der Farbcode steht für die Höhe der Modellorographie des MM5 (horizontale Auflösung: 45km)

In einer ersten Stufe der interaktiven Kopplung sollen MM5 und DANUBIA-*Light* gegebenenfalls 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. *downscalings* und der Einfluss (auflösungsbedingt) unterschiedlicher Geländehöhen der Modelle zunächst außen vor gelassen werden. Zweifelsohne wird in der „Endausbaustufe“ des interaktiv gekoppelten Systems das DANUBIA-*Light* auf einer Auflösung von 1km rechnen, da erst hier seine Kompetenz in der hydrologischen Modellierung voll zum Tragen kommt.



Abbildung 2 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 bodennahe 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.

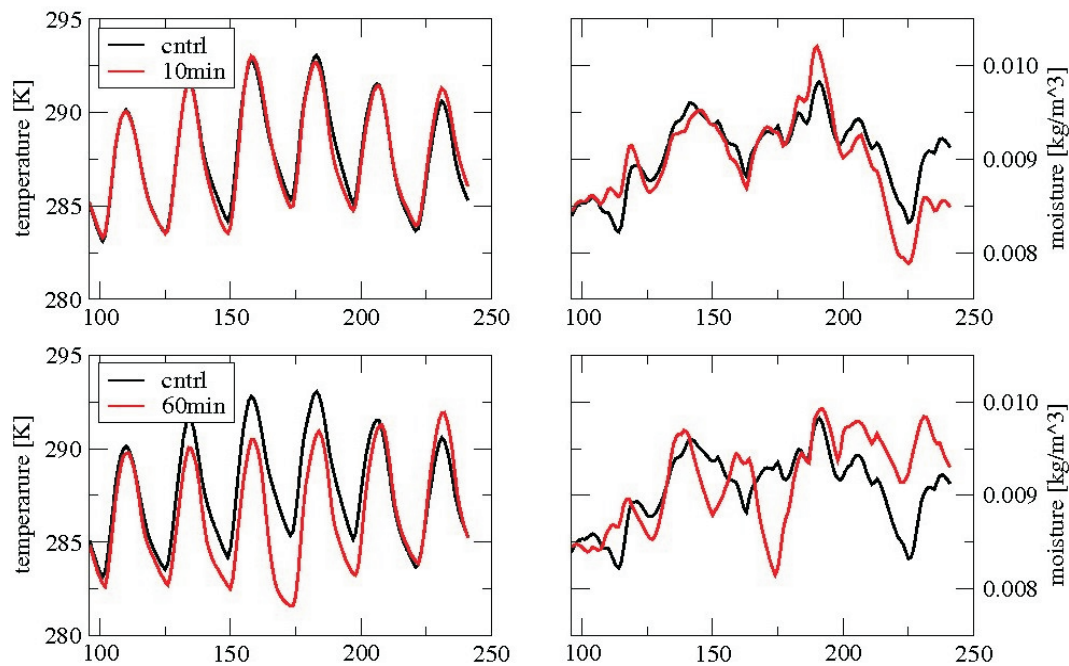


Abb. 2: Bodennahe Temperatur (jeweils links) und Feuchte (rechts) für einen Kontrolllauf („cntrl“) und zwei Experimente mit unterschiedlichem Kopplungszeitschritt („10min“ und „60min“). Auf der Abszisse ist jeweils die Zeit in Stunden abgetragen

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 3 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 Wärme Flüsse 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 Bowenverhältnis modifiziert. Dies spiegelt in etwa die Situation im ursprünglichen DANUBIA-Light wider, 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 Wärme flusses im DANUBIA-Light Rechnung getragen werden.

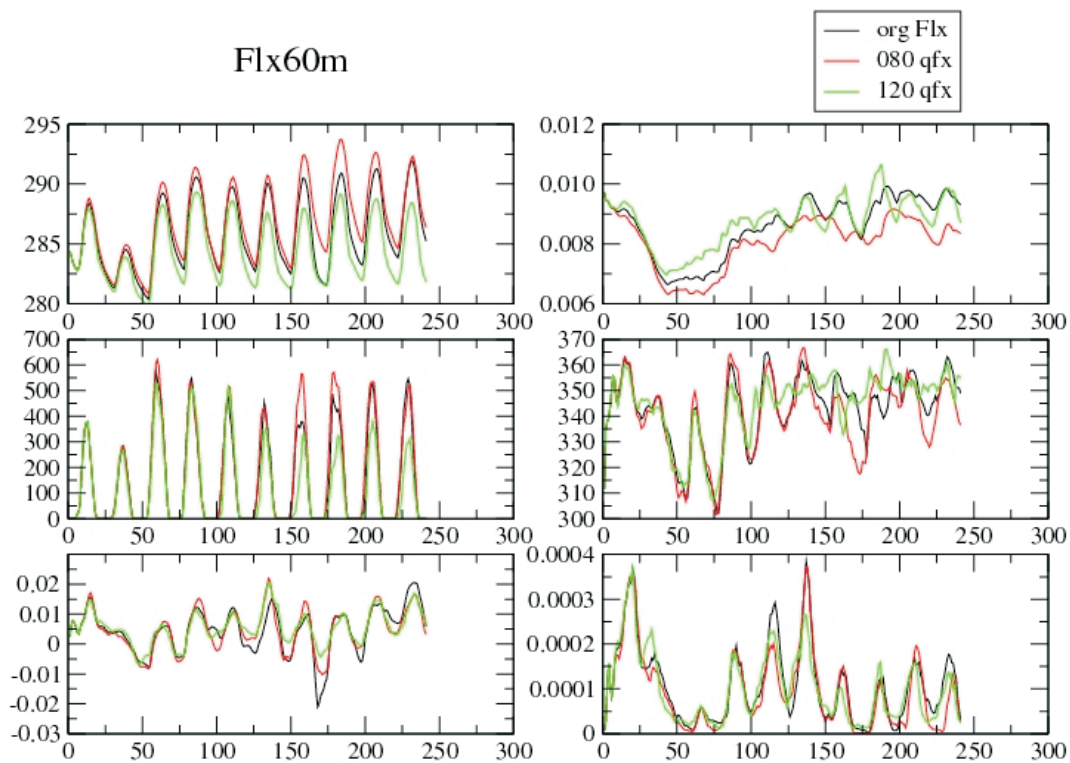


Abb. 3: Bodennahe atmosphärische Variablen eines MM5-Kontrolllaufs („orgFlx“) und eines Laufs mit um 20 Prozent reduziertem Fluss latenter Wärme („080qfx“) bzw. erhöhtem Wärmefluss („120qfx“). (oben: links: Temperatur [K], rechts: Feuchte [g/kg]; mitte: links: kurzwellige Einstrahlung [W/m<sup>2</sup>], rechts: langwellige Einstrahlung [W/m<sup>2</sup>]; unten: links: Vertikalgeschwindigkeit [m/s], rechts: Niederschlagsrate [kg/m<sup>2</sup>s]; x-Achse: jeweils Zeit in Stunden)

### 3.7 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 der teilweise verschobenen Schwerpunktsetzung für die dritte Phase und dem daraus resultierendem Wegfall der Gruppe Niederschlag/Fernerkundung werden die Arbeiten zu diesem Aspekt nicht weiter fortgeführt werden können.

### 3.8 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 *Downscalings*verfahren bereits die Bereitstellung hochwertiger Simulationsdaten auf der geforderten Auflösung von 1x1km<sup>2</sup> 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.

Basierend auf einem gemeinsamen Beschluss im Projekt GLOWA-Danube wurde das A1B-Szenario des IPCC als Grundlage für Szenarienrechnungen des DANUBIA vor dem Hintergrund des globalen Klimawandels ausgewählt. Konkret wurde mittlerweile der entsprechende Ergebnis-Datensatz des globalen Klimamodells ECHAM5 (MPI für Meteorologie in Hamburg, RÖCKNER et al. 2006) für die Jahre 2001 bis 2100 besorgt und mit dem Modell MM5 über den kompletten Zeitraum prozessiert. Die Simulationsdaten des MM5 über die betreffenden 100 Jahre liegen zur Nutzung für das Gesamtprojekt auf Servern der zentralen Projektkoordination inklusive der benötigten Skalierungsfunktionen bereit. Zur Veranschaulichung sollen die zeitlichen Verläufe des CO<sub>2</sub>-Gehalts und der globalen Mitteltemperatur in Abbildung 4 dienen.

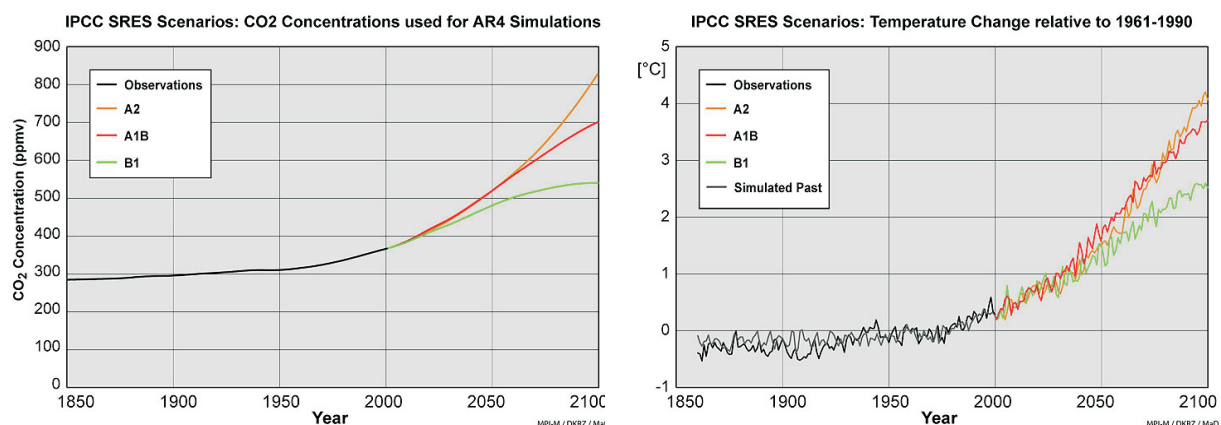


Abb. 4: Globaler CO<sub>2</sub>-Anstieg und globales Temperatursignal in ECHAM5 basierend auf IPCC-Szenarien

Für Vergleichsstudien des ‘Jetztzeit-Klimas’ wurden zusätzlich die mit dem ECHAM5 gerechneten Jahre 1991 bis 2000 herangezogen und entsprechend mit dem MM5 weiterverarbeitet. Hier ist zwar kein direkter Vergleich mit dem Witterungsverlauf unseres MM5-Referenzlaufs, der von den äußerst realitätsnahen ERA40-Daten (globale meteorologische Reanalysen des ECMWF in READING, SIMMONS and GIBSON 2000) angetrieben wurde, möglich. Die statistischen Eigenschaften des ECHAM5/MM5-Laufs, d.h. dessen langjährige Mittelwerte und Varianzen, sollten im Idealfall jedoch denen unseres MM5-Referenzlaufs ähnlich sein.

Stellt man nun für die Jahre 1991 bis 2000 die mittleren Monatsniederschläge der beiden Simulationen gegenüber (Abb. 5), so sind hier jedoch deutliche Abweichungen der auf ECHAM5 basierenden MM5-Simulationen vom Referenzlauf zu verzeichnen.

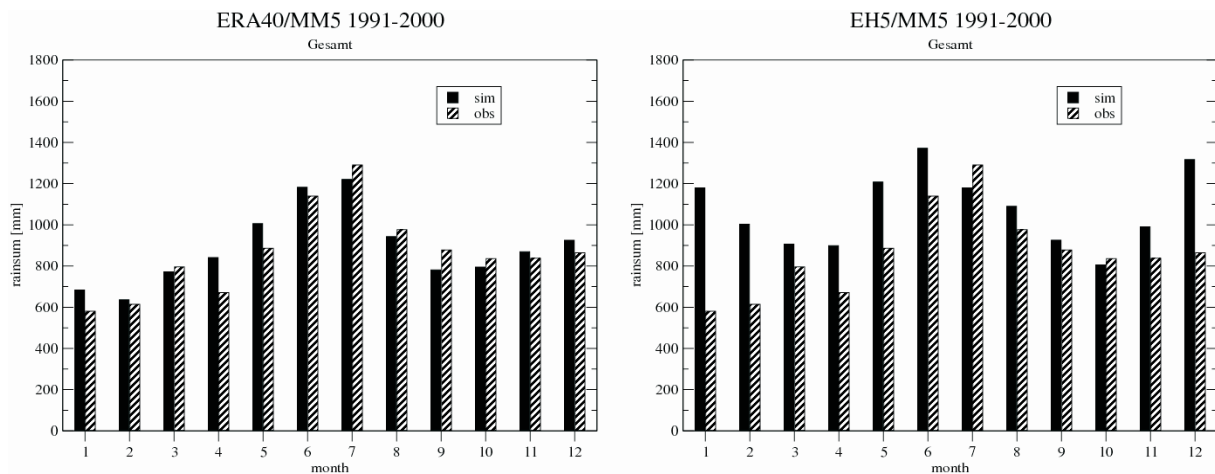


Abb. 5: Mittlere monatliche Niederschläge des Zeitraums 1991-2000, simuliert mit MM5, angetrieben von globalen Analysen des ECMWF (ERA40) (links) bzw. mit ECHAM5 (EH5) (rechts)

Insbesondere in den Wintermonaten muss eine deutliche Überschätzung des Niederschlags konstatiert werden. Als wesentliche Ursache konnte in weiteren Analysen der Simulationsergebnisse eine deutlich von den tatsächlichen Verhältnissen abweichende Klimatologie der Strömungsverhältnisse im Alpenraum identifiziert werden, die ihrerseits ihre Ursache in der Häufigkeit und den Zugbahnen von Zyklonen hat. Diese großskaligen Strömungsmuster schlagen dann unweigerlich auch in den MM5-Simulationen durch. Abbildung 6 zeigt hierzu die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeiten im Bereich der Nordalpen in einer Höhe von etwa 3km in Abhängigkeit von der Windrichtung.

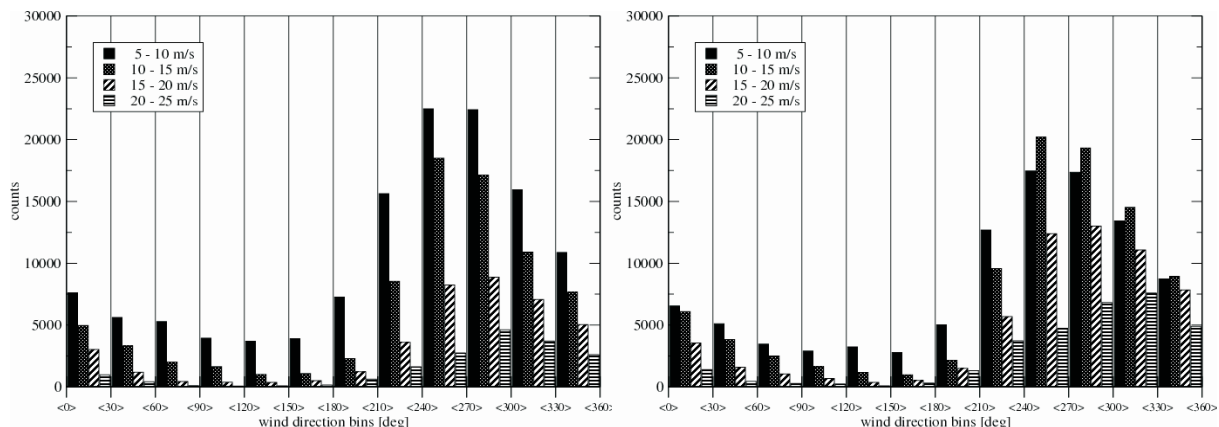


Abb. 6: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit (3-stündliche Daten) im Bereich der Nordalpen im Druckniveau 700 hPa (ca. 3 km ü.d.M.) in Abhängigkeit von der Windrichtung für die Jahre 1991 bis 2000; Simulationen des MM5 basierend auf ERA40-Reanalysen (links) bzw. ECHAM5-Klimasimulationen (rechts)

Es ist eine deutliche Verschiebung hin zu höheren Windgeschwindigkeiten zu verzeichnen. Vor allem die höheren Windgeschwindigkeiten der klassischen Staulagen bringen deutlich erhöhte Niederschläge im Bereich der Alpen mit sich. Für weitere Untersuchungen zu dieser Problematik wurden die von ECHAM5 angetriebenen Jetztzeit-Simulationen des MM5 um die Jahre 1971 bis 1990 erweitert, da zunächst nicht auszuschließen war, dass die 90er Jahre in der Zeitreihe des ECHAM5-Klimas allein nicht repräsentativ für das 'Jetztzeit-Klima' des ECHAM5-Datensatzes sind. Es ist jedoch auch über diesen erweiterten Zeitraum eine Überschätzung der Niederschläge zu konstatieren. Somit müssen bei der weiteren Verwendung der ECHAM5/MM5-Simulationen im DANUBIA eventuell doch wieder Maßnahmen zur Bias-Korrektur, die im Rahmen des *Downscaling*-Algorithmus des *AtmoMM5* bereits verfügbar sind (s. oben), zur Anwendung kommen. Ein entsprechender zusätzlicher Satz von Ska-



lierungsfunktionen, der auf dem Vergleich der Beobachtungen der Jahre 1991 bis 2000 und der ECHAM5/MM5-Simulationen für 1971 bis 2000 basiert, wurde bereits erstellt und steht zur Verwendung bereit. Da die Beobachtungen nur von 1991 bis 2000 mit einigermaßen homogener Datendichte (insbesondere für Österreich) vorliegen, war eine Ausdehnung der für die 90er Jahre durchgeführten Analyse auf die Jahre 1971 bis 2000 nicht in sinnvoller Weise möglich.

In diesem Zusammenhang ist festzuhalten, dass andere globale Klimamodelle bzw. darauf basierende regionale Klimasimulationen (s. z.B. BUONOMO et al. 2007) ähnlich große Defizite in der exakten Wiedergabe der Strömungsverhältnisse aufweisen, was in vielen Regionen des Globus vergleichsweise unkritisch ist, sich aber gerade im Bereich der Alpen (Stauniederschläge) als problematisch erweist und durch reines dynamisches *Downscaling* nicht korrigiert werden kann.

#### **4. Evaluierung, Verifikation**

In enger Zusammenarbeit mit den Gruppen Meteorologie/Mainz und Niederschlag/Fernerkundung in Marburg wurden kontinuierlich Simulationsergebnisse der meteorologischen Objekte des DANUBIA evaluiert und verifiziert (siehe auch die Berichte der betreffenden Gruppen und die Kapitel im Global Change Atlas des Projekts).

Darüber hinaus konnten aus der interdisziplinären Zusammenarbeit mit der Gruppe Glaziologie Defizite im Temperatur*downscaling* identifiziert werden, was zu einem mittlerweile deutlich verbesserten Algorithmus geführt hat (s. z.B. Poster der Statuskonferenz 2005).

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

#### **5. Zusammenfassung und Ausblick**

Ein wesentlicher Schwerpunkt der Arbeiten im Berichtszeitraum und auch der nun folgenden Phase III von GLOWA-Danube besteht in der interaktiven Kopplung von MM5 und der Landoberflächenmodellierung der Gruppe HydFern im Rahmen der Entwicklungsplattform DANUBIA-Light. Das durchgängig in FORTRAN formulierte DANUBIA-Light wird aufgrund seiner im Vergleich zur JAVA-Version deutlich höheren Performance auch Langzeitsimulationen des interaktiv gekoppelten Systems über mehrere Jahrzehnte erlauben. Während des Berichtszeitraums wurde das in enger Zusammenarbeit mit der Gruppe Meteorologie/Beobachtungsdaten (Wirth, Mainz) erstellte *Downscaling*verfahren von der Gruppe Meteorologie/Modellierung in München komplett übernommen und für den Einsatz in DANUBIA bzw. DANUBIA-Light überarbeitet und ergänzt. Weitere Entwicklungen des *Downscalings* für neu auftretende Erfordernisse in DANUBIA-Light wurden und werden insbesondere vor dem Hintergrund des für die interaktive Kopplung deutlich vergrößerten Kopplungsgebiets in enger Abstimmung mit der Gruppe HydFern erarbeitet. Der Gruppe HydFern wurden hierzu umfangreiche, mehrere Monate umfassende Simulationsdaten des MM5 für die weitere Entwicklungsarbeit an der Landoberflächen-Modellierung bereitgestellt. Das *Upscaling* der räumlich hochaufgelösten, von der Landoberfläche in die Atmosphäre gerichteten Flüsse wird gegenüber dem *Downscaling* deutlich weniger Aufwand erfordern.

Des Weiteren wurde im Berichtszeitraum eine weitere deutliche Qualitätssteigerung der meteorologischen Simulationen, insbesondere im problematischen alpinen Bereich, erzielt.



Hierbei wurden einerseits neu verfügbare Parametrisierungen im MM5 für eine Anpassung des Simulationsaufbaus ausgenutzt, zum anderen erwiesen sich auch tiefere Eingriffe in den Programmcode als äußerst vorteilhaft im Hinblick auf eine realistischere Simulation des Niederschlags und der bodennahen Temperatur. Dies ergab eine neue verbesserte Modell-Basis für den mittlerweile neu erstellten Referenzlauf des MM5 (angetrieben von ERA40-Reanalysen des ECMWF) über die Jahre 1991 bis 2000, dessen kritische Analyse und Verifikation sich äußerst erfreulich darstellt.

Eine weitere wichtige Grundlage für die dritte Phase von GLOWA-Danube ist in der mittlerweile komplett durchgeführten MM5-Simulation über die Jahre 1971 bis 2100 zu sehen, die auf dem mit dem Globalmodell ECHAM5 gerechneten Klimaänderungsszenario A1B basiert. Der Vergleich von simulierten Niederschlagsdaten der zwei Modellketten ERA40/MM5 und ECHAM5/MM5 und Beobachtungsdaten im Referenzzeitraum 1991 bis 2000 bringt jedoch gewisse Defizite des ECHAM5 in der Simulation der großskaligen Strömungsverhältnisse zu Tage, was vor allem im Alpenraum zu einer nicht unerheblichen Abweichung der simulierten Niederschlagsklimatologie vom realen Klima führt. Auch für den erweiterten Zeitraum (1971 bis 2000) der ECHAM5/MM5-Simulationen muss eine Überschätzung des simulierten Niederschlags im Jetzeitklima konstatiert werden; für die Verwendung in DANUBIA bzw. DANUBIA-*Light* wird folglich eine entsprechende Korrektur erforderlich werden. Die hierfür notwendigen Algorithmen, Programmpakete und Skalierungsfunktionen liegen jedoch (als Teil des *Downscaling*pakets) bereits vor.

## Literatur

- BETTS, A.K. (1986): A new convective adjustment scheme. Part I: Observational and theoretical basis. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 112, 677-692.
- BETTS, A.K. und MILLER, M.J. (1986): A new convective adjustment scheme. Part II: Single column tests using GATE wave, BOMEX, ATEX and Arctic air-mass data sets. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 112, S. 693-709.
- BETTS, A.K. und MILLER, M.J. (1993): The Betts-Miller scheme. The representation of cumulus convection in numerical models, EMANUEL, K.A. und RAYMOND, D.J. (Eds.), *Amer. Meteor. Soc.*, 246 S.
- BUONOMO, E., JONES, R., HUNTINGFORD, C. und HANNAFORD, J. (2007): On the robustness of changes in extreme precipitation over Europe from two high resolution climate change simulations, *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 133, S. 65-81.
- CHEN, F. and DUDHIA, J. (2001a): Coupling an advanced land-surface/hydrology model with the Penn State/NCAR MM5 modeling system. Part I: Model implementation and sensitivity. *Mon. Wea. Rev.*, 129, S. 569-585.
- CHEN, F. und DUDHIA, J. (2001b): Coupling an advanced land-surface/hydrology model with the Penn State/NCAR MM5 modeling system. Part II: Preliminary Model validation. *Mon. Wea. Rev.*, 129, S. 587-604.
- DUDHIA, J. (1993): A nonhydrostatic version of the Penn State/NCAR mesoscale model: Validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front. *Mon. Wea. Rev.*, 121, S. 1493-1513.
- FREI C. und SCHÄR, C. (1998): A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain-gauge observations, *Int. J. Climatol.*, 18, S. 873-900.
- FRÜH, B., SCHIPPER, J.W., PFEIFFER A. und WIRTH, V. (2006): A pragmatic approach for downscaling precipitation in alpine-scale complex terrain, *Meteorol. Zeitschrift*, 15, S. 631-646.

- GRELL, G.A., DUDHIA, J. und STAUFFER, D.R. (1994): A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). NCAR/TN-398+STR (1994), 138 S.
- KAIN, J.S. und FRITSCH, J.M. (1990): A one-dimensional entraining/detraining plume model and its application in convective parameterization, *J. Atmos. Sci.*, 47, S. 2784-2802.
- 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, K. A. Emanuel and D. J. Raymond, Eds., *Amer. Meteor. Soc.*, 246 S.
- KAIN, J.S.(2004): The Kain-Fritsch convective parameterization: An update. *J. Appl. Meteor.*, 43, S. 170-181.
- MAUSER, W. und SCHÄDLICH, S. (1998): Modelling the spatial distribution of evapotranspiration on different scales using remote sensing data, *J. of Hydrology*, S. 212-213, 250-267
- SCHIPPER, J.W. (2005): Downscaling of Precipitation in the Upper Danube Catchment Area, Dissertation, LMU München: Fakultät für Physik.
- RÖCKNER, E., BROKOPF, R., ESCH, M., GIORGETTA, M., HAGEMANN, S., KORN- BLUEH, L., MANZINI, E., SCHLESE, U. und SCHULZWEIDA, U. (2006): Sensitivity of Simulated Climate to Horizontal and Vertical Resolution in the ECHAM5 Atmosphere Model, *Journal of Climate*, 19, S. 3771-3791.
- SCHWARB, M., DALY, C., FREI C. und SCHÄR, C. (2001): Mean annual and seasonal precipitation in the European Alps 1971-1990. Hydrological Atlas of Switzerland. Plates 2.6 and 2.7, Federal Office for Water and Geology, Bern, Switzerland.
- SIMMONS, A.J., and J.K. GIBSON, 2000: The ERA-40 project plan. ERA-40 Project Report Series, No.1, ECMWF.
- TUSTISON, B., HARRIS, D. und FOUFOULA-GEORGIOU, E. (2001): Scale issues in verification of precipitation forecasts. *J. Geophys. Res.*, 106, S. 11775-11784.
- ZÄNGL, G. (2002): An Improved Method for Computing Horizontal Diffusion in a Sigma-Coordinate Model and Its Application to Simulations over Mountainous Topography. *Mon. Wea. Rev.*, 130, S.1423-1432.



# **Datenbasierte Qualitätskontrolle zur Wechselwirkung zwischen Niederschlag und Landoberfläche**

Teilprojekt: Meteorologie  
Leiter: Prof. V. 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-Stelle (BAT IIa)

#### **1.2.2 Wissenschaftliche Hilfskräfte**

In der Gruppe Wirth wurde eine wissenschaftliche Hilfskraft mit einer wöchentlichen Arbeitszeit von 4 Stunden für 12 Monate eingestellt.

### **1.3 Anschaffungen**

Im Berichtszeitraum wurden keine Anschaffungen getätigt.

## 1.4 Veranstaltungen

### 1.4.1 GLOWA (intern)

- 17.-19.05.2004 GLOWA Statuskonferenz (2 Personen), Köln
- 08.04.2005 GLOWA-Danube, Projekt-Meeting, München
- 12.-13.10.2006 GLOWA-Danube-Atmosphere, Projekt-Meeting, München
- 30.11.- 03.12.2005 GLOWA-Danube, Klausurtagung (2 Personen), Linden

Des Weiteren fand intensiver bilateraler Austausch mit verschiedenen Teilprojekten statt.

### 1.4.2 Teilnahme an Konferenzen

- 24.-09.04.2005 European Geophysical Society Annual Meeting in Wien: “Downscaling precipitation in the upper Danube catchment for use in a distributed hydrological model” (Gruppe Wirth: Früh, Schipper, Pfeiffer, und Wirth) (Posterbeitrag).
- 02.-07.4.2006 European Geophysical Society Annual Meetin in Wien: Convective available potential Energy (CAPE) in mixed Phase Cloud Conditions, (Gruppe Wirth: Früh und Wirth) (Vortrag).
- 04.-08.06.2006 2nd International Symposium on Quantitative Precipitation Forecasting and Hydrology: “A pragmatic approach for downscaling precipitation in alpine scale complex terrain”, Boulder (CO, USA), (Gruppe Wirth: Früh, Schipper, Pfeiffer und Wirth) (Posterbeitrag).
- 04.-08.06.2006 2nd International Symposium on Quantitative Precipitation Forecasting and Hydrology: “Convective available potential energy in mixed phase cloud conditions, Boulder (CO, USA), (Gruppe Wirth: Früh, B. und Wirth) (Posterbeitrag).

## 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. Meteorologische Zeitschrift, 15, S. 631-646.

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

FRÜH B., BENDIX, J., NAUSS, T., PAULAT, M., PFEIFFER, A., SCHIPPER, J.W., THIES, B. und WERNLI, H. (2006): Verification of precipitation from mesoscale climate simulations and remote-sensing observations with respect to ground-based observations in the upper Danube catchment, Meteorol. Zeitschrift, akzeptiert.

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



## **2. Ergebnisse**

### **2.1 Formulierte Ziele**

#### **2.1.1 Integrative Zielsetzung**

Die Entwicklung des GLOWA-Danube Modellsystems DANUBIA wurde mit hydrometeorologischer Expertise begleitet, um durch permanente datenbasierte Qualitätskontrolle auf verschiedenen Ebenen zu gewährleisten, dass das Modellsystem die Realität in befriedigender Näherung nachbildet. Denn erst durch eine auf Messdaten gestützte Evaluation der Ergebnisse von DANUBIA sind die Interpretationen der Szenarien belastbar. Die Qualitätssicherung der Simulationsergebnisse von DANUBIA dienen 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.

#### **2.1.2 Sektorale Zielsetzung**

Es war unser Ziel, die Mechanismen und Prozesse der Wechselwirkung zwischen Niederschlag und Landoberfläche besser zu verstehen und ihren Einfluss auf die Hydrologie des Donaauraums im gegenwärtigen und einem möglicherweise veränderten zukünftigen Klimaregime abzuschätzen. Im Vordergrund stand dabei die Wechselwirkung zwischen Bodenfeuchte und konvektivem Niederschlag während der Sommermonate. Die Erhöhung des Prozessverständnisses in diesem Bereich 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 Messreihen der Bodenfeuchte zusammen mit der jeweiligen Bezugsquelle, der geographischen Position und Höhe der Messstation, dem verfügbaren Zeitraum und der zeitlichen Auflösung der Messungen, welche im Rahmen dieses Projektes beschafft wurden.

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. 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.

Tab. 1: Verfügbare Messreihen 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

### 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 Luftpaket und Umgebung definiert. Zum Testen des Luftpaket-Modells verwenden wir zunächst die Umgebungsbedingungen entsprechend der mittleren tropischen Atmosphäre nach ANDERSON et al. (1986). Das Luftpaket-Modell wird jedoch auch auf Radiosondenaufstiege angewendet.

Die Dichtetemperatur des Luftpakets und damit auch CAPE ist sehr stark von den Annahmen über die Existenz und Phase des Kondensats abhängig. Daher wurden detaillierte Untersuchungen der Abhängigkeit dieses Zusammenhangs durchgeführt und sowohl reversible als auch pseudo-adiabatische Bedingungen für das Luftpaket angenommen. Des Weiteren 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.

Abbildung 1 zeigt die Differenz der Dichtetemperatur von Luftpaket und Umgebung für verschiedene Bedingungen. 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.

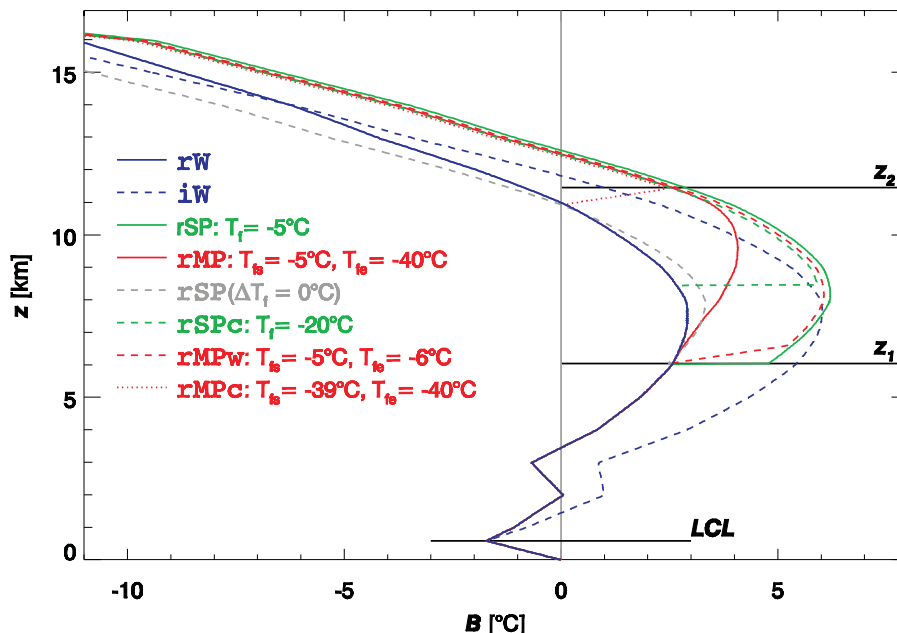


Abb. 1: Vertikalprofil des Auftriebs bei unterschiedlichen Annahmen über die Zusammensetzung des Kondensats. Diese Annahmen sind in der Abbildung kurz und im Text ausführlich beschrieben

Die grünen Linien repräsentieren Ein-Phasen Luftpakete, 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 Luftpaket. Die grüne durchgezogene Linie zeigt dabei den Auftrieb im Fall der Gefriertemperatur bei  $-5^\circ\text{C}$  (**rSP**) und die grüne gestrichelte Linie im Fall der Gefriertemperatur bei  $-20^\circ\text{C}$  (**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  $T_{fc}$ . 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 Luftpaket, bei welchem das Gefrieren zwischen  $-5^\circ\text{C}$  und  $-40^\circ\text{C}$  stattfindet. Die rote gestrichelte Linie zeigt den Verlauf des Auftriebs in einem deutlich engeren Temperaturbereich bei relativ warmen Temperaturen zwischen  $-5^\circ\text{C}$  und  $-6^\circ\text{C}$ . Die rote gestrichelte Linie basiert auf einem Prozess, bei dem das Gefrieren bei recht kalten Bedingungen zwischen  $-39^\circ\text{C}$  und  $-40^\circ\text{C}$  stattfindet. In allen Fällen der Misch-Phasen Luftpakete 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 Luftpaketes, in welchem das Kondensat bei Temperaturen wärmer als  $-5^\circ\text{C}$  vollständig aus Wasser besteht und bei niedrigeren Temperaturen aus Eis. Der Phasenübergang von flüssigem Wasser zu Eis wird dabei jedoch

vernachlässigt ( $rSP(DT_f=0)$ ), so dass die abrupte Temperaturerhöhung in diesem Fall entfällt. Der einzige Unterschied zu  $rW$  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  $rW$  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 ( $rW$ ). Eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse kann FRÜH und WIRTH (2006) entnommen werden.

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

Prozess	$rW$	$iW$	$rSP$	$rSPc$	$rMP$	$rMPw$	$rMPc$
CAPE, J kg <sup>-1</sup>	559	1446	1367	1039	966	1301	640

## 2.3 Integrative Arbeiten

### 2.3.1 Verifikation der Niederschlagsfelder von *AtmoMM5* und *AtmoSat*

Um die Stärken und Schwächen des berechneten täglichen Niederschlags der beiden Komponenten *AtmoMM5* und *AtmoSat* herauszuarbeiten, wurden vier Monate innerhalb der Zeitspanne 1996 bis 2003 für die Evaluation ausgewählt. Diese Monate sollten im Einzugsgebiet möglichst unterschiedliche Niederschlagsverhältnisse aufweisen. Die Auswahl fiel auf Januar 1996 und 2003 als Beispiel für einen sehr trockenen bzw. feuchten Wintermonat und August 2002 und 2003 als sehr feuchten bzw. trockenen Sommermonat.

#### Monatsniederschlag gemittelt über das Einzugsgebiet

In den Wintermonaten ist die Differenz zwischen mittlerem Monatsniederschlag der Beobachtungen  $P_m(Obs2D)$  und *AtmoMM5* (*AtmoMM5*) gering. Im Januar 1996, überschätzt und im Januar 2003 unterschätzt *AtmoMM5* den beobachteten Niederschlag  $P_m(Obs2D)$  um 0.2mm pro Tag. Im Sommer sind die Unterschiede jedoch größer. Die maximale Abweichung von  $P_m(AtmoMM5)$  tritt im äußerst regenreichen August 2002 auf. Prozentual jedoch ist die Abweichung im trockenen Januar 1996 größer.

Insgesamt wurde der Vergleich für 15 Monate durchgeführt. Davon weicht in 8 Monaten (inkl. Januar 2003) der simulierte Monatsniederschlag weniger als 15% von den Beobachtungen ab. In weiteren 2 Monaten (inkl. August 2002) ist die Abweichung zwischen  $P_m(AtmoMM5)$  und  $P_m(Obs2D)$  geringer als 20%. Beide Monate waren deutlich feuchter (+78% und +82%) als das klimatologische Mittel  $P_m(Obs2D)$ . In den restlichen 5 Monaten (inkl. Januar 1996 und August 2003) ist die Abweichung größer als 20%. Die Abweichung nimmt mit zunehmender Trockenanomalie zu.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass *AtmoMM5* den Monatsniederschlag gemittelt über das Einzugsgebiet mit einer guten Übereinstimmung ( $\approx 15\%$ ) simulieren kann, außer jedoch in Monaten mit einer hohen Niederschlagsanomalie.

## Monatsniederschlag gemittelt über das Einzugsgebiet

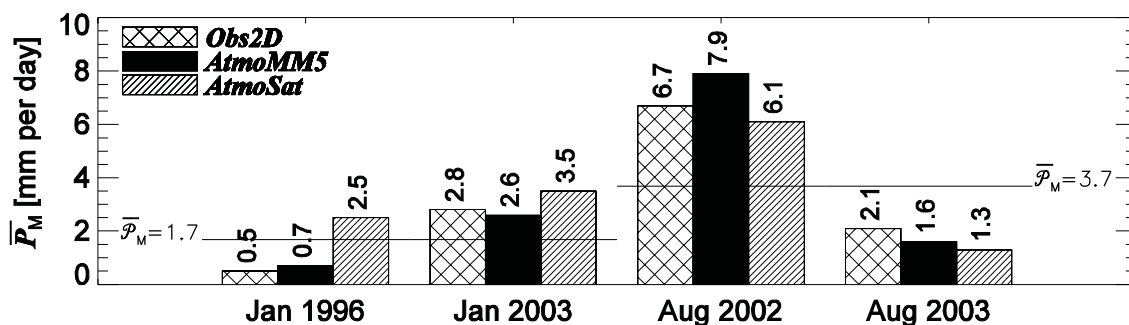


Abb. 2: Säulendiagramm für den mittleren Monatsniederschlag gemittelt über das Einzugsgebiet  $\bar{P}_M$ . Die gekreuzte Schraffur zeigt *Obs2D*, die schwarze *AtmoMM5* und schraffierte *AtmoSat*. Der klimatologische Niederschlag aus den Jahren 1991-2000  $P_M(Obs2D)$  ist jeweils durch die horizontale Linie markiert

*AtmoSat* überschätzt in beiden Wintermonaten Januar 1996 und 2003 den Monatsniederschlag gemittelt über das Einzugsgebiet. Im trockenen Januar 1996 ist die Überschätzung im Vergleich zu *Obs2D* sehr groß. Eine detaillierte Untersuchung ergab, dass, im Gegensatz zu *AtmoSat*, *Obs2D* in der Zeit vom 9.-13.01.1996 und 18.-23.01.1996 keinen Niederschlag registrierte. Die Überschätzung im Januar 2003 ist akzeptabel. In den Sommermonaten August 2002 und 2003 unterschätzt *AtmoSat* den Monatsniederschlag gemittelt über das Einzugsgebiet im Vergleich zu *Obs2D*.

Insgesamt untersuchten wir die Abweichung zwischen  $\bar{P}_M(Obs2D)$  und  $\bar{P}_M(AtmoSat)$  für 7 Monate. Bei 2 Monaten (inkl. August 2002) weicht  $\bar{P}_M(AtmoSat)$  weniger als 15% von  $\bar{P}_M(Obs2D)$  ab. In weiteren 3 Monaten (inkl. Januar 2003) ist die Abweichung geringer als 20%. Im August 2003 und Januar 1996 sind die Abweichungen mit -37% und +415% am größten.

Das räumliche Niederschlagsmuster der Monate wird von *AtmoMM5* sehr gut simuliert. In den feuchten Monaten ergibt sich häufig ein 3-Band Muster mit geringerem Niederschlag im Norden des Einzugsgebietes und in den Alpen und höherem Niederschlag im Alpenvorland. Dieses Muster wird von *AtmoMM5* sehr gut reproduziert. Auch im äußerst trockenen August 2003 ist das Niederschlagsmaximum von *AtmoMM5* korrekt berechnet. Im Gegensatz dazu kann *AtmoSat* den höheren Niederschlag im Alpenvorland nicht berechnen. Meist weist das von *AtmoSat* berechnete Niederschlagsfeld zu große Homogenität im Vergleich zu *Obs2D* auf.

## Genauigkeit des täglichen Niederschlags

Des Weiteren untersuchten wir die Genauigkeit, mit welcher beide Modelle den täglichen Niederschlag auf 1 km Auflösung berechnen. Dazu verwendeten wir die mittlere quadratische Abweichung (*RMSE*, Mittelwert der Differenz der Simulationsergebnisse zu den Beobachtungen im Quadrat) an jedem der 76.214 Gitterpunkte und allen 31 Tagen des Monats, d.h. insgesamt ergeben sich  $N=2.362.634$  Vergleiche. Je geringer der *RMSE*, desto genauer ist die Simulation mit einer perfekten Übereinstimmung bei  $RMSE=0$ . Da der *RMSE* auf dem Quadrat der Differenz beruht, ist er sehr sensitiv auf große Abweichungen.

Abbildung 3 zeigt den *RMSE* für *AtmoMM5* (schwarze Säulen) und *AtmoSat* (schraffierte Säulen) im Vergleich zu den Beobachtungen *Obs2D* für die vier bereits genannten Monate.



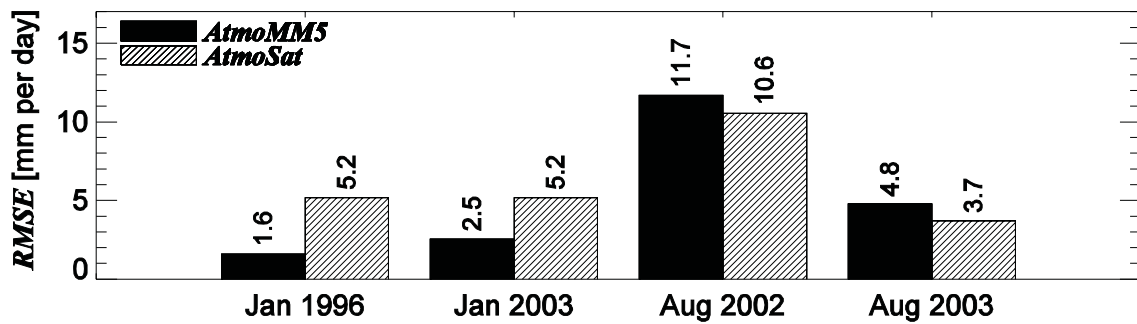


Abb. 3: Säulendiagramm des *RMSE*. Die schwarzen Säulen beziehen sich auf *AtmoMM5* und die schraffierten auf *AtmoSat*

Das maximale *RMSE* von *AtmoMM5* und *AtmoSat* ergab sich im August 2002. In diesem Monat wurden extreme Niederschlagsbedingungen, insbesondere im östlichen Teil des Einzugsgebietes, beobachtet. Die maximal beobachtete Niederschlagsrate war 163mm am 11.08.2002. *AtmoMM5* simulierte für diesen Tag eine maximale Niederschlagsrate von 164mm, *AtmoSat* dagegen simulierte nur 73mm. Insgesamt verzeichnete *Obs2D* 5 Tage mit mehr als 70mm Niederschlag pro Tag. *AtmoMM5* simulierte 6 und *AtmoSat* 4 Tage mit mehr als 70mm Niederschlag. Wegen der hohen Niederschlagsraten kann bereits eine geringe Verschiebung des simulierten Niederschlages im Vergleich zu den Beobachtungen zu sehr großen Werten des *RMSE* führen, sobald hohe Niederschlagsraten vorhanden sind. Da die Abweichungen von  $P_m(\text{AtmoMM5})$  (+1.2mm pro Tag, +18%) und  $P_m(\text{AtmoSat})$  (-0.6mm pro Tag, -9%) zu  $P_m(\text{Obs2D})$  relativ gering sind, ist es sehr wahrscheinlich, dass die hohen Werte von *RMSE* durch eine räumliche Verschiebung des Niederschlages verursacht wurden.

Im Winter ist der *RMSE* von *AtmoSat* größer als der *RMSE* von *AtmoMM5*. Im Sommer ist es umgekehrt. Die geringe Inhomogenität im Niederschlagsfeld von  $P_m(\text{AtmoSat})$  erleichtert geringe *RMSE* Werte, da eine räumliche Verschiebung des Niederschlages nur geringe Auswirkungen auf den *RMSE* hat. Im Winter sind die Niederschlagsfelder von  $P_m(\text{Obs2D})$  und  $P_m(\text{AtmoMM5})$  deutlich homogener als im Sommer. Daher ist auch der *RMSE* von *AtmoMM5* im Winter geringer als im Sommer.

### Unsicherheiten in der Bestimmung der Anzahl an Regentagen

Da der *RMSE* sehr sensitiv auf große Unterschiede der Daten reagiert, wurde zusätzlich der Frequenz-Bias (*FBI*) ausgewertet. Der *FBI* setzt die Anzahl der simulierten Regentage mit der beobachteten Anzahl ins Verhältnis. Die Niederschlagsmenge geht somit in diese Auswertung nur indirekt über den Schwellenwert ein. Eine perfekte Übereinstimmung führt zu  $FBI=1$ .

Abbildung 4 zeigt den  $FBI_{0,1}$  für einen Schwellenwert von 0,1mm pro Tag. Für  $FBI_{0,1} > 1$  simuliert das Modell zu viele Regentage im Vergleich zu den Beobachtungen.

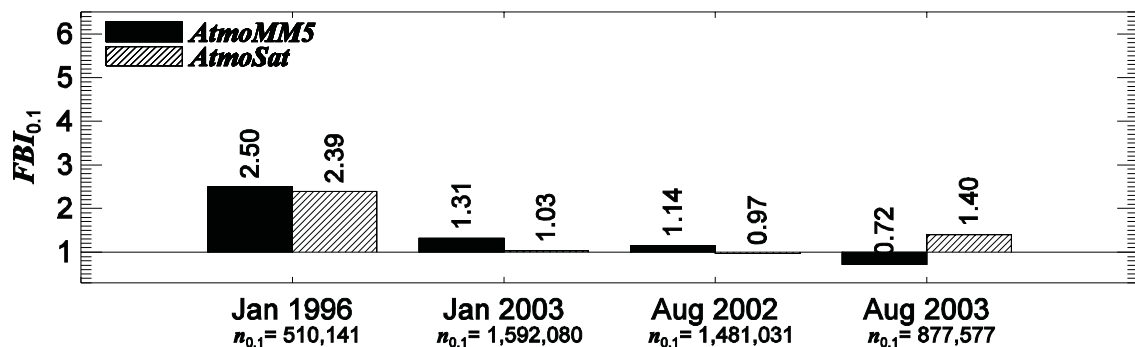


Abb. 4: Säulendiagramm des  $FBI_{0,1}$ . Die schwarzen Säulen beziehen sich auf *AtmoMM5* und die schraffierten auf *AtmoSat*. Die gesamte Anzahl beobachteter Niederschlagsereignisse mit einem Schwellenwert von 0,1mm pro Tag ist in der zweiten Zeile der Abszisse angegeben

Im Januar 1996 überschreiten lediglich 21% der Datenpunkte diesen Schwellenwert. Wie aus der Abbildung deutlich wird, simuliert *AtmoMM5* zu viele Falschalarme. Im Januar 2003 bekommen 67% aller Datenpunkte mehr als 0,1mm Niederschlag pro Tag. Obwohl *AtmoMM5* fast genauso viele Falschalarme produziert wie im Januar 1996, ist der  $FBI_{0,1}$  deutlich geringer. Auffällig ist im Januar 2003 auch, dass, obwohl *AtmoMM5* die Anzahl der Regentage um 31% überschätzt, der monatliche Niederschlag gemittelt über das Einzugsgebiet  $\bar{P}_m(\text{AtmoMM5})$  um 0,2mm geringer ist als  $\bar{P}_m(\text{Obs2D})$ . Im Januar 1996 und August 2002 ist die Überschätzung und im August 2003 die Unterschätzung der Regentage mit einer Überschätzung bzw. Unterschätzung des mittleren monatlichen Niederschlags verknüpft. Im extrem trockenen Januar 1996, in welchem weniger als 30% des Langzeitmittels gefallen ist, ist  $FBI_{0,1}$  am größten. Im August 2003 unterschätzt *AtmoMM5* die Anzahl an Regentagen.  $FBI_{0,1}$  von *AtmoMM5* scheint unabhängig von der Jahreszeit.

$FBI_{0,1}$  von *AtmoSat* liegt in den feuchten Monaten Januar 2003 and August 2002 nahe bei 1. In den beiden trockenen Monaten jedoch ist  $FBI_{0,1}$  von *AtmoSat* sehr groß. Im trockenen August 2003 weist  $FBI_{0,1}$  von *AtmoSat* auf eine Überschätzung der Anzahl von Regentagen hin, obwohl  $\bar{P}_m(\text{AtmoSat})$   $\bar{P}_m(\text{Obs2D})$  um 0.8mm pro Tag unterschätzt. Dies deutet darauf hin, dass *AtmoSat* zu wenige intensive Niederschlagsereignisse berechnet. Ein Anzeichen dafür ist beispielsweise auch die maximale Niederschlagsrate gemittelt über das Einzugsgebiet von 35mm pro Tag von *AtmoSat* im Vergleich zu 69mm pro Tag von *Obs2D*.

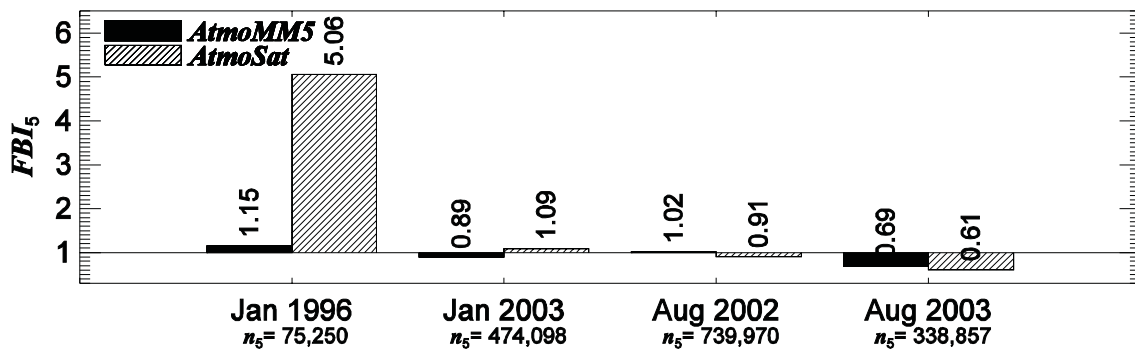


Abb. 5: Histogramm des  $FBI_5$ . Die schwarzen Säulen beziehen sich auf *AtmoMM5* und die schraffierten auf *AtmoSat*. Die gesamte Anzahl beobachteter Niederschlagsereignisse mit einem Schwellenwert von 5mm pro Tag ist in der zweiten Zeile der Abszisse angegeben

Abbildung 5 zeigt den  $FBI_5$  für intensive Niederschlagsereignisse mit einem Schwellenwert von 5mm pro Tag.

In den feuchten Monaten Januar 2003 und August 2002 ist  $FBI_5$  für *AtmoMM5* und *AtmoSat* nahe bei 1. In diesen Monaten bekamen etwa 20% bzw. 31% aller Datenpunkte mehr als 5mm Niederschlag pro Tag. Im Januar, in welchem nur 3% der Datenpunkte den Schwellenwert überschritten, ist  $FBI_5$  von *AtmoMM5* deutlich größer.  $FBI_5$  von *AtmoSat* ist jedoch noch einmal deutlich größer und berechnet etwa fünfmal mehr intensive Niederschlagsereignisse, als in den Beobachtungen. Diese Überschätzung ist verknüpft mit einer Überschätzung der monatlichen Niederschlagsmenge. Im trockenen August 2003, in welchem 14% aller Datenpunkte den Schwellenwert überschritten, unterschätzen *AtmoMM5* und *AtmoSat* die Anzahl an Tagen mit intensivem Niederschlag. Die Unterschätzung des mittleren Monatsniederschlags gemittelt über das Einzugsgebiet kann in diesem Fall durch einen Mangel an intensiven Regentagen in den Modellen erklärt werden.

Im allgemeinen kann man folgern, dass beide Modelle *AtmoMM5* und *AtmoSat* die Anzahl an Tagen mit intensivem Niederschlag mit mehr als 5mm in den feuchteren Monaten gut simulieren. In den trockeneren Monaten Januar 1996 und August 2003 sind jedoch größere Abweichungen aufgetreten. Unsere Untersuchung zeigte außerdem, dass eine Überschätzung der intensivem Niederschlagsereignisse zu einer Überschätzung des mittleren Monatsniederschlags führt und umgekehrt.

## SAL

Zusätzlich wurde für die Evaluation das neue Verifikationsverfahren SAL (WERNLI et al. 2006) verwendet. Die Hauptmerkmale von SAL sind:

- SAL misst quantitativ die Qualität einzelner Niederschlagsfelder, welche mit hoher räumlicher Auflösung simuliert und über eine Zeit von 1 bis 24 Stunden integriert sind, im Vergleich zu beobachteten Niederschlagsfeldern. SAL trifft Aussagen über den Niederschlag einer bestimmten Region und nicht von punkt-genauen Vorhersagen.
- SAL ist der subjektiven, visuellen Einschätzung der Genauigkeit sehr nahe.
- SAL berücksichtigt die Struktur eines Niederschlagsereignisses (z.B. gestreute, konvektive Zellen, Fronten, etc.).
- Die 3 Komponenten von SAL (Struktur, Amplitude und Position des Niederschlagsfeldes) sind unabhängig.

Zur Anwendung von SAL wurden die täglichen Niederschlagsfelder von 7 Monaten (Januar 1996, Mai 1999, Juli und August 2002, Januar, August und Oktober 2003) in 3 Klassen mit je 67 Tagen aufgeteilt. Die erste Klasse enthält die 67 feuchtesten Tage der Beobachtungen *Obs2D* mit Niederschlagsraten von 3,5 bis 47,3mm pro Tag gemittelt über das Einzugsgebiet. Die zweite Klasse enthält die moderaten Tage mit Niederschlagsraten zwischen 0,3 und 3,5mm pro Tag. Die dritte Klasse enthält die 67 trockensten Tag mit 0 bis 0,3mm pro Tag.

Abbildung 6 zeigt die Ergebnisse von SAL für die feuchten Tage. Die Struktur-Komponente S ist im Mittel über die 67 feuchtesten Tage sowohl für *AtmoMM5* (links) als auch für *AtmoSat* (rechts) negativ. Die Standardabweichung, welche die Streuung um den Mittelwert beschreibt, und der *RMSE*, welcher die Streuung um den perfekten Wert Null beschreibt, sind unwesentlich geringer für *AtmoMM5* als für *AtmoSat*. Die Amplituden Komponente zeigt sowohl für *AtmoMM5* als auch für *AtmoSat* eine Unterschätzung der Niederschlagsmenge an. Auch hier sind die Standardabweichung und der *RMSE* für *AtmoMM5* geringer als für *AtmoSat*. Die Position des Niederschlags im Einzugsgebiet ist von *AtmoMM5* und *AtmoSat* ziemlich genau berechnet mit einer geringen Standardabweichung und *RMSE* für beide Modelle.

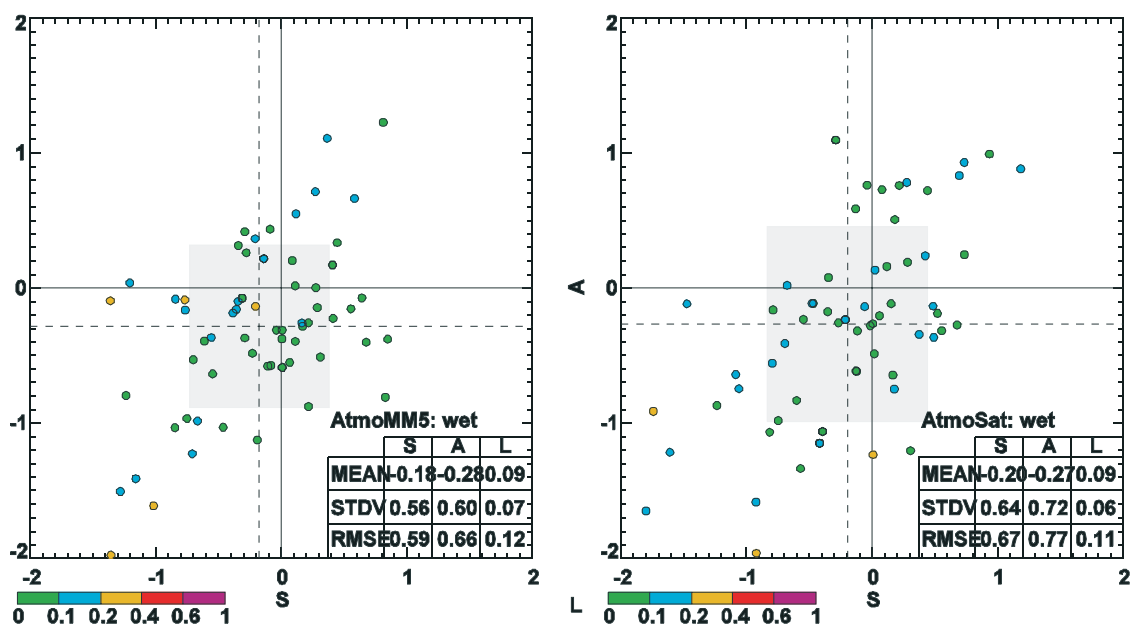


Abb. 6: Ergebnisse von SAL für die feuchten Tage für *AtmoMM5* (links) und *AtmoSat* (rechts). Die Abszisse repräsentiert die Struktur-Komponente S und die Ordinate die Amplituden-Komponente A. Die Positionskomponente L wird durch den Farbcode angezeigt. Die gestrichelten vertikalen und horizontalen Linien zeigen die Mittelwerte von S und A. Die Schattierung beschreibt die Ausdehnung der Standardabweichung von S und A. Der Mittelwert, die Standardabweichung und der *RMSE* jeder SAL Komponente ist in der Tabelle in der rechten, unteren Ecke angegeben

Deutliche Abweichungen von *Obs2D* können durch  $|S| > 1,5$  und  $|A| > 1,5$  identifiziert werden. In diesen Fällen werden die Beobachtungen um mehr als den Faktor 7 über- bzw. unterschätzt. Eine Zusammenfassung der Anzahl solcher Tage bietet Tabelle 3.

Tab. 3: Anzahl an Tagen mit deutlichen Abweichungen von *Obs2D*

<b>Feuchte Tage</b>	A < -1,5	A > +1,5	S < -1,5	S > +1,5
<i>AtmoMM5</i>	3	0	0	0
<i>AtmoSat</i>	3	0	3	0
<b>Moderate Tage</b>				
<i>AtmoMM5</i>	2	3	0	1
<i>AtmoSat</i>	7	7	3	2
<b>Trockene Tage</b>				
<i>AtmoMM5</i>	1	28	1	20
<i>AtmoSat</i>	7	37	5	14

Abbildung 6 und Tabelle 3 zeigen, dass S von *AtmoMM5* in keinem Fall kleiner als -1,5 oder größer als +1,5 ist. S von *AtmoSat* dagegen ist an 3 Tagen kleiner als -1,5. Es entspricht den Erwartungen, dass wenn die Niederschlagsfläche unterschätzt wird oder die Niederschlagsverteilung weniger steil ist als in den Beobachtungen, die simulierte Amplitude ebenfalls geringer ist, als in den Beobachtungen. *AtmoMM5* und *AtmoSat* unterschätzen die Amplitude deutlich an 3 Tagen. Es sind jedoch nicht dieselben Tage wie für S.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass *AtmoMM5* etwas besser geeignet ist als *AtmoSat*, die Struktur und die Amplitude des Niederschlagsfeldes zu simulieren. Wegen der höheren Standardabweichung und RMSE für *AtmoSat* als für *AtmoMM5* können wir schließen, dass die Unsicherheit bei der Bestimmung des täglichen Niederschlags in Fall von *AtmoSat* größer ist als für *AtmoMM5*.

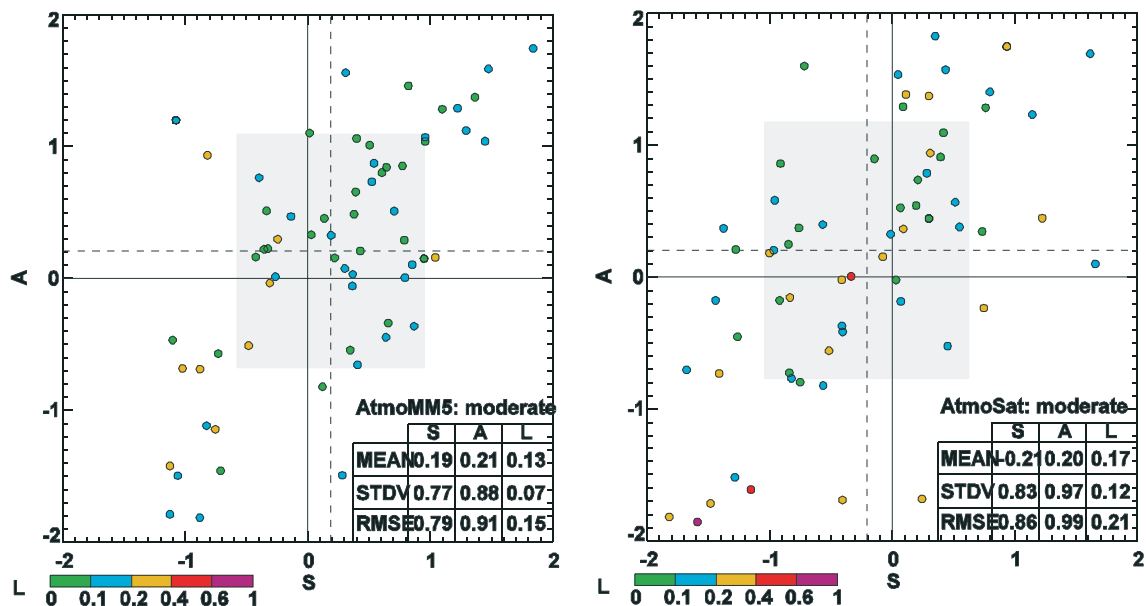


Abb. 7: Ergebnisse von SAL für die moderaten Tage. Die Plotkonvention entspricht der in Abbildung 6

Abbildung 7 zeigt die SAL Ergebnisse für die moderaten Tage. Die Struktur-Komponente S zeigt, dass S von *AtmoMM5* (Abb. 7 links) überschätzt wird, jedoch von *AtmoSat* (Abb. 7 rechts), gemittelt über die 67 moderaten Tage, unterschätzt wird. Die Standardabweichung

und der *RMSE* ist geringfügig geringer für *AtmoMM5* als für *AtmoSat*. Die Amplituden-Komponente *A* weist auf eine geringe Überschätzung der Niederschlagsmenge sowohl für *AtmoMM5* als auch für *AtmoSat* hin. Wiederum ist die Standardabweichung und der *RMSE* für *AtmoMM5* geringer als für *AtmoSat*.

Bei beiden Modellen ist die Position des Niederschlags für die moderaten Tage etwas mehr verschoben als bei den feuchten Tagen.

Abbildung 7 und Tabelle 3 zeigen dass *S* von *AtmoMM5* in keinem Fall kleiner als  $-1,5$  und nur an einem Tag größer als  $+1,5$  ist. *S* von *AtmoSat* dagegen ist an 3 Tagen kleiner als  $-1,5$ . An all diesen 3 Tagen ist auch die Amplitude von *AtmoSat* unterschätzt. *AtmoMM5* unterschätzt die Amplitude mit  $A < -1.5$  an 2 Tagen; *AtmoSat* dagegen an 7 Tagen. Eine Überschätzung mit  $A > +1.5$  kann an 3 Tagen für *AtmoMM5* und an 6 Tagen für *AtmoSat* festgestellt werden.

Auch für die moderaten Tagen können wir festhalten, dass *AtmoMM5* etwas besser geeignet ist, die Struktur des Niederschlagsfeldes wiederzugeben. Die Amplitude jedoch wird von *AtmoSat* etwas besser reproduziert. Die hohe Standardabweichung und *RMSE* zeigen jedoch die hohe Unsicherheit bei der Bestimmung des täglichen Niederschlags. Besonders große Abweichungen zu den Beobachtungen sind bei *AtmoSat* häufiger.

Abbildung 8 zeigt die SAL Ergebnisse für die trockenen Tage. Man beachte, dass für Tage, an welchen im gesamten Einzugsgebiet kein Niederschlag gefallen ist, kein SAL bestimmt werden kann. Dies geschah an 16 Tagen innerhalb der 7 Monate. Der Mittelwert der Struktur-Komponente *S* ist für beide Datenreihen positiv. Die Standardabweichung und der *RMSE* sind für *AtmoMM5* etwas geringer als für *AtmoSat*. zeigt, dass *AtmoMM5* (Abb. 8 links) *S* über- und *AtmoSat* (Abb. 8 rechts) *S* gemittelt über die 67 moderaten Tage unterschätzt. Die Standardabweichung und der *RMSE* ist geringfügig geringer für *AtmoMM5* als für *AtmoSat*. Die Amplituden-Komponente *A* weist auf eine geringe Überschätzung der Niederschlagsmenge sowohl für *AtmoMM5* als auch für *AtmoSat* hin. Wiederum ist die Standardabweichung und der *RMSE* für *AtmoMM5* geringer als für *AtmoSat*. Bei beiden Modellen ist die Position des Niederschlags nur geringfügig verschoben.

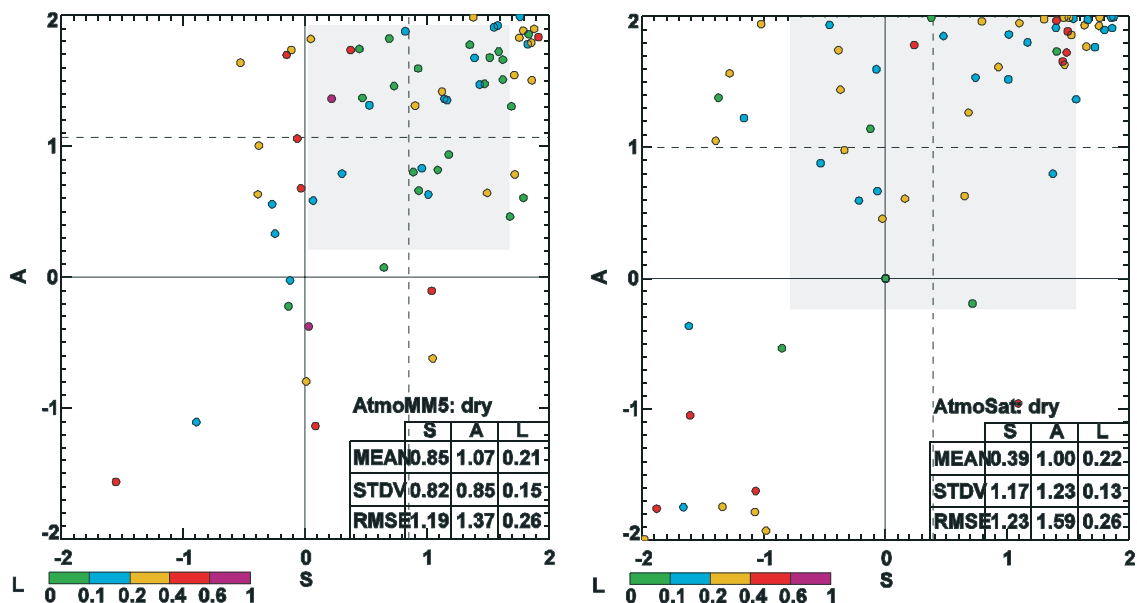


Abb. 8: Ergebnisse von SAL für die trockenen Tage. Die Plotkonvention entspricht der in Abbildung 6



Abbildung 8 und Tabelle 3 zeigen, dass die Anzahl hoher Abweichungen in A und S von *Obs2D* zu *AtmoMM5* und zu *AtmoSat* sehr groß sind. Da sowohl A als auch S relative zum Mittelwert des Gebietes definiert sind, entstehen leicht hohe Werte von A und S wenn die Absolutwerte gering sind. Im Gegensatz dazu gibt es nur wenige Tage mit  $A < -1,5$  oder  $S < -1,5$  (s. Tab. 1). Für *AtmoSat* ergaben die Simulationen für 7 Tage mit  $A < -1,5$ . Von diesen 7 Tagen führten 3 Tage außerdem zu  $S < -1,5$ . Es erscheint interessant, dass im Januar 1996 an 5 Tagen der weniger gewöhnliche Fall mit  $A > 1$  und gleichzeitig  $S < -1$  auftrat. In diesen Fällen war der beobachtete mittlere Monatsniederschlag gemittelt über das Einzugsgebiet 0,2, 0, 0, 0,1 und 0mm pro Tag. *AtmoSat* dagegen berechnete lediglich 0,7, 0,1, 0,2, 0,8 und 0mm pro Tag.

Zusammenfassend können wir feststellen, dass im Mittel über die trockenen Tage *AtmoSat* im Vergleich zu *AtmoMM5*. etwas besser geeignet ist, die Struktur des Niederschlagsfeldes zu simulieren. Diese Ergebnisse beinhalten jedoch eine recht hohe Unsicherheit, angezeigt durch die relativ hohe Standardabweichung.

Vergleicht man die Simulationsergebnisse für die feuchten, trockenen und moderaten Tage, kann man erkennen, dass sich für *AtmoMM5* die Mittelwerte von S und A auf der Diagonalen von negativen zu positiven Werten verschieben und dass die Fehlpositionierung mit den Mittelwerten in der Konvention [S; A; L] steigt (SAL(feucht)=[ -0,18; -0,28; +0,09], SAL(moderat)=[ +0,19; +0,21; +0,13], SAL(trocken)=[ +0,85; +1,07; +0,21]). Die besten Ergebnisse können für die moderaten Tage erzielt werden, obwohl die Positionierung des Niederschlagsfeldes etwas mehr verschoben ist als im Fall der feuchten Tage. Die größten Probleme entstehen für die trockenen Tage, für welche alle 3 Komponenten die höchsten Abweichungen zum Idealwert erreichen. Da die Amplituden-Komponente normiert ist, können in extrem trockenen Bedingungen sehr leicht hohe Werte von A auftreten.

Für *AtmoSat* zeigt sich, dass die Struktur-Komponente für alle 3 Klassen etwa die gleiche Größenordnung hat. Die Amplituden-Komponente bewegt sich mit abnehmenden Niederschlag von negativen zu positiven Werten. Die Verschiebung nimmt mit abnehmenden Niederschlag zu (SAL(feucht)=[ -0,20; -0,27; +0,09], SAL(moderat)=[ -0,21; +0,20; +0,17], SAL(trocken)=[ +0,39; +1,00; +0,22]).

Beide Modelle *AtmoMM5* und *AtmoSat* erreichen die besten Resultate für moderate Bedingungen mit einem dreidimensionalen Abstand zum Idealwert von  $\Delta\text{SAL} = S \cdot S + A \cdot A + L \cdot L$  von 0,09 für *AtmoMM5* und 0,11 für *AtmoSat*. Größere Unsicherheiten entstehen für feuchte Bedingungen mit  $\Delta\text{SAL} = 0,12$  für *AtmoMM5* und *AtmoSat*. In trockenen Bedingungen ist  $\Delta\text{DAL}$  deutlich höher mit Werten von 1,91 für *AtmoMM5* und 1,20 für *AtmoSat*.

Eine ausführliche Darstellung dieser Arbeit kann FRÜH et al. (2006b) entnommen werden.

### 3. Zusammenfassung

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

Ein Paket-Modell wurde bereitgestellt, um CAPE in Mischphasenwolken zu bestimmen. Diese Methode wurde bereits auf Radiosondenaufstiege des DWD angewendet.

Das *Downscaling*-Verfahren für den Niederschlag ist inzwischen zur Veröffentlichung akzeptiert. Darin ist auch eine erste Evaluierung enthalten. Eine ausführliche Evaluation der Atmosphäre-Komponenten *AtmoMM5* und *AtmoSat* wurde ebenfalls bereits zur Veröffentlichung eingereicht. 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.

#### **4. Literatur**

- ANDERSON, G.P., CLOUGH, S.A., KNEIZYS, F.X., CHETWYND, J.H. und SHETTLE, E.P. (1986): 'AFGL atmospheric constituent profiles (0-120 km)'. 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. (1994): *Atmospheric Convection*, Oxford University Press, New York, USA.
- FRÜH, B., SCHIPPER, J.W., PFEIFFER, A. und WIRTH, V. (2006a): 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.
- FRÜH B., BENDIX, J., NAUSS, T., PAULAT, M., PFEIFFER, A., SCHIPPER, J.W., THIES, B. und WERNLI, H. (2006b): Verification of precipitation from mesoscale climate simulations and remote-sensing observations with respect to ground-based observations in the upper Danube catchment, *Meteorol. Zeitschrift*, eingereicht.
- GRELL, G.A., DUDHIA, J. und STAUFFER, D.R. (1995): 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.

# **Niederschlagsretrieval auf Basis von optischen mikrowellenbasierten Satellitendaten sowie bodengebundenen Radaren**

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

## **Organisation**

### **Kurzbeschreibung des Teilprojektes**

Die integrative Zielsetzung des Teilprojekts Niederschlag/Fernerkundung ist die Bereitstellung raum-zeitlich hoch aufgelöster flächendeckender Niederschlagsinformationen. Die Niederschlagsdaten dienen vor allem der Validierung der im Mesoskalamodell MM5 (Gruppe Meteorologie/MM5) simulierten Niederschläge. Als sektorale Zielsetzung ist die Qualitätsverbesserung des satellitenbasierten Niederschlagsretrievals in den mittleren Breiten durch die Berücksichtigung mikrophysikalischer Wolkeneigenschaften, deren Ableitung mit der spektral erweiterten Auflösung der neuesten Satellitensysteme möglich ist, sowie der Ausbau des Retrievals zu einer operationellen Hybridtechnik aus optischen und mikrowellenbasierten Sensoren zu nennen.

### **Personal**

Bewilligt wurden dem Teilprojekt Niederschlag eine Doktorandenstelle (BAT IIa, Pos. 0812) sowie eine studentische Hilfskraftstelle (9h/Woche B EUR 8,50, Pos. 0822).

### **Wissenschaftler**

Die bewilligte Stelle des Teilprojekts (Pos. 0812) war bis zum 31.12.2004 mit Herrn Dipl. Geograph Thomas Nauß besetzt. Seit dem 1. Januar 2005 ist diese Stelle jeweils zur Hälfte mit Herrn Dipl. Geograph Boris Thies und Herrn Dr. Jan Cermak besetzt. Darüber hinaus wurde aus der Grundausrüstung von April 2006 bis Februar 2007 eine halbe Stelle finanziert, die von Frau Dipl. Geographin Katja Trachte besetzt war. Die zur Grundausrüstung gehörende Technikerstelle (Herrn Dipl. Informatiker FH Maik Dobbermann) stand ebenfalls teilweise dem GLOWA-Projekt zur Verfügung. Gleiches gilt für die mit Herrn Dr. Thomas Nauß besetzten Stelle eines Akademischen Rats auf Zeit.

### **Wissenschaftliche Hilfskräfte**

Die Stelle für studentische Hilfskräfte war durchgängig mit wechselndem Personal besetzt.

### **Anschaffungen**

Im Folgenden eine Übersicht über die Ausgaben gemäß der Antragspositionen der Jahre 2004 bis 2007. Der Kontostand zum Ende der 2. Projektphase ist ausgeglichen.

	2004	2005	2006	2007	gesamt:
BAT IIa	45.280,01 €	50.861,94 €	52.961,31 €	12.657,04 €	161.760,30 €
SHK	2.390,10 €	2.021,05 €	1.567,91 €		5.979,06 €
Geräte	8.995,05 €	3.134,15 €	9.230,22 €		21.359,42 €
Verbrauchsmaterial	272,60 €		392,01 €		664,61 €
Geschäftsbedarf		24,00 €	12,00 €		36,00 €
Dienstreisen/Inland	2.274,88 €	1.456,95 €			3.731,83 €
Dienstreisen/Ausland	2.439,86 €		2.240,70 €		4.680,56 €
Summe	61.652,50 €	57.498,09 €	66.404,15 €	12.657,04 €	198.211,78 €

## Veranstaltungen

Im Rahmen des GLOWA-Danube Projekts beteiligte sich die Gruppe Niederschlag/Fernerkundung an mehreren anderen Projekten. Im Hinblick auf das weiterzuentwickelnde Niederschlagsretrieval fanden regelmäßige Treffen der International Precipitation Group (CGMS/IPWG), des Advanced Multisensor Precipitation Estimate (AMPE) Programms der Eumetsat sowie der EU COST 722 (Short-range forecasting methods of fog, visibility and low clouds) statt (siehe Konferenzen, Übersicht Vorträge/Posterpräsentationen).

## Interne Projekttreffen

Im Rahmen des Projekts fanden verschiedene Treffen/Workshops aller Projektpartner statt. Darüber hinaus trafen sich die meteorologischen Teilprojekte (Meteorologie/MM5 - Egger, Meteorologie/Stationsdaten - Wirth, Niederschlag/Fernerkundung - Bendix) regelmäßig. Die anfallenden Reisekosten wurden aus den beantragten Mitteln für Dienstreisen (Pos. 0844) bzw. aus der Grundausstattung bereitgestellt. Im Einzelnen wurden die folgenden Treffen durchgeführt:

### 2004

- 31.05.-04.06.2004 Projekttreffen GLOWA-Danube, Frauenchiemsee
- 16.-17.09.2004 Projekttreffen GLOWA-Danube, München
- 11.-12.10.2004 Projekttreffen GLOWA-Danube, München

### 2005

- 07.-08.03.2005 Projekttreffen GLOWA-Danube, München
- 17.-19.05.2005 GLOWA Statuskonferenz, Köln
- 11.07.2005 Projekttreffen GLOWA-Danube, München
- 30.11.-03.12.2005 Projekttreffen GLOWA-Danube, Linden

### 2006 / 2007

In den Jahren 2006 und 2007 wurden mehrere Telefonkonferenzen durchgeführt.

## Konferenzen

Die Arbeitsgruppe beteiligte sich an nationalen und internationalen Konferenzen und stellte dort das GLOWA-Danube Projekt mit Schwerpunkt Niederschlag vor. Hierzu gehörte das jährliche Treffen des Arbeitskreises Klima des Deutschen Geographentages in Eltville

(2004), in Bochum (2005) und in Passau (2006), die Eumetsat Meteorological Satellite Data User's Convergence in Prag (2004), in Dubrovnik (2005) und in Helsinki (2006) sowie das Jahrestreffen der European Geophysical Union (EGU) 2005, 2006 und 2007 in Wien. Ferner wurde das Projekt beim IPWG Treffen 2004 in Monterey vorgestellt. Im Einzelnen wurden die folgenden Vorträge/Präsentationen gehalten:

## **2004**

- Operational rainfall retrieval based on cloud microphysical properties. Meeting of the International Precipitation Working Group (IPWG), Monterey, CA, USA (Nauss, T., Reudenbach, C. and Bendix, J.).
- Determination of optical and microphysical properties from water clouds. COST 722 Expert meeting, Helsinki, Finland (Nauss, T. and Kokhanovsky, A.A.).
- Comparison of SACURA, ATSK3 and MOD06 cloud property retrievals. Meeting of the BBC2 working group, De Bilt, Netherlands (Nauss, T. and Kokhanovsky, A.A.).
- 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 (Nauss, T., Kokhanovsky, A.A., Cermak, J., Reudenbach, C. and Bendix, J.).
- Operational identification and visualisation of cloud processes for general aviation using multispectral data. 2004 Eumetsat Meteorological Satellite Conference, Prague, Czech Republic (Nauss, T., Reudenbach, C., Cermak, J. and Bendix, J.).
- A five year precipitation climatology in the DANUBIAN watershed based on Meteorological Satellite data. 2004 Eumetsat Meteorological Satellite Conference, Prague, Czech Republic (Reudenbach, C. and Nauss, T.).
- Precipitation retrieval for the severe European Summer Flooding 2002 using Meteorological Satellite Rapid Scan and Terra-MODIS data. Poster presentation. EGU Conference, Nizza (Nauss, T., Reudenbach, C. and Bendix, J.).

## **2005**

- Ein neues Verfahren zur satellitengestützten Erfassung der Niederschlagsfläche auf Basis optischer und mikrophysikalischer Wolkeneigenschaften. Meeting of the DGFg working group on climate, Bochum, Germany (Nauss, T.).
- Comparison of an optical and a passive microwave rainfall retrieval over north-western Africa. 2005 Eumetsat Meteorological Satellite Conference, Dubrovnik, Croatia (Thies, B., Diederich, M., Reudenbach, C., Nauss, T., Bendix, J., Schulz, J. and Simmer, C.).

## **2006**

- Discriminating raining from non-raining clouds at mid-latitudes using multispectral satellite data. The 2006 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Helsinki (Finland) (Nauss, T., Kokhanovsky, A.A. and Bendix, J.).
- Operational discrimination of raining from non-raining clouds in mid-latitudes using multispectral satellite data. European Geosciences Union General Assembly 2006, Vienna (Austria) (Nauss, T., Kokhanovsky, A.A. and Bendix, J.).
- Delineating raining from non-raining clouds from a satellite perspective. Research awards presentations of the Marburger Geographical Society, Marburg (Germany) (Nauss, T.).



- Process oriented rainfall rate assignment based on cloud properties. 2006 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Helsinki, (Finland) (Thies, B., Nauss, T., Reudenbach, C. and Bendix, J.).

## 2007

- Detection of high rain clouds using water vapour emission - transition from Meteosat first (MVIRI) to second generation (SEVIRI). European Geoscience Union General Assembly 2007, Vienna (Austria) (Nauss, T., Thies, B. and Bendix, J.).

## Veröffentlichungen

Im Zusammenhang mit den Arbeiten im GLOWA-Danube Projekt wurden folgende Arbeiten publiziert / eingereicht:

- REUDENBACH, C. und NAUSS, T.S (2004): A five year precipitation climatology in the DANUBIAN watershed based on Meteosat data. Eumetsat Meteorological Satellite Conference, Prague, Czech Republic.
- NAUSS, T., REUDENBACH, C., CERMAK, J. und BENDIX, J. (2004): Operational identification and visualisation of cloud processes for general aviation using multispectral data. Eumetsat Meteorological Satellite Conference, Prague, Czech Republic.
- KOKHANOVSKY, A.A., ROZANOV, V.V., NAUSS, T., REUDENBACH, C. und DANIEL, J.S., MILLER, H.L. und BURROWS, P. (2005): The semi-analytical cloud retrieval algorithm for SCIAMACHY. I. The validation. Atmospheric Chemistry and Physics Discussions 5/2, 1995-2015.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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, 989-1005.

- 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.
- KOKHANOVSKY, A.A. und NAUSS, T. (2006): Reflection and transmission of solar light by clouds: asymptotic theory. *Atmospheric Chemistry and Physics* 6, S. 5537-5545.
- KOKHANOVSKY, A.A., NAUSS, T., SCHREIER, M., VON HOYNINGEN-HUENE, W. und BURROWS, J.P. (2006): The intercomparison of cloud parameters derived using multiple satellite instruments. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* (in press).
- KOKHANOVSKY, A.A. und NAUSS, T. (2006): Reflection and transmission of solar light by clouds: asymptotic theory. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 6, 8301-8334, SRef-ID: 1680-7375/acpd/2006-6-8301.
- KOKHANOVSKY, A.A., ROZANOV, V.V., NAUSS, T., REUDENBACH, C., DANIEL, J.S., MILLER, H.L. und BURROWS, J.P. (2006): The semianalytical cloud retrieval algorithm for SCIAMACHY. I. The validation. *Atmospheric Chemistry and Physics* 6/7, S. 1905-1911.
- NAUSS, T. und KOKHANOVSKY, A.A. (2006): Discriminating raining from non-raining clouds at mid-latitudes using multispectral satellite data. *Atmospheric Chemistry and Physics* 6, 5031-5036, SRef-ID: 1680-7324/acp/2006-6-5031.
- 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, 1385-1398, SRef-ID: 1680-7375/acpd/2006-6-1385.
- NAUSS, T. und BENDIX, J. (2006): Extreme Windereignisse - Stürme, Hurricans, Tornados. In: FELGENTREFF and GLADE (Ed.): *Naturrisiken und Sozialkatastrophen - Grundlagen und Herausforderungen der Gefahren- und Risikoforschung* (in press).
- THIES, B., NAUSS, T., REUDENBACH, C. und BENDIX, J. (2006): Process oriented rainfall rate assignment based on cloud properties. *Proceedings of the 2006 EU-METSAT Meteorological Satellite Conference*, Helsinki, Finland.
- THIES, B., NAUSS, T., REUDENBACH, C. und BENDIX, J. (2006): Fortsetzung satellitenbasierter klimatologischer Niederschlagszeitreihen Meteosat-8 SEVIRI. In: *Veröffentlichungen des AK Fernerkundung 2006*. S. 111-122.
- THIES, B., NAUSS, T., REUDENBACH, C., CERMAK, J. und BENDIX, J. (2006): Teilprojekt Niederschlag/Fernerkundung - Mittlere Anzahl von Gewittertagen von Mai bis September der Jahre 1995-1999. In: *GLOWA-Danube-Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas Obere Donau, Kap.2.3*. Universität München, Dept. f. Geo- und Umweltwissenschaften.
- FRÜH, B., BENDIX, J., NAUSS, T., PAULAT, M., PFEIFFER, A., SCHIPPER, J.W., THIES, B. und WERNLI, H. (2007): Verification of precipitation from regional climate simulations and remote-sensing observations with respect to ground-based observations in the upper Danube catchment. *Meteorologische Zeitschrift* 16, S. 1-19.
- NAUSS, T. und KOKHANOVSKY, A.A. (2007): Assignment of rainfall confidence values using multispectral satellite data at mid-latitudes: First results. *Advances in Geosciences* 10, 99-102, SRef-ID: 1680-7359/adgeo/2007-10-99.

- NAUSS, T. (2007): 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.
- REUDENBACH, C., NAUSS, T. und BENDIX, J. (2007): Retrieving precipitation with GOES, Meteosat and Terra/MSG at the tropics and midlatitudes. In: LEVIZZANI, V., BAUER, P. und TURK, F.J. (Edt.): Measuring precipitation from space. Advances in Global Change Research Vol. 28. Springer
- THIES, B., NAUSS, T. und BENDIX, J. (2007): Discriminating raining from non-raining cloud areas at mid-latitudes using Meteosat Second Generation SEVIRI nighttime data. Meteorological Applications, eingereicht.
- THIES, B., NAUSS, T. und BENDIX, J. (2007): Detection of high rain clouds using water vapour emission - in transition from Meteosat first (MVIRI) to second generation (SEVIRI). Advances in Space Research, eingereicht.
- KOKHANOVSKY, A.A. und NAUSS, T. (2007): A simplified cloud retrieval algorithm: the forward model. Atmospheric Chemistry and Physics, eingereicht.
- THIES, B., NAUSS, T. und BENDIX, J. (2007): Discriminating raining from non-raining cloud areas at mid-latitudes using Meteosat Second Generation SEVIRI daytime data. Atmospheric Chemistry and Physics, eingereicht.
- THIES, B., NAUSS, T. und BENDIX, J. (2007): Process oriented rain area differentiation using Meteosat Second Generation SEVIRI nighttime data, first results. Advances in Geosciences, eingereicht.

## Ergebnisse

### Formulierte Ziele der Förderphase

Das Oberziel der meteorologischen Teilprojekte, welche in DANUBIA im Atmosphere-Paket zusammengefasst sind, ist die Bereitstellung realitätsnaher meteorologischer Parameter innerhalb des DANUBIA Modells. Das Teilprojekt Niederschlag/Fernerkundung hat dabei vor allem die Aufgabe, flächendeckende, raum-zeitlich hoch aufgelöste Niederschläge mit Hilfe von Fernerkundungsdaten zu liefern und im *AtmoSat* Objekt zur Verfügung zu stellen. Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen der zweiten Projektphase von Seiten des Teilprojekts Niederschlag/Fernerkundung folgende integrative, interdisziplinäre und sektorale Ziele verfolgt.

Als integrative Teilziele sind die Bereitstellung realitätsnaher Randbedingungen anhand von Satellitendaten für die in DANUBIA berechneten Szenarien der nahen Zukunft, die Analyse der Fehlerfortpflanzungen im Hinblick auf die Qualitätssicherung des DANUBIA-Systems sowie die Bereitstellung von „Freizeitwetter“ mit Informationen über Sonnenscheindauer und Niederschlagscharakteristik zu nennen.

Im Hinblick auf das *AtmoMM5* Objekt in DANUBIA wurde als interdisziplinäre Zielsetzung eine Verbesserung der MM5 Modellergebnisse durch die Assimilation von Satellitendaten und daraus abgeleiteten Produkten, die in Zusammenarbeit mit der Gruppe Meteorologie/MM5 (Egger) erfolgte, formuliert.

Das sektorale Teilziel des Projekts ist zum Einen die Weiterentwicklung und Qualitätsverbesserung des verwendeten Niederschlags-Retrievals. Zum Anderen ist die Entwicklung einer auf Fernerkundungsdaten basierenden, nicht-parametrischen Modellierung zukünftiger Niederschlagsmuster zu nennen. Eine Verbesserung der bereits bestehenden Advective Convective Technique ACT, (REUDENBACH et al. 2007) soll zunächst durch die Berücksichtigung mikrophysikalischer Wolkenparameter, deren Ableitung aufgrund der verbesserten spektralen

Auflösung von Meteosat-8 möglich ist, erfolgen. Des Weiteren ist in diesem Zusammenhang die Entwicklung einer operationellen Hybridtechnik aus Meteosat-8 und dem mikrowellenbasierten Aqua-AMSR-E Sensor vorgesehen. Die Entwicklung einer satellitengestützten Methode zum *Downscaling* der Meteosat-8 Daten auf die Auflösung der DANUBIA Proxel stellt eine weitere angestrebte Verbesserung des in DANUBIA implementierten Niederschlags-Retrievals dar.

## Integrative Arbeiten

Aufgrund der Konsensfindung innerhalb des GLOWAD-anube-Projekts in der zweiten Projektphase wurde die Verwendung einer in sich konsistenten, auf Modellierungsdaten beruhenden Meteorologie in DANUBIA mit einer verstärkten Ausrichtung auf längerfristige Szenarien der fernen Zukunft beschlossen. Aus diesem Grund hat sich die Priorität hinsichtlich der Verwendung der aus Satellitendaten abgeleiteten Niederschlagsinformationen auf die Validierung der modellierten Niederschlagsinformationen mit dem Ziel der Qualitätssicherung verschoben. Daher wurde auf eine statistische Zeitreihenanalyse der Meteosat-Daten zur Berechnung von Szenarien der nahen Zukunft verzichtet.

Zur Analyse der Fehlerfortpflanzungen im Hinblick auf die Qualitätssicherung des DANUBIA-Systems wurde in Kooperation mit der Meteorologie/MM5 (Egger) und der Meteorologie/Beobachtungsdaten (Wirth) eine Evaluierungsstudie der durch *AtmoMM5* und *AtmoSat* produzierten Niederschlagsfelder durchgeführt (FRÜH et al. 2007). Als Referenz kamen dabei Stationsmessungen im Einzugsgebiet mit einer täglichen und monatlichen Auflösung zum Einsatz. Insgesamt lässt sich festhalten, dass der mittlere monatliche Gebietsniederschlag im Einzugsgebiet durch beide Meteorologien gut wiedergegeben wird. Die räumlichen Muster des monatlichen Niederschlags, charakteristischerweise mit einem Maximum im Bereich des Alpenvorlandes, wurde lediglich durch *AtmoMM5* korrekt reproduziert. Hinsichtlich des täglichen Niederschlags zeigen beide Modelle Schwächen. Eine genauere Untersuchung des durch die hohe zeitliche Auflösung der Satellitendaten gegebenen Potentials von *AtmoSat* hinsichtlich der Erfassung der zeitlichen Niederschlagsdynamik steht aufgrund fehlender Stationsdaten in einer entsprechenden zeitlichen Auflösung noch aus.

Darüber hinaus wurden im Rahmen des Referenzlaufs für den Zeitraum 1995 bis 2000 und des Szenarienlaufs für den Zeitraum 2000 bis 2100 ebenfalls in Kooperation mit der Meteorologie/MM5 und der Meteorologie/Beobachtungsdaten ein Vergleich zwischen den drei im DANUBIA Atmosphäre-Paket implementierten Niederschlagsmeteorologien *AtmoMM5*, *AtmoSat* und *AtmoStations* (interpolierte Stationsdaten) durchgeführt.

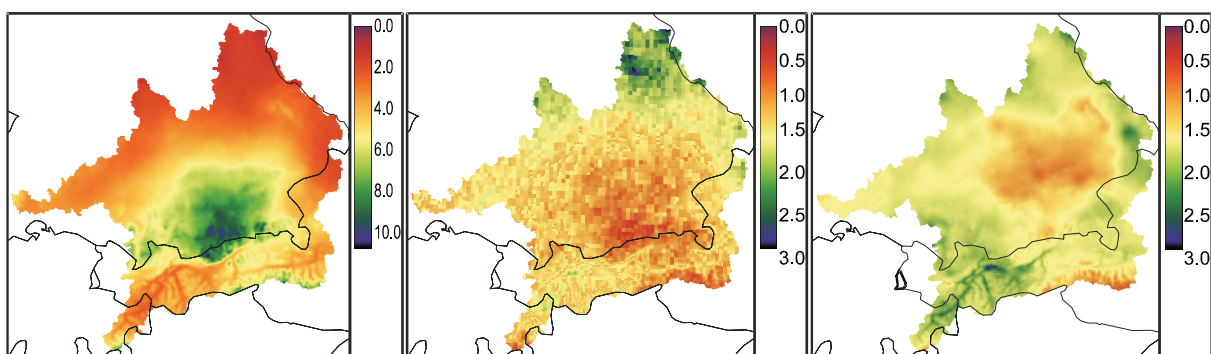


Abb. 1: Mittlerer täglicher Niederschlag [mm] für *AtmoMM5* für Mai 1999 (a); Bias *AtmoSat-AtmoMM5* ( $=AtmoSat/AtmoMM5$ ) für Mai 1999 (b); Bias *AtmoStations-AtmoMM5* ( $=AtmoStations/AtmoMM5$ ) für Mai 1999 (c)

Abbildung 1a 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 1b und 1c sind der Bias, die jeweiligen prozentualen Abweichungen zwischen *AtmoMM5* und *AtmoSat* (1b) bzw. *AtmoStations* (1c) dargestellt. Trotz der höheren Nieder-



schlagsmenge im nordöstlichen Teil ergibt sich für *AtmoSat* ein insgesamt leicht trockenere 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*.

In Abbildung 2 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 *AtmoStations* 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 *AtmoStations* und *AtmoSat*. Davon ausgenommen sind die in *AtmoStations* feuchteren Gebiete im Südwesten und im Südosten. Der durch *AtmoSat* im Vergleich zu den beiden übrigen Modellen 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. Dagegen spricht die ungleichmäßige Verteilung in *AtmoMM5* für eine Überschätzung der orographischen Niederschläge, wofür die allgemeine Problematik von Meso- skala-Modellen bezüglich orographischer Niederschläge verantwortlich gemacht werden kann.

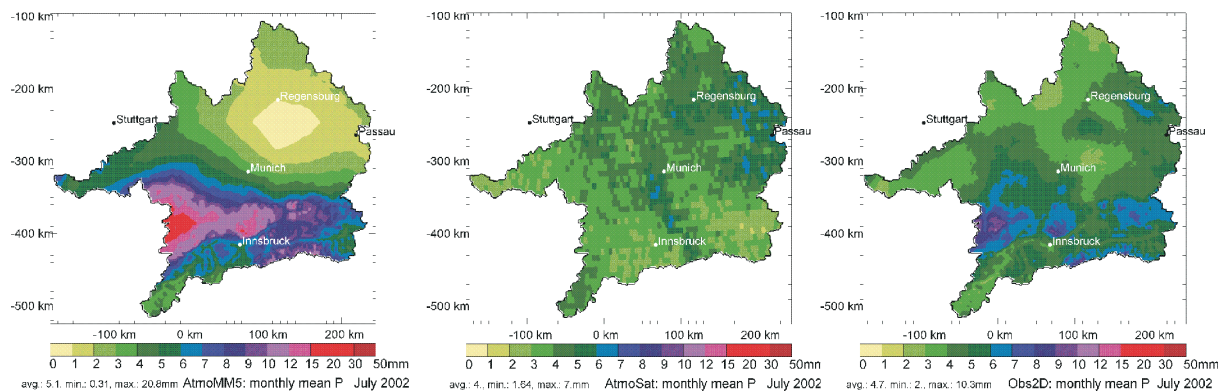


Abb. 2: Täglicher mittlerer Niederschlag [mm] für *AtmoMM5*, *AtmoSat* und *AtmoStations* für Juli 2002

Abbildung 3 zeigt die räumliche Verteilung des mittleren täglichen Niederschlags im August 2002. Insgesamt ist eine große Ähnlichkeit zwischen *AtmoStations* 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 *AtmoStations*. Für den nordöstlichen Bereich des Einzugsgebietes ist die Ähnlichkeit zwischen *AtmoSat* und *AtmoStations* 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.

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 zeitlich und räumlich begrenzter Niederschlagsereignisse, wie sie vermehrt



im Juli aufgetreten sind, 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. Für diese Fälle sind die Unterschiede zwischen den drei Modellen am größten. Für ausgedehnte 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 *AtmoStations* 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.

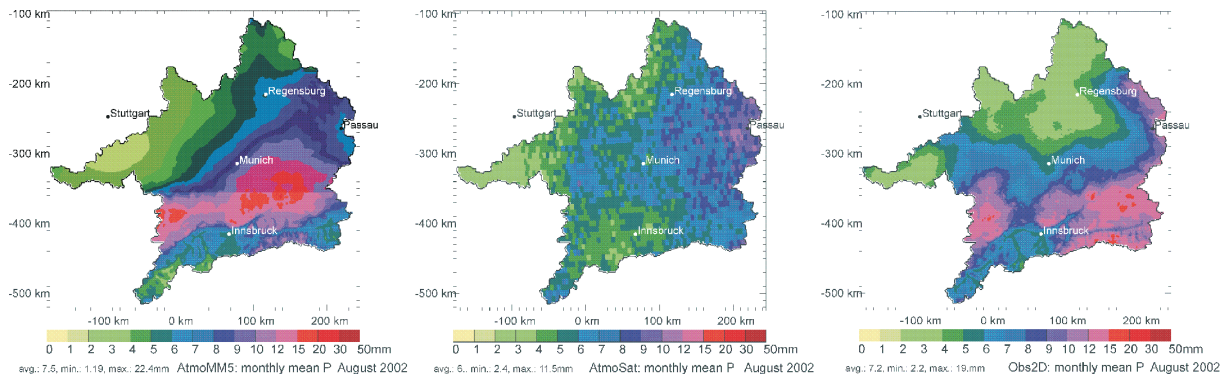


Abb. 3: Täglicher mittlerer Niederschlag [mm] für *AtmoMM5*, *AtmoSat* und *AtmoStations* für August 2002

## Realisierung in DANUBIA

### Atmosphäre-Paket

Die Grundstruktur des DANUBIA Atmosphäre-Paketes (Abb. 4 bis 6), 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.

Die von den Gruppen Tourismus (Schmude) und Agrarökonomie (Dabbert) benötigten Parameter zur Sonnenscheindauer und der Niederschlagscharakteristik (kurze Schauer, langanhaltender Nieselregen etc.) wurden im Atmosphäre-Paket implementiert. Darüber hinaus wurden, den Anforderungen der Gruppe Tourismus und Agrarökonomie entsprechend, die tägliche und monatliche Niederschlagssumme, die Niederschlagssumme zwischen 4:00 und 8:00 Uhr, die tägliche minimale Feuchttemperatur sowie die täglichen und monatlichen Temperaturminima und -maxima ebenfalls im Atmosphäre-Paket implementiert.

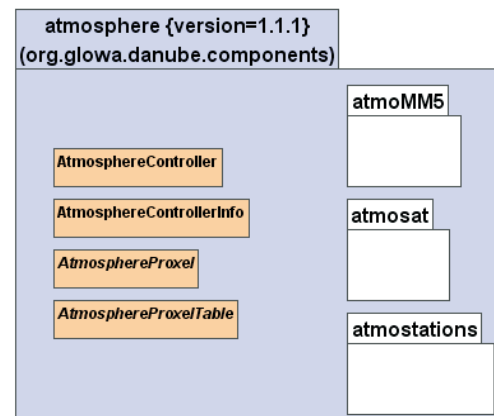


Abb. 4: DANUBIA 1.0.0 Atmosphäre Paket

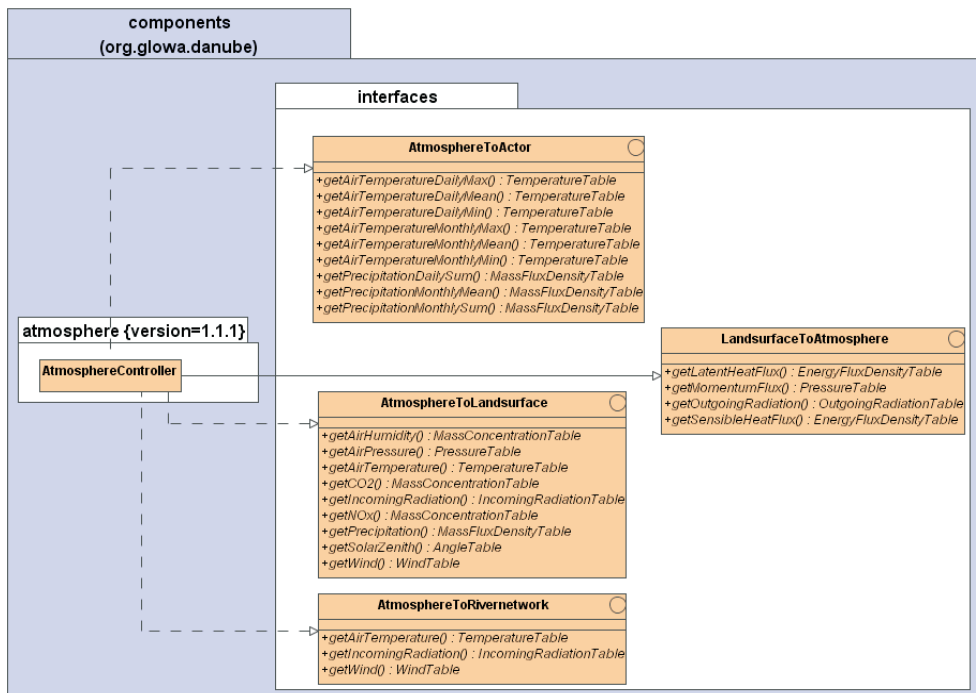


Abb. 5: DANUBIA 1.0.0 Atmosphere Controller externe Schnittstellen

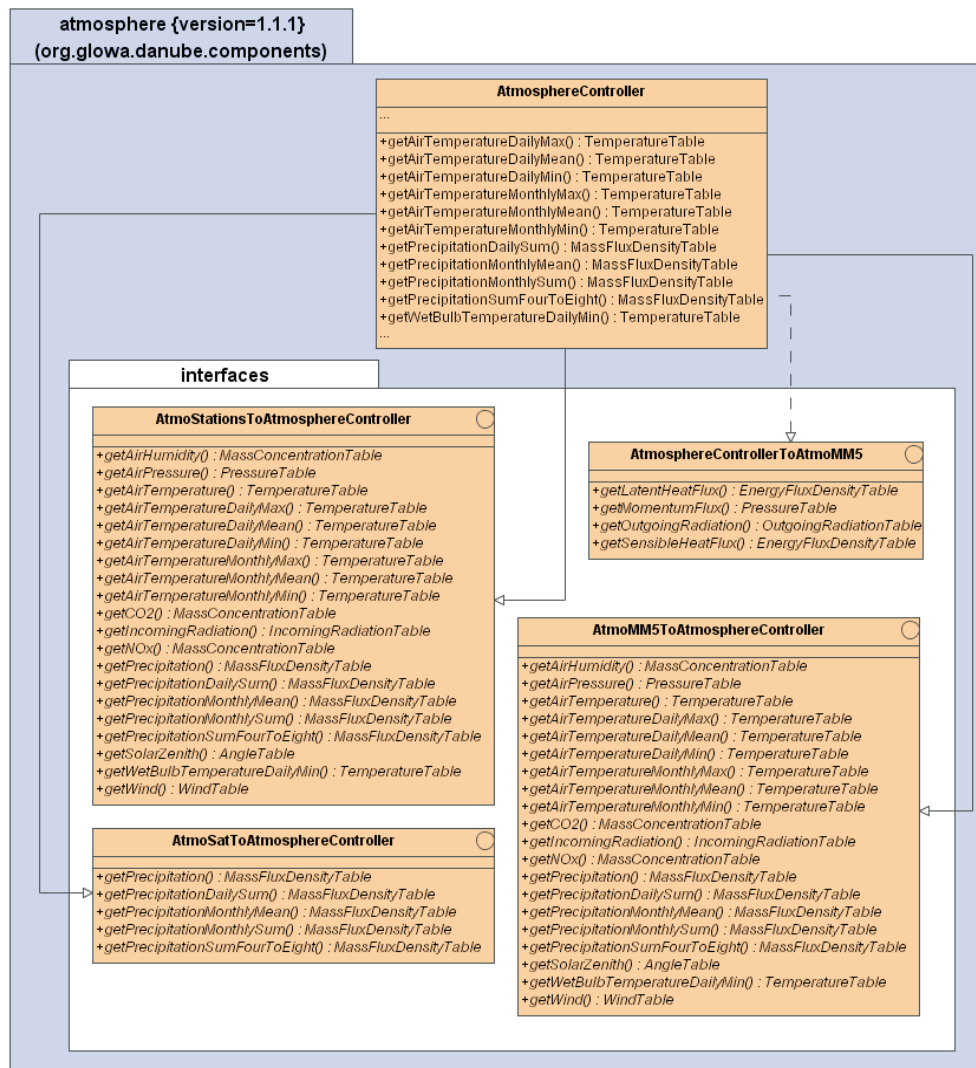


Abb. 6: DANUBIA 1.0.0 Atmosphere Controller interne Schnittstellen

## AtmoSat-Objekt

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. 7). 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. 9). Um die Datenanforderungen der Gruppen Tourismus und Agrarökonomie 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. 8). Alle übrigen Veränderungen (v.a. Weiterentwicklung des Niederschlagsretrievals) wurden im Fortran-Code durchgeführt.

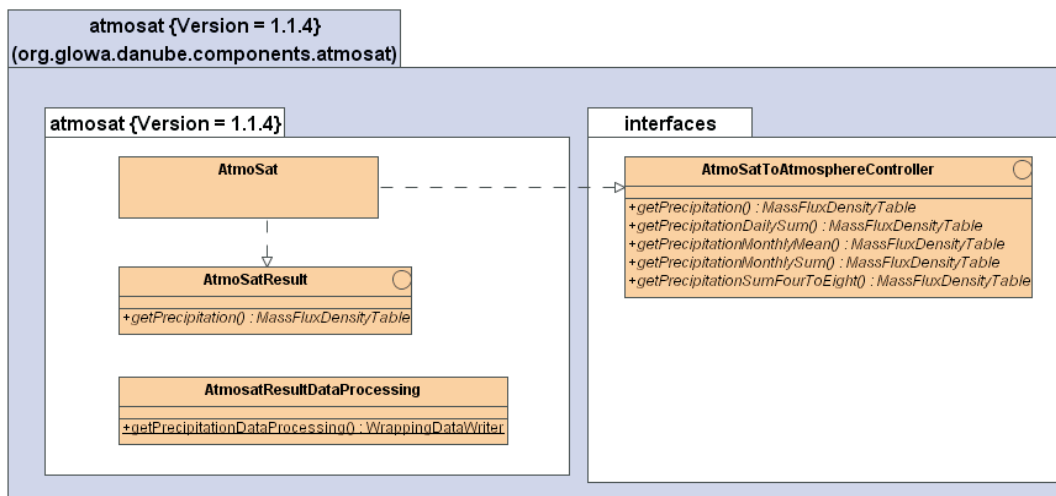


Abb. 7: DANUBIA 1.0.0 *AtmoSat*-Teilmodell

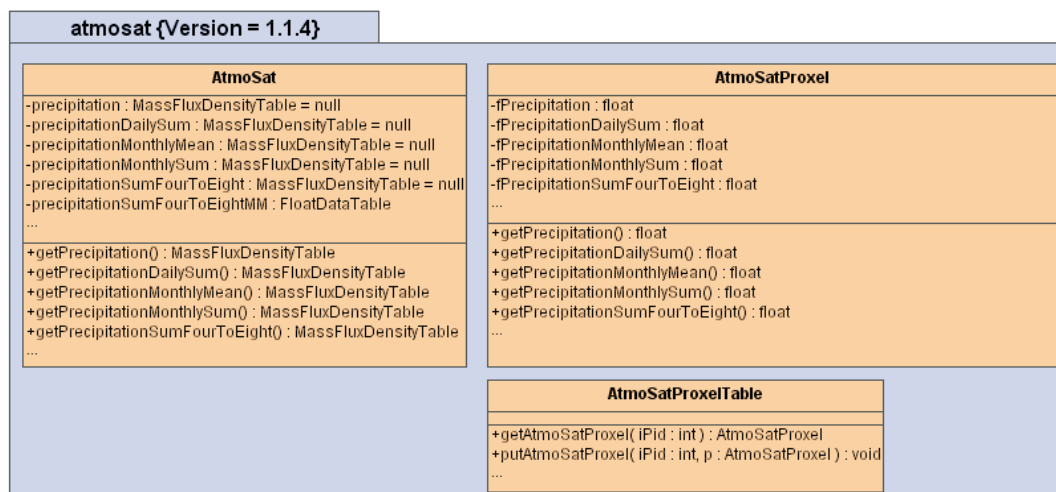


Abb. 8: DANUBIA 1.0.0 implementierte Methoden im *AtmoSat*-Teilmodell

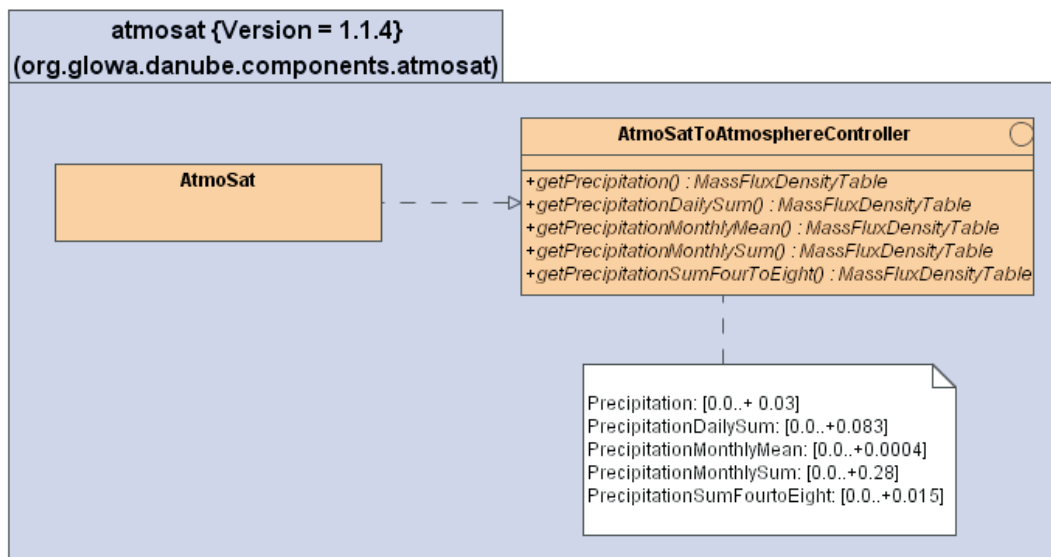


Abb. 9: DANUBIA 1.0.0 Schnittstellenspezifikation für das *AtmoSat*-Teilmodell

### 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.

Für den operationellen Datenempfang, die Weiterverarbeitung zu Produkten sowie die Speicherung sämtlicher Daten wurde innerhalb der Arbeitsgruppe eine Prozessierungskette sowohl für Meteosat-8 als auch für Terra-/Aqua-MODIS entwickelt, die eine Wolkenmaske, eine Nebelmaske, zwei Verfahren zur Ableitung optischer Wolkeneigenschaften sowie zwei Verfahren zur Niederschlagsableitung beinhaltet. Die operationelle Produktprozessierung wird auf einem Europa umfassenden Ausschnitt durchgeführt. Die Daten werden in dem aus Projektmitteln angeschafften DVD-Jukebox-System archiviert. Neben der DVD-Archivierung werden die Daten zusätzlich auf einem RAID-5-Server vorgehalten. Die für die Datenassimilierung in MM5 benötigten Satellitendaten sowie die daraus abgeleiteten Produkte (Wolkentypen, optische und mikrophysikalische Wolkeneigenschaften, u.a.), die zu einer Verbesserung der Modellergebnisse beitragen sollen, stehen somit zur Verfügung.

Hinsichtlich der Optimierung der Parametrisierungseinstellungen in *AtmoMM5* 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 km 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.

### Sektorale Arbeiten

Angesichts der in der Evaluierungsstudie mit den Modell- und Stationsdaten identifizierten Schwächen des ACT Algorithmus hinsichtlich advektiv induzierter Niederschläge und vor

dem Hintergrund der im Vergleich mit den Satellitendaten gröberen Auflösung der beiden anderen in DANUBIA implementierten Meteorologien (45km MM5, ~10km Stationsabstand *AtmoStations*) wurde das Hauptaugenmerk zunächst auf die Verbesserung des bestehenden Niederschlagsretrievals gelegt und die Entwicklung eines satellitengestützten Verfahrens zum *Downscaling* der verwendeten Meteosat Daten zurückgestellt.

Die Weiterentwicklung und Verbesserung des bestehenden Niederschlagsretrieval umfasste zunächst eine Übertragung der ACT von Meteosat-7 auf Meteosat-8. Des Weiteren wurde das Verfahren zur verbesserten Abgrenzung der Niederschlagsfläche von Terra-/Aqua-MODIS auf Meteosat-8 übertragen und erweitert, sowie ein analoges Verfahren zur verbesserten Abgrenzung der Niederschlagsfläche bei Nacht neu entwickelt.

Im Hinblick auf die zu entwickelnde Hybridtechnik beteiligte sich die Arbeitsgruppe am Advanced Multisensor Precipitation Estimate Programm der Eumetsat. In diesem Zusammenhang wurde bei der Weiterentwicklung des Niederschlagsretrievals besonderer Wert auf eine mögliche Kopplung mit mikrowellenbasierten Sensoren gelegt.

## **Daten**

### **Satellitengestützte Fernerkundungsdaten**

Zur Niederschlagsableitung wurden folgende satellitengestützten Daten verwendet:

1. Meteosat-7 MVIRI
2. Meteosat-8 SEVIRI
3. Terra MODIS
4. Aqua MODIS

Die Daten von Meteosat-8 sowie Terra und Aqua werden auf der zur Grundausstattung gehörenden Marburg Satellite Station empfangen und operationell verarbeitet. Die für die Modellvalidierung sowie für DANUBIA Referenzszenarien notwendigen langen Zeitreihen von Meteosat-7 Daten (1995-2003) wurden soweit vorhanden für die Jahre 1995-1999 durch das Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung zur Verfügung gestellt. Seit der Umstellung der Archivarchitektur der Eumetsat 2003 ist auch über diese ein Bezug von langen Zeitreihen möglich. Die Lieferung der Daten geschieht rückwirkend und paketweise, so dass bisher die Zeitreihen auf Basis der Eumetsat Daten zwischen 1998 und 2004 geschlossen sind. Seit 2004 stehen die Daten des neuen Meteosat-8-Systems zur Verfügung. Die MODIS Daten dienen der Substitution der noch nicht verfügbaren Meteosat-8 Daten.

### **Mess- und Modelldaten**

Zur Validierung des Niederschlagsretrievals wurden aus der Grundausstattung erworbene Daten des DWD-Radarverbundes sowie die durch die Projektkoordination beschafften Stationsdaten des DWD herangezogen. Zudem wurde auf die Ergebnisse des *AtmoMM5* und *AtmoStations*-Modell zurückgegriffen. Aufgrund der Beteiligung an der Messkampagne im Frühsommer 2003 in Cabauw standen die aufgenommenen und ausgewerteten Datensätze der anderen BBC 2 Projektgruppen ebenfalls zur Verfügung. Gleiches gilt für Messungen im Rahmen der COST 719 und 722 aus Payerne und Lindenberg.



## Modellentwicklung

### Entwicklung operationeller Niederschlagsretrieval

Hinsichtlich der Erweiterung und Verbesserung des bestehenden Niederschlags-Retrievals sowie bezüglich der Produktkontinuität innerhalb DANUBIA war zunächst die Übertragung der bestehenden ACT von Meteosat-7 auf Meteosat-8 nötig.

Die für Meteosat-7 entwickelte ACT basiert auf positiven Temperaturdifferenzen zwischen dem Wasserdampf- (WV) und dem Infrarot-Kanal (IR) (DTWV/IR), durch welche die Erkennung konvektiver Kerne ermöglicht wird. In diesem Zusammenhang ist die verbesserte spektrale Auflösung von Meteosat-8 von besonderem Interesse, da nun zwei WV-Kanäle (WV6.2: 5.35-7.15  $\mu\text{m}$ ; WV7.3: 6.35-7.85  $\mu\text{m}$ ) sowie zwei IR-Kanäle (IR10.8: 9.8-11.8  $\mu\text{m}$ ; IR12.1: 11.0 -13.0  $\mu\text{m}$ ) zur Verfügung stehen, im Gegensatz zu jeweils einem WV- und einem IR-Kanal auf Meteosat-7. Zur Überprüfung der Übertragbarkeit der ACT wurde daher das Phänomen positiver DTWV/IR für die WV- und IR-Kanäle von Meteosat-8 untersucht (THIES et al. 2007a; THIES et al. 2006b). Mittels Strahlungstransferrechnungen konnte die Existenz positiver DTWV/IR für die verschiedenen WV-IR-Kanalkombinationen und somit die Übertragbarkeit der ACT belegt werden (s. Abb. 10). Eine Vergleichsstudie zwischen dem alten und dem neuen System ergab, dass die WV7.3  $\mu\text{m}$  -IR12.1  $\mu\text{m}$  -Kanalkombination von Meteosat-8 die auf den Meteosat-7 basierenden Ergebnisse der ACT am besten reproduziert. Angesichts der erfolgreichen Übertragung der ACT auf Meteosat-8 ist die Produktkontinuität gewährleistet und die Basis für eine Weiterentwicklung des bestehenden Verfahrens basierend auf der verbesserten spektralen Auflösung von Meteosat-8 geschaffen.

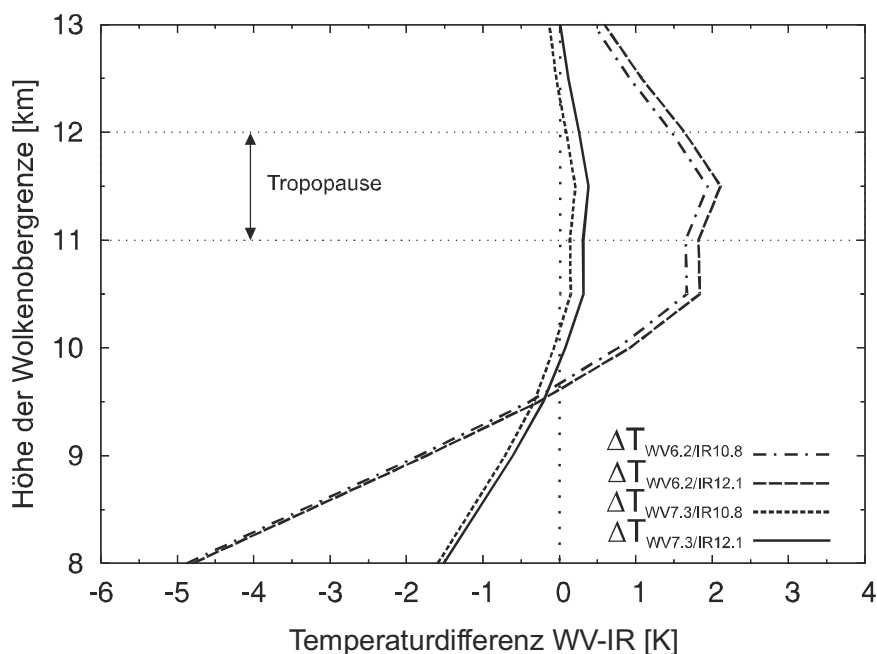


Abb. 10: DTWV/IR für jede WV-IR-Kanalkombination von SEVIRI als Funktion der Wolkenobergrenze

Im Hinblick auf die Weiterentwicklung und Verbesserung der bestehenden ACT besitzt vor allem die Berücksichtigung optischer und mikrophysikalischer Wolkeneigenschaften ein großes Potential. In diesem Zusammenhang ist die Entwicklung des Rain Area Delineation Scheme RADS (NAUSS 2007; NAUSS und KOKHANSKY 2007) für Terra-MODIS 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 2007). Das dahinter stehende konzeptionelle Mo-

dell beruht auf der Vorstellung, dass niederschlagswirksame Wolkenbereiche eine ausreichend große Kombination aus vertikaler Mächtigkeit und Tropfengröße benötigen (LENSKY et al. 2003; NAUSS und KOKHANOVSKY 2006). 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 Eiskolkeneigenschaften aus absorbierenden Kanälen gestattet (KOKHANOVSKY und NAUSS 2006).

Die Übertragung und Anpassung von RADS von MODIS auf Meteosat-8 ist abgeschlossen. Bis SLALOM zur Verfügung steht, werden anstelle des effektiven Tropfenradius und der optischen Wolkendicke aus SACURA die zu den Berechnungen verwendeten Kanäle direkt herangezogen. Zur besonderen Berücksichtigung der Eisphase werden zusätzlich die beiden Kanaldifferenzen zwischen 8.7  $\mu\text{m}$  und 10.8  $\mu\text{m}$  sowie 10.8  $\mu\text{m}$  und 12.1  $\mu\text{m}$  herangezogen (vgl. STRABALA et al. 1994). Umfangreiche Evaluierungsstudien gegen Radardaten bestätigen die bereits für MODIS erzielten deutlichen Verbesserungen im Vergleich zur bestehenden ACT. Abbildung 11 zeigt eine Beispielszene vom 12. Januar 2004. Man erkennt deutlich die Unterschätzung der Niederschlagsfläche durch die ACT (Abb. 11a) und die Verbesserung durch RADS-D (Abb. 11b).

Basierend auf der verbesserten Abgrenzung der Niederschlagsfläche mittels optischer und mikrophysikalischer Wolkeneigenschaften für Tagszenen (RADS-D) wurde das neue Rain Area Delineation Scheme during Night-time (RADS-N) entwickelt (THIES et al. 2007b). Im Gegensatz zu den Tagszenen stehen die solaren Kanäle zur expliziten Berechnung der optischen und mikrophysikalischen Wolkeneigenschaften nachts nicht zur Verfügung. Daher wurden die emissiven Kanäle von Meteosat-8 SEVIRI hinsichtlich ihres potentiellen Informationsgehaltes zu den genannten Wolkeneigenschaften und deren Eignung für eine zuverlässige Abgrenzung der Niederschlagsfläche eingehend analysiert. Es konnte gezeigt werden, dass die Kanaldifferenzen 3.9-7.3  $\mu\text{m}$ , 3.9-10.8  $\mu\text{m}$ , 8.7-10.8  $\mu\text{m}$  und 10.8-12.1  $\mu\text{m}$  implizite Informationen über die Wolkeneigenschaften enthalten, die erfolgreich für die Abgrenzung der Niederschlagsfläche genutzt werden können. Die Abgrenzung selbst erfolgt anhand von Regenkonfidenzen, die in einem Vergleich der genannten Kanaldifferenzen mit bodengebundenen Radardaten des Deutschen Wetterdienstes berechnet wurden. Eingehende Evaluierungsstudien des neu entwickelten Verfahrens im Rahmen einer Examensarbeit (Herr Andreas Turek) zeigen deutliche Verbesserungen bezüglich der Abgrenzung regnender Wolkenflächen, speziell in ausgedehnten stratiformen Wolkenfeldern, im Vergleich zur bestehenden ACT. Abbildung 12 zeigt eine Beispielszene vom 31. Mai 2004. Man erkennt deutlich die Unterschätzung der Niederschlagsfläche durch die ACT (Abb. 12a) und die Verbesserung durch RADS-D (Abb. 12b).

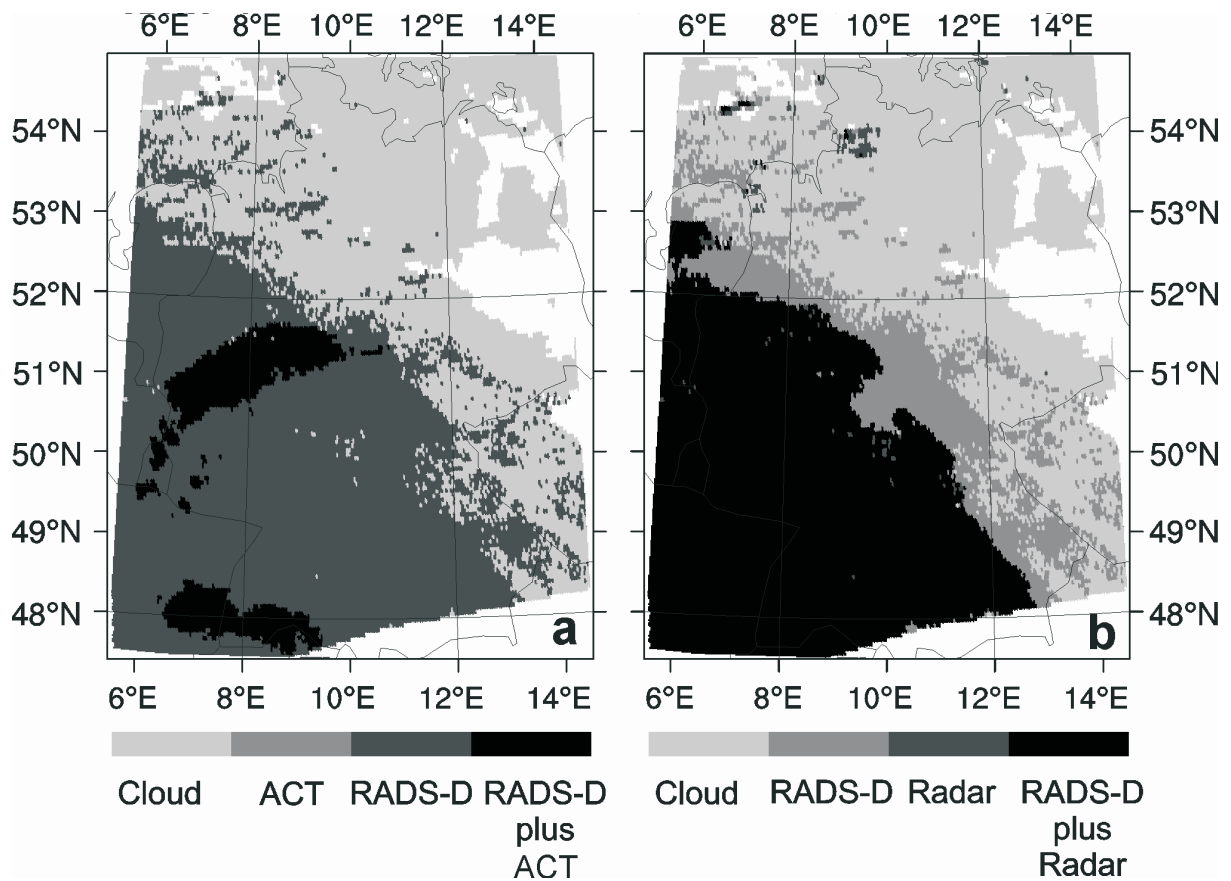


Abb. 11: Erfasste Niederschlagsfläche für die Szene vom 12. Januar 2004 12:45 UTC. Abbildung 11a zeigt die durch die ACT und RADS-D erfasste Niederschlagsfläche, Abbildung 11b die durch RADS-D und den Radardaten detektierte Niederschlagsfläche

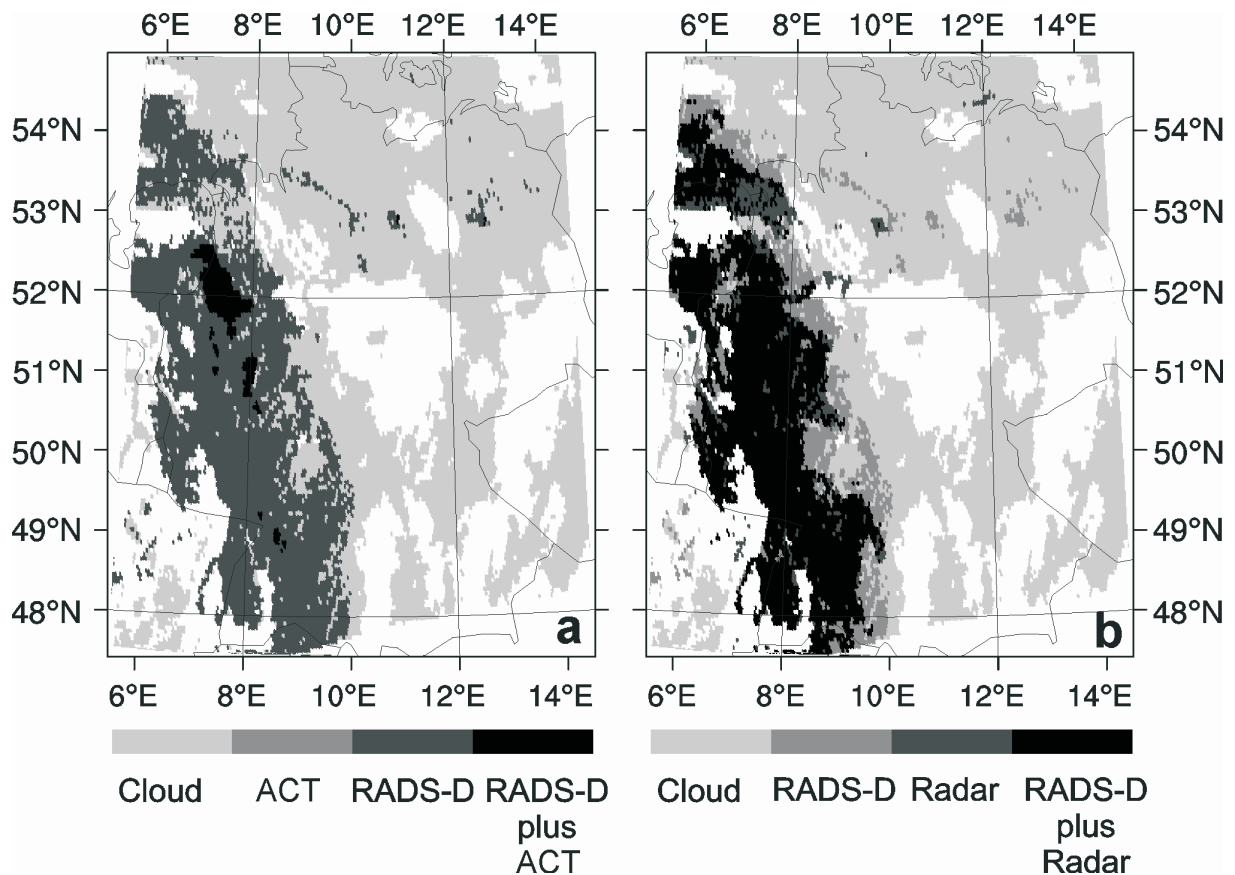


Abb. 12: Erfasste Niederschlagsfläche für die Szene vom 31. Mai 2004 00:45 UTC. Abbildung 12a zeigt die durch die ACT und RADS-D erfasste Niederschlagsfläche, Abbildung 12b die durch RADS-D und den Radardaten detektierte Niederschlagsfläche

Erste Vorstudien haben gezeigt, dass die mikrophysikalischen und optischen Wolkeneigenschaften eine Unterteilung der Niederschlagsfläche in Bereiche unterschiedlicher Intensitäten gestatten (THIES et al. 2006a). Darüber hinaus erlaubt die Kopplung von ACT und RADS-D und RADS-N eine prozessorientierte Differenzierung der Niederschlagsfläche in konvektiv und advektiv dominierte Niederschlagsflächen unterschiedlicher Intensität. Daher erfolgt in einem nächsten Schritt, basierend auf den gefundenen Zusammenhängen, die Neuentwicklung eines verbesserten Verfahrens zur Niederschlagsratenzuweisung für Meteosat-8.

Das weiterentwickelte und verbesserte Niederschlagsretrieval (bestehend aus ACT und RADS) stellt die Grundlage für die Entwicklung eines hybriden Niederschlagsretrievals dar. Hinsichtlich des zu entwickelnden Morphing-Algorithmus zwischen optischen Sensoren und Mikrowellensensoren konnte im Zuge der Entwicklung von RADS gezeigt werden, dass eine erfolgreiche Abgrenzung der Niederschlagsfläche mittels Regenkonfidenzen möglich ist. Die Berechnung von Regenkonfidenzen im Vergleich der in RADS verwendeten Produkte und Kanaldifferenzen mit den durch die Mikrowellensensoren detektierten Niederschlagsflächen stellt demzufolge einen vielversprechenden Ansatz dar, der im Rahmen des Advanced Multi-sensor Precipitation Estimate (AMPE) Programms der Eumetsat, an dem die Arbeitsgruppe aktiv beteiligt ist, weiterverfolgt wird. Im Rahmen einer 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 nicht-parametrischen Niederschlagsmodells auf Basis flächendeckender Niederschlagsinformationen aus Satellitenretrievals nach dem Ansatz von SHARMA (2000a, 2000b) sowie SHARMA et al. (2000) hat sich für Mittelbreiten als nicht durchführbar erwiesen.

## **Zusammenfassung**

Die im Antrag zur zweiten Projektphase angestrebten Ziele konnten überwiegend erfüllt werden. Die Analyse der Fehlerfortpflanzungen im Hinblick auf die Qualitätssicherung des DANUBIA-Systems, insbesondere bezüglich des MM5-Modells, wurde im Rahmen umfangreicher Evaluierungsstudien durchgeführt. Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass *Atmo-MM5* gut für die Erfassung der räumlichen Muster des monatlichen Niederschlags sowie des täglichen Niederschlags geeignet ist. 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. Die Bereitstellung von „Freizeitwetter“-Informationen mit Angabe von Sonnenscheindauer und Niederschlagscharakteristik im Atmosphere-Paket wurde realisiert.

Die für die Datenassimilierung in MM5 benötigten Satellitendaten und daraus abgeleitete Produkte, die zu einer Verbesserung der Modellergebnisse beitragen, sind in den Prozessketten zur Verarbeitung der Satellitendaten implementiert und stehen zur Verfügung.

Die unter dem Gesichtspunkt der Produktkontinuität notwendige Übertragung der ACT auf Meteosat-8 konnte erfolgreich realisiert werden. Durch die Entwicklung von SACURA sowie RADS-D und RADS-N konnte das bestehende Niederschlagsretrieval unter Berücksichtigung mikrophysikalischer und optischer Wolkeneigenschaften 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. Dabei kann auf den im Rahmen der Entwicklung von RADS gewonnenen Erkenntnisse aufgebaut werden.



## Literatur

- BAUER, P., BUROSE, D. und SCHULZ, J. (2002): Rain detection over land surface using passive microwave data. *Meteorologische Zeitschrift* 11, S. 37-48.
- FRÜH, B., BENDIX, J., NAUSS, T., PAULAT, M., PFEIFFER, A., SCHIPPER, J.W., THIES, B. und WERNLI, H. (2007): Verification of precipitation from regional climate simulations and remote-sensing observations with respect to ground-based observations in the upper Danube catchment. *Meteorologische Zeitschrift* 16, S. 1-19.
- 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., 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  $\mu\text{m}$  spectral region. - *Journal of Geophysical Research* 108: AAC 4-1-AAC 4-19.
- 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., 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.
- KOKHANOVSKY, A.A. und NAUSS, T. (2006): Reflection and transmission of solar light by clouds: asymptotic theory. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions* 6, 8301-8334, SRef-ID: 1680-7375/acpd/2006-6-8301.
- 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.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. S4043-4059.
- 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 KOKHANOVSKY, A.A. (2006): Discriminating raining from non-raining clouds at mid-latitudes using multispectral satellite data. *Atmospheric Chemistry and Physics* 6, 5031-5036, SRef-ID: 1680-7324/acp/2006-6-5031.
- NAUSS, T. (2007): 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.
- 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. (2007): Retrieving precipitation with GOES, Meteosat and Terra/MSG at the tropics and midlatitudes. In: Levizzani, V., P. Bauer & F. J. Turk (Edt.): *Measuring precipitation from space. Advances in Global Change Research* Vol. 28. Springer.



- SHARMA, A. (2000a): Seasonal to interannual rainfall probabilistic forecasts for improved water supply management: Part 1 - A strategy for system predictor identification. *Journal of Hydrology* 239, S. 232-239.
- SHARMA, A. (2000b): Seasonal to interannual rainfall probabilistic forecasts for improved water supply management: Part 3 - A nonparametric probabilistic forecast model. *Journal of Hydrology* 239, S. 249-258.
- SHARMA, A., LUK, K. C., CORDERY, I. und LALL, U. (2000): Seasonal to interannual rainfall probabilistic forecasts for improved water supply management: Part 2 - Predictor identification of quarterly rainfall using ocean-atmosphere information. *Journal of Hydrology* 239, S. 240-248.
- STRABALA, K.I., ACKERMAN, S.A., und MENZEL, W.P. (1994): Cloud Properties Inferred from 8-12- $\mu$ m Data. *Journal of Applied Meteorology*. 33: S. 212-229.
- 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.
- THIES, B., NAUSS, T., REUDENBACH, C. und BENDIX, J. (2006a): Process oriented rainfall rate assignment based on cloud properties. *Proceedings of the 2006 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference*, Helsinki, Finland.
- THIES, B., NAUSS, T., REUDENBACH, C. und BENDIX, J. (2006b): Fortsetzung satellitenbasierter klimatologischer Niederschlagszeitreihen Meteosat-8 SEVIRI. In: *Veröffentlichungen des AK Fernerkundung 2006*. S. 111-122.
- THIES, B., NAUSS, T. und BENDIX, J. (2007a): Detection of high rain clouds using water vapour emission - in transition from Meteosat first (MVIRI) to second generation (SEVIRI). *Advances in Space Research*, eingereicht.
- THIES, B., NAUSS, T. und BENDIX, J. (2007b): Discriminating raining from non-raining cloud areas at mid-latitudes using Meteosat Second Generation SEVIRI nighttime data. *Meteorological Applications*, eingereicht.



# Integration wassermengen- und wasserqualitätsrelevanter technischer Strukturen und Detektion von Überlastungen in oberirdischen Gewässern

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

## 1. Einleitung

Ziel des Teilprojektes Oberflächengewässer im Rahmen des interdisziplinären GLOWA-Danube-Projekts ist die Modellierung der natürlichen und anthropogen beeinflussten oberirdischen Wasserflüsse sowie die Modellierung von Wasserbeschaffensparametern im Einzugsgebiet der Oberen Donau.

Der vorliegende Endbericht zur zweiten Phase beinhaltet einen organisatorischen Überblick, die Vorstellung der *Rivernetwork*-Komponente mit den im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten, sowie entsprechende Auswertungen.

Im Berichtszeitraum liegt der Schwerpunkt auf der Berücksichtigung technischer Strukturen, da diese wesentlichen Einfluss auf die Wassermenge und die Wasserbeschaffenheit in dem anthropogen stark geprägten Untersuchungsgebiet ausüben. Im Einzelnen werden die Einflüsse von Talsperren/Hochwasserrückhalteräumen, Überleitungen, Deichen, Wehren sowie von Siedlungsentwässerungsnetzen modelliert. Vor dem Hintergrund der vorliegenden Modellierungsskala und der verfügbaren Daten werden vereinfachte Modellierungsansätze gewählt. Die Teilmodelle werden sektoral und, soweit möglich, integrativ validiert.

Die einzelnen Teilmodule werden dem Gesamtmodell GLOWA-Danube in Form der *Rivernetwork*-Komponente zur Verfügung gestellt und weisen Schnittstellen zu den Hauptkomponenten *Landsurface*, *Groundwater*, *Atmosphere* und *Actor* auf.

Ausgabegrößen der *Rivernetwork*-Komponente sind Zeitreihen von Abflüssen, Wasserständen, Fließgeschwindigkeiten, Wassertemperaturen sowie von Wasserinhaltsstoffen für die Proxel des Gewässernetzes der Oberen Donau. Darüber hinaus werden die Belastungen und Überlastungen der einzelnen Komponenten erfasst und ausgegeben.

Das Teilprojekt Oberflächengewässer wird nach Beendigung der zweiten Projektphase leider nicht fortgeführt. Die Arbeitsgruppe kann daher weder bei einer integralen Validierung unter Berücksichtigung der aktuellen Implementierung der *Rivernetwork*-Komponente und des DANUBIA-Gesamtmodells, noch bei der Parametrisierung, Durchführung und Auswertung zukünftiger Szenarienläufe mitwirken. Der letzte integrative GLOWA-Danube-Lauf des DANUBIA-Systems wurde zum Ende des Berichtszeitraums 2005 im Februar 2006 durchgeführt. Die in den folgenden Kapiteln dargestellten Auswertungen zu Unterkomponenten des Teilprojekts Oberflächengewässer basieren auf sektoral hier durchgeführten Modellierungen, die auf Daten vorangegangener DANUBIA-Läufe oder auf gemessenen Daten aufsetzen. Die Ergebnisse zeigen die Stabilität der implementierten Komponenten, die Einhaltung der zu erwartenden Wertebereiche sowie die erfolgreiche Abbildung der modellierten Situationen.

## 2. Organisatorisches

### 2.1 Personal

Folgende Personen sind im Berichtszeitraum Januar 2004 – Februar 2007 an dem Projekt beteiligt:

- Dr. Winfried Willems
- Dipl.-Math. Georg Kasper
- Dipl.-Geogr. Peter Klotz
- Cand. Ing. Carola Schmidt
- Dipl.-Ing. Konstantin Stricker
- Dipl. Hydr. Astrid Zimmermann

Winfried Willems leitet das Projekt und ist zuständig für statistische Auswertungen. Georg Kasper pflegt und erweitert die Wasserfluss- und Wasserbeschaffenheitsmodule der *River-network*-Komponente, generiert die Kanalnetze und ist gemeinsam mit Winfried Willems zuständig für Fehlerbetrachtungen. Konstantin Stricker ist zuständig für die Berücksichtigung von Wehren und Deichen, die Erstellung der Kläranlageneinzugsgebiete sowie für spezielle GIS-Fragestellungen. Peter Klotz implementiert und parametrisiert das Talsperren- sowie das Wasserüberleitungsmodell und erstellt zusammen mit Astrid Zimmermann und Winfried Willems die Beiträge des Teilprojektes zum Global Change Atlas des GLOWA-Danube-Projekts. Carola Schmidt ist zuständig für Daten- und Literaturbeschaffungen.

### 2.2 Interne Projekttreffen

Die internen Projekttreffen mit Beteiligung des IAWG sind:

- 17.-18.03.2004            Entwicklertreffen, München (Kasper, Stricker)
- 17.05.2004              Projektleitermeeting, München (Willems)
- 31.05.-04.06.2004      Workshop, Frauenchiemsee (Willems, Kasper)
- 16.-17.09.2004         Meeting, München (Willems, Kasper, Stricker)
- 11.10.2004              Projektleitermeeting, München (Willems)
- 08.03.2005              Meeting, München (Willems)
- 17.-19.05.2005         Statuskonferenzen, Köln (Willems, Kasper)
- 11.07.2005              Meeting, München (Willems)
- 18.10.2005              Expertenrunde, München (Klotz)
- 30.11.-04.12.2005      Klausurtagung, Linden (Willems, Kasper)

### 2.3 Konferenzen und Vorträge

Das IAWG ist im Berichtszeitraum mit folgenden GLOWA-Danube-relevanten Vorträgen auf Konferenzen vertreten:

- 17.-19.05.2005            Auf der zweiten GLOWA-Konferenz in Köln werden in Zusammenarbeit mit den Komponenten Surface/Subsurface und *Groundwater* die Poster „Lateral Transport of Water & Constituents“ und „Water Resources Management“ präsentiert (vgl. Kapitel 3.3.3).

- 12.-13.12.2005 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 (Willems, W.).
- 14.07.2006 Wasserfluss- und Wasserbeschaffenheitsmodellierung innerhalb von GLOWA-Danube. Vortrag anlässlich des 70. Geburtstags von Prof. Dr. Ing. U. Maniak in Braunschweig (Willems, W.)
- 09.-12. 11.2006 Modeling Natural And Man-Made Water Quantity And Water Quality Fluxes For The Watershed Of The Upper Danube River. The Subproject „Surface Water“ Within The Interdisciplinary GLOWA-Danube Project. GLOBAL ENVIRONMENTAL CHANGE: REGIONAL CHALLENGES, An ESSP Global Environmental Change Open Science Conference. Beijing, China - Beijing International Convention Center (Willems, W., Kasper, G., Klotz, P. and Stricker, K.)

## 2.4 Veröffentlichungen

Folgende Veröffentlichung werden im Berichtszeitraum mit Beteiligung von IAWG-Mitarbeitern publiziert:

- BARTHEL, R., MAUSER, W., STRASSER, U., LUDWIG, R., WILLEMS, W. und FRUEH, B. (2007): Potential Climate Change Impacts on the Groundwater Resources in the Upper Danube Watershed - a Scenario Case Study using the DANUBIA Decision Support System. 35. IAH Tagung „Groundwater and Ecosystems“ im September 2007 in Lissabon.
- WILLEMS, W., KASPER, G., KLOTZ, P., STRICKER, K. und ZIMMERMANN, A. (2006): Mittlerer täglicher Durchfluss und Durchflussvariabilität. In: GLOWA-Danube-Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, Kap. 1.11.
- WILLEMS, W., KASPER, G., KLOTZ, P., STRICKER, K. und ZIMMERMANN, A. (2006): Abflusspende und Gewässerbeschaffenheit. In: GLOWA-Danube-Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, Kap.2.3.1.
- MAUSER, W., STRASSER, U., LUDWIG, R., WILLEMS, W., BARTHEL, R. und FRUEH, B. (2006): The impact of climate change on low-flow conditions in the Upper Danube watershed - a scenario case study using the DANUBIA decision support system. EGU 2006.
- LUDWIG, R., BARTHEL, R. und WILLEMS, W. (2005): 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. und MAUSER, W. (2005): Coupled hydrologic modelling in the Upper Danube using the integrated expert system DANUBIA In: European Geosciences Union General Assembly, Vienna 2005.
- 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 Seiten: 10.
- SCHUOL, 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.



### **3. Ergebnisse**

#### **3.1 Ziele der zweiten Projektphase**

Als Ziele der zweiten Förderphase sind definiert:

1. Die Implementierung wassermengen- und/oder wasserbeschaffenheitsrelevanter technischer Strukturen
2. Die Detektion von Überlastungen der Teilkompartimente des Objektes *Rivernet-work*.
3. Die Erweiterung der bestehenden Wasserfluss- und Wasserbeschaffenheitsmodelle und deren Integration in die, zur Umsetzung der Ziele 1 und 2, umfassend neu strukturierte *Rivernetwork*-Komponente.

In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Unterkomponenten der *Rivernetwork*-Komponente vorgestellt und die im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten erläutert. Aufgrund fortlaufender Dokumentationen und Darstellungen in Jahresberichten finden sich in den folgenden Ausführungen Bezüge zu diesen vorangegangenen Arbeiten, insbesondere zum sehr ausführlichen Jahresbericht 2006.

#### **3.2 Sektorale Arbeiten**

##### **3.2.1 Neustrukturierung der *Rivernetwork*-Komponente**

Im Berichtszeitraum wird eine umfassende Neustrukturierung der *Rivernetwork*-Komponente vorgenommen. Zum Abschluss der ersten Phase besaß die Komponente zwei Sichtweisen zur Durchführung der Routing-Vorgänge: Entweder gehörte ein Proxel zu dem rund 2500 km langen Hauptflussnetz, das mit DAFLOW geroutet wurde, oder es war Bestandteil des Muskingum-Flussnetzes für Kopfgebiete und kleinere Gewässer. Die Modellierung der Wasserbeschaffenheitsparameter erfolgte ausschließlich auf dem Hauptflussnetz.

Zur besseren Einbindung von technischen Strukturen und Teilmodellen, die nur lokal auf einem eng begrenzten Gebiet operieren, wird nun - unter Erhaltung des proxel- und objekt-orientierten Ansatzes von DANUBIA- diese strikte Zweiteilung aufgehoben. Hierzu wird das gesamte Untersuchungsgebiet des GLOWA-Danube-Projekts im Rahmen des 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 topologisch folgende Objekt als Zufluss übertragen. Ein spezieller Objekttypus kann dabei mehrfach vorkommen.

Ein Objekt kann somit nicht nur für *Routing*-Aufgaben verwendet werden sondern auch zur Bestimmung von speziellen Zuständen, die auf einem Proxel vorhanden sind. So fügt sich die Berechnung der Hochwasser- und Wasserverfügbarkeitsflaggen in dieses Schema ein, indem als Gebietsfläche alle Proxel in Verbindung mit den jeweiligen Prozessbeschreibungen zur Bestimmung der Flaggen gewählt werden.

Eine strikte Trennung zwischen dem Abflussrouting und der Modellierung der Wasserbeschaffenheit wird aufgrund der engen Verknüpfung beider Aufgaben nicht durchgeführt.

Details und UML Diagramme zur Strukturierung der Komponente sind im Kapitel 3.4 dargestellt.

## 3.2.2 Wasserflussmodelle

### 3.2.2.1 Implementierung

Innerhalb der *Rivernetzwerk*-Komponente wird für die Modellierung des Wasserflusses ein skalenabhängiger Ansatz mit zwei Modellierungsmethoden verwendet.

Kopfgebiete und kleine Gewässer werden mit dem Muskingum-Modell abgebildet. Jedes Proxel stellt dabei eine Routingstrecke dar. Die Parametrisierung erfolgt über einen hier entwickelten Präprozessing-Ansatz, der auf Überlegungen von Cunge (ANDERSON und BURT 1985) aufsetzt. Wegen der kurzen Fließstrecken erfolgt die Modellierung mit einem internen Zeitschritt, der deutlich kleiner ist als die Stundentaktung des GLOWA-Danube-Modells. Die Abarbeitung der Flussnetzstruktur basiert auf dem Ansatz des sogenannten „topologischen Sortierens“.

Die Abbildung der Wasserflüsse in den mittleren und großen Gewässern erfolgt über das DAFLOW-Modell, welchem der Modellansatz der Diffusionsanalogie in einer vom US Geological Survey entwickelten Implementierung zugrunde liegt (JOBSON 1989). Dieses Modell stellt sowohl die Abflüsse als auch die für die Wasserbeschaffenheitsmodellierung erforderlichen hydraulischen Parameter zur Verfügung.

Im Berichtszeitraum werden an der DAFLOW-Komponente Änderungen in der Parametrisierung vorgenommen, um Deiche (Kap. 3.2.7) und Wehre (Kap. 3.2.8) in geeigneter Weise zu berücksichtigen. Dies hat infolge der Modifikation der ermittelten hydraulischen Parameter auch Folgewirkungen auf die Wasserbeschaffenheitsmodellierung.

### 3.2.2.2 Überlastung

Extreme Abflussverhältnisse (Hoch- und Niedrigwasser) in einem Gewässernetz werden hier als verschiedene Ausprägungen der Überlastung des Gewässernetzes betrachtet.

Hochwasser führen durch die damit einhergehenden Überschwemmungen zu wirtschaftlichen und ggf. auch ökologischen Schäden und stellen darüber hinaus eine psychische Belastung für die Bevölkerung dar. Für eine exakte Verortung der Überflutungsflächen wären hydrodynamische Berechnungen auf der Grundlage von hochgenauen Höhenmodellen mit großem Rechenzeitbedarf erforderlich. Dies ist innerhalb des GLOWA-Danube-Konzeptes weder möglich noch gewünscht. Basierend auf dem Flaggenkonzept wird hier vielmehr für jedes Proxel und jeden Zeitschritt der aktuelle Abfluss mit statistisch zu erwartenden Hochwasserabflüssen verschiedener Jährlichkeit verglichen und so der „Überlastungszustand“ signalisiert. Die Jährlichkeitsschwellen sind das zweijährliche, das zehnjährliche, das hundertjährige sowie das zweihundertjährige Hochwasser. Bei Unterschreitung des unteren Grenzwertes 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 Klassengrenzen werden dabei für Siedlungsflächen und Nicht-Siedlungsflächen unterschiedlich festgelegt (Tab. 1).

Tab. 1: Überlastungsklassen Hochwasser

	nicht bebautes Gebiet	bebautes Gebiet
Klasse 1	$Q < HQ2$	$Q < HQ100$
Klasse 2	$HQ2 \leq Q < HQ10$	$HQ100 \leq Q < HQ200$
Klasse 3	$Q \geq HQ10$	$Q \geq HQ200$

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). Die Hochwasserflagge wird derzeit an die Komponenten *Biological* und *Household* weitergegeben.

Analog zum Hochwasser wird mit der Bewertung von Niedrigwasserzuständen verfahren. Bei der Definition der Mindestwerte wird hier auf Konzepten zur Festlegung von Mindestwasserabflüssen aufgesetzt. Es wird eine aus fünf Klassen gebildete Klasseneinteilung zur Wasserverfügbarkeit vorgenommen, die sich am Niedrigwasserabfluss der Jährlichkeiten  $T=2, 10, 100$  und  $200$  orientiert.

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

Tab. 2: Wasserverfügbarkeitsklassen

	<b>Wasserverfügbarkeit</b>	<b>Abfluss</b>
Klasse 1	kein Engpass	$Q > NQ2$
Klasse 2	Beginnend	$NQ2 \geq Q > NQ10$
Klasse 3	Erheblich	$NQ10 \geq Q > NQ100$
Klasse 4	sehr erheblich	$NQ100 \geq Q > NQ200$
Klasse 5	Katastrophe	$Q \leq NQ200$

Für die Umsetzung des Konzeptes ist es erforderlich, dass für jedes Proxel statistisch ausgewertet wird, wie groß dort die Hoch- und Niedrigwasserabflussquantile der entsprechenden Jährlichkeiten sind. Dies erfolgt mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitsanalysen, die anhand des GLOWA-Danube-Validierungslaufes mit der *DANUBIA-Light*-Version über den Zeitraum 1971 bis 2002 für jedes Proxel getrennt durchgeführt 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 Abflussquantilen validiert und in den Fällen, in denen der Abstand zwischen empirischem und theoretischem Quantil zu groß ist, mittels der empirischen Quantile korrigiert.

Die Ermittlung der Hoch- und Niedrigwasserabflussquantile anhand von modellierten anstelle von gemessenen Abflüssen erfolgt aus zwei Gründen: Zum einen liegen nur die modellierten Abflüsse flächendeckend vor und zum zweiten ist es so möglich, die Grenzwerte auch dort in einem für die GLOWA-Danube-Modellierung plausiblen Wertebereich zu ermitteln, wo im Rahmen der Gesamtvalidierung des Gesamtmodells Unterschiede zwischen Messung und Modellierung nicht unerheblich sind. Die Vorgehensweise hat zur Folge, dass die ermittelten Quantilschwellen nach einem zukünftigen integralen Validierungslauf neu justiert werden sollten.

### 3.2.2.3 Auswertung

Zur Detektion extremer Abflusssituationen in Gewässern werden die Flaggen für Hochwasser- und Niedrigwassersituationen als Flächendatensätze ausgegeben. Abbildung 1 zeigt exemplarische die Darstellung der Hochwasserflaggen für einen Zeitraum von neun Tagen als Reaktion auf ein von West nach Ost ziehendes, großflächiges Regenereignis im Juli 1997. Datengrundlage ist der DANUBIA-Referenzlauf vom April 2005. Die grünen Bereiche stellen Proxel ohne Überflutung ( $Q < HQ2$ , Siedlungsproxel:  $Q < HQ100$ ) dar. Die orange eingefärbten Bereiche sind von einer Überflutung betroffen ( $HQ2 \leq Q < HQ10$ , Siedlungsproxel:  $HQ100 \leq Q < HQ200$ ), die roten Proxel sind stark überflutet ( $Q \geq HQ10$ , Siedlungsproxel:  $Q \geq HQ200$ ).

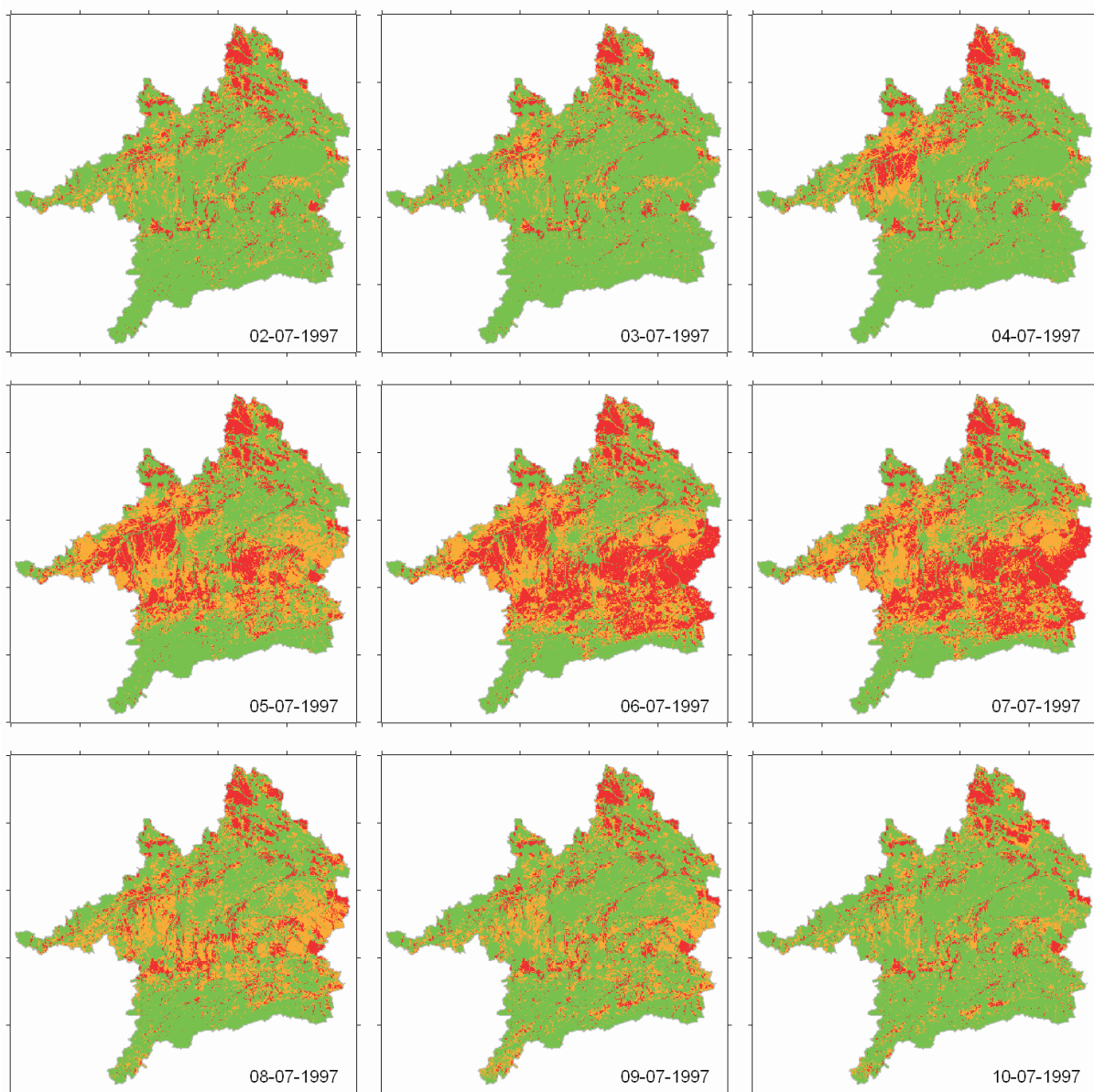


Abb. 1: Hochwasserflaggen im Zeitraum 02.07. bis 10.07.1997 (grün: Klasse 1, orange: Klasse 2, rot: Klasse 3)

Weitere Auswertungen zu den Wasserflussmodellen und zu den Hoch- und Niedrigwasserflaggen können insbesondere dem Jahresbericht 2005 entnommen werden.

### 3.2.3 Wasserbeschaffenheitsmodelle

#### 3.2.3.1 Statistisches Gewässerbeschaffenheitsmodell

Um für die Wassergütemodellierung die Randbedingungen von Wasserinhaltsstoffen zu bestimmen, die bisher nicht von anderen Komponenten zur Verfügung gestellt werden, wird das im Endbericht der ersten Phase vorgestellte, statistische Gewässerbeschaffenheitsmodell für Kopfgebiete und kleine Gewässer verwendet. Bei dem Modell werden die von der *Rivernetzwerk*-Komponente zu modellierenden, zyklischen Wasserinhaltsstoffe über einen multivariaten, statistischen Regionalisierungsansatz ermittelt (vgl. z.B. KISHI 2000), bei dem die Parameter harmonischer Analysen in die Fläche übertragen werden. Auf diese Weise lässt sich neben der räumlich differenzierten Ausweisung auch die jahreszeitliche Dynamik erfassen (s. Endbericht zur ersten Phase). Dieser statistische Ansatz wird im Berichtszeitraum nun auch auf die Wassertemperatur erweitert, wobei bei der multiplen Regression zur Bestimmung der Mittelwerte und der Standardabweichungen neben der geographische Lage des



Schwerpunkts und der Größe der jeweiligen Proxeleinzugsgebiete auch die Bevölkerungsdichte, die Niederschlagsmenge sowie der Laub- und Nadelwaldanteil einfließen.

### 3.2.3.2 1BLTM

In den mittleren und großen Gewässern des Einzugsgebietes der Oberen Donau erfolgt eine Wasserbeschaffenheitsmodellierung mit dem Modell BLTM (Branched Lagrangian Transport Model, JOBSON 1985; JOBSON und SCHOELLHAMER 1987). Das Modell löst die eindimensionale Advektion-Dispersions-Gleichung und nutzt eine vom Modellentwickler Jobson vorgeschlagene Reaktionskinetik, in der die Wechselwirkungen und Umwandlungsprozesse von sieben Wasserbeschaffenheitsparametern durch ein System von Differenzialgleichungen beschrieben werden. Eine detaillierte Beschreibung des Modells kann der technischen Dokumentation (WILLEMS et al. 2007) entnommen werden.

Folgende Gewässerbeschaffenheitsparameter werden in der aktuellen Implementierung betrachtet: Wassertemperatur, gelöster Sauerstoff, C-BSB5, organischer Stickstoff, Nitrat, Nitrit sowie Ammonium. Die notwendigen hydraulischen Parameter werden von DAFLOW zur Verfügung gestellt.

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. Bei der Temperaturberechnung wird im Berichtszeitraum ein erweiterter Ansatz zur Berücksichtigung der Wasseranomalie entwickelt, um zu verhindern, dass die Gleichgewichtstemperatur der Wasserkörper zu sehr in den negativen Bereich absinkt. In dem erweiterten Ansatz wird die Gleichgewichtstemperatur der Atmosphäre zwischen  $-20^{\circ}\text{C}$  und  $+5^{\circ}\text{C}$  in den Temperaturbereich von  $0^{\circ}\text{C}$  bis  $+5^{\circ}\text{C}$  transferiert, wodurch die korrigierte Gleichgewichtstemperatur der Wasserkörper festgelegt wird. Dies ist bedingt durch den physikalischen Effekt, dass während eines Aggregatzustandswechsel von flüssig zu fest die Wassertemperatur auch unter Energiezuführung oder -entzug bei  $0^{\circ}\text{C}$  stagniert. Sämtliche zugeführte oder entzogene Energie wird während dieser Phase für den Zustandswechsel benötigt und ändert somit die Wassertemperatur nicht.

Für die zweite Projektphase war die Erweiterung des Wasserbeschaffenheitsmodells um den Inhaltsstoff Phosphat vorgesehen. Wesentliche Eintragsquelle für das meist an Bodenpartikel gebundene Phosphat in die oberirdischen Gewässer sind Erosionsprozesse. Wegen der bisher im GLOWA-Danube-Gesamtprojekt nicht umgesetzten Erosionsmodellierung konnte die Berücksichtigung von Phosphat und damit auch der Übergang von der Jobson-Kinetik auf die QUAL2E-Kinetik nicht umgesetzt werden.

### 3.2.3.3 Überlastung

Zur summarischen Beurteilung der Belastungssituation innerhalb der BLTM-Gewässerstrecken wird der chemische Index (CI) ausgewiesen (BACH 1980), der sich aus mehreren Unterindizes verschiedener Inhaltsstoffe zusammensetzt. Die betrachteten Inhaltsstoffe und die Gewichtungsfaktoren für den multiplikativen Index CI sind in Tabelle 3 aufgelistet (vgl. Jahresbericht 2006).

Die Ermittlung der Unterindizes  $q_i$  wird anhand von Umwandlungsfunktionen durchgeführt, die einer Stoffkonzentration einen Unterindex zuordnen. Abbildung 2 zeigt die Diagramme der zugrundeliegenden Umwandlungsfunktionen.

Für die Parameter elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert und Orthophosphat, die zur Berechnung des CI notwendig sind, jedoch von BLTM nicht modelliert werden, werden konstante Standardwerte verwendet, die eine gute Wasserqualität repräsentieren.



Ausgehend von dem chemischen Index wird die Wasserqualität in 7 Klassen eingeteilt, die in der folgenden Tabelle 4 aufgelistet sind.

Tab. 3: Inhaltsstoffe des chemischen Index CI, Gewichtungsfaktoren

Inhaltsstoff	Einheit	Gewichtungsfaktor
Gelöster Sauerstoff	% der Sauerstoffsättigung	0,2
BSB <sub>5</sub>	mg/l	0,2
Wassertemperatur	°C	0,08
Ammonium	mg/l	0,15
Nitrat	mg/l	0,10
Orthophosphat	mg/l	0,10
pH	mg/l	0,10
Elektrische Leitfähigkeit	μS/cm	0,07

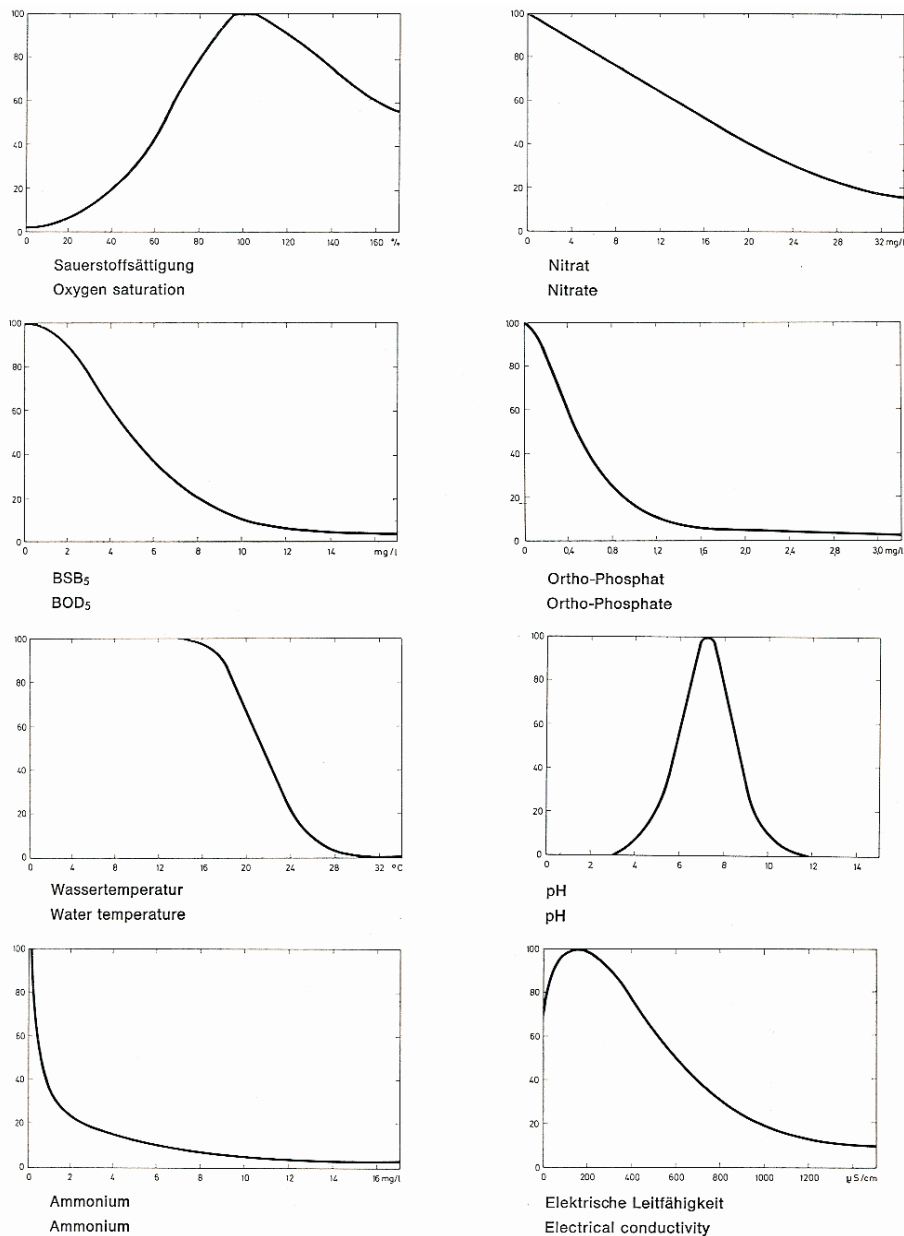


Abb. 2: Umwandlungsfunktionen zur Bestimmung der Unterindizes der Stoffkonzentrationen (BACH 1980)

### 3.2.3.4 Auswertung

Tab. 4: Wasserqualitätseinteilung anhand des chemischen Index

Bereich des chemischen Index CI	Wasserqualität
CI $\geq$ 83	unbelastet
74 $\leq$ CI < 83	gering belastet
56 $\leq$ CI < 74	mäßig belastet
45 $\leq$ CI < 56	kritisch belastet
27 $\leq$ CI < 45	stark verschmutzt
18 $\leq$ CI < 27	sehr stark verschmutzt
CI < 18	verödet

Die folgende Abbildung 3 zeigt die Auswirkung der entwickelten Anomalie-Korrektur bei der Ermittlung der Wassergleichgewichtstemperatur. Die in den Wintermonaten berechneten Wassertemperaturen weisen durch diese Winterkorrektur eine gute Übereinstimmung mit den tatsächlichen Messwerten auf. Die Daten für die Lufttemperaturen und die Daten der mit dem Gütemodell BLTM simulierten Wassertemperaturen werden dem Referenzlauf 12/2004 entnommen. Die Berechnung der simulierten Wassertemperatur bei Einsatz der Winterkorrektur erfolgt lokal unter Verwendung der Lufttemperatur des Referenzlaufs 12/2004 und eines vereinfachten Wasserabflusses.

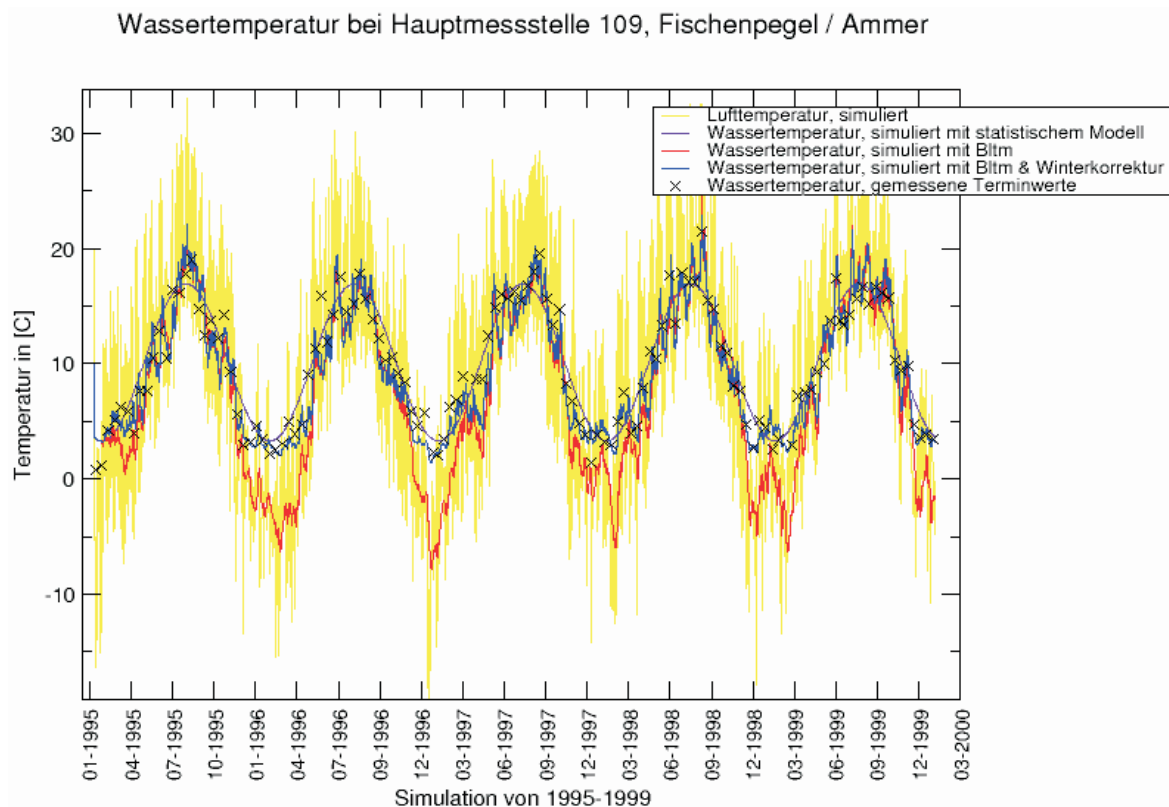


Abb. 3: Berechnung der Wassertemperatur unter Berücksichtigung der Winterkorrektur

Weitere Auswertungen des korrigierten Wassertemperatur-Modells sowie Vergleiche zwischen gemessenen Werten und Modellergebnissen des DANUBIA-Laufs vom Februar 2006 zur Wassertemperatur und zum gelösten Sauerstoff sind im Jahresbericht 2005 dargelegt.

In der folgenden Abbildung 4 ist die räumliche Verteilung des chemischen Index dargestellt. Die Berechnung basiert wegen des Fehlens eines integralen Laufs auf einer lokal durchgeführten Simulation über den dreijährigen Zeitraum 1995 bis 1997. Dabei werden die Ergebnisse des DANUBIA-Referenzlauf 2005-4 als Szenarien-Eingabedaten verwendet. Die Nitratbelastung und die Wassertemperatur aller Zuflüsse in das Hauptgewässer werden durch das statistische Nitrat- bzw. Temperaturmodell festgelegt. Die verbleibenden Wasserinhaltsstoffe werden hier als konstanter diffuser Eintrag in jedem Proxel eingespeist.

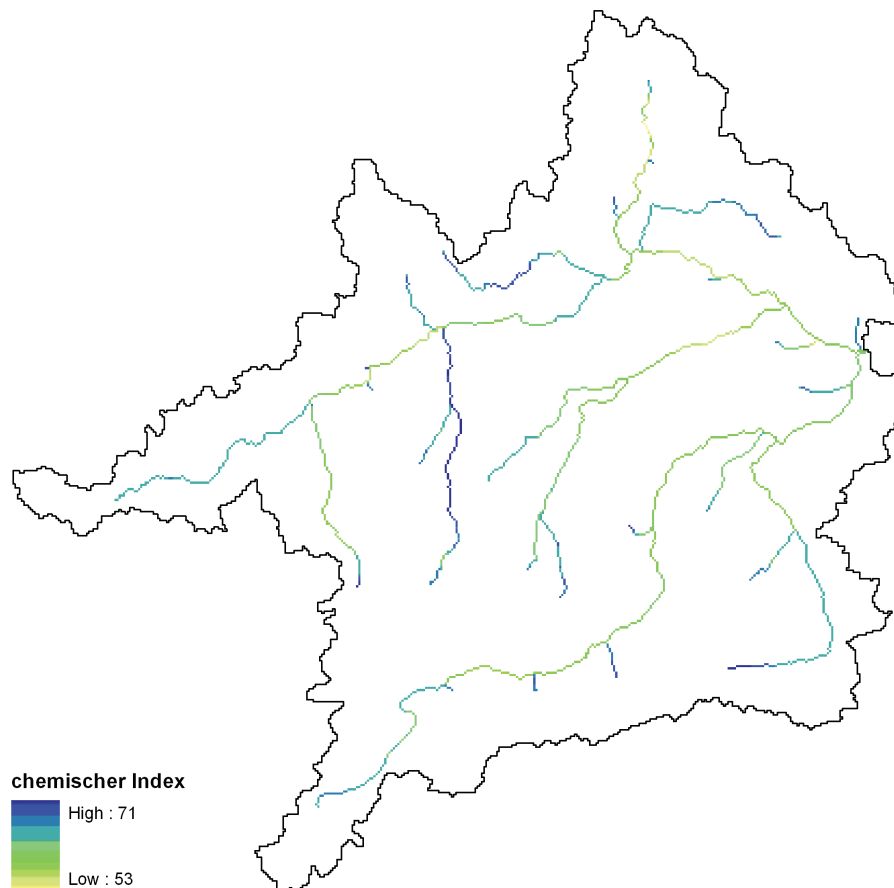


Abb. 4: Wasserqualität, dargestellt anhand des mittleren chemischen Index über den Zeitraum 1.1.1995-31.12.1997

Deutlich erkennbar ist bei dieser Szenariorechnung, dass in den Oberläufen eine bessere Wasserqualität modelliert wird, die sich längs des Flusslaufes verschlechtert. An einzelnen Flussstrecken ist eine zunächst abnehmende und im weiteren Verlauf wieder zunehmende Wasserqualität feststellbar. Dies kann auf Selbstreinigungseffekte zurückgeführt werden. Ebenso sichtbar wird die Beeinflussung der Wasserqualität durch das Einmünden von Nebenflüssen. Besonders deutlich ist dieser Effekt entlang der Donau zu erkennen. Der ermittelte Wertebereich des CI liegt überwiegend in der Klasse „mäßig belastet“ (s. Tab. 4), was in guter Übereinstimmung zur der (auf Saprobieklassen beruhenden) Gewässergütekarte Bayern (BLfW 2002) steht.

### 3.2.4 Seen

#### 3.2.4.1 Implementierung

Werden natürliche oder künstliche stehende Gewässer durchströmt, so führt dies aufgrund der Retentionswirkung des Wasserkörpers zu einer unter Umständen erheblichen Dämpfung der Abflussganglinie. Wesentlich für den Grad der Verflachung der Ganglinie sind dabei insbesondere das Volumen des Wasserkörpers und die geometrischen und hydraulischen Merkmale der Auslassöffnung. Eine detaillierte Ausarbeitung der retendierenden Wirkung von ausgewählten bayerischen Seen legt HENSELMANN (1970) vor.

Um die Seeretention in einem hydrologischen Kontext zu berechnen, wird die Kontinuitätsgleichung verwendet:

$$\frac{dS}{dt} = I(t) - Q(t)$$

mit  $S$  = Speichervolumen  
 $I$  = Zufluss  
 $Q$  = Abfluss.

Das Speichervolumen  $S$  und der Abfluss  $Q$  werden über einen erweiterten level pool Algorithmus mit der Seespiegelhöhe  $H$  und der Seefläche  $A$  verknüpft. Die Seefläche wird dabei unabhängig von der Seespiegelhöhe als konstant angenommen. Die nichtlineare Beziehung zwischen  $Q$ ,  $H$  und  $A$  wird über die Potenzfunktion

$$Q = A^a \cdot H^b$$

realisiert. Ein Runge-Kutta-Verfahren dritter Ordnung wird zur Lösung der Differenzialgleichung verwendet (CHOW et al. 1988). Als Eingangsdaten für die Optimierung der Parameter  $a$  und  $b$  dienen die gemessenen Zu- und Abflussdaten des Tegernsees, des Chiemsees und des Ammersees sowie deren Seegrößen. Die so ermittelten Parameter  $a$  und  $b$  werden für die Berechnung der Retentionseffekte für alle Seen mit bekannter Seefläche verwendet (s. WILLEMS et al. 2007).

Folgende in Tabelle 5 aufgeführten natürlichen Seen sind integriert und anhand des ermittelten Parametersatzes sowie der angegebenen Seegröße parametrisiert:

Tab. 5: Implementierte natürliche Seen

See	Fläche [km <sup>2</sup> ]
Ammersee	46,6
Chiemsee	79,0
Kochelsee	6,0
Starnberger See	56,4
Tegernsee	8,9
Walchensee	16,3

#### 3.2.4.2 Auswertung

Abbildung 5 zeigt anhand gemessener Zu- und Abflussdaten (graue und grüne Linie) für den Chiemsee und den Ammersee die effektive Retentionswirkung der Wasserkörper. Die Validierungsergebnisse sind durch die blaue Linie dargestellt. Eine Gütebewertung erfolgt anhand des dimensionslosen Nash-Sutcliff-Koeffizienten (NSC) und zeigt mit 0,9 (Ammersee) und 0,96 (Chiemsee) einen sehr hohen Grad der Übereinstimmung an.

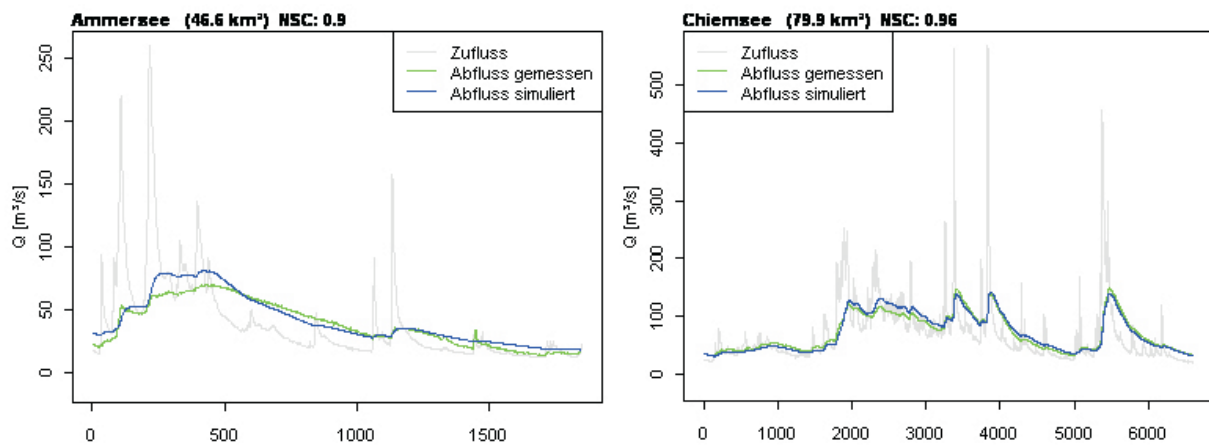


Abb. 5: Gemessene Zu- und Abflüsse sowie mit dem Retentionsmodell simulierte Abflüsse

### 3.2.5 Talsperren und Hochwasserrückhalteräume

#### 3.2.5.1 Implementierung

Innerhalb des Einzugsgebiets der Oberen Donau werden durch den Einfluss von Talsperren und Hochwasserrückhalteräumen bedeutsame Wassermassen zurückgehalten und verzögert dem natürlichen Abflussgeschehen zugeführt. Die Talsperren im Untersuchungsgebiet unterscheiden sich durch ihre Funktionen (z.B. Hochwasserrückhalt, Niedrigwasseraufhöhung, Trinkwasserspeicher, Energiegewinnung) und entsprechend unterschiedliche Kenngrößen und Betriebsregeln.

Die modellhafte Abbildung dieser anthropogenen Speicher mit deren individuellen Steuerungsregeln ist eine Voraussetzung für die realitätsnahe Simulation der Abflussvorgänge im Untersuchungsgebiet. Wie in den Jahresberichten 2005 und 2006 dargelegt, werden mit dem implementierten Talsperrenmodell Berechnungsmethoden zur Verfügung gestellt, um die wichtigsten der in OSTROWSKI et. al. (2000) vorgestellten Betriebsregel-Typen vereinfacht abzubilden.

Folgende Betriebsregeln können abgebildet werden:

- Normalabgaben: Lamellenplan, zuflussabhängige Abgabe, Abgabe in Bezug auf ein vorgegebenes Stauziel
- Hochwasserentlastungsabgabe: ungesteuerte Abgabe, Kennlinie der Hochwasserentlastungsanlage kann über einen Lamellenplan mit Stützstellen implementiert werden.
- Automatische Abgabeerhöhung, um Minimalabfluss an einem im Unterlauf liegenden Kontrollpegel zu gewährleisten.
- Automatische Abgabereduktion, um Maximalabfluss an einem im Unterlauf liegenden Kontrollpegel zu gewährleisten.
- Maximale Abflussänderung pro Zeitschritt, um die Gefahr beispielsweise für Erholungssuchende und Wassersportler durch plötzliche Abflussänderungen zu minimieren.
- Berücksichtigung minimaler und maximaler Abgabekapazitäten.
- Berücksichtigung von minimalen und maximalen Stauvorgaben (Totraum, maximaler Stauraum).

Neben den vorgegebenen Steuerungsregeln unterliegt die reale Bewirtschaftung weiteren Faktoren, die von dem Modell nicht abgebildet werden können. Dies können beispielsweise



se Wasserabgaben oder -rückhalt aufgrund von Wartungsarbeiten oder vorausschauende Bewirtschaftungsmaßnahmen als Reaktion auf Niederschlagsprognosen sein.

Da die Berücksichtigung der Talsperren die Situation im Einzugsgebiet möglichst realitätsnah widerspiegeln soll, erfolgt für alle Talsperren soweit möglich eine individuelle Parametrisierung. Für Talsperren ohne ausreichende Informationen zu Steuerung und Betrieb wird eine allgemeine Parametrisierung in Abhängigkeit von der Staukapazität, der Dimensionierung der Ablassbauwerke sowie der hydrologischen Situation vorgenommen. Die von den verfügbaren Daten abhängigen Parametrisierungsstrategien sowie die spezifischen Rahmendaten zu den einzelnen Speichern sind detailliert im Talsperrenkapitel und im Anhang des Jahresberichts 2006 beschrieben.

Eine umfangreiche Parametrisierung wird insbesondere für den Sylvensteinspeicher vorgenommen, da dieser eine komplexe Steuerung aufweist und zusätzlich Zeitreihen gemessener Zu- und Abflüsse zur Verfügung stehen. Die Parametrisierung basiert auf Literaturangaben sowie persönlichen Mitteilungen und berücksichtigt auch die im Februar 2006 im Rahmen der Wasserkonferenz der Regierung von Oberbayern (ROB 2006) festgelegten Beschlüsse zur modifizierten Speicherbewirtschaftung (vgl. Jahresbericht 2006).

Die Berücksichtigung der Betriebsregeln und Bestimmungen zur Steuerung von Talsperren wird innerhalb der *Rivernetz*-Komponente über individuelle Parameterdateien realisiert. Die Abgaberegeln sind in Form von Lamellenplänen implementiert. Dabei ist einem bestimmten Stauvolumen der entsprechend resultierende, monatspezifische Normalabfluss zugeordnet. Zwischen den Volumenstützstellen wird linear interpoliert. Um zuflussabhängige Bewirtschaftungsregeln eines Speichers zu berücksichtigen, können in der Parameterdatei bis zu drei Zuflussbereiche definiert und einzeln parametrisiert werden. In Abbildung 6 ist exemplarisch der Lamellenplan für die Normalabgabe am Achensee dargestellt. Während der Sommermonate ist eine reduzierte Abgabe zu erkennen, die den Aufstauvorgang des Speichers in diesem Zeitraum unterstützt.

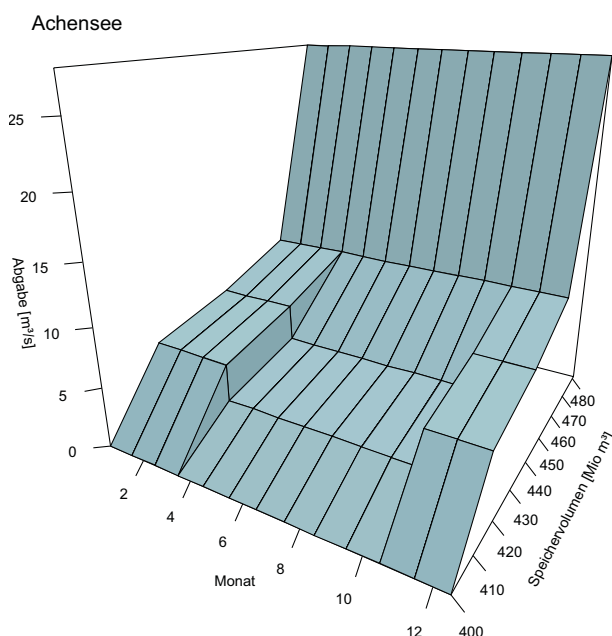


Abb. 6: Lamellenplan, monatspezifische Volumen-Abgabe-Beziehung am Achensee

In der aktuellen Parametrisierung wird bei Stauseen ab einer Seeoberfläche von 4km<sup>2</sup> eine Retentionsberechnung vorgeschaltet (s. Kap. 3.2.4). Insgesamt sind innerhalb der *Rivernetz*-Komponente aktuell 17 Talsperren und Hochwasserrückhalteräume mit einem Nutzraum von rund 1100 Mio m<sup>3</sup> implementiert. Eine Übersicht liefert Abbildung 7 sowie Tabelle 6.

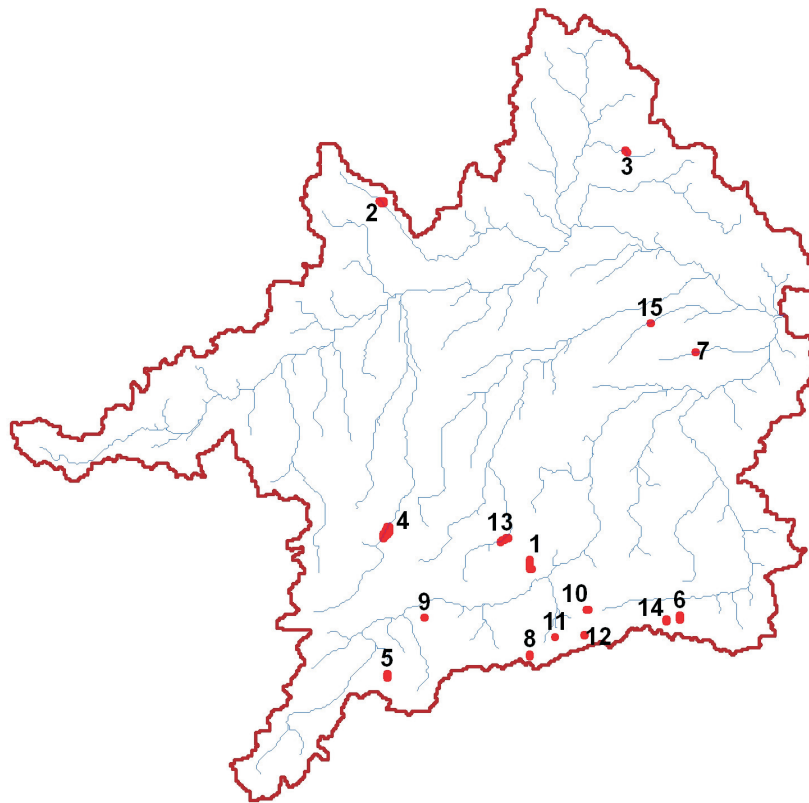


Abb. 7: Implementierte Talsperren und Hochwasserrückhalteräume (vgl. Tab. 6)

Tab. 6: Implementierte Talsperren und Hochwasserrückhalteräume

Nummer	Bezeichnung	Gesamtraum [Mio m <sup>3</sup> ]	Nutzraum [Mio m <sup>3</sup> ]
1	Achensee	486	86
2	Altmühlsee	13,9	13,2
3	Eixendorfersee	21	21
4	Forggensee	168	167,5
5	Gepatschsee	139	139
6	Kaprun Stauseen (Mooserboden und Wasserfallboden)	170	166,2
7	Rottauensee	13,9	13,9
8	Schlegeisspeicher	129	126,5
9	Sellrain Stauseen (Finstertal und Längental)	63,5	63
10	Speicher Dürlassboden	53,5	52
11	Speicher Stillupp	8,2	6,9
12	Speicher Zillerguendl	89	87
13	Sylvensteinsee	124,3	119,3
14	Tauernmoossee	57	55
15	Vilstalsee	10,6	10,1

Hochwasserrückhalteräume werden auch durch Polder realisiert. Polder nehmen, gesteuert oder ungesteuert, ab einem gewissen Wasserstand einen Teil des Abflusses auf und führen diesen bei niedrigeren Wasserständen schadfrei wieder dem Gewässer zu. Die aktuell in Bayern existierenden Flutpolder haben kein relevantes Rückhaltevermögen (M. Schmid, Bayer. Landesamt für Umwelt, persönlicher Kontakt) und werden daher innerhalb der *Rivernetz*-Komponente in der aktuellen Parametrisierung nicht berücksichtigt. Durch die gravierenden Hochwasserereignisse der letzten Jahre wird das Potential der Polder als wirksamer Betrag zum Hochwasserschutz jedoch vermehrt wahrgenommen. Im Rahmen des „Bayerischen Hochwasseraktionsprogramm 2020“ wird der Reaktivierung von Rückhalteräumen eine erhebliche Bedeutung beigemessen. Bis zum Jahr 2020 sollen gesteuerte Flutpolder mit einem Rückhaltevolumen von 30 Millionen m<sup>3</sup> eingerichtet werden. Darüber hinaus werden 18 natürliche Retentionsräume in ganz Bayern reaktiviert (StMLU 2005). Einen Überblick über die geplanten möglichen Polder liefert Abbildung 8 (StMLU 2003).

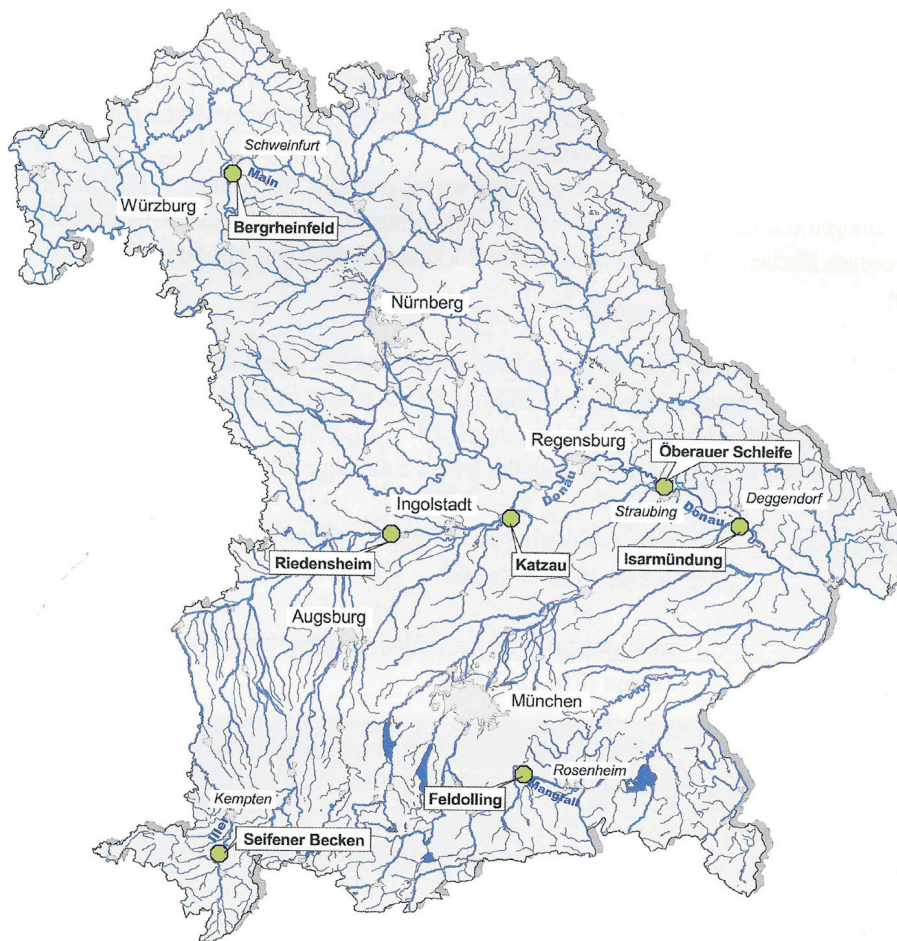


Abb. 8: Übersicht über geplante, potentielle Polderanlagen in Bayern bis 2020 (StMLU 2003)

Bei einer möglichen zukünftigen Berücksichtigung dieser geplanten Anlagen im Rahmen des GLOWA-Danube-Projekts wird folgender Ansatz empfohlen: Auf Grund der Charakteristika von Poldern können diese als Sonderform von Talsperren implementiert werden, die für verschiedene Zuflussbereiche mit entsprechenden zufluss- und volumenabhängigen Werten parametrisiert sind. Bestimmend sind dabei das maximale Stauvolumen, der Grenzwasserstand, ab dem die Füllung bzw. Entleerung einsetzt, sowie die maximalen Zu- und Ableitungsmengen aufgrund der Einlauf- und Ablassbauwerke.

### 3.2.5.2 Überlastung

Die Belastungsgrenzen von Talsperren sind vorgegeben durch das maximale bzw. minimale Stauvolumen der einzelnen Anlage. Das Talsperrenmodell protokolliert die relevanten Daten für jeden Zeitschritt mittels einer Time series writer-Ausgabe für jede Talsperreninstanz. Neben Angaben zur aktuellen Speicherfüllung, dem Speicherzu- und -abfluss sowie dem Abfluss an einem eventuell berücksichtigten Kontrollpegel wird auch ein Index ausgegeben, der eine normierte Auswertung der Belastungsgrenzen ermöglicht. Der Index beschreibt den Speicherzustand in vier Klassen. Liegt die Speicherfüllung im normalen Bereich, dann wird der Index 0 ausgegeben. Da durch die Anordnung der Ablassbauwerke oder durch Vorgaben zum minimalen Wasserstand nicht das gesamte gespeicherte Wasser dem Abfluss zugeführt werden kann, wird durch einen Grenzwert in der Parameterdatei das nicht verfügbare Wasservolumen definiert. Eine Wasserabgabe, die zur Unterschreitung dieser Grenze führt, ist nicht möglich. Eventuell geforderte Abgaben, zum Beispiel um den Bedarf einer Niedrigwassererhöhung zu bedienen, werden in diesem Fall nur teilweise oder nicht erfüllt. Bei Erreichen des Minimalvolumens wird der Index 1 ausgegeben. Ab der Überschreitung einer gewissen Speicherfüllung erfolgt gemäß der Parametrisierung die Aktivierung der ungesteuerten Hochwasserentlastungsanlage. Diese Situation wird durch den Index 2 angezeigt. Überschreitet das Stauvolumen trotz maximaler Abgabe durch Hochwasserentlastungsanlage und Normalablass die maximal mögliche Speichermenge des Bauwerks, so kommt es zu einer sicherheitsrelevanten Überlastung, die durch den Index 3 signalisiert wird. Das Überströmen des Bauwerks wird durch zusätzliche Abgabe der überschüssigen Wassermassen modelliert.

Tab. 7: Überlastungsindex Talsperren

Index	Zustand
0	Speicherfüllung im normalen Bereich
1	Minimalvolumen erreicht
2	Hochwasserentlastungsanlage aktiv
3	Maximalvolumen überschritten

### 3.2.5.3 Auswertung

Auswertungen des Talsperrenmodells werden in erster Linie am Sylvensteinspeicher durchgeführt, da für diesen Speicher umfangreiche Informationen sowie gemessene Daten vorliegen. Eine Validierung unter Verwendung von gemessenen Speicherzufluss und -abflussdaten des Sylvensteinspeichers ist bereits im Jahresbericht 2005 dargestellt.

Die aktuelle Parametrisierung des Sylvensteinspeichers berücksichtigt die oben erwähnten und detailliert im Jahresbericht 2006 aufgeführten, gemäß den Beschlüssen der Regierung von Oberbayern veränderten Betriebsregeln (ROB 2006). Abbildung 9 zeigt einen Vergleich der Modellierung des Sylvensteinspeichers mit der bisherigen sowie der neuen Parametrisierung unter Verwendung gemessener Zuflussdaten. Mit der gestrichelten blauen Linie wird der vorgegebene, zeitvariante Normalstau (VNorm) angegeben. Die Auswirkungen der Berücksichtigung der geforderten sommerlichen Absenkung des Normalstaus um 7.5 Mio m<sup>3</sup> sind bei Betrachtung der modellierten Volumina deutlich zu erkennen und zeigen somit die Wirksamkeit der Parametrisierung.

### Modelliertes Stauvolumen: Sylvensteinspeicher

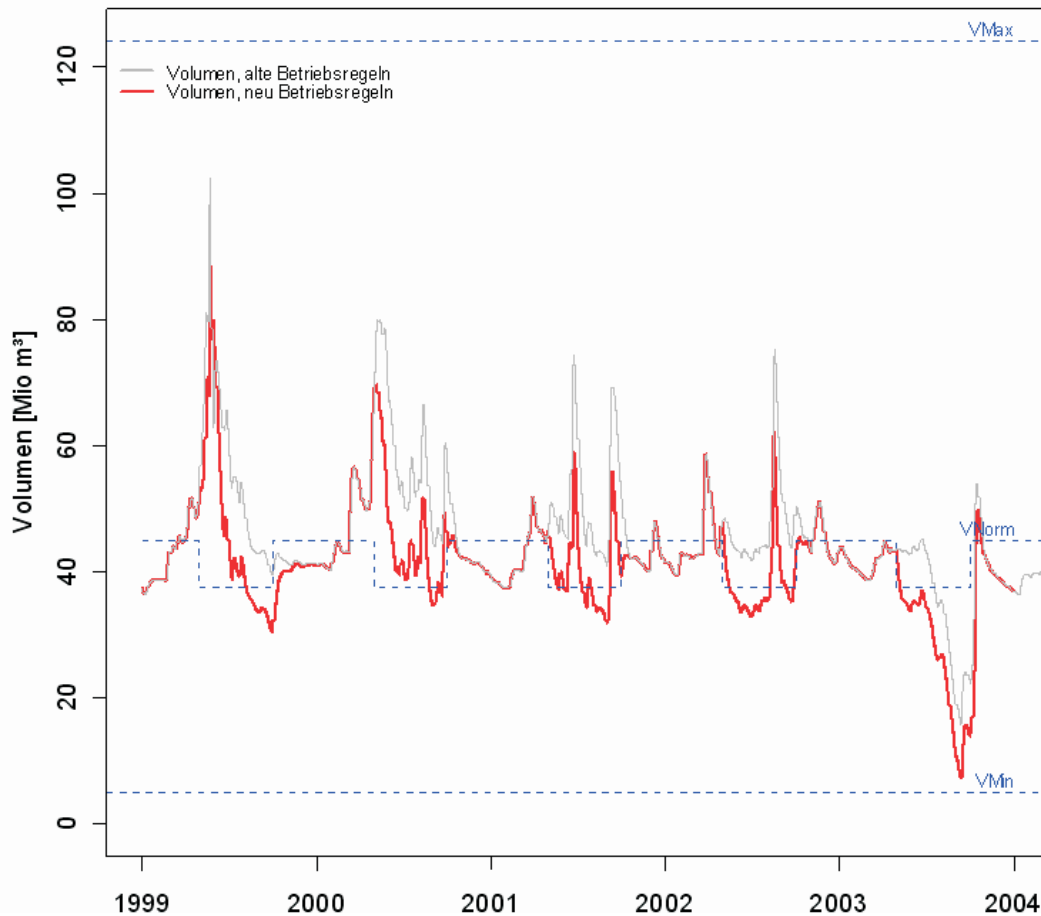


Abb. 9: Modelliertes Stauvolumen am Sylvensteinspeicher unter Verwendung der ursprünglichen Parametrisierung (grau) und der an die neuen Beschlüsse angepassten Parametrisierung (rot). Input: gemessene Zuflussdaten für den Zeitraum 1999 bis 2004

Zur Prüfung der oben vorgestellten Belastungsdetektion wird der gemessene Zufluss stark reduziert beziehungsweise erhöht, um extreme Niedrig- und Hochwassersituationen zu simulieren und die Belastungsindizes dahingehend zu prüfen. Eine Darstellung der Belastungsindizes bei künstlich erzeugten Überlastungssituationen (Verdreifachung der Speicherzuflüsse) kann dem Jahresbericht 2006 entnommen werden.

Die folgende Auswertung verwendet als Eingangsdaten für das Talsperrenmodell die Ergebnisse des DANUBIA-Laufs vom Februar 2006. Im Jahresbericht 2005 wurde beim Sylvensteinspeicher für eine Simulation von 2000 bis 2013 ein mittlerer Zufluss von durchschnittlich  $44 \text{ m}^3/\text{s}$  ermittelt. Dieser Wert liegt deutlich über dem vom Wasserwirtschaftsamt angegebenen mittleren Speicherzufluss von  $18,9 \text{ m}^3/\text{s}$ . Bei der folgenden Auswertung werden auch Wasserentnahmen im Einzugsgebiet des Sylvensteinspeichers berücksichtigt (vgl. Kap. 3.2.6, Überleitungen). Abbildung 10 zeigt schematisch das Überleitungssystem im Einzugsgebiet.

Folgende Überleitungen sind mit ihren Betriebsregeln und Limitierungen implementiert: an der Isar werden am Krüner Wehr maximal  $25 \text{ m}^3/\text{s}$  entnommen, wobei eine jahreszeitabhängige Restwassermenge von  $3,0$  bzw.  $4,8 \text{ m}^3/\text{s}$  in der Isar verbleiben muss. An der Dürach können bis zu  $16,0 \text{ m}^3/\text{s}$ , im Bereich des Oberlaufs der Walchen am Ampelsbach bis zu  $3,6 \text{ m}^3/\text{s}$  und am Aubach bis  $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$  zugunsten des Achensees abgeleitet werden. Betrachtet man den oben erwähnten Zeitraum unter Berücksichtigung der aufgeführten Wasserentnahmen, so erhält man einen mittleren Speicherzufluss von  $30,2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Auch dieser Wert liegt über der Angabe vom Wasserwirtschaftsamt, die implementierten Überleitungen



führen jedoch zu einer signifikanten Verbesserung. Von Seiten des Überleitungsmodells könnten sich noch weitere Verbesserungen durch Modellierung der Wehrbecken am Krüner Wehr sowie am Dürrachwehr ergeben, um somit hohe Zuflüsse zu puffern und verzögert der Überleitung zu zuführen. Ebenso kann die Integration der bisher nicht implementierten Rissbachüberleitung zur Verbesserung der modellierten hydrologischen Situation am Syl-

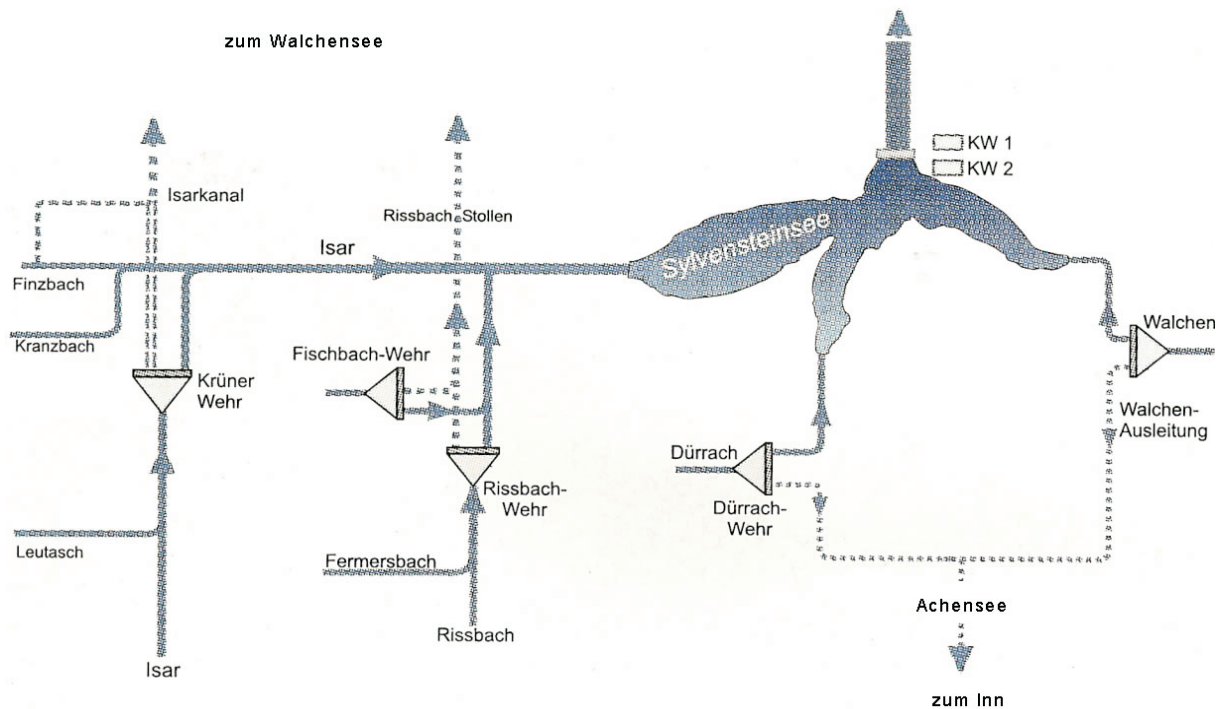


Abb. 10: Schema der Zu- und Überleitungen im Einzugsgebiet des Sylvensteinspeichers (WINNER 2001, modifiziert)

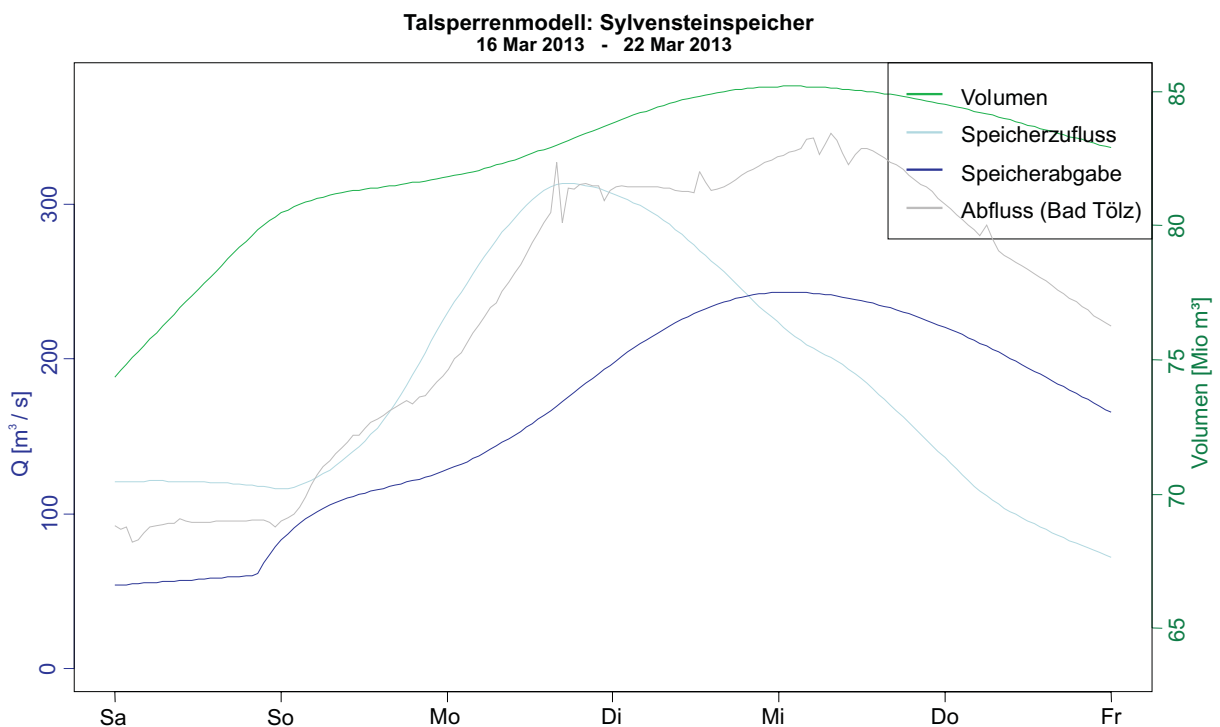


Abb. 11: Hydrologische Parameter am Sylvensteinspeicher während des Hochwasserereignisses im März 2013

vensteinspeicher führen.

Die Auswertung des Hochwasserereignisses vom März 2013 unter Berücksichtigung der vorgestellten Ableitungen sowie der neuen Parametrisierung des Sylvensteinspeichers zeigt nunmehr, im Gegensatz zu der Auswertung im Jahresbericht 2005, keine Überschreitung des maximalen Abflusses am Kontrollpegel Bad Tölz. Ursachen dafür sind jedoch nicht nur in den implementierten Überleitungen und der modifizierten Parametrisierung, sondern auch in der Verwendung der Tagesmittelwerte als Speicherzufluss bei der lokalen Modellierung mit den Ergebnissen des DANUBIA-Laufs zu suchen. Abbildung 11 zeigt die Situation vom 16.3.-22.3.2013. Das Speichervolumen wird zur Dämpfung der Hochwasserwelle auf knapp 85 Mio m<sup>3</sup> erhöht und liegt somit noch unterhalb der Marke von 99 Mio m<sup>3</sup>, ab der die Hochwasserentlastungsanlage aktiviert wird. Der Abfluss am Pegel Bad Tölz liegt hierbei unter dem maximalen Abfluss von 650 m<sup>3</sup>/s und unterschreitet auch noch die bisherige Schwelle von 450 m<sup>3</sup>/s.

Für die alpinen, wasserkrafttechnisch genutzten Speicher sind keine gemessenen Daten verfügbar. Zur Validierung werden die modellierten Speicherfüllungen und Wasserabgaben hinsichtlich der Einhaltung der Speicher- und Abgabebegrenzungen untersucht. Beispielfähig ist dies im Folgenden in Abbildung 12 für die Jahre 2000 bis 2025 für den Achensee, den Gepatschsee sowie den Schlegeisspeicher dargestellt. Als Datenbasis wird hierzu der DANUBIA-Lauf vom Februar 2006 verwendet.

Im dargestellten Zeitraum schwankt das jeweilige Speichervolumen erwartungsgemäß zwischen den vorgegebenen zulässigen Minimal- und Maximalwerten. Die Speicherabgabe überschreitet in keinem Fall den maximalen Triebwasserabfluss, so dass die verfügbare Wassermenge energetisch optimal umgesetzt werden kann. Der modellierte mittlere Zu- und Abfluss am Achensee liegt mit 7,2 m<sup>3</sup>/s ausreichend gut an dem Literaturwert von 7,6 m<sup>3</sup>/s (TIWAG 2006,1). Der modellierte Wert enthält durchschnittlich 3,7 m<sup>3</sup>/s, also rund 50%, die dem Speicher durch Überleitungen zugeführt werden. Beim Gepatschsee verhält es sich ähnlich: modellierter Zu-/Abfluss 9,7 m<sup>3</sup>/s (Literaturwert: 10,6 m<sup>3</sup>/s, TIWAG 2006,2), davon 5,9 m<sup>3</sup>/s (61%) durch Überleitungen. Beim Schlegeisspeicher ist der Unterschied zwischen dem modellierten Wert (5,3 m<sup>3</sup>/s) und dem Literaturwert (7,2 m<sup>3</sup>/s) größer. Dies zeigt sich auch in der maximalen modellierten Speicherfüllung, die im Durchschnitt nur bei 61% des bewirtschaftbaren Speicherraums liegt (Gepatschsee: 79%, Achensee: 74%). Dies tritt auch bei weiteren alpinen Speichern im südlichen und südöstlichen Teil des Untersuchungsgebiets auf. Da jedoch auch hier alle relevanten Überleitungen implementiert sind, kann die Ursache hierfür unter Umständen in einer zu gering modellierten Wassermenge in diesem Bereich gesucht werden. Ein Sonderfall tritt beim Speicherverbund Kaprun auf. Der Speicher erhält in der Realität den Hauptteil der Zuflüsse über eine Überleitung (Möllüberleitung), deren Einzugsgebiet und Entnahmestelle außerhalb des GLOWA-Danube-Untersuchungsgebiets liegen. Da die für die Überleitung verfügbare Wassermenge somit nicht modelliert werden kann, werden dem Speicher im Modell zu geringe Zuflüsse zugeführt und der Speicherraum somit nicht ausreichend gefüllt.

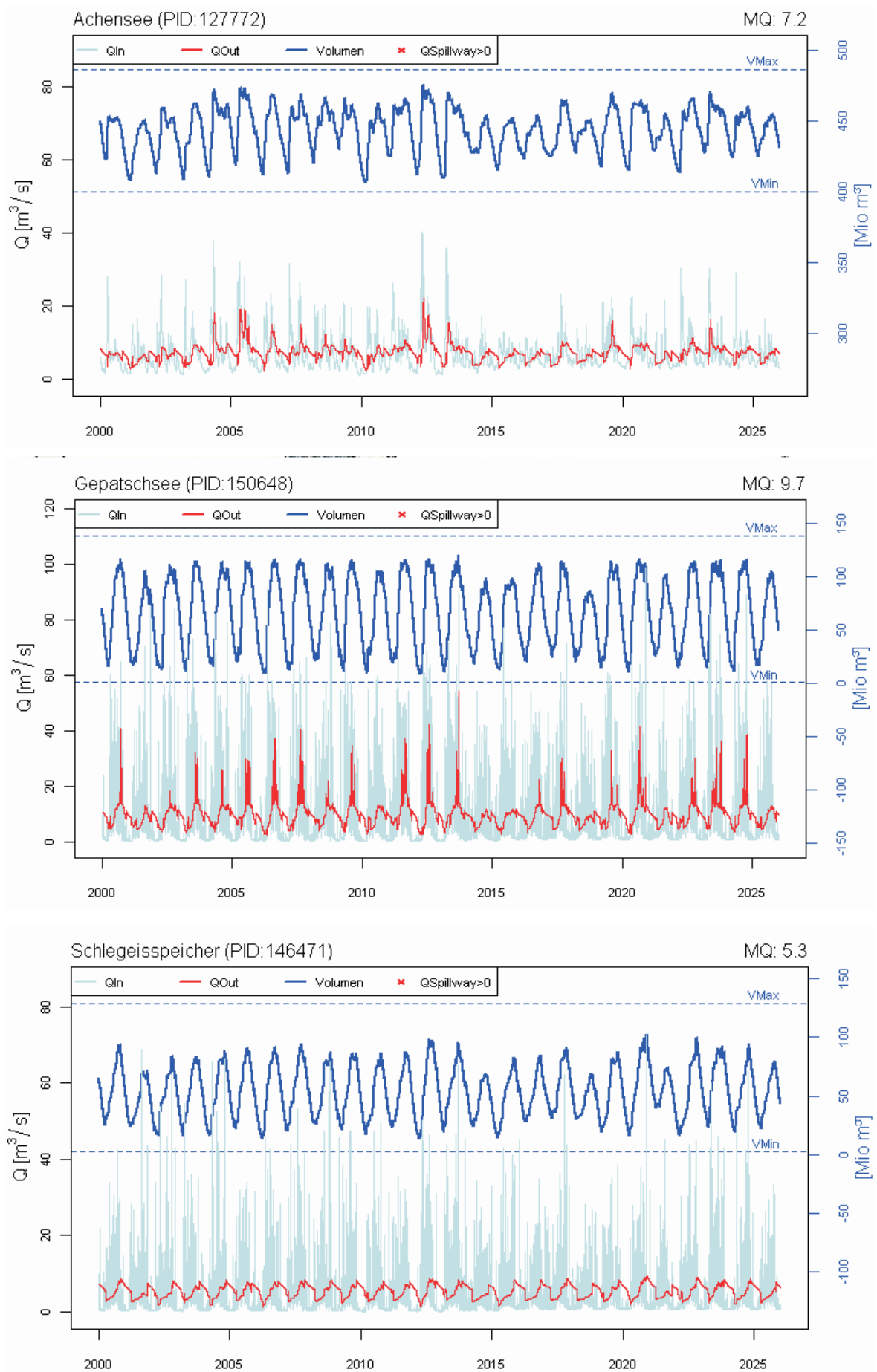


Abb. 12: Speicherzufluss, -abfluss und -füllung für den Achensee, Gepatschsee und Schlegeisspeicher

## 3.2.6 Überleitungen

### 3.2.6.1 Implementierung

Neben der Donau-Main-Überleitung, die detailliert im Jahresbericht 2005 beschrieben ist, gibt es im Untersuchungsgebiet, insbesondere in Verbindung mit wasserkrafttechnisch genutzten Talsperren, noch weitere Überleitungen, um die natürlichen Ressourcen besser auszuschöpfen und die Wirtschaftlichkeit der Anlagen zu erhöhen. Man unterscheidet je nach Blickrichtung und Überschreitung von Einzugsgebietsgrenzen zwischen Zu-, Bei-, Ab- und Überleitungen. Der Einfachheit halber werden diese im Folgenden zusammenfassend als Überleitungen bezeichnet. Um die Auswirkungen dieser Wasserverfrachtungen innerhalb der *Rivernetwork* Komponente nachzubilden, wird im Berichtszeitraum das Modul *Water-transferModel* implementiert.

Dieses Modul erlaubt sowohl die Abbildung der innerhalb des Untersuchungsgebiets stattfindenden Überleitungen, als auch, wie zum Beispiel im Fall der Donau-Main-Überleitung, die Berücksichtigung von Wasserüberleitungen in externe Einzugsgebiete.

Die Parametrisierung der einzelnen Anlagen berücksichtigt die minimalen und maximalen Transportkapazitäten, die durch technische Limitierungen (Leitungsquerschnitte, Gefälle, Pumpleistungen), aber auch durch Vorgaben und Betriebsregeln festgelegt sein können. Der geforderte Wasserentnahmebedarf wird über einen monatspezifischen Lamellenplan, abhängig von dem Abfluss an einem Kontrollproxel, ermittelt. Dieses Kontrollproxel kann das Entnahmeproxel selbst sein, oder auch virtuell aus den Abflusswerten aus bis zu drei verschiedenen Proxeln mittels einer Regressionsbeziehung berechnet werden. Neben dem Bedarf wird zum Entnahmezeitpunkt auch der aktuelle Abfluss am Proxel beachtet. Unter Berücksichtigung des Bedarfs, des aktuellen Abflusses sowie einer zusätzlich am Entnahmeproxel zu verbleibenden Restwassermenge wird die tatsächliche Wasserentnahme festgelegt. Die hydraulische Berechnung der Fließvorgänge und -geschwindigkeiten innerhalb der Leitungsstrukturen setzt detaillierte Daten zu Rohrdurchmesser, Querschnittsformen, Rauigkeiten und Gefälle voraus. Da diese Angaben für die behandelten Überleitungen nicht mit vertretbarem Aufwand zu beschaffen sind, wird ein vereinfachter Ansatz gewählt. Unter der theoretischen Annahme gefüllter Leitungen wird dazu die entnommene Wassermenge im selben Zeitschritt dem Empfängerproxel zugeleitet. Im Falle eines Wasserexports, das heißt einer Ableitung aus dem Untersuchungsgebiet hinaus, wird das entnommene Wasservolumen nicht wieder in das Flussnetz eingespeist.

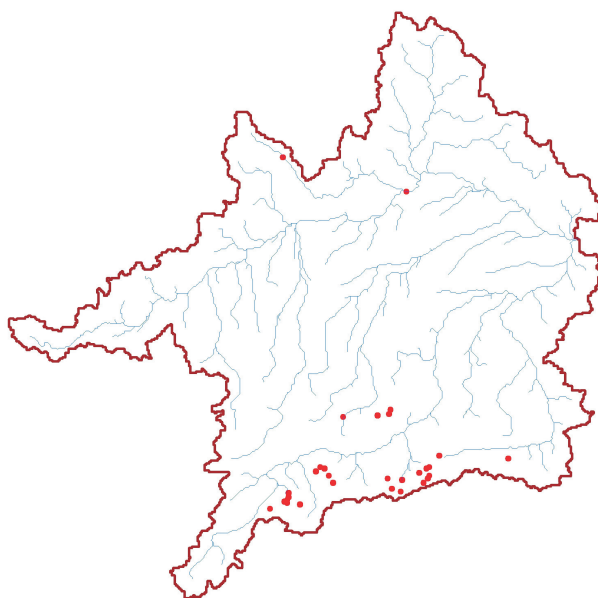


Abb. 13: Position der implementierten Wasserentnahmeproxel im Untersuchungsgebiet

Insgesamt sind aktuell 30 Wasserentnahme-Objekte realisiert (s. Abb. 13). Nahezu alle Überleitungen finden dabei innerhalb des Untersuchungsgebiets statt. Ausnahmen bilden die Donau-Main-Überleitung bei Kehlheim und die Brombachüberleitung am Altmühlsee, die beide maintributär sind.

Die räumliche Zuordnung der Entnahmeproxel erfolgt auf der Grundlage von GIS-Operationen. Dazu werden topographische Karten und das Proxelraster des Untersuchungsgebiets miteinander verschnitten und die geeigneten Proxel ermittelt.

Die Werte für die Parametrisierung der Überleitungen sind der Literatur zu den entsprechenden Talsperren entnommen und teilweise auch durch persönliche Kontakte recherchiert worden (vgl. Jahresbericht 2006).

### 3.2.6.2 Überlastung

Die Überlastungen bei Überleitungen beziehen sich je nach Betrieb des Bauwerks auf technische Limitierungen in Bezug auf maximale und minimale Transportmengen, auf allgemeine Vorgaben wie zum Beispiel eine geforderte Restwassermenge am Entnahmeproxel, oder wie im Beispiel der Donau-Main-Überleitung, auf die Erfüllung einer geforderten Überleitungswassermenge. Alle relevanten Daten werden von dem *WatertransferModel* mittels eines GLOWA-Danube Time series writers für jeden Zeitschritt und jede Instanz protokolliert und können für jedes Objekt individuell ausgewertet werden. Im Falle einer bedarfsorientierten Überleitung wird zudem die Bedarfserfüllung in Prozent ausgegeben.

### 3.2.6.3 Auswertung

Zur Validierung der durch die implementierten Überleitungen erzielten Einzugsgebietserweiterungen an den betreffenden Talsperren werden diese im Jahresbericht 2006 mit vorhandenen Literaturwerten verglichen. Dabei ergibt sich eine relative geringe Abweichung von durchschnittlich 10,3%.

Abbildung 14 (oben) zeigt beispielhaft das Einzugsgebiet des Gepatschspeichers beim Kraftwerk Kaunertal im Südwesten des GLOWA-Danube-Untersuchungsgebiets. Das natürliche Einzugsgebiet des Speichers beträgt 107km<sup>2</sup>. Dieses hat der Betreiber Tiroler Wasserkraft AG (TIWAG) durch Zu- und Überleitungen um 172km<sup>2</sup> auf insgesamt 279km<sup>2</sup> erweitert. Die Wasserfassungen werden dabei meist in Form sogenannter Tiroler Wehre mit horizontalem Rechen und Entsanderkammer realisiert (TIWAG 2006,2). Der Wassereinzug dieser Wehre ist jeweils auf eine festgelegte Wassermenge begrenzt, die durch die Parameter in der jeweiligen Steuerdatei festgelegt werden. In Abbildung 14 (unten) ist dieses Einzugsgebiet mit den Entnahmeproxeln für die Überleitungen in der modellhaften Realisierung dargestellt. Das durch die implementierten Zu- und Überleitungen um 179km<sup>2</sup> erweiterte Einzugsgebiet weist eine Größe von 290km<sup>2</sup> auf.

Eine wichtige Überleitung im GLOWA-Danube-Untersuchungsgebiet ist die Donau-Main Überleitung. Durch diese werden, wie im Jahresbericht 2005 ausführlich dargestellt, bedeutsame Wassermassen aus der Donau entnommen und mit einer maximalen Überleitungskapazität von 15,75 m<sup>3</sup>/s dem Einzugsgebiet des Main zur Niedrigwasseraufhöhung zugeführt. Die Steuerung berücksichtigt dabei Abflüsse an der Donau (Pegel Kelheim) als auch am Main (Pegel Hüttendorf). So darf der Donau nur Wasser entnommen werden, wenn dadurch bei Kelheim der geforderte Mindestabfluss von 140 m<sup>3</sup>/s nicht unterschritten wird. Der erforderliche Wassertransfer wird über den Bedarf zur Einhaltung des zeitvarianten Mindestabflusses am Pegel Hüttendorf ermittelt. Da dieser Steuerungspegel jedoch außerhalb des Untersuchungsgebiets liegt, muss der dortige Abfluss mittels einer Regressionsbeziehung aus Proxeln innerhalb der GLOWA-Danube-Grenzen errechnet werden. Details zu diesem Verfahren können dem Jahresbericht 2005 entnommen werden. Für den relativ kurzen Zeitraum von 1994 bis 1999 wird für die Donau-Main-Überleitung ein reales, mittleres Transfervolumen von 125 Mio m<sup>3</sup> pro Jahr angegeben (StMLU 2000). Eine Modellierung unter Verwendung der Daten des DANUBIA-Laufs vom Februar 2006 weist für den Untersuchungszeitraum 2000 bis 2025 einen durchschnittlichen Wassertransport von rund 86 Mio m<sup>3</sup>/a auf und liegt somit unter dem Literaturwert. Ursächlich dafür kann ein überdurchschnittliches Wasserangebot im Gebiet der Überleitung und somit auch an dem errechneten Kontrollpegel sein, der dadurch einen vergleichsweise niedrigen Wasserbedarf an das Überleitungsmodell meldet. Bekräftigt wird dies auch durch den mittleren Abfluss, der an der Donau am Pegel Kehlheim für die Jahre 2000-2025 mit rund 390 m<sup>3</sup>/s modelliert wird, laut Angaben des Wasserwirtschaftsamts jedoch mit 332 m<sup>3</sup>/s beziffert ist. Der niedrige Bedarf einerseits sowie der erhöhte Abfluss am Pegel Kehlheim andererseits bedingen eine äußerst seltene Begrenzung der Überleitung aufgrund eines zu niedrigen Wasserangebots am Entnahmeproxel. Insgesamt wird diese Begrenzung im Wesentlichen nur in den Sommermonaten der Jahre 2002 und 2014 für insgesamt 380 Zeitschritte (Stunden) akti-



viert (s. Abb. 15). Dies bewirkt, dass der vom Kontrollpegel abhängige Überleitungsbedarf an 99,7 % aller Zeitschritte voll erfüllt werden kann.

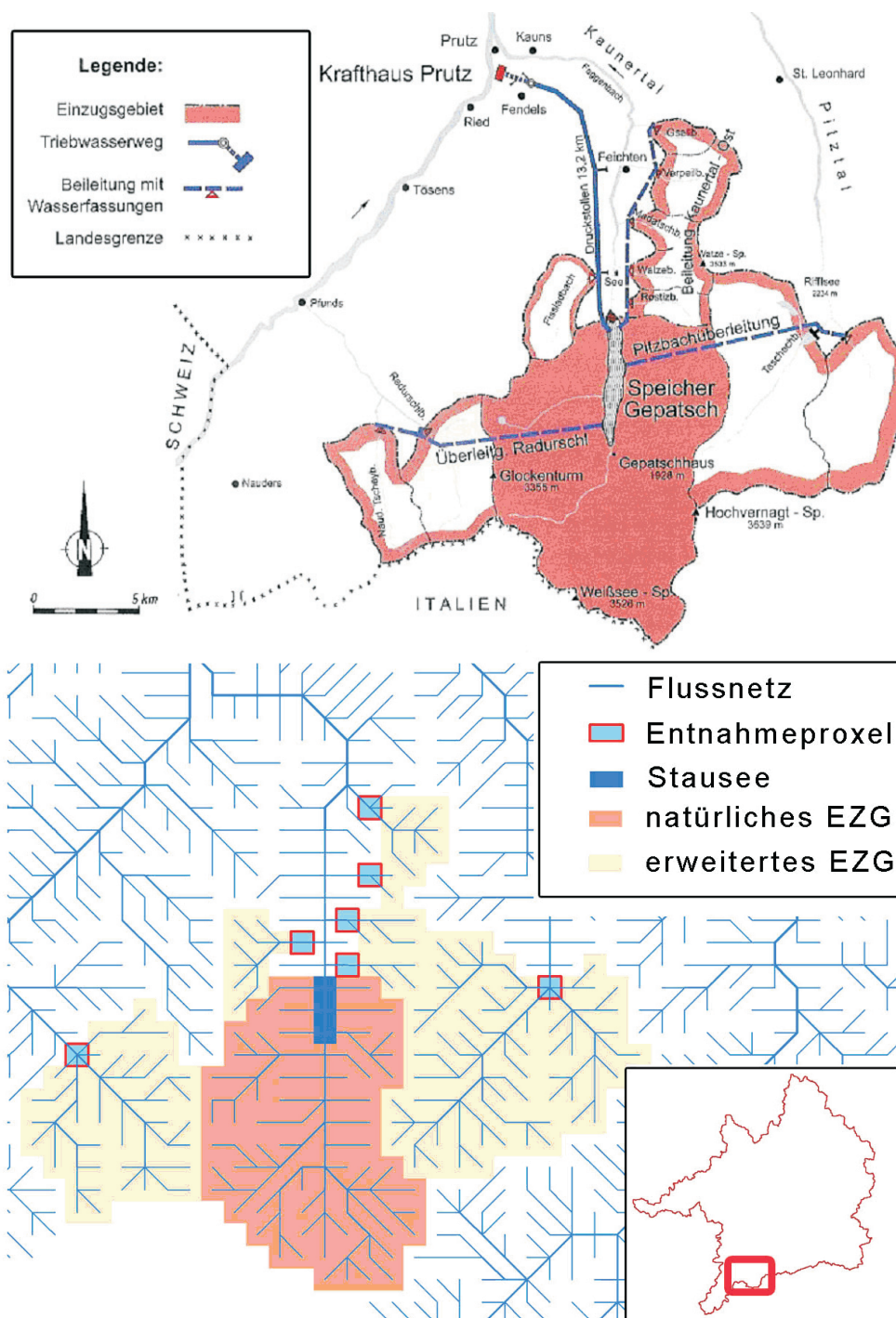


Abb. 14: natürliches und erweitertes Einzugsgebiet des Gepatschspeichers in Kartendarstellung der TIWAG (oben, 2006) und Realisierung innerhalb der Rivernetz Komponente (unten)

Eine weitere Komponente der Überleitung aus dem Einzugsgebiet der Donau zur Niedrigwasseraufhöhung im Maingebiet wird durch die Brombachüberleitung realisiert. Dabei werden dem Altmühlsee in der Realität jährlich rund 25 Mio m<sup>3</sup> Wasser entnommen und in das Maingebiet transferiert (StMLU 2000). Die Implementierung dieser Überleitung berücksichtigt die maximale Kapazität der Einrichtung (70 m<sup>3</sup>/s) sowie die geforderte Mindestwassermenge von 3,6 m<sup>3</sup>/s, die in der Altmühl verbleiben müssen. Zudem wird durch monatsspezifische Parametrisierung der Vorgabe zum Verbleib ökologisch relevanter, früh-

jährlicher Hochwasser in der Altmühl Rechnung getragen. Für den Zeitraum 2000 bis 2025 ergibt sich eine mittlere jährliche Überleitung von 19,8 Mio m<sup>3</sup>. Dieser Wert liegt größenordnungsmäßig im Bereich des für die Jahre 1994 bis 1999 angegebenen Mittelwerts (25 Mio m<sup>3</sup>).

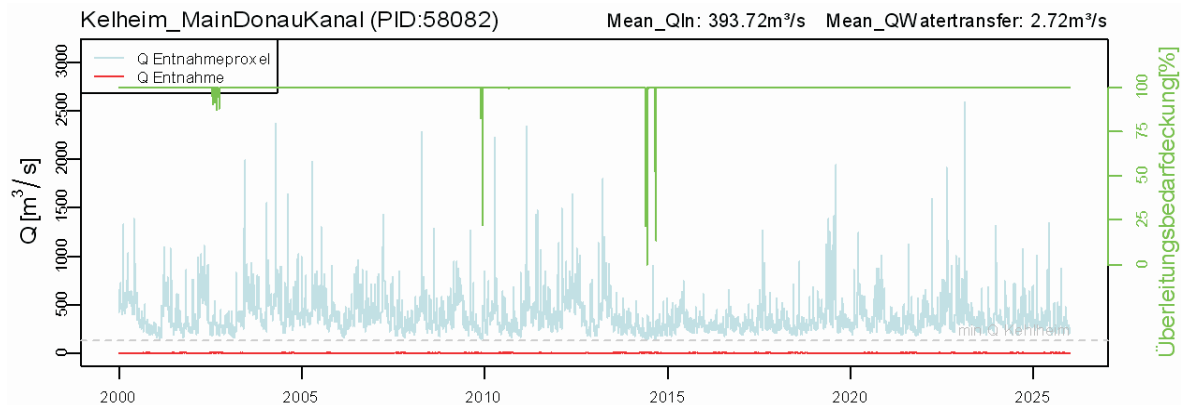


Abb. 15: Abfluss am Donauegel Kelheim und entnommene Wassermenge für die Donau-Main-Überleitung. Der bei einer Entnahme zu berücksichtigende Mindestabfluss (140 m<sup>3</sup>/s) in der Donau bei Kelheim ist durch die gestrichelt Linie dargestellt. Zusätzlich ist die Deckung des vom Kontrollpegels geforderten Überleitungsbedarfs in Prozent angegeben.

Auf Basis des DANUBIA-Laufs vom Februar 2006 werden im gesamten Untersuchungsgebiet während des Zeitraums 2000 bis 2025 im Mittel 1530 Mio m<sup>3</sup> pro Jahr durch Überleitungsanlagen transportiert und davon 105 Mio m<sup>3</sup> pro Jahr zugunsten der Niedrigwasseraufhöhung in das Maingebiet exportiert.

### 3.2.7 Deiche

#### 3.2.7.1 Implementierung

Deiche bzw. Schutzdämme stellen einen wirksamen Hochwasserschutz für die angrenzenden Gebiete dar. Darüber hinaus verändern sie auch durch Querschnittsverengung das natürliche Retentionsverhalten eines Fließgewässers.

Wie im Jahresbericht 2006 dargelegt, steht für das GLOWA-Danube-Untersuchungsgebiet kein einheitlicher, flächendeckender Datensatz zur Lage und Dimensionierung von Deichanlagen zur Verfügung. In der vorliegenden Parametrisierung sind die in einer Karte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft (BLfW 2001) dargestellten Deiche durch eine hier vorgenommene Digitalisierung berücksichtigt. Durch das Verschneiden der so erfassten Flussdeiche mit dem GLOWA-Danube-Flussnetz wird die Identifizierung der Proxel an den relevanten Flussstrecken umgesetzt (s. Abb. 16). Für die österreichischen Gebiete des GLOWA-Danube-Gebiets liegen laut Aussage des Lebensministerium Österreich keine flächendeckend zusammenhängenden Informationen zu Deichen vor.

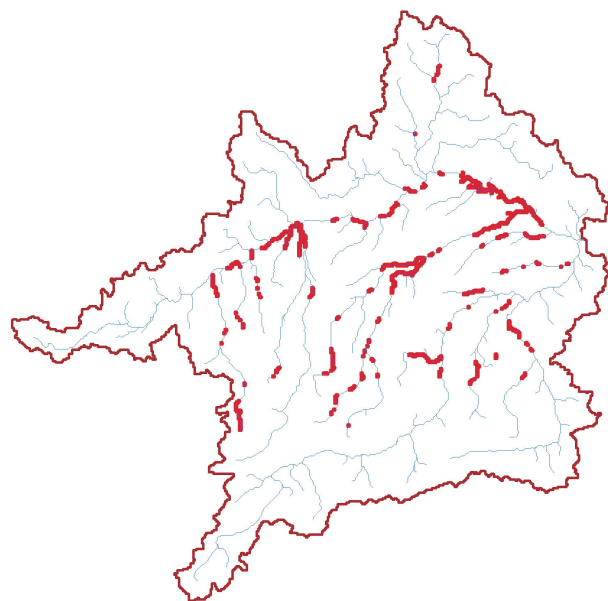


Abb. 16: Rivernetz-Gewässernetz mit deichgeschützten Proxeln

Die detaillierte Berücksichtigung der Auswirkungen von Deichen auf den Abfluss erfordert Berechnungen unter Verwendung von Quer- und Längsprofilinformationen für das Flussbett und die Vorländer in hoher räumlicher Auflösung. Eine spezifische Berücksichtigung der Fluss- und Vorlandsprofile ist wegen der räumlichen Auflösung (1 x 1km) innerhalb des GLOWA-Danube-Projekts jedoch nicht zielführend. Stattdessen werden die Auswirkung von Deichen auf das Abflussverhalten innerhalb der DAFLOW-Strecken des *Rivernetzwerk*-Flussnetzes durch eine in jedem Rechenschritt durchgeführte Justierung der Modellparameter realisiert. Die retentionsverringende Wirkung der Deichanlagen auf den Abflussvorgang wird dabei nachgebildet, indem der DAFLOW-Parameter Topwidth W auf die zweifache Gewässerbreite nach oben begrenzt wird, solange der Deich nicht überströmt wird (s. WILLEMS et al. 2007 und Jahresbericht 2006).

Der Grenzabfluss, bei dessen Überschreitung eine Überströmung der Deichanlage auftritt, wird für siedlungsfreie Proxel mit dem zehnjährlichen Hochwasserabfluss HQ10 und bei Proxeln mit Siedlung mit dem hundertjährigen Abfluss HQ100 gleich gesetzt.

### 3.2.7.2 Überlastungen

Die Detektion von Überlastungen an Deichen ist in das Flaggenmodell der Hochwasserdetektion integriert (vgl. Kap. 3.2.2.2). Bei der Berechnung der Hochwasserflaggen für das gesamte Flussnetz werden die deichgeschützten Gewässerstrecken gesondert berücksichtigt. Generell werden die Hochwasserflaggen in Abhängigkeit von Schwellenwerten gesetzt, die sich an verschiedenen Hochwasserjährlichkeiten orientieren (vgl. auch Jahresbericht 2005). Dabei werden Proxel mit und ohne Siedlung unterschiedlich behandelt. Innerhalb von Siedlungen wird, unabhängig von Deichanlagen, eine generell erhöhte Hochwassersicherheit angenommen. Wie im Jahresbericht 2006 dargestellt, wird nun bei siedlungsfreien Proxeln eine weitere Unterscheidung entsprechend dem Vorhandensein von Deichanlagen durchgeführt.

Wie bei der Beschreibung der Hochwasserflaggen dargelegt, liegt bei Nicht-Siedlungsproxeln ohne Deich ab dem Überschreiten der Abflussgrenze des zweijährlichen Hochwassers HQ2 eine Überschwemmung vor und es wird die entsprechende Hochwasserflagge der Klasse 2 gesetzt. Im Gegensatz dazu wird bei „eingedeichten“ Nicht-Siedlungsproxeln unterhalb dem Grenzabfluss HQ10 keine Überschwemmung ausgegeben und somit die Hochwasserflagge Klasse 1 übergeben. Übersteigt der Abfluss diesen Grenzwert, so ist mit einer Überspülung des Deichs zu rechnen und es wird die entsprechende Flaggenklasse 3 (erhebliche Überschwemmung) ausgegeben.

$$\begin{array}{ll} Q < HQ10 & \text{Flag} = 1 \text{ (kein Hochwasser)} \\ Q \geq HQ10 & \text{Flag} = 3 \text{ (extremes Hochwasser)} \end{array}$$

Die Klasse 2 (einfache Überschwemmung) ist an deichgeschützten Gewässerabschnitten nicht vorgesehen.

Zur Auswertung werden die Ergebnisse der Hochwasserflaggen-Modellierung mit dem Deich-Flächendatensatz überlagert, und somit die überlasteten Deichanlagen identifiziert.

### 3.2.7.3 Auswertung

Zur Untersuchung der Wirksamkeit der Deichberücksichtigung sei hier auf den Jahresbericht 2006 verwiesen, in dem eine Modellierung auf Basis des DANUBIA-Referenzlaufs von April 2005 hinsichtlich der Belastungssituation an Deichen während des Pfingsthochwassers 1999 ausgewertet wird.

### 3.2.8 Wehre

Wehre haben einen wesentlichen Einfluss auf hydraulische Merkmale wie Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit. Dadurch werden unter anderem die Temperatur und die Sauerstoffaufnahme eines Wasserkörpers beeinflusst, was wiederum zu weitergehenden Auswirkungen auf die Beschaffenheitsparameter führt.

Durch die Berücksichtigung von Wehren innerhalb des GLOWA-Danube-Modells werden diese Auswirkungen nachgebildet. Der ursprüngliche, in der ersten Projektphase verwendete Implementierungsansatz beinhaltet eine Veränderung des Sohlengefälles entlang der Proxel im Einflussbereich des Wehres. Dies berücksichtigt jedoch nur unzureichend den Einfluss auf die hydraulischen Merkmale. Die Abbildung von Wehren innerhalb der *Rivernetwork*-Komponente wird daher nun auf Basis der Vorschläge des DAFLOW-Entwicklers Jobson realisiert. Dazu wird der DAFLOW-Parameter A0 modifiziert. Die Art der Modifikation wird anhand einer Serie von hydrodynamischen Modellierungen mit dem Modell HEC-RAS in Form einfacher Regeln abgeleitet.

Um die Größe der Staubereiche vor den Wehren zu ermitteln, wird zunächst eine theoretische Wehrhöhe ermittelt. Diese orientiert sich am niedrigsten benachbarten Proxel, das nicht dem DAFLOW-Flussabschnitt (Branch) angehört. Ausgehend von einer angenommenen, maximalen Wehrhöhe werden dann alle flussaufwärts gelegenen Proxel des Branches, die bei Annahme einer minimalen Steigung von 0,0001 unterhalb der Wehrkrone liegen, als Staubereich definiert und die jeweiligen A0 Parameter werden modifiziert (s. Jahresbericht 2006 und WILLEMS et al. 2007).

Lageinformationen zu den Wehranlagen in Bayern liegen in Form von ATKIS Datensätzen vor. Durch Verschneidung der teilweise lagekorrigierten Daten mit dem Gewässernetz der *Rivernetwork*-Komponente erfolgt die Verortung der Wehranlagen innerhalb des DANUBIA-Rasters.

### 3.2.9 Pegel

Die *Rivernetwork*-Komponente modelliert die Abflüsse für alle Proxel des GLOWA-Danube-Untersuchungsgebiets. Durch die Ausgabefunktion des Frameworks werden diese Abflussdaten auf Basis von Tagesmittelwerten in dem DANUBIA-Ddat-Format gespeichert.

Darüber hinaus bietet die *Rivernetwork*-Komponente die Möglichkeit, Wasserquantitäts- sowie Wasserqualitätsparameter auf stündlicher Basis zu registrieren. Dazu werden die gewünschten Proxel im Modul *GaugeModel* mit virtuellen Pegelstellen versehen.

Dieses Untermodell führt keine eigenen Berechnungen aus, sondern dient der reinen Datenausgabe an den ausgewählten Proxeln. Über individuelle Parameterdateien wird die Art der Pegel festgelegt. „Wasserquantitätspegel“ dokumentieren den Abfluss sowie den Wasserstand, „Wasserqualitätspegel“ registrieren die Wasserbeschaffenheitsparameter. Für jede Pegelstelle werden über den GLOWA-Danube Time series writer die Daten zu jedem Zeitschritt protokolliert.

### 3.2.10 Kläranlageneinzugsgebiete, Kanalnetze, Kläranlagen

#### 3.2.10.1 Implementierung

Ein Ziel der Arbeitsgruppe Oberflächengewässer für die zweite Projektphase ist die Integration siedlungswasserwirtschaftlicher Strukturen in die hydrologische Flussgebietsmodellierung. Die Notwendigkeit der Berücksichtigung dieser Strukturen wird bereits in den vorangegangenen Berichten dargelegt. Das bayerische Kanalnetz zur Siedlungsentwässerung weist im Jahr 2001 eine Gesamtlänge von ca. 80.000km auf und erreicht damit eine ähnliche Größenordnung wie das bayerische Flussnetz. In Bayern gibt es rund 3000 Kläranlagen (BLfU 2005). Diese Strukturen der Siedlungsentwässerung leiten die betroffenen



Wasser- und Stoffströme in der zeitlichen Verteilung und qualitativ verändert in die natürlichen Gewässernetze ein.

Das Ziel der Integration der Kläranlageneinzugsgebiete, Kanalnetze und Kläranlagen in das GLOWA-Danube-System ist die Nachbildung punktueller Wassermengen- und Wasserqualitätseinträge in das Gewässersystem sowie die Detektion der Belastungssituationen von Kanalnetz und Kläranlagen. Das Kläranlagenmodul innerhalb der *Rivernetz*-Komponente leitet häusliche Abwässer durch intern generierte, dimensionierte und auf Überlastung hin kontrollierte Kanalisationsnetze zu den Kläranlagenstandorten. Die Kläranlagen geben das Abwasser mit Standardbelastungen wieder in die Hauptgewässer ab. Dabei werden die Belastungssituationen der einzelnen Kläranlagen detektiert.

Durch eine Abbildung der Rückführung dieser Wasserströme in das natürliche Entwässerungssystem wird der Wasserkreislauf unter Berücksichtigung der anthropogenen Einflüsse durch Kanalsysteme und Kläranlagen auf Wassermenge und -qualität nachgebildet und somit geschlossen.

Zur Implementierung der Strukturen sind umfassende Arbeiten notwendig, die ausführlich im Jahresbericht 2006 beschrieben sind und im Folgenden zusammengefasst werden.

In einem ersten Schritt erfolgt die synthetische Erzeugung der Einzugsgebiete für alle Kläranlagen. Dies ist notwendig, da Informationen zur Lage und Dimensionierung dieser Einzugsgebiete nicht verfügbar sind. Zur Erzeugung der Kläranlageneinzugsgebiete werden neben den WasGIS-Daten des bayerischen Landesamts für Wasserwirtschaft zur Lage und zu Ausbau-Einwohnerwerten von Kläranlagen auch die Gemeindegrenzen, das Höhenmodell und Daten zur Bevölkerungsdichte prozessiert.

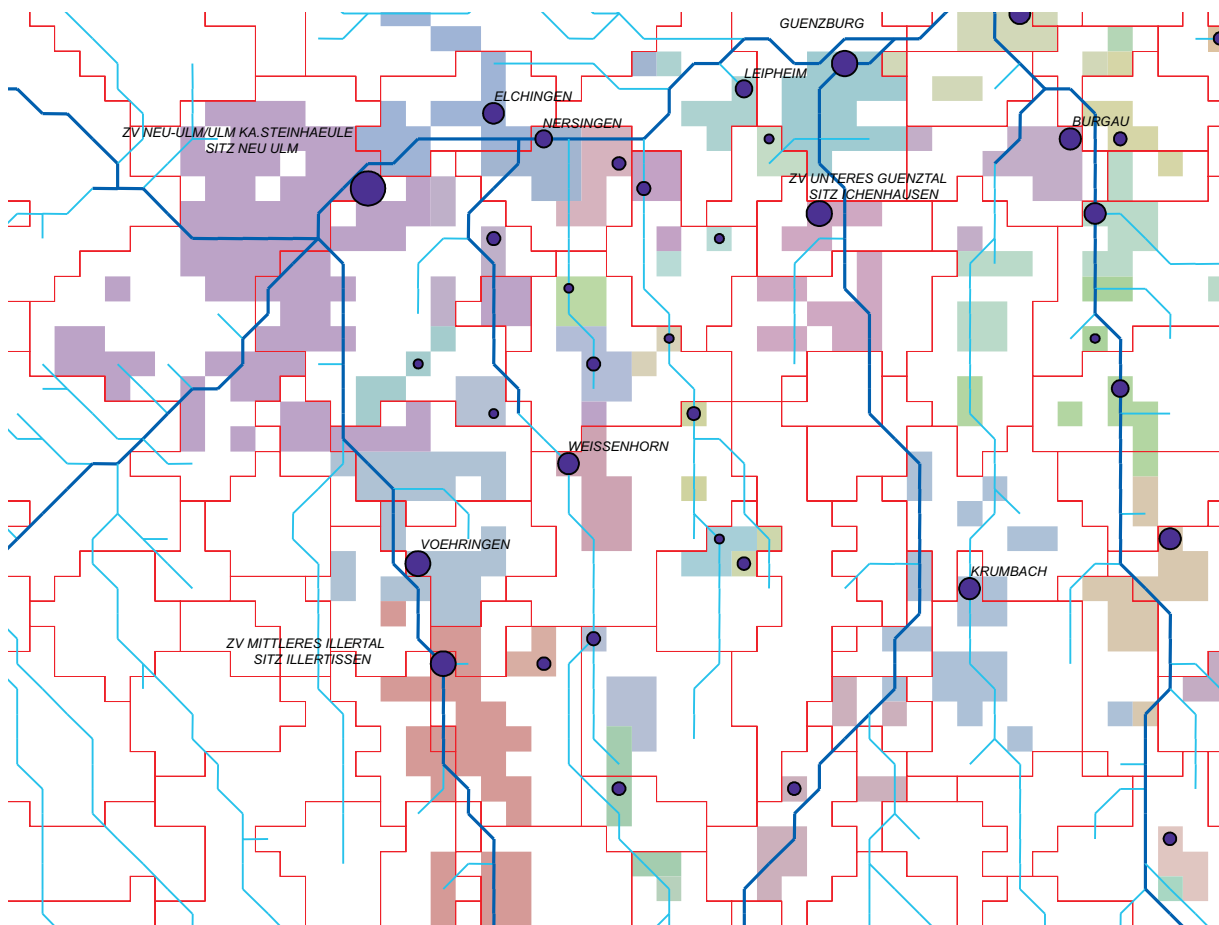


Abb. 17: Generierte Kläranlageneinzugsgebiete im Raum Ulm. Schwarze Kreise: Kläranlagenstandorte aus Kataster mit Kreisradius proportional zur Ausbau-Einwohnerzahl, rot: Gemeindegrenzen, ausgefüllte Flächen: generierte Kläranlageneinzugsgebiete



Ein auf dem Prinzip der Kostendistanz basierender Algorithmus wird angewendet, bei dem ein Wachstum des Kläranlageneinzugsgebiets in Richtung zunehmender Geländehöhe begünstigt wird, so dass natürliche Gefälle bei den zu erzeugenden Entwässerungsnetzen genutzt werden können. Durch eine Anhebung der Kosten beim Überschreiten von Gemeindegrenzen wird zusätzlich ein tendenzielles Wachstum innerhalb dieser Grenzen gefördert (Abb. 17). Der Vergleich der Ausbau-Einwohnerzahl mit den anhand des Verfahrens ermittelten Bevölkerungszahlen innerhalb von insgesamt 1800 Kläranlageneinzugsgebieten im bayerischen Untersuchungsgebiet ergibt ein Bestimmtheitsmaß von 98,9%.

Für das Routing der Abwasserströme wird innerhalb der *Rivernetzwerk*-Komponente eine künstliche Erzeugung der Kanalnetze vorgenommen. Grundlage sind die Proxel des generierten Kläranlageneinzugsgebiets, deren Höhen aus dem Höhenmodell sowie das Proxel des Kläranlagenstandortes. Wie im Jahresbericht 2006 näher beschrieben, erfolgt die Kanalnetzgenerierung durch ein kostenminimierendes, graphentheoretisches Verfahren, das die Kanalnetztopologie ausgehend von der Kläranlage in Form einer Baumstruktur generiert. Jedes Proxel des Kläranlageneinzugsgebiets wird dabei in das Kanalnetz aufgenommen.

Die Dimensionierung der Kanalnetze erfolgt nach den Vorgaben des ATV-DVWK- Regelwerks (ATV 200) und basiert auf der allgemeinen Abflussformel unter Verwendung der Prandtl-Colebrook-Gleichung. Für die Rohre werden hierzu Kreisprofile mit Vollfüllung angenommen. Der zur Rohrdimensionierung erforderliche Bemessungsabfluss wird je nach Anlagentypus durch den Regenwetterabfluss und den Trockenwetterabfluss festgelegt und beachtet Trenn- und Mischwassersysteme. Der Regenwetterabfluss wird auf Grundlage der Regenspende nach Reinhold durch ein Zeitbeiwert-Verfahren festgelegt. Der Trockenwetterabfluss berücksichtigt den Bemessungswert für häusliche und industrielle Schmutzwasserabflüsse und verwendet ebenfalls ein Zeitbeiwert-Verfahren.

Das Routing der Wasserströme innerhalb der generierten Kanalsysteme erfolgt mittels der Muskingum-Methode. Die dazu benötigten Muskingum-Parameter X und K werden dabei ermittelt, in dem die Überlegungen von Cunge und die Prandtl-Colebrook-Formel wie folgt zusammengeführt werden (zur Ableitung s. WILLEMS et al. 2007):

$$X = \frac{1}{2} \cdot \left( 1 - \frac{\pi \cdot d}{4S_0 \cdot L} \right)$$

$$K = \frac{-L}{2 \cdot \sqrt{2g \cdot d \cdot J_E} \cdot 1g \left( \frac{2.51 \cdot \nu}{d \cdot \sqrt{2g \cdot d \cdot J_E}} + \frac{k_b}{3.71 \cdot d} \right)}$$

mit:

$d$	=	Rohrdurchmesser
$J_E$	=	Energieliniengefälle
$S_0$	=	Kanalgefälle
$L$	=	Länge des Kanals
$k_b$	=	Rauheit
$\nu$	=	kinematische Viskosität
$g$	=	Erdbeschleunigung.

Bei der Modellierung werden die Kläranlagenobjekte vor dem bisherigen Routing-Verfahren ausgeführt. Dabei wird ein bestimmter Anteil der Wasserströme in das Kläranlagenobjekt umgeleitet, zum Auslasspunkt des Kläranlageneinzugsgebietes geroutet und in das jeweilige Hauptgewässer (BLTM-Flussnetz) eingeleitet. (Abb. 18).

Für jede Kläranlage werden somit bei jedem Zeitschritt folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

1. Zur Einbindung von Fremdwasser und Regenwasser wird für jede importierte Komponente (*Surface/SubSurface/Inexfiltration*) ein fixer Prozentsatz auf Proxel-Ebene innerhalb des Kläranlageneinzugsgebietes entnommen.
2. Für jedes Kanalisationsproxel wird
  - die auf einem Kanalisationsproxel anfallende *WastewaterQuantity*-Komponente ohne Verlust zusammen mit dem Fremdwasseranteil in die Kanalisation eingeleitet. Die Wassermenge, die die Aufnahmekapazität der Kanalisation überschreitet wird als *Surface*-Komponente abgeleitet. Diese Überlastung des Kanalnetzes wird protokolliert.
  - die aktuell vorhandene Wassermenge in den Kanälen zum nächsten Kanalisationsproxel durch das Muskingum-Verfahren geroutet.
3. Am Kläranlagenstandort erfolgt die Zuordnung der Schadstoffbelastung anhand einer fixen, vorgegebenen Abgabelast an das geroutete Abwasser und dessen Einleitung in das Hauptgewässer.
4. Die aktuelle Schlammbelastung BTS der Kläranlage wird anhand der aktuellen Abwasserdaten abgeschätzt und mit einer innerhalb der Initialisierungsphase ermittelten Bemessungsgröße der Anlage verglichen. Bei einer Überschreitung wird eine Überlastung der Kläranlage detektiert.
5. Die Abwassertemperatur  $T$  wird anhand des statistischen Wassertemperaturmodells errechnet, wobei der Schwankungsbereich der Temperatur in den Bereich  $[10, 22]$  Grad Celsius transformiert wird.

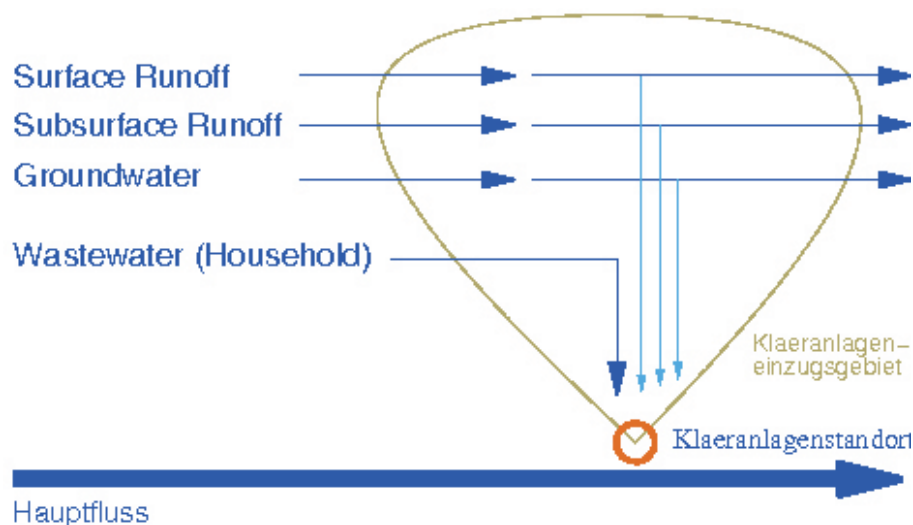


Abb. 18: Schematische Darstellung der Wasserströme im Umfeld einer Kläranlage

### 3.2.10.2 Überlastung

Bei der Modellierung werden sowohl Überlastungen der Kanalnetze als auch der Kläranlagen detektiert.

Bei den Kanalnetzen werden Überlastungen ausgelöst, wenn die Zuflüsse die Leitungskapazitäten überschreiten. In diesem Fall wird gemäß des Prinzips der Mischwasserkanalisation das nicht im Kanalnetz ableitbare Wasser in das natürliche Gewässernetz eingespeist. Die Ausgabe der Überlastungen erfolgt über einen GLOWA-Danube *Time series writer*, der für jeden Zeitschritt die betroffenen überlasteten Proxel protokolliert.

Die Detektion von Überlastungen an Kläranlagen wird anhand der Schlammbelastung des Belebungsbeckens vorgenommen. Dieser Parameter dient generell als Bemessungsgröße bei der Planung von Kläranlagen. Die *Rivernetwork*-Komponente verwendet hierzu einen Algorithmus zur statischen Bemessung des Belebungsbeckens einer Kläranlage. Die Dimensionierung erfolgt einmalig in der Initialisierungsphase und basiert auf den Dimensionierungsparametern BSB5, Nitratlast, Feststoffkonzentration im Zulauf und Einwohnergleichwerte, die für jede Kläranlage individuell festgelegt sind.

Das Dimensionierungsergebnis Schlammbelastung  $BTS_{dim}$  wird als Überlastungsindikator verwendet und als Sollgröße, die nicht überschritten werden darf, festgelegt. Während der Simulation wird in jedem Zeitschritt die Schlammbelastung  $BTS_{act}$  erneut ermittelt, wobei der BSB5-Wert und die Nitratlast sowie die Feststoffkonzentration jeweils neu festgelegt werden. Eine Überlastung erfolgt, falls  $BTS_{act}$  größer ist als  $BTS_{dim}$ .

### 3.2.10.3 Auswertung

Durch eine lokal durchgeführte Langzeitsimulation vom 1.1.2000 bis 31.12.2020 anhand der Ergebnisse des DANUBIA-Szenarienlaufs vom Februar 2006 wird die Überlastungssituation von Kanalnetzen in 83 Modellkläranlageneinzugsgebieten ermittelt. Abbildung 19 zeigt die mittleren Jahreshäufigkeiten der Überlastung des Kanalnetzes. Dabei wird ein Kanalnetz als überlastet betrachtet, wenn zu einem Zeitschritt mindestens auf einem Proxel des Kanalnetzes die abzuführende Wassermenge die Rohrkapazität überschreitet. Dabei sind die einzelnen Überlastungsereignisse durch eine Zeitspanne von zumindest fünf Tagen voneinander getrennt. Es wird erkennbar, dass Kläranlagen mit einem großen Kläranlageneinzugsgebiete tendenziell mehr Überlastungen aufweisen.

Als weiteres Resultat zeigt die folgende Abbildung 20 die Kläranlagenüberlastung anhand des Kriteriums Schlammbelastung am Beispiel der simulierten Kläranlage von Fürstenfeldbruck. Die Simulation wurde anhand der Ergebnisse des DANUBIA-Szenarienlaufs 2006 durchgeführt. Sobald die aktuelle Schlammbelastung den Dimensionierungswert überschreitet, wird eine Überlastung detektiert.

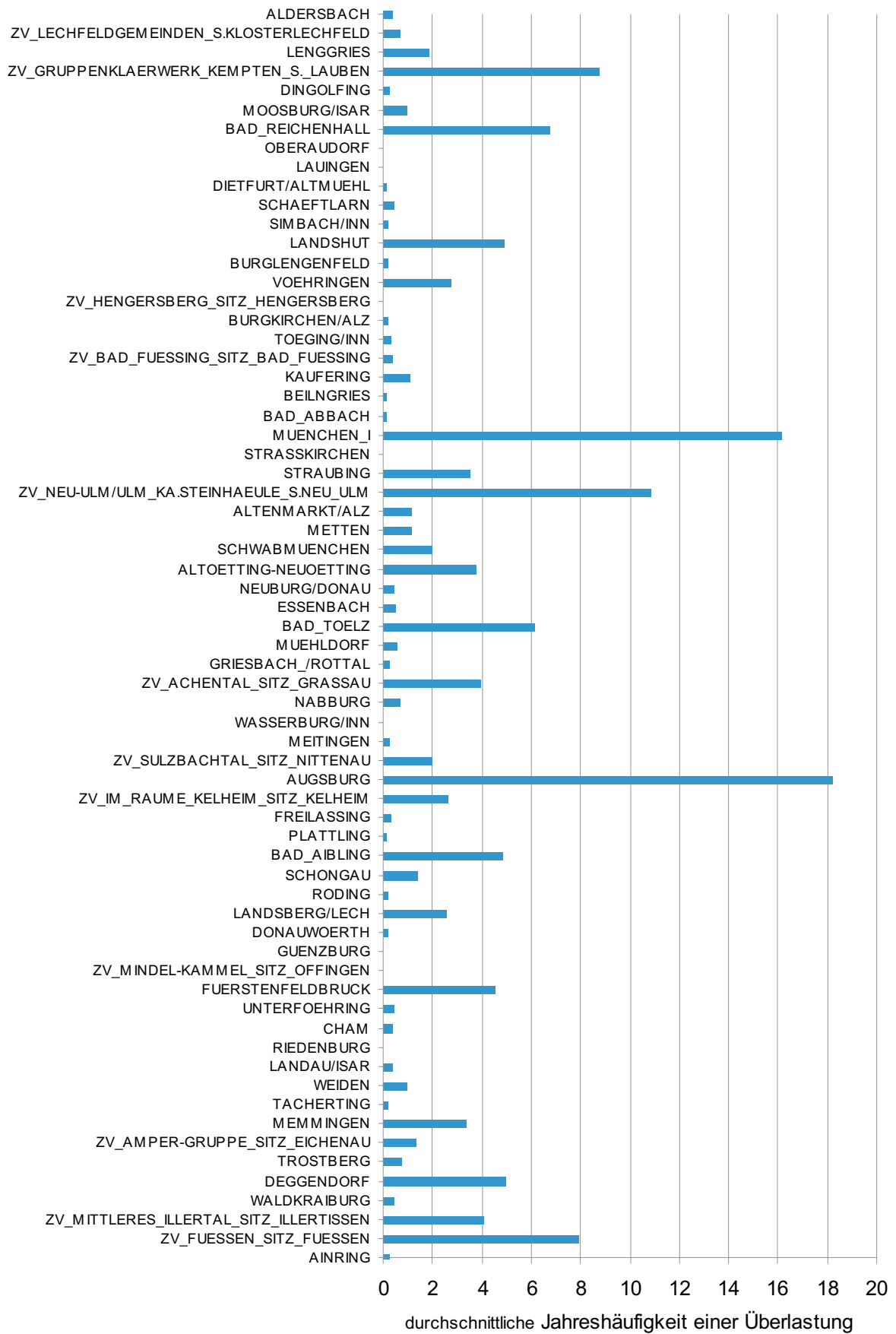


Abb. 19: Überlastung des Kanalisationsnetzes

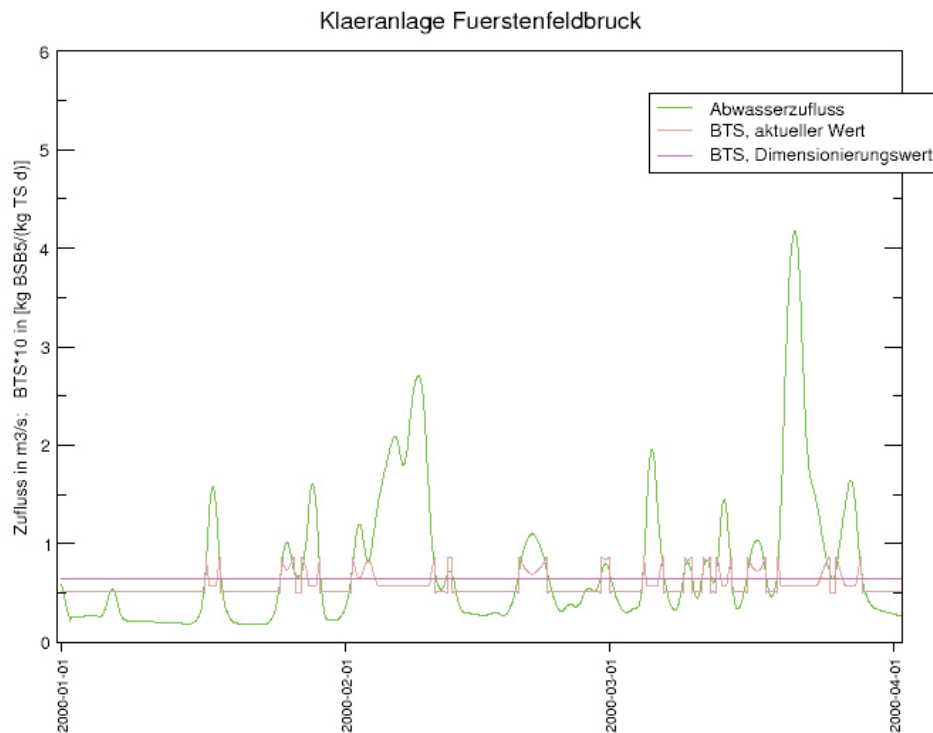


Abb. 20: Kläranlagenüberlastung anhand der Schlammbelastung BTS

### 3.2.11 Fehlermodellierung

Betrachtungen zu Fehlern und zur Fehlerfortpflanzung sind möglicherweise zentrale Elemente innerhalb der weiteren GLOWA-Danube-Entwicklungen, da nur auf dieser Grundlage Aussagen über die Qualität der Modellierungsergebnisse abgeleitet werden können. Anders als bei den anderen Teilprojekten stellt sich innerhalb der *Rivernetz*-Gruppe speziell die Frage der Fortpflanzung von Fehlern in umfassenderer Form, weil im Zuge des Abfluss-Routings die Modellausgaben an den jeweiligen Oberlieger-Gewässerstrecken als Modelleingabedaten für die nachgelagerten Unterlieger-Strecken fungieren, so dass sich Fehler gemeinsam mit dem nach unten gerouteten Abfluss durch das Gewässernetz bewegen und dabei verstärken oder abschwächen können.

Im Jahresbericht 2006 wird ein Ansatz vorgestellt, bei dem das Muskingum-Modell auf das gesamte GLOWA-Danube-Gewässernetz angewendet und dabei um die Betrachtung der Gauss'schen Fehlerfortpflanzung erweitert wird. Dabei werden neben den Varianzen auch die Kovarianzen aller Größen, die bei der Muskingum-Methode verwendet werden, mitgeführt. Das Ergebnis ist die Fehlervarianz für den Abfluss pro Proxel.

Die Fehlerfortpflanzung nach Gauss ergibt sich hier in der Form

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^5 \left( \left( \frac{\partial Q}{\partial x_i} \right)^2 \cdot \sigma_{x_i}^2 \right) + 2 \cdot \sum_{i=1}^4 \sum_{j=i+1}^5 \left( \left( \frac{\partial Q}{\partial x_i} \right) \left( \frac{\partial Q}{\partial x_j} \right) \cdot cov(X_i, X_j) \right)$$

Dabei beschreibt Q als 5-dimensionale Funktion den gerouteten Abfluss von einem zum nächsten Proxel. Die 5 Argumente  $x_i$  sind die Muskingum-Parameter X und K, der Zufluss im jetzigen und vorherigen Zeitschritt und der geroutete Abfluss des vorherigen Zeitschritts. Anhand der Formel wird deutlich, wie die Fehlervarianzen dieser Größen als auch die Kovarianzen zwischen diesen Größen anhand der korrespondierenden partiellen Ableitungen gestaucht oder gedehnt werden. Die Fehlerfortpflanzung  $s_2$  für den gerouteten Abfluss ergibt sich letztlich als Summe dieser gestauchten oder gedehnten Varianzen. Die fortlaufende Anwendung dieser Berechnung längs der Routingstrecken, bei der die Fehler-



varianz eines Abflusses zur Bestimmung der Fehlervarianzen des Zuflusses für die nächste Routingstrecke verwendet wird, führt hier zur Abschätzung der Fehlerfortpflanzung längs des gesamten GLOWA-Danube-Gewässernetzes. Hintergründe zur Herleitung der Formel können der technischen Dokumentation (WILLEMS et al. 2007) entnommen werden.

Zur Bewertung der ermittelten Fehlervarianzen wird die Standardabweichung des Fehlers durch den Abfluss dividiert. Die folgende Karte (Abb. 21) zeigt die mittlere Fehlerstandardabweichung dividiert durch den mittleren Abfluss. Die Berechnung erfolgt über den Simulationszeitraum vom 1.1.2000 bis zum 31.12.2001, wobei die Ergebnisse des DANUBIA-Laufs vom Februar 2006 als Eingabedaten verwendet werden. Man erkennt kleinste relative Fehler im Bereich größerer Gefälle und eine Abnahme der relativen Fehler beim Zusammenfluss der mittleren zu größeren Gewässern (vor allem im Alpen- und Voralpenraum).

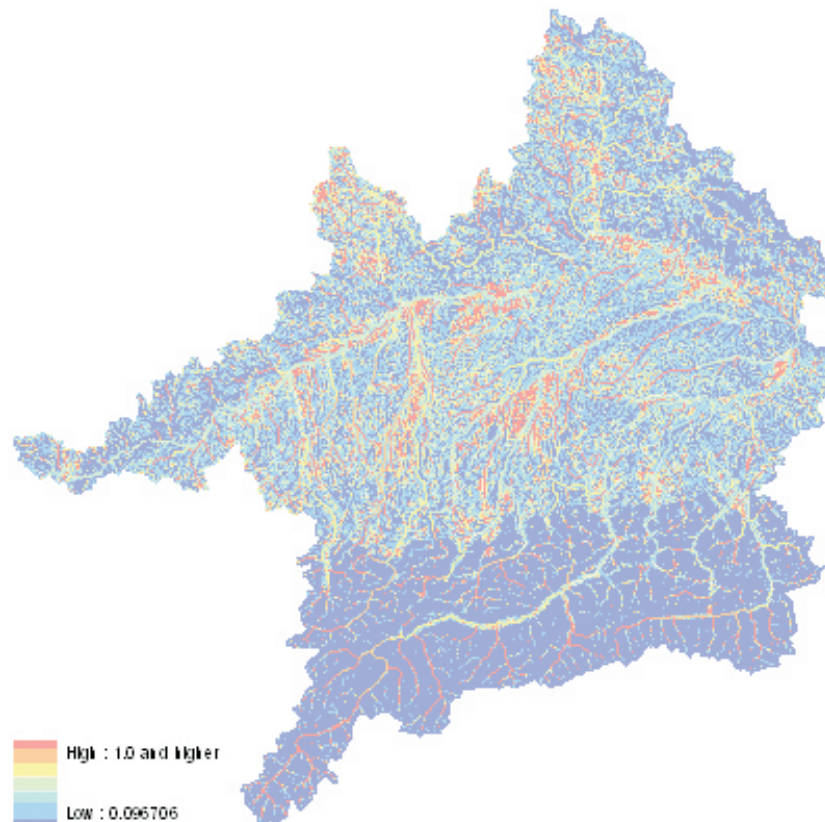


Abb. 21: Fehler-Standardabweichungen in Bezug zum Abfluss

### 3.3 Integrale Arbeiten

#### 3.3.1 Erweiterung von Schnittstellen

Im Berichtszeitraum werden die Schnittstellen zu den Hauptkomponenten *Landsurface*, *Groundwater*, *Atmosphere* und *Actor* angepasst oder erweitert. Die neuen Schnittstellen sind dem UML-Diagramm im Kapitel 3.4 zu entnehmen.

Die von anderen Komponenten zur Verfügung gestellten Daten, die in der *Rivernetwork* Komponente weiterverarbeitet werden, sind der *Surface Runoff* (*getSurfaceRunoff*), der *Subsurface Runoff* (*getSubsurfaceRunoff*) und die Grundwasserin- und exfiltration (*getIn-Exfiltration*) als grundlegende Größen zu routen. Ferner wird die Wassernachfrage der Industrie (*getIndustrialRiverWaterDemand*), die Wasserentnahme oder Zuführung durch den Tourismus (*getTourismRiverWaterDemand*) und die häusliche Abwasserzuleitung (*getWasteWaterQuantity*) mit bilanziert.

Zur Bestimmung der Gewässergüte werden die meteorologischen Daten Lufttemperatur (*getAirTemperature*) und Windgeschwindigkeit (*getWind*) sowie die Bodentemperatur (*getSoilTemperature*) weiter verarbeitet. Zur Festlegung des Schadstoffeintrags in das Gewässer werden die Nitratkonzentrationen in dem *Surface*-, *Subsurface Runoff* sowie in dem Grundwasserstrom eingesetzt (*getNSurfaceRunoff*, *getNSubsurfaceRunoff*, *getNGroundwater*).

An Ergebnissen stellt die *Rivernetwork*-Komponente als wesentliche Größe den gerouteten Abfluss (*getRiverDischarge*) in jedem Proxel und die Flusstiefe (*getRiverLevel*) zur Verfügung. Für die *Tourismus*-Komponente wird die tatsächlich mögliche Wasserentnahmemenge (*getTourismRiverWaterSupply*) zurückgegeben. Im Zuge der Einführung des Flaggenkonzeptes werden die allgemeine Wasserverfügbarkeit (*getRiverWaterQuantityFlag*) sowie die monatlich aggregierten Hochwasserereignisinformationen (*getRiverFloodFlag*) der *Actor*-Komponente zur Verfügung gestellt. Die stündlichen Hochwassersituationen (*getRiverFloodFlagHourly*) werden an die *Landsurface*-Komponente weitergegeben.

Die Gewässergütemodellierung liefert als Resultat die Nitratkonzentration (*getNRiver*), die gelöste Sauerstoffkonzentration (*getDORiver*) und den biologischen Sauerstoffbedarf (*getBODRiver*) in den Hauptgewässern an die *Actor*-Komponente. Die Nitratkonzentration wird zudem an die *Landsurface*-Komponente weiter geleitet.

### **3.3.2 Arbeiten zur verbesserten Gesamtkalibrierung**

Im Rahmen eines interdisziplinären Ansatzes zur verbesserten Gesamtkalibrierung der Komponenten *Groundwater*, *Surface/Subsurface* und *Rivernetwork* wird im Berichtszeitraum eine umfassende Analyse mit dem Ziel der Ermittlung von Daten zur verbesserten Gesamtkalibrierung der Komponenten vorgenommen. Auf Basis gemessener Pegeldaten werden dazu 200 Pegelzwischeneinzugsgebiete definiert und jeweils die Daten des Oberliegerpegels für den Zeitraum 2000 bis 2001 mittels der DAFLOW-Methode geroutet. Durch Vergleich der modellierten Ergebnisse mit den vorliegenden gemessenen Werten werden für jedes Teilgebiet Differenzenganglinien erstellt und entsprechende Korrekturfaktoren zur Volumen Anpassung ermittelt. Diese Korrekturfaktoren werden den Komponenten *Groundwater* und *Surface/Subsurface* zur Verfügung gestellt, um Bilanzfehler in den Zwischengebieten zu minimieren.

### **3.3.3 Interdisziplinäre Auswertungen für die Statuskonferenz 2005**

Die Teilprojekte Oberflächengewässer und Grundwasser präsentieren auf der zweiten GLOWA-Konferenz im Mai 2005 das gemeinsame Poster „Lateral Transport of Water & Constituents“. Dargestellt werden darin der aktuelle Stand der jeweiligen Komponenten und der gewählte Ansatz zu deren Verknüpfung.

Darüber hinaus wird auf der Grundlage der gekoppelten Komponenten *Surface/Subsurface*, *Groundwater* und *Rivernetwork* das interdisziplinäre Poster „*Water Resources Management*“ präsentiert. Inhalte sind neben der Validierung des gekoppelten Systems mit Hilfe gemessener Datensätze für den Zeitraum 1971 bis 2000 auch Abschätzungen der Auswirkungen eines Klimaszenarios (IPCC-B2) auf den Wasserhaushalt und die Abflusssituation im Untersuchungsgebiet für den Zeitraum 2005 bis 2104.

Dabei erfolgt die Erzeugung von Klimadatensätzen, indem real gemessene Klimaelemente mittels eines speziellen Resampling-Verfahrens neu sortiert werden und dabei eine transiente Änderung der Klimaelemente eingebunden wird. Seitens des Teilprojektes Oberflächengewässer werden die auf dieser Grundlage an ausgewählten Donau-Pegeln ermittelten Abflüsse statistischen Niedrigwasseranalysen unterzogen. Wie in Abbildung 22 für die ausgewählten Pegel entlang der Donau für die Jahre 2040, 2064 und 2089 dargestellt, resultieren Niedrigwasserabfluss-Quantile, die mit der Zeit abnehmen.

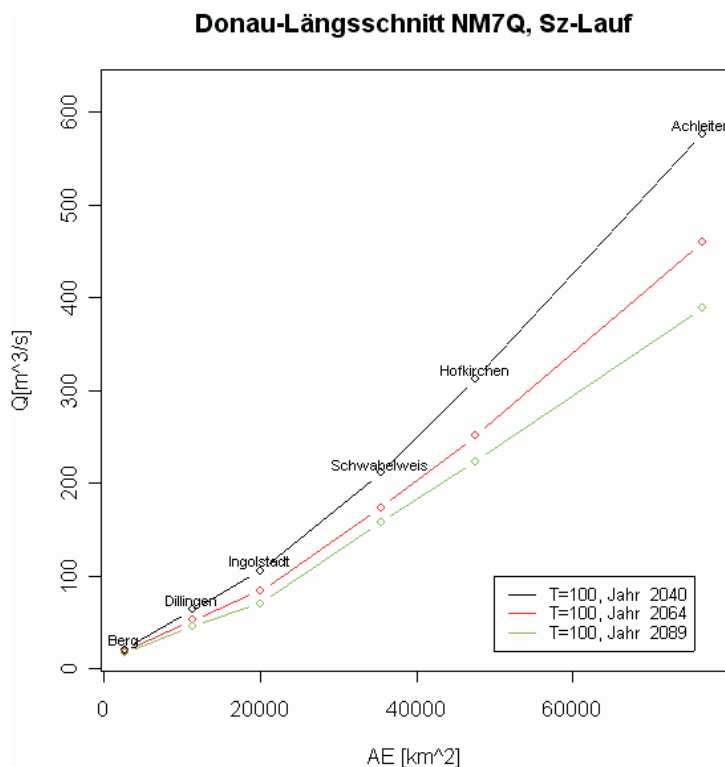


Abb. 22: Ergebnis der instationären Wahrscheinlichkeitsanalyse von NM7Q entlang der Donau

Für die zur Ermittlung von Abbildung 22 notwendige Extremwertanalyse kann der klassische Ansatz der Wahrscheinlichkeitsmodellierung (DVWK 1983, 1999) nicht verwendet werden, da dieser Instationaritäten in Extremwerten nicht berücksichtigen kann. Es wird daher ein erweiterter Ansatz verwendet, bei dem die Parameter der zugrunde liegenden Verallgemeinerten Extremwertverteilung (GEV) nicht als konstant betrachtet sondern als Funktion der Zeit modelliert und mittels der *Maximum-Likelihood-Methode* geschätzt werden. Die theoretischen Hintergründe dieser Vorgehensweise erläutert COLES (2001) und hydrologische Anwendungen im Bereich der Niedrigwasseranalyse liefern z.B. KATZ et al. (2002) und WILLEMS (2004, 2005a). Ausführlichere Darstellungen sind dem Jahresbericht 2005 sowie dem Poster „*Water Resources Management*“ zur GLOWA-Konferenz 2005 zu entnehmen.

### 3.3.4 Global Change Atlas

Die Arbeitsgruppe Oberflächengewässer beteiligt sich mit folgenden Kapiteln inklusive Kartenblättern und Textteil am Global Change Atlas des GLOWA-Danube-Projekts:

- Kapitel 1 Natur- und Sozialraum
  - 1.11: Mittlerer täglicher Durchfluss und Durchflussvariabilität
- Kapitel 2 Simulationsmodelle der Teilprojekte
  - 2.3.1: Abflussspende und Gewässerbeschaffenheit

#### Mittlerer täglicher Durchfluss und Durchflussvariabilität

In der folgenden Abbildung werden der Durchfluss sowie die Durchflussvariabilität im Untersuchungsgebiet auf Basis regionalisierter Abflussmessungen von 1980 bis 1999 dargestellt. Im Textteil werden neben einer allgemeinen Begriffserklärung Informationen zur Datengrundlage sowie zur Prozessierung durch das am IAWG entwickelte Regionalisierungsverfahren gegeben. Die entsprechende Karte zeigt für das GLOWA-Danube-Gebiet den mittleren Durchfluss MQ, dargestellt in fünf Klassen für alle Proxel ab einem Einzugsgebiet von 160km<sup>2</sup>. Dies entspricht näherungsweise dem natürlichen Flussnetz mit einer Flussordnungszahl 3 und höher (nach Strahler). Überlagert werden diese Daten mit zusätzlichen Informationen zur Durchflussvariabilität. Diese gibt Aufschluss über die Spannweite der an einem Ort auftretenden Durchflüsse und wird aus dem Quotient der regionalisierten Hauptwerte NQ (niedrigster Durchfluss) und HQ (höchster Durchfluss) gebildet (Abb. 23).



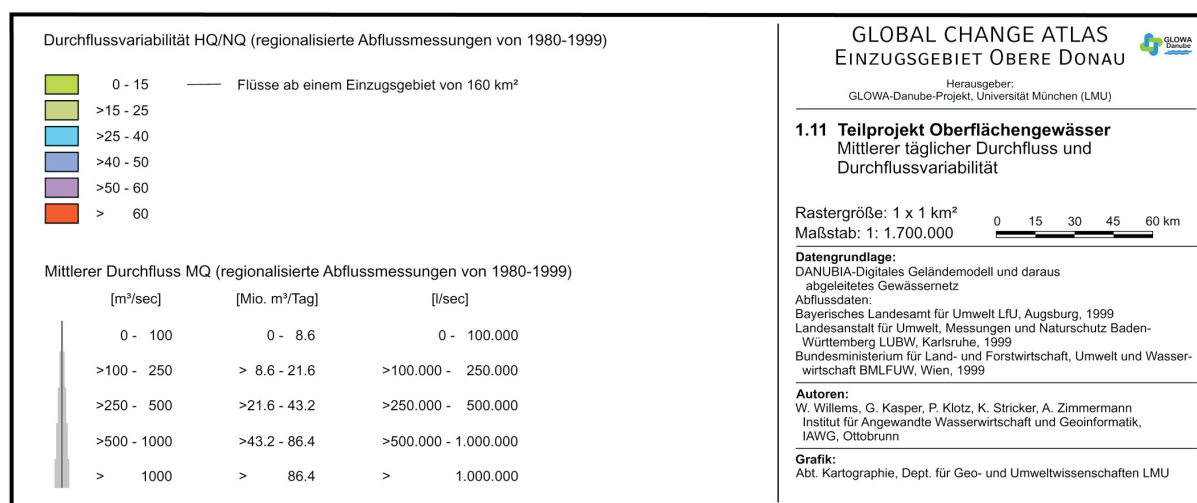
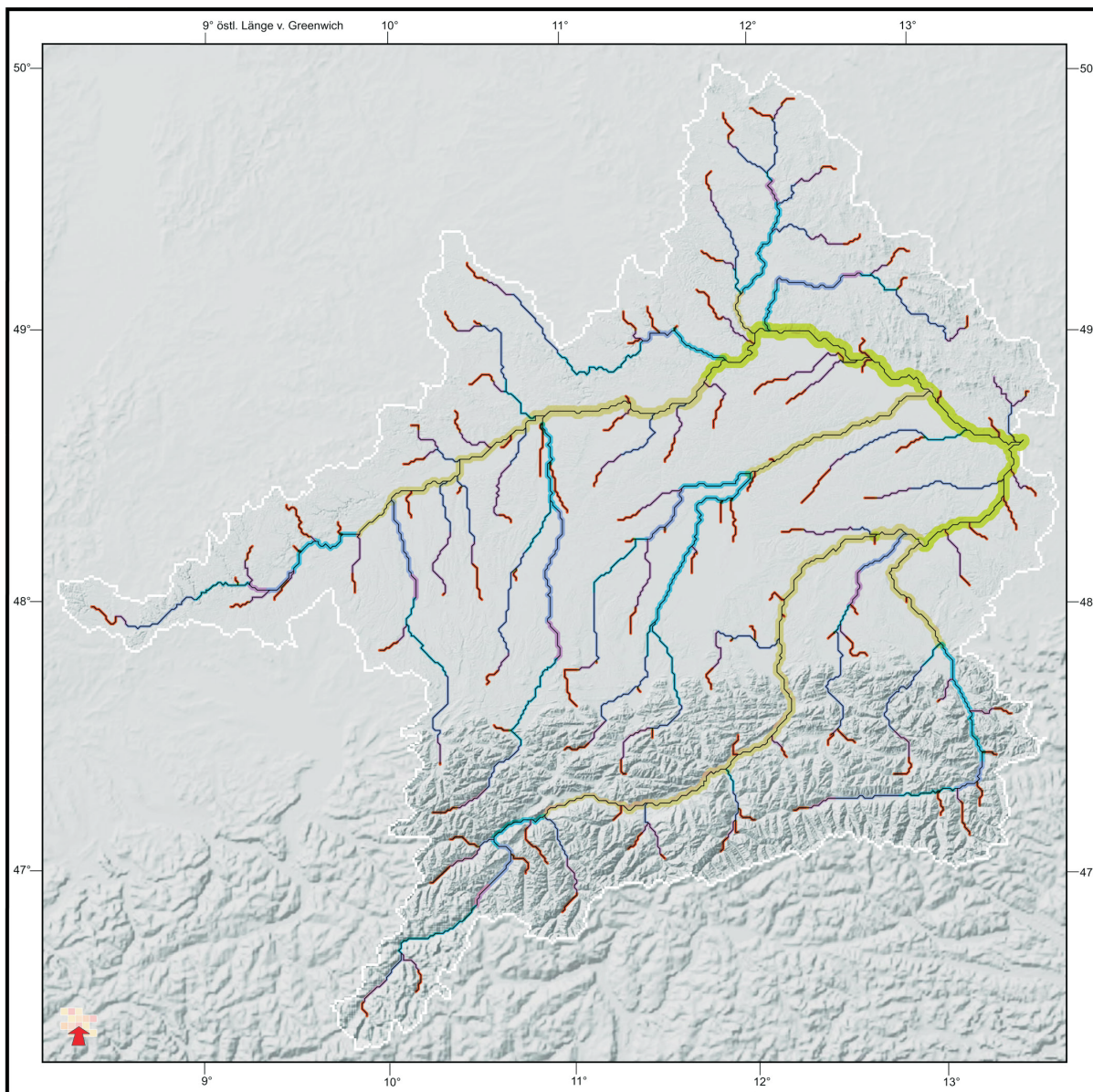
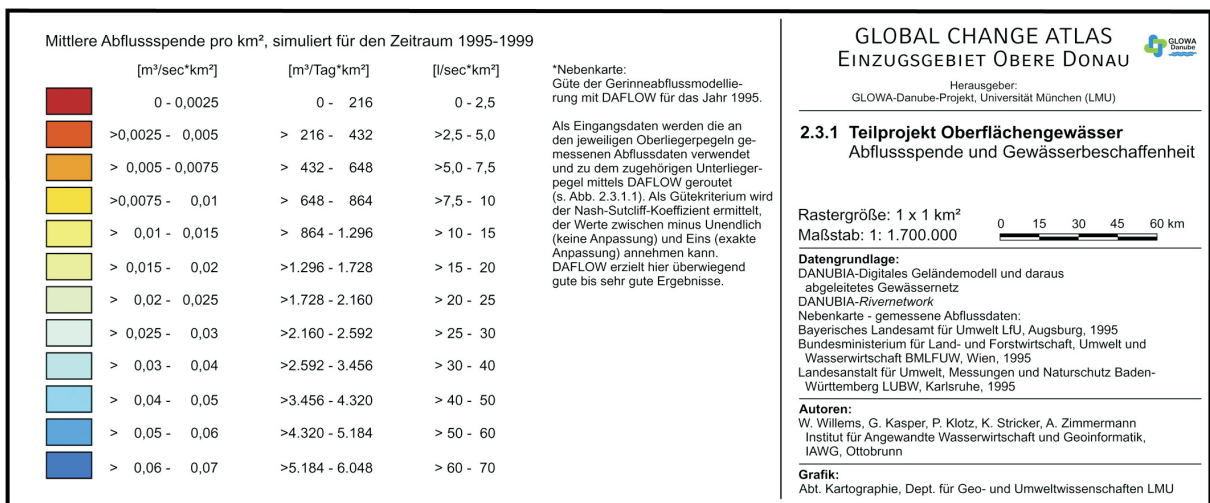
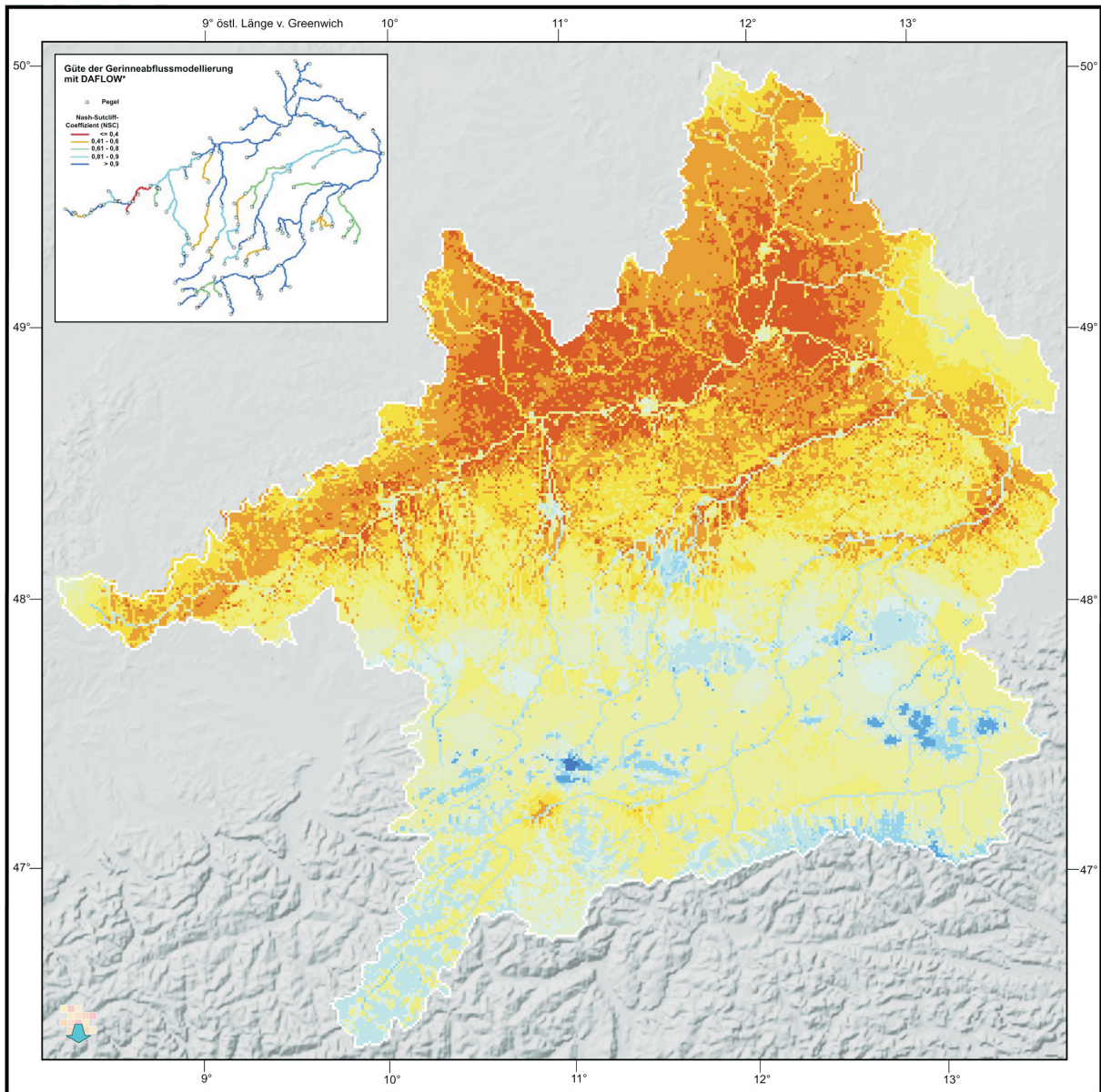


Abb. 23: Mittlerer täglicher Durchfluss und Durchflussvariabilität, Kartenbeitrag zum GLOWA-Danube Global Change Atlas, Kapitel 1.11



**GLOBAL CHANGE ATLAS**  
**EINZUGSGEBIET OBERE DONAU**

Herausgeber:  
GLOWA-Danube-Projekt, Universität München (LMU)

**2.3.1 Teilprojekt Oberflächengewässer**  
**Abflussspende und Gewässerbeschaffenheit**

Rastergröße: 1 x 1 km<sup>2</sup>  
Maßstab: 1: 1.700.000

**Datengrundlage:**  
DANUBIA-Digitales Geländemodell und daraus abgeleitetes Gewässernetz  
DANUBIA-Rivernetz  
Nebenkarte - gemessene Abflussdaten:  
Bayerisches Landesamt für Umwelt LfU, Augsburg, 1995  
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft BMLFUW, Wien, 1995  
Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg LUBW, Karlsruhe, 1995

**Autoren:**  
W. Willems, G. Kasper, P. Klotz, K. Stricker, A. Zimmermann  
Institut für Angewandte Wasserwirtschaft und Geoinformatik, IAWG, Ottobrunn

**Grafik:**  
Abt. Kartographie, Dept. für Geo- und Umweltwissenschaften LMU

Abb. 24: Abflussspende und Gewässerbeschaffenheit, Kartenbeitrag zum GLOWA-Danube Global Change Atlas, Kapitel 2.3.1



## Abflusspende und Gewässerbeschaffenheit

Darin wird ein Überblick über das Teilprojekt Oberflächengewässer und die Methoden und Unterkomponenten zur Modellierung der Wasserflüsse und der Wasserqualität geliefert. Ergebnisdiagramme zum Abflussrouting sowie zur Wassertemperatur- und Nitratmodellierung werden dargestellt. Das zugehörige Kartenblatt zeigt flächendeckend die mittlere geroutete Abflusspende im Einzugsgebiet der Oberen Donau für den Zeitraum 1995 bis 1999. Zusätzlich wird in einer Nebenkarte eine Validierung des DAFLOW-Modells für das Jahr 1995 dargestellt (s. Abb. 24).

### 3.4 Realisierung in DANUBIA / UML

Der grundlegende Aufbau der vollständig in Java erstellten *Rivernetwork*-Komponente und die hierarchische Gliederung in Unterpakete ist in Abbildung 25 dargestellt. Das Paket *rivernetwork* umfasst sämtliche Teilkomponenten. Das Unterpaket *submodels* enthält alle Teilmodelle, die ihrerseits zu ihrer Implementierung auf die Unterpakete *waterflow* und *waterquality* zugreifen. Allgemeine Hilfsmittel sind in dem Unterpaket *utilities* zusammengefasst.

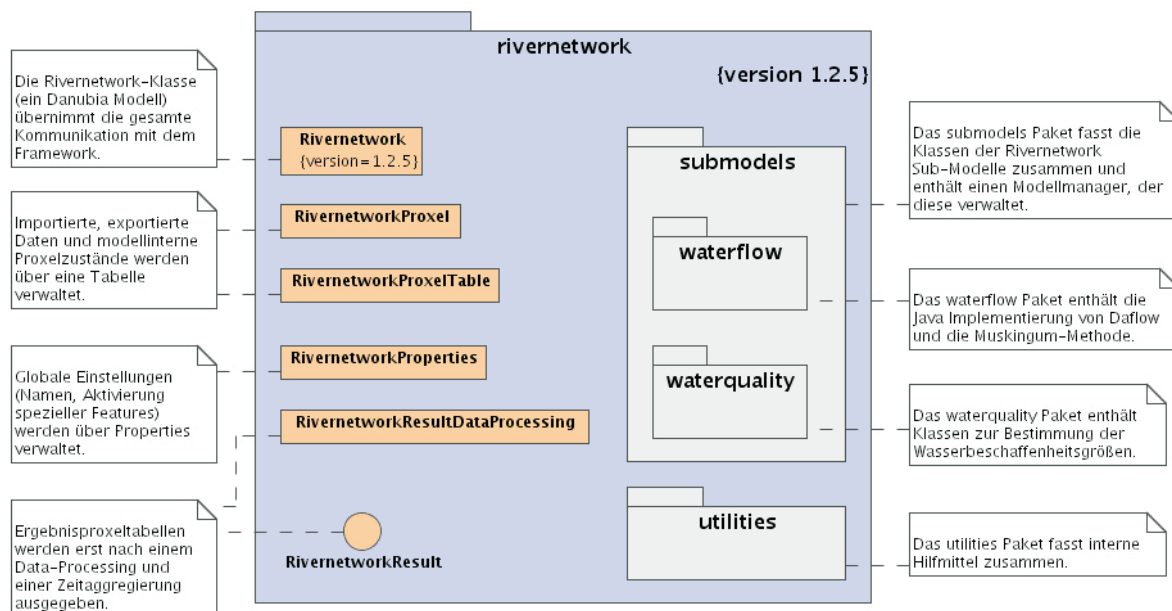


Abb. 25: Organisation der *Rivernetwork*-Komponente

Weitere Details zu internem Aufbau und Funktion der *Rivernetwork*-Komponente werden in Abbildung 26 als UML Diagramm dargestellt.

Die Klasse *Rivernetwork* stellt ein DANUBIA-Modell dar, das den Ansprüchen zur Integration in das DANUBIA-Framework entspricht. Alle importierten Daten werden durch die *Rivernetwork*-Klasse eingelesen und in der zentralen *Rivernetwork*-Proxeltabelle abgelegt. Die Untermodelle lesen die benötigten Eingangsdaten aus der *Rivernetwork*-Proxeltabelle aus und schreiben nach erfolgter Berechnung die Ergebnisse wieder in diese Tabelle zurück. Die *Rivernetwork*-Klasse transferiert die dort abgelegten Ergebnisse über Exporttabellen zum Framework. Alle Import- und Exportverbindungen sind in dem UML Diagramm dargestellt (s. Abb. 27).

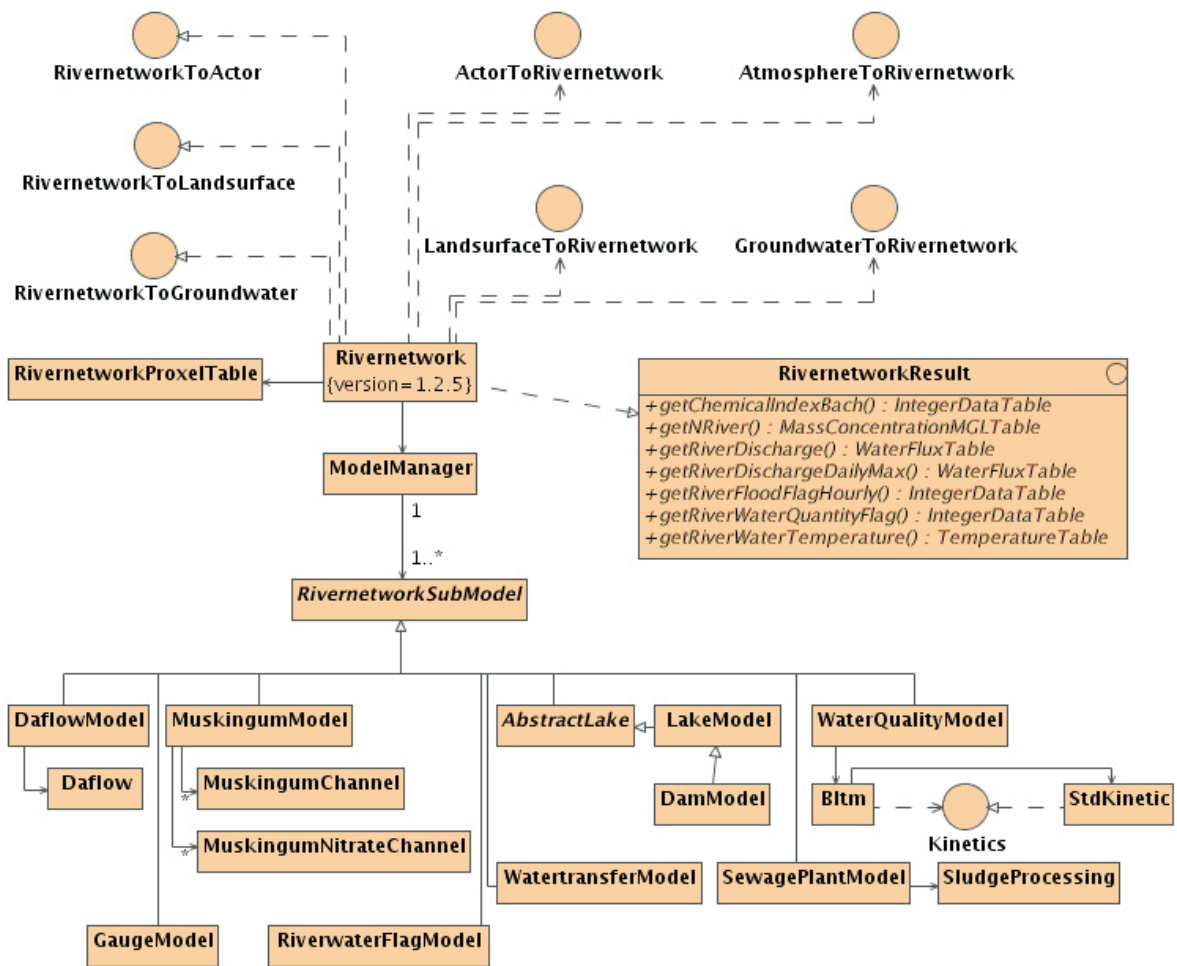


Abb. 26: Struktur der Rivernetwork-Komponente

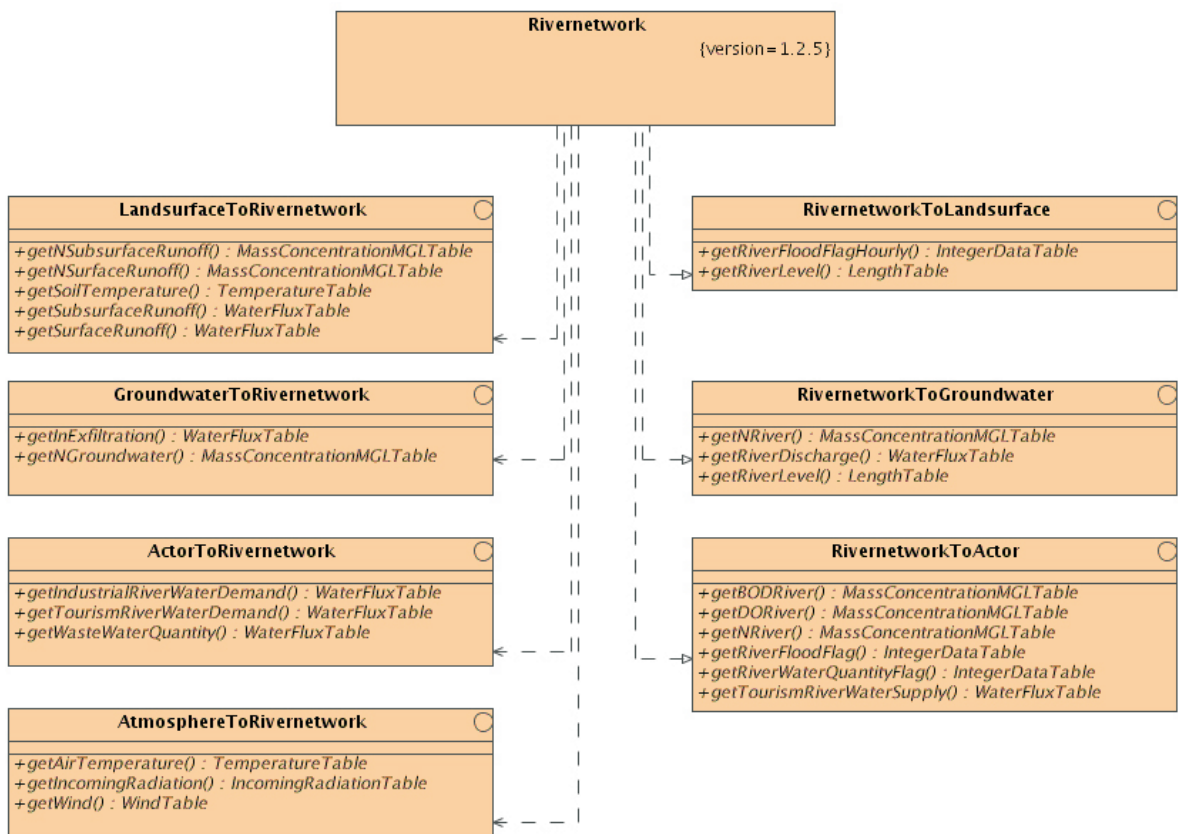


Abb. 27: Schnittstellen der Rivernetwork-Komponente

Die Klasse *ModelManager* agiert als interner *Modellmanager* und liest eine Liste der benötigten Modellinstanzen ein, um diese anschließend zu erzeugen und die Verarbeitung der Instanzen zu steuern. Da die Modellinstanzen, die zur Ausführung kommen, durch diese Liste festgelegt werden, ist es möglich die Komponente an die gegebenen Verhältnisse anzupassen. Neue Untermodelle können bei Bedarf hinzugefügt werden und dadurch bei einer Simulation automatisch zur Ausführung gebracht werden. Alle Untermodellklassen besitzen einen Klassennamen mit der Endung *Model* und sind von der gemeinsamen Basis-Klasse *RivernetworkSubModel* abgeleitet.

Die Ausführung der *Rivernetwork*-Untermodelle wird durch Aufrufe des *DANUBIA-Frameworks* initiiert. Dabei werden folgende Methoden berücksichtigt: *processInit*, *processGetData*, *processCompute*, *processExternalState*, *processCommit*, *processAbort*, *loadRecoveryState* und *saveRecoveryState*. Die Abarbeitungsreihenfolge der Modellinstanzen wird durch die Reihenfolge festgelegt, in der sie in der Liste aufgeführt sind. Weiterführende Details sind in der technischen Dokumentation (WILLEMS et al. 2007) enthalten.

#### **4. Zusammenfassung**

Die Gruppe Oberflächengewässer verfolgt in der zweiten Projektphase die Kernziele der Implementierung wassermengen- und wasserqualitätsrelevanter technischer Strukturen sowie der Detektion von Überlastungen der Teilkompartimente des Objektes *Rivernetwork*. Dazu ist eine umfassende Neustrukturierung der *Rivernetwork*-Komponente erforderlich. Ferner werden die bestehenden Wasserfluss- und Wasserbeschaffenheitsmodelle erweitert und in die neue Struktur eingebunden.

Die Berücksichtigung technischer Strukturen ist essentiell, da diese einen wesentlichen Einfluss auf die Wassermengen- und Wasserqualitätsströme in dem anthropogen stark geprägten Untersuchungsgebiet ausüben. Um eine realitätsnahe Abbildung zu gewährleisten, werden im Einzelnen die Einflüsse von Talsperren/Hochwasserrückräume, Überleitungen, Deichen, Wehren sowie Kanalnetzen und Kläranlagen modelliert.

Vor dem Hintergrund der vorliegenden Skalen und verfügbaren Datengrundlagen werden vereinfachte Modellierungsansätze gewählt, die in der Regel auf allgemein gültigen Grundsätzen zur Konstruktion, Dimensionierung und Steuerung der einzelnen Strukturen basieren.

Das Talsperrenmodul bietet Möglichkeiten zur Abbildung unterschiedlicher Steuerungs- und Bewirtschaftungsstrategien unter Berücksichtigung von zufluss- und volumenabhängigen Lamellenplänen. Insgesamt sind 18 Talsperren mit einem Nutzraum von über 1.100 Mio m<sup>3</sup> im gesamten Untersuchungsgebiet implementiert.

Das Überleitungsmodul übernimmt bei Talsperren die Wasserzuführungen aus angrenzenden Einzugsgebieten. Die Relevanz dieser Überleitungen ist insbesondere bei den energietechnisch genutzten Anlagen in den Alpen gegeben, bei denen die Einzugsgebiete der Speicher durch Überleitungen teilweise mehr als verdoppelt werden. Ebenso dient das Modul der Modellierung der Donau-Main-Überleitung sowie der Brombachüberleitung am Altmühlsee, wodurch eine Wasserentnahme im Untersuchungsgebiet zugunsten eines externen Einzugsgebiets realisiert wird.

Deiche werden, soweit Informationen über ihre Lage verfügbar sind, an den betroffenen Proxeln berücksichtigt. Die Ausweisung von Überschwemmungen durch das Flaggenmodell wird an deichgeschützten Gewässerstrecken entsprechend modifiziert. Zusätzlich wird die retentionsbeeinflussende Wirkung von Deichanlagen beim Routing der Wasserströme beachtet. Die Auswirkungen von Wehren wird vereinfacht auf Grundlage der Vorschläge des DAFLOW-Entwicklers H.E. Jobson umgesetzt und in Form einer Modifikation der DAFLOW A0-Parameter realisiert. Wegen der erzielten lokalen Modifikation der hydraulischen

schen Parameter hat die Implementierung der Deiche und Wehre auch Auswirkungen auf die Wasserbeschaffenheitsmodellierung.

Eine wesentliche Neuerung ist die Integration von Kanalnetzen und Kläranlagen zur Modellierung der Abflussvorgänge in Siedlungsgebieten und zum Abtransport der von den Haushalten produzierten Abwässer. Dazu werden die Kanalnetze synthetisch in Anlehnung an reale Verhältnisse erzeugt und übernehmen das *Routing* bis zur Kläranlage. Es lassen sich dabei sowohl Misch- als auch Trennwassersysteme simulieren. Innerhalb der Kläranlagen erfolgt eine grobe Abschätzung der aktuellen Belastungssituation anhand einer stark vereinfacht durchgeführten Schlammbelastungsberechnung. Durch das Einleiten der mit Standardwerten belasteten Abwässer in das natürliche Gewässernetz wird der Wasser- und Stoffkreislauf geschlossen.

Für die Teilkompartimente der Wasserquantitäts- und Wasserqualitätsmodellierung werden Indizes erstellt, die zum Einen der Überwachung der Modellausgaben dienen, zum Anderen Aussagen über Systemzustände, Belastungen und Überlastungen zulassen.

Dem integrativen Ansatz des GLOWA-Danube-Projekts wird durch Schnittstellen zu den Hauptkomponenten *Landsurface*, *Groundwater*, *Atmosphere* und *Actor* Rechnung getragen.

Mit dem erweiterten *Rivernetwork*-Objekt steht nun eine Komponente zur Verfügung, die zu weitreichenden Auswertungen verwendet werden kann. So können flächendetaillierte und zeitlich hochaufgelöste Betrachtungen zu punktuellen und diffusen Nährstoffeinträgen über Kläranlagen, den Oberflächenabfluss und aus dem Grundwasserkörper durchgeführt werden, wobei auch die Rückführung des von Privathaushalten verbrauchten Wassers über das Kanalnetz und die Kläranlage zurück in das natürliche Fließgewässer einbezogen sind. Damit stehen also nicht nur wassermengen- und wasserbeschaffenheitsspezifische Parameter innerhalb des gesamten Einzugsgebietes für den Ist-Zustand sowie für noch zu definierende Szenarien zur Verfügung, sondern es sind darüber hinaus auch die jeweiligen Herkunftswege bekannt.

Im Hinblick auf Stakeholderinteressen können zukünftige Szenarioläufe mit unterschiedlich parametrisierten technischen Strukturen durchgeführt und die Auswirkungen sowohl auf die Strukturen selbst, als auch auf die beeinflussten Gebiete untersucht werden. Eine Mitwirkung der Arbeitsgruppe Oberflächengewässer an der Parametrisierung, Durchführung und Auswertung derartiger Szenarioläufe ist nicht möglich, weil das Teilprojekt nach der Beendigung der zweiten Projektphase leider nicht fortgeführt wird.

## 5. Literatur

ANDERSON, M.G. und BURT, T.P. (Hrsg.) (1985): Hydrological Forecasting.

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).

ATV (2001): Hydraulische Dimensionierung und Leistungsnachweis von Abwasserkanälen und -leitungen. Arbeitsblatt A 110, Hennef.

BACH, E. (1980): Ein chemischer Index zur Überwachung der Wasserqualität von Fließgewässern. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 24, 1980, H. 4/5, S. 102-106.



- BLfU, Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.) (2005): Gewässerschutz in Bayern - Kommunale Abwasseranlagen, Lagebericht 2004. Augsburg.
- BLfW, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.) (2001): Jahresbericht 1999/2000. München, Juni 2001.
- BLfW, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (2002): Gewässergütekarte Bayern, Saprobie, Stand Dezember 2001. München.
- BÖHNKE, B. (1989): Bemessung der Stickstoffelimination in der Abwasserreinigung. Korrespondenz Abwasser, 38, S. 1048-1061.
- CHOW, V.T, MAIDMENT, D.R. und MAYS, L.W. (1988): Applied Hydrology. New York.
- COLES, S. (2001): An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values.
- 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.
- JOBSON, H.E. (1985): Simulating unsteady transport of nitrogen, biochemical oxygen demand, and dissolved oxygen in the Chattahoochee River downstream from Atlanta, Georgia: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2264, 36 S.
- JOBSON, H.E. (1989): Users manual for an open-channel stream flow model based on the diffusion analogy: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations 89-4133, 73 S.
- JOBSON, H.E. und SCHOELLHAMER, D.H. (1987): Users manual for a branched Lagrangian transport model: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations 87-4163, 80 S.
- KATZ, R.W., PARLANGE, M.B. und NAVEAU, P. (2002): Statistics of extremes in hydrology. Advances in Water Resources 25, S. 1287-1304.
- KISHI, R.T. (2000): Modellierung stofflicher Parameter mit Hilfe raumbezogener Daten. Schriftenreihe des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe, Bd. 9.
- 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.
- OSTROWSKI, M. (1992): Ein universeller Baustein zur Simulation hydrologischer Prozesse. Wasser und Boden, 11, S. 755-760.
- OSTROWSKI, M. et al (2000): Dokumentation des Speicherbetriebsmodells TALSIM, Version 2.0, Institut für Wasserbau, TU Darmstadt, unveröffentlicht.
- 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/5sgvorstell/Ergebnisniederschrift.pdf>>, Stand April 2006.
- StMLU, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.) (1997): Stauseen in Bayern. Schriftenreihe: Wasserwirtschaft in Bayern, Heft 31, München, ISBN: 3-910088-46-5.
- StMLU, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.) (2000): Wasser für Franken - „Die Überleitung“. München, ISBN: 3-910088-60-0.



- StMLU, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.) (2003): Hochwasserschutz in Bayern: Flutpolder. In Reihe: Daten+Fakten+Ziele, München.
- StMLU, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.) (2005): Schutz vor Hochwasser in Bayern. München.
- TIWAG (2006,1): Das Achenseekraftwerk. Informationsbroschüre, Tiroler Wasserkraft AG, Imst.
- TIWAG (2006,2): Das Kraftwerk Kaunertal. Informationsbroschüre, Tiroler Wasserkraft AG, Imst.
- 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, 2005.
- WILLEMS, W., KASPER, G. und KLOTZ, P. (2007): Model water flow and constituents in the river network of the Upper Danube with consideration of technical structures and monitoring possible overloads. DANUBIA Software-Dokumentation, GLOWA-Danube Papers, Technical Release No. 12, April 2007.
- WINNER, E. (2001): Der Sylvensteinspeicher - “Gerüstet für die Zukunft”. Wasserwirtschaftsamt Weilheim.

# Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung, Wasserversorgung

Teilprojekt: Grundwasser  
Leiter: Dr. Roland Barthel  
Ausführende Stelle: Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau,  
Jungwissenschaftlergruppe Grundwasserhydraulik und  
Grundwasserbewirtschaftung  
Pfaffenwaldring 61, 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 (Objekt *WaterSupply*) im Einzugsgebiet der Oberen Donau. 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 „Objekte“ *WaterSupply* und *Groundwater* bezeichnet.

## 1. Organisation

### 1.1 Kurzbeschreibung des Teilprojekts - Zusammenfassung

Das in der ersten Projektphase für die Gebiete nördlich der Alpen implementierte DANUBIA-Objekt *Groundwater* wurde in der zweiten Projektphase deutlich erweitert: Verbesserungen der Schnittstelle zum Objekt *RiverNetwork*, die Integration der Alpen und der Kristallingebiete in das Strömungsmodell sowie der verbesserte Umgang mit der durch das Objekt *Soil* berechneten Grundwasserneubildung. Ein Stickstofftransportmodul, das in Absprache mit den anderen verantwortlichen Projektgruppen derzeit noch nicht in das DANUBIA-Gesamtsystem integriert ist, ist lokal bereits getestet. Im Projektbereich Wasserversorgung (Objekt *WaterSupply*) wurden mit der Ausdehnung auf das ganze Einzugsgebiet, der Implementierung des objektorientierten Modellansatzes und der Beispielimplementierung des Tiefen Akteursmodells *DeepWaterSupply* sehr wesentliche Schritte zur Erreichung der übergeordneten Ziele von GLOWA-Danube verwirklicht. Insgesamt hervorzuheben sind die Maßnahmen zur Validierung der Modelle im Rahmen gemeinsamer Anstrengungen (voll gekoppelte Szenarienläufe mit allen 16 Teilmodellen), im Rahmen von lokalen, teilgekoppelten Läufen (hier v.a. im „hydrologischen Komplex“ Grundwasser - Oberflächengewässer - Landoberfläche) und rein sektorale Simulationen unter zur Hilfenahme der „Testumgebung“. Um die immensen Datenmengen adäquat aufbereiten und analysieren zu können, war in diesem Zusammenhang die Entwicklung und Weiterentwicklung effizienter Auswertetools vorrangig. Auswertetools, die standardisierte Ausgaben von DANUBIA betreffen, wurden dabei teilweise von anderen Gruppen (Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung - Mauser, Teilprojekt Umweltpsychologie - Ernst) übernommen bzw. gemeinsam mit diesen Gruppen weiterentwickelt.

Es muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass das Arbeitsprogramm aufgrund der unerwarteten Budgetkürzung durch die Anfang 2004 in Kraft getretene Änderung der Besteuerung von Forschungsprojekten (Umsatzsteuer) in einigen Punkten reduziert wurde (Nitrattransport und -abbau, Grundwasserströmungsprozesse in den Alpen, Modularisierung des Modellansatzes). Die Steuerpflicht führte zu einer Reduzierung der Personalmittel um ca. 75.000 EUR, entsprechend ca. einer Doktorandenstelle (BAT IIa/2) für drei Jahre. Ein zumindest teilweiser Ausgleich dieses Defizit wurde leider erst spät der 2. Projektphase zugesagt (Eingang der Mittel in Höhe von 32.000 Euro Dezember 2006), so dass es

nicht möglich war, die zur Bearbeitung der komplexen Aufgabenstellungen erforderliche personelle Kontinuität im Projekt zu gewährleisten. Dies ist außerordentlich bedauerlich und hat Folgen bis in die dritte Projektphase hinein.

## **1.2 Personal**

### **1.2.1 Wissenschaftler**

Im Verlauf der 2. Projektphase waren in der Projektgruppe folgende Mitarbeiter beschäftigt:

Herr Dr. Aleksandar Trifkovic, M.Sc., der bereits seit Oktober 2003 als Stipendiat des BMBF-Programms IPSWAT mit seinem am Projekt GLOWA-Danube orientierten Promotionsvorhaben die wissenschaftliche Arbeit der Projektgruppe unterstützt, war seit dem Auslaufen seines Stipendiums am 30.09.2006 Projektmitarbeiter (BAT2a/2 bzw. TV-L 13/2). Herr Trifkovic hat seine Promotion am 03.07.2007 abgeschlossen („Multi-objective and Risk-based Modelling Methodology for Planning, Design and Operation of *Water Supply* Systems“; Note: sehr gut). Herr Trifkovic wird zum 30.9.07 aus dem Institut für Wasserbau ausscheiden und eine Stelle in einem Stuttgarter Consulting Unternehmen antreten.

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.

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), hat seine Tätigkeit am IWS am 28.02.2006 beendet.

Herr Dr. Jens Wolf, hat mit seiner Dissertation „Räumlich differenzierte Modellierung der Grundwasserströmung alluvialer Aquifere für mesoskalige Einzugsgebiete“ am 03.07.2006 die Prüfung erfolgreich mit sehr gut abgelegt und verließ das Institut am 30.09.2006.

Frau Dipl.-Ing. Darla Nickel beendete auf eigenen Wunsch ihren Arbeitsvertrag zum 31.03.2006. Sie arbeitet weiterhin an der Fertigstellung ihrer Dissertation, in der sie die Zusammenhänge zwischen Gebietsfaktoren und den Kosten der Wasserversorgung (bzw. dem Wasserpreis) untersucht. Nach der Geburt ihres zweiten Kindes gehen die Arbeiten naturgemäß aber etwas langsamer voran - es ist das Ziel, die Promotion im Laufe des Jahres 2007 abzuschließen.

Um den Weggang von Herr Dr. Wolf und Herrn Dr. Rojanschi auszugleichen, wurde im November 2005 Herr Dipl.-Geoökol. Marco Borchers für den Teilbereich Grundwassermmodellierung eingestellt. Leider gelang es in Folge der Kürzungen durch die Mehrwertsteuer und den unklaren Fortgang des Projekts nach dem 28.02.2007 innerhalb der zweiten Phase nicht mehr, die zweite Doktorandenstelle im Projektbereich Grundwasser zu besetzen.

Erst zum 01.06.2007 (Phase 3) konnte die entstandene Lücke mit der Einstellung von Herrn Dipl.-Hydrol. Jan van Heyden geschlossen werden.

Damit besteht die Projektgruppe derzeit (Sept. 2007) aus Herrn Dr. R. Barthel (seit 01.09.2001, Projektleiter), Herrn Dipl.-Geoökol. Marco Borchers (seit 01.11.2005, Teilbereich Grundwasser) und Herrn Dipl.-Hydrol. Jan van Heyden (01.06.2007).

### **1.2.2 Studentische und wissenschaftliche Hilfskräfte**

Die wissenschaftlichen Mitarbeiter wurden von studentischen und wissenschaftlichen Hilfskräften unterstützt. Die Anzahl der Arbeitsstunden von Hilfskräften hat sich im Laufe der Phase 2 etwas reduziert. Während die Aufgaben der Hilfskräfte zu Beginn noch in der Datener-

hebung und -verarbeitung lagen, wurde gegen Ende die Auswertung der erheblichen Datenmengen, die durch die verschiedenen Test- und Szenarienläufe des DANUBIA-Gesamtsystems bzw. von Teilkomponenten erzeugt werden, Schwerpunkt der Tätigkeiten. 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. Weitere Hilfskräfte werden nicht namentlich genannt.

### **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. Im Jahr 2006 wurden neben der Anschaffung von einigen neuen Festplatten zur Speicherung der enormen Datenmengen (Modellergebnisse) und als Ersatz für defekte Speichermedien ein neuer Arbeitsplatzrechner für Herrn Dr. Barthel angeschafft, nachdem der alte (2001) extrem fehleranfällig und unzuverlässig geworden war. Einige Softwarelizenzen mussten erneuert werden. Das Gesamtinvestitionsvolumen belief sich auf ca. 3.800.- €.

### **1.4 Veranstaltungen**

#### **1.4.1 Interne Projekttreffen**

##### **1.4.1.1 Informationsveranstaltungen für Externe Partner des Teilprojekts**

Anders als in der 1. Projektphase wurden in der 2. Phase keine Informationstreffen für die durch die GLOWA-Thematik betroffenen Institutionen und Hochschulen mehr durchgeführt („GLOWA-Danube Netzknotentreffen“), da Treffen dieser Art durch den Stakeholderprozess (Mauser, Sprenger) abgedeckt werden sollten. Informationsaustausch und Treffen fanden mit dem Zweckverband Landeswasserversorgung, Stuttgart statt.

##### **1.4.1.2 Weitere interne Projekttreffen**

Neben kleineren (bilateralen Treffen) wurden, nachdem Herr Dr. Barthel Anfang 2004 die Rolle des Koordinators der Akteursgruppen übernommen hatte, durch die Projektgruppe innerhalb der zweiten Phase insgesamt vier größere Treffen der Akteursgruppen durchgeführt. Die Treffen im Juli 2004, August 2004, April 2005 und November 2006, dienten zunächst der Planung der Entwicklung der Prototypen der tiefen Akteursmodelle *DeepWaterSupply* und *DeepHousehold*, sodann der Ausweitung auf die anderen Modelle und letztlich zur Festlegung einer Strategie zur gemeinsamen Vorbereitung von Test- und Validierungsmodellläufen der Tiefen Akteurs-Modelle.

#### **1.4.2 Konferenzen**

##### **1.4.2.1 Organisation von Konferenzen**

Die Mitglieder der Projektgruppe waren federführend an der Organisation des 9. Workshops zur großskaligen Modellierung in der Hydrologie vom 09-11.11.2005 beteiligt und gaben den entsprechenden Tagungsband in der referierten Zeitschrift *Advances in Geosciences* (BARTHEL et al. 2006) heraus.

#### 1.4.2.2 Teilnahme an Konferenzen und Vorträge

Die Mitglieder der Arbeitsgruppe waren im Rahmen von GLOWA-Danube in der zweiten Projektphase mit insgesamt 41 Tagungsbeiträgen (21 Vorträge, 20 Poster) auf sieben nationalen und 13 internationalen Kongressen vertreten.

#### 2004

- 25.-30.04.2004 Groundwater water resources management models as a part of an integrative decision support system on the river basin scale. - EGU - 1st General Assembly, Nice, France (Barthel, R.).
- 25.-30.04.2004 Considerations about the Integration of Rock Formations into Hydrological Distributed Models of Large Mountainous Catchment Areas - EGU - 1st General Assembly, 25. - 30. April 2004, Nice (Rojanschi, V. ).
- 19.-23.05.2004 Erstellung eines großskaligen gekoppelten Modellsystems zur Simulation des Wasserkreislaufs im Einzugsgebiet der Oberen Donau. - FH-DGG-Tagung 2004, Hydrogeologie regionaler Aquifersysteme, Darmstadt (Barthel, R).
- 19.-23.05.2004 Modellierung der Grundwasserströmung auf der Regionalen Skala im Einzugsgebiet der Oberen Donau im Rahmen von GLOWA-Danube – Abbildung der Modellkonfiguration auf einem Grobraster. - FH-DGG-Tagung 2004, Hydrogeologie regionaler Aquifersysteme, Darmstadt (Wolf, J.).
- 27.09-01.10.2004 Groundwater flow modelling on the regional scale in the upper Danube catchment with special regard to the Alpine section of the basin. - Hydrology of Mountain Environments Berchtesgaden (Rojanschi, V.).
- 11.-15.10.2004 GLOWA-Danube: Integrative Modelling of Global Change Effects on the Water Cycle - the Groundwater Perspective. Modelling Groundwater Flow on the Regional Scale in The Upper Danube Catchment (Germany). - Congress XXXIII IAH - 7<sup>o</sup> ALHSUD GROUNDWATER FLOW UNDERSTANDING from local to regional scales, Zacatecas City, Mexico (Barthel, R).
- 11.-12.11.2004 Validierungsmöglichkeiten von Modellen zur Beschreibung der Sickerwasserströmung in großskaligen Einzugsgebieten. - 8. Workshop zur großskaligen Modellierung in der Hydrologie, Jena (Rojanschi, V.).

#### 2005

- 09.-11.11.2005 Besondere Herausforderungen der Modellkopplung und der integrativen, interdisziplinären Bearbeitung wasserbezogener Fragestellungen auf der regionalen Skala. - 9. Workshop zur großskaligen Modellierung in der Hydrologie, Freudenstadt (Barthel, R.).
- 23.06.2005 Konsequenzen globaler Klimaänderungen für Zustand und Nutzung von Grundwasserressourcen in Süddeutschland - Integrative Modellkonzepte, und ihre diagnostischen und prognostischen Fähigkeiten. - Selected Topics and International Network Lectures - Seminar Lehrstuhl für Hydromechanik und Hydrosystemmodellierung, Stuttgart (Barthel, R.).



- 29.06.2005 Possible futures of groundwater resources in the upper Danube catchment under conditions of global climate change. IAHR Stuttgart Chapter Colloquium 2005: An integrated approach to the challenges of the changing Danube River, Stuttgart (Barthel, R.).
- 11-16.09.2005 Comparison of different approaches to model transport in groundwater on a very large scale XXXI IAHR Congress, Seoul (Vasin, M.).
- 09.-11.11.2005 Kalibrierung und Validierung eines integrierten Modellkomplexes für den Wasserhaushalt im Einzugsgebiet der Ammer - 9. Workshop zur großskaligen Modellierung in der Hydrologie, Freudenstadt (Wolf, J.)

## 2006

- 18.05.2006 Die Kopplung von Modellen im Rahmen des Integrierten Flussgebietsmanagements aus der Perspektive der Grundwassermodellierung. - Hydrologisches Kolloquium - Kolloquium des Zentrums für Wasserforschung, Universität Freiburg, Inst. für Hydrologie, Freiburg- auf Einladung (Barthel, R.).
- 24.-28.05.2006 Ein Schema zur Bewertung des quantitativen Zustandes von Grundwasservorkommen im Rahmen von integrierten Flussgebietsmanagementmodellen. - Tagung der Fachsektion Hydrogeologie in der DGG - Indikatoren im Grundwasser, Cottbus (Barthel, R.).
- 24.-28.05.2006 Problematische Aspekte der Kopplung von Grundwassermodellen mit hydrologischen Modellen auf der regionalen Skala. - Tagung der Fachsektion Hydrogeologie in der DGG - Indikatoren im Grundwasser, Cottbus (Barthel, R.).
- 24.-28.05.2006 Grundwassermodellierung im Kontext hydrologischer Modellierung auf unterschiedlichen Skalen - Eine Fallstudie im Einzugsgebiet der Ammer. - Tagung der Fachsektion Hydrogeologie in der DGG - Indikatoren im Grundwasser, Cottbus (Wolf, J.).
- 28.-31.08.2006 Using the Danubia Decision Support System to Identify Climate Change Effects on Groundwater Management Perspectives. - 23. Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Belgrad (Trifkovic, A.).
- 14.-15.09.2006 Modelling the interaction between groundwater, surface water and unsaturated zone on the regional scale. - IAH - Meeting of the German and Polish Chapter: The Interaction between Surface Water and Groundwater, Berlin (Barthel, R.).

## 2007

- 16.-18.01.2007 Actual status of DSS Developments in central Europe - Neckar and Danube River Basins. - The Arab Center for the Studies of Arid Zones & Dry Lands (ACSAD) - Workshop on Decision Support Systems (DSS) for Soil and Water Resources Management (Rabat, Morocco - auf Einladung) (Barthel, R.).

- 16.-18.01.2007 Design of the DANUBIA DSS - with a special focus on the coupling of groundwater models (MODFLOW) with hydrological models. - The Arab Center for the Studies of Arid Zones & Dry Lands (ACSAD) - Workshop on Decision Support Systems (DSS) for Soil and Water Resources Management (Rabat, Morocco - auf Einladung) (Barthel, R.).
- 22.01.2007 Untersuchung und Bewertung möglicher Folgen des Klimawandels für das Grundwasser im Süden Deutschlands - Möglichkeiten und Grenzen integrierter Modelle. - Geowissenschaftliches Kolloquium Universität Jena - auf Einladung (Barthel, R.).
- 22.-23.03.2007 Integrative Bewertungsmethoden für Grundwasser und Oberflächengewässer in der Flussgebietsbewirtschaftung. - Tag der Hydrologie - Einfluss von Bewirtschaftung und Klima auf Wasser- und Stoffhaushalt von Gewässern, Rostock (Barthel, R.).
- 17.-21.09.2007 Regional-scale assessment of groundwater resources quantity with respect to water supply issues and the ecological role of groundwater. - XXXV Congress of the International Association of Hydrogeologists (IAH), Lisbon (Barthel, R.).
- 17.-21.09.2007 The Role of Groundwater Recharge in Regional Scale Integrated Groundwater Flow Modelling. - Proceedings of the XXXV Congress of the International Association of Hydrogeologists (IAH), Lisbon (Barthel, R.).

## **Konferenzteilnahmen der Projektgruppe in der Förderphase 2**

### **2004**

- 25.-30.04.2004 European Geosciences Union 1st General Assembly Nice, France: Zwei Vorträge, drei Poster
- 19.-23.05.2004 FH-DGG Darmstadt, Hydrogeologie regionaler Aquifersysteme: Zwei Vorträge, zwei Poster
- 27.09.-01.10.2004 International Conference on Hydrology of Mountain Environments Berchtesgaden: Ein Vortrag, ein Poster
- 11.-15.10.004 33. Jahrestagung der International Association of Hydrogeologists, Congress XXXIII IAH - 7° ALHSUD Groundwater Flow Understanding from Local to Regional Scales, Zacatecas City, Mexico: Zwei Vorträge, ein Poster
- 11.- 12.11.2004 8. Workshop zur großskaligen Modellierung in der Hydrologie, Jena: Ein Vortrag

### **2005**

- 22.-23.03.2005 Tag der Hydrologie, Aachen: Ein Poster
- 24.-29.04.2005 EGU - General Assembly, Wien: Zwei Poster
- 11.-16.09.2005 XXXI IAHR Congress, Seoul: Ein Vortrag
- 04.-08.10.2005 IAH, International Workshop, Alicante: Ein Vortrag, zwei Poster
- 10.-11.11.1005 8. Workshop zur großskaligen Modellierung in der Hydrologie, Freudenstadt: Zwei Vorträge

## 2006

- 02.-07.04.2006 EGU 2006, Wien: Drei Poster
- 24.-28.05.2006 FH-DGG, Cottbus: Zwei Vorträge
- 26.-28.09.2006 3rd International Symposium on Integrated Water Resources Management, Bochum: Ein Poster
- 14.-15.9.2006 IAH- Meeting of the German and Polish Chapter “The Interaction between Surface Water and Groundwater” Berlin - Spandau: Ein Vortrag
- 14.-15.09.2006 XXIIIrd Conference of the Danubian countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management, Belgrade - Republic of Serbia: Ein Vortrag
- 08.-10.11.2006 10. Workshop „Großskalige Modellierung“ in Potsdam: Anforderungen der EU-Wasserpolitik an die großskalige Modellierung: Ein Poster

## 2007

- 16.-18.01.2007 ACSAD Workshop Rabat, Marokko: Zwei Vorträge
- 22.-23.03.2007 Tag der Hydrologie, Rostock: Ein Vortrag
- 27.-30.08.2007 EGU 2007, Wien: Ein Poster
- 17.-21.09.2007 IAH 2007, Lissabon: Zwei Vorträge, zwei Poster

### 1.4.3 Einladungen zu Vorträgen

Herr Dr. Barthel wurde darüber hinaus zu verschiedenen Gelegenheiten eingeladen, Ergebnisse aus GLOWA-Danube vorzutragen. Zu nennen sind das Kolloquium des Zentrums für Wasserforschung der Universität Freiburg, das Kolloquium der geowissenschaftlichen Fakultät Jena sowie zwei Vorträge in Rabat, Marokko beim Workshop zu DSS des ACSAD<sup>1)</sup> (Einladung durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, BGR).

### 1.5 Veröffentlichungen

In der zweiten Projektphase wurden 10 Beiträge in nationalen und internationalen Fachzeitschriften veröffentlicht. Weitere fünf Artikel sind eingereicht bzw. befinden sich im Druck, im Review oder in Revision. Daneben wurden 35 Tagungsbeiträge in internationalen und deutschsprachigen Fachzeitschriften und Konferenzbänden veröffentlicht. Die wesentlichen Veröffentlichungen (international mit peer-Review) decken alle wichtigen Arbeiten der ersten und zweiten Phase ab:

- Grundwassermodell (BARTHEL et al. 2005a)
- Flaches Wasserversorgungsmodell (BARTHEL et al. 2005b)
- Tiefes Wasserversorgungsmodell (BARTHEL et al., eingereicht 2006a)
- Grundwasser-/wasserversorgungsmodell, Gesamtdarstellung (BARTHEL et al. 2007)
- Multi-Akteursmodellierung (BARTHEL et al., eingereicht 2006b)

Hierzu kommen Publikationen zu einzelnen Problemstellungen:

---

<sup>1)</sup> The Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Land.

- Kopplungsproblematik (BARTHEL 2006a; ROJANSCHI et al. 2006; ROJANSCHI et al. 2005b)
- Geometrieprobleme Grundwassermodell (WOLF et al. submitted)
- Datensituation Wasserversorgungsmodell (NICKEL et al. 2005)

Die Veröffentlichungen sind im Folgenden aufgeführt und können - soweit rechtlich möglich - unter:

[www.glowa-danube.de](http://www.glowa-danube.de) bzw. unter

<http://www.iws.uni-stuttgart.de/publikationen/ausgabe.php?forschung=87&projekt=1>

abgerufen werden.

## **Publikationen und Tagungsbeiträge des Teilprojekts 2004-2007**

### **Referierte Veröffentlichungen in Zeitschriften und Sammelbänden**

- BARTHEL, R., MAUSER, W. und BRAUN, J. (2007): Integrated modelling of global change effects on the water cycle in the upper Danube catchment (Germany) - the groundwater management perspective. IAH Selected Papers on Hydrogeology, Vol 12, S. 47-72.
- BARTHEL, R. (2006a): Common problematic aspects of coupling hydrological models with groundwater flow models on the river catchment scale. - Advances in Geosciences, 9, S. 63-71.
- BARTHEL, R., ROJANSCHI, V., WOLF, J. und BRAUN, J. (2005a): 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. (2005b): 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.
- NICKEL, D., BARTHEL, R., SCHMID, C. und BRAUN, J. (2005): Large-Scale Water Resources Management within the Framework of GLOWA-Danube - The Water Supply Model. Physics and Chemistry of the Earth, 2005. - Nr.: 6-7 - Vol. 30, S. 383-388.
- ROJANSCHI, V., WOLF, J., BARTHEL, R. und BRAUN, J. (2005): Using multi-objective optimisation to integrate alpine regions in groundwater flow models. - Advances in Geosciences, 5, S. 19-23.
- ROJANSCHI, V., WOLF, J. und BARTHEL, R. (2006): Storage Cascade vs. MODFLOW for the Modelling of Groundwater Flow in the Context of the Calibration of a Hydrological Model in the Ammer Catchment. Advances in Geosciences, 9, S. 101-108.

### **Referierte Veröffentlichungen in Zeitschriften und Sammelbänden eingereicht bzw. im Druck**

- BARTHEL, R., JANISCH, S., NICKEL, D. und TRIFKOVIC, A. (eingereicht 2006a): Using the Multiactor-Approach in GLOWA-Danube to Simulate Decisions for the Water Supply Sector under Conditions of Global Climate Change. - Water Resources Management (eingereicht August 2006).

- BARTHEL R., JANISCH, S., SCHWARZ, N., TRIFKOVIC, A., SCHULZ, C., NICKEL, D. und MAUSER, W (eingereicht 2006b): A framework for the simulation of human response to global change. Environmental Modelling and Software (eingereicht November 2006).
- BARTHEL, R., WOLF, J., JAGELKE, J., ROJANSCHI, V., MAUSER, W., GAISER, T. und BRAUN, J. (im Druck 2007): 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).
- TRIFKOVIC, A., BARTHEL R., BARDOSSY, A. und ROTT, U. (eingereicht 2007): A Modelling Framework for the Integration of Economic, Environmental and Socio Objectives in Planning of Water Supply Systems. - Submitted to Journal of Water Resources Planning and Management, September 2007.
- WOLF, J., BARTHEL, R. und BRAUN, J. (eingereicht 2007): Modelling the groundwater flow in alluvial aquifer drainage systems for mountainous catchments on a river basin scale. - Submitted to Ground Water in June 2007.

### **Veröffentlichte Tagungsbeiträge der Projektgruppe**

- BARTHEL, R. (2004): Interactive, GIS-based site assessment and analysis of the regional potential for geothermal applications in the shallow subsurface. - EGU - 1st General Assembly, Nice, Geophysical Research Abstracts, Volume 6, 2004.
- BARTHEL, R., BRAUN, J. und MAUSER, W. (2004): Erstellung eines großskaligen gekoppelten Modellsystems zur Simulation des Wasserkreislaufs im Einzugsgebiet der Oberen Donau. - Fachtagung FH-DGG 2004, Darmstadt.
- BARTHEL, R., BRAUN, J. und MAUSER, W. (2004): Glowa-Danube: Integrative Modelling of Global Change Effects on the Water Cycle - the Groundwater Perspective. Congress XXXIII IAH - 7<sup>o</sup> ALHSUD GROUNDWATER FLOW UNDERSTANDING from local to regional scales (11.-15. Oktober 2004, Zacatecas City, Mexico), International Association of Hydrogeologists.
- BARTHEL, R., BRAUN, J., NICKEL, D., MELEG, A. und TRIFKOVIC, A. (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. - EGU - 1st General Assembly, Nice, Geophysical Research Abstracts, Volume 6, 2004.
- BARTHEL, R., NICKEL, D., MELEG, A. und BRAUN, J. (2004): A Large-Scale Water Supply Model for the Upper Danube Catchment (Germany). Congress XXXIII IAH - 7<sup>o</sup> ALHSUD GROUNDWATER FLOW UNDERSTANDING from local to regional scales (11.-15. Oktober 2004, Zacatecas City, Mexico), International Association of Hydrogeologists.
- BARTHEL, R., BRAUN, J., NICKEL, D., ROJANSCHI, V. und WOLF, J. (2004): Groundwater resources management models as a part of an integrative decision support system on the river basin scale. - EGU - 1st General Assembly, Nice, Geophysical Research Abstracts, V. 6, 2004.
- ROJANSCHI, R., WOLF, J., BARTHEL, R. und BRAUN, J. (2004): Modellierung der Grundwasserströmung auf der regionalen Skala im Einzugsgebiet der Oberen Donau im Rahmen von GLOWA-Danube - B: Dynamische Betrachtungen. - Fachtagung FH-DGG 2004, Darmstadt.
- ROJANSCHI, V., WOLF, J., BARTHEL, R. und BRAUN, J. (2004): Considerations about the Integration of Deep Unsaturated Zones and Rock Formations into Hydrological Distributed Models of Large Mountainous Catchment Areas. - EGU - 1st General Assembly, Nice, Geophysical Research Abstracts, Volume 6, 2004.



- SCHUOL, 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. - EGU - 1st General Assembly, Nice, Geophysical Research Abstracts, Volume 6, 2004.
- WOLF, J., ROJANSCHI, V., BARTHEL, R. und BRAUN, J. (2004): Modellierung der Grundwasserströmung auf der Mesoskala in geologisch und geomorphologisch komplexen Einzugsgebieten. - Tagungsband zum 7. Workshop zur großskaligen Modellierung in der Hydrologie, November 27-28, 2003, LMU München (im Druck).
- WOLF, J., ROJANSCHI, V., BARTHEL, R. und BRAUN, J. (2004): Analysis of Regional Aquifer Systems in Large Mountainous Catchment Areas and Their Discretisation for Large-Scale Groundwater Models. - EGU - 1st General Assembly, Nice, Geophysical Research Abstracts, Volume 6, 2004.
- WOLF, J., ROJANSCHI, V., BARTHEL, R. und BRAUN, J., (2004): Modellierung der Grundwasserströmung auf der regionalen Skala im Einzugsgebiet der Oberen Donau im Rahmen von GLOWA-Danube – Abbildung der Modellkonfiguration auf einem Grobraster. - Fachtagung FH-DGG 2004, Darmstadt.
- 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., JAGELKE J., ROJANSCHI V., MAUSER W., GAISER T. und BRAUN J. (2005): Die adäquate Repräsentation von grundwasserbezogenen Fragestellungen in großskaligen Flussgebietsmanagementsystemen. - Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 10.05, S. 219-223.
- BARTHEL, R., JAGELKE, J., NICKEL, D., WOLF, J., ROJANSCHI, V., TRIFKOVIC, A., MELEG, A., BRAUN, J., MAUSER, W. und T. GAISER (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), 4/2005. - Vol.: 7.
- BARTHEL, R., JAGELKE, J., WOLF, J.; ROJANSCHI, V. und BRAUN, J. (2005): 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., WOLF, J., ROJANSCHI, V., TRIFKOVIC, A. und BRAUN, J. (2005c): 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.
- BARTHEL, R., WOLF, J., ROJANSCHI, V., JAGELKE, J. und BRAUN, J. (2005): 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.
- BARTHEL, R., NICKEL, D., JAGELKE, J., WOLF, J.; ROJANSCHI, V. und TRIFKOVIC, A.; MELEG, A.; Braun, J. (2005): 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.
- 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.
- 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.
- BARTHEL, R. (2006): Ein Schema zur integrativen Zustandsbewertung im Flusseinzugsgebietsmanagement auf der Basis gekoppelter Modellsysteme. - 10. Workshop „Großskalige Modellierung“ in Potsdam, 8.-10. Nov. 2006: Anforderungen der EU- Wasserpolitik an die großskalige Modellierung.
- BARTHEL, R. (2006): An integrated tool for the assessment of groundwater resources and water supply management decision support on a regional scale. - 3rd International Symposium on Integrated Water Resources Management, Bochum, September 2006.
- BARTHEL, R. (2006): Integrated water resources assessment: an approach for information exchange between natural science and socioeconomic models. - Abstracts of the European Geosciences Union General Assembly 2006 Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, 02629, 2006.
- BARTHEL, R. (2006): Modelling the interaction between groundwater, surface water and unsaturated zone on the regional scale. - IAH- Meeting of the German and Polish Chapter “The Interaction between Surface Water and Groundwater” Berlin - Spandau 14.9.-15.9.06.
- BARTHEL, R., JANISCH, S., NICKEL, D., TRIFKOVIC, T. und GÖTZINGER, J. (2006): Using Actors Models to identify critical states of water supply systems on the regional scale under conditions of global climate change. - 3rd International Symposium on Integrated Water Resources Management, Bochum, September 2006.
- 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*, abstracts of the European Geosciences Union General Assembly 2006, Vol. 8, 03879, Vienna, Austria.
- BARTHEL, R., WOLF, J., JAGELKE, J., ROJANSCHI, V. und BRAUN, J. (2006): Data requirements and modelling concepts for integrated groundwater resources management models on the river basin scale. *IGME Series Hidrogeología y aguas subterráneas*, 21, 193-2002, ISBN 84-7840-655-7.
- BARTHEL, R., WOLF, J., ROJANSCHI, V., JAGELKE, J., BORCHERS, M., GAISER, T. und MAUSER, W. (2007): How to model groundwater flow on the regional scale in hydrogeologically complex regions? - *Proceedings of the XXXV Congress of the International Association of Hydrogeologists (IAH)*, Lisbon, 2007.
- BARTHEL, R., JAGELKE, J., DE AGUINAGA, G., GAISER, T. und GÖTZINGER, J. (2006): Groundwater modelling within the framework of integrated regional models in Germany, Uzbekistan and Benin. - Abstracts of the European Geosciences Union General Assembly 2006 Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, 03933.
- 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*, abstracts of the European Geosciences Union General Assembly 2006, Vol. 8, 06195, Vienna, Austria.

- MAUSER, W., STRASSER, U., LUDWIG, R., WILLEMS, W., BARTHEL, R. und FRUEH, B. (2006): The impact of climate change on low-flow conditions in the Upper Danube watershed - a scenario case study using the DANUBIA decision support system. - Abstracts of the European Geosciences Union General Assembly 2006 Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, 04430, 2006.
- TRIFKOVIC, A., BARTHEL, R., NICKEL, D., MAUSER, W., STRASSER, U., LUDWIG, R., WILLEMS, W. und FRUEH, B. (2006): Using the DANUBIA decision support system to identify climate change effects on groundwater management perspectives. - XXIIIrd Conference of the Danubian countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management 28-31 August 2006 Belgrade - Republic of Serbia.
- BARTHEL, R. (2007): Integrative Bewertung der Auswirkungen des Klimawandels auf den mengenmäßigen Zustand regionaler Grundwasserressourcen. - Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 20.07, S. 119-131.
- BARTHEL, R., GÖTZINGER, J., BARDOSSY, A. und JAGELKE, J. (2007): The Role and the Particularities of Groundwater Recharge and Baseflow in Integrated Regional Models. IAHS, Perugia, 2007.
- BARTHEL, R., JAGELKE J., WOLF, J., ROJANSCHI, V., BORCHERS, M., GÖTZINGER, J., ANDRAS BARDOSSY, A., LUDWIG, R. und MAUSER, W. (2007): The Role of Groundwater Recharge in Regional Scale Integrated Groundwater Flow Modelling. - Proceedings of the XXXV Congress of the International Association of Hydrogeologists (IAH), Lisbon, 2007.
- BARTHEL, R., JAGELKE, J., GAISER, T., SONNEVELD, B., PRINTZ A. und GÖTZINGER G. (2007): Integrated Assessment of Groundwater Resources in the Ouémé Basin, Benin, West Africa. - Geophysical Research Abstracts, Vol. 9, 03596, 2007 SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2007-A-03596.
- BARTHEL, R., MAUSER, W., STRASSER, U., LUDWIG, R., WILLEMS, W. und FRUEH, B. (2007): Potential Climate Change Impacts on the Groundwater Resources in the Upper Danube Watershed - a Scenario Case Study using the DANUBIA Decision Support System. - Proceedings of the XXXV Congress of the International Association of Hydrogeologists (IAH), Lisbon, 2007.
- BARTHEL, R. und TRIFKOVIC, A. (2007): Regional-scale assessment of groundwater resources quantity with respect to water supply issues and the ecological role of groundwater. - Proceedings of the XXXV Congress of the International Association of Hydrogeologists (IAH), Lisbon, 2007.

### **Diplomarbeiten, Master's Theses und Independent Studies**

- STOJICIC, M. (2004): Effects of Grid Size and Upscaling for Finite-Difference Flow and Transport Model. Master's Thesis, WAREM, Universität Stuttgart.
- XIN, X. (2004): A GIS Analysis of the Groundwater Quality in the Upper Danube River Basin with special Regard to Nitrate. Master's Thesis4.
- MELEG, A. (3/2004): A Prototyp Object-Oriented Water Supply Model for the Upper Danube Basin. Master's Thesis, 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, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, Prüfer: Helmig, R.; Betreuer: Barthel, R.
- KONTERMANN, K. (2006): Analyse der räumlich-zeitlichen Verteilung von Grundwasserqualitätsparametern im Neckareinzugsgebiet unter besonderer Berücksichtigung von Nitrat. Diplomarbeit, in Zusammenarbeit mit Institut für Geologie, Universität Stuttgart.

## Dissertationen

- ROJANSCHI, V. (2006): Abflusskonzentration in mesoskaligen Einzugsgebieten unter Berücksichtigung des Sickerraumes. - Mitteilungen des Institutes für Wasserbau der Universität Stuttgart, Heft 146, Dissertation, 166 S.
- WOLF, J. (2006): Räumlich differenzierte Modellierung der Grundwasserströmung alluvialer Aquifere für mesoskalige Einzugsgebiete. - Institutes für Wasserbau der Universität Stuttgart, Heft 148, Dissertation, 133 S.
- TRIFKOVIC, A. (2007): Multi-objective and Risk-based Modelling Methodology for Planning, Design and Operation of Water Supply Systems, - Institutes für Wasserbau der Universität Stuttgart, Heft 163, Dissertation, 132 S.

## Sonstige Schriften

- ROJANSCHI, V., WOLF, J. und BARTHEL, R. (2007): DANUBIA Software Documentation. GLOWA-Danube Papers, Technical Release NO. 13 (Groundwater).
- NICKEL, D., BARTHEL, R., ROJANSCHI, V. und TRIFKOVIC, A. (2007): DANUBIA Software-Dokumentation, GLOWA-Danube Papers, Technical Release No. 014 (WaterSupply).

## 2. Ergebnisse

Die folgende Trennung in sektorale/integrative Unterkapitel hat im Wesentlichen formalen Charakter da die fortgeschrittene Integration es für die zweite Projektphase schwierig macht, zwischen rein sektoralen und rein integrativen Anteilen zu unterscheiden.

Arbeiten und Ergebnisse der zweiten Projektphase lassen sich in drei Gruppen zusammenfassen:

1. Gemeinsame Simulationen und deren gemeinsame Vorbereitung mit dem DANUBIA-Gesamtsystem (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 sowie 30 jährige Szenarien basierend auf Klimadaten die durch den „stochastic clima generator“ (Gruppe Mauser) erstellt wurden (2006)
2. Lokale Läufe des Grundwassermodells in
  - a. der „DANUBIA-Testumgebung“ (Ausführung einzelner Modelle oder kleinerer Modellverbünde möglich) unter Verwendung von offline bereitgestellten Ergebnisdaten der Modelle *Soil* und *RiverNetwork* (10 Jahre, 1990-1999),
  - b. DANUBIA-light, einer vereinfachten Version des DANUBIA-Gesamtsystems, in der die DANUBIA-light *LandSurface*-Komponente und *Groundwater* in FORT-RAN 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 und bildeten die Grundlage für die Entwicklung der Prototypen der tiefen Akteursmodelle.
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. Nach der Statuskonferenz gemeinsame Ausweitung des Konzepts auf die anderen Akteursgruppen (2006 bis aktuell).



## 2.1 Ziele der zweiten Förderphase

Hier werden kurz die Zielsetzungen der zweiten Projektphase zusammengefasst um eine Einordnung der erzielten Ergebnisse zu erleichtern.

Integrative Zielsetzungen:

- Weiterentwicklung der Objekte *Groundwater* und *WaterSupplyActor*, für den Einsatz im Entscheidungsunterstützungssystem DANUBIA
- Erstellen von wasserversorgungs- und grundwasserrelevanten Szenarien und Beiträge zu komplexen Gesamtszenarien. Hierzu Zusammenarbeit und Diskussion mit externen Partnern und Stakeholdern
- Weiterentwicklung des Objekts *WaterSupply* zu einem tiefen Akteursmodell. Hierbei Nutzung von strukturellen Ähnlichkeiten der Entscheidungsprozesse anderer Akteursobjekte und gemeinsame Entwicklung eines entsprechenden *Frameworks* mit der Arbeitsgruppe Informatik
- Beisteuerung von Fehleranalysetools und die Definition qualitäts-beschreibender Merkmale der Objekte.

Die sektoralen Zielsetzungen für das Objekt *Groundwater* wurden wie folgt definiert:

- Intensive Behandlung und Lösung der Skalierungsproblematik
- Entwicklung von Optimierungsalgorithmen, zur Ermittlung der günstigsten technischen, ökologischen und ökonomischen Randbedingungen
- Verbesserung der Modellierung im alpinen Raum
- Koppeln unterschiedlicher Modellansätze und lokale Verfeinerungen
- Transportmodellierung unter Berücksichtigung von Umwandlungsprozessen

Für das Objekt *WaterSupply* waren folgende Zielsetzungen leitend:

- Starke Erweiterung der Entscheiderkomponente des Modells - tiefes Akteursmodell
- Umfassende systemanalytische Betrachtung
- Optimierung der Grundwasserbewirtschaftung, mit Definition und Vermittlung ökologischer und technischer Randbedingungen für die Grundwassermodellierung

## 2.2 Sektorale Arbeiten

### 2.2.1 Sektorale Arbeiten am Objekt *Groundwater*

Die wesentlichen Arbeiten am Objekt *Groundwater* lassen sich zusammenfassen:

1. Umstellung von MODFLOW96 auf MODFLOW2000 mit neuer Parametrisierung, sowie die damit verbundene, verbesserte Anpassung der Modellgeometrie mit Hilfe automatisierter Verfahren (Dissertation Wolf)
2. Verwendung eines neuen Modellierungsansatzes für den alpinen Raum des Untersuchungsgebiets und die Kristallinbereiche Nordostbayerns (Dissertation Rojanschi)
3. Konzeption und erste Umsetzungsschritte zu einer gemeinsamen Modellanpassung zwischen *RiverNetwork*, *Groundwater* und *Soil*
4. Anpassung der Schnittstelle *RiverNetwork/Soil*
5. Implementierung des ersten lauffähigen Prototyps eines Transportmodells
6. Entwicklung und Weiterentwicklung von Auswertetools



## 7. Szenariendefinition und -anpassung

Die Punkte werden soweit erforderlich im Folgenden kurz erläutert.

### 2.2.1.1 Umstellung und Neu-Parametrisierung des Modells

MODFLOW2000 (HARBAUGH et al. 2000) ist eine Weiterentwicklung von MODFLOW96, die deutlich verbesserte Möglichkeiten der Modellparametrisierung und der automatischen Parameterschätzung bietet. Hierdurch wurden in vielen Bereichen erhebliche Verbesserungen erzielt.

### 2.2.1.2 Modellierungsansatz für den alpinen Raum und die Kristallingebiete

Grundsätzlich ist im alpinen Bereich aufgrund der extremen Komplexität der geologischen Verhältnisse, bei gleichzeitig sehr geringer Verfügbarkeit hydrogeologischer Daten, ein schichtenbezogenes dreidimensionales Strömungsmodell nicht anwendbar. Dennoch müssen im integrierten Modell Daten mit anderen Modellen auch in den alpinen Proxeln ausgetauscht werden. Die Grundwasserneubildung, muss sinnvoll in die Grundwasserleiter der Alpentäler und damit zu den Vorflutern geroutet werden. Der hierfür entwickelte Ansatz beruht darauf, dass die Grundwasserneubildung aus den Hochregionen nach relativ kurzen Fließwegen und -zeiten in die quartären Aquifere der großen alpinen Täler eintritt. Diese Annahme stützt prinzipiell die Aussagen aus der Literatur, wonach 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. 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 *Groundwater* (BARTHEL et al. 2006) und die Dissertation von Wolf (WOLF 2006) hingewiesen.

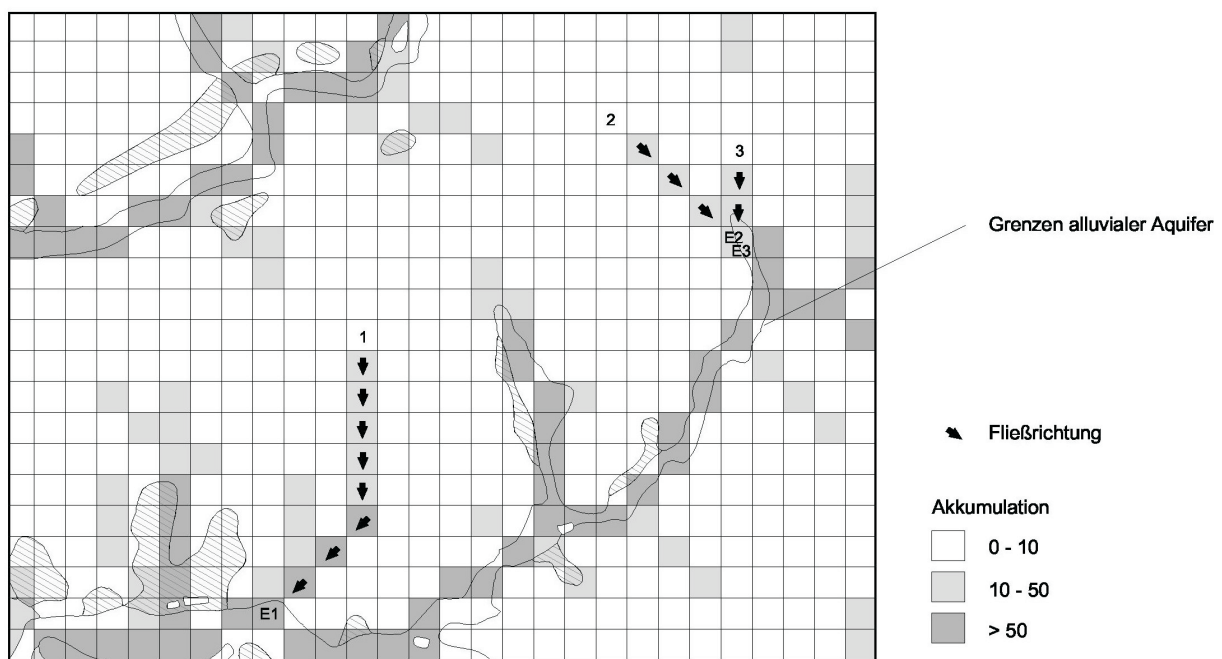


Abb. 1: Die Verteilung der Grundwasserneubildung in den alpinen Bereichen des Einzugsgebiets (WOLF 2006)

### 2.2.1.3 Kalibrierung des hydrologischen Komplexes *Groundwater - RiverNetwork - Soil*

Für die Modelle *RiverNetwork* (Oberflächengewässer), *Soil* (ungesättigte Zone) und *Groundwater* ist eine gemeinsame Kalibrierung bzw. Anpassung unabdingbar, 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 und die gemessenen Grundwasserstände. 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 zufriedenstellend 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 (BARTHEL 2006; ROJANSCHI 2006).

Mit Hilfe von DANUBIA-Light wurden längere Läufe und Sensitivitätsstudien durchgeführt. 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 Verbesserungen erzielt werden.

Im letzten Jahr der 2. Projektphase wurde insbesondere das für die Interaktion Bodenwasserhaushalt-Grundwasser problematische Speicherverhalten des Grundwassermodells insbesondere zu Beginn der Simulation bearbeitet. Durch eine Anpassung der Anfangsbedingungen für die instationäre Kalibrierung sowie durch eine Änderung der Randbedingungen für einzelne Layer konnten hier Verbesserungen erzielt werden. Eine gemeinsame Kalibrierung der Objekte *Groundwater*, *RiverNetwork* und *Soil* erscheint nach wie vor erforderlich erfordert aber hohen personellen Einsatz, grundsätzliche konzeptionelle Überlegungen und v.a. enorm leistungsfähige Rechnersysteme.

Die Integration der drei Teilmodelle *Groundwater*, *Soil* und *RiverNetwork*, stellt eine der großen verbleibenden Herausforderungen in GLOWA-Danube dar. Nach Ansicht unserer Projektgruppe sind die bestehenden grundlegenden Probleme (dargestellt in BARTHEL 2006; ROJANSCHI et al. 2006 und ROJANSCHI 2006) innerhalb des Zeit- und Finanzrahmens von GLOWA-Danube nicht für das gesamte Einzugsgebiet lösbar. Ein gemeinsam durch die Gruppen Grundwasser/Wasserversorgung Stuttgart und Hydrologie-Fernerkundung, München gestellter DFG-Antrag zur Behandlung des Problems im ca. 700km<sup>2</sup> großen Ammereinzugsgebiet wurde leider abgelehnt.

### 2.2.1.4 Arbeiten an der Schnittstelle *RiverNetwork-Groundwater*

Fortschritte wurde im Bereich der Schnittstelle *RiverNetwork-Groundwater* erzielt, insbesondere beim Problem der Festlegung der Flussbasis über NN, die für die Berechnung der Austauschflüsse benötigt wird (Gleichung 1)<sup>2)</sup>:

$$Q_{IN/EX} = \frac{k_d}{d} L_{RIV} W_{RIV} (h_{GW} - (y + BOT_{RIV})) \quad \text{Gleichung 1}$$

Das Flussmodell *RiverNetwork* bestimmt nicht die absolute Höhe des Flussbettes  $BOT_{RIV}$ . Da wenig Information über diese Höhe vorhanden ist und bereits die anderen geometri-

---

<sup>2)</sup> 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.

schen Datensätze (z.B. Aquifergeometrien) aus dem digitalen Geländemodell (DGM) abgeleitet wurden, liegt es nah, auch die Flussbetthöhe aus dem *DGM* zu berechnen:

$$BOT_{RIV} = DGM - (a * DGM + b * W_{RIV}) \quad \text{Gleichung 2}$$

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. Weiterhin 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*<sup>3)</sup>.

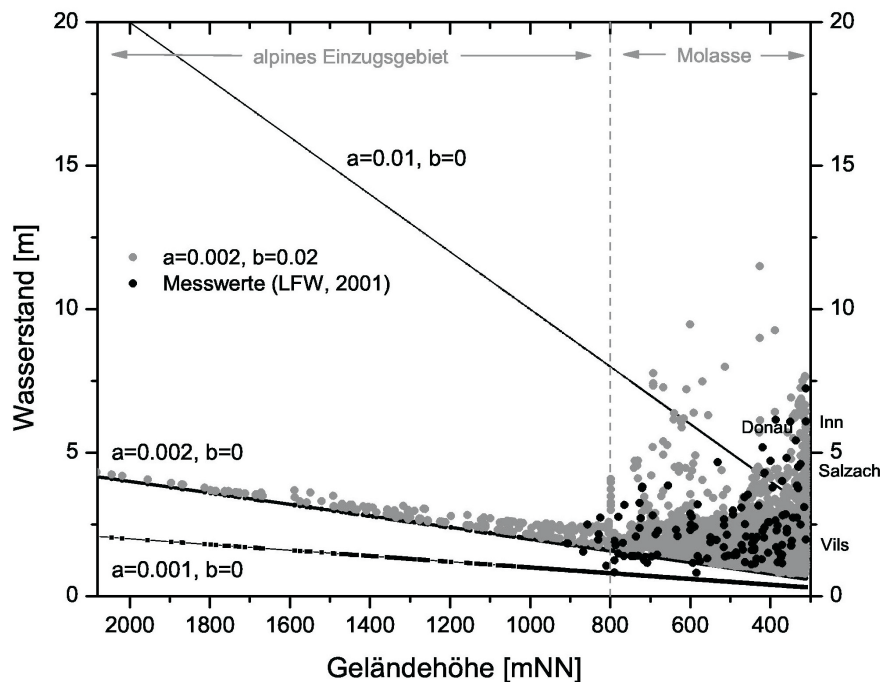


Abb. 2: Verschiedene Ansätze zur Berechnung der Höhe des Flussbettes aus der Geländehöhe und die damit berechneten Wasserstände (WOLF 2006)

Mit dem gezeigten Ansatz lassen sich für weite Bereiche des EZG sinnvolle Flussbasishöhen aus dem DGM generieren. In Teilen gelingt das jedoch nicht, weil das verwendete Grobraster-DGM zwar zweidimensional hydrologisch konsistent aber nicht auf die Dreidimensionalität des Grundwassersystems angepasst ist. Damit verblieben im Bezug auf die Interaktion Grundwasser-Oberflächenwasser Probleme mit der gebietsweise mangelnden Verbindung von Oberflächengewässer zum Grundwasser. Dieses Problem wurde durch vorwiegend manuelle Anpassungen der vertikalen Flussgeometrie und durch Änderungen in der Parametrisierung ( $k_f$ ,  $S$ ) gelöst, wobei die Ergebnisse bislang nur lokal, nicht aber im Modellverbund DANUBIA getestet werden konnten.

### 2.2.1.5 Transport von Nitrat im Grundwasser

In der zweiten Projektphase wurde eine einfache Konzeption zum Transport der von der Komponente *Landsurface* an die Komponente *Groundwater* weitergegebene Nitratfracht

<sup>3)</sup> 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).

im Grundwasser zu den von *RiverNetwork* modellierten Flüssen sowie zur Berechnung der Nitratkonzentration an jedem Proxel im Grundwasser konzeptioniert und implementiert. Mit diesem Modell konnten bislang weder im Modellverbund DANUBIA noch lokal relevante Testläufe durchgeführt werden, da nach wie vor keine zeitlich aufgelösten Inputdaten (*nLeaching* von der Komponente *LandSurface*) vorliegen. Insofern kann hier nur die Implementierung, nicht aber die Ergebnisse gezeigt werden.

Zu erwähnen sind hier auch die im Berichtszeitraum abgeschlossenen Vorarbeiten zum Gebiet der Nitrattransportmodellierung, die im Wesentlichen dazu geführt haben, die ursprünglich vorgesehene FD-Modellierung mit MT3D nicht anzuwenden. Diese Arbeiten wurden im Rahmen von Master's Theses von GLOWA-Stipendiaten (siehe Abschlussbereich Braun, Teilprojekt Human Capacity Building) durchgeführt. Zu nennen sind die Arbeiten 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 (s. auch BARTHEL und VASIN 2005; VASIN und BARTHEL 2005). KONTERMANN (2006) lieferte mit seiner Arbeit wesentliche Grundlagen für das weitere Vorgehen, auch wenn sich seine Arbeit, entgegen der ursprünglichen Planung, aufgrund der spärlichen Datenlage im Einzugsgebiet der Oberen Donau auf das Neckar-Einzugsgebiet beschränkte.

Ein Stickstoffmodell, das alle wichtigen Prozesse (Mischung, Abbau, horizontaler Transport) berücksichtigt, wurde ab Herbst 2005 entwickelt und implementiert. Obwohl ein im Wesentlichen konzeptionelles Modell, haben die verwendeten Parameter eine physikalische Bedeutung, so dass ihre Werte prozess- und standortfaktorenbasiert angepasst werden können.

Die physikalisch basierte Abbildung des Stofftransports in der gesättigten Zone für große Einzugsgebiet ist aufgrund der Vielzahl der Parameter, die die Transportgleichung benötigt, schwierig. Die grobe Auflösung von DANUBIA bringt eine sehr starke numerische Dispersion bei Einsatz von Gittermethoden (FD, FV, FE) mit sich, die die Ergebnisse in unzulässiger Weise verfälschen. Diese werden aber in der Regel für den Stofftransport mit geringem Konzentrationsgradienten, wie z.B. dem flächenhaften Nitrateintrag, eingesetzt, da komplexe Methoden, die keine numerische Dispersion beinhalten, (Modifiziertes-Charakteristiken-Verfahren, Random Walk) auf großer Skala auch in absehbarer Zukunft nicht gerechnet werden können (VASIN 2004; VASIN und BARTHEL 2005).

Aus diesem Grund wurde ein Modell aufgebaut, das nicht auf einem Strömungsmodell basiert, aber die Denitrifikation besonders berücksichtigt. Die Grundlage für diese Strategie wurde durch die Arbeit von KONTERMANN (2006) geschaffen, der zeigt, dass die räumliche Dynamik von Nitrat im Grundwasser auf der regionalen Skala vernachlässigbar klein ist. Die horizontalen, advektiven Transportprozesse spielen also kaum eine Rolle, dagegen sind vertikale Prozesse, inklusive der dabei wirkenden Abbau- und Umwandlungsprozesse in der ungesättigten Zone und im Aquifer (die das Strömungsmodell aufgrund seiner Diskretisierung und Konzeption nicht abbilden kann) von großer Bedeutung. Die Denitrifikation kann mit einer irreversiblen Reaktion erster Ordnung beschrieben werden. Dabei wird jede Zelle unabhängig voneinander wie ein Reaktor modelliert.

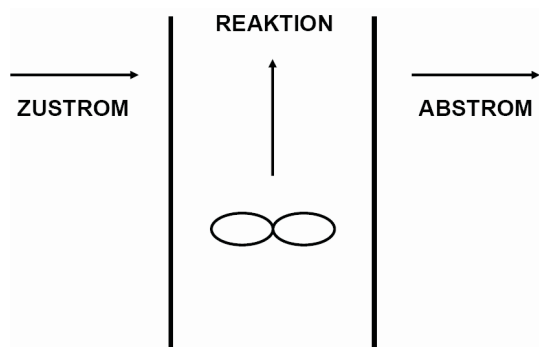
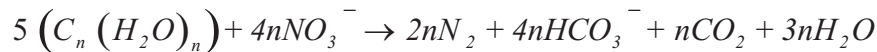


Abb. 3: Schema eines komplett gemischten Reaktors (Es gilt: Akkumulation = Zustrom-Abstrom-Reaktion)

In einem zweiten Schritt werden mit Hilfe einfacher Fließwegbetrachtungen horizontaler Transport (und Dispersion) nachgebildet (siehe unten). Damit wird die im Untergrund stattfindende Dispersion rein konzeptionell behandelt und numerische Dispersion verhindert. Der Schwerpunkt wird auf den Nitratabbau gelegt.

Die Denitrifikation ist der entscheidende Prozess, bei dem Nitrat im Untergrund zu leichtflüchtigen Stickstoffgasen umgewandelt wird (ROHMANN und SONTHEIMER 1985):

Gleichung 3



Die Denitrifikationskinetik lässt sich in der Regel mit einer Reaktion 1. Ordnung beschreiben (BÖTTCHER u.a. 1989):

$$-\frac{dC_{NO_3}}{dt} = k_{NO_3} \cdot C_{NO_3} \quad \text{Gleichung 4}$$

beziehungsweise

$$C_{NO_3} = C_0 \cdot e^{-k_{NO_3} \cdot t} \quad \text{Gleichung 5}$$

**Implementierung:** Die Komponente *LandSurface* liefert im hydrologischen Modellkomplex DANUBIA zwei Variablen an das Modell *GroundwaterFlow*: *Nleaching*  $N_{perc}$  in [mg/l] = [g/m<sup>3</sup>] und *GroundwaterRecharge* in [kg/(m<sup>2</sup>s)] (*GroundwaterRecharge* wird im Folgenden als Perkolation  $P_{in}$  bezeichnet). Es wird jeweils das Mittel der letzten 24 Stunden gebildet, da *LandSurface* stündlich rechnet, das Modell Grundwasser täglich.

$$accP_{in} = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} P_{in} \quad \text{Gleichung 6}$$

$$accN_{in} = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} N_{in} \quad \text{Gleichung 7}$$

Zu Beginn eines neuen Zeitschrittes  $\Delta t$  wird zunächst das aktuelle Volumen und die Stickstoffkonzentration im Aquifer errechnet:

$$V_{start} = m \cdot \Delta x^2 \cdot n_{sp} \quad \text{Gleichung 8}$$

$V_{start}$  = Wasservolumen pro Proxel zu Beginn des Zeitschrittes [m<sup>3</sup>]  
 $m$  = Mächtigkeit des Aquifers [m]  
 $\Delta x$  = Raster- bzw. Zellweite [m]  
 $n_{sp}$  = Speicherwirksame Porosität [-]

$$V_{perc} = c_1 \cdot accP_{in} \cdot \Delta x^2 \cdot \Delta t \quad \text{Gleichung 9}$$

$V_{perc}$  = Gemittelte Perkolation der letzten 24 Stunden pro Proxel in [m<sup>3</sup>]  
 $accP_{in}$  = Akkumulierte Perkolation in [kg/(m<sup>2</sup>s)]  
 $\Delta t$  = Zeitschritt des Grundwassermodells [86400s]  
 $c_1$  = 1/24000 Faktor zur Umrechnung der Einheiten unter der Annahme,  
 dass  $\gamma_w = 1.0 \text{ g/cm}^3$ .

$$M_{perc} = c_2 \cdot V_{perc} \cdot accN_{in} \quad \text{Gleichung 10}$$



$M_{perc}$  = Stickstoffmasse in der Perkolation [g]  
 $N_{perc}$  = Stickstoffkonzentration in der Perkolation [g/m<sup>3</sup>]  
 Zur De-Akkumulation ist der Faktor  $c_2 = 1/24$  erforderlich.

**Berücksichtigung der Denitrifikation:** Vom Objekt *GroundwaterFlow* wird vom vorherigen Zeitschritt die Nitratkonzentration  $N_{gw}^i$  eingelesen. Aus dieser wird die Nitratkonzentration im Aquifer nach der Berücksichtigung der Denitrifikation berechnet nach:

$$N_{den} = N_{gw}^i \cdot e^{-k_{NO_3} \cdot \Delta t} \quad \text{Gleichung 11}$$

$N_{den}$  = Stickstoffkonzentration nach Berücksichtigung der Denitrifikation [g/m<sup>3</sup>]  
 $k_{NO_3}$  = Reaktionskonstante der Denitrifikation [1/d]

**Berechnung der Nitratkonzentration für den nächsten Zeitschritt:**

$$N_{gw}^{i+1} = \frac{N_{den} + V_{start} + M_{perc}}{V_{start} + V_{perc}} \quad \text{Gleichung 12}$$

Horizontaler Transport (Advektion + Dispersion): Zur Optimierung der Rechenzeit und zur Vermeidung numerischer Dispersion, wird die Kombination aus Advektion und Dispersion mit einem konzeptionellen Ansatz behandelt. Nachdem für jede Zelle eine neue Nitratkonzentration ermittelt wurde, gilt es nun diese Werte advektiv und dispersiv zu transportieren. Dafür wird zunächst die Anzahl der in die jeweilige Zelle entwässernden Nachbarzellen ermittelt. Dafür wird die von TOPAZ (TOPographic PARAMeteriZation; GARBRECHT und MARTZ 1995) berechnete Fließrichtung benötigt. Der Nitratgehalt dieser Nachbarzellen wird aufsummiert und arithmetisch gemittelt:

$$\bar{N}_{NB} = \frac{1}{\Omega} \sum_{i=1}^{\Omega} N_{gw}^{(i)} \quad \text{Gleichung 13}$$

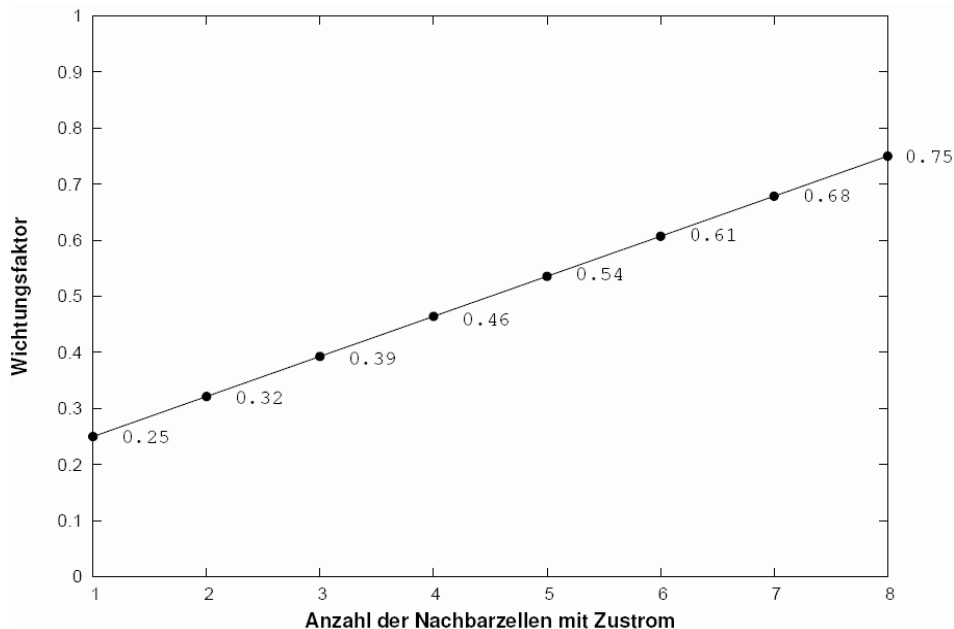


Abb. 4: Die Ermittlung des Wichtungsfaktors  $\lambda$  nach Gleichung 14

In Abhängigkeit der Anzahl  $\Omega$  der entwässernden Zellen wird ein Wichtungsfaktor  $\lambda$  bestimmt nach (Abb. 4):

$$\lambda(x, x \in N) = \begin{cases} 0.25 & x = 1 \\ 0.071 \cdot x + 0.179 & 1 < x < 8 \\ 0.75 & x = 8 \end{cases} \quad \text{Gleichung 14}$$

Mit diesem Wichtungsfaktor wird letztendlich der Nitratwert  $N_{gw}^{trans}$  am Ende jedes Zeitschritts bestimmt:

$$N_{gw}^{trans} = (1 - \lambda) \cdot N_{gw(i)} + \lambda \bar{N}_{NB} \quad \text{Gleichung 15}$$

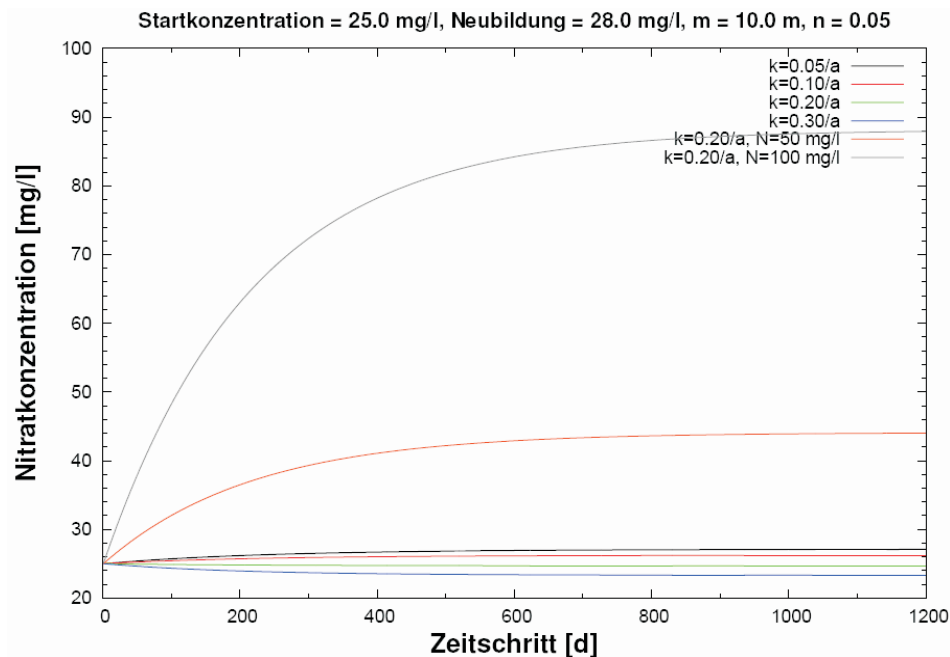


Abb. 5: Verhalten des Nitratmodells bei verschiedenen Anfangsbedingungen, Abbaukonstanten und Stickstoffzuflüssen

Die Datenlage ist auch für diesen stark vereinfachten Ansatz sehr unzureichend: Selbst unter der Annahme, dass das Modell der ungesättigten Zone gute räumlich verteilte Ergebnisse für *Nleaching* liefert, benötigt das Modell folgende Daten:

1. **Startkonzentration Nitrat im Grundwasser  $N_{gw}^I$ :** Im Einzugsgebiet der Oberen Donau liegen derzeit (Stand 2007) gemessene Nitratkonzentrationen im Grundwasser für ca. 7239 Messstellen für einen Zeitraum von 1900 bis 2007 vor, davon wurden aber an 5513 Messstellen Werte nur für ein einziges Messdatum ermittelt. Nur für 630 Messstellen liegen Zeitreihen länger als 10 Jahre und einer mittleren Belegungsichte  $> 2$  Messwerte/ Jahr vor. Nur 7 Messstellen haben für 20 Jahre mehr als 5 Messwerte und keine einzige Messstelle weist für mehr als 20 Jahre mehr als 10 Messwerte pro Jahr auf. Aus Datenschutzgründen ist für 3092 Messstellen die Lage nur bis zur 4. Ziffer der Gauß-Krüger-Koordinaten bekannt. Diese Werte zu interpolieren ist aufgrund des diffusen Eintragsweges des Nitrates und der sehr geringen Belegung mit Messdaten bei gleichzeitiger großer Heterogenität von Landnutzung, Böden und Geologie aber nicht ratsam. Stattdessen wurden die Ergebnisse in Relation zur Landnutzung gebracht und durchschnittliche Konzentrationen für die wesentlichen Landnutzungsarten ermittelt. An dieser Problematik wird in der dritten Projektphase intensiv weitergearbeitet werden.

2. **Reaktionskonstante der Denitrifikation  $k_{NO_3}$** : Es liegen nur wenige Versuche im Feld (BÖTTCHER et al. 1989) oder Labor (STARR und PARLANGE 1975) vor. Auf der groben Skala sollten die eingesetzten Werte mit diesen kleinskalig gemessenen Werten aber größenordnungsmäßig in Verbindung gebracht werden. Dennoch ist dies der entscheidende Kalibrierungsparameter. Abbildung 5 zeigt das Verhalten einer Zelle mit einer konstanten Abbaurate, einer gegebenen Neubildung und Nitratstartkonzentration.
3. **Aquifermächtigkeit** (bzw. Mächtigkeit der durchmischten Zone)  $m$ , speicherwirksame Porosität, (Zellweite)  $n_{sp}$ : Die Berechnung des vorhandenen Wasservolumens nach Gleichung 8 hat entscheidenden Einfluss auf die weiteren Berechnungsschritte. Dafür müssen geeignete Startwerte gefunden werden, damit ein vernünftiges Stickstofftransportverhalten des Grundwasserkörpers nachgebildet werden kann.

#### 2.2.1.6 Auswertetools

Der enorme Umfang von Ergebnisdaten aus den langjährigen instationären Modellläufen (10 bis 100 Jahre, bis 80 GB pro Lauf) erfordert sehr spezifische, leistungsfähige Auswertetools, die eine Aufbereitung, Gruppierung und Visualisierung der Ausgaben für die interessierenden Teilbereiche und Modellzellen erlaubt. Hierzu wurden die in den vergangenen Jahren bereits entwickelten Tools weiterentwickelt, angepasst und neue Funktionalitäten hinzugefügt, so dass eine umfassende Auswertung möglich wird. Der Prozess ist noch nicht vollständig abgeschlossen, insbesondere im Hinblick darauf, dass die Auswertetools letztlich auch von Dritten eingesetzt werden sollen (s. allgemeine Zielsetzungen dritter Projektphase - Open Source).

#### 2.2.1.7 Szenarien

Vorrangiges Ziel von GLOWA-Danube ist die Verwendung von DANUBIA zur Berechnung Szenarien. Im Jahr 2006 wurden unter Federführung der Gruppe Grundwasser/Wasserversorgung Stuttgart Szenarien entwickelt, die von kleineren Modellverbänden verwendet werden können. Klimaszenarien wurden durch die Projektgruppe Hydrologie/Fernerkundung (Mauser) bereitgestellt und im Modellverbund DANUBIA-*light* verarbeitet. Dadurch ist es möglich, wesentliche naturwissenschaftliche Größen (Grundwasserstand, Grundwasserneubildung, Abfluss, Basisabfluss, Bodenfeuchte, Temperatur, Niederschlag...) räumlich differenziert (Proxel) auf Tagesbasis für Szenarien von bis zu 100 Jahren Länge in angemessener Zeit zu berechnen. Die Ergebnisse dienen als Eingaben für die Berechnungen des Modells *DeepWaterSupply*, welches daraus wiederum die Flaggen (s. Kap. 2.3.3.4) und andere Ausgaben, die für die Akteursmodelle relevant sind, berechnet. Insgesamt ergibt sich mit dieser Vorgehensweise die Möglichkeit, gekoppelte Rechnungen zur Weiterentwicklung und Validierung von Modellen - unabhängig vom DANUBIA-Gesamtsystem - auf Basis von Klimaszenarien durchzuführen.

Aufbauend auf dieser Möglichkeit wurde durch eine Initiative der Projektgruppe Stuttgart anlässlich eines Treffens der Akteursgruppen am 9.11.2006 in Stuttgart eine gemeinsame Strategie zur Erzeugung szenarienrelevanter Daten für alle sozioökonomischen Modelle entwickelt. Als Resultat dieser Strategie konnten nun drei Klimaszenarien (optimistisch, pessimistisch, business as usual, s. Tab. 3) sowie jeweils drei Wasserversorgungsszenarien (Wasserversorger reagieren konservativ, ignorant, sensibel auf Änderungen der klimatischen Änderungen) erzeugt werden. Diese abgeleiteten und konsistenten Datensätze können nun von allen Akteursmodellen für das Testen und Validieren verwendet werden.

### 2.2.2 Modellierungsergebnisse des DANUBIA-Objektes *Groundwater*

In der zweiten Projektphase wurde eine Vielzahl von Modellläufen zur Verbesserung, Anpassung und Kalibrierung sowohl stationär, instationär, lokal (nicht gekoppelt) und im Modellverbund DANUBIA durchgeführt. Die bis Mitte 2006 erzielten Ergebnisse wurden sehr

ausführlich im Jahresbericht 2005 dargestellt. Da seither keine sehr grundlegenden Änderungen am Modell durchgeführt wurden, wird auch auf diesen Bericht verwiesen. Die anschließend noch in der 2. Projektphase erzielten Verbesserungen bestehen in der teilweisen Beseitigung der im Jahresbericht 2005 ausgeführten Schwachstellen des Modells. Z.B. ist hier die nun wesentlich bessere Anbindung an die Fließgewässer (*RiverNetwork*) und an das Bodenwasserhaushaltsmodell *Soil* zu nennen. Dennoch bleiben Probleme, die auf den grundlegend komplexen Strukturen und der Größe des Einzugsgebietes, aber auch auf dem Integrationsansatz beruhen, bestehen. Im Antrag zur dritten Projektphase sind die geplanten Lösungsmöglichkeiten dargelegt.

Es ist sehr wesentlich darauf hinzuweisen, dass die Rolle des *GroundwaterFlow* aus Sicht der Projektgruppe vorwiegend die eines Datenlieferanten für die Ressourcenbewertung (Nachhaltigkeit etc.) besteht. Sie müssen deshalb im Zusammenhang mit den Ergebnissen des Objekts *WaterSupply* im Kapitel „integrative Ergebnisse“ gesehen werden, das diese Bewertungen erstellt (s. Kap. 2.3.3). Die Beschreibung der sektoralen Ergebnisse der Grundwasserströmungsmodellierung wird deshalb sehr kurz gehalten und vorwiegend genutzt, um grundsätzliche Aspekte der Ergebnisauswertung (Unsicherheiten, Fehlerquellen) darzustellen. Im Folgenden werden verschiedene Auswertungsmöglichkeiten (Bilanzen, Flüsse, Grundwasserstände) auf unterschiedlichen Aggregationsniveaus (Gesamtgebiet, Zonen, Proxel) jeweils anhand von monatlich gemittelten Ergebnissen verschiedener Parameter für den Referenzzeitraum 1970-2003 dargestellt. Grundsätzlich ist die Fülle der Ausgabedaten und die Möglichkeit ihrer Visualisierung und Auswertung enorm hoch, so dass hier nur eine extrem begrenzte Auswahl gezeigt wird.

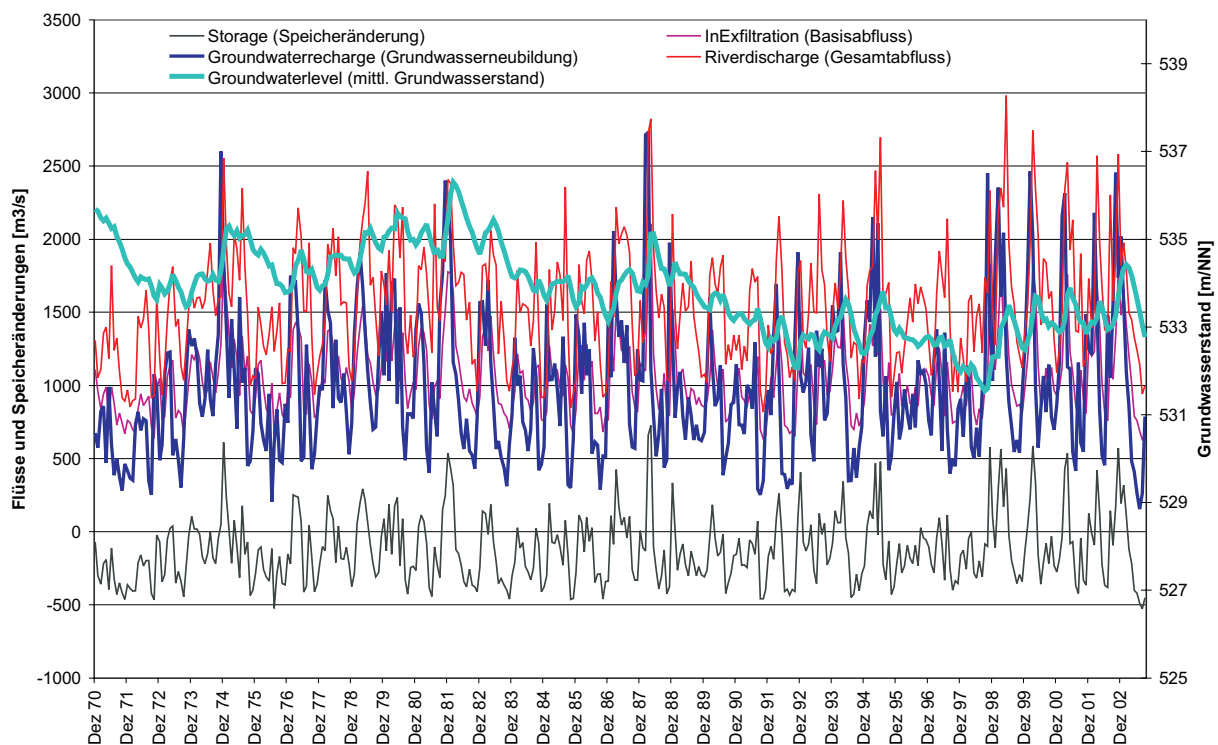


Abb. 6: Simulierte monatliche Zeitreihen der wesentlichen Komponenten des Grundwasserhaushaltes für den Referenzzeitraum 1970-2003 über das Einzugsgebiet der oberen Donau

Abbildung 6 zeigt das Speicherverhalten (Storage) des Modells im Zusammenhang mit den wesentlichen Randbedingungen. Es ist zu beachten, dass hier ein nicht optimal angepasstes Modellergebnis gezeigt wird, das unterschiedliche Zusammenhänge erkennen lässt: Es wird deutlich, dass hier der Verlauf der mittleren Grundwasserspiegel prinzipiell sehr gut auf die Änderungen der maßgeblichen Randbedingung, der Grundwasserneubildung reagiert. Auf starke Neubildungsperioden folgt ein zeitlich im Mittel um etwa 3 Monate verzögerter Anstieg der Grundwasserstände. Insgesamt gesehen ist aber ein negativer Trend der Grundwas-

serstände zu beobachten, während die Grundwasserneubildung tendenziell zunimmt. Erklärt wird das durch das Speicherverhalten des Modells: es verliert konstant Wasser über die Gesamtperiode. Der Grund hierfür ist, dass das Grundwassermodell in der hier verwendeten Version auf Ausgaben des Modells *Soil* angepasst wurde, die im Mittel etwas verschieden (höher) als die für den gezeigten Modelllauf verwendeten Eingabegrößen waren, da das Modell *Soil* inzwischen weiterentwickelt wurde. Hier wird ein wesentliches Problem der integrierten Modellierung deutlich: Die Modellanpassung muss iterativ erfolgen, was allerdings in einem stark rückgekoppelten System (Landoberfläche - Grundwasser - Oberflächengewässer) eine hohe Anzahl von Iterationen und die Automatisierung des Prozesses erfordert. Dies wird wiederum durch die Größe und Komplexität der beteiligten Modelle behindert. Lösungsmöglichkeiten wurden durch die Dissertation von ROJANSCHI (2006) aufgezeigt. Seine Vorschläge waren aber nur für das nur ca. 700km<sup>2</sup> große Einzugsgebiet der Ammer anwendbar. Rechnerkapazitäten für eine Umsetzung auf das um Faktor 100 größere Gesamtgebiet bestehen derzeit nicht. Dass dieses Problem auch am Ende der zweiten Projektphase grundsätzlich fortbesteht, wird deutlich, wie groß die Herausforderung ist, ein voll integriertes Modellsystem für ein derart großes und komplexes Einzugsgebiet zu erstellen.

Abbildung 7 zeigt eine zonenbasierte Bilanzierung für eine Zone in einem Alpental (quartärer Aquifer).

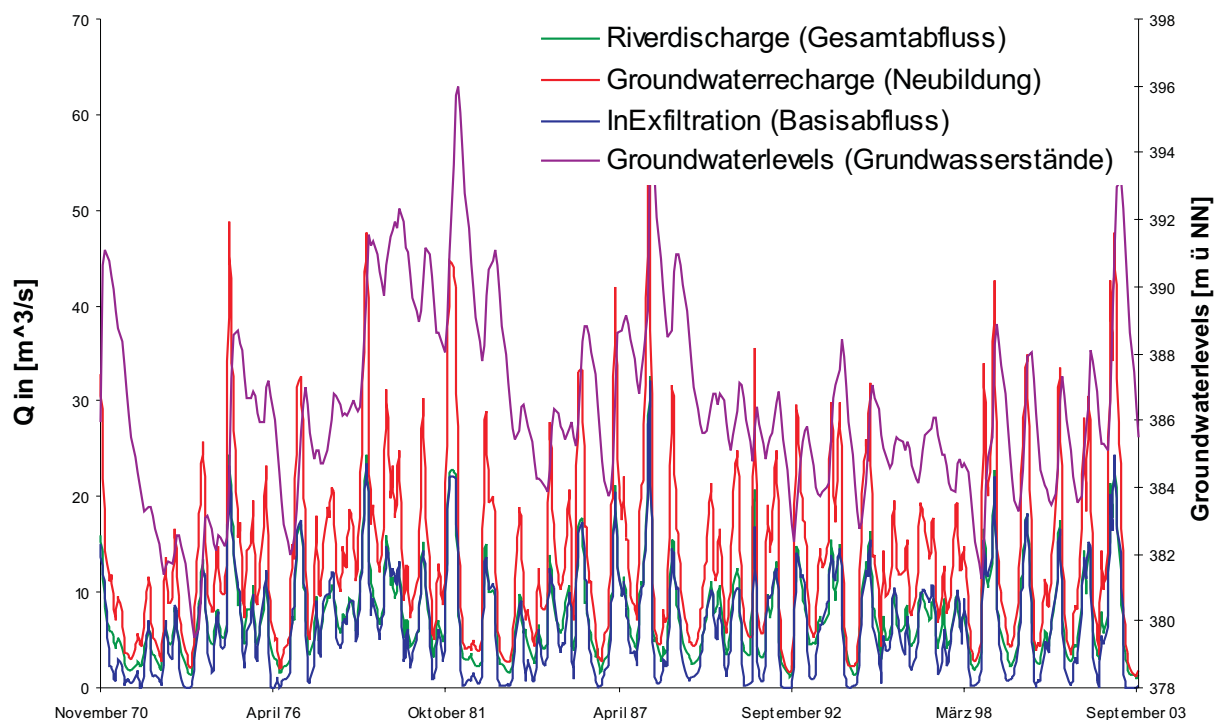


Abb. 7: Beispielhafte Bilanzierung über die berechneten monatlichen Parameter einer Zone (hier Zone 2) (s. Kap. 2.3.3.4)

Abbildung 8 zeigt den Vergleich von gemessenen und berechneten (Tageswerte 1984-2003) Grundwasserständen zusammen mit der simulierten Grundwasserneubildung für ein Proxel. Berechnete und gemessene Grundwasserstände zu vergleichen ist aufgrund der Modellauflösung von einem Quadratkilometer problematisch. In erkennt man eine zufriedenstellende Anpassung der Dynamik und des Trends der simulierten Grundwasserstände an die Gemessenen nur für den Zeitraum 1990-2000. Die Absolutwerte liegen etwas auseinander, was dadurch begründet ist, dass im Modell der Messwert im Proxelmittelpunkt verortet wird, der Proxel subskalig aber ein starkes Relief hat (sowie an weiteren Skaleneffekten). Ohne weiter ins Detail gehen zu können, macht die Ambivalenz der Ergebnisse des Grundwassermodells deutlich: Selbst wo die lokalen Ergebnisse als im Prinzip gut bezeichnet werden können, treten Abweichungen auf, die für die Lösung lokaler Fragestellungen zu groß sein dürften. Wei-



terhin ist hier zu diskutieren, was die Ursache für die nicht zufriedenstellende Anpassung vor 1990 und nach 2000 ist. Verantwortlich können im integrierten System eine Vielzahl von Faktoren sein, die innerhalb und außerhalb des Grundwasserströmungsmodells liegen können, sowohl in den Partnermodellen als auch in Eingangsdaten (Niederschlag, Grundwasserstände - hier z.B. anthropogene Beeinflussung). Eine angemessene Ermittlung der Ursachen von Fehlern und ihre Beseitigung ist bei über 2000 Messstellen und der gesamten Modellkette nicht möglich. Deswegen muss zur Beseitigung der Unsicherheiten eine geeignet räumliche und zeitliche Aggregation erfolgen (s. Kap. 2.3.3.4).

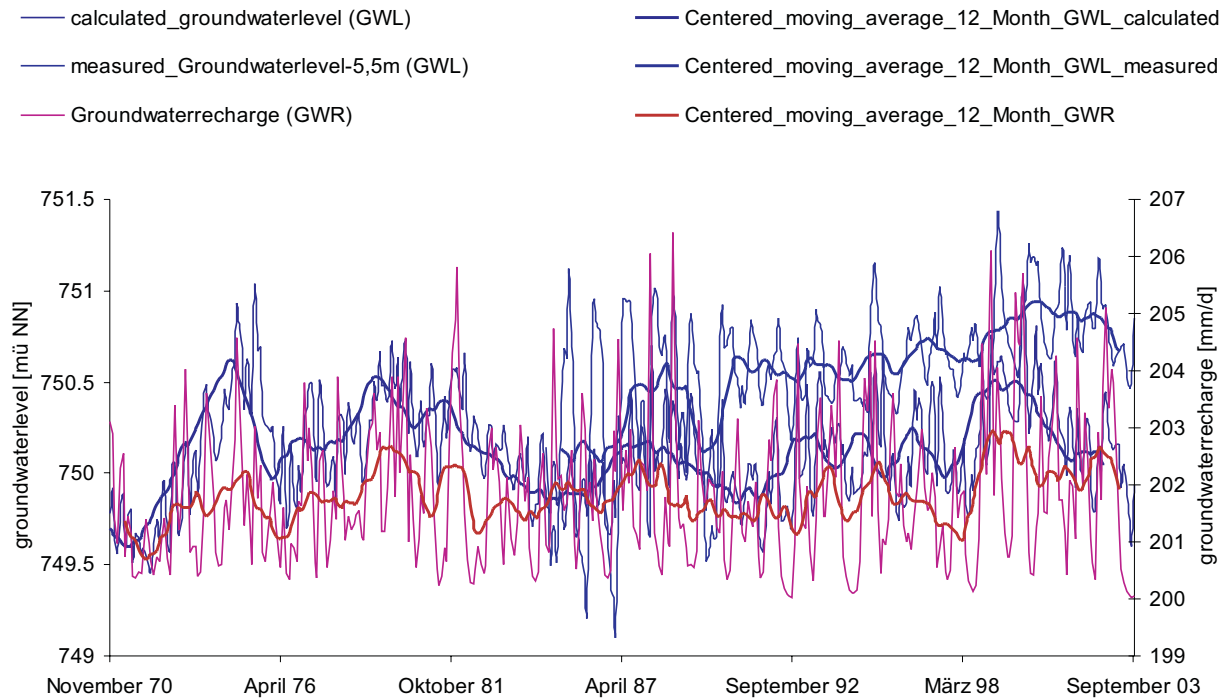


Abb. 8: Vergleich simulierter Grundwasserstände und Grundwasserneubildungsraten mit gemessenen Grundwasserständen. Um Topographieeffekte zu eliminieren wurde von den gemessenen Grundwasserständen ein konstanter Wert von 5,5m subtrahiert

Grundsätzlich zeigt das DANUBIA-Objekt *Groundwater* am Ende der zweiten Projektphase ein technisch stabiles und fehlerfreies Verhalten mit inhaltlich plausiblen und akzeptablen Ergebnissen - bei geeigneter Aggregation. Auf die noch bestehenden Schwachpunkte und entsprechende Lösungsmöglichkeiten wird ausführlich im Antrag zur 3. Projektphase eingegangen. Nähere Informationen im vorliegenden Bericht gerade zu den Problemen bzgl. der Abbildung der Grundwasserdynamik einzelner Proxel gibt z.B. Kapitel 2.2.1.3.

### 2.2.3 Sektorale Arbeiten: Teilbereich Wasserversorgung

Hauptaufgabe des Modells *WaterSupply* ist es, den räumlich und zeitlich variierenden Wasserverbrauch der Nutzer (Akteursmodelle) 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<sup>4)</sup>. 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 bestehende Nutzungsrechte, über Wasserimporte

<sup>4)</sup> Die Berechnung des Wasserpreises für die Endverbraucher ist Aufgabe der Projektgruppe Ökonomie, wurde aber aus technischen Gründen dem Objekt *WaterSupply* zugeschlagen. Die inhaltliche Verantwortung verbleibt beim Teilprojekt Ökonomie.

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. In der zweiten Projektphase 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 (Mitte 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 - Kapitel )
4. Datenerhebung zu den Kosten der Wasserversorgung (2005)
5. Szenarienerstellung und Bereitstellung konsistenter, langjähriger Szenariodaten für alle Akteursgruppen (Ende 2006/2007)
6. 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)
7. Konzeption, Implementierung und Weiterentwicklung des „Flaggenkonzepts“ (s. Kap. 2.3.3.4) zur Informationsübermittlung zwischen naturwissenschaftlichen und sozio-ökonomischen Modellen (bis heute - Fortführung in 3 Phase mit Qualitätsaspekten, Kosten etc.)
8. Anpassung und Aufbereitung der Wasserpreisdaten für die Ableitung von Kostenindikatoren (Dissertation D. Nickel - aktuell)

Der Schwerpunkt der sektoralen Arbeiten lag im Bereich der Entwicklung des Tiefen Akteurskonzepts für den Wasserversorgungs-Akteur (*DeepWaterSupply*). Da diese Arbeiten untrennbar von den integrativen Arbeiten sind, werden sie in den entsprechenden Kapiteln beschrieben (s. Kap. 2.3.3). Im Folgenden werden nur die rein sektoralen Tätigkeiten dargestellt.

#### 2.2.3.1 Implementierung der objekt-orientierten Modellkonzeption von *WaterSupply*

Zum Ende der Phase I basierte das in DANUBIA integrierte Modell *WaterSupply* auf einer einfachen, direkten Zuordnung von Verbrauchern zu Brunnen oder Quellen (→ „flach“). Da das Modell inzwischen sehr grundlegende Änderungen erfahren hat, werden die einzelnen Entwicklungsschritte, die zum Verständnis des jetzt implementierten Modellkonzepts erforderlich sind, hier kurz zusammengefasst:

Die einfache Zuordnung aus der ersten Projektphase ermöglichte zwar eine funktionale Zuordnung der Wasserverbräuche als Entnahmen in *Groundwater* und *RiverNetwork*, spiegelte aber nicht die reellen, wesentlich komplexeren Strukturen der Wasserversorgung und -verteilung 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, publiziert in BARTHEL et al. 2005b). Erst nach einer erheblichen Verbesserung der Datensituation sowie der Fertigstellung der WVU-Datenbank (s. Kap. 2.2.3.2) 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. (2005b) nachgelesen werden. Das 2004 geschaffene voll objekt-orientierte Modell bildete im Folgenden die Grundlage für die Umsetzung des Tiefen Akteurs (s. Kap. 2.2.3.6).

### 2.2.3.2 Datenbank Wasserversorgungsunternehmen (WVU)

Die Mitte 2005 fertig gestellte 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),

Die erstellte Datenbank wird, auch wenn inzwischen (Stand 2007) aktuellere Daten vorliegen, nicht erweitert. Den Aufwand zu wiederholen ist in Anbetracht der Ziele der 3. Projektphase nicht möglich.

### 2.2.3.3 Systemanalyse

Der im Arbeitsprogramm der zweiten Phase enthaltene Punkt „Systemanalyse“ kann, soweit es die konzeptionelle Entwicklung und die Implementierung des Modells *DeepWaterSupply* betrifft, als weitgehend abgeschlossen bezeichnet werden. Er wird aber in der dritten Projektphase wieder an Bedeutung gewinnen, wenn die Validierung von Modellergebnissen und die Diskussion von Szenariensimulationen mit Stakeholdern anstehen. Es ist aber anzumerken, dass eine Systemanalyse nicht in allen Details wie im Antrag zur Phase 2 geplant durch-

geführt werden konnte, weil es unmöglich ist die entsprechenden Unternehmensdaten zu erhalten. Systemanalyse und Modellbildung sind zwei sich wechselseitig bedingende Komponenten der Modellentwicklung wobei die Modellkonzeption letztlich durch die Analyseoptionen limitiert wird.

#### 2.2.3.4 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 Wasserpreis-Datenbank begonnen. Hier gingen auch neue technische und ökonomische Daten der BGW für die Jahre zwischen 1991 und 2001 ein. Diese Arbeiten sind Teil des Promotionsvorhabens von Frau Nickel (s. Kap. 1.2.1), die gegen Ende 2007 abgeschlossen werden soll. Da dies nicht direkter Gegenstand der in den Anträgen vorgesehenen Arbeiten ist, wird auf eine Beschreibung hier verzichtet<sup>5)</sup> und auf die Dissertation von Frau Nickel verwiesen (Fertigstellung 2008).

#### 2.2.3.5 Auswertetools

Insbesondere gegen Ende der Projektphase stand die Entwicklung von effizienten Auswertetools zur Analyse und Visualisierung der Ergebnisse im Vordergrund. Hier wurden einige bereits früher entwickelte Programme in ein gemeinsames Tool integriert, das in Zukunft auch von Dritten benutzt werden können soll. Diese Arbeiten sind zwar außerordentlich wichtig, aber zu spezifisch um hier dargestellt zu werden. Es wird auf die Technische Modelldokumentation verwiesen.

#### 2.2.3.6 Sektorale Modellierungsergebnisse von *WaterSupply*

Da integrative und sektorale Anteile der Ergebnisse kaum noch sinnvoll zu trennen sind werden in diesem Bericht ausschließlich integrative Ergebnisse beschrieben (s. Kap. 2.3.3.5).

#### 2.2.3.7 Teilbereich Wasserversorgung: Ausblick sektorale Arbeiten

Die Schwerpunkte im Teilbereich Wasserversorgung liegen für die dritte Projektphase auf der Validierung der Ansätze durch Literaturvergleiche, Gespräche mit Wasserversorgern und Verbänden. Dies soll im Rahmen von Stakeholderdialogen und mit Hilfe der Präsentation von Szenarienergebnisse erreicht werden.

## 2.3 Ergebnisse integrativer Arbeiten

### 2.3.1 Übersicht

Zu den herausragenden integrativen Arbeiten zählen grundsätzlich die Anpassungen der Objekte an das *DANUBIA-Framework* und die technische und inhaltliche Abstimmung der Schnittstellen mit den anderen Objekten. 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 (s. Kap. 2.2.1.3 und 2.2.1.4). Im Bereich „Wasserversorgung“ standen die Diskussion der Ermittlung des Wasserpreises, die grundlegende Konzeption des gemeinsamen *DeepActor 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.

---

<sup>5)</sup> Wasserpreise und deren zukünftige sind Gegenstand der Forschungen der Projektgruppe Ökonomie.



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.

Im Bezug auf die Integration besonderes erwähnenswert sind zwei gemeinsame Publikationen (Teilprojekte Grundwasser/Wasserversorgung - Barthel, Teilprojekt Informatik - Henninger, Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung - Mauser, Teilprojekt Umweltpsychologie - Ernst) in relevanten Fachzeitschriften (Barthel et al. eingereicht in *Water Resources Management* im August 2006 und Barthel et al. eingereicht in *Environmental Modelling and Software*, im November 2006, revidierte Fassung eingereicht im September 2007).

### 2.3.2 Integrative Arbeiten: Teilbereich Grundwasser

Die integrativen Arbeiten am Objekt *Groundwater* lassen sich wie gehabt am besten anhand der bewährten UML-Diagramme darstellen. Was die inhaltlichen Hintergründe der hier gezeigten Schnittstellen zu anderen Komponenten des DANUBIA Systems betrifft, wird auf die Kapitel 2.2.1.2 bis 2.2.1.5 verwiesen, wo diese Zusammenhänge im Grundsatz dargestellt sind. Weiterhin werden, wie oben erwähnt, die integrativen Ansätze von *Groundwater* im Kapitel 2.3.3 gemeinsam mit denen des Objekts *WaterSupply* beschrieben.

Grundlegende Veränderungen an der Konzeption der Einbindung des Objekts *Groundwater* in DANUBIA gab es in der Phase 2 nicht, dagegen sind die internen Strukturinformationen inzwischen für eine UML-Darstellung in diesem Bericht zu umfangreich. Eine umfassende 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 (s. Kap. 2.3.3).

Das Schnittstellenkonzept der Komponente *Groundwater* ist in Abbildung 9 dargestellt:

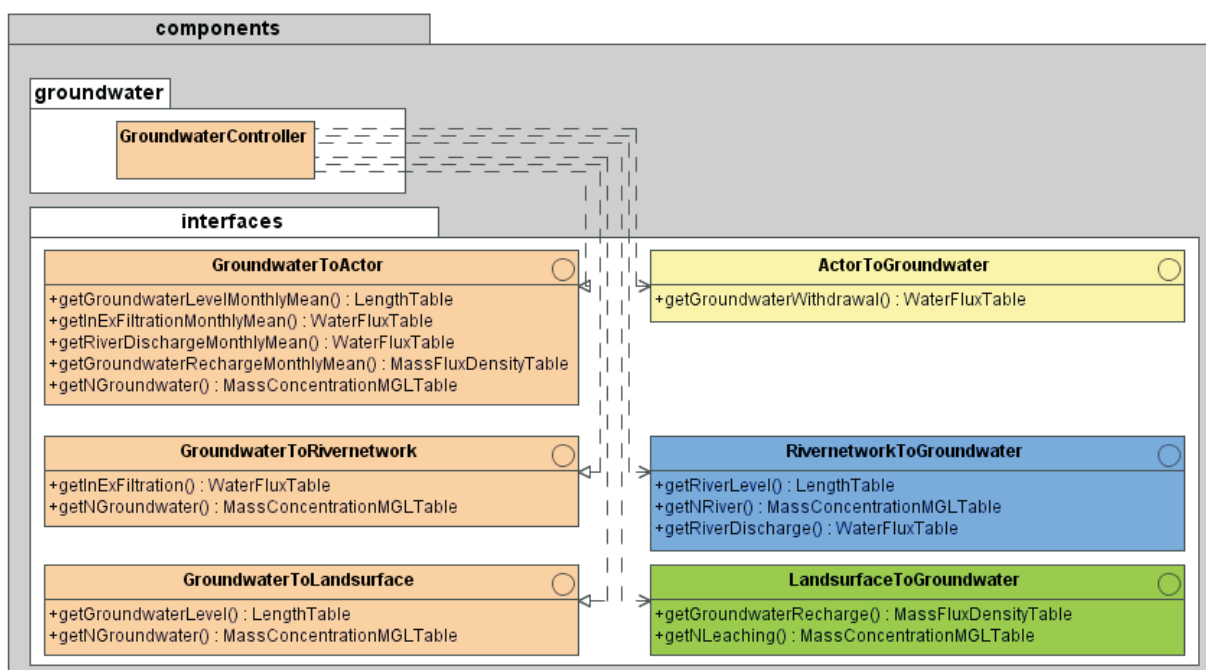


Abb. 9: Interfaces der Komponente *Groundwater*



Abbildung 10 zeigt die Schnittstellen des Objekts *GroundwaterFlow*. Die wesentliche Neuerung besteht hier in der durch das Tiefe Akteursmodell und dem dort beinhalteten Flaggenkonzept (s. Kap. 2.3.3.4) veranlassten Streichung des Parameters *maximumGroundwater-Withdrawal*. Nach der neuen inzwischen bewährten und anerkannten Konzeption wird die Bewertung, ob und wie viel Wasser aus einem Proxel entnommen werden kann, durch das Objekt *WaterSupply* selbst vorgenommen<sup>6)</sup>. Hierzu werden die monatlich aggregierten Werte von *groundwaterLevel*, *groundWaterRecharge* und *inExFiltration* (Zusatz: „monthly-mean“) benötigt. Die weitere Berechnung ist im Kapitel 2.3.3.4 beschrieben.

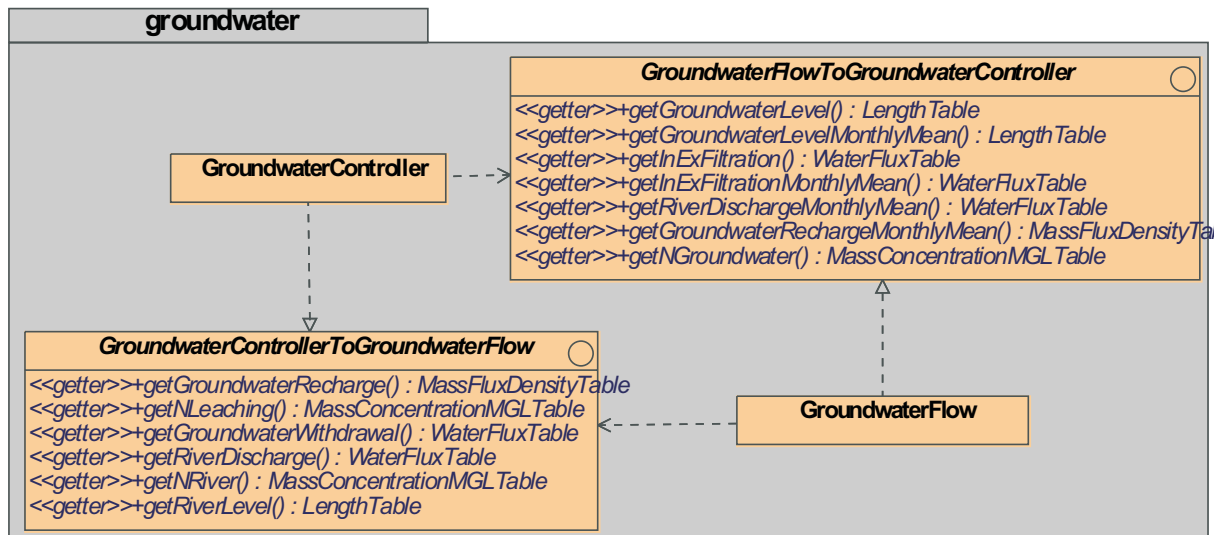


Abb. 10: Interfaces des Objekts *GroundwaterFlow*

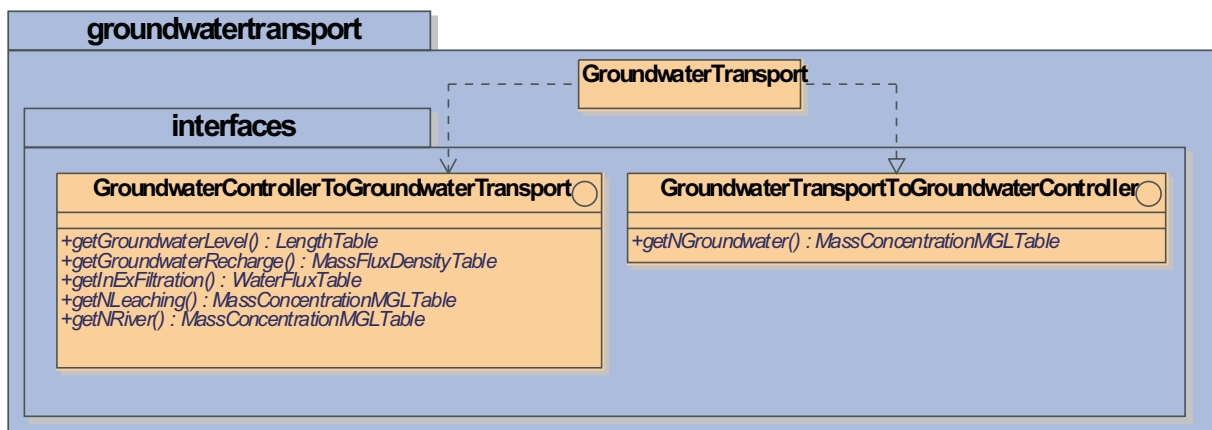


Abb. 11: Interfaces des Objekts *GroundwaterFlow*

Die wesentliche Neuerung im letzten Jahr der 2. Projektphase stellt das inzwischen als DANUBIA-Objekt *GroundwaterTransport* vorliegende Transportmodell (Nitrat; s. Kap. 2.2.1.5) dar. Die externen Schnittstellen des Objekts sind in Abbildung 11 dargestellt. Aufgrund von Stickstoffeinträgen der Objekte *Landsurface* und *RiverNetwork* (*nLeaching* und *nRiver*) und der vom Objekt *GroundwaterFlow* simulierten Grundwasserströmung (*inExFiltration*, *GroundwaterLevel*) wird die Nitratkonzentration in jede Zelle des Einzugsgebietes (*nGroundwater*)

<sup>6)</sup> 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.

berechnet. Die Implementierung des unter Kapitel 2.2.1.5 näher beschriebenen Modells konnte bereits erfolgreich getestet werden, eine inhaltliche Validierung im Gesamtkontext von DANUBIA steht aber noch aus. Um die Validierung durchführen zu können, wurde eine Datenbank erstellt, die die Nitratwerte des Grundwassers der letzten Jahrzehnte aus dem Oberen Donau EZG enthält.

### 2.3.3 Integrative Arbeiten: Teilbereich Wasserversorgung

Die gemeinsame Umsetzung eines Prototyps des Tiefen Akteurs in Zusammenarbeit mit allen Akteursgruppen und der Gruppe „Informatik“ stand im Zentrum der integrativen Arbeiten:

1. Erarbeitung eines für alle Akteursgruppen anwendbaren Tiefen Akteurs-Konzepts und eines Modellframeworks (Gruppe Informatik), das die notwendigen gemeinsamen Strukturen bereitstellt,
2. Gemeinsame Arbeiten zur Nachhaltigkeit 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.

#### 2.3.3.1 Koordinatorische Aufgaben

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. Besonders wegweisend für die weiteren Entwicklungen (Phase 3) ist das am 09.11.2006 in Stuttgart durch die Projektgruppe organisierte Treffen der Akteursgruppen mit insgesamt 20 Teilnehmern. Hier wurde eine Strategie zur gemeinsamen Vorbereitung von Test- und Validierungsmodellläufen der Tiefen Akteurs-Modelle konzipiert. In der Folge wurde die dort vereinbarte Vorgehensweise durch Herrn Dr. Barthel koordiniert.

Im Frühjahr 2004 übernahm die Stuttgarter Projektgruppe die Pflege des *ActorController*. Der *ActorController* verwaltet und regelt die Anbindung der gesamten Akteurskomponente an die anderen Hauptkomponenten (*Atmosphere*, *LandSurface* ...) und das DANUBIA-Framework. 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 zusätzlich 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 waren.

#### 2.3.3.2 Beiträge zur konzeptionellen Entwicklung und Implementierung der Tiefen Akteursmodelle

Noch deutlich stärker als das DANUBIA-Framework übernimmt das *DeepActor-Framework* (→ Gruppe Informatik) Aufgaben, die für alle Akteursmodelle gleichartig durchgeführt werden, z.B. die Initialisierung von Akteuren. In dieses *Framework* kann ein beliebiger Akteur mit geringem Aufwand implementiert werden. 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.

Der Prototyp für die Tiefen Akteursmodelle wurde gemeinsam mit den Gruppe „*Household*“ und „*Informatik*“ ausgearbeitet. Er enthielt bereits die wesentlichen Elemente, die dem Konzept heute zugrunde liegen. Vor dem Hintergrund dieses Entwurfs wurde zunächst, koordiniert durch die Projektgruppe Stuttgart, 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 der 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.

### 2.3.3.3 Konzeptionelle Entwicklung und Implementierung von *DeepWaterSupply*

Ziel des Wasserversorgungs-Akteurs ist es, die Versorgung aller angeschlossenen Verbraucher sicherzustellen. Dies 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. Es ist bereits an dieser Stelle anzumerken, dass Aufbereitung und Speicherung nicht explizit modelliert werden.

Der Tiefe Wasserversorgungs-Akteur ist bemüht, im Sinne einer vorausschauenden Planung Bedarf und Angebot zu beobachten und absehbare Engpässe zu beseitigen. Wassermangel und andere kritische Situationen sollen durch eine vorbeugende Strategie vermieden werden. Die „Beobachtung“ von Angebot und Bedarf erfolgt dabei im Modell durch die Berechnung und Interpretation von sog. „Flaggen“ (s. Kap. 2.3.3.4). Die folgende Auflistung sowie Abbildung 12 und 13 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 Grundwasserkörper<sup>7)</sup> 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)<sup>8)</sup>
  - 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*<sup>9)</sup>, siehe c
  - f. Fallunterscheidung wie d), Bedarf nicht gedeckt → B) Tiefes Modell
4. Berechnungsschritte - B) Tiefes Modell (stark vereinfacht)
  - a. Berechnung der Bewertung des Zustands aller Entnahmestellen (Flaggen → Kap. 2.3.3.4)
  - 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 ein Verbraucherproxel bedienen (Quantität)
  - e. *drinkingWaterQualityFlag*: noch nicht implementiert

---

<sup>7)</sup> Grundwasserressource, Aquifer, Grundwasserleiter: Es wird in der Folge der Begriff „Grundwasserkörper“ verwendet, um einen weitgehend homogenen, einheitlich reagierenden Grundwasserbereich zu bezeichnen.

<sup>8)</sup> Vgl.: Das Modell *DeepWaterSupply* besteht aus einer „flachen“ Komponente, die dem „objektorientierten Ansatz“ (vgl. Kap. 2.2.3.1) entspricht und dem eigentlichen Tiefen Akteursmodell. Solange keine Entscheidungen (Bedarf problemlos gedeckt) zu treffen sind, wird das Tiefe Modell nicht ausgeführt.

<sup>9)</sup> Derzeit kann jede Gemeinde im „flachen Bereich“ von maximal zwei Wasserversorgungsunternehmen (WVU=WSC) versorgt werden, die bei der Initialisierung (also vorab) festgelegt werden.

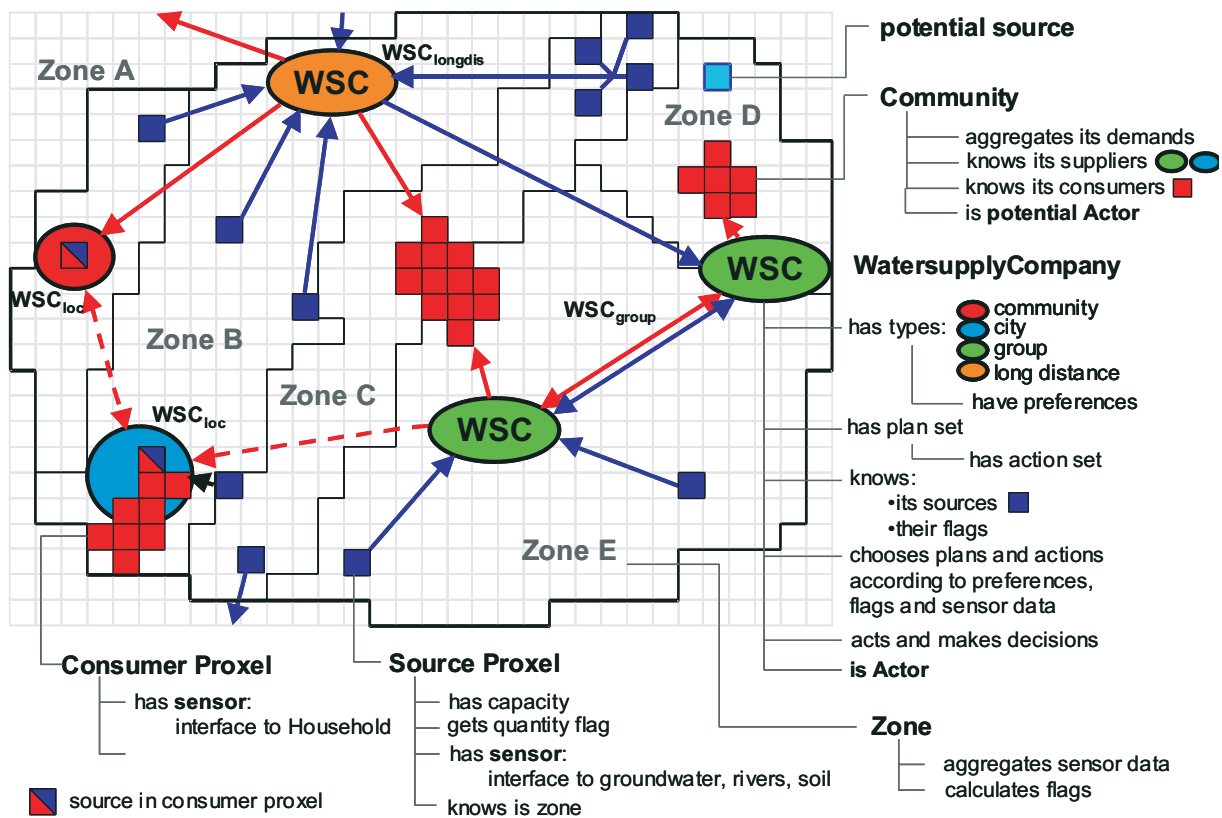


Abb. 12: Elemente (Objekte) des Tiefen Akteursmodells *DeepWaterSupply* und deren Funktionalität

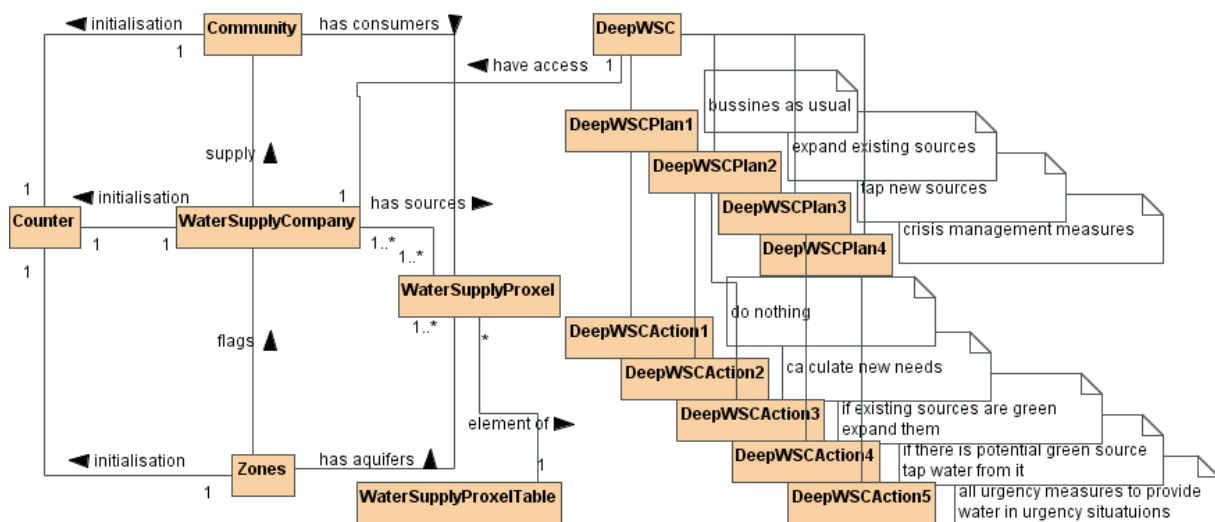


Abb. 13: Struktur von *DeepWaterSupply*

Auf die Gesamtdarstellung der strukturellen Details von *DeepWaterSupply* in UML wird hier aus Platzgründen verzichtet, da das Modell inzwischen sehr umfangreich geworden ist. Es wird auf den Jahresbericht 2005 verwiesen, in dem diese Details dargestellt und beschrieben sind. Die seitdem eingeführten Änderungen sind vorwiegend technischer Natur und werden im Technical Report (BARTHEL et al. 2006) beschrieben.

Erwähnenswert sind jedoch die Änderungen an den Schnittstellen zu den Partnermodellen. Hier stellt die aktuelle Implementierung im Gesamtmodell DANUBIA 1.1 noch eine Übergangslösung dar, da noch nicht alle Akteursmodelle das Tiefe Akteurs-Konzept verwenden. Da diese Übergangslösung in absehbarer Zeit nicht mehr notwendig sein wird, wird hier die neue Konzeption der Schnittstellen vorgestellt. Hier ist eine durchgängige Anwendung des



Flaggenkonzepts (s. Kap. 2.3.3.4) vorgesehen, was bedeutet, dass sämtliche Mengen- und Qualitätsbezogenen Ausgaben des Objekts *Watersupply*, mit Ausnahme des Parameter *groundwaterWithdrawal* und *drinkingWaterPrice*, nun in Form von Flaggen übergeben werden und zwar sowohl für Groundwater und RiverWater als auch für Quantität und Qualität (...*QuantityFlags* und ...*QualityFlags*). Importiert werden dann nur noch die bereits monatlich aggregierten Werte der Komponenten *RiverNetwork*, *Groundwater* und *LandSurface* sowie wie gehabt die Demands der Akteursmodelle (s. Abb. 14 und 17).

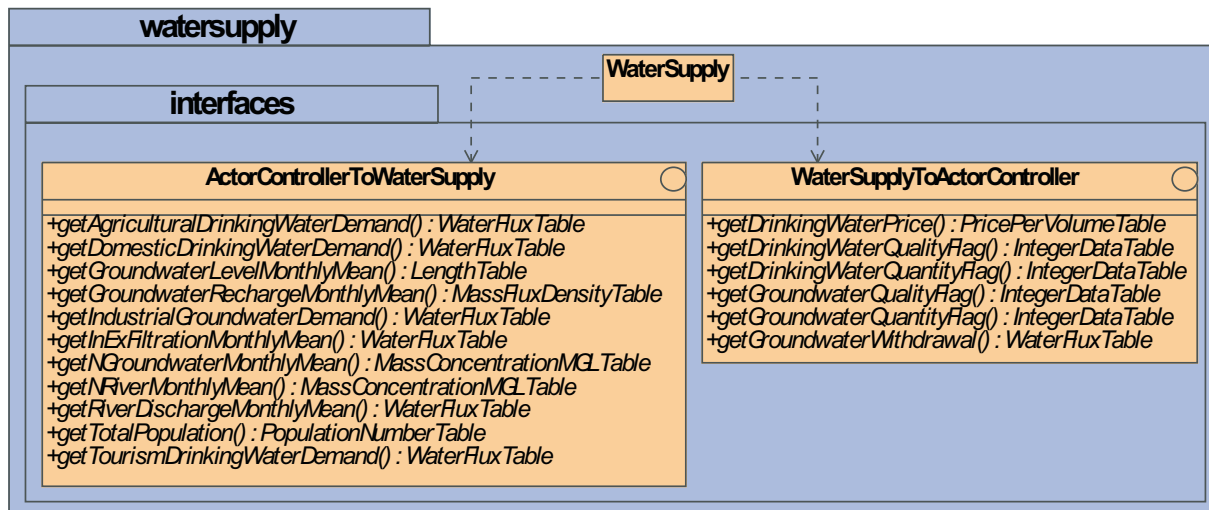


Abb. 14: Zukünftige Interfaces des Objekts *DeepWaterSupply* (DANUBIA 2.0)

#### 2.3.3.4 Flaggen: Das Konzept zur Nachhaltigkeitsbewertung der Nutzung von Wasserressourcen

Der Wasserverbrauch der Wassernutzer (Akteursmodelle) ist in GLOWA-Danube u.a. auch eine Funktion des Wasserangebots (Dargebot), wobei der Begriff Dargebot hier alle technischen, physikalischen, ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkte umfasst. Die Akteursmodelle benötigen deshalb Informationen über den aktuellen und zukünftigen Zustand bzw. Veränderungen gegenüber Referenzzuständen und -zeiträumen in der Vergangenheit auf der „Angebotsseite“. Dieser Zustand ist aus den Parametern (*groundwaterLevel*, *riverDischarge*, *groundwaterRecharge*) ableitbar, die von den Komponenten *Groundwater*, *RiverNetwork* und *LandSurface* berechnet werden (s. Tab.2). Aufgrund der Komplexität der zugrunde liegenden Prozesse und wegen der Heterogenität der maßgeblichen naturräumlichen Einheiten ist es aber nicht möglich, einfache direkte Abhängigkeiten zwischen den aktuellen Werten dieser Parameter und dem aktuellen und zukünftigen Zustand der „Angebotsseite“ herzustellen (BARTHEL 2007; BARTHEL und TRIFKOVIC 2007). Deshalb kann eine Interpretation nicht durch die Akteursgruppen selbst, sondern nur mit dem Expertenwissen der zuständigen „Gruppen“ (*Groundwater*, *WaterSupply*, *RiverNetwork*) erfolgen. Zusätzlich ist es konzeptionell und aufgrund der Datenlage schwierig, die betreffenden Parameter mit der erforderlichen absoluten Genauigkeit zu berechnen.

In den flachen Modellen (Phase 1) wurde ein starres Konzept verfolgt, das die Berechnung der potentiell zur Verfügung stehenden Wassermenge pro Proxel auf Seiten von *Groundwater* und bei *RiverNetwork* vorsah (*maximumGroundwaterWithdrawal*). Mit dem Konzept des Tiefen Akteurs ist es nun möglich, den alten, starren - und damit unter Global Change Bedingungen 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 wer-

den 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 Zustand<sup>10)</sup> 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 15 dargestellt.

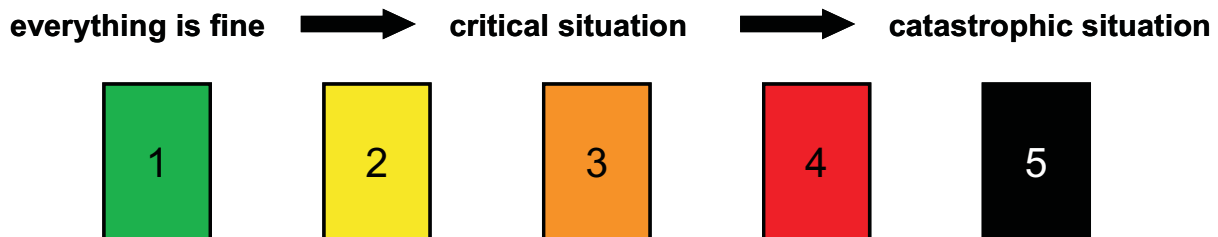


Abb. 15: Grundsätzliches Schema der Flaggenbedeutung

Das scheinbar sehr wenig differenzierte Klassifikationsschema wird im Kontext der Multi-Akteursmodellierung zur individuell anpassbaren Entscheidungsgrundlage unterschiedlicher Akteure mit unterschiedlichen Akteurstypen (vgl. Tab. 1). Ein Akteursmodell (~Agenten-Modell) beschreibt wasserbezogene, sozioökonomische Prozesse als Summe der individuellen Handlungen einer Vielzahl einzelner Akteure. Ein Akteur ist hierbei eine Einheit (Objekt), die in der Lage ist, auf Änderungen von Systemzuständen in individueller Weise zu reagieren, also „Entscheidungen“ zu treffen. Die Individualität der Handlung wird dabei dadurch erzeugt, dass der einzelne Akteur mit individuellen Eigenschaften und Präferenzen ausgestattet ist. In Abbildung 16 ist links ein abstrakter Akteur, rechts ein konkreter Wasserversorgungsakteur dargestellt, wobei beide Darstellungen schematisch sind und kein umfassendes Bild der tatsächlichen Implementierung wiedergeben.

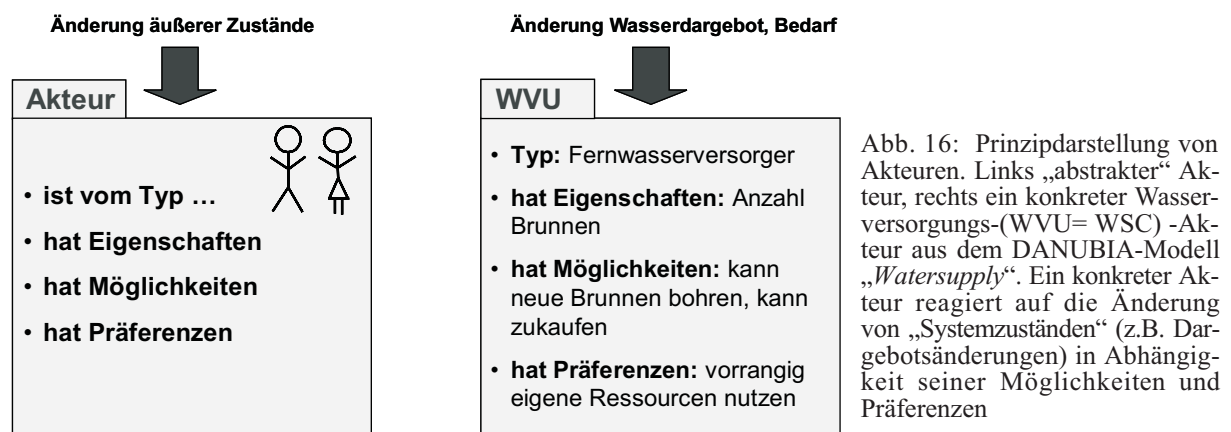


Abb. 16: Prinzipdarstellung von Akteuren. Links „abstrakter“ Akteur, rechts ein konkreter Wasserversorgungs-(WVU= WSC)-Akteur aus dem DANUBIA-Modell „Watersupply“. Ein konkreter Akteur reagiert auf die Änderung von „Systemzuständen“ (z.B. Dargebotsänderungen) in Abhängigkeit seiner Möglichkeiten und Präferenzen

Das Flaggenkonzept lehnt sich an übliche Klassifikationsschemata wie z.B. die bekannten Gewässergütekarten, Hochwassergefahrenkarten, etc an. Eine schöne Analogie ist in den „water scarcity stages“ zu sehen, die in Australien weite Verbreitung haben (VICTORIAN WATER 2005). Überall dort, wo Zustände nicht direkt durch Messwerte weniger Einzel-

<sup>10)</sup> Die Begriffe „mengenmäßiger“ und „qualitativer Zustand“ von „Wasserkörpern“ (~ Wasserressourcen, engl. water bodies, quantitative und qualitative status/state) sind zentraler Bestandteil der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL). Sie können hier allerdings nicht exakt analog verstanden werden, da die WRRL vorwiegend anthropogene Beeinflussungen von Wasserkörpern betrachtet und klimatische Einflüsse ausklammert. Ziel ist dort primär das Erreichen eines „natürlichen Zustands“, auch wenn dieser z.B. unter Versorgungsaspekten sehr schlecht wäre.

größen 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.

Tab. 1: Vorschläge und Beispiele zur Interpretation von Flaggen

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

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.
- Flaggen gelten jeweils für eine Zone. Eine „Zone“ ist definiert durch ein Einzugsgebiet (mit Pegel) und den maßgeblichen Aquifer. Pro Teileinzugsgebiet (155 in GLOWA-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 in individuell (intuitiv) interpretierbare Signale für sozioökonomische Sub-Modelle. Sie 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. Sie sind damit weniger abhängig von den absoluten Fehlern der genannten Größen der beteiligten Simulationsmodelle und tragen deshalb zur Verringerung der Modellunsicherheit bei<sup>11)</sup>.
- Flaggen berücksichtigen unterschiedliche Reaktionszeiten für unterschiedliche Parameter in verschiedenen Grundwasserkörpern (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.

<sup>11)</sup> Allerdings in nicht-quantifizierbarer Weise.

## 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<sup>12)</sup> und Stakeholdern diskutiert und verbessert werden.

Grundsätzlich ist in DANUBIA derzeit zwischen zwei Flaggentypen zu unterscheiden

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. Abbildung 17 fasst den Zusammenhang zwischen DANUBIA-Modellen und Flaggentypen zusammen.

Die Flaggenberechnung bezieht folgende Austauschparameter mit ein (Tab. 2, vgl. auch Abb. 17):

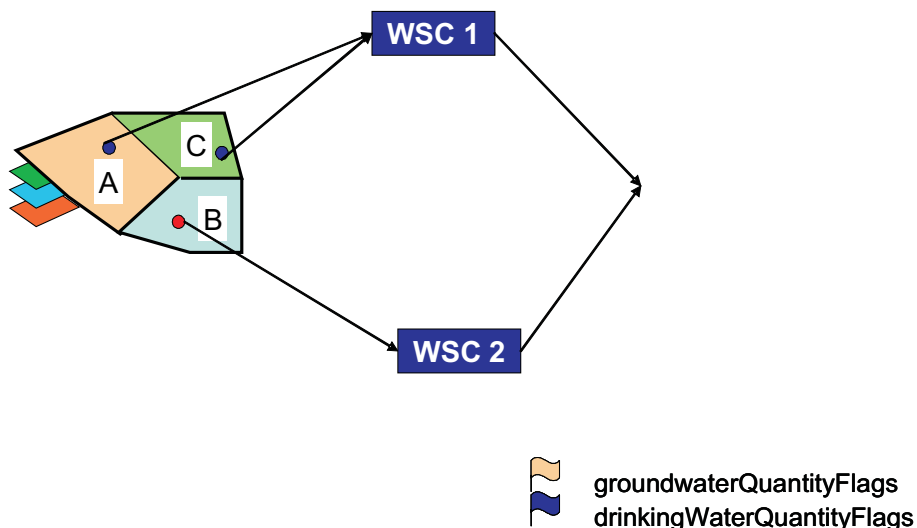


Abb. 17: Berechnung der *DrinkingWaterQuantityFlag*

<sup>12)</sup> von Wasserwirtschaftsämtern, Wasserversorgungsunternehmen, Ingenieurbüros.

Tab. 2: Bewertungsparameter

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

Für jede Zone hat jeder Parameter ein bestimmtes Gewicht. So ist die Bedeutung des Parameters *groundwaterRecharge* in einem tiefen Grundwasserkörper, der von einer gering-durchlässigen 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 wird abgeleitet aus bestimmten Eigenschaften der jeweiligen Zone, die in der „charakteristischen Reaktionszeit“ zusammengefasst sind. So muss z.B. bei einem tief gelegenen Grundwasserkörper eine längere Zeitreihe des Grundwasserstandes 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.

### 2.3.3.5 Berechnung der Flaggen

Zu jedem Zeitschritt  $t$  werden die Proxel-Indikatoren  $I_{C_i}^t$  von den Partnermodellen importiert und für jede Zone  $z$  über die die charakteristische Periode  $P_{Z_i}$  aggregiert, um den Zonen-Indikator  $I_z^{P_i}$  zu erhalten (Gleichungen 16 und 17). Dies geschieht erst, wenn die Simulationszeit so weit fortgeschritten ist, dass für alle Parameter  $i$  Werte für die jeweilige Zone berechnet wurden. Das heißt, bis dahin werden keine neuen Flaggen berechnet und die Initialflagge wird herausgegeben. Der Prozess braucht deshalb bis zu 60 Monate Vorlauf. Unterschiedliche Dimensionen der Parameter (Volumen, Länge) erfordern eine getrennte Behandlung:

Wenn  $t > \text{Max}\{P_{Z_i, i=(gwr, inex, rdis)}\}$ :

$$I_z^{P_i} = \frac{1}{P_{z_i}} \sum_{t-P_{z_i}}^t \sum_{c=1}^{C_z} I_{C_i}^t; \text{ mit: } i = (gwr, inex, rdis) \quad \text{Gleichung 16}$$

und:

$$I_z^{P_i} = \frac{1}{P_{z_i}} \sum_{t-P_{z_i}}^t \frac{1}{C_z} \sum_{c=1}^{C_z} I_{C_i}^t; \text{ mit: } i = (gwl) \quad \text{Gleichung 17}$$

mit:

- $gwr$  = Parameterwert (Proxel) *GroundwaterRecharge* [m<sup>3</sup>/s]
- $gwl$  = Parameterwert (Proxel) *GroundwaterLevel* [m/NN]
- $inex$  = Parameterwert (Proxel) *InExfiltration* [m<sup>3</sup>/s]
- $rdis$  = Parameterwert (Proxel) *RiverDischarge* [m<sup>3</sup>/s] (optional)
- $c_z$  = Proxel ID in Zone  $z$
- $C_z$  = Anzahl Proxel in Zone  $z$  [1...405]
- $t$  = Aktueller Simulationszeitschritt [1...T],
- $T$  = Länge der Simulation [month]
- $P_{Z_i}$  = Charakteristische Periode für jeden Parameter  $i$  in einer Zone  $z$ , [month] [6...60]
- $I_{C_i}^t$  = Indikatorwert für Parameter  $i$  in Proxel  $c$  zum Zeitschritt  $t$
- $I_z^{P_i}$  = Indikatorwert für Parameter  $i$  in Zone  $z$  für die charakteristische Periode  $P$  zum Zeitschritt  $t$



Um die Veränderungen der berechneten Indikatorwerte  $I_z^{P^t_i}$  zu bewerten, werden diese mit den Referenzwerten  $I_z^{P^t_{ref_i}}$ , die die mittleren langjährigen Verhältnisse für einen Parameter  $i$  in einer Zone  $z$  beschrieben, verglichen. Da die charakteristische Periode für einen Parameter in einer Zone nicht dem Kalenderjahr entspricht und auch kürzer oder länger als 12 Monate sein kann, wird die Mittelwertberechnung für das langjährige Mittel entsprechend angepasst. Es werden die langjährigen Mittel für einzelne Monate  $I_z^{month_{longterm}}$  verwendet. Ist z.B. der aktuelle Simulationsmonat April und die charakteristische Periode 6 Monate, so wird der Referenzwert aus den langjährigen Mitteln für November bis April bestimmt und mit den aktuellen Simulationswerten für November bis April verglichen:

$$I_z^{P^t_{ref_i}} = \sum_{t-P_z}^t I_z^{month_{longterm_i}}; \text{ mit: } i = (gwr, gwl, inex, rdis) \quad \text{Gleichung 18}$$

mit:

$$\begin{aligned} I_z^{P^t_{ref_i}} &= \text{Referenz}^{13)} \text{ Indikator Wert für Parameter } i \text{ in Zone } z. \text{ Mittelwert für die Referenzperiode} \\ I_z^{month_{longterm_i}} &= \text{Langjähriges Monatsmittel für den Indikatorwert für Parameter } i \text{ in Zone } z \text{ für jeden Kalendermonat; [1..12]} \end{aligned}$$

Wenn die charakteristische Periode  $P_z$  12 Monate oder ein vielfaches von 12 Monaten ist, wird das langjährige Mittel für den Indikatorwert verwendet:

$$\text{if } P_z = (12, 24, \dots) \Rightarrow I_z^{P^t_{ref_i}} = I_z^{ref_i} \quad \text{Gleichung 19}$$

$$I_z^{ref_i} = \text{Langjähriges Mittel eines Parameters } i \text{ in Zone } z$$

Im nächsten Schritt wird der berechnete Indikatorwert aus dem aktuellen Simulationszeit-schritt mit den Referenzwerten verglichen. Die erhaltene Abweichung wird als Prozentsatz  $\Delta I_z^t$  ausgedrückt:

$$\Delta I_z^t = \left( 1 - \frac{I_z^{P^t_i}}{I_z^{P^t_{ref_i}}} \right) * 100; \text{ mit: } i = (gwr, inex, rdis) \quad \text{Gleichung 20}$$

Im Fall des Parameters Groundwater Level ( $gwl$ ) werden die Einflüsse unterschiedlicher Geländehöhe und unterschiedlicher Amplituden dadurch ausgeglichen, dass die Wert mit der maximalen Spannweite normalisiert werden:

$$\Delta I_z^t = (-1) \left( \frac{I_z^{P^t_i} - I_z^{P^t_{ref_i}}}{\max_z I_z^{P^t_{longterm_i}} - \min_z I_z^{P^t_{longterm_i}}} \right) * 100; \text{ mit: } i = (gwl) \quad \text{Gleichung 21}$$

$$\min I_z^{month_{longterm_i}} = \text{Minimalwert des mittleren Grundwasserstands (gwl) in Zone } z \text{ in der Referenzperiode}$$

$$\max I_z^{month_{longterm_i}} = \text{Maximalwert des mittleren Grundwasserstands (gwl) in Zone } z \text{ in der Referenzperiode}$$

Nun werden die Abweichungen für jeden Parameter  $i$  zum aktuellen Zeitschritt  $t$  klassifiziert, um einen universellen Indikator  $Fz_i$  für jeden Parameter zu erhalten. Je größer die (negative) Abweichung ist, desto höher der Wert von  $Fz_i$ .

<sup>13)</sup> Im vorliegenden Fall stammen alle Referenz Werte von einer gekoppelten Simulation von meteorologischen Stationsdaten der Jahre 1900-2003.

$$\Delta I z_i^t < \text{Max}\{T_i, i = (gwr, gwl, inex, rdis)\} \Rightarrow Fz_i^t \quad \text{Gleichung 22}$$

$T_i$  = Grenzwert zur Klassifizierung der Flaggen  
 $Fz_i^t$  = Indikator Flagge für jeden Parameter  $i$  in der Zone  $z$  zur Zeit  $t$

Wobei:

T <sub>i</sub>			Fz <sub>i</sub>
i=gwr	I=gwl	i=inex	
30	15	30	1
60	25	60	2
90	40	90	3
120	60	120	4
>120	>60	>120	5

Da verschiedene Parameter in unterschiedlichen Zonen unterschiedlichen Einfluss auf die Beurteilung der Grundwassersituation haben, werden sie gewichtet. Die Indikatorflaggen werden wie folgt in eine gewichtete Flagge überführt:

$$Fz_{weight}^t = \sum Fz_i^t \cdot Wz_i; \quad \text{mit: } \sum Wz_i = 1 \quad \text{Gleichung 22}$$

$Fz_{weight}^t$  = Gewichtete Flagge für jede Zone  $z$  zur Zeit  $t$   
 $Wz_i$  = Wichtung (nach Größe des Einflusses) für jede Indikator Flagge  $Fz_i^t$  in Zone  $z$  [0...1]

Im letzten Schritt wird aus den gewichteten Flaggen  $Fz_{weight}^t$  die endgültige Flagge  $Fz^t$  berechnet. Hierbei werden einige Bedingungen abgefragt, die bestimmte unerwünschte Effekte verhindern sollen (Oszillation, Sprünge), was hier aber aus Platzgründen nicht im Einzelnen ausgeführt wird. Insbesondere wird hier durch den Abgleich mit der Initialflagge  $Fz_{zinit}$  verhindert, dass eine Zone im Verlauf der Simulation besser bewertet wird als zu Beginn des Berechnungszeitraums. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass  $Fz_{zinit}$  (Flaggenwert, der jeder Zone zur Initialisierung zugewiesen wird) die statischen hydrogeologischen Eigenschaften wie Durchlässigkeit und Speicherkapazität des Grundwasserkörpers berücksichtigt<sup>14)</sup>. Ein in dieser Hinsicht mäßiger Grundwasserleiter soll nicht die Bewertung „sehr gut“ erhalten können. Dieses Konzept ist diskussionsbedürftig und wird sehr wahrscheinlich in der dritten Projektphase ersetzt. Am Ende steht die endgültige Flagge  $Fz^t$  für jede Zone  $z$  zur Zeit  $t$ .

Abbildung 18 zeigt exemplarisch für eine Zone und einen Parameter ( $i=gwr$ ) die zeitliche Entwicklung der Indikatoren und der Flaggen für eine Simulationsdauer von 30 Jahren nach dem „pessimistischen“ Szenario (Tab. 1).

<sup>14)</sup> Die Festlegung der Initialflaggen erfolgte anhand der für die Erstellung des Grundwasserströmungsmodell verwendeten Daten sowie Literaturangaben (BAYLFW 1980; BAYLFW 1990; BAYLFW 1996; BAYSTMLU 1994 für Bayern)

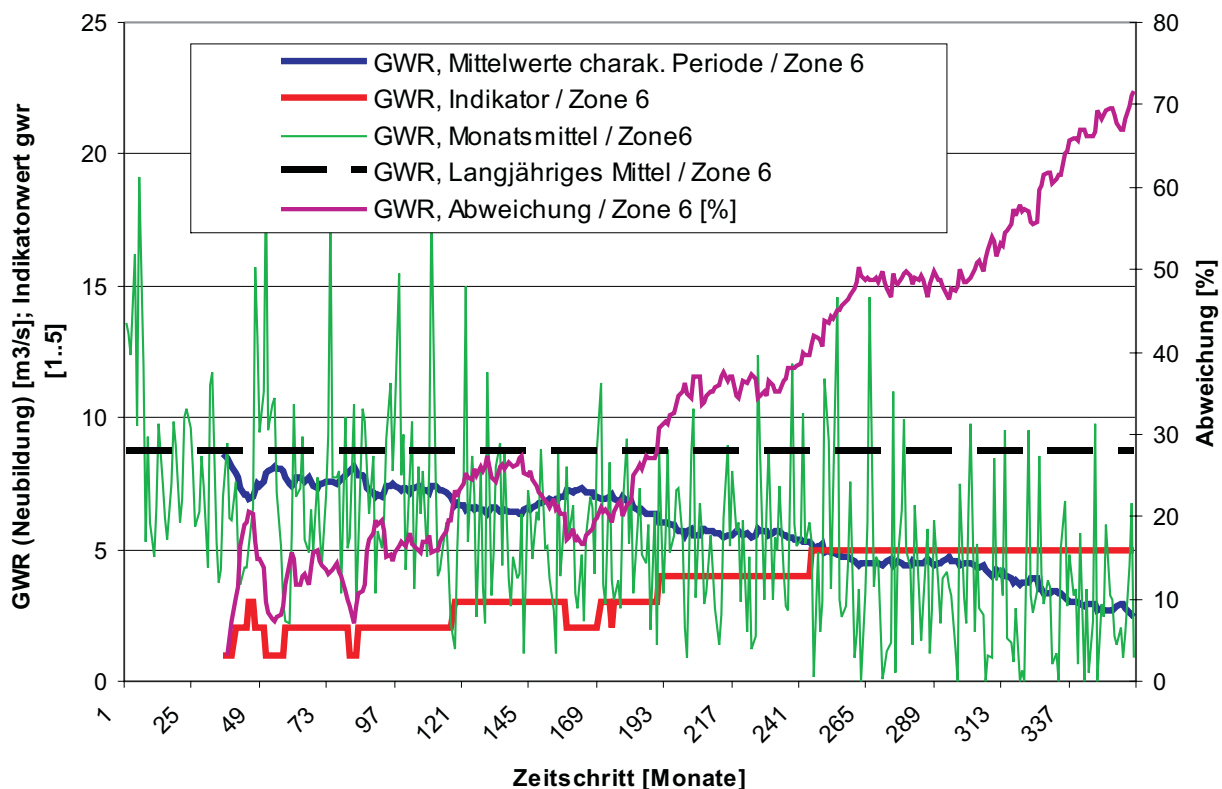


Abb. 18: Berechnungsbeispiel für den Parameter gwr “groundwaterRecharge” für eine ausgewählte Zone mit einer charakteristischen Periode von 48 Monate. Um anschauliche Ergebnisse zu erhalten, wurden die Eingabewerte (Grundwasserneubildung Referenzperiode 1970-2003) mit einem deutlichen negativen Trend versehen

### 2.3.3.6 Modellierungsergebnisse von *DeepWaterSupply*

Im Vergleich zu den Ergebnissen des flachen *WaterSupply*-Modells sind die Ergebnisse des Objekts *DeepWaterSupply* vielschichtiger geworden. Die Funktion des flachen Modells beschränkte sich auf die Weitervermittlung des Wasserverbrauchs an die Entnahmestellen (Grundlage hierfür ist eine der realen Wasserversorgungsstruktur entsprechende 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 ist<sup>15)</sup>, war das flache Modell damit in der Lage, den Ist-Zustand und Zustände der jüngeren Vergangenheit (~10 Jahre) 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:

<sup>15)</sup> Im trockenen Sommer 2003 (s. BAYSTMUGV 2003; Eybl 2004; BUWAL 2004; LUBW 2004)) wurden nach Erhebungen der Projektgruppe Umweltpsychologie in ca. 10-15 Gemeinden und Gemeindeteilen Wassermangel registriert, davon waren vorübergehend wenige 1000 Einwohner betroffen. Im vergleichbar trockenen Sommer 1976 (s. BAYLFW 1979) waren weitaus mehr Einwohner betroffen, allerdings war damals die Infrastruktur nicht auf dem heutigen Stand.

- **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 an.
- **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 und entsprechenden politischen, technischen und sozialen Vorgaben 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 weder sehr detailliert noch insgesamt vollständig sind, sind umfangreiche Interpretationen hier allerdings nicht zulässig.

Tabelle 3 erläutert zunächst die drei Klimaszenarien, die den im Folgenden gezeigten Ergebnisgrafiken zugrunde liegen. Abbildung 19 visualisiert dann im Überblick die Ergebnisse der Modellanwendung (*DANUBIA-Light*) auf diese Szenarien für die wesentlichen, grundwasserrelevanten Größen.

Tab. 3: Verwendete Klimaszenarien

Szenario Bezeichnung	Beschreibung	Kommentar
‚Business as usual‘	IPCC B2 ähnliches Szenario mit dem stochastischen Klimagenerator der Gruppe Mauser generiert	Nur 33 Jahre werden gezeigt
Optimistisch/Validierung	Messwerte von 1970 bis 2003	Für die Validierung verwendet, gleichzeitig als ‚optimistisches Szenario bezeichnet‘
Pessimistisch	Extrem trockenes Szenario, dass durch eine einfache Kombination der heißesten und trockensten Monate aus dem Referenzzeitraum 1970-2003 generiert wurde	Nicht plausibel, da der Zusammenhang: wärmer = trockener überbetont wird. Dient dazu die Sensitivität der Ansätze in Extrembereichen zu prüfen.

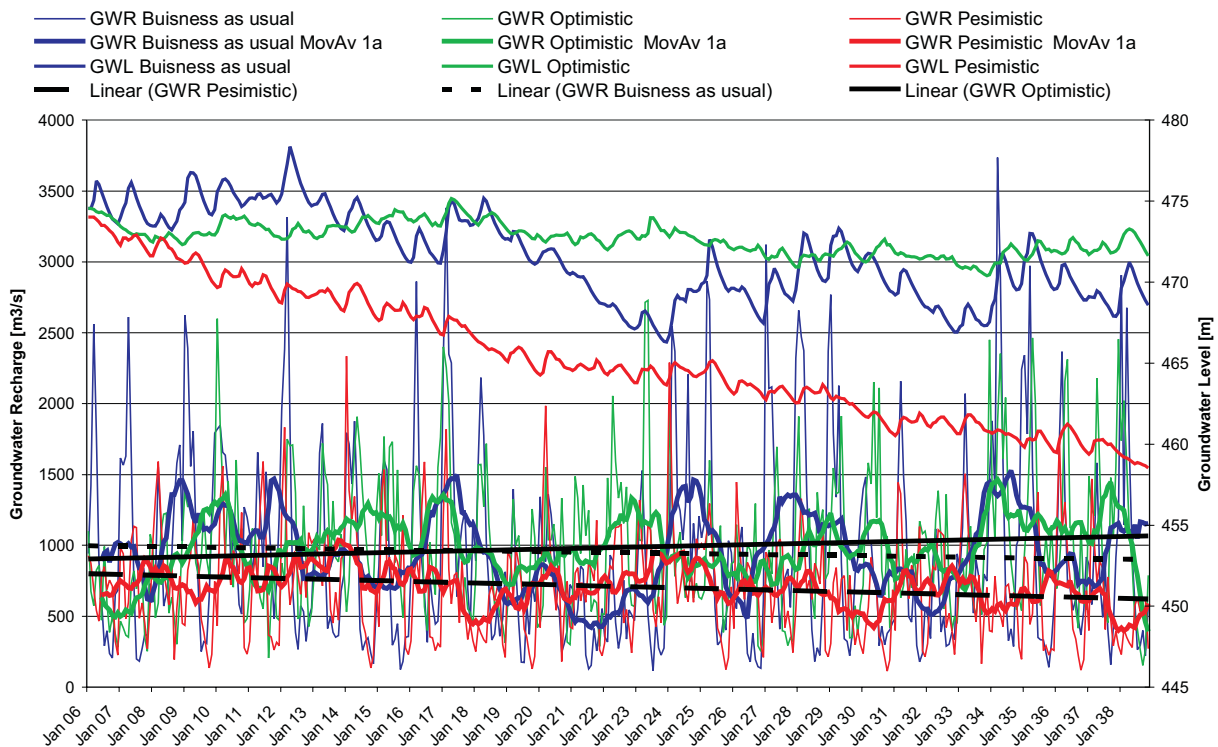


Abb. 19: Ergebnisse von Szenarienrechnungen: Mittlere Grundwasserneubildung (GWR) und Grundwasserstände (GWL) über das Gesamteinzugsgebiet gemittelt für 3 verschiedene Klimaszenarien (Tab. 3); Lineare Trends und gleitende Mittel (12 Monate) werden für die Grundwasserneubildung (GWR) gezeigt

Abbildung 20 zeigt ein Simulationsergebnis, das auf dem extrem trockenen, pessimistischen Klimaszenario basiert. Dieses Szenario wurde gewählt, um deutliche Änderungen zu erzwingen. Dies zeigt u.a. auch, dass eine gravierende Verschlechterung der Grundwassersituation (Menge) im wasserreichen Einzugsgebiet der Oberen Donau nur unter sehr extremen Bedingungen zu erwarten ist, vorausgesetzt die Bewertungsergebnisse sind als solche vertrauenswürdig.

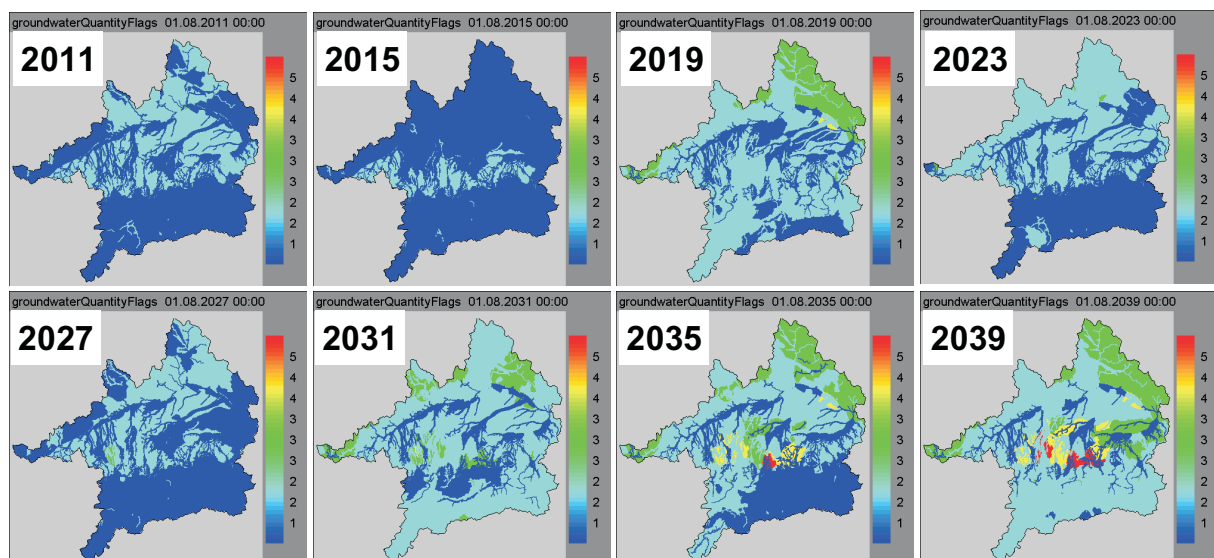


Abb. 20: Flächenhafte Änderungen der „groundwaterQuantityFlag“ (mengenmäßiger Zustand der 405 definierten Grundwasserkörper im Einzugsgebiet der Oberen Donau) für ein extrem trockenes Szenario über

Während Abbildung 20 flächenhafte Momentaufnahmen zeigt, gibt Abbildung 21 den zeitlichen Verlauf der Entwicklung im Detail wieder:



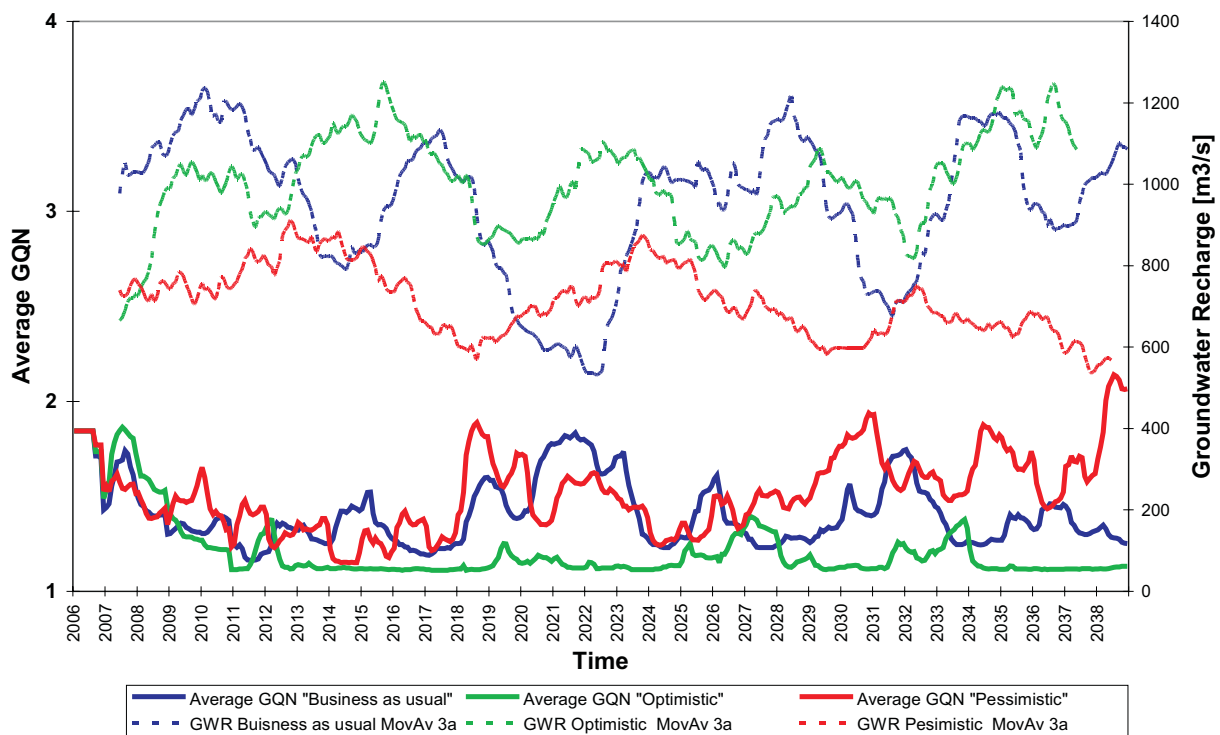


Abb. 21: Quantitativer Status der Grundwasserressourcen im gesamten Einzugsgebiet, ausgedrückt durch die mittlere *groundwaterQuantityFlag* (GQN) für das Gesamtgebiet als Folge geänderter Grundwasserneubildung (GWR, gleitendes Mittel über 3 Jahre, rechte y-Achse, oberer Bereich des Diagramms) für alle drei Klimaszenarien (Tab. 3)

Abbildung 22 zeigt als weiteres Beispiel ein bereits etwas älteres Ergebnis der 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. 17) erst nach der Auswertung entsprechend langer Perioden (Trends) berechnet werden kann. Insgesamt ist die Anzahl der Gemeinden, in denen die Situation nach nur fünf Jahren als kritisch, bzw. sehr kritisch eingestuft wurde, natürlich viel zu hoch. Der Grund hierfür ist darin zu sehen, dass für diese etwa 200 Gemeinden die im Modell zugewiesenen Kapazitäten (Brunnen) nicht an die berechneten Bedarfswerte angepasst sind. Es ist ein typisches Problem der integrierten Modellierung, dass es beim Zusammenspiel der einzelnen Modelle zu einer Unausgewogenheit im Gesamtsystem kommen kann, bei denen die Ursache von Fehlern nicht genau zu verorten ist<sup>16)</sup>. Grundsätzlich ist aber auch hier der Hinweis angebracht, dass die Datenlage (hier Kapazität und Zahl der Brunnen) einen deutlichen Einfluss auf die Qualität der Ergebnisse hat. Es ist sehr wahrscheinlich, dass Brunnen bestehen, die uns nicht bekannt sind, oder dass Brunnen falschen WVUs zugeordnet sind. Insofern ist diese Abbildung ein gutes Beispiel dafür, wie in GLOWA-Danube nur durch die gemeinsame Bearbeitung von Problemen und letztlich durch die Nachfrage bei externen Fachleuten (hier die der betroffenen Gemeinden) zu sinnvollen Lösungen gelangt werden kann. Es ist aber auch klar, dass bei über 2000 Wasserversorgern nicht jeder Einzelne perfekt abgebildet werden kann, da der Aufwand zur Erhebung der Daten enorm hoch wäre, bzw. häufig keine Bereitschaft/Möglichkeit zur Überlassung entsprechender Daten besteht.

<sup>16)</sup> Mögliche Fehlerquellen:  
 Unzureichende Datenlage (unvollständige Angaben über verfügbare Brunnen etc.)  
 Fehlerhafte Bedarfsberechnung  
 Fehlerhafte Versorger-Verbraucher-Zuordnung

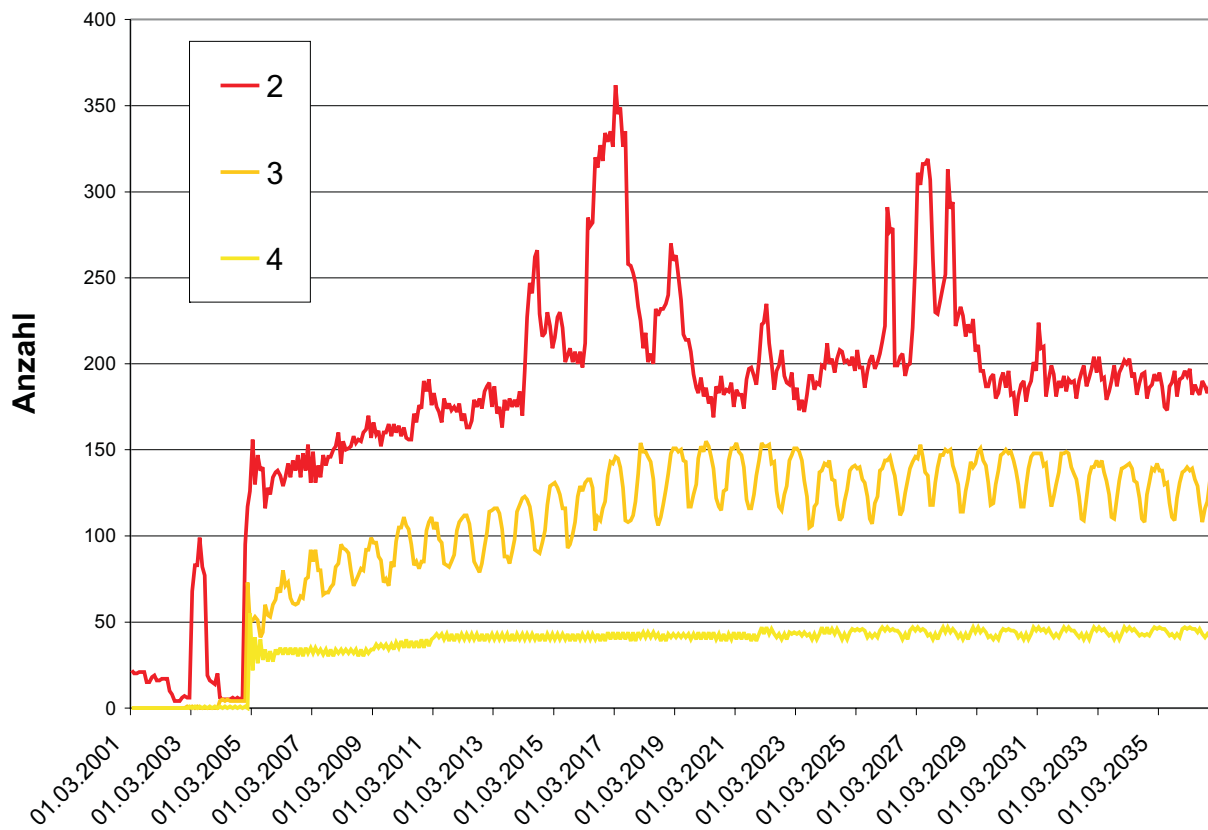


Abb. 22: Anzahl der Gemeinden für die pro Zeitschritt *drinkingWaterQuantityFlags* der Kategorien 2, 3, 4 berechnet wurden

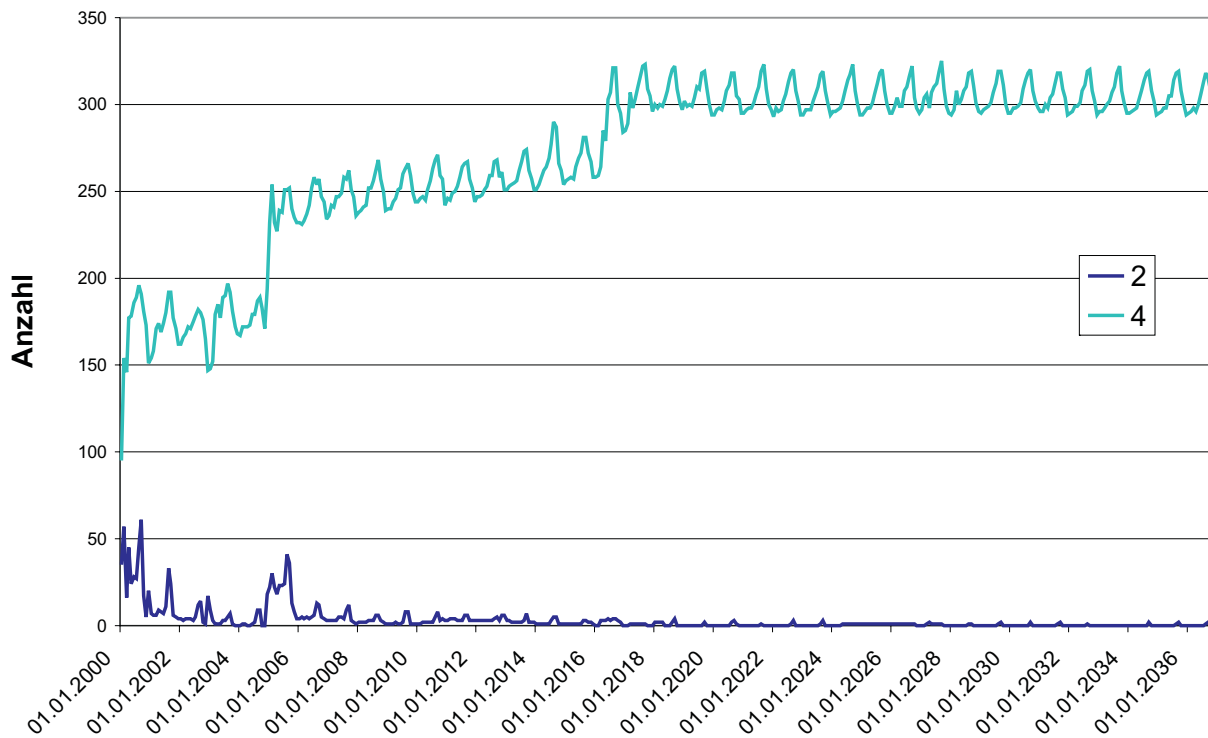


Abb. 23: Anzahl der Wasserversorgungsunternehmen für die pro Zeitschritt Pläne der Kategorien 2 und 4 berechnet wurden

Abbildung 23 zeigt abschließend ein Beispiel dafür, wie im Überblick die Planauswahl der einzelnen Wasserversorgungsunternehmen ausgewertet werden kann. Die Ergebnisse stammen aus dem gleichen Modelllauf wie diejenigen aus Abbildung 22 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. 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.

### 2.3.3.7 Teilbereich Wasserversorgung: Ausblick integrative Arbeiten

Die für die Zukunft geplanten Arbeiten im Bereich Wasserversorgung sind im Antrag zur Phase 3 ausführlich dargestellt. Eine kurze Zusammenfassung:

- 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. Zusammenfassung

### 3.1 Stand der Entwicklung

Die vom Teilprojekt Grundwasser und Grundwasserwirtschaft erzielten Ergebnisse werden aus Sicht der Bearbeiter vor dem Hintergrund der im Antrag zur Projektphase 2 formulierten Ziele, der enormen Gebietsgröße, der Datenlage und vor allem der großen Herausforderungen, die das Ziel der gemeinsamen Erstellung des integrierten Modellsystems DANUBIA stellt, als überaus positiv eingestuft. Die Ergebnisse des Grundwasserströmungsmodells sind dabei gebietsweise unterschiedlich zu bewerten. Es gibt Gebiete, die aufgrund von geologischem und geomorphologischem Bau nicht auf einem Grobraster abzubilden sind. Die Modellierung des Stickstofftransports gestaltet sich erwartungsgemäß schwierig, insbesondere auch deshalb, weil Daten zur Kalibrierung und Validierung vor allem in Bayern nur sehr begrenzt vorliegen. Die Probleme, die bereits im Abschlussbericht zur letzten Phase beschrieben wurden, werden letztlich dadurch aufgefangen, dass die aktuellen Implementierungen sich von starren Konzepten, die sich auf Absolutwerte beziehen, getrennt hat und nunmehr ausschließlich relative Änderungen ausgewertet werden. Gleichzeitig werden Ergebnisdaten sinnvoll räumlich und zeitlich aggregiert, wodurch ein Teil der lokalen Unsicherheit aufgehoben wird. Es ist dabei grundsätzlich wichtig zu betonen, dass regionale Modelle nicht zur Lösung lokaler Problemstellungen herangezogen werden können und auch anders beurteilt werden müssen als lokale Modelle.

Das Wasserversorgungsmodell „Objekt *Watersupply*“ stellt sowohl konzeptionell als auch methodisch eine völlige Neuentwicklung dar. Es konnten hierbei durch die Verwendung des Tiefen Akteurskonzepts und der Synergieeffekte die die parallele Entwicklung dieses Konzepts durch alle Akteure mit sich brachten, erhebliche Fortschritte erzielt werden. Während die erste Projektphase im Wesentlichen der Beschaffung und Aufbereitung der äußerst umfangreichen Datenbasis diente, stand die Modellentwicklung in der zweiten Phase im Vordergrund. Das entstandene Tiefe Akteursmodell ist weit weniger detailgenau als

es ursprünglich vorgesehen war, jedoch zeigt es nun eine dem Anwendungszweck und der Datenlage angepasste Konzeption.

Die Integration ist nach wie vor zentraler Bestandteil aller Arbeiten. In der zweiten Projektphase wurde mit nahezu allen Projektgruppen intensiv zusammengearbeitet. Besondere Schwerpunkte bestanden hier naturgemäß mit den Akteursmodellen und der Gruppe Hydrologie-Fernerkundung (Objekt *Soil*) und Oberflächengewässer (*Rivernetwork*).

### **3.2 Ausblick und weitere Vorgehensweise**

Grundsätzlich kann am Ende der zweiten Projektphase die konzeptionelle und technische Modellentwicklung in beiden Bereichen als weitgehend abgeschlossen bezeichnet werden. Selbstverständlich gibt es noch unzählige kleinere und auch sehr große Änderungs- und Verbesserungsmöglichkeiten, jedoch sollen diese zugunsten der gemeinsamen Zielsetzung, DANUBIA in der dritten Projektphase praxistauglich zu machen, zurücktreten. Für das Tiefe Akteursmodell *DeepWaterSupply* steht eine Validierung, die nur über die Diskussion der Ergebnisse mit Fachleuten aus der Wasserwirtschaftsverwaltung und von Wasserversorgungsunternehmen erfolgen kann, noch aus. Hier wird der Stakeholderprozesse der dritten Phase neue Wege eröffnen. Für das Grundwassermodell steht nun ein erweiterter Datensatz zur Validierung zur Verfügung (Messdaten von ca. 1930 bis 2007 mit zusätzlichen Meßstellen, meteorologische Eingangsdaten 1960-2006), wodurch Verbesserungsmöglichkeiten entstehen.

Mit den in der zweiten Phase entwickelten Modellen wurde ein Niveau erreicht, das der integrativen Natur von DANUBIA und den Forschungszielen von GLOWA-Danube gerecht wird. In der dritten Projektphase wird nun der entscheidende Schritt erfolgen, in dem DANUBIA auf Szenarien angewendet wird und diese Szenarien einer breiten Öffentlichkeit vorgestellt werden. Dieser Schritt wird dazu dienen, die Anwendungstauglichkeit von DANUBIA zu beweisen bzw. herzustellen und letztlich ein übertragbares Instrument zum Management von Wasser- und Landressourcen zu erstellen.

## **4. Literatur**

BAYLFW (1979): Die Trockenperiode 1976. - Schriftenreihe des Bayrischen Landesamtes für Wasserwirtschaft Heft 12.

BAYLFW (1990): Bericht zur Grundwassererkundung in Bayern. - Schriftenreihe des Bayrischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 23.

BAYLFW (1996): Die Grundwasserneubildung in Bayern berechnet aus den Niedrigwasserabflüssen der oberirdischen Gewässer. - Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 5/96.

BAYLFW (1980): Das natürliche Grundwasserdargebot in Bayern. - Schriftenreihe des Bayrischen Landesamtes für Wasserwirtschaft Heft 13.

BAYSTMLU (1994): Grundwasser - Menge und Beschaffenheit des Grundwassers in Bayern. Schriftenreihe Wasserwirtschaft in Bayern Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen.

BAYSTMUGV (2003): Trockenperiode 2003 - Auswirkungen auf das Grundwasser. - Bay. Staatsmin. für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (Hrsg.).

BGW (2001): Statistik Wasser 2000, Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft, e.V. Bonn. 112 S.

BMLFUW (2002): Strategiepapier Lage und Abgrenzung von Grundwasserkörpern. Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, Österreich.

- BMLFUW (2004): Strategiepapier Grundwasserentnahmen. Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, Österreich.
- BÖTTCHER, J., STREBEL, O. und DUYNISVELD, W. (1989): Kinetik und Modellierung gekoppelter Stoffumsetzungen im Grundwasser eines Lockergesteins-Aquifers. In: Geol. Jb., Reihe C: Hydrogeologie, Ingenieurgeologie C 51, S. 3-40.
- BUWAL (2004): Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft Schriftenreihe Umwelt Nr. 369.
- EYBL, J. (2004): Trockenheit in Österreich im Jahr 2003, Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft.
- 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.
- 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.
- LUBW (2004): Das Niedrigwasserjahr 2003. - Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg.
- 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.
- ROHMANN, U. und SONTHEIMER, H. (1985): Nitrat im Grundwasser: Ursachen, Bedeutung, Lösungswege. DVWG-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe.
- STARR, J.L. und PARLANGE, J.Y. (1975): Nonlinear Denitrification Kinetics with Continuous Flow in Soil Columns. In: Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 39 S. 875-880.
- VICTORIAN WATER (2005) Victorian uniform drought water restriction guidelines (Final) September 2005 <http://www.vicwater.org.au/uploads/Water%20Restrictions/Final%20Version%20Uniform%20Drought%20Water%20Restriction%20Guidelines.pdf>.

## 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 Donaueinzugsgebiet
- Österreichisches Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft
- Österreichisches Umweltbundesamt
- ÖVGW - Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach.
- Schweizer Bundesamt für Wasser und Geologie
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg
- Zweckverband Landeswasserversorgung

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

# Modellierung typischer Wassernutzer im Einzugsgebiet der Donau

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

## Einleitung

Dieser Bericht umfasst die innerhalb des GLOWA-Danube-Verbundprojektes vom Teilprojekt Umweltpsychologie durchgeführten Arbeiten während der zweiten Förderphase, die zeitlich vom 01.03. 2004 bis zum 30.04.2007 reichte.

Übergeordnete Aufgaben des Teilprojektes Umweltpsychologie während der zweiten Förderphase waren die Weiterentwicklung psychologischer Theorien, die Verbindung mit Techniken der räumlich expliziten agentenbasierten Modellierung und deren interdisziplinär informierte Anwendung auf den Kontext der Wassernutzung. Eine wichtige Aufgabe in Förderphase II bestand in der Weiterentwicklung des vom Teilprojekt entwickelten Prozessmodells *DeepHousehold*; unserem Wissen nach das einzige in der Literatur dokumentierte und funktionsfähige System, das integrierte (agentenbasierte) Modellierung und Lebensstile im Umweltbereich in der vorliegenden Größenordnung verbindet. Während die grundlegende Konzeption und Entwicklung von *DeepHousehold* in der ersten Hälfte der Förderphase stattfand, erfolgte während der zweiten Hälfte die Weiterentwicklung des Modells sowohl in inhaltlicher, als auch in technischer Hinsicht, was die im Modell enthaltenen Komponenten und deren Handhabung betrifft.

Die Kasseler Arbeitsgruppe bestand zum Berichtszeitraum aus vier Doktoranden (einer Umweltwissenschaftlerin sowie zwei Psychologen und einer Psychologin). Die hier referierten Arbeiten spiegeln auch den fortgeschrittenen Stand dieser Qualifikationen, bzw. der abgeschlossenen Qualifikation wider.

Sofern die Beschreibung eher allgemein gehalten wurde, wird an der jeweiligen Stelle auf den entsprechenden Zwischenbericht verwiesen.

In Kapitel 1 werden die im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten überblicksartig zusammengefasst und bewertet. Kapitel 2 widmet sich den organisatorischen Angaben des Teilprojektes im Berichtszeitraum. Die Arbeiten und die damit verbundenen Ergebnisse werden in Kapitel 3 detailliert dargestellt. Eine Bewertung des erreichten Standes der Arbeiten und ihrer Ergebnisse sowie ein Ausblick finden sich in Kapitel 4.

## 1. Zusammenfassung der Arbeiten im Berichtszeitraum Förderphase II

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 können 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.

Zu Beginn der zweiten Förderphase wurde zunächst das in Förderphase I entwickelte „flache“ Modell weiterentwickelt. Nachdem die Validierung des Modells eine sehr gute Übereinstimmung zwischen dem modellierten Wasserverbrauch der privaten Haushalte und des öffentlichen Dienstleistungssektors mit den statistischen Daten der Landesämter zeigte, wurde im weiteren Verlauf der zweiten Förderphase die Erweiterung des Akteursmodells zum „tiefen“ Prozessmodell *DeepHousehold* weiter vorangetrieben und abgeschlossen.

Der wesentliche Unterschied des verwirklichten Multi-Agenten-Modells *DeepHousehold* gegenüber dem flachen, statischen Modell ist die Formulierung expliziter Verhaltensregeln für die einzelnen Akteure. Durch die implementierte, psychologisch fundierte Entscheidungstheorie wird eine flexible Berechnung des Wasserverbrauchs bei verschiedenen Szenarien ermöglicht. Auf diese Weise passen die Akteure ihren Wasserverbrauch dynamisch den veränderten Bedingungen an. Die Implementation wurde während des Berichtszeitraums kontinuierlich weitergeführt und umfasst fünf unterschiedliche Akteurstypen (vgl. Kap. 3.2.4.1) sowie zehn Nutzungsarten. Auf diese Weise kann der Wasserverbrauch der Haushalte sowohl räumlich wie inhaltlich explizit und detailliert abgebildet werden. Die räumliche Ausdifferenzierung wird durch die sogenannten Sinus-Milieus® und deren räumliche Verankerung durch Daten der Firma microm® gewährleistet. Die wichtigste Neuerung der zweiten Förderphase war die Umstellung vom flachen *Household-Modell* auf das tiefe Prozessmodell *DeepHousehold*. Darüber hinaus bestanden wichtige Neuerungen zum einen in der Erweiterung der empirischen Datenbasis durch umfangreiche quantitative und qualitative Erhebungen zu den Themenfeldern gewohnheitsgeprägter Wasserverbrauch, Innovationsausbreitung im Wasserbereich, wasserbezogene Risikowahrnehmung und Wirksamkeit von Wassermanagementmaßnahmen. Zum anderen wurden die empirischen Ergebnisse im Prozessmodell *DeepHousehold* umgesetzt. So wurde auf Grundlage der empirischen Daten und theoretischer Arbeiten ein Innovationsmodell zur Ausbreitung von Wassernutzungsinnovationen entwickelt, welches in das Modell *DeepHousehold* integriert wurde (s. Kap. 3.2.4.8). Darüber hinaus fanden zahlreiche Erneuerungen und Erweiterungen des Modells in technischer Hinsicht statt. Das betrifft u.a. die Szenarienerstellung, Auswertung und Darstellung (s. Kap. und 3.2.4.3).

## **2. Organisation**

### **2.1 Personal**

#### **Wissenschaftler**

Während der zweiten Förderphase traten Dipl.-Psych. Silke Kuhn sowie die Diplompsychologen Carsten Schulz und Roman Seidl neu ein. Dipl.-Psych. Barbara Degenhardt schied während Förderphase II aus, Dipl.-Umweltwiss. Nina Schwarz und Dipl.-Psych. Carsten Schulz schieden zum Ende der Förderphase II aus dem Projekt aus.

Name	Vergütungsgruppe	Vertragszeitraum	Dauer in Monaten	Finanzierung
Dipl.-Psych. Barbara Degenhardt	BAT IIa/2	01.03.2004-18.08.2004	5,5	BMBF
Dipl.-Psych. Silke Kuhn	BAT IIa/2	01.03.2004-30.04.2007	38	BMBF
Dipl.-Psych. Carsten Schulz	BAT IIa/2	15.03.2004-28.02.2007	35,5	BMBF
Dipl.-Umweltwiss. Nina Schwarz	BAT IIa/2	01.03.2004-28.02.2007	36	BMBF
Dipl.-Psych. Roman Seidl	BAT IIa/2	01.01.2005-30.04.2007	28	BMBF

### Hilfkräfte

Cand.-Inf. Daniel Klemm war seit 15.06.2004 bis zum Ende der Förderphase als Hilfskraft im Projekt beschäftigt.

Name	Vergütungsgruppe	Vertragszeitraum	Dauer in Monaten	Vertragsort	Finanzierung
Cand. Inf. Daniel Klemm	Ungepr. Hilfskraft	15.06.2004-30.04.2007	34	Kassel	BMBF

### Diplomarbeiten und Praktika

In der zweiten Förderphase wurden vier Praktikantinnen und ein Praktikant beschäftigt. enthält eine Übersicht über die beschäftigten PraktikantInnen.

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	2006	-		
Johanna Fritsche (Cand. Psych., Universität Bamberg)	Stud. Hilfskraft	01.09.-31.10.2005	2	Kassel	BMBF
Ruben Real (Cand. Psych., Universität Göttingen)	Stud. Hilfskraft	01.11.2005-31.03.2006	2	Kassel	BMBF

Im Februar 2007 erfolgte die Abgabe der Dissertation von Dipl.-Umweltwiss. Nina Schwarz. Sie trägt den Titel Umweltinnovationen und Lebensstile - Eine raumbezogene, empirisch fundierte Multi-Agenten-Simulation. Die Dissertation von Dr. Nina Schwarz wurde von der Fachgruppe Umweltpsychologie der Deutschen Gesellschaft für Psychologie mit dem C.-F.-Graumann-Preis für Umweltpsychologie ausgezeichnet.

Die frühere Praktikantin Sophie Sagerschnig fertigte 2006 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.

## 2.2 Anschaffungen

In der zweiten Förderphase wurden folgende Geräte angeschafft: 1 Bildschirm EIZO S1721SA-GY; 1 LENOVO ThinkPad T60 Modell 2007-49G inkl. Headset.

## 2.3 Veranstaltungen

### Interne Projekttreffen

Mitglieder des umweltpsychologischen Teilprojekts nahmen während des Berichtszeitraums an den in aufgelisteten bilateralen Treffen und Treffen des Gesamtprojektes teil.

#### 2004

- 17.03.-19.03.2004 Entwickler-Workshop DANUBIA, München (Schulz, Schwarz)
- 17.05.2004 Projekt-Leiter Meeting, Münche (Ernst)
- 31.05.-04.06.2004 Fraueninsel, Gesamt-Projekttreffen, Fraueninsel-Bayern (De- genhardt, Ernst, Kuhn, Schulz, Schwarz)
- 12.07.2004 GLOWA-Danube-Actors-Treffen, Stuttgart (Schulz, Schwarz)
- 04.08.2004 DeepActor Treffen, Stuttgart (Ernst, Schulz, Schwarz )
- 15.09.2004 Projekttreffen mit WaterSupply wegen Beispielgeschichte deep- actor, Stuttgart (Schwarz)
- 16.09.-17.09.2004 Gesamt-Projekttreffen, München (Schulz, Schwarz)
- 11.10.2004 Projektleiter Meeting, München (Ernst)
- 12.10.2004 Entwicklertreffen, München (Klemm, Schulz)
- 10.12.2004 Deep-Household-Treffen, Kassel (Ernst, Kuhn, Schulz, Schwarz)

#### 2005

- 26.04.2005 Actors-Treffen, Stuttgart( Schulz)
- 18.05.-19.05.2005 GLOWA-Statuskonferenz, Köln (Ernst, Kuhn, Schwarz, Schulz, Seidl)
- 02.06.2005 SESAM-Klausur, CESR Kassel (Ernst, Kuhn, Schwarz, Schulz, Seidl)
- 10.08.2005 Treffen zur Spezifikation der DANUBIA-Benutzerschnittstel- le, München (Schulz)
- 18.10.2005 Stakeholdertreffen, ifo-Institut München (Kuhn,Seidl)
- 18.11.2005 SESAM-Klausur, CESR Kassel (Ernst, Kuhn,Schwarz, Schulz, Seidl)
- 30.11.-03.12.2005 Gesamt-Projekttreffen, Linden (Ernst, Kuhn, Schwarz, Schulz, Seidl)

#### 2006

- 01.03.2006 SESAM-Klausur, CESR Kassel (Ernst, Kuhn, Schwarz, Schulz, Seidl)
- 13.05.2006 Projektleitertreffen, München (Ernst)



- 19.05.2006 Projektleiter Meeting, München (Ernst)
- 09.11.2006 Actors-Treffen, Stuttgart (Kuhn, Schulz, Seidl)
- 15.11.2006 SESAM-Klausur, CESR Kassel (Ernst, Kuhn, Schwarz, Schulz, Seidl)

## 2007

- 14.03.2007 SESAM-Klausur, CESR Kassel (Ernst, Kuhn, Seidl)

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

- 09.2004 Integrated modeling of water related behavior - the Danube case. J.F. Schouten School for User-System Research, Technical University Eindhoven, Eindhoven, Niederlande (Ernst, A.).
- 09.2004 Agenten-basierte Modelle der Interaktion zwischen Umwelt und Verhalten. 44. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie, Göttingen (Ernst, A.).
- 11.2004 Lifestyles, consumption patterns, and global change. 3rd National Colloquium on Global Change Research, Berlin (Ernst, A.).
- 12.2004 Psychological determinants of common resource use. International Autumn Academy „Governance and sustainability. Sustainability in river basins - A question of governance“, Institut für Ökologische Wirtschaftsforschung, Berlin (Ernst, A.).
- 07.2005 Probleme der Steuerung klimaverträglichen Verhaltens. Forschungsworkshop „Integrierte Klimafolgenforschung, geeignete Anpassungsstrategien“. Kassel (Ernst, A.).
- 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. in collaboration with: Barthel, R., Hennicker, R., Braun, J., Schulz, C., Schwarz, N., Janisch, S., Nickel, D., Trifkovich, A. and Klemm, D.).
- 09.2005 A process model of water use: Integrating habit and conscious decisions. 6th Biennial Conference on Environmental Psychology, Bochum (Schwarz, N., Schulz, C. and Ernst, A.).
- 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 (Ernst, A., Schulz, C., Schwarz, N. and Janisch, S.).
- 09.2005 Psychological aspects of drinking water use. 6th Biennial Conference on Environmental Psychology, Bochum (Kuhn, S. and Ernst, A.).
- 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.).
- 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 (Kuhn, S.).

- 09.2006 Klimarelevantes Verhalten. Workshop „Klimaeffiziente Produkte“, Kassel (Ernst, A.).
- 09.2006 Determinanten von gewohnheitsgeprägtem Umweltverhalten am Beispiel der Wassernutzung. 45. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie, Nürnberg (Kuhn, S. und Ernst, A.).
- 09.2006 Ein agentenbasiertes Modell zur Abschätzung des Wassernutzungsverhaltens privater Haushalte. Kopplung sozial- und naturwissenschaftlicher Modelle. 45. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie, Nürnberg (Schulz, C., Schwarz, N. und Ernst, A.).
- 09.2006 Die Akzeptanz von Wassernutzungs-Innovationen in privaten Haushalten. Theorie und Empirie. 45. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie, Nürnberg (Schwarz, N. und Ernst, A.).
- 09.2006 Subjektive Mentale Modelle von Umweltrisiken. Antizipation und Bewertung schleichender Risiken am Beispiel Globaler Klimawandel. 45. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie, Nürnberg (Seidl, R. und Ernst, A.).
- 10.2006 Actor based modeling as an integrative tool. Sino-German workshop on “Integrated ecosystem assessment and comprehensive watershed management of Poyang Lake Basin”, Nanchang, China (Ernst, A.).
- 12.2006 Die integrierte Modellierung von Wassernutzung - eine verhaltenswissenschaftliche Perspektive. Graduiertenkolleg Interdisziplinäre Umweltgeschichte, Universität Göttingen, Workshop „Vom Wasser. Umweltgeschichtliche Perspektiven auf Konflikte, Risiken und Nutzungsformen“, Göttingen (Ernst, A.).
- 02.2007 Zwischen Risikowahrnehmung und Komplexität: Über die Schwierigkeiten und Möglichkeiten kompetenten Handelns im Umweltbereich. Tagung „Operationalisierung und Messung von Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung“, Berlin (Ernst, A.).

### **Gast- und Kolloquiumsvorträge**

Darüber hinaus wurde das psychologische Teilprojekt in folgenden Gast- und Kolloquiumsvorträgen vorgestellt:

- 04.2004 Neuere Ansätze der Modellierung von Ressourcennutzung im Wasserbereich. „Globale Umweltveränderungen, Wasser und Gesellschaft“, Jubiläumskolloquium zum 10-jährigen Bestehen des Wissenschaftlichen Zentrums für Umweltforschung, Universität Kassel (Ernst, A.).
- 05.2004 Mensch und Umwelt aus psychologischer Sicht. Kolloquium Biologie und Gesellschaft, Universität Dortmund (Ernst, A.).
- 07.2004 Von der Schwierigkeit ein Verhalten zu ändern, von dem eigentlich niemand Notiz nimmt. SESAM-Forschungskolloquium, Uni-Kassel (Kuhn, S.).
- 07.2004 Ergebnisse des GLOWA-Referenzlaufs aktuelle Entwicklungen. SESAM-Forschungskolloquium, Uni-Kassel (Ernst, A., Degenhardt, B., Kuhn, S., Schulz, C. und Schwarz, N.).
- 09.2004 Integrated modeling of water related behavior - the Danube case. J.F. Schouten School for User-System Interaction Research. Technical University Eindhoven (Ernst, A.).

- 12.2004 Vom flachen zum tiefen Modell: Wie viel Entscheidung braucht eine computer-basierte Zukunftssimulation? SESAM-Forschungskolloquium, Uni-Kassel (Kuhn, S. Schulz, C. und Schwarz, N.).
- 06.2005 Einstellung und Akteursverhalten. SESAM-Forschungskolloquium, Uni-Kassel (Schulz, C.).
- 07.2005 Trinkwasser in Deutschland: Ansichten und Umgang – Ergebnisse einer Pilotstudie zur Wasserkultur. SESAM-Forschungskolloquium, Uni-Kassel (Kuhn, S.).
- 10.2005 Globale Umweltveränderungen, Wasser und Gesellschaft. Eröffnungsvortrag auf der Vernissage der Ausstellung „H<sub>2</sub>O? Über Wasser, Technik und die Perspektiven“, SiemensForum München (Ernst, A.).
- 01.2006 Klimawandel im Badezimmer. Wie Menschen globale Erwärmung und lokales Trinkwasser verbinden. SESAM-Forschungskolloquium, Uni-Kassel (Seidl, R.).
- 02.2006 Computermodellierung von Umweltverhalten bei der Ressourcennutzung. Mitscherlich-Symposium der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität Berlin (Ernst, A.).
- 02.2006 Der moderierende Einfluss von Kosten auf den Zusammenhang zwischen Umwelteinstellung und Verhalten. SESAM-Forschungskolloquium, Uni-Kassel (Sagerschnig, S.).
- 05.2006 In meiner Badewanne bin ich Kapitän? Ein wissenschaftlicher Blick auf den alltäglichen Umgang mit Wasser. SESAM-Forschungskolloquium, Uni-Kassel (Kuhn, S.).
- 05.2006 Die Akzeptanz von Wassernutzungs-Innovationen Erste Ergebnisse. SESAM-Forschungskolloquium, Uni-Kassel (Schwarz, N.).
- 06.2005 „Haben Sie eine Regenwassernutzungsanlage?“ Eine Untersuchung der Akzeptanz von Wassernutzungs-Innovationen. SESAM-Forschungskolloquium, Uni-Kassel (Schwarz, N.).
- 06.2006 TooDaReD: Ein Analyse-Tool für sozialwissenschaftliche Fragen an geographische Modell-Daten. SESAM-Forschungskolloquium, Uni-Kassel (Schulz, C. und Klemm, D.).
- 11.2006 Emotionen bei der Wahrnehmung von schleichenden Risiken. SESAM-Forschungskolloquium, Uni-Kassel (Seidl, R.).
- 01.2007 Veränderungsresistenz von Gewohnheiten - Erste Ergebnisse der Pilotstudie. SESAM-Forschungskolloquium, Uni-Kassel (Kuhn, S.).
- 01.2007 Die Diffusion von Wassernutzungsinnovationen. Eine räumlich explizite und empirisch fundierte Multi-Agenten-Simulation. nafokoll im FB Wirtschaftswissenschaften, Uni Kassel (Schwarz, N.).

### **Veröffentlichungen**

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

ERNST, A. (in Druck). Psychologische Aspekte der Wassernutzung. In: Tagungsband zur Konferenz „Wasser - Konfliktstoff des 21. Jahrhunderts?“. Heidelberg: Winter Verlag.

- ERNST, A. (in Druck): Zwischen Risikowahrnehmung und Komplexität: Über die Schwierigkeiten und Möglichkeiten kompetenten Handelns im Umweltbereich. In: BORMANN, I. und DE HAAN, G. (Hrsg.), *Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung. Operationalisierung, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde*. Wiesbaden: VS Verlag.
- 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): Trinkwasser. Grundlagen und psychologische Aspekte seiner Nutzung. In: Linneweber, V. und E.D. Lantermann (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie, Serie IX, Umweltpsychologie, Bd. II*. Göttingen: Hogrefe.
- ERNST, A., SCHULZ, C., SCHWARZ, N. und JANISCH, S. (in press): Modelling of water use decisions in a large, spatially explicit, coupled simulation system. In: EDMONDS, B., IGLESIAS, C.H. und TROITZSCH, K.G. (Hrsg.). *Social Simulation: Technologies, Advances and New Discoveries*.
- ERNST, A., KUHN, S., SCHULZ, C., SCHWARZ, N. und SEIDL, R. (2006): Wasserverbrauch privater Haushalte und des öffentlichen Dienstleistungssektors. In GLOWA-Danube-Projekt (Hrsg.), *Global Change Atlas. Einzugsgebiet obere Donau*. München: Ludwigs-Maximilians-Universität.
- ERNST, A., SCHULZ, C., SCHWARZ, N. und JANISCH, S. (2005): Shallow and deep modelling of water use in a large, spatially explicit, coupled simulation system. In: TROITZSCH, K. et al. (Hrsg.), *Proceedings of the 3rd Conference of the European Social Simulation Association (ESSA)*, Koblenz.
- JANISCH, S., BARTHEL, R., SCHWARZ, N., TRIFKOVIC, A., SCHULZ, C., NICKEL, D. und MAUSER, W. (eingereicht): A framework for the simulation of human response to global change. Eingereicht bei *Environmental Modelling & Software*.
- 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. *Geophysical Research Abstracts*, 8, 2006.
- SCHWARZ, N. und ERNST, A. (eingereicht): Agent-based Modeling of the Diffusion of Environmental Innovations - An Empirical Approach. Eingereicht bei *Technological Forecasting and Social Change*.
- SCHWARZ, N. und ERNST, A. (eingereicht): Die Akzeptanz und Verbreitung von technischen Umweltinnovationen: das Beispiel Trinkwasser. Eingereicht bei *Umweltpsychologie*.
- SCHWARZ, N. und ERNST, A. (2006): Using empirical data to build an agent-based model of innovation diffusion. In *Proceedings of the workshop on agent-based models of market dynamics and consumer behaviour*, Surrey, GB, January 17/18, 2006.
- SCHWARZ, N. und ERNST, A. (2007): Diffusion of water-use innovations. An agent-based model. *Proceedings of the 7th International Conference of the European Society for Ecological Economics*. Leipzig: UFZ Centre for Environmental Research.

## 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.

- KUHN, S. (12/2005): Dynamik von gewohnheitsgeprägtem Wassernutzungsverhalten unter besonderer Berücksichtigung eines möglichen Klimawandels. 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.
- 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. (02/2006): Individual anticipation of slowly evolving environmental risks. Poster präsentiert an der Universität Kassel.
- 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.
- SEIDL, R. (11/2006): Anticipation of and emotional reaction to slowly evolving environmental risks. Poster präsentiert auf dem Workshop "Intuition and Affect in Risk Perception and Decision Making", Bergen, Norway.

### **Unveröffentlichte Papiere in Zusammenarbeit mit anderen Teilprojekten**

- JANISCH, S. und SCHULZ, C. (2004): Konzepte zur Modellierung und Implementierung tiefer Akteursmodelle in DANUBIA

## **3. Ergebnisse**

### **3.1 Formulierte Ziele der 2. Förderphase**

Der Antrag zur zweiten Förderphase weist folgende Arbeitsziele aus:

1. (Mit-)Entwicklung und (Mit-)Implementierung einer unifizierten Akteursarchitektur
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 dem 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. Kapitel 3.2.3 gibt einen Überblick über Weiterentwicklungen des flachen *Household*-Modells. Daran anschließend wird in Kapitel 3.2.4 das tiefe Modell *DeepHousehold* ausführlich hinsichtlich wesentlicher Konzepte und Bestandteile beschrieben. Die Erweiterung des betrachteten Einzugsgebiets fand im ersten Abschnitt der zweiten Förderphase durch den Einbezug der österreichischen sowie der im Einzugsgebiet liegenden Schweizer Gemeinden statt. Die Datengrundlage wurde vor allem durch empirische Ergebnisse, die in Kapitel 3.2.1 beschrieben werden,



wesentlich erweitert. Die Qualitätssicherung wurde einerseits durch eine Datenerweiterung (Kap. 3.2.1.1-3.2.1.4) - in Hinblick auf die Ergebnisvalidierung -, andererseits durch die Verbesserung der Benutzbarkeit von *DeepHousehold* (s. Kap. 3.3.2.2, 3.3.4) erreicht.

### **3.2      Sektorale Arbeiten: Datenerhebungen und Modell-Implementationen**

Der folgende Abschnitt widmet sich den sektoralen Arbeiten. Da sich sowohl die Weiterentwicklungen im flachen *Household*-Modell, als auch die Entwicklung des tiefen Modells *DeepHousehold* entscheidend auf die in mehreren empirischen Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse beziehen, wird zunächst auf die Beschaffung der Datengrundlage eingegangen (s. Kap. 3.2.1). Die Datengrundlage umfasste neben der Durchführung von empirischen Untersuchungen auch die Beschaffung externer Daten. Im Anschluss wird kurz erläutert, welche Weiterentwicklungen im flachen *Household*-Modell zu Beginn der zweiten Förderphase stattfanden (s. Kap. 3.2.3). Es schließt sich eine detaillierte Beschreibung des Prozessmodells *DeepHousehold* (s. Kap. 3.2.4) an.

#### **3.2.1      Datengrundlage**

Die Datengrundlage des Teilprojekts Umweltpsychologie wurde sowohl durch Daten, welche extern beschafft wurden, als auch durch eigene empirische Erhebungen wesentlich erweitert und ergänzt. Da das Hauptaugenmerk auf der Sammlung eigener Daten für *DeepHousehold* lag, wird auf die Beschaffung externer Daten nur kurz eingegangen (Kap. 3.2.1.1). Daran anschließend (s. Kap. 3.2.1.2-3.2.1.4) werden die eigenen Untersuchungen sowie der jeweilige theoretische Hintergrund beschrieben, welche weitere Datengrundlagen für *DeepHousehold* bilden.

##### **3.2.1.1      Externe Daten**

Die in der ersten Förderphase angelegte ausführliche Datensammlung wurde zu Beginn der zweiten Phase u.a. durch die Beschaffung von gemeindebezogenen Wasserverbrauchsdaten der Österreichischen sowie Schweizer Gemeinden im Einzugsgebiet erneuert und erweitert. Eine Kontaktaufnahme mit den zuständigen Stellen (in Österreich: Statistik Austria, Landesstatistischer Dienst Salzburg; in der Schweiz: Amt für Wirtschaft und Tourismus, Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfachs SVGW) ergab, dass gemeindebezogene Wasserverbrauchsdaten in Österreich nur für größere Gemeinden, bzw. für die Schweiz nicht vorliegen. Aus diesem Grund wurde zu Beginn der zweiten Förderphase eine Internetrecherche, ergänzt um persönliche Kontakte zu den zuständigen Stellen, durchgeführt, um die benötigten Verbrauchsdaten zu erhalten. Zu den extern beschafften Daten gehörten neben den Wasserverbrauchsdaten der Statistischen Landesämter, die als Validierungsdaten für das Modell dienen, 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).

##### **3.2.1.2      Ausbreitung von innovativen Wassernutzungstechnologien**

Die Anschaffung und mithin die Ausbreitung von innovativen Wassernutzungs-Technologien ist ein Bereich, der bereits in der ersten Förderphase theoretisch angedacht wurde. Die empirische Untersuchung dieses Bereichs erfolgte in der beschriebenen zweiten Phase.

Die Entscheidung eines Haushalts, wassersparende Produkte wie z.B. Toiletten-Spülkästen, Duschköpfe u.ä. zu kaufen, ist dabei letztlich eine Entscheidung über die Annahme - oder Adoption - einer Innovation. Aus diesem Grund fanden für diesen Bereich Erkenntnisse der Diffusionsforschung Verwendung. Zur Erklärung der Ausbreitung von Innovationen werden in der Diffusionsforschung verschiedene Variablen wie der Einfluss von persönlicher Kommunikation oder Innovationsmerkmale herangezogen. Zwar werden je nach Disziplin

verschiedene Schwerpunkte gelegt, es wird jedoch angenommen, dass keine einzelne Variable die Akzeptanz einer Innovation erklären kann (vgl. z.B. DILLON und MORRIS 1996). Die Faktoren, die die Diffusion von Innovationen beeinflussen, können in drei große Gruppen eingeteilt werden (VISHWANATH und GOLDBERGER 2003):

- Kommunikation zwischen den Adoptern, also den Personen, die die Innovation angenommen haben,
- Eigenschaften der Innovationen und
- Eigenschaften der Adopter.

Um die Adoption von wassersparenden Technologien im Haushalt zu untersuchen, wurde zunächst 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-Milieus®. Das zugrunde liegende Modell zur Innovationsausbreitung basiert auf der Theory of Planned Behavior (AJZEN 1991). Die Theorie wurde um den Bereich der Innovationsmerkmale erweitert. 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. Insgesamt standen für die Hauptuntersuchung 272 Fragebögen zur Verfügung.

Zusammengefasst lassen sich als wichtige Ergebnisse festhalten, 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. 3.2.4.2) weniger Wert auf die Meinung ihres sozialen Umfeldes als Mainstream-Milieus und Traditionelle Milieus.

Die Umsetzung der durch die empirischen Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse in *DeepHousehold* wird in Kapitel 3.2.4.8 beschrieben.

### 3.2.1.3 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 wurde der Einfluss von Gewohnheiten auf das Wassernutzungsverhalten in eigenen Erhebungen untersucht.

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). Die fünf Dimensionen des SRHI sind:

- das Verhalten wiederholt sich,
- das Verhalten ist schwierig zu kontrollieren,
- das Verhalten findet unreflektiert/ nicht bewusst statt,
- das Verhalten ist effizient (indem es Kapazitäten für andere Handlungen frei lässt) und
- das Verhalten könnte die eigene Identität widerspiegeln.

Die Originalitems des SRHI wurden ins Deutsche übersetzt sowie hinsichtlich anderer Punkte modifiziert, um sie z.B. den anderen im Fragebogen verwendeten Items anzugleichen. Das auf diese Weise neu entstandene Maß für Gewohnheitsstärke im Wassernutzungsbereich erhielt den Namen Kassel *Index for Habitual Water Use*.

Darüber hinaus enthielt der Fragebogen Items zur Häufigkeit von Wassernutzungsarten, zu Sparbereitschaften und zur Wasserkultur sowie einen Demographieteil und den sog. Milieuindikator zur Ermittlung der Lebensstile der Firma SinusSociovision.

Der neu entwickelte Fragebogen wurde zunächst in einer Pilotstudie (N=90) getestet, nach Auswertung erneut überarbeitet und eine Version 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), es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gemeinden. 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. Dabei fanden sich milieutypische Unterschiede.

Die durch die empirische Untersuchung erlangten Erkenntnisse über die Verteilung der Gewohnheitswerte der Milieu-Gruppen und ihre Wassernutzungshäufigkeiten sind als Modellparameter in *DeepHousehold* implementiert.

Daran anschließend wurde ein neuer Fragebogen entwickelt und in einer Pilotstudie (N=62) getestet, der sich mit dem Aufgeben von Gewohnheiten als Folge eines Wassersparaufrufs im Rahmen einer Wassersparkampagne beschäftigt.

Bislang existieren nur sehr wenige Untersuchungen zur Änderung, bzw. Aufgeben von Gewohnheiten. WOOD, TAM und GUERRERO WITT (2005) verweisen in dem Zusammenhang auf den starken Einfluss kontextspezifischer Hinweise. VERPLANKEN und FAES (1999) untersuchten den Einfluss von Vorsatzbildung auf die Änderung einer Gewohnheit und konnten nachweisen, dass Vorsatzbildung und Gewohnheiten unabhängig voneinander das Verhalten beeinflussen. In einem theoretischen Aufsatz zur Gewohnheitsänderung sprechen VERPLANKEN und WOOD (2006) sich dafür aus, dass das Ziel der Änderung einer Gewohnheit nicht nur der Ersatz der alten, unerwünschten Gewohnheit sein sollte, sondern

die gleichzeitige Bildung einer neuen, erwünschten Gewohnheit erfolgen sollte, damit auf diese Weise das neue Verhalten beibehalten wird.

Für die Entwicklung des Fragebogens wurden zunächst die Wassernutzungsarten identifiziert, die sowohl ein großes Sparpotential aufweisen, als auch in so fern realistisch sind, als dass sie bereits ein Bestandteil einer Wassersparkampagne - beispielsweise in Australien oder Texas - darstellten. Darüber hinaus wurde bei der Auswahl darauf geachtet, dass eine Änderung der Wassernutzung weitgehend mit Verhaltenskosten in Bezug auf die Gewohnheit einhergeht, d.h. weder eine zusätzliche Anschaffung von Technologien, noch das Erlernen von neuen, komplizierten Verhaltensweisen benötigt werden. Aus diesen Überlegungen heraus wurden folgende drei Wassersparaufrufe in den Fragebogen aufgenommen: Seltener mit der Hand abspülen (halb so häufig wie bisher), jeden zweiten Tag duschen und die Toilettenspülung jedes zweite Mal betätigen. Die Sparaufrufe bezogen sich auf einen Zeitraum von zwei Monaten (August und September) und waren in ein Trockenheitsszenario in einer nicht näher bestimmten Zukunft eingebettet.

Theoretischer Hintergrund ist, dass eine Veränderung einer Gewohnheit große Verhaltenskosten mit sich bringt. Die Veränderung eines Verhalten, das bisher dadurch gekennzeichnet war, dass es unreflektiert und unbewusst stattfindet, effizient ist (weil kognitive Kapazitäten gespart werden) und mithin schwierig zu kontrollieren ist, kann entsprechend nur mit großem Aufwand erreichen werden. Da ein Aufruf zum Wassersparen eine von außen gewünschte Veränderung eines mitunter hoch gewohnheitsbestimmten Verhaltens ist, ergibt sich hieraus eine zusätzliche Schwierigkeit. Deswegen wurden neben Items, die sich mit der Schwierigkeit einer Gewohnheitsveränderung beschäftigen („Im täglichen Ablauf kann es leicht passieren, dass man den Aufruf vergisst.“, „Im täglichen Ablauf an den Aufruf zu denken macht viele andere Dinge komplizierter.“) auch Items aufgenommen, die weitere Dimensionen umfassten, die durch den Sparaufruf betroffen sein können („Der Aufruf bringt hygienische Einbußen mit sich.“, „Der Aufruf ist ein guter Weg, um Wasser zu sparen.“, „Es macht mir nichts aus den Aufruf umzusetzen.“).

Die Hauptuntersuchung wurde Anfang 2007 als Interneterhebung auf Basis des Tools PHPSurveyor ([www.phpsurveyor.org](http://www.phpsurveyor.org)) konzipiert und ausgeführt (s. auch Kap. 3.2.1.4). 84 Personen bearbeiteten den Fragebogen. Dabei kristallisierte sich heraus, dass der Sparaufruf die Toilettenspülung jedes zweite Mal zu betätigen am stärksten abgelehnt wurde. Im Gegensatz zu den beiden anderen Sparaufrufen wurde der Sparaufruf signifikant schlechter bewertet, lediglich ein Item war nicht signifikant. Beim Item „Der Aufruf ist ein guter Weg Wasser zu sparen.“ lag die Toilettenspülung (4.05 auf einer 6-stufigen Skala von 1 = „stimme überhaupt nicht zu“ bis 6 = „stimme vollkommen zu“) gleich auf mit Spülen (4.13). Ebenfalls signifikant waren die Unterschiede zwischen den Personen, die täglich duschten und solchen, die nicht täglich duschten. Der Aufruf, nur jeden zweiten Tag zu duschen wurde von den starken Gewohnheitsduschern als durchgehend negativer bewertet. Einzige Ausnahme war auch hier das oben genannte Item („Der Aufruf ist ein guter Weg Wasser zu sparen.“). Sehr deutliche Unterschiede gab es bei den Auswirkungen der vorgestellten Veränderungen. Während 74,4% der Befragten angaben, dass die Umsetzung des Sparaufrufs seltener zu spülen keine Veränderung ihrer Lebensqualität mit sich brächte (1 Person gab an, dass dies eine Erhöhung der Lebensqualität mit sich brächte), änderte sich das Bild über die Umsetzung des Sparaufrufs zum Duschen (51,8% sahen eine verminderte Lebensqualität) bis hin zur Umsetzung des Sparaufrufs zur Toilettenspülung (74,4% gaben eine Verschlechterung der Lebensqualität an) deutlich. Eine detaillierte Auswertung unter Einbezug der Sinus-Milieus® steht noch aus, da die Codierung während des Berichtszeitraum durch die Firma SinusSociovision noch nicht erfolgte.

Derzeit wird ein Modell entwickelt, das unter der Berücksichtigung der genannten Häufigkeiten, Gewohnheitsstärken, Veränderungsresistenzen und bevorzugten Policy-Maßnahme unter verschiedenen, theoretisch fundierten, psychologischen Annahmen die Reaktion der Sinus-Milieus® auf mögliche Wasserknappheiten in *DeepHousehold* abbildet.



### 3.2.1.4 Antizipation schleichender Umweltrisiken

Aufbauend auf bisheriger Forschung zu Umweltbewusstsein und Risikowahrnehmung wurden ein empirischer und theoretischer Ansatz entwickelt, der es erlaubt, das Multiakteursmodell *DeepHousehold* mit Algorithmen zur Risikowahrnehmung und -einschätzung der Haushalte im Einzugsgebiet zu ergänzen.

Bisherige Forschung zielt noch relativ selten auf die Einschätzung des Klimawandels und seiner Auswirkungen auf den persönlichen Alltag. Insbesondere Auswirkungen auf Verfügbarkeit und Qualität von Trinkwasser sowie Häufigkeit und Intensität von Hochwasser wurden nur in einzelnen Studien behandelt. Es wird zunächst ein kurzer Überblick über bisherige relevante Ansätze gegeben und dann auf die eigenen empirischen und theoretischen Arbeiten und deren Ergebnisse eingegangen.

Zu nennen sind zunächst die frühen Arbeiten von BOSTROM, MORGAN, FISCHHOFF und READ (1994) sowie von KEMPTON (1997), in Deutschland ZWICK (2005). Hier wurde deutlich, dass die Öffentlichkeit Interpretationsschwierigkeiten bei der Einschätzung von Ursachen und Auswirkungen des Klimawandels hat. Insgesamt kann festgehalten werden, dass der Laie in seinem Alltag kein vollständiges Bild (mentales Modell) der Klimaproblematik vor seinem geistigen Auge hat. Im Folgenden werden drei Schlüsselfaktoren zusammengefasst.

Zeitliche Distanz: Die Auswirkungen des Klimawandels können schwer vorhergesagt werden und treten erst lange nach Beginn von Parameteränderungen im Klimasystem auf (hier: anthropogenes CO<sub>2</sub> seit Beginn der Industrialisierung). Diese lange zeitliche Spanne von den Ursachen des Klimawandels zu konkreten Auswirkungen befindet sich jenseits der Lebenswirklichkeit des Alltagsmenschen (SVENSON und KARLSSON 1989; PAWLIK, 1991; MALKOC, ZAUBERMAN und ULU 2005; MILFONT und GOUVEIA, 2006).

Unsicherheit: Wären die Folgen des Klimawandel genau berechenbar und deren Wahrscheinlichkeit  $p=1$  (sicheres Ereignis), wäre eine Verdrängung dieser Folgen schwerer vollziehbar. So aber bleibt an verschiedenen Stellen Unsicherheit, die bei den Menschen a) negativen Affekt erzeugt sowie b) Spielraum für Verdrängungseffekte lässt (BRASHERS 2001; GOTTLIEB, WEISS und CHAPMAN 2007; JUNGERMANN 1996; LANTERMANN DÖRING-SEIPEL und SCHIMA 1992).

Emotionen: Dass Emotionen sowie auch negativer Affekt bei der Einschätzung von Risiken eine Rolle spielen, wurde mehrfach gezeigt (BÖHM 2003; SLOVIC, FINUCANE, PETERS und MACGREGOR 2004). Auch der Klimawandel wird als Risiko verständlicherweise vorwiegend negativ betrachtet (ETKIN und HO 2007; LEISEROWITZ 2003; SUNDBLAD, BIEL und GARLING, 2007). Dabei findet sich negativer Affekt, also ein Gefühl des „Unangenehmen“ verbunden mit einer negativen Einstellung gegenüber dem Klimawandel. Nach BÖHM und PFISTER (2001) empfinden Menschen bei Umweltrisiken oft Ärger. Im Beispiel Klimawandel z.B. über andere Akteure, die ihrer Meinung nach schuld am Klimawandel sind oder zu wenig dagegen tun (z.B. „die USA“, andere Mitmenschen). Eine weitere vorherrschende Emotion bei Umweltrisiken ist Hilflosigkeit, die Auffassung, selbst, als Einzelner zu wenig beitragen zu können.

#### **Folgen des Klimawandels**

Trinkwasser: Aus der bisherigen Literatur zum Thema kann nur unzureichend darauf geschlossen werden, wie die Öffentlichkeit Trinkwasserprobleme durch Klimaveränderungen wahrnimmt und einschätzt. Allerdings kann z.B. angenommen werden, dass gerade Qualitätsveränderungen (zum schlechteren) für Unruhe sorgen, da die eigene Gesundheit als gefährdet wahrgenommen wird (vgl. z.B. FUCHS 1994). Hier wird das Thema Klimawandel konkret und betrifft die persönliche Lebensumwelt. Vertrauen in die Wasserversorgung spielt hier eine wichtige Rolle (JOHNSON 1999). Wird dieses Vertrauen (objektiv) nur geringfügig oder kurzfristig enttäuscht, kann es nur schwer wieder erlangt werden. Die eige-



nen empirischen Studien haben hier weitere Aufklärung gebracht, welchen Stellenwert Trinkwasserbeeinträchtigungen durch den Klimawandel bei Laien vorherrschen. Einige Ergebnisse werden an späterer Stelle dieses Kapitels beschrieben.

Hochwasser: Das Hochwasserrisiko wird sehr wahrscheinlich durch den Klimawandel ansteigen (UMWELTBUNDESAMT 2006). Besonders interessant erscheinen in diesem Zusammenhang zwei Studien, die in der Schweiz bzw. im Neckarraum durchgeführt wurden. SIEGRIST und GUTSCHER (2006) verglichen das objektive, durch wissenschaftliche Studien belegte Risiko von Hochwassergebieten der Schweiz mit den wahrgenommenen Risikoüberzeugungen der Bewohner in diesen Gebieten. Das persönliche Miterleben oder Erleiden eines Hochwassers hängt positiv mit der Risikoeinschätzung für Hochwasser zusammen. Dort, wo objektiv tatsächlich Risiken vorliegen, war das Bewusstsein der Bewohner auch höher, wenn es auch Über- und Unterschätzungen gab. Allerdings fand sich keine signifikante Korrelation bei konkreten Präventionsmaßnahmen. Nach WOLFF (2003) konnte im Neckarraum durch Vorlegen eines fiktiven jedoch realistisch gestalteten Zeitungsartikels über Hochwasser „festgestellt werden, dass sich einzelne Bewohner nach Lesen des Artikels deutlich weniger gut durch die öffentlichen Hochwasserbauten geschützt fühlten als vorher. Die Notwendigkeit, selbst entsprechende Verhaltensvorsorge zu treffen, sahen jedoch nur die wenigsten der Befragten - offensichtlich reicht hierfür der Grad der Besorgtheit noch nicht aus.“ (WOLFF 2003, S.139)

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Einschätzung von Risiken für das Trinkwasser verursacht durch Klimafolgen durch die bisherige Literatur nicht ausreichend beschrieben und erklärt werden kann. Zur Annäherung an die Thematik wurde ein bottom-up Ansatz in Form von halb-standardisierten, etwa einstündigen Interviews entwickelt. Kern des Interviews war eine adaptierte Version der Struktur-lege-Technik (nach SCHEELE und GROEBEN 1998). Die zentrale Frage lautete „Wie stellen Sie sich den Prozess der Globalen Erwärmung genau vor und welche Faktoren sind dabei besonders wichtig?“ Die von den Probanden als Reaktion auf die Fragen genannten persönlichen Klimawandel-Überlegungen wurden auf Kärtchen notiert und von den Probanden selbst in eine für sie subjektiv sinnvolle Ordnung gebracht. Die Entwicklung und Verbesserung des Interviews fand in den Monaten August bis Oktober 2005 statt. Bis Oktober 2006 wurden 20 Probanden befragt und die Ergebnisse ausgewertet. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse flossen sukzessive in die Entwicklung der nachfolgend beschriebenen quantitativen Untersuchung ein.

Durch die Erfahrungen im Teilprojekt aus früheren Befragungen konnte davon ausgegangen werden, dass eine rein schriftliche Befragung tendenziell ältere Teilnehmer ausfüllen und zurückschicken. Daher wurden für den quantitativen Empirieteil zwei Wege beschritten. Eine kleinere Stichprobe wurde im Ort Donauwörth mit herkömmlichen paper-pencil-Fragebogen erhoben (251 verschickte Bögen, Rücklaufquote: 18%, N=45, Durchschnittsalter: 52). Da diese Stichprobe wie erwartet ein recht hohes Durchschnittsalter aufwies wurde parallel eine Online-Version des Fragebogens auf Basis des Tools PHPSurveyor ([www.phpsurveyor.org](http://www.phpsurveyor.org)) erstellt und den eigenen Bedürfnissen angepasst (BATINIC, WERNER, GRÄF und BANDILLA 1999). Zur Akquirierung von Probanden wurden unter anderem Vereine und Zeitungen in Regensburg und Passau angeschrieben, sowie Flyer auf dem Campus in Kassel verteilt oder per E-Mail über verschiedene Verteiler verschickt. Aktuell beläuft sich die ausgewertete Online-Stichprobe auf N=174. Das Durchschnittsalter dieser Stichprobe ist mit 36 Jahren wie erwartet niedriger. Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass sich auch eine deutliche Gewichtung höherer Bildung in der Online-Umfrage ergeben hat. 74% der Teilnehmer haben einen Universitätsabschluss, 19% das Abitur und nur 7% haben höchstens die Realschule besucht. Dies mag zum einen an der Akquirierungsstrategie liegen, zum anderen am neuen Medium Internet. Drittens hat das Thema Klimawandel sicher eine gewisse Selbstselektion der Teilnehmer zur Folge.

Diese jüngere und akademischere Stichprobe stellt insgesamt eine gute Ergänzung zu der schriftlichen Version dar. Die Gesamtstichprobe von N=219 weist die folgenden de-

skriptiven Werte auf: Altersdurchschnitt: 39 Jahre (20 bis 85), Geschlechterverhältnis: männlich: 106 (48%), weiblich: 112 (51%), Bildung: 61% Akademiker, 16% Abitur, 22% höchstens Realschule.

Grundsätzlich deuten die bisherigen Ergebnisse aus beiden Untersuchungen (Interviews und Fragebogen) darauf hin, dass der Klimawandel mit seinen Folgen von der Bevölkerung als existent angesehen wird. Es wird jedoch zu unterschiedlichen Anteilen von anthropogenen und natürlichen Ursachen ausgegangen. Der Klimawandel birgt ein abstraktes hohes Bedrohungspotenzial, ohne dass der Einzelne schon konkret davon betroffen wäre. Diese gegenwärtige Situation macht die Faktoren der Zukunftsorientiertheit bei alltäglichen Handlungen und der persönlichen Verantwortungsüberzeugung zum zentralen Anker für Verhaltensänderungen. Es besteht selten Zufriedenheit mit der aktuellen Diskussion in der Politik, eher herrscht Hilflosigkeit bei unkonkreter Angst. Diese Einschätzung wird etwa durch eine aktuelle internationale Umfrage bestätigt (BBC World Service Poll, Juli 2007), nach der die deutschen Befragten zwar Klimaschutzmaßnahmen als wichtig und dringlich ansehen, jedoch sich selbst nicht so stark involviert und informiert sehen wie Teilnehmer aus anderen Ländern.

In Bezug auf Trinkwasser zeigt sich (insbesondere in den Interviews), dass es kein Problembewusstsein gibt. Trinkwasserprobleme werden nur auf Nachfrage genannt, dann allerdings vor allem für jetzt schon trockenere Länder bejaht. Hier ist ein deutlicher Einfluss der Medien anzunehmen (Bilder ausgetrockneter Seen, Wüstenlandschaften). Erhöhtes Hochwasserrisiko durch erhöhte Niederschläge sieht die große Mehrheit der Befragten. Bei damit verbundenen Beeinträchtigungen der Trinkwasserversorgung ist das Bild weniger klar, hier gibt es unterschiedliche Ansichten. Grundsätzlich besteht aber ein starker Zusammenhang zwischen der Sensitivität bezüglich Trinkwasserqualität und der Nutzung von Flaschenwasser bei Meldungen über Verunreinigungen. Einen salienten Zusammenhang gibt es zwischen Trinkwassersensitivität und Alter ( $r = .297, p < .01$ ). Mit zunehmendem Alter der Teilnehmer steigt die Relevanz der Trinkwasserthematik. Einen gewissen Einfluss scheint hier die Variable Wohnungs- oder Hauseigentum zu haben. Die Korrelation wird durch Kontrolle dieser Variable geringer, bleibt aber signifikant ( $r = .206, p < .05$ ).

Der Einfluss der Medien zeigt sich bei vielen Formulierungen in den Interviews und den offenen Fragen des Fragebogens. Am häufigsten werden Begriffe und Einflussfaktoren genannt, die jeweils aktuell in Zeitungen und Fernsehen zu finden sind (Abschmelzen des Eises an den Polkappen, Gletscherschmelze, Wirbelstürme).

Als wesentlich für die Risikowahrnehmung und mögliche Verhaltensänderungen hin zu klimafreundlicherem Verhalten erwies sich das Ausmaß an Zukunftsorientiertheit. Hier wurde das Konzept der „Consideration of Future Consequences“ (CFC) nach Strathman, Gleicher, BONINGER und EDWARDS (1994) angewandt, das sich auch empirisch bei Umweltthemen als sehr belastbar herausgestellt hat (vgl. JOIREMAN, LASANE, BENNETT, RICHARDS und SOLAIMANI 2001). Die Skala fragt nach der allgemeinen Berücksichtigung zukünftiger Folgen aktuellen Handelns. Es gilt etwa die Aussage „Ich halte es für wichtig, Warnungen vor negativen Folgen ernst zu nehmen, auch wenn die Folgen erst in vielen Jahren auftreten werden.“ auf eine Skala von 1-6 einzuschätzen. Diejenigen Teilnehmer, die auf der CFC-Skala hohe Werte erreichen (vs. solche mit niedrigen Werten), sehen etwa den Klimawandel als realer und konkreter an und sind sensitiver bei Trinkwasserrisiken. Sie zeigen ein stärkeres Ausmaß an Emotionen, v.a. Ärger, aber auch positive Emotionen. Als zweite durchweg relevante Variable konnte „Verantwortung“ identifiziert werden (Responsibility-Skala). Diejenigen Teilnehmer, die die westliche industrialisierte Welt und auch sich persönlich als verantwortlich für den Klimawandel ansehen, zeigen höhere Werte auf der CFC-Skala (siehe oben), mehr Sorge, mehr Ärger und positive Emotionen.

Über Einflüsse der Milieus können zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch keine Aussagen gemacht werden, da die Kodierung der damit beauftragten Firma SinusSociovision zum Berichtszeitpunkt noch nicht vorlag.

Aus diesen Ergebnissen kann geschlossen werden, dass die Folgen des Klimawandels vor allem von denjenigen als real und konkret betrachtet werden, die auch allgemein Augenmerk auf zukünftige Folgen persönlichen aktuellen Handelns legen, sowie eine Verantwortung für die Verursachung des Klimawandels verspüren.

Aufgrund der eigenen Ergebnisse und bisheriger Forschung erscheint das Extended Norm Activation Model von STERN, DIETZ und KALOF (1993) als Basis für eine Formalisierung für DeepHousehold vielversprechend. Es wird in diesem Modell eine Norm im Akteur aktiviert wird, wenn durch persönliches Handeln Dinge beeinträchtigt werden, die die Akteure wertschätzen. Dies kann das Selbst (ego), andere Akteure (soz) sowie die Biosphäre (bio) sein. Formal ausgedrückt:  $M = W_{ego} ZK_{ego} + W_{soz} ZK_{soz} + W_{bio} ZK_{bio}$ .

$M$  steht dabei für die Motivation zum Handeln,  $W$  für den Wert, den ein Akteur den persönlichen, sozialen oder biosphärischen Ergebnissen zumisst und  $ZK$  für die Zuschreibung der Konsequenzen für sich selbst, für andere, die Biosphäre.

Erweitert um den Faktor CFC als „Zukunftsorientiertheit“ bieten die genannten theoretischen Überlegungen erste Anhaltspunkte für die Implementierung in *DeepHousehold*. In der dritten Förderphase wird die Implementierung weitergeführt und anhand von Szenarien getestet.

### 3.2.2 Stand des *Household*-Modells nach der ersten Förderphase (März 2004)

Am Ende der ersten Förderphase berechnete das *Household*-Modell folgende Export-Werte pro Proxel:

- Wasserbedarf privater Haushalte (*DomesticDrinkingWaterDemand*) in m<sup>3</sup>/s,
- Abwasser privater Haushalte (*WasteWaterQuantity*) in m<sup>3</sup>/s sowie
- wasserbezogene Zufriedenheit (*WaterRelatedSatisfaction*) in %.

Für diese Berechnungen wurden die drei Werte Bevölkerungsverteilung der 25 Haushaltstypen, Wasserpreis und gelieferte Wassermenge aus DANUBIA importiert.

Der Wasserbedarf wurde anhand der 25 Haushaltstypen berechnet. Für jeden Haushaltstyp waren für zehn verschiedene Nutzungsarten bestimmte Wasserverbräuche implementiert, welche in empirischen Erhebungen ermittelt wurde. Der aufsummierte Wasserverbrauch pro Haushaltstyp wurde mit einer Preiselastizität verrechnet. Der Wasserbedarf pro Proxel ist 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.

Die Weiterentwicklungen im flachen *Household*-Modell, welche zu Beginn der zweiten Förderphase erfolgten, sowie eine abschließende Bewertung hinsichtlich der Güte des *Household*-Modells, werden im folgenden Kapitel 3.2.3 beschrieben. Die nachfolgenden Kapitel widmen sich dem Prozessmodell *DeepHousehold*, welches in der zweite Phase entwickelt und implementiert wurde.

### 3.2.3 Weiterführung des flachen *Household*-Modells

In der ersten Förderphase wurde im Teilprojekt Umweltpsychologie das sog. flache *Household*-Modell entwickelt (s. hierzu Abschlussbericht Förderphase I). Dieses Modell bildet mit insgesamt 25 Haushaltstypen (5x5-Matrix aus Haushaltgröße und Haushaltseinkommen) 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, da der Pro-Kopf-Wasserverbrauch i.d.R. im Sommer höher als im Winter ist (MUTSCHMANN und STIMMELMAYR 2002). Die Implementation saisonaler Schwankungen erfolgte für die Nutzungsarten Baden und Duschen.

Zudem wurde ein Korrekturfaktor für geographische Gegebenheiten berechnet. Dieser umfasste sowohl (b) eine Korrektur für die Stadt- bzw. Landbevölkerung, als auch unterschiedliche Wasserverbräuche für deutsche, österreichische und Schweizer Gemeinden.

Der allgemein abnehmende durchschnittliche Wasserverbrauch wurde durch eine (c) Innovationskorrektur berücksichtigt, die die Ausbreitung von neuen Technologien abbildet.

Zusätzlich zu diesen Verbesserungen wurde das *Household*-Modell durch ein Dienstleistungsmodell (d) ergänzt, das den Wasserverbrauch des öffentlichen Dienstleistungssektors (u.a. öffentliche Schwimmbäder, Schulen, Feuerwehr, Straßenreinigung, Opernhäuser, Krankenhäuser usw.) abbildet.

Zur Validierung des flachen *Household*-Modells wurde der im Winter 2004/2005 auf dem DANUBIA-Cluster berechnete Referenzlauf herangezogen. In ihm wurden die Jahre 1995 (Februar) bis 2000 (Januar) simuliert. Für die Validierung des Modells wurde das Jahr 1998 ausgewählt, da räumlich aufgelöste statistische Daten für dieses Jahr sowohl für Bayern als auch für Baden-Württemberg vorhanden sind.

Der vom *Household*-Modell berechnete Wasserbedarf ist in Abbildung 1 visualisiert. 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 sieht man München.

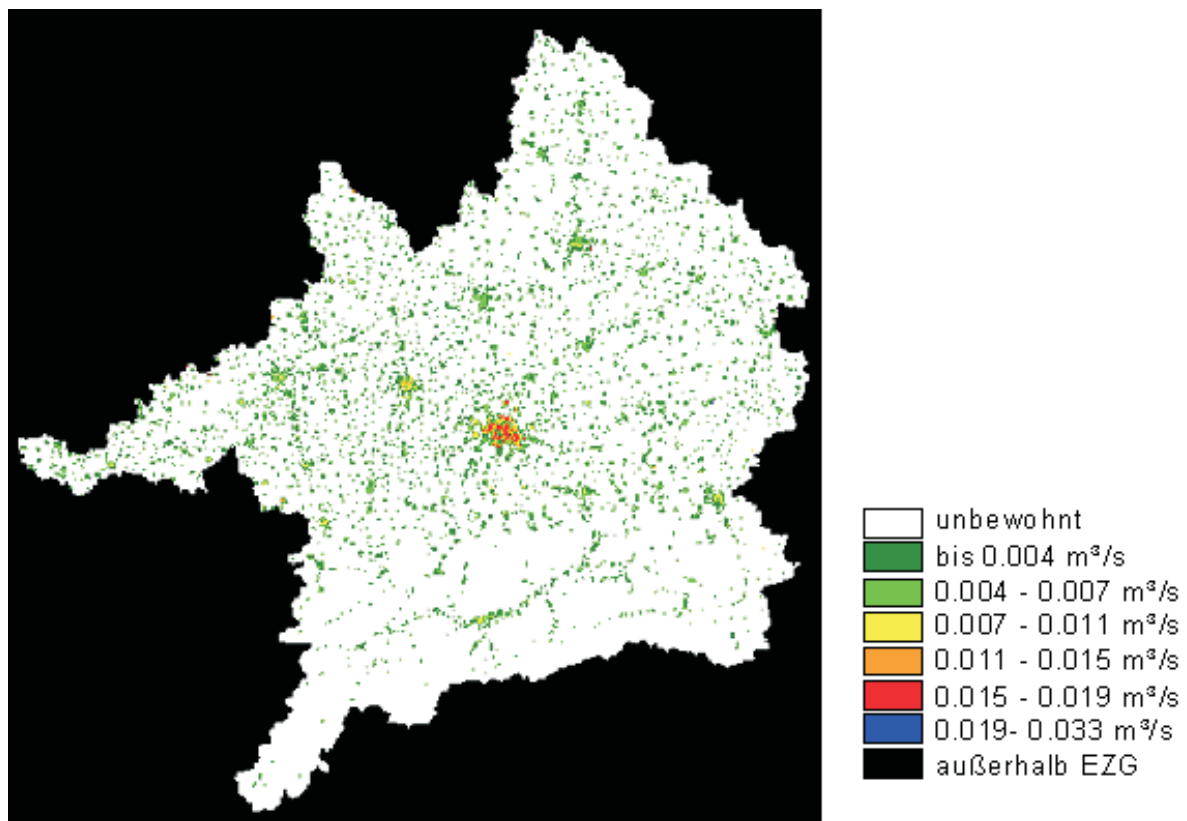


Abb. 1: Flächendarstellung des Wasserbedarfs von privaten Haushalten und Dienstleistern im Oberen Donaeinzugsgebiet (Die Werte wurden im Referenzlauf im Winter 2004/2005 für den Modellmonat April 1998 berechnet)



Im Referenzlauf berechnete das *Household*-Modell für das Jahr 1998 insgesamt einen Wasserdurchfluss von 211.9m<sup>3</sup>/s. Dies entspricht einem durchschnittlichen Wasserbedarf von 17.66m<sup>3</sup>/s. Der statistische Wasserverbrauch privater Haushalte im Einzugsgebiet lag für das Jahr 1998 bei 17.51m<sup>3</sup>/s. Damit überschätzt das *Household*-Modell den statistischen Wasserbedarf für 1998 um 0.9%. Es kann festgehalten werden, dass die Validierung des *Household*-Modells eine sehr hohe Übereinstimmung mit den statistischen Daten der Landesämter ergab.

Neben der sehr guten Abbildung des Wasserverbrauchs privater Haushalte ist zudem die flächige Abbildung des Wasserbedarfs im Vergleich zur ersten Projektphase deutlich verbessert worden. Aus diesen Gründen wurden danach keine weiteren Anstrengungen unternommen, das flache *Household*-Modell weiter zu optimieren. Stattdessen wurde der Schwerpunkt der Arbeit auf das agentenbasierte Modell *DeepHousehold* gelegt.

### **3.2.4 Entwicklung eines tiefen *Household*-Modells - *DeepHousehold***

Im folgenden Kapitel werden die Hintergründe von *DeepHousehold* vorgestellt, das in der zweiten Förderphase neu entwickelt und implementiert wurde.

Da sich das Modell *DeepHousehold* konzeptionell und technisch entscheidend vom flachen *Household*-Modell unterscheidet, wird in Kapitel 3.2.4.3 die Entwicklungsgeschichte des Modells skizziert. Zuvor werden zwei elementare Bestandteile des Modells, die Methode der Multi-Agenten-Modellierung (s. Kap. 3.2.4.1) und die Sinus-Milieus® als Typologie der Haushalte (s. Kap. 3.2.4.2) erläutert. Nach der Skizzierung der Modellgeschichte werden weitere wichtige Konzepte und Bestandteile des Modells vorgestellt. Kapitel 3.2.4.4 geht auf das Thema Soziale Netzwerke ein. Die Wassernutzungsarten und ihre Umsetzung sind Thema des Kapitels 3.2.4.5. Es folgt Kapitel 3.2.4.6, das die für das Modell nötigen Exporte und Results vorstellt. Kapitel 3.2.4.7 listet die in *DeepHousehold* implementierten Pläne und Aktionen auf. Kapitel 3.2.4.8 beschreibt das im Modell enthaltene Innovationsmodul. Der Abschnitt schließt mit Kapitel 3.2.4.9, in dem zusammenfassend die verschiedenen Möglichkeiten der Ergebnisauswertung vorgestellt werden.

#### **3.2.4.1 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 ihre Entscheidungen auf die implementierten Verhaltensregeln und die jeweiligen Einflussfaktoren zurückgeführt werden. Das Verhalten eines solchen Simulationsmodells ist wesentlich leichter nachvollziehbar als das eines Regressionsmodells, denn in ihm werden die grundlegenden Prozesse abgebildet, während sich die Phänomene aus dem Verhalten des Systems herausbilden. Daher wurde für die Berechnung des Wassernutzungsverhaltens privater Haushalte ein solches agentenbasiertes Modell entwickelt.



### 3.2.4.2 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 Merkmalen Einkommen und Haushaltsgröße beruhen. Diese Typologie sollte für *DeepHousehold* nicht verwendet werden, da weder Lebensumstände noch Werte oder Einstellungen der Menschen berücksichtigt werden.

Statt dessen werden in *DeepHousehold* die Entscheidungen anhand des Lebensstils der Menschen gefällt. Die Lebensstile werden durch die sog. Sinus-Milieus® aus der kommerziellen Marktforschung repräsentiert (SINUS SOCIOVISION 2003). Abbildung 2 zeigt eine aktuelle Übersicht über alle zehn Milieus anhand ihrer Einteilung in soziale Lage und Wertorientierung.

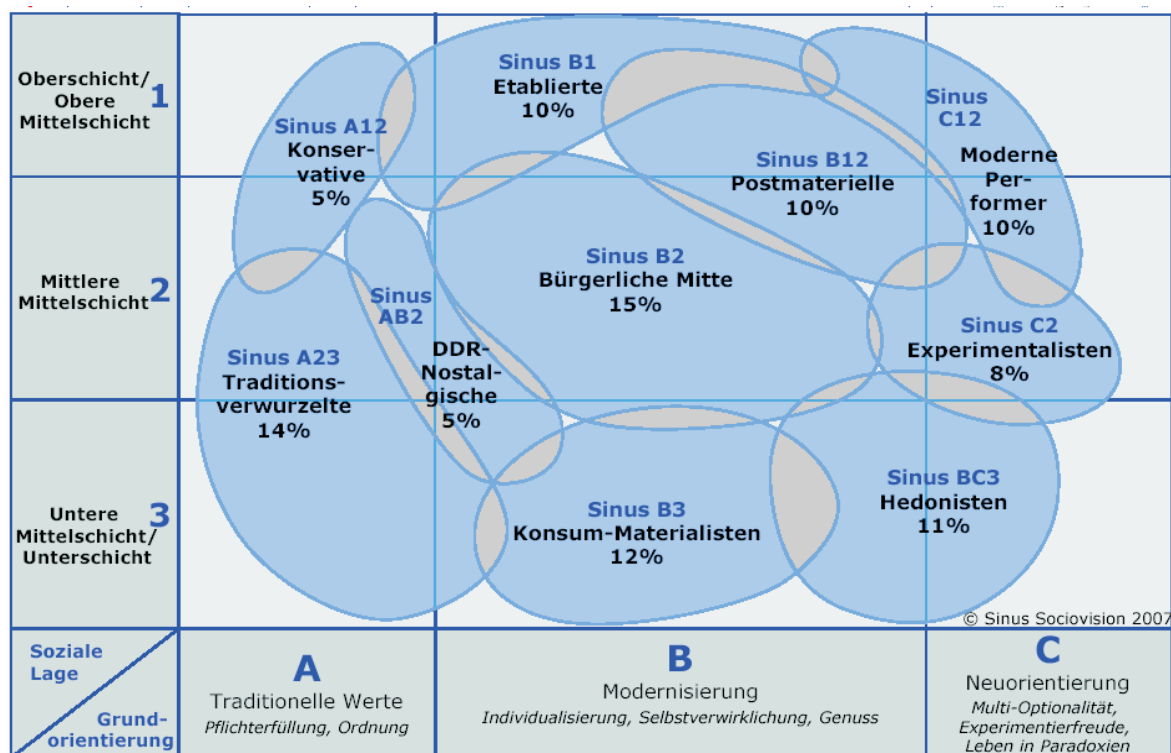


Abb. 2: Einteilung der zehn Sinus-Milieus anhand von sozialer Lage und Grundorientierung (Quelle: SINUS SOCIOVISION 2007) Je höher ein Milieu in dieser Grafik angesiedelt ist, desto höher sind Einkommen und Bildung; je weiter nach links hin das Milieu steht, desto traditioneller ist die Grundorientierung des jeweiligen Milieus

In *DeepHousehold* wurde darauf verzichtet sämtliche Milieus zu implementieren. Zum Einen bestehen zwischen den einzelnen Milieus nicht immer signifikante Unterschiede sowohl bei der täglichen Wassernutzung als auch bei der Adoption von Innovationen. Zum Anderen waren einige Milieus bei den empirischen Erhebungen nicht stark genug besetzt, um statistische Analysen durchführen zu können. Dies ist darauf zurückzuführen, dass z.B. das Milieu der DDR-Nostalgischen hauptsächlich in den neuen Bundesländern anzutreffen ist, diese Gruppe mithin im Donaeinzugsgebiet stark unterrepräsentiert ist. Zum anderen fand sich in den Untersuchungen eine demographische Verzerrung zugunsten hoher Bildungsabschlüsse. Diese hohen Bildungsabschlüsse sind typisch für bestimmte Milieus, so dass dies ein weiterer Grund für die ungleiche Besetzung der Milieus ist.

Aus diesem Grund wurde beschlossen in Anlehnung an die sog. Lebenswelt-Segmentierung nach Sinus fünf Milieu-Gruppen zu bilden und ins Modell aufzunehmen.

*DeepHousehold* beinhaltet folgende fünf Agententypen:

- Postmaterielle,
- Sonstige Leitmilieus (Moderne Performer und Etablierte),
- Traditionelle Milieus (Traditionsverwurzelte, DDR-Nostalgiker, Konservative),
- Mainstream-Milieus (Bürgerliche Mitte, Konsum-Materialisten) und
- Hedonistische Milieus (Hedonisten, Experimentalisten).

Obwohl die Postmateriellen nach Sinus zu den sog. Leitmilieus gezählt werden, wurden sie getrennt von den sonstigen Leitmilieus als Agententypen in *DeepHousehold* aufgenommen. Die von den sonstigen Leitmilieus getrennte Betrachtung der Postmateriellen ist darauf zurückzuführen, dass sie in den erfolgten Untersuchungen eine zahlenmäßig große eigene Gruppe bilden, so dass statistische Auswertungen für nur dieses Milieu möglich waren. Darüber hinaus ist das Milieu der Postmateriellen das umweltfreundlichste Milieu, so dass im Vergleich zu den sonstigen Leitmilieus inhaltliche Unterschiede in Bezug auf die Wassernutzung und Innovationsadoption erwartet wurden.

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 umfasste 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.

### 3.2.4.3 Konzeption und Entwicklungsgeschichte des Modells *DeepHousehold*

Die Entwicklung und inhaltliche Konzeption von *DeepHousehold* ist eng mit der Geschichte des *DeepActor-Frameworks* (s. Kap. 3.3.2) verbunden. Bei der Konzeption von *DeepHousehold* wurde beschlossen, die Umstellung vom flachen *Household*-Modell auf das tiefe Modell *DeepHousehold* schrittweise zu gestalten. D.h. der Wasserbedarf der privaten Haushalte wurde nicht sofort ausschließlich von *DeepHousehold* übernommen, sondern es wurden zunächst einzelne Nutzungsarten sowie wenige Akteurs-Typen für eine erste Beispiel-Implementation verwendet.

Bei der Konzeption wurde weiterhin beschlossen, dass die *Household*-Akteure die handelnde Einheit von *DeepHousehold* sind. Dabei repräsentiert ein tiefer *Household*-Akteur nicht einen einzelnen Haushalt in der realen Welt, sondern steht für alle Haushalte eines Haushaltstyps (Milieus), die auf einem Proxel vorkommen. Die Entscheidung eines einzigen *Household*-Akteurs dieses Haushaltstyps ist somit für alle Haushalte dieses Typs auf dem Proxel gültig. Da auf einem Proxel aber nicht nur Haushalte eines einzigen Typs vorhanden sind, gibt es pro bewohntem Proxel mehrere *Household*-Akteure. Dadurch, dass ein *Household*-Akteur auf einem Proxel für eine Vielzahl von realen Haushalten Entscheidungen trifft, können seine Entscheidungen keine Boole'schen Entscheidungen im Sinne einer Annahme oder Ablehnung eines Plans sein. Vielmehr ist das Ergebnis des Entscheidungsprozesses eine Angabe darüber, zu wie viel Prozent die Haushalte des Haushaltstyps welchen Plan annehmen, bzw. ablehnen.

Zu Beginn der zweiten Förderphase wurden für die Implementierung aus Gründen der Vereinfachung nur zwei gegensätzliche Milieus - das sogenannte postmaterielle und das traditionsver-

wurzelte Milieu - als *DeepHousehold*-Akteure im Modell ausgewählt. Der Wasserverbrauch der übrigen Milieus wurde zunächst aus dem Mittelwert dieser beiden Milieus berechnet.

Das Erstellen von *DeepHousehold* erfolgte in drei Schritten:

1. Konzept (grundlegende Überlegungen zum Modell: Strukturen, z.B. Klassen)
2. Design (Konkretisierung anhand von UML-Bildern: Attribute und Methoden)
3. Implementierung (Umsetzung in Java-Code)

Die Konzeptphase für *DeepHousehold* wurde Ende Dezember 2004 beendet. Das Design wurde im Frühjahr 2005 weitestgehend abgeschlossen; danach begann die Implementierung.

Im weiteren Verlauf der zweiten Förderphase wurden sowohl die fünf Milieu-Gruppen, als auch sämtliche Wassernutzungsarten im Modell implementiert. Sämtliche Pläne und Aktionen, die es derzeit in *DeepHousehold* gibt, sind in Kapitel aufgelistet. Diese Pläne werden nur bei besonderen Events evaluiert (*EventWaterPriceHigh*, *EventAirTemperatureLow/High*, *EventQuantityFlag*), ansonsten gilt das Gewohnheitsverhalten (*habit*). Beispielsweise werden bei einer hohen Quantitäts-Flagge neben Baden und Duschen auch andere Pläne aktiv. Für jede Nutzungsart wird unter der Bedingung eines Events entschieden, zu wie viel Prozent ein Akteur (der die Haushalte eines bestimmten Milieus auf einem Proxel repräsentiert) einen Plan umsetzt (Klasse *PlanPercentages*). Wählt ein Akteur einen Plan aus, wird die damit verbundene Aktion aufgerufen (sämtliche in *DeepHousehold* enthaltenen Pläne sind in Kap. 3.2.4.7 aufgelistet).

#### 3.2.4.3.1 Design von *DeepHousehold*

Die Klassen *DHH\_Model* und *DHH\_Proxel* entsprechen den Klassen *Household* und *HouseholdProxel* im flachen Modell, welche kontinuierlich weiterentwickelt wurden. Die Klasse *DHH\_Actor* ist die Basisklasse für die tiefen *Household*-Akteure, die selber als Instanzen dieser Klasse realisiert werden. Ein tiefer Akteur kann über die Schnittstelle *Interface\_ActorExport* Daten an andere Akteure exportieren. Der *DeepActorSensor* stellt die Daten anderer tiefer *Household*-Akteure zur Verfügung. Jeder instantiierte tiefe Akteur hat ein Profil der Klasse *Profile*, in dem seine Eigenschaften wie z. B. Alter, Einkommen, Preissensitivität, Modernität etc. gespeichert sind. Dieses Profil wird bei der Initialisierung in Abhängigkeit vom Milieu des tiefen Akteurs erzeugt.

Die von DANUBIA simulierten Daten werden über den *ProxelSensor* eingelesen. Der *ProxelSensor* überprüft die Import-Daten auf sog. Events: Liefert z.B. das tiefe *WaterSupply*-Modell eine Warnflagge größer 1, wird das *EventQuantityFlag* vom *ProxelSensor* erzeugt. Dieses Event löst in der Entscheidungsberechnung der tiefen *Household*-Akteure aus, dass das Gewohnheitsverhalten überdacht wird. Ebenso werden für die Lufttemperatur und den Wasserpreis Events berechnet, die zu einem Überdenken des Gewohnheitsverhaltens für bestimmte Nutzungsarten führen (vgl. hierzu z.B. Abb. 10 in Anhang B).

Jeder tiefe *Household*-Akteur verfügt über Methoden, die sein Gewohnheitsverhalten in Bezug auf die Nutzungsarten Duschen (Klasse *Shower*) und Baden (Klasse *Bath*) berechnen. Das Gewohnheitserhalten wird ausgeführt, solange es keine Events gibt, die eine bewusste Entscheidung auslösen.

Wird eine bewusste Entscheidung herbeigeführt, dann entscheidet der tiefe *Household*-Akteur über die Pläne in seinem *PlanSet*. Es gibt Pläne zur Dusch-Häufigkeit (*planShowerFrequency*), zur Bade-Häufigkeit (*planBathFrequency*) sowie zu Duschköpfen (*planShowerFlow*). Diese Pläne haben Attribute, anhand derer über ihre Annahme oder Ablehnung entschieden wird.

#### 3.2.4.4 Soziales Netzwerk

In der zweiten Förderphase wurde - ausgehend vom Small-World-Algorithmus von WATTS und STROGATZ (1998) ein soziales Netzwerk für die *Household*-Akteure erzeugt, das räumlich explizit ist und Affinitäten der einzelnen Lebensstile berücksichtigt. Zum Erzeugen und Analysieren des sozialen Netzwerks wurde das im Teilprojekt Umweltpsychologie entwickelte *TooDaReD*-Programm (vgl. Kap. 3.3.4) um ein weiteres Modul erweitert.

Das Netzwerk-Modul von *TooDaReD* umfasst folgende Funktionen:

Es können verschiedene Arten von Netzwerken erstellt werden.

- Nicht-Netzwerke, das heißt jeder Akteur hat nur einen collaborator (sich selbst,  $k=1$ ).
- Zufällige Netzwerke, das heißt, jeder Akteur hat ‚ $k$ ‘ zufällige collaborators.
- Small-World-Netzwerke, das entstehende Netzwerk hat damit „small world“-Eigenschaften, beruht also zunächst auf räumlichen Nachbarschaften, die jedoch durch Verbindungen zu entfernteren Akteuren (mit einer Wahrscheinlichkeit ‚ $p$ ‘) ergänzt werden.
- Lebensstil-spezifische Netzwerke: Angelehnt an small-world-Netzwerke, jedoch sind ‚ $k$ ‘ und ‚ $p$ ‘ für verschiedene Akteure (Milieus) unterschiedlich.

Die erstellten Netzwerke werden in *collaborator.csv* - Dateien gespeichert, die wiederum eingelesen und analysiert werden können. Der Output beinhaltet Werte wie den Cluster-Koeffizienten und den mittleren kürzesten Weg. Es können auch einzelne Akteure anhand ihrer ID spezifiziert werden, wodurch eine grafische Repräsentation ihres Netzwerks angezeigt werden kann.

Im Modell *DeepHousehold* wird bisher das Verhalten der *Household*-Akteure in Bezug auf die Ausbreitung von Innovationen (Duschköpfe, Toilettenspülung, Regenwassernutzungsanlagen, vgl. Kap. 3.2.4.8 ) sowie auf das Wäschewaschen vom sozialen Umfeld beeinflusst.

#### 3.2.4.5 Wassernutzungsarten und ihre Umsetzung

Sowohl im flachen *Household*-Modell, als auch in *DeepHousehold* sind insgesamt zehn Wassernutzungsarten enthalten.

Die zehn ursprünglich im *Household*-Modell enthaltenen Wassernutzungsarten waren in alphabetischer Reihenfolge:

- Abspülen mit der Hand
- Baden
- Duschen
- Fußboden wischen
- Hände waschen
- Sonstiges
- Spülmaschine
- Toilettenspülung
- Waschmaschine
- Zähne putzen

Im Zuge der Umstellung vom flachen *Household*-Modell hin zum tiefen Modell *DeepHousehold* fiel die Kategorie Sonstiges weg, da diese ungenaue Restkategorie für ein Prozessmodell ungeeignet war. Die beiden Kategorien Abspülen mit der Hand und Spülmaschine wurden zu einer Kategorie Spülen zusammengefasst, die die beiden Arten des Abspülens weiterhin getrennt voneinander berechnet. Neu hinzugekommen sind die Kategorie Regenwassernutzung, welche im Innovationsmodul eine große Rolle spielt (s. Kap. 3.2.4.8) und die Kategorie Nahrungsmittel, welche insbesondere in Hinblick auf Qualitätsaspekte des Trinkwassers wichtig ist.

In *DeepHousehold* werden folgende zehn Nutzungsarten für Trinkwasser im Haushalt unterschieden:

- 0 Waschmaschine
- 1 Spülen
- 2 Regenwassernutzung
- 3 Dusche
- 4 Baden
- 5 Zähne putzen
- 6 Hände waschen
- 7 Toilette
- 8 Fußboden wischen
- 9 Nahrungsmittel

Die Umsetzung in Akteursverhalten orientiert sich an der Relevanz der Nutzungsart für den gesamten Wasserverbrauch. Nutzungsarten wie Zähne putzen wurden nicht derart detailliert implementiert wie Baden oder Duschen. Auch die jeweiligen Freiheitsgrade für Verhalten bei Wasserknappheit wurden berücksichtigt (sog. Pläne, s. Kap. 3.2.4.7). Wird das Wasser knapp, werden zuerst Tätigkeiten ausgesetzt, auf die am ehesten verzichtet werden kann, wie z.B. Fußboden wischen. Andere Tätigkeiten, die z.B. zentral für das Erhalten der Gesundheit sind, werden weiterhin ausgeführt, hierzu gehört bspw. das Zähneputzen.

Die Implementation von Qualitätsmängeln führt zu einer eigenen 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.

### 3.2.4.6 Exporte und Results

Tabelle 1 listet sämtliche allgemeine Exporte und Results von *DeepHousehold* auf. Neben den Parametern werden die Namen der Ergebnis-Datei sowie die jeweilige Einheit genannt.

Tab. 1 Exporte und Results des Modells *DeepHousehold* (HH = Haushalt)

Parameter	Name der Ergebnis-Datei	Einheit
Berechneter gesamter Wasserbedarf	DeepHouseholdWaterDemand	m <sup>3</sup> /s
Berechneter Wasserbedarf der Haushalte	DomesticDrinkingWaterDemand	m <sup>3</sup> /s
Berechneter öffentlicher Wasserbedarf	PublicWaterDemand	m <sup>3</sup> /s
Abwasser	WasteWaterQuantity	m <sup>3</sup> /s
Wasserbezogene Zufriedenheit	WaterRelatedSatisfaction	Float-Wert zw. 1 und 2



Tab. 1: Fortsetzung

Parameter	Name der Ergebnis-Datei	Einheit
Lufttemperatur	AirTemperature	Index -1 bis 1
Index der Quantitäts-Flagge	IndexQuantityFlag	Index 0 bis 1
Index für den Wasserpreis	IndexWaterPrice	Index -1 bis 1
Bevölkerung (auf Proxel)	TotalPopulation	Anzahl
Wasserbedarf nach Nutzungsart (Baden)	LhhdBathOfMilieu_[Agententyp]	Liter pro HH pro Tag
Wasserbedarf nach Nutzungsart (Hausputz)	LhhdCleaning_[Agententyp]	Liter pro HH pro Tag
Wasserbedarf nach Nutzungsart (Abwasch)	LhhdDishWash_[Agententyp]	Liter pro HH pro Tag
Wasserbedarf nach Nutzungsart (Nahrungszubereitung)	LhhdFood_[Agententyp]	Liter pro HH pro Tag
Wasserbedarf nach Nutzungsart (Händewaschen)	LhhdHandWash_[Agententyp]	Liter pro HH pro Tag
Wasserbedarf nach Nutzungsart (Duschen)	LhhdShowerOfMilieu_[Agententyp]	Liter pro HH pro Tag
Wasserbedarf nach Nutzungsart (Zähneputzen)	LhhdTeethBrush_[Agententyp]	Liter pro HH pro Tag
Wasserbedarf nach Nutzungsart (Toilette)	LhhdToiletOfMilieu_[Agententyp]	Liter pro HH pro Tag
Wasserbedarf nach Nutzungsart (Waschmaschine)	LhhdWashingMaschine_[Agententyp]	Liter pro HH pro Tag
Menge Abwasser für Toilette	WasteWaterToilet_[Agententyp]	Liter pro HH pro Tag

Tab. 2 Results des Teilmodells zur Ausbreitung von Wassernutzungsinnovationen (Innovationsmodul)

Parameter	Name der Ergebnis-Datei	Einheit
Anteil von Regenwassernutzungsanlagen in den Haushalten, die vom jeweiligen Agenten repräsentiert werden	getPercentRainHarvesting_[Agententyp].ddat	Prozentwert
Anzahl von Regenwassernutzungsanlagen auf dem jeweiligen km <sup>2</sup>	getTotalNumberOfRainHarvesting.ddat	Anzahl
Anteil von Spar-Duschköpfen in den Haushalten, die vom jeweiligen Agenten repräsentiert werden	getPercentWaterSavingSH_[Agententyp].ddat	Prozentwert
Entscheidungsregel, die vom jeweiligen Agenten für die Entscheidung zum Duschkopf verwendet wurde	getDecisionRuleShowerHead_[Agententyp].ddat	Integer-Wert
Anzahl von Spar-Duschköpfen auf dem jeweiligen km <sup>2</sup>	getTotalNumberOfWaterSavingShowerHead.ddat	Anzahl
Anteil von 2-Mengen-Toilettenspülungen in den Haushalten, die vom jeweiligen Agenten repräsentiert werden	getPercentDualFlushToilet_[Agententyp].ddat	Prozentwert
Anteil von Stopptasten in den Haushalten, die vom jeweiligen Agenten repräsentiert werden	getPercentStopButtonToilet_[Agententyp].ddat	Prozentwert
Anteil von Standard-Spülungen in den Haushalten, die vom jeweiligen Agenten repräsentiert werden	getPercentStandardToilet_[Agententyp].ddat	Prozentwert

Tab. 2: Fortsetzung

Parameter	Name der Ergebnis-Datei	Einheit
Entscheidungsregel, die vom jeweiligen Agenten für die Entscheidung zur Toilettenspülung verwendet wurde	getDecisionRuleToiletFlush_[Agententyp].ddat	Integer-Wert
Anzahl von 2-Mengen-Toilettenspülungen auf dem jeweiligen km <sup>2</sup>	getTotalNumberOfDualFlushToilet.ddat	Anzahl
Anzahl von Stopptasten auf dem jeweiligen km <sup>2</sup>	getTotalNumberOfStopButtonToilet.ddat	Anzahl
Anzahl von Standard-Spülungen auf dem jeweiligen km <sup>2</sup>	getTotalNumberOfStandardToilet.ddat	Anzahl

Danach zählt die Tabelle 2 Results des Innovationsmoduls (vgl. Kap. 3.2.4.8) auf.

### 3.2.4.7 Pläne und Aktionen

*DeepHousehold* verfügt über Pläne und Aktionen für sämtliche Nutzungsarten (s. Kap. 3.2.4.5). Die Pläne werden nur bei besonderen Events evaluiert (vgl. Kap. 3.2.4.3). Wählt ein Akteur einen Plan aus, wird die damit verbundene Aktion aufgerufen, z.B. die Duschhäufigkeit verringert (*ShowerFreq\_Action*). Das in *DeepHousehold* neu hinzugekommene Innovationsmodul verändert die Entscheidungen für bestimmte Pläne (s. Kap. 3.2.4.8).

Die folgende Auflistung enthält sämtliche in *DeepHousehold* enthaltene Pläne:

DHH\_AbstractPlan.java  
 BathFreq\_Plan.java  
 CleaningFreq\_Plan.java  
 DishesManuallyFreq\_Plan.java  
 DishesManuallyWaterAmount\_Plan.java  
 DishWasherFreq\_Plan.java  
 DishWasherWaterAmount\_Plan.java  
 Food\_Plan.java  
 HandWash\_Plan.java  
 LaundryFreq\_Plan.java  
 LaundryProg\_Plan.java  
 RainHarvesting\_Plan.java  
 ShowerFreq\_Plan.java  
 ShowerHead\_Plan.java  
 TeethAmount\_Plan.java  
 TeethFreq\_Plan.java  
 ToiletFlush\_Plan.java  
 ToiletFreq\_Plan.java

Im Folgenden werden alle Aktionen in *DeepHousehold* aufgelistet:

DHH\_AbstractAction.java  
 BathFreq\_Action.java

CleaningFreq\_Action.java  
DishesManuallyFreq\_Action.java  
DishesManuallyWaterAmount\_Action.java  
DishWasherFreq\_Action.java  
DishWasherWaterAmount\_Action.java  
Food\_Action.java  
HandWash\_Action.java  
LaundryFreq\_Action.java  
LaundryProg\_Action.java  
RainHarvesting\_Action.java  
ShowerFreq\_Action.java  
ShowerHead\_Action.java  
TeethAmount\_Action.java  
TeethFreq\_Action.java  
ToiletFlush\_Action.java  
ToiletFreq\_Action.java

Ein UML der Pläne in *DeepHousehold* findet sich in Anhang C (Abb. 11)

#### 3.2.4.8 Innovationsmodul

Im letzten Drittel der zweiten Förderphase fand durch die Integration des Innovationsmoduls eine wesentliche Erweiterung von *DeepHousehold* statt. Dieses Modul beinhaltet die Ausbreitung von Wassernutzungsinnovationen bei privaten Haushalten.

Da die Entscheidung zum Kauf von Produkten wie Toiletten-Spülkästen, Duschköpfen etc. letztlich eine Entscheidung über die Annahme oder „Adoption“ von Innovationen darstellt, wurde zur Ausbreitung von Wassernutzungs-Innovationen auf die Erkenntnisse der Diffusionsforschung zurückgegriffen. Eine ausführlichere Auseinandersetzung mit der Diffusionsforschung und ihre Übertragung auf die empirischen Untersuchungen zur Ausbreitung von Wassernutzungs-Innovationen findet sich in Kapitel 3.2.1.2.

Hinsichtlich verschiedener Ansprüche an ein möglichst realistisches Diffusionsmodell sind bei herkömmlichen Diffusionsmodellen vor allem zwei Kritikpunkte hervorzuheben: Weder besitzen die bislang verwendeten Agenten in Multi-Agenten-Diffusionsmodellen einen empirischen Bezug, noch unterscheiden sie hinsichtlich künstlicher Merkmale. Darüber hinaus beziehen sich räumlich aufgelöste Diffusionsmodelle bisher auf künstliche Umgebungen. Ausgehend von diesen Kritikpunkten wurde entschieden für *DeepHousehold* ein eigenes Innovationsmodell zu entwickeln, welches sowohl eine reale Unterscheidung der Agenten, als auch einen räumlichen Bezug zu einem real existierendem Raum besitzt. Die reale Unterscheidung der Agenten wurde die Verwendung der Sinus-Milieus®, bzw. Milieu-Gruppen verwirklicht, der real existierende Raum ist das in Proxeln aufgelöste Einzugsgebiet.

Die Auswahl der Innovationen orientierte sich am Einsparpotential der Technologien, es wurden Innovationen aus den drei Bereichen Duschkopf, Toilettenspülung und Regenwassernutzung ausgewählt

Die folgende Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die berücksichtigten Technologien, die jeweils als separate Pläne in *DeepHousehold* enthalten sind.

Tab. 3 Im Innovationsmodul berücksichtigte Technologien

Bereich	Plan
Dusche	Standard-Duschkopf
	Spar-Duschkopf
Toilettenspülung	Druckspülung
	Standardspülung
	Stopp-Taste
	2-Mengen-Toilettenspülung
Regenwassernutzung	Regenwassernutzungsanlage
	keine Regenwassernutzungsanlage

Eine Besonderheit des Innovationsmodells ist die Tatsache, dass es nicht nur darstellt, warum Personen sich für eine Innovation, bzw. gegen diese entscheiden, sondern darüber hinaus den Entscheidungsprozess selbst. Die Komponenten des Entscheidungsprozesses stammen einerseits aus den Auswertungen der quantitativen Untersuchung (N=272) zur Bedeutung der Innovationsmerkmale sowie des Lebensstils der befragten Personen, andererseits aus den ergänzenden Telefoninterviews (N=12), in welchen der Entscheidungsprozess detailliert erfragt wurde.

Während die aus der empirischen Untersuchung gewonnenen Daten die Größe des Einflusses von sozialen Faktoren bestimmen, erfolgt die Diffusion über soziale Netzwerke. Entsprechend enthält das Innovationsmodell eine Netzwerkkomponente, welche Netzwerke mit Small-World-Eigenschaften generiert.

Die Entscheidung für bzw. gegen eine Innovation wird von den Agenten in Abhängigkeit von ihrem Lebensstil und dem Technologie-Bereich gefällt. Anhand der empirischen Daten konnte festgestellt werden, dass die Zugehörigkeit zu einer Milieu-Gruppe einen Einfluss auf die Annahme einer Wassernutzungsinnovation hat. Als ein wichtiges Entscheidungskriterium stellte sich dabei die subjektive Norm heraus. Sie wird im Sinne der Theorie des Geplanten Verhaltens (AJZEN 1991; AJZEN und MADDEN 1986) als Einfluss, d.h. normativer Druck, wichtiger anderer Personen verstanden. Während die Gesellschaftlichen Leitmilieus einen hohen Anteil von Adoptern aufweisen, mithin als innovativ gelten und sich bezüglich der Entscheidung nicht, bzw. nur wenig an ihrem sozialen Umfeld orientieren, treffen andere Milieugruppen ihre Entscheidung hinsichtlich der Adoption, indem sie sich an ihrem sozialen Umfeld orientieren. Aus diesem Grund wurden soziale Netzwerke als ein Bestandteil in das Innovationsmodell mit aufgenommen.

Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse der Untersuchung, dass je nach Lebensstil andere Merkmale für eine Annahme der Innovation verantwortlich sind. In der Untersuchung stellten sich sieben Innovationsmerkmale als relevant heraus: Umweltschutz, Luxus, Einfachheit der Nutzung, Kompatibilität mit den Gewohnheiten, Kompatibilität mit der Infrastruktur, Finanzielle Ressourcen und Befugnis. Die Telefoninterviews ergaben, dass neben den aufgeführten Merkmalen außerdem die durch die Innovation erstehende Kostenersparnis ein wichtiges Merkmal für die Adoption ist. Entsprechend wurde dieses Merkmal als weiterer Punkt ins Modell aufgenommen.

Nachdem durch die empirischen Untersuchungen geklärt werden konnte, welcher Faktor für welchen Einfluss ausschlaggebend ist, wurden darauf aufbauend die Entscheidungsregeln im Modell eingebaut. So ist z.B. die Bedeutung, die die Gesellschaftlichen Leitmilieus ihrem Umfeld beimessen gering gesetzt, für die anderen Milieus ist sie entsprechend höher. Darüber hinaus nutzen die Agententypen unterschiedlicher Innovationsmerkmale bei ihrer Einstellungsbildung.

Die fünf *Household*-Akteure entscheiden im Wesentlichen anhand von zwei verschiedenen Entscheidungsalgorithmen über die Annahme oder Ablehnung der Technologien: einer deliberativen Entscheidungsregel, aufbauend auf der Theory of Planned Behavior (AJZEN 1991) und der sogenannten Take-the-Best-Heuristik (GIGERENZER, TODD und ABC-RESEARCH-GROUP 1999).

Wird keine eindeutige Entscheidung getroffen, imitieren die *Household*-Akteure das Verhalten ihres sozialen Netzwerks.

Da der Einbau einer Regenwassernutzungsanlage fast ausschließlich beim Neubau eines Hauses geschieht, während die anderen Innovationen im Rahmen von Renovierungen, eingebaut werden bzw. alte Geräte ersetzt werden, wurden zudem unterschiedliche Evaluationshäufigkeiten festgelegt.

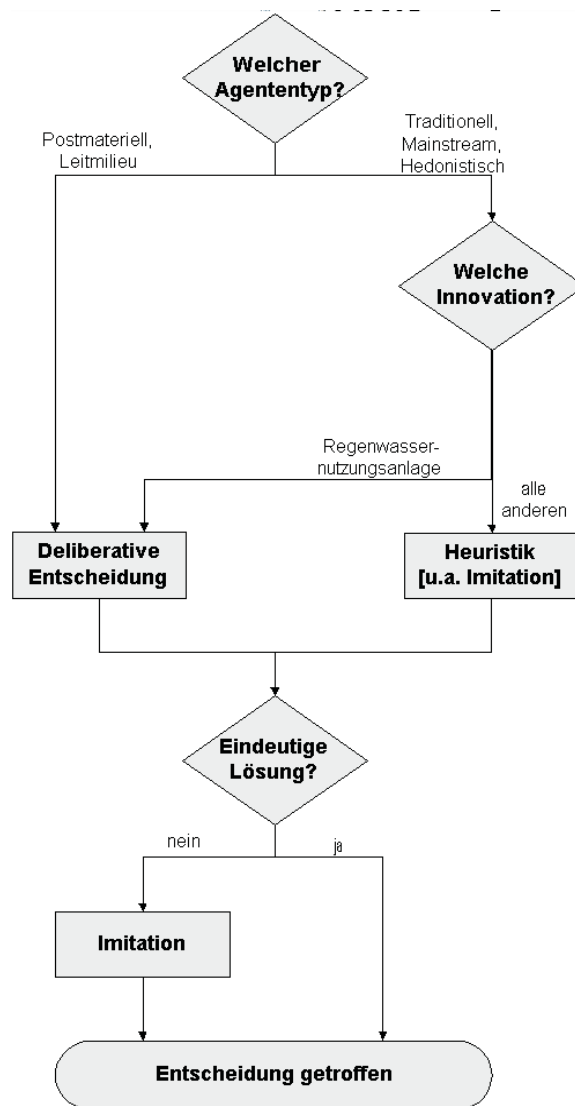


Abb. 3: Entscheidungsprozess der Akteure bezüglich Annahme oder Ablehnung einer Wassernutzungsinnovation

Die Kalibrierung dieses Modell-Teils geschah mit Hilfe von eigens dafür in der zweiten Förderphase erhobenen Daten. Dabei wurde die Methode der direkten Kalibrierung (FAGIOLO, WINDRUM und MONETA 2006) gewählt: Empirische Daten zur Einschätzung der Innovationen sowie zur Wichtigkeit der einzelnen Entscheidungsfaktoren wurden direkt als Parameter gesetzt, anstatt mit indirekter Kalibrierung zahlreiche Simulationsläufe zu machen, um die gewünschten Parameter zu identifizieren. Die Validierung des Teilmodells zeigte zufriedenstellende bis sehr gute Ergebnisse im Vergleich zu unabhängigen statistischen Daten (GfK 2004, 2006; Mall, 2006) sowie zu den eigenen, lebensstil-spezifischen Daten.



Um das Modell im Rahmen von DANUBIA zu testen, wurden vier Szenarien entwickelt. Zusätzlich zu einem Baseline-Szenario Weiter so, wurden drei Policy-Szenarien entwickelt, die im Bereich umweltpolitischer Instrumente von „weich“ bis „hart“ (vgl. z.B. Müller-Rommel, 2001) eingeordnet werden können. Das Szenario Information enthält eine Maßnahme zur Steigerung des Umweltbewusstseins, die Auswirkungen von Subventionen wird im Szenario Finanzspritze untersucht. Das Szenario Umweltpolitische Regulation schließlich geht davon aus, dass bei Toilettenspülungen und Duschköpfen nur noch die umweltfreundlichen Varianten auf dem Markt erhältlich sind, bzw. dass ein Einbau einer Regenwassernutzungsanlage bei Neubau und Sanierung zwingend vorgeschrieben ist. Der Simulationszeitraum umfasste für alle Szenarien die Jahre 2006-2020. Anhand der Simulationsläufe konnte aufgezeigt werden, dass die umweltpolitische Regulation bei allen drei Innovationen den stärksten Einfluss hat. Aber auch Informationskampagnen führen zu einer Ausbreitung von Wassernutzungsinnovationen. Finanzielle Anreize haben sowohl beim wassersparenden Duschkopf, als auch bei der 2-Mengen-Toilettenspülung keinen zusätzlichen verstärkenden Einfluss auf die Diffusion; sie führen - ebenso wie das Baseline-Szenario - zu einer moderaten Steigerung. Im Falle der Regenwassernutzungsanlage führen sowohl das Szenario Information als auch Finanzspritze zu einem nennenswerten Effekt, der bei beiden etwa gleich hoch ist.

#### 3.2.4.9 Datenoutput und Datenanalyse

Das Modell *DeepHousehold* gibt zur Laufzeit die monatlich (=Zeitschritt) berechneten Ergebnisse für eine Vielzahl von Variablen aus (vgl. Tab. 1).

Für unterschiedliche Fragestellungen können durch Änderung der Konfiguration mehr oder weniger vollständige Resultdaten erzeugt werden (*household.cfg*). Im vollen Modus (alle Results) werden zurzeit etwa 30.000 ddat-Files ausgegeben.

Eine Auswertung dieser Daten- und Dateimengen kann mit *TooDaReD* (vgl. Kap. 3.3.4) und anschließend mit auch mit Drittsoftware vorgenommen werden. Auf diese Weise wird eine umfassende Datenanalyse und -visualisierung ermöglicht. Die monatlichen Werte, etwa der Temperatur, der Flaggen, des Wasserpreises, des Wasserverbrauchs und der Innovationen können aufgeschlüsselt nach den verschiedenen Nutzungsarten sowie nach Milieus in ihrer räumlichen Verteilung (pro Proxel) im Einzugsgebiet als Karten dargestellt werden (vgl. z.B. Abb. 8). Um dem Charakter des Prozessmodells *DeepHousehold* gerecht zu werden, können zur Visualisierung der räumlichen und zeitlichen Entwicklung aus diesen Einzelkarten Filme erstellt werden, die etwa die Entwicklung des Wasserverbrauchs oder der Ausbreitung bestimmter Innovationen im Einzugsgebiet darstellen.

Die Kombination aus räumlicher und zeitlicher Visualisierung der Modellausgaben erleichtert nicht nur die Ergebnisdarstellung sondern dient auch der zeitnahen Rückkopplung bei Plausibilitäts- und Validierungsprüfungen.

### 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 bestand 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*

Das *DeepActor-Framework* hat bis zu seiner jetzt aktuellen Version bereits eine lange Geschichte. Erste vorläufige Konzepte entstanden bereits in der ersten GLOWA-Danube Förderungsphase unter Mitwirkung der Gruppen aus dem Zentralprojekt und der Informatik sowie aus der Umweltpsychologie. Zu Beginn der zweiten Förderungsphase wurden die Vorarbeiten von der Gruppe Umweltpsychologie in Kassel wieder aufgegriffen und beim Jahrestreffen des Gesamtprojekts auf Frauenchiemsee im Juni 2004 vorgestellt. Dort formten sich Arbeitsgruppen für die weitere Konzeption des *DeepActors* aus der Informatik (Janisch und Hennicker) und der Umweltpsychologie (Schulz und Ernst). Für die Beispielimplementationen entstanden Arbeitsgruppen aus den Gruppen Wasserversorgung (Barthel und Nickel) und Umweltpsychologie (Schwarz und Schulz).

Ein wesentliches Ziel der zweiten Förderphase für die *Actors-Gruppen* war, den Ansatz der Multi-Agenten-Modellierung (s. auch Kap. 3.2.4.1) zu verwenden. Durch diese explizite Modellierung von Entscheidungen können die Gründe für die Entscheidung eines Akteurs zurückverfolgt werden. Um den akteursbasierten Ansatz innerhalb von DANUBIA verwenden zu können, wurde das sog. *DeepActor-Framework* erstellt.

Die drei Phasen der Konzeption, des Designs und der Implementation wurden für das *DeepActor-Framework* bis Weihnachten 2004 angestoßen und um eine Phase versetzt. Danach wurde begonnen, die konkreten *DeepActor* „*DeepHousehold*“ (Umweltpsychologie) und „*DeepWatersupply*“ (Wasserversorgung) zu entwickeln.

Die Konzeptionsphase für das *DeepActor-Framework* wurde am 01. Oktober 2004 mit dem internen Papier „Konzepte zur Modellierung und Implementierung tiefer Akteursmodelle in DANUBIA“ von Janisch und Schulz abgeschlossen. Die Verfeinerung und Weiterentwicklung in der Design- und Implementierungsphase unterlag der Gruppe Informatik (Janisch) in München.

Erste Ergebnisse des gemeinsam entwickelten Wasserknappheits-Szenarios (der Gruppen Wasserversorgung und Umweltpsychologie) 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.

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 Endbericht des Teilprojekts Informatik.

### 3.3.2.1 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; s. Kap. 3.2.1.2 und 3.2.4.8), die nicht unbedingt auf dem gleichen Proxel verortet sein müssen und mit dem *DeepActor*-Sensor abgefragt werden. Constraints können in Zukunft übergeordnete - z.B. politische - Veränderungen sein.

Eine besondere Rolle im 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 (*drinkingWaterQuantityFlag*) in den Stufen 1 bis 4 die zunehmende Schweregrade der Wasserversorgungsbeeinträchtigung signalisieren. Das Teilprojekt *WaterSupply* berechnet mittel- und langfristige Zustandsänderungen und exportiert diese Informationen durch die Quantitätswarnflaggen, 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 Quantitätswarnflaggen. 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.

### 3.3.2.2 Die lokale Testumgebung

Parallel zur Entwicklung des *DeepHousehold*-Modells wurde eine lokale Testumgebung geschaffen, um das Modell unabhängig laufen lassen und dabei testen zu können.

Hierbei wurde ein sog. Dummy (*ddatToHouseholdDummy*) entwickelt, der die Schnittstelle *ActorControllerToHousehold* implementiert. Mittels dieser Schnittstelle wird spezifiziert, welche Daten *DeepHousehold* von anderen Modellen bezieht, z.B. den Wasserpreis, die Quantitätsflaggen oder die Temperatur (nähere Informationen zu den benötigten Daten vgl. 3.3.2.1). Der Dummy liest pro Zeitschritt die von *DeepHousehold* benötigten Daten ein und stellt sie dem Modell über die Schnittstelle zur Verfügung. Die Daten können sowohl im Ascii-Format wie auch im *ddat*-Format vorliegen. Somit übernimmt der Dummy die Funktion der anderen Modelle, wenn auch keine Rückkopplung möglich ist.

Diese lokalen Berechnungen wurden in enger Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt *WaterSupply* ermöglicht, sodass auch die beim Teilprojekt *Watersupply* erstellten Szenarien (Weiter so, Optimistisch, Trocken) berechnet und ausgewertet können (vgl. 3.4.3).

Auf dem Cluster des Rechenzentrums der Universität Kassel kann *DeepHousehold* unter dem Betriebssystem LINUX laufen. Für einen 36-Jahreslauf werden etwa 5 Stunden benötigt.

Darüber hinaus wurden zwei neue Testgebiete geschaffen, die es ermöglichen das Modell auf einem sehr gut ausgestatteten Einzelrechner laufen zu lassen. *Household1* beinhaltet München und Ulm (1779 bewohnte Proxel), *Household2* beinhaltet München und Bayerischer Wald (2383 bewohnte Proxel).

Die Auswertung von Programmläufen aufgrund der neuen Testgebiete bietet zusätzlich einen guten Überblick über relevante Proxel und Haushaltstypen. Aus diesem Grund haben sich die Testgebiete für die Entwicklung neuer Module und Programmtests als sehr sinnvoll herausgestellt. Die Testumgebung wird vor allem für Testläufe mit unterschiedlichen Szenarien genutzt, um das Laufzeitverhalten sowie die produzierten Ergebnisse zu analysieren (vgl. Kap. 3.4.3).

### 3.3.3 Öffentlichkeitsarbeit

Die Öffentlichkeitsarbeit umfasste neben der Mitarbeit am GLOWA-Atlas die Teilnahme am *Stakeholder*-Prozess, die Mitarbeit an der DANUBIA-Benutzerschnittstelle sowie die Darstellung des Teilprojektes im Web und dem Newsletter des CESR (Center for Environmental Systems Research - Universität Kassel). Diese Arbeiten werden im Folgenden beschrieben.

#### 3.3.3.1 Mitarbeit am GLOWA-Atlas

Das Teilprojekt Umweltpsychologie war während der zweiten Förderphase 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 erläuternden Text werden die Schritte des Modells von der Datengrundgrundlage über die Berechnungsschritte bis hin zur Validierung beschrieben.

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“.

Das Teilprojekt wird sich auch weiterhin aktiv am *Stakeholder*-Prozess beteiligen, der seit Anfang der dritten Phase durch das ifok (Institut für Organisationskommunikation) geführt wird.

#### 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* (s. Kap. 3.34) 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 wurde 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 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.

#### 3.3.3.4 Webdarstellung und sonstige Öffentlichkeitsarbeit

Das Teilprojekt Umweltpsychologie stellt den aktuellen Stand des Projektes (letzte Aktualisierung März 2007) auf der Webseite von GLOWA-Danube ([www.glowa-danube.de](http://www.glowa-danube.de)) sowohl auf deutsch als auch auf englisch vor (vollständige URLs s. Anhang A).

Eine etwas allgemeinere Vorstellung sowohl von GLOWA-Danube als auch den Arbeiten des Teilprojektes - ebenfalls in deutsch und englisch - findet sich auf den Seiten des CESR ([www.cesr.de](http://www.cesr.de)). Dazu gehört auch eine vereinfachte, leicht verständliche graphische Darstellung des im Modell enthaltenen Entscheidungsprozesses, um die im Modell enthaltenen Parameter und die Funktionsweise einer interessierten Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Die vollständigen URL-Adressen finden sich ebenfalls in Anhang A; die graphische Darstellung des Entscheidungsprozesses kann Anhang B entnommen werden.

Die bisher vom Teilprojekt angefertigten Berichte (Endbericht Phase I, Jahresberichte im Berichtszeitraum Förderphase II 2004-2007) sind als Download über die CESR-Homepage erhältlich.

#### 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, das es ermöglicht, einzelne Datensätze 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 Datensätze ließ es sinnvoll erscheinen, das Werkzeug um einfache deskriptive Statistiken zu erweitern. Unter dem Namen *TooDaReD* wurde daraufhin das Tool zunächst 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 Version von April 2006 enthält eine strukturelle Überarbeitung. So bietet *TooDaReD* nun die Möglichkeit einer Erweiterung des Tools durch die Implementation neuer Module, die bei Programmstart dynamisch eingelesen und geladen werden. Eine Änderung am Programm-Kern ist nicht mehr nötig. Die Entwickler anderer Gruppen können nun ohne Aufwand und Einarbeitung Module im Hauptprogramm ergänzen. Überdies ist die neueste Version in der Lage, auch Ergebnisdaten aus Läufen mit älteren DANUBIA-Versionen zu bearbeiten.

Abbildung 4 zeigt einen Screenshot der Bedienoberfläche von *TooDaReD*.

Im vergangenen Jahr wurde die interne Struktur des Tools weiter überarbeitet. Der Schwerpunkt lag dabei auf Vereinfachungen bei Entwicklung und Integration neuer Funktionen.

Abbildung 5 zeigt graphisch den Wasserverbrauch in Litern pro Tag und Haushalt für Sonstige Leitmilieus für die Wassernutzungsart Duschen in den Jahren 2011-2015.



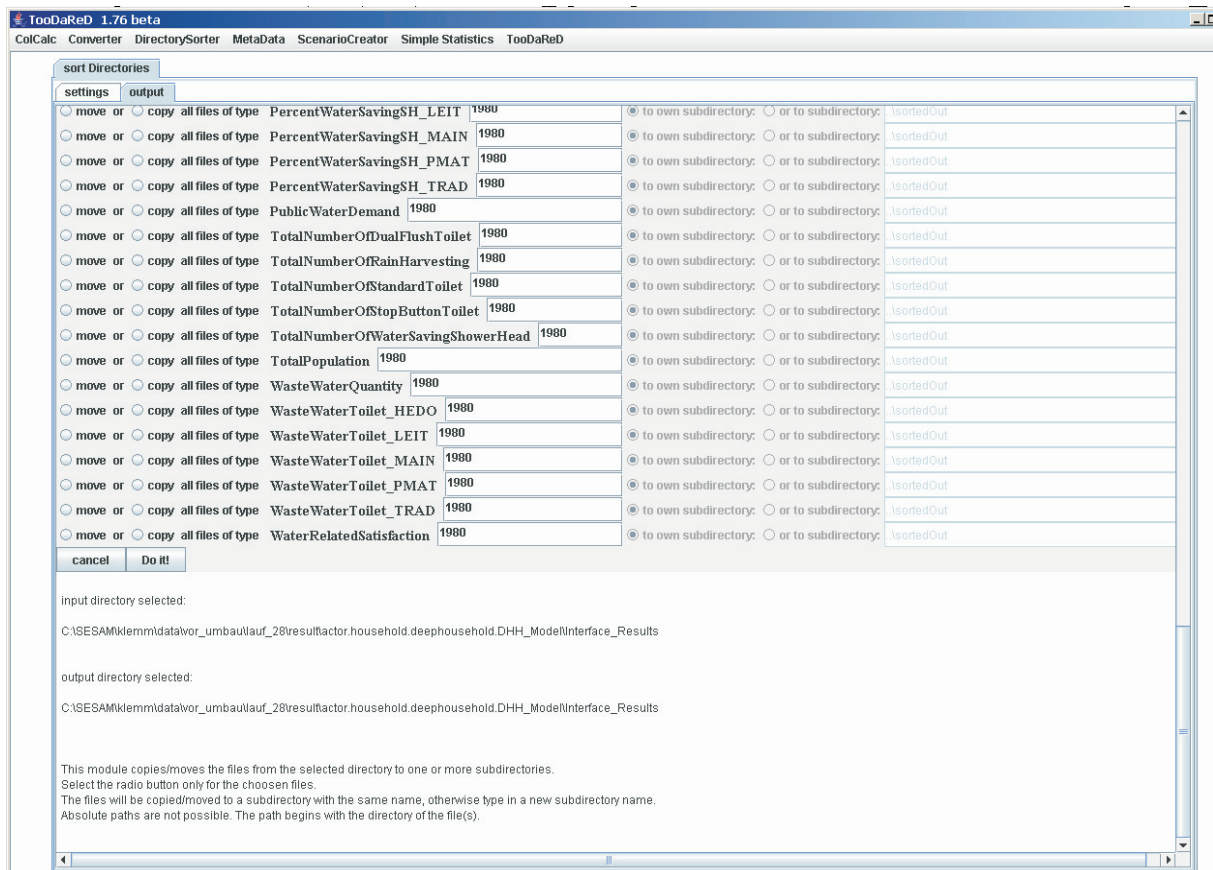


Abb. 4: Screenshot der Bedienoberfläche von *TooDaReD*



Abb. 5: Screenshot aus *TooDaReD* - Wasserverbrauch in Litern pro Haushalt und Tag für Sonstige Leitmilieus 2011-2015

Überdies ist die neueste Version in der Lage, auch Ergebnisdaten aus Läufen mit älteren DANUBIA-Versionen zu bearbeiten. Die geplante Modularisierung und eine neue Benutzeroberfläche werden umgesetzt. Neue in *TooDaReD* enthaltene Module sind das Netzwerk-Tool (ein für *DeepHousehold* spezifisches Tool, mit dem soziale Netzwerke erzeugt und analysiert werden können), das Erstellen von Meta-Daten, das Sortieren und Strukturieren der Ergebnis-Dateien (ddats) in neue Ordner sowie ein Scenario-Creator zur Erstellung individueller Szenarien in der Testumgebung.

Eine detaillierte Auflistung der neusten Veränderungen enthält der Jahresbericht 2007.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Entwicklung des *TooDaReD*-Tools für die Zwecke des Teilprojekts Umweltpsychologie weitestgehend abgeschlossen ist.

### **3.4 Modell-Läufe**

In diesem Abschnitt werden die im Berichtszeitraum durchgeführten Modell-Läufe beschrieben. Diese lassen sich grob unterteilen in solche, die mit dem flachen *Household*-Modell, bzw. dem aktorsbasierten Modell *DeepHousehold* durchgeführt wurden und zum anderen in solche, die in Verbund mit den anderen Teilmodellen als Cluster-Läufe auf dem Münchner Cluster liefen, bzw. solche, die als lokale Version gestartet wurden.

Kapitel 3.4.1 geht kurz auf die Cluster-Läufe ein, die mit dem *Household*-Modell stattfanden. Daran anschließend (s. Kap. 3.4.2) werden Cluster-Läufe mit der prototypischen Version von *DeepHousehold* beschrieben, ehe Kapitel 3.4.3 auf ausgewählte Läufe mit der lokalen Version von *DeepHousehold* eingeht.

#### **3.4.1 Cluster-Läufe mit dem *Household*-Modell**

Mit dem flachen *Household*-Modell fand im Winter 2004/2005 ein gekoppelter Referenzlauf statt, in dem das gesamte DANUBIA-System mit allen Teilmodellen lief. Es wurden fünf Jahre aus der jüngeren Vergangenheit (Februar 1995-Januar 2000) simuliert.

Die Ergebnisauswertung zeigte, dass das *Household*-Modell den Wasserverbrauch privater Haushalte und die damit zusammenhängenden Annahmen sehr gut abbildet. Der gesamte Wasserverbrauch privater Haushalte im Einzugsgebiet wurde mit einem Fehler von weniger als 1% abgebildet. Somit konnten die Ergebnisse des Referenzlaufs ohne Einschränkung als sehr gut bezeichnet werden.

Darüber hinaus fanden im Dezember 2004 zwei Testläufe statt, die nach zwei normalen Jahren drei besonders nasse (Szenario 1), bzw. besonders trockene Jahre (Szenario 2) enthielten. Auch hier zeigte sich, dass das *Household*-Modell auf die entsprechenden Rahmenbedingungen reagierte und sehr gute Ergebnisse lieferte.

#### **3.4.2 Cluster-Läufe mit dem Modell *DeepHousehold***

Eine erste Überprüfung der prototypischen Version des aktorsbasierten *DeepHousehold* Modells (mit zwei Milieus sowie zwei Wassernutzungsarten) fand in Form von mehreren gekoppelten Läufen mit dem Teilprojekt *WaterSupply* statt. Die Ergebnisse der Läufe konnten für beide Modelle ohne Einschränkung als sehr gut bezeichnet werden; sie wurden auf der GLOWA-Statuskonferenz im Mai 2005 vorgestellt.

Im Februar/März 2006 fand auf dem Münchner Cluster ein Simulationslauf mit den damals aktuellen Modell-Versionen aller Teilprojekte statt, der die Modelljahre 2000-2036 umfasste. 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 Lauf diente ebenfalls als Validierung für das Modell *DeepHousehold*. Als Validierungsjahr wurde 2001 ausgewählt. Zum einen lagen für dieses Jahr statistische Verbrauchs-

daten vor, zum anderen wurde ein möglichst frühes Validierungsjahr gewählt, um Einflüsse des Trockenheitsszenarios ausschließen zu können. Die summarische Validierung des Wasserbedarfs für das gesamte Einzugsgebiet ergab eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den vom Modell errechneten und den statistischen Daten. *DeepHousehold* überschätzte den Wasserbedarf um 1,1%. Die Validierung der Verbrauchsanteile der einzelnen Wassernutzungsarten am Gesamt-Wasserbedarf gestaltete sich schwierig, da in der Literatur die Nutzungsarten nicht einheitlich ausgewiesen sind (vgl. ABKE 2001; Forum Trinkwasser), bzw. sich andere Kategorienbildungen finden. Obwohl das Modell einige Nutzungsarten unter- (Wäschewaschen, Geschirrspülen), andere Nutzungsarten etwas überschätzte (Duschen, Baden, Zähne putzen, Händewaschen), konnten die Ergebnisse zunächst als befriedigend bezeichnet werden. Eine weitere Verbesserung des Modells erfolgte durch die Implementation der empirisch gewonnenen gewohnheitsbezogenen Wassernutzungen.

Die Auswertung der Ergebnisse des Szenariolaufs konnten - unter Berücksichtigung des damaligen Stands des Modells - ebenfalls als gut bezeichnet werden. Das Modell reagierte plausibel auf die Treiber des Szenarios: Wassersparende Innovationen breiten sich aus und die Haushalte reagieren adäquat auf die Signale der Wasserversorger (Quantitätsflaggen).

Eine ausführlichere Beschreibung der Läufe findet sich im Jahresbericht 2006 des Teilprojekts Umweltpsychologie.

### **3.4.3 Lokale Läufe mit dem Modell *DeepHousehold***

Um die kontinuierliche Weiterentwicklung von *DeepHousehold* zu ermöglichen, wurde eine sog. lokale Version entwickelt (vgl. Kap. 3.3.2.2). Mit Hilfe von *TooDaReD* können die Testläufe zeitnah ausgewertet werden. Das macht die lokale Testumgebung zu einem geeigneten Instrument, um das Modell zu kalibrieren und validieren und damit kontinuierlich zu verbessern. Zunächst werden in Kapitel 3.4.3.1 die Möglichkeiten für verschiedene Läufe mit *DeepHousehold* beschrieben. Daran anschließend werden in Kapitel 3.4.3.2 zwei Läufe beschrieben und Möglichkeiten der Ergebnisdarstellung vorgestellt.

#### **3.4.3.1 Möglichkeiten für Läufe mit dem Modell *DeepHousehold***

Die Möglichkeiten von *DeepHousehold* umfassen zunächst die Berechnung des Gesamtwasserverbrauchs im Einzugsgebiet. Durch die räumliche Verortung der einzelnen Milieus auf den jeweiligen Proxeln können darüber hinaus räumlich differenzierte Aussagen zur Entwicklung des Wasserverbrauchs gemacht werden. Durch die Kombination unterschiedlicher Szenarien (auch Preisszenarien wären möglich) mit den Profilen der Milieugruppen ergeben sich jeweils unterschiedliche Verläufe. Noch eindrücklicher gestaltet sich dies bei der Ausbreitung von Innovationen. Diese verläuft für die einzelnen Milieus (und je nach Szenario) unterschiedlich. Diese dynamischen Prozesse lassen sich auf verschiedene Weise visualisieren. Je nach Fragestellung und gewünschtem Auflösungsgrad können jeweils Gesamtwerte (für Wasserverbrauch bzw. Duschköpfe) oder aber Untersummen angezeigt und visualisiert werden, aufgeschlüsselt nach Milieu (für Wasserverbrauch bzw. Duschköpfe).

All diese Berechnungen können mithilfe der Testumgebung lokal am hiesigen Cluster durchgeführt werden.

Die Kombinationsmöglichkeiten von Szenarien können eine nur noch schwer zu durchschauende Komplexität erreichen. Abbildung 6 stellt die bisher möglichen Szenarien graphisch als Baumdiagramm dar.

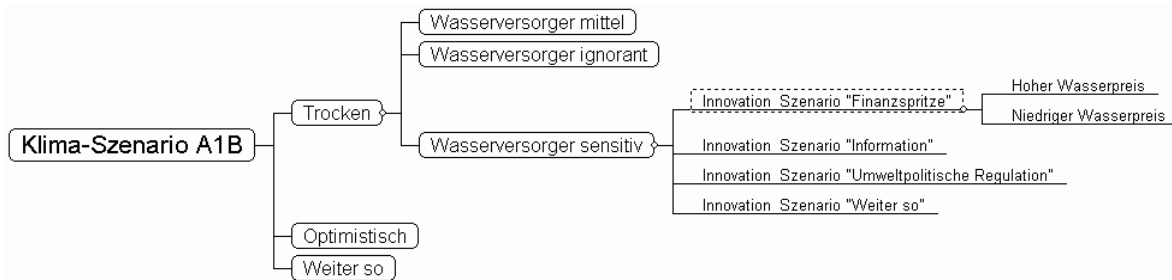


Abb. 6: Baumdiagramm der bislang mit *DeepHousehold* möglichen Szenarien

Als Grundlage dient das Klimaszenario A1B, von welchem direkt für *DeepHousehold* die Lufttemperatur relevant ist. Hierzu können die im ras-Format vorliegenden Jahresdaten in die vom Modell verwendeten monatlichen ddat-Dateien konvertiert werden (vgl. 3.3.4). Alle anderen Eingangsdaten werden von *WaterSupply* geliefert (Wasserpreis, der bisher konstant ist und die Quantitätsflaggen). Die drei Wasserversorgerszenarien (mittel, ignorant, sensitiv) wurden auch mit den beiden anderen Klimaszenarien „Optimistisch“ und „Weiter so“ kombiniert, so dass grundsätzlich 9 verschiedene Szenarioansätze zugrunde gelegt werden können. Weiterhin können die unterschiedlichen Policyszenarien vom Innovationsmodul umgesetzt werden. Denkbar ist bei einem dynamischen Wasserpreis auch eine Kombination mit unterschiedlicher Preisentwicklung. Dies konnte bisher allerdings noch nicht realisiert werden, da das Modell von *Economy* noch nicht vorliegt.

### 3.4.3.2 Beispiele für Läufe *DeepHousehold*: Szenariobeschreibung, Ergebnisauswertung und -darstellung

Im Folgenden werden kurz zwei Beispiele für Läufe angeführt und verschiedene Formen der Ergebnisdarstellung exemplarisch beschrieben.

#### Ausbreitung des wassersparenden Duschkopfes

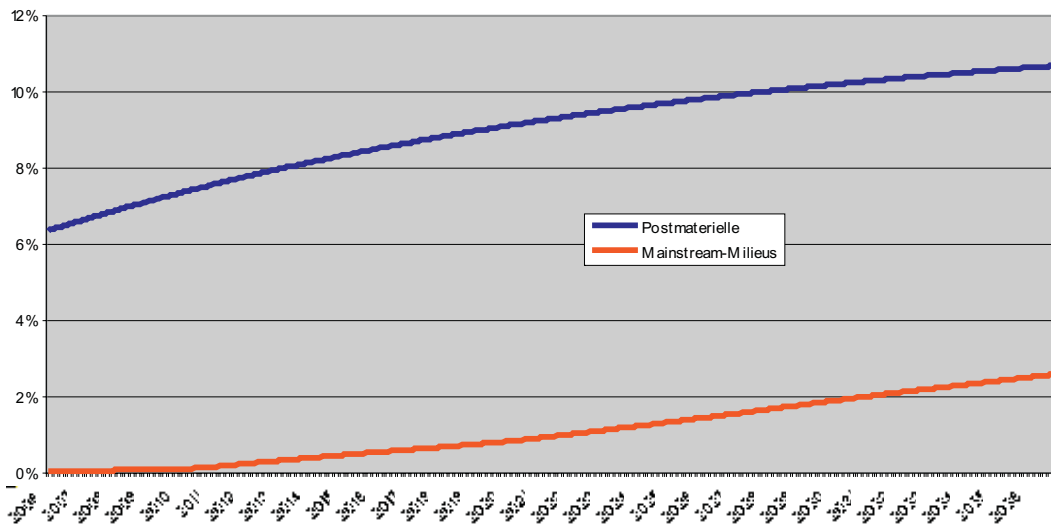


Abb. 7: Ausbreitung des wassersparenden Duschkopfes bei zwei unterschiedlichen Milieu-Gruppen über einen Zeitraum von 30 Jahren bei einem angenommenen Trockenszenario

Abbildung 7 zeigt die Ausbreitung der Innovation *wassersparender Duschkopf* für das Milieu der Postmateriellen sowie die Milieugruppe der Mainstream-Milieus über 30 Jahre (2006-2036). Das zugrunde liegende Szenario war das sog. „Trocken“-Szenario vom Teilprojekt *WaterSupply* mit angenommenen sensitiven Wasserversorgern. Das bedeutet, dass hier ein Extremszenario zugrunde gelegt wurde, in dem nicht nur starke Trockenheit herrscht (geringer Niederschlag), sondern auch die Wasserversorger sehr sensitiv auf diese Trockenheit

reagieren. Damit ergeben sich viele Quantitätsflaggen, was wiederum die Ausbreitung der Innovationen beflügelt und die unterschiedliche Ausbreitung in den Milieus sehr deutlich macht. Der unterschiedliche Ausgangswert sowie der unterschiedlich verlaufende Anstieg sind u.a. darauf zurückzuführen, dass der postmaterielle Akteur im Vergleich zum Mainstream-Akteur in seinem Profil höhere Werte bei den Attributen Modernität und Umweltbewusstsein besitzt (vgl. Kap. 3.2.4.3 und 3.2.4.8).

Abbildung 8 zeigt die räumliche Verteilung von 2-Mengen-Toilettenspülungen in den Jahren 2034 und 2036 auf der gesamten Fläche des Einzugsgebiet für alle *DeepHousehold*-Akteure (Milieugruppen).

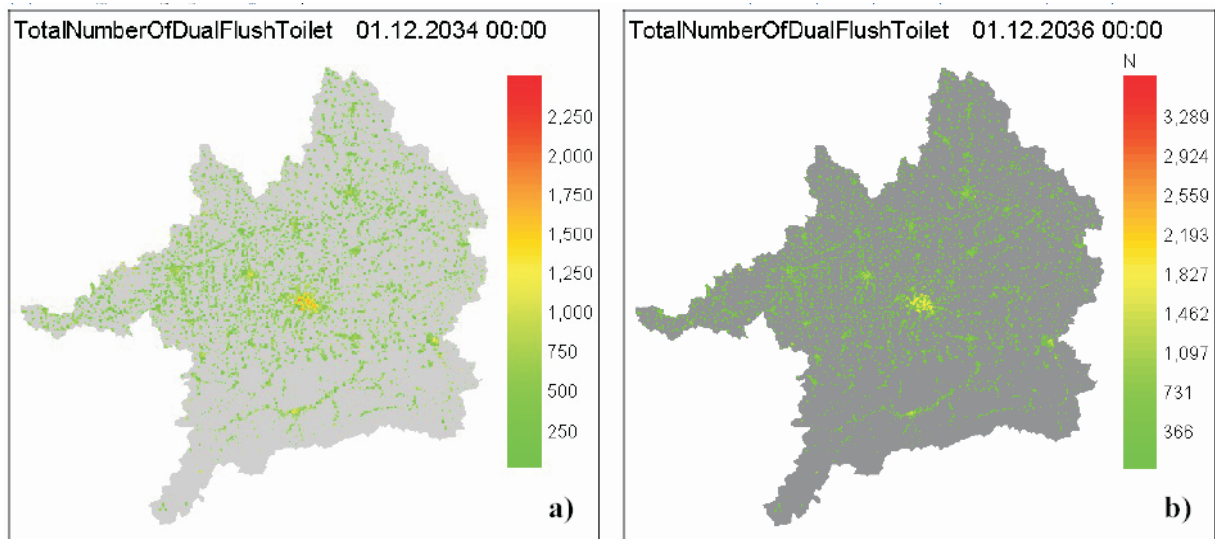


Abb. 8: Räumliche Verteilung von 2-Mengen-Toilettenspülungen im Jahr 2034 (a), bzw. 2036 (b) für das gesamte Einzugsgebiet für alle Milieugruppen

Das zugrunde liegende Szenario war das sog. „Weiter so“-Szenario vom Teilprojekt *Water-Supply* mit angenommenen ignoranten Wasserversorgern. Damit handelt es sich um ein eher moderates Klimaszenario, das den Trend der letzten Jahre fortführt. Als Konsequenz reagieren die Wasserversorger nicht sehr sensitiv und geben wenige Flaggen heraus.

Eine zusätzliche, besondere Darstellungsform, die der räumlichen und zeitlichen Dynamik des Modells gerecht wird, sind Filme, die z.B. dazu dienen, die Reaktion ausgewählter Milieugruppen auf Temperaturänderungen im jahreszeitlichen Verlauf oder auch die Reaktion auf Quantitätsflaggen zu zeigen. Diese Darstellungsform wird insbesondere bei Vorträgen verwendet.

## 4. Zusammenfassende Bewertung und Ausblick

### 4.1 Stand und Bewertung der Entwicklung

In Hinblick auf die im Antrag für die zweite Förderphase formulierten Ziele lässt sich festhalten, dass das Prozessmodell *DeepHousehold* für zehn Wassernutzungsarten im Haushalt mit insgesamt fünf Akteuren vollständig implementiert wurde. Dabei wurde das Modell in wesentlichen Punkten sowohl inhaltlich als auch technisch erweitert und verbessert.

Auf der inhaltlichen Seite fanden zum einen weitere empirische Untersuchungen zur realistischen Untermauerung der in *DeepHousehold* enthaltenen Komponenten statt. Mit dem Innovationsmodul wurde zum anderen ein neues Teilmodell hinzugefügt, das den Entscheidungsprozess und damit verbunden die Ausbreitung von drei verschiedenen Wassernutzungsinnovationen für die fünf Akteure psychologisch plausibel modelliert.



Auf der technischen Seite wurde *DeepHousehold* vor allem hinsichtlich der teilprojektinternen Benutzung erweitert und verbessert. Szenarien können generiert und analysiert werden, Kalibrationsläufe kurzfristig durchgeführt, Daten und selbst große Datensätze mit Hilfe des Programms *TooDaReD* innerhalb relativ kurzer Zeit ausgewertet werden. Diese Verbesserungen boten dem Teilprojekt die Möglichkeit zahlreicher inhaltliche Tests und Ergebnisdiskussionen.

Die ebenfalls im Antrag formulierten Ziele der zweiten Projektphase „(Mit-)Entwicklung und (Mit-)Implementierung einer unifizierten Akteursarchitektur“ sowie die „Erweiterung des betrachteten Einzugsgebiets und der Datengrundlage“ wurden bereits zu einem frühen Zeitpunkt der Förderphase verwirklicht, bzw. in Teilbereichen (Erweiterung der Datengrundlage) fortgesetzt.

Das Teilziel der Qualitätssicherung wurde insofern verwirklicht, als dass eine Datenerweiterung in Hinblick auf die Ergebnisvalidierung stattfand und die Benutzbarkeit von *DeepHousehold* wesentlich verbessert wurde. Eine im Berichtszeitraum durchgeführte Literatursichtung ergab, dass eine Fehlerbestimmung bei regelbasierten Modellen bislang nicht beforscht wurde. Aus diesem Grund wurde die Qualitätssicherung hinsichtlich des Modells als großer zu bearbeitender Punkt in die dritte Förderphase verlegt.

## **4.2 Ausblick auf die dritte Förderphase**

Durch die im Berichtszeitraum erbrachten Verbesserungen und Erweiterungen, insbesondere dem Innovationsmodul und der Netzwerke, wurde eine gute Basis für kommende Berechnungen und Modellergänzungen geschaffen. Für die dritte Förderphase werden unter anderem die Risikowahrnehmung und die Gewohnheitsveränderung der Akteure ins Modell integriert: Dies dient als Grundlage zur Entwicklung von psychologisch-sozialen Indikatoren der Zufriedenheit und Risikowahrnehmung sowie von Leitwerten wasserbezogener sozialer Nachhaltigkeit. Diese Weiterentwicklungen werden im Rahmen integrativer Szenarien angewendet und getestet.

Angestrebt wird außerdem die weiterführende Validierung des Teilmodells und damit verbunden die Entwicklung von Unsicherheitsanalysemethoden.

Ein weiteres großes Ziel der dritten Förderphase ist die Bekanntmachung der wissenschaftlichen Erkenntnisse des Projekts, welches einerseits durch Veröffentlichungen in Fachartikeln sowie Konferenzbeiträgen, andererseits durch Bereitstellung der Programme als Open Source angestrebt wird.

Ein wesentlicher Schritt zur Verwirklichung des angestrebten Bekanntheits- und Verwendungsgrades von DANUBIA ist die anwenderfreundliche Bedienung des Programms. Das beinhaltet eine angemessene und flexible Visualisierung der Ergebnisse, eine einfache Setzung und Änderung der Rahmenparameter zur Erstellung eines Szenarios. Dieses Teilziel wird sowohl in enger Zusammenarbeit mit den *Stakeholdern* als auch mit anderen Teilprojekten angestrebt, wobei hier insbesondere das Teilprojekt Informatik (Henniker) zu nennen ist.

Darüber hinaus wird die Zusammenarbeit mit SinusSociovision, die in Phase II begann, in Phase III fortgesetzt. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die Analyse gesellschaftlicher Trends und Entwicklungen gelegt, um auf diese Weise zu plausiblen Szenarien zu gelangen.

## 5. Literatur

- ABKE, W. (2001): Wasserversorgung. In: LECHER, K., LÜHR, H.-P. und ZANKE, U.C.E. (Hrsg.), Taschenbuch der Wasserwirtschaft (8., völlig Neubearb. Aufl.). Berlin: Parey.
- AJZEN, I. (1991): The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50, S. 179-211.
- 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. (Eds.) (1999): *Online Research*. Göttingen: Hogrefe.
- BÖHM, G. (2007): Mental Models about global change events. 7th Biennial Conference on Environmental Psychology, Bayreuth
- BOSTROM, A., MORGAN, M. G., FISCHHOFF, B. und READ, D. (1994): What Do People Know About Global Climate-Change.1. Mental Models. *Risk Analysis*, 14(6), S. 959-970.
- BRASHERS, D.E. (2001): Communication and uncertainty management. *Journal Of Communication*, 51(3), S. 477-497.
- DILLON, A. und MORRIS, M.G. (1996): User acceptance of information technology: Theories and models. *Annual Review of Information Science and Technology*, 31, S. 3-32.
- ETKIN, D. und HO, E. (2007): Climate Change: Perceptions and Discourses of Risk. *Journal of Risk Research*, 10(5), S. 623-641.
- FAGIOLO, G., WINDRUM, P. und MONETA, A. (2006): Empirical validation of agent-based models: A critical survey. Pisa: Laboratory of Economics and Management. URL: <http://www.lem.sssup.it/WPLem/files/2006-14.pdf> (abgerufen am 20.12. 2006).
- FORUM TRINKWASSER (o.J.): Trinkwasser als Lebensmittel - Verwendung im Haushalt. URL: [http://www.forum-trinkwasser.de/trinkwasseralslebensmittel/verwendung\\_gimhaushalt.html](http://www.forum-trinkwasser.de/trinkwasseralslebensmittel/verwendung_gimhaushalt.html) (abgerufen am 27.09.2007)
- FUCHS, R. (1994): Änderungsdruck als motivationales Konstrukt: Überprüfung verschiedener Modelle zur Vorhersage gesundheitspräventiver Handlungen. *Zeitschrift für Sozialpsychologie*, 25(2), S. 95-107.
- GfK-Gesellschaft für Konsumforschung (2004): *Baden und Duschen in Deutschland 2004*. Zur Verfügung gestellt von Grohe AG.
- GfK-Gesellschaft für Konsumforschung (2006): *Sanitärstudie 2006: Eine schriftliche Befragung bei 2.000 repräsentativ ausgewählten privaten deutschen Haushalten*. Zur Verfügung gestellt von Vereinigung Deutsche Sanitärwirtschaft e.V.
- GIGERENZER, G., TODD, P. A. und ABC-RESEARCH-GROUP (1999): *Simple heuristics that make us smart*. New York: Oxford University Press.
- GILBERT, N. und TROITZSCH, K. (2005): *Simulation for the social scientist* (2. Auflage). Berkshire: Open University Press.
- GOTTLIEB, D.A., WEISS, T. und CHAPMAN, G.B. (2007): The Format in Which Uncertainty Information Is Presented Affects Decision Biases. *Psychological Science*, 18(3), S. 240-246.
- JOHNSON, B.B. (1999): Trust judgements in complex hazard management systems: The potential role of concepts of the system. In: CVETKOVICH, G. und LÖFSTEDT, R.E. (Eds.), *Social trust and the management of risk*. London: Earthscan, S. 62-72.

- JOIREMAN, J.A., LASANE, T.P., BENNETT, J., RICHARDS, D. und SOLAIMANI, S. (2001): Integrating social value orientation and the consideration of future consequences within the extended norm activation model of proenvironmental behaviour. *British Journal Of Social Psychology*, 40, S. 133-155.
- JUNGERMANN, H. (1996): Risikoeinschätzung. In: KRUSE, L., GRAUMANN, C.-F. und LANTERMANN, H. (Eds.), *Ökologische Psychologie. Ein Handbuch in Schlüsselbegriffen*. München: Psychologie Verlags Union, S. 293-300.
- KEMPTON, W. (1997): How the public viEWS CLIMATE CHANGE. *ENVIRONMENT*, 39(9), S. 12-21.
- LANTERMANN, E.-D., DÖRING-SEIPEL, E. und SCHIMA, P. (1992): Werte, Gefühle und Unbestimmtheit: Kognitiv-emotionale Wechselwirkungen im Umgang mit einem ökologischen System. In: PAWLIK, K. und STAPF, K.H. (Eds.), *Umwelt und Verhalten* (S. 129-144). Bern: Huber.
- LEISEROWITZ, A.A. (2003, December 7-10): Affective imagery and risk perceptions of global climate change. Paper presented at the Society for Risk Analysis Annual Meeting, Baltimore, MD.
- MACY, M. und WILLER, R. (2002): From Factors to Actors: Computational Sociology and Agent-Based Modeling. *Annual Review of Sociology*, 28, S. 143-166.
- MALKOC, S. A., ZAUBERMAN, G. und ULU, C. (2005): Consuming now or later? The interactive effect of timing and attribute alignability. *Psychological Science*, 16(5), S. 411-417.
- MALL GmbH (2006): Pressemitteilung: Wirtschaftsfaktor Regenwasser. URL: <http://mall.info/Pressemitteilung-Wirtschaftsfa.7110.0.html> (abgerufen am 20.12. 2006).
- MILFONT, T.L. und GOUVEIA, V.V. (2006): Time perspective and values: An exploratory study of their relations to environmental attitudes. *Journal Of Environmental Psychology*, 26(1), S. 72-82.
- MÜLLER-ROMMEL, F. (2001): Einführung in die Sozialwissenschaftliche Umweltforschung. In: MÜLLER-ROMMEL, Berlin u.a.: Springer, S. 1-20.
- MUTSCHMANN, J. und STIMMELMAYR, F. (2002): Taschenbuch der Wasserversorgung, Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn.
- PAWLIK, K. (1991): The psychology of global environmental change: Some basic data and an agenda for cooperative international research. *International Journal of Psychology*, 26(5), S. 547-563.
- SCHEELE, B. und GROEBEN, N. (1988): Dialog-Konsens-Methoden zur Rekonstruktion subjektiver Theorien. Tübingen: Francke.
- SEACREST, S., KUZELKA, R. und LEONARD, R. (2000): Global climate change and public perception: The challenge of translation. *Journal Of The American Water Resources Association*, 36(2), S. 253-263.
- SIEGRIST, M. und GUTSCHER, H. (2006): Flooding risks: A comparison of lay people's perceptions and expert's assessments in Switzerland. *Risk Analysis*, 26(4), S. 971-979.
- SINUS SOCIOVISION (2003): Die Sinus-Milieus® in Deutschland 2003. Informationen zum Forschungsansatz und zu den Milieu-Zielgruppen. Sinus Sociovision GmbH, Heidelberg.
- SINUS SOCIOVISION (2005): Die Sinus-Milieus® in Deutschland 2005. Informationen zum Forschungsansatz und zu den Milieu-Zielgruppen. Sinus Sociovision GmbH, Heidelberg.

- SJÖBERG, L. (2006). Myths of the psychometric paradigm and how they can misinform risk communication, Risk Perception and Communication Consultation Technical Meeting. Venice, Island of San Servolo: World Health Organization Regional Office for Europe.
- SLOVIC, P., FINUCANE, M.L., PETERS, E. und MacGREGOR, D.G. (2004): Risk as analysis and risk as feelings: Some thoughts about affect, reason, risk, and rationality. *Risk Analysis*, 24(2), S. 311-322.
- STERN, P.C., DIETZ, T. und KALOF, L. (1993): Value Orientations, Gender, and Environmental Concern. *Environment and Behavior*, 25(5), S. 322-348.
- STRATHMAN, A., GLEICHER, F., BONINGER, D.S. und EDWARDS, C.S. (1994): The Consideration Of Future Consequences - Weighing Immediate And Distant Outcomes Of Behavior. *Journal Of Personality And Social Psychology*, 66(4), S. 742-752.
- SUNDBLAD, E.-L., BIEL, A. und GARLING, T. (2007): Cognitive and affective risk judgements related to climate change. *Journal of Environmental Psychology*, 27(2), 97 S.
- SVENSON, O. und KARLSSON, G. (1989): Decision-making, time horizons, and risk in the very long-term perspective. *Risk Analysis*, 9(3), S. 385-399.
- TRIANDIS, H.C. (1980): Values, attitudes, and interpersonal behavior. In: HERBERT, J. and HOWE, E. (Eds.), *Beliefs, attitudes, and values / Nebraska Symposium on Motivation 1979*. Lincoln: University of Nebraska Press.
- UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.). (2006): Was Sie über Vorsorgenden Hochwasserschutz wissen sollten. Dessau.
- VERPLANKEN, B. und FAES, S. (1999): Good intentions, bad habits, and effects of forming implementation intentions on healthy eating. *European Journal of Social Psychology*, 29(5-6), S. 591-604.
- 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.
- VERPLANKEN, B. und WOOD, W. (2006): Interventions to break and create consumer habits. *Journal of Public Policy & Marketing*, 25(1), S. 90-103.
- VISCUSI, W.K. und ZECKHAUSER, R.J. (2006)L: The perception and valuation of the risks of climate change: A rational and behavioral blend. *Climatic Change*, 77(1-2), S. 151-177.
- VISHWANATH, A. und GOLDHABER, G.M. (2003)L: An examination of the factors contributing to adoption decisions among late-diffused technology products. *New Media & Society*, 5(4), S. 547-572.
- WATTS, D. und STROGATZ, S. (1998): Collective dynamics of 'small world' networks. *Nature*, 393, S. 440-442.
- WOLFF, M. (2003): Hochwasserrisiko im mittleren Neckarraum., PIK-Report Nr. 85. Potsdam: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung.
- 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.
- WOOD, W., TAM, L. und GUERRERO WITT, M. (2005). Changing circumstances, disrupting habits. *Journal of Personality and Social Psychology*, 88(6), 918 S.

## 6. Anhang

### **Anhang A: Vollständige URL-Adressen der Webdarstellung des Teilprojekts Umweltpsychologie**

Vorstellung des Teilprojekts auf der Seite von GLOWA-Danube:

[http://glowa-danube.de/Partners/taetigkeitsberichte/Kurz\\_GLOWA\\_TeilPsych\\_d.pdf](http://glowa-danube.de/Partners/taetigkeitsberichte/Kurz_GLOWA_TeilPsych_d.pdf)

[http://glowa-danube.de/Partners/taetigkeitsberichte/Kurz\\_GLOWA\\_TeilPsych\\_d.pdf](http://glowa-danube.de/Partners/taetigkeitsberichte/Kurz_GLOWA_TeilPsych_d.pdf)

Vorstellung von GLOWA-Danube und der Arbeit des Teilprojektes auf der Seite vom Center for Environmental Systems Research der Universität Kassel:

[http://www.usf.uni-kassel.de/cesr/index.php?option=com\\_project&Itemid=143&task=view\\_detail&agid=17&lang=de](http://www.usf.uni-kassel.de/cesr/index.php?option=com_project&Itemid=143&task=view_detail&agid=17&lang=de)

[http://www.usf.uni-kassel.de/cesr/index.php?option=com\\_project&Itemid=143&task=view\\_detail&agid=17&lang=de](http://www.usf.uni-kassel.de/cesr/index.php?option=com_project&Itemid=143&task=view_detail&agid=17&lang=de)



## Anhang B: Graphische Darstellung des Entscheidungsprozesses eines Akteurs in *DeepHousehold*

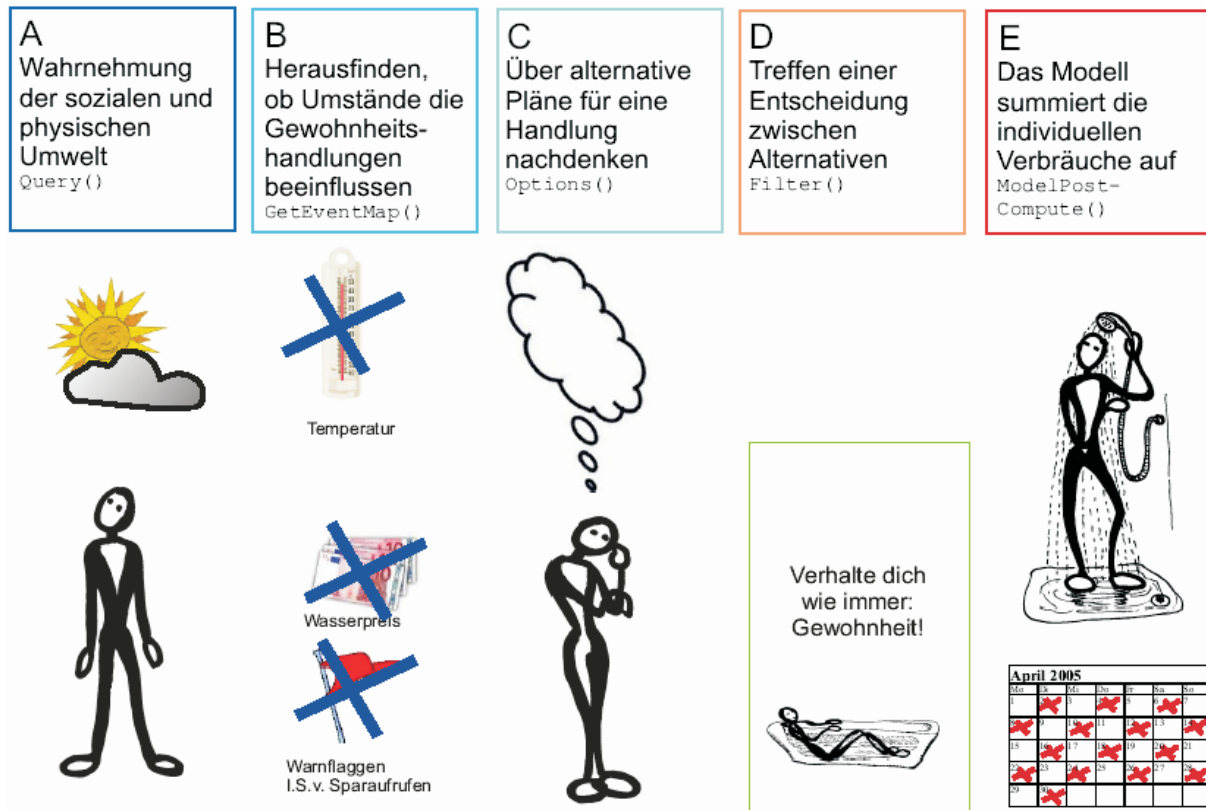


Abb. 9: Schematische Darstellung des Entscheidungsprozesses eines Akteurs im Modell *DeepHousehold* - Gewohnheitsverhalten.

Im gezeigten Beispiel beobachtet der Akteur seine soziale und physische Umwelt (A) und stellt keinerlei außergewöhnliche Vorkommnisse fest (B). Die Vorkommnisse können z.B. eine hohe Temperatur, eine Veränderung beim Wasserpreis oder eine Warnflagge, die vom Akteur i.S.v. Sparrufen durch die Medien interpretiert wird, sein. Da diese nicht vorliegen, hat der Akteur keinen Grund über alternative Pläne für seine Handlungen nachzudenken (C) und er verhält wie sonst, d.h. er folgt seinen Gewohnheiten (D). Im letzten Schritt summiert das Modell die individuellen Verbräuche auf (E). Im vorliegenden Beispiel duscht der Akteur wie sonst auch jeden zweiten Tag.

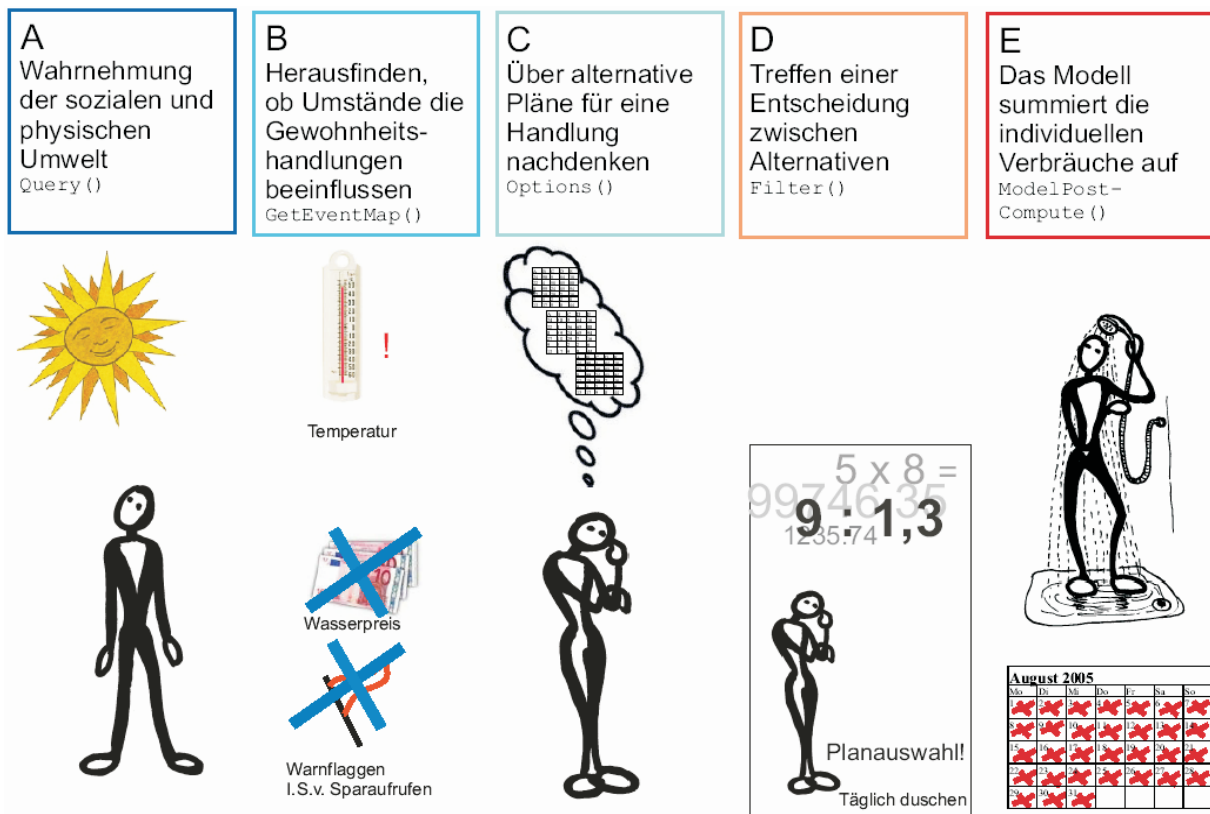


Abb. 10: Schematische Darstellung des Entscheidungsprozesses eines Akteurs im Modell *DeepHousehold* - Temperaturereignis

In diesem Fall bemerkt der Akteur bei der Wahrnehmung seiner sozialen und physischen Umwelt (A), dass die Temperatur sehr hoch ist (B). Eine Veränderung beim Wasserpreis oder eine Warnflagge, die vom Akteur i.S.v. Sparrufen durch die Medien interpretiert wird, liegen dagegen nicht vor. Dies führt beim Akteur dazu, dass er nicht wie sonst üblich eine Gewohnheitshandlung durchführt, sondern bewusst über alternative Pläne für eine Handlung nachdenkt (C). Im vorliegenden Beispiel führt die Situation dazu, dass sich der Akteur für den Plan täglich Duschen entscheidet (D). Im letzten Schritt summiert das Modell die individuellen Verbräuche auf (E). Im Beispiel duscht der Akteur wegen der hohen Temperatur jeden Tag.

## Anhang C : UML der Pläne in DeepHousehold

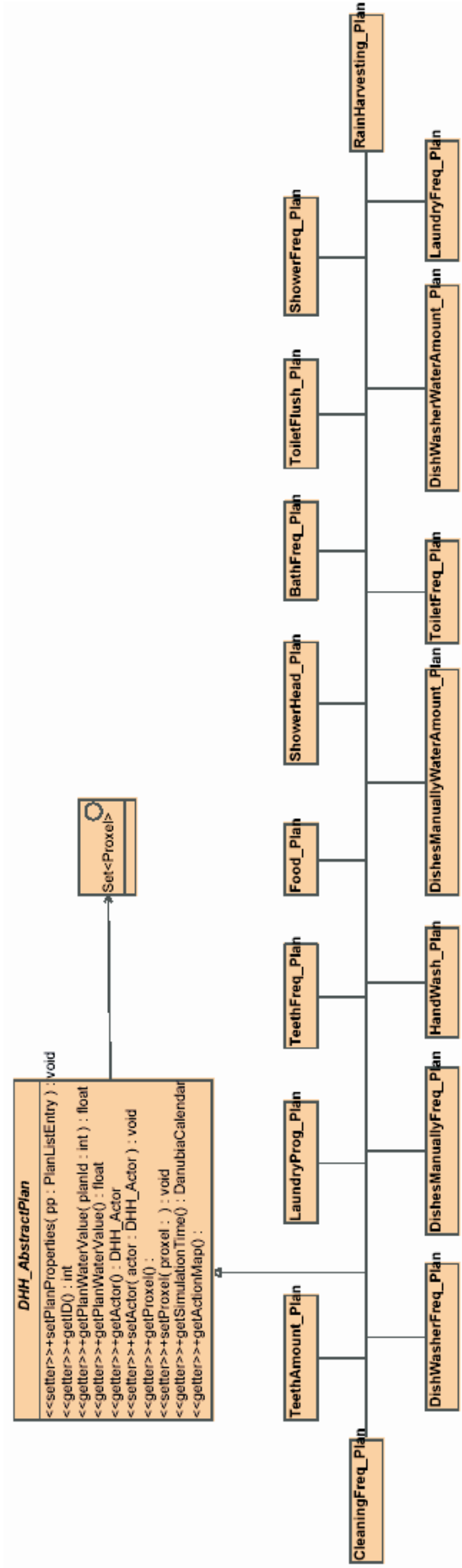


Abb. 11: Übersicht über die Pläne zu den Nutzungsarten

Alle Pläne erben von der abstrakten Klasse *DHH\_AbstractPlan* aus dem *Framework*. Da sich die Akteure von *DeepHousehold* nur auf einem Proxel befinden, wird die prozentuale Umsetzung der Pläne auf dem jeweiligen Proxel berechnet.



# Sozioökonomische Analyse und Modellierung von Wassernutzung und Landnutzung durch Landwirtschaft

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

## 1. Organisatorisches

### 1.1 Stellenbesetzung

Das Teilprojekt hat am 1. März 2004 seine Arbeit aufgenommen. Es wurden folgende Stellen besetzt:

- Dr. Tatjana Krimly Projektverwaltung, *Deep Actor* Konzept (3/2004-4/2005, 1/2006-2/2007)
- Dipl.-Ing. sc. agr. Alexander Wirsig Ökonomische Modellierung (6/2004-4/2007)
- Dipl.-Ing. sc. agr. Josef Apfelbeck Akteursmodellierung, Disaggregation (11/2005-04/2007)
- Dipl.-Ing. sc. agr. Martin Henseler: Ökonomische Modellierung (4/2005-12/2005)
- M.Sc. Marco Huigen: Programmierung und Implementierung *Deep Farm* Konzept (7/2006 - 4/2007)
- M.Sc. Marcelo Zarate: GIS, EDV, technische Modellintegration (3/2004-1/2006)

### 1.2 Anschaffungen

Es wurde Software (GIS-Lizenz, GAMS-Lizenz) und regionale agrarstatistische Daten für die Modellierung der Agenda 2000 sowie der Agrarreform 2004 für Bayern, Baden-Württemberg und Österreich beschafft.

### 1.3 Veröffentlichungen, Vorträge

#### 1.3.1 Vorträge

- 18.-19.05.2005 ACRE - an agro-economic production model on regional level. Presentation on the International Conference: Multifunctionality of Landscapes - Analysis, Evaluation, and Decision Support, Giessen (Germany), (Wirsig A., M. Henseler and Krimly, T.).
- 23.-26.06.2005 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), (Henseler M., Wirsig A. and Krimly, T.).



- 29.06.-02.07.2005 Introduction of ACRE: an agro-economic production model on regional level. International Conference on Policy Modeling (Eco-Mod2005), Istanbul (Turkey), (Henseler M., A. Wirsig and Krimly, T.) ([www.ecomod.net/conferences/ecomod2005/ecomod2005\\_papers.htm](http://www.ecomod.net/conferences/ecomod2005/ecomod2005_papers.htm)).
- 20.10.2005 Modellierung von Landnutzungsänderungen in der Landwirtschaft als Folge des Globalen Wandels. Präsentation auf dem GLOWA Stakeholder Workshop „Veränderung von Landnutzung und Wasserbedarf im Donaueinzugsgebiet unter Global Change Bedingungen“. Institut für Wirtschaftsforschung, Munich (Germany), (Dabbert S., Wirsig A. und Krimly, T.).
- 06.-08.03.2006 Anwendung des Regionalmodells ACRE in zwei interdisziplinären Projekten. Presentation on the 26th GIL-Jahrestagung, Potsdam (Germany), (Henseler, M., Wirsig, A. und Krimly, T.).
- 17.-19.05.2006 Analysis of Agricultural land use in Europe. „CarboEurope - Modelling the Management and Dynamics of Grass- and Croplands Across Scales“, Bayreuth Center for Ecology and Environmental Research (Bay-CEER), Universität Bayreuth, Bayreuth, (Wirsig, A., Bichler, B. and Apfelbeck, J.).
- 28.09.2006 Impact of Global Change on agricultural land use in the Austrian Upper Danube catchment - first results of ACRE-Danube. 16. Jahrestagung der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie (Ö-GA), Wien, (Wirsig, A., Henseler, M., Krimly, T. und Dabbert, S.).
- 15.02. 2007 Auswirkungen des Klimawandels auf die Landwirtschaft in Deutschland. Präsentation anlässlich des „Regensburger Biodiversitätstages 2007“. Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege, Regensburg (Dabbert, S. und Wirsig, A.).
- 02.04.07- 04.04.2007 The importance of spatial, temporal and social scales in Integrated modeling; simulating the effects of climatic change on district- and farm-level decision making in the Danube catchment area. 81st Annual Conference, AES (Agricultural Economics society); Reading (Apfelbeck, J., Huigen, M. und Krimly, T.).

### 1.3.2 Posterpräsentationen

- 17.-19.5.2005 Landuse and Agriculture. Poster presentation on the 2nd status conference of GLOWA, Cologne, (Schneider K., Dabbert S., Tenhunen J., Krimly T., Fiener P., Lenz V., Klar C., Scharfenberg H.-J., Wirsig A, Henseler M. and Zarate, M.) ([www.impetus.uni-koeln.de/glowa/index.php?lang=de&content=poster](http://www.impetus.uni-koeln.de/glowa/index.php?lang=de&content=poster)).
- 24.-27.08.2005 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, (Henseler, M., Wirsig, A. und Krimly, T.).

### 1.3.3 Veröffentlichungen

- HENSELER, M., WIRSIG, A., HERRMANN, S., KRIMLY, T. and DABBERT, S. (2007): Modelling the impact of global change on regional agricultural land use by an activity based non-linear programming approach. Agriculture, Ecosystems & Environment (in prep).
- HENSELER, M., WIRSIG, A. und KRIMLY, T. (2006): Anwendung des Regionalmodells ACRE in zwei interdisziplinären Projekten. In: WENKEL, K.-O., WAGNER, P., MORGENSTERN, LUZI, K. und EISERMANN, P. (Hrsg.): Land- und Ernährungswirtschaft im Wandel - Aufgaben und Herausforderungen für die Agrar- und Umweltinformatik, Proceedings of the 26th GIL-Jahrestagung, Potsdam (Germany), 06.-08.03.2006, GIL, Potsdam. S.101-104.
- PROBECK, M., COLGAN, A., KRIMLY, T., ZARATE, M. und SCHNEIDER, K. (2006): Landbedeckung und Landnutzung. In: GLOWA-Danube Projekt, Universität München (LMU)(Hrsg.): Global Change Atlas, Einzugsgebiet Obere Donau. GLOWA-Danube Projekt, Uni-versität 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., STOLL, M. und DABBERT, S. (2006): Landwirtschaft - Teilprojekt Agrarökonomie. In: GLOWA-Danube Projekt, Universität München (LMU) (Hrsg.): Global Change Atlas, Einzugsgebiet Obere Donau. GLOWA-Danube Projekt, Universität München.
- WIRSIG, A., KRIMLY, T. und DABBERT, S. (2006): Landwirtschaftliche Landnutzung und Trinkwasserbedarf. In: GLOWA-Danube Projekt, Universität München (LMU) (Hrsg.): Global Change Atlas, Einzugsgebiet Obere Donau. GLOWA-Danube Projekt, Uni-versität München.
- WIRSIG, A., HENSELER, M., KRIMLY, T. und DABBERT, S. (2006): Impact of Global Change on agricultural land use in the Austrian Upper Danube catchment - first results of ACRE-Danube. In: ÖGA (Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie) (Hrsg.): Ländliche Betriebe und Agrarökonomie auf neuen Pfaden. 16. Jahrestagung der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie vom 28.-29. September 2006. Tagungsband. Universität für Bodenkultur, Wien. S. 19-20.

### 1.3.4 Laufende Doktorarbeiten

- Alexander Wirsig      Impacts of Global Change on Regional Agricultural Land Use in the Upper Danube catchment. Universität Hohenheim (laufend).
- Josef Apfelbeck      Simulating the effects of climatic change and agro-political change on district and farm-level decision making in the Danube catchment area. (laufend).

## 2. Problemstellung und Zielsetzung

Landwirtschaftliche Aktivitäten tragen wesentlich zu Änderungen der Landnutzung bei und aufgrund zahlreicher Interaktionen beeinflusst die Landwirtschaft wichtige Umweltparameter in positiver als auch in negativer Richtung (VERBURG et al. 2000). Andererseits ist die landwirtschaftliche Nutzung von natürlichen Standortfaktoren abhängig, von denen sich nach Aussagen führender Klimaforscher einige in der Zukunft merklich ändern sollen. So wird beispielsweise für Süddeutschland erwartet, dass die sommerlichen Niederschläge zurückgehen und die winterlichen Niederschläge sowie die Wahrscheinlichkeit von Hoch-

wasserereignissen im Winterhalbjahr zunehmen werden (LUBW und LfU 2006). Neben den natürlichen Bedingungen haben die geltenden agrarpolitischen und sozioökonomischen Rahmenbedingungen einen ganz wesentlichen Einfluss auf das Entscheidungsverhalten im landwirtschaftlichen Sektor.

Ziel des agrarökonomischen Teilprojektes in „GLOWA-Danube“ ist es daher, Informationen zu möglichen Änderungen des landwirtschaftlichen Einkommens sowie der Land- und Wassernutzung in der Landwirtschaft aufgrund unterschiedlicher Szenarien (Politik, Global Change) zu liefern. Hierfür wurde ein zweistufiges Modellkonzept entwickelt, das das Entscheidungsverhalten der Landwirtschaft abbilden soll: a) ein prozessorientiertes agrarökonomisches Sektormodell, das auf Landkreisebene die Anbauplanung der Landwirtschaft für das kommende Wirtschaftsjahr kalkuliert und b) das *DeepFarming*-Modell, das auf der Grundlage dieser Planvorgabe auf Proxelebene die täglichen Managemententscheidungen unterschiedliche Farm Systeme (Agenten) abbildet. Der Modellkomplex bildet die Interaktionen zwischen hydrologischen Anforderungen und ökonomischen und politischen Bedingungen in der Landwirtschaft im Donau-Einzugsgebiet ab, ermöglicht deren Analyse und Bewertung und tauscht wichtige Parameter mit anderen Teilmodellen aus. Für die täglichen Managemententscheidungen in der Landwirtschaft spielen die natürlichen Bedingungen (z.B. Niederschlag, Bodentemperatur) sowie das Pflanzenwachstum eine wesentliche Rolle. Der erzielte Ertrag beeinflusst die weitere Planung der Landwirte. Es besteht daher eine sehr enge Zusammenarbeit und Verknüpfung mit dem Pflanzenwachstumsmodell der Arbeitsgruppe Agrarökologie. Insgesamt liefert der Modellkomplex der Arbeitsgruppe Agrarökonomie einen wichtigen Baustein für das integrierte Entscheidungsunterstützungssystem DANUBIA.

### **3. Schaffung der Datengrundlage**

#### **3.1 Agrarstatistik**

Das Agrarsektormodell rechnete im Verlauf der ersten Projektphase mit den agrarpolitischen Rahmenbedingungen der Agrarreform 1992 des Basisjahres 1995. Um die im weiteren Zeitablauf geltenden 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 74 Regionshöfen (Landkreise/politische Bezirke) in Baden-Württemberg (BW), Bayern (BY) und Österreich (A) ermittelt und die agrarpolitischen Rahmenbedingungen bis zur Endphase der Agrarreform 2004 im Jahr 2013 zusammengestellt. Die Direktzahlungen der jeweils geltenden Agrarreform wurden von der Agrarreform 1992 über die Agenda 2000 bis hin zur aktuellen Agrarreform 2004 regional aufgeschlüsselt ermittelt. Des Weiteren wurden die obligatorischen Flächenstilllegungssätze, die Ausgleichszulagen in Gebieten mit ungünstigen natürlichen Standortbedingungen (BERNHARDS et al. 2003a, 2003b, BMLEF 2000c; BMLFUW 2004, 2006) sowie die Fördersätze der zur Reduzierung der Gewässerbelastung wichtigen Maßnahmen „Extensivierung von Grünland“ und „Winterbegrünung“ im Rahmen der regionalen Agrarumweltprogramme MEKA (Baden-Württemberg), KULAP (Bayern) und ÖPUL (Österreich) erfasst. 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, ermittelt. Zur Validierung der im Agrarsektormodell implementierten Agrarreform 2004 wurde eine Auswertung der durchschnittlichen Einheitlichen Betriebsprämie 2005 in Österreich angefordert (AMA 2006a).

Die jeweils gültigen Erzeugerpreise wurden anhand der im Statistischen Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten ausgewiesenen Indizes für Deutschland jährlich fortlaufend für 17 pflanzliche und 15 tierische Erzeugnisse ermittelt.

Für das *DeepFarming* Modell wurden zur Ableitung verschiedener Farm-Systeme mit einer charakteristischen Fruchtfolge statistische Daten von Bayern, Baden-Württemberg und Österreich aus dem Jahr 1995 herangezogen. Für die einzelnen Landkreise wurden Daten über die Anzahl der Betriebe, Betriebe mit unterschiedlicher Produktionsrichtung sowie der Anbauumfang der einzelnen Kulturen analysiert. Auf dieser Grundlage wurden für das GLOWA-Einzugsgebiet 28 verschiedene-Farm Systeme entwickelt.

### **3.2 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.

Der aktuelle Entwicklungszustand der Landnutzungsdaten in DANUBIA erlaubt nur eine Landnutzungs- bzw. Landbedeckungsklasse pro Proxel (1km<sup>2</sup>). In der Realität findet sich auf einer Fläche von 1km<sup>2</sup> jedoch eine Vielzahl von Klassen. Innerhalb des *DeepFarming*-Modells ist es zur Darstellung der Fruchtfolgen der Proxel basierten Farm Systeme erforderlich, dass mehrere Landnutzungen in Form unterschiedlicher Kulturarten pro Proxel ermöglicht werden. Eine *LandUse*-Komponente mit der subskalige Flächenanteile 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, wird von der Arbeitsgruppe Informatik entwickelt.

### **3.3 Lieferung von Basisdaten an andere Projekte**

Mit dem Projektpartner Agrarökologie wurden die Pflanzenentwicklungsstadien nach dem BBCH-Code (MEIER et al. 2001) der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft abgeglichen und auf eine gemeinsame Basis gestellt. Für die 17 modellierten Kulturen wurden die jeweiligen wichtigen Stadien zur Saat, Düngung und Ernte ermittelt und mit dem BBCH-Code verknüpft.

## **4. 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. 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) erstellt.

## 5. Modellarchitektur des Teilprojekts Agrarökonomie

Die Architektur der *DeepFarming*-Komponente des Teilprojekts Agrarökonomie zeigt Abbildung 1. Die *DeepFarming*-Komponente, die nach den Anforderungen der *subskaligen*, dynamischen *LandUse*-Komponente der Arbeitsgruppe Informatik konzipiert wurde, besteht generell aus zwei Teilmodellen: dem ökonomischen Agrarsektormodell ACRE und dem *DeepFarming*-Modell.

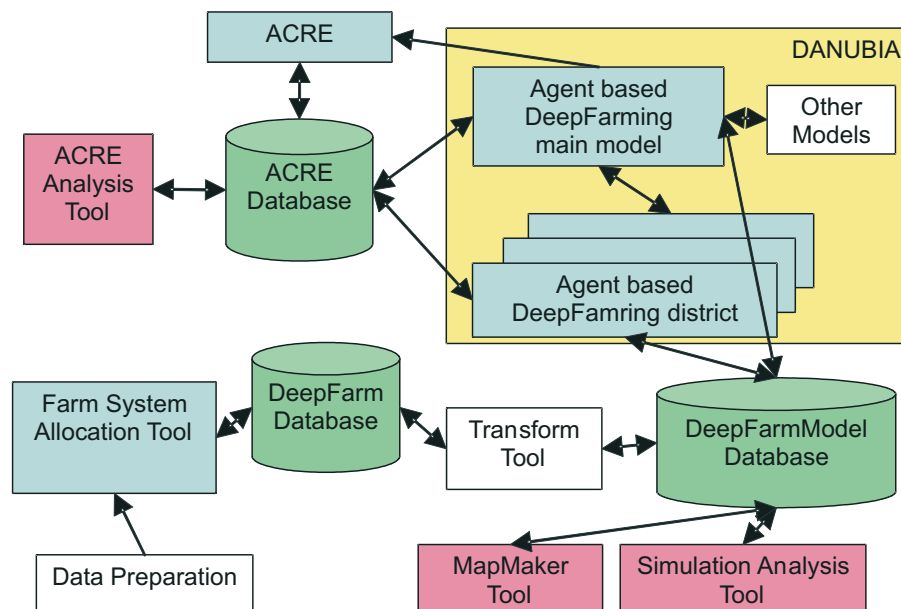


Abb. 1: Architektur der *DeepFarming*-Komponente (Quelle: Eigene Darstellung)

Das *DeepFarming*-Modell besteht aus einem Hauptmodell (*main model*) und sechs Teilmodellen (*district models*). Diese Modellkonzeption erlaubt verteilte Systemkalkulationen und erzielt dadurch eine höhere Rechenperformance. Die Teilmodelle wurden durch Gruppierung der Landkreise in sechs gleichgroße Kalkulationseinheiten eingeteilt, wobei sich die Größe einer Gruppe aus der Größe der Landkreise und dem darin jeweils vorhandenen Umfang an Aktionen bzw. Plänen bestimmt. Das Hauptmodell verknüpft die einzelnen Teilmodelle, ist deren Kommunikationsschnittstelle zur „Außenwelt“ und koordiniert alle Aktionen der Agenten. Modellinterne, JAV-basierte Datenbanken dienen zur Speicherung wichtiger Daten.

### 5.1 Modellspezifikationen

#### 5.1.1 Agrarsektormodell

##### Implementierung der GAP 2004 Reform

Das prozessanalytische Agrarsektormodell ACRE rechnete bislang mit den agrarpolitischen Rahmenbedingungen für das Basisjahr 1995. Zur Erhöhung der Prognosegüte wurden die in den modellierten Zeiträumen jeweils gültigen agrarpolitischen Rahmenbedingungen formuliert und schrittweise implementiert.

Zur Abbildung der Agrarreform 1992 (Zeitraum 1995-1999) sowie der Agenda 2000 (Zeitraum 2000-2005) wurden die Änderungen der 1. Säule der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) in ACRE implementiert. Im Rahmen der 2. Säule der GAP wurden innerhalb der regionalen Agrarumweltprogramme (MEKA, KULAP, ÖPUL) die Maßnahmen Grünlandextensivierung und Winterbegrünung sowie die Ausgleichszulage für benachteiligte Gebiete für die jeweiligen Jahre fortgeschrieben. Die Agrarreform 2004 mit ihren Kernelementen Ent-



koppelung und „Einhaltung anderweitiger Verpflichtungen“ wurde ihrer nationalen Umsetzung entsprechend für Deutschland (als Kombinationsmodell) und Österreich (als 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. Diese Zahlungen sind an die Einhaltung von Umwelt-, Lebensmittelsicherheits- und Tierschutznormen gebunden (Cross Compliance). Innerhalb der Cross Compliance werden im Modell folgende Elemente gemäß AMA (2006) und BMVEL (2005) national aufgeschlüsselt berücksichtigt:

- a) Erosionsvermeidung: Anteil im Winter begrünter Ackerflächen mindestens 40% (nur in Deutschland),
- b) Erhalt der Dauergrünlandflächen: max. 10% Umbruch von Grünland gegenüber dem Basiswert (Referenzjahr: 2003),
- c) Nitratrichtlinie: Ertragsabhängige Nährstoffbedarfsermittlung und Düngung, Obergrenzen für die Ausbringung von Wirtschaftsdünger.

Die obligatorische Modulation, die beinhaltet, dass die Direktzahlungen in allen Mitgliedsstaaten bis 2013 um einen vorgegeben Prozentsatz gekürzt und der zweiten Säule zugeführt werden, wird im Modell nicht berücksichtigt. Für das deutsche Einzugsgebiet wurde die einheitliche Betriebsprämie gemäß BMVEL (2005), aus einem betriebsindividuellen Betrag (sog. Top-Up) und einem regionalen flächenbezogenen Betrag, jeweils differenziert nach Ackerland und Grünland, zusammengesetzt. Entsprechend der Umsetzung des Kombinationsmodells schmilzt der betriebsindividuelle Betrag auf einen regionalen flächenbezogenen Betrag ab. Gemäß BMVEL (2005) sind folgende Abbauschritte für den betriebsindividuellen Betrag vorgesehen 2010: -10%, 2011: -30%, 2012: -40%. Ab 2013 sollen für alle Flächen regional einheitliche Zahlungsansprüche gelten (s. Tab. 1). Diese werden für alle folgenden Simulationsjahre fortgeschrieben. Im Modell wurde der betriebsindividuelle Betrag pro Regionshof sowohl für Deutschland als auch für Österreich über die Referenzfläche für das Jahr 2003 sowie der durchschnittlichen Summe der entkoppelten Direktzahlungen im Bezugszeitraum 2000-2002 berechnet.

Tab. 1: Berechnung der einheitlichen Betriebsprämie nach Ländern (Quelle: Eigene Berechnungen nach AMA 2005, BMLFUW 2003, BMVEL 2005, StMLF 2004)

		2005-2009	2010	2011	2012	2013
<b>BW (D)</b>	<b>GL</b>	56 + Top <sub>r</sub>	80.6 + Top <sub>r</sub> * 90%	119.8 + Top <sub>r</sub> * 70%	203.6 + Top <sub>r</sub> * 40%	302
	<b>AL</b>	317	315.5 + Top <sub>r</sub> * 90%	312.5 + Top <sub>r</sub> * 70%	308 + Top <sub>r</sub> * 40%	302
	<b>SL</b>	317	315.5	312.5	308	302
<b>BY (D)</b>	<b>GL</b>	89 + Top <sub>r</sub>	114.1 + Top <sub>r</sub> * 90%	164.3 + Top <sub>r</sub> * 70%	239.6 + Top <sub>r</sub> * 40%	340
	<b>AL</b>	299	303.1 + Top <sub>r</sub> * 90%	311.3 + Top <sub>r</sub> * 70%	323.6 + Top <sub>r</sub> * 40%	340
	<b>SL</b>	299	303.1	311.3	323.6	340
<b>A</b>	<b>GL</b>	EBP <sub>r</sub>	EBP <sub>r</sub>	EBP <sub>r</sub>	EBP <sub>r</sub>	EBP <sub>r</sub>
	<b>AL</b>	EBP <sub>r</sub>	EBP <sub>r</sub>	EBP <sub>r</sub>	EBP <sub>r</sub>	EBP <sub>r</sub>
	<b>SL</b>	EBP <sub>r</sub>	EBP <sub>r</sub>	EBP <sub>r</sub>	EBP <sub>r</sub>	EBP <sub>r</sub>

BW=Baden-Württemberg; BY=Bayern; A=Österreich; GL=Grünland; AL=Ackerland; SL=Stilllegung; Top<sub>r</sub>=betriebsindividueller Betrag (Top-up) pro Regionshof (Landkreise); EBP<sub>r</sub>=Einheitliche Betriebsprämie pro Regionshof (Politische Bezirke).

Bei den Direktzahlungen wurden für Deutschland die Sonderprämie für männliche Rinder, die Mutterkuh- und die Mutterschafprämie berücksichtigt. Entsprechend der nationalen Umsetzung in Österreich gemäß BMLFUW (2003) und AMA (2005) wurde bei den Direktzahlungen die Mutterkuhprämie ausgenommen, da diese weiterhin gekoppelt bleibt (Tab. 2).

Tab. 2: Regionale Tier und Flächenprämien unterschiedlicher agrarpolitischer Rahmenbedingungen (1995-2013) (Quelle: Eigene Darstellung nach AMA2005, BMLEF 1996(a), 1996(b), 2000(a), 2000(b), 2002(a), 2002(b); BMLFUW 1996, 2001, 2003, 2005, BMVEL 2005, StMLF 2004)

	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
<b>Flächenprämien (€/ha)</b>															
Getreide	279	300	286	302	325	309	324	348	332	317	299	EBPr <sub>r</sub>	302	340	EBPr <sub>r</sub>
Mais & Maissilage	394	407	286	427	441	309	459	474	332	317	299	EBPr <sub>r</sub>	302	340	EBPr <sub>r</sub>
Ölsaaten	544	581	481	473	507	437	324	348	332	362	344	EBPr <sub>r</sub>	347	385	EBPr <sub>r</sub>
Flächenstilllegung	363	385	363	310	329	309	333	353	332	362	299	EBPr <sub>r</sub>	302	340	EBPr <sub>r</sub>
Proteinpflanzen	402	433	414	383	406	382	384	407	382	373	355	EBPr <sub>r</sub>	358	396	EBPr <sub>r</sub>
Grünland	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56*	89*	EBPr <sub>r</sub>	302	340	EBPr <sub>r</sub>
Flächenstilllegung	15%**			10%**			10%**			8.6%	8.2%	10%	8.6%	8.2%	10%
<b>Tierprämien (€/Tier)</b>															
Mutterkühe	145	145	175	163	163	213	200	200	230	-	-	230	-	-	230
Sonderprämie Bullen	108	108	109	160	160	160	210	210	210	-	-	-	-	-	-
Mutterschafe <sup>b)</sup>	25	25	25	17	17	17	21	21	21	-	-	-	-	-	-

\*= zzgl. betriebsindividueller Betrag (Top-up) pro Regionshof (Landkreise); \*\* bezogen auf die preisgleichberechtigten Kulturen; EBPr = Einheitliche Betriebsprämie pro Regionshof (Politische Bezirke).

Für Milch wurde in beiden Ländern die Referenzmenge des Jahres 2004 und die Milchprämie des Jahres 2006 zugrundegelegt. Die übrigen entkoppelten Prämien (Schlachtprämie etc.) 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. 3: Ausgewählte Agrarumweltprogramme für die Periode 2007-2013 (Quelle: MLR 2006; StMLF 2006; BMLFUW 2006b; BMLFUW 2006c)

	<b>Baden-Württemberg<sup>a)</sup></b> Euro/ha	<b>Bayern<sup>b)</sup></b> Euro/ha	<b>Österreich<sup>c)</sup></b> Euro/ha
Mähweide	90	100	110
Alm	0	100	66
Streuweide	130	100	66
Weide	90	100	110
Dreischmitt-Wiese	90	50	110
Zweischmitt-Wiese	130	50	110
Winterbegrünung	110	60	100

Die Zuordnung erfolgte aus Gründen der Modellkonsistenz zum Teil leicht abweichend von den ausgewiesenen Werten; <sup>a)</sup> MEKA III, <sup>b)</sup> KULAP III, <sup>c)</sup> ÖPUL2007: Elementarförderung für Grünland nicht vorgesehen aus Gründen der Modellkonsistenz beibehalten.

Auch die Ausgleichszahlungen für Maßnahmen im Rahmen der 2. Säule der EU-Agrarreform 2004 wurden im Modell angepasst (Tab. 3). Die Ausgleichzulage für benachteiligte Gebiete wurde über einen vereinfachten Ansatz nach WINTER (2005) berechnet, bei welchem die Höhe der Ausgleichszulage in Abhängigkeit der Landwirtschaftlichen Vergleichszahl gebildet wird.

### Simulation klimabedingter Ertragsänderungen

Um die Reaktion des Modells auf klimabedingte Ertragsänderungen zu testen, wurden zur Simulation der Auswirkungen des Klimawandels im Jahr 2020 für das Donaueinzugsgebiet räumlich differenzierte (NUTS2) und kulturspezifische Ertragsprojektionen (SIMOTA 2007) des Pflanzenwachstumsmodells ROIMPEL verwendet. Das ROIMPEL-Modell simuliert Ertragsänderungen in Abhängigkeit von regionalen Klimafaktoren (Summe der aktiven Lufttemperaturen, Niederschlag, CO<sub>2</sub>-Konzentration) und Bodenbedingungen (Textur, organischer Substanz, Nährstoffe) (AUDSLEY et al. 2006). Tabelle 4 gibt die simulierten Ertragsprojektionen für das SRES Emmissions-Szenario A2 (Special Report on Emissions Scenarios) gemäß NAKIEĆNOVIĆ et al. (2000) wieder.

Tab. 4: Ertragsprojektionen des Pflanzenwachstumsmodell ROIMPEL für das obere Donaueinzugsgebiet im Jahr 2020 für das A2 SRES Emissions-Szenario (Quelle: SIMOTA (2007))

NUTS2	Region	Winterweizen	Sommerweizen	Mais	Winterweizen	Kartoffel	Handelsgewächs	Wintergerste	Sommergerste	Grünland
		% des Ertrags im Basisjahr								
DE11	Stuttgart	1.07	1.09	1.26	1.09	1.11	1.23	1.11	1.08	1.06
DE13	Freiburg	1.05	1.12	1.14	1.09	1.07	1.13	1.08	1.06	1.07
DE14	Tübingen	1.06	1.10	1.56	1.02	1.09	1.35	1.10	1.07	1.03
DE21	Oberbayern	1.09	1.17	0.90	1.18	1.18	1.35	1.11	1.10	1.12
DE22	Niederbayern	1.09	1.14	1.27	1.14	1.16	1.22	1.11	1.10	1.11
DE23	Oberpfalz	1.11	1.20	1.25	1.19	1.16	1.16	1.16	1.15	1.15
DE25	Mittelfranken	1.13	1.16	1.47	1.16	1.16	1.26	1.16	1.15	1.13
DE27	Schwaben	1.07	1.13	1.45	1.13	1.13	1.33	1.10	1.08	1.07
AT31	Öberösterreich	1.08	1.14	1.33	1.08	1.17	1.24	1.10	1.09	1.09
AT32	Salzburg	1.08	1.23	1.27	1.13	1.11	1.01	1.11	1.04	1.04
AT33	Tirol	0.98	1.04	*1.00	1.45	1.18	1.85	1.21	1.11	1.09
AT34	Vorarlberg	1.09	1.15	1.52	1.14	1.10	1.40	1.13	1.04	1.08
	Durchschnitt	1.08	1.14	1.2	1.15	1.14	1.29	1.12	1.09	1.09

\* keine Änderung unterstellt (keine Daten vorhanden).

Zur Beibehaltung der Konsistenz mit dem Pflanzenwachstumsmodell wurden die Ertragsänderungen auf regionale Erträge des von ACRE simulierten Basisjahres 2000 bezogen. Ferner wurde unterstellt, dass die sozioökonomische Änderungen für das Jahr 2020 der Endstufe der GAP 2004 Reform entsprechen. Alle sonstigen sozioökonomischen Parameter wie technischer Fortschritt, Preise etc. wurden ceteris paribus gehalten.

### 5.1.2 Agentenbasiertes *Deep Farming* -Modell

#### 5.1.2.1 Farm-System Agenten auf Proxelebene

Auf der Grundlage statistischer Daten auf Landkreisebene von 1995 bezüglich der Produktionsrichtung, der Landnutzung und der Anzahl an Betrieben in der jeweiligen Produktionsrichtung wurden insgesamt 28 verschiedene Farm Systeme (Agenten) entwickelt. Die bayerische und baden-württembergische Statistik unterscheiden bezüglich der Produktionsrichtung fünf verschiedene Typen: Marktfruchtbaubetrieb, Futterbaubetrieb, Veredelungsbetrieb, Dauerkulturen und Gemischtbetriebe. Diese Definition bezieht sich auf den Ge-

samtdeckungsbeitrag des Betriebes. Mindestens 50% des Gesamtdeckungsbeitrages müssen durch eine bestimmte Produktionsrichtung erwirtschaftet werden, um einer der fünf Kategorien zugeordnet zu werden. Lediglich bei Gemischtbetrieben ist jeder Produktionszweig unter 50% des Gesamtdeckungsbeitrages (SLBW 1996; SLBW 1997; SLBW 2000; STALA 2005; BLSD 2002).

Jedes der einzelnen Farm-Systeme hat eine definierte Fruchtfolge, die aus vier bis acht Früchten besteht, und eine bestimmte Ausstattung an Ackerfläche bzw. Grünland sowie im Fall von Futterbau-, Veredelungs- und Gemischtbetrieben an Tierhaltung (Tab. 5).

Tab. 5: Übersicht der Farm-Systeme (*DeepFarmType*) (Quelle: Eigene Darstellung)

ID	Agent DeepfarmType	Produktions- richtung	Tierhaltung	Fruchtfolge	Grünland
1	CashSugMaize	Marktfrucht		Zuckerrüben, Winterweizen, Wintergerste, Mais, Stilllegung	
2	CashSugPotat	Marktfrucht		Zuckerrüben, Winterweizen, Kartoffeln, Wintergerste, Stilllegung	
3	CashPotOleag	Marktfrucht		Kartoffeln, Winterweizen, Sommerweizen, Sommergerste, Stilllegung	
4	CashSugPoOle	Marktfrucht		Zuckerrüben, Winterweizen, Kartoffeln, Ölfrüchte, Stilllegung	
5	MeatBreedOle	Veredelung	Zuchtsauen	Wintergerste, Ölfrüchte, Winterweizen, Hafer, Mais, Stilllegung	
6	MeatBreedSum	Veredelung	Zuchtsauen	Wintergerste, Roggen, Sommerweizen, Mais, Stilllegung	
7	MeatFattenOl	Veredelung	Mastschweine	Wintergerste, Ölfrüchte, Winterweizen, Sommerweizen, Mais, Stilllegung	
8	ForagDairAra	Futterbau	Milchvieh	Silomais, Ackerfutter, Sommergerste, Ölfrüchte, Sommerweizen, Hafer, Mais, Stilllegung	
9	ForagBullAra	Futterbau	Bullen	Silomais, Ackerfutter, Sommergerste, Ölfrüchte, Sommerweizen, Hafer, Mais, Stilllegung	
10	ForagDairInt	Futterbau	Milchvieh	Silomais, Ackerfutter, Winterweizen, Hafer, Stilllegung	Intensiv
11	ForagDairExt	Futterbau	Milchvieh	Silomais, Wintergerste, Ackerfutter, Sommerweizen, Stilllegung	Extensiv
12	ForagBullInt	Futterbau	Bullen	Silomais, Ackerfutter, Wintergerste, Winterweizen, Stilllegung	Intensiv
13	ForagBullExt	Futterbau	Bullen	Silomais, Wintergerste, Winterweizen, Hülsenfrüchte, Stilllegung	Extensiv
14	ForagSheGras	Futterbau	Schafe		Extensiv
15	ForagHorsExt	Futterbau	Pferde	Hafer, Sommergerste, Ölfrüchte, Mais, Stilllegung	Extensiv
16	ForagSuckExt	Futterbau	Mutterkühe		Extensiv
17	ForagBullGEx	Futterbau	Bullen		Extensiv
18	ForagDairGEx	Futterbau	Milchvieh		Extensiv
19	ForagDairGrI	Futterbau	Milchvieh		Intensiv
20	ForagDairGra	Futterbau	Milchvieh		Intensiv/ extensiv
21	PermanentHop	Dauerkulturen		Hopfen	
22	MixedDairPot	Gemischt	Milchvieh, Bullen	Hülsenfrüchte, Silomais, Ackerfutter, Wintergerste, Roggen, Ölfrüchte, Kartoffeln, Stilllegung	Intensiv/ extensiv

Tab. 5: Fortsetzung

ID	Agent DeepfarmType	Produktionsrichtung	Tierhaltung	Fruchtfolge	Grünland
23	MixedDairSPo	Gemischt	Milchvieh, Bullen	Hülsenfrüchte, Silomais, Ackerfutter, Wintergerste, Winterweizen, Zuckerrüben, Kartoffeln, Stilllegung	Intensiv/ extensiv
24	MixedDairRye	Gemischt	Milchvieh, Bullen	Hülsenfrüchte, Silomais, Ackerfutter, Wintergerste, Roggen, Ölfrüchte, Stilllegung	Intensiv/ extensiv
25	MixedDairSug	Gemischt	Milchvieh Bullen	Hülsenfrüchte, Silomais, Ackerfutter, Wintergerste, Winterweizen, Zuckerrüben, Stilllegung	Intensiv/ extensiv
26	MixedBreeSPo	Gemischt	Zuchtsauen, Mastschweine	Hülsenfrüchte, Wintergerste, Winterweizen, Sommergerste, Zuckerrüben, Kartoffeln, Mais, Stilllegung	
27	MixedBreePot	Gemischt	Zuchtsauen, Mastschweine	Hülsenfrüchte, Sommergerste, Winterweizen, Ölfrüchte, Kartoffeln, Mais, Stilllegung	
28	MixedBreeOle	Gemischt	Zuchtsauen, Mastschweine	Hülsenfrüchte, Wintergerste, Roggen, Sommergerste, Ölfrüchte, Mais, Stilllegung	

Der realisierte Anbauumfang verschiedener Kulturen und die Tierhaltung innerhalb eines Farm-Systems werden durch Disaggregation der Daten aus den Berechnungen des optimalen Plans zur Landnutzung, Tierhaltung und des Trinkwasserbedarfs von ACRE ermittelt. Wesentliche Treiber in ACRE für Änderungen der Landnutzung sind hierbei Ertragsänderungen, die vom Pflanzenwachstumsmodell übermittelt werden.

Der optimale Plan für das kommende Wirtschaftsjahr gibt für die Agenten (Farm-Systems) folgende Attribute vor:

- Kulturarten, die auf den Proxeln mit Ackerfläche angebaut werden sollen (15 verschiedene Kulturarten)
- Grünlandverfahren, das auf Proxeln mit Grünland durchgeführt werden soll (2 Verfahren)
- Wasserbedarf
- Tierzahl nach Tierarten
- N- und P-Düngungsmenge gesamt (Reinnährstoff).

Diese Parameter stellen Attribute der Agenten (Farm-Systems) dar. Sie werden jährlich aktualisiert.

Der Zusammenhang der Berechnungen von ACRE und den Agenten besteht darin, dass ACRE den optimalen Plan für das kommende Wirtschaftsjahr errechnet und der Agent dann versucht, diesen durch tägliche Entscheidungen unter den herrschenden natürlichen Bedingungen umzusetzen. Über mögliche eintretende Ertragsänderungen gegenüber den bei der Planung unterstellten erwarteten Werten, wird dann wieder die Verbindung vom Agent zu ACRE hergestellt. Treten hier deutliche Änderungen auf, so werden die Ertragsänderungen auf Landkreisebene aggregiert und gehen als Eingangsdaten für die künftige Planung (zeitverzögert, da Lernprozess) in das Agrarsektormodell ACRE ein.

#### 5.1.2.2 Entscheidungen bei der Bewirtschaftung

Wichtigste Aufgabe der Farm-System Agenten ist es, in dem betreffenden Szenariojahr auf täglicher Basis über den Anbau der einzelnen Kulturen (Saat, Düngung und Ernte) zu



entscheiden. In diese Entscheidungen gehen sowohl klimatische Bedingungen/Veränderungen (Wissen aus den Vorjahren) als auch das tägliche Wettergeschehen mit ein. Aufgrund der unterschiedlichen natürlichen und pflanzenbaulichen Ansprüche einzelner Kulturarten gibt es für jede Kulturart einen eigenen Entscheidungsalgorithmus.

Eine wesentliche Entscheidung trifft der Agent mit der Aussaat einer Kultur. Durch den Aussaattermin werden der zeitliche Wachstumsverlauf der Pflanzen und damit auch eine bestimmte Zeitspanne für die Ernte festgelegt. Jede Kultur hat hierbei spezifische Ansprüche, an die sich die verschiedenen Bewirtschaftungsaktionen der Agenten anlehnen.

Die Entscheidungen eines Agenten werden wesentlich von seinen Erfahrungswerten bezüglich des zu erwartenden Wetterverlaufes in der Vegetationsperiode beeinflusst. Dies wird durch ein „Wettergedächtnis“ realisiert, das Daten über wichtige Wetterparameter wie z.B. Bodentemperatur und tägliche Niederschlagswerte der letzten drei Jahre enthält. Des Weiteren werden die Tage festgehalten, die eine Pflanze vom Aussaattermin bis zu einem bestimmten Entwicklungsstadium oder von einem zum nächsten Stadium benötigt hat. Diese dynamischen Datensätze fließen mit in die Aussaatstrategie ein.

Neben dem historischen Wissen werden die Bewirtschaftungstätigkeiten eines landwirtschaftlichen Agenten vom aktuell im betreffenden Szenariojahr simulierten Wettergeschehen beeinflusst. So muss beispielsweise der anvisierte Saattermin verschoben werden, wenn es an diesem Tag stark regnet. Abbildung 2 zeigt einen solchen Entscheidungsablauf für die Aussaat von Winterweizen.

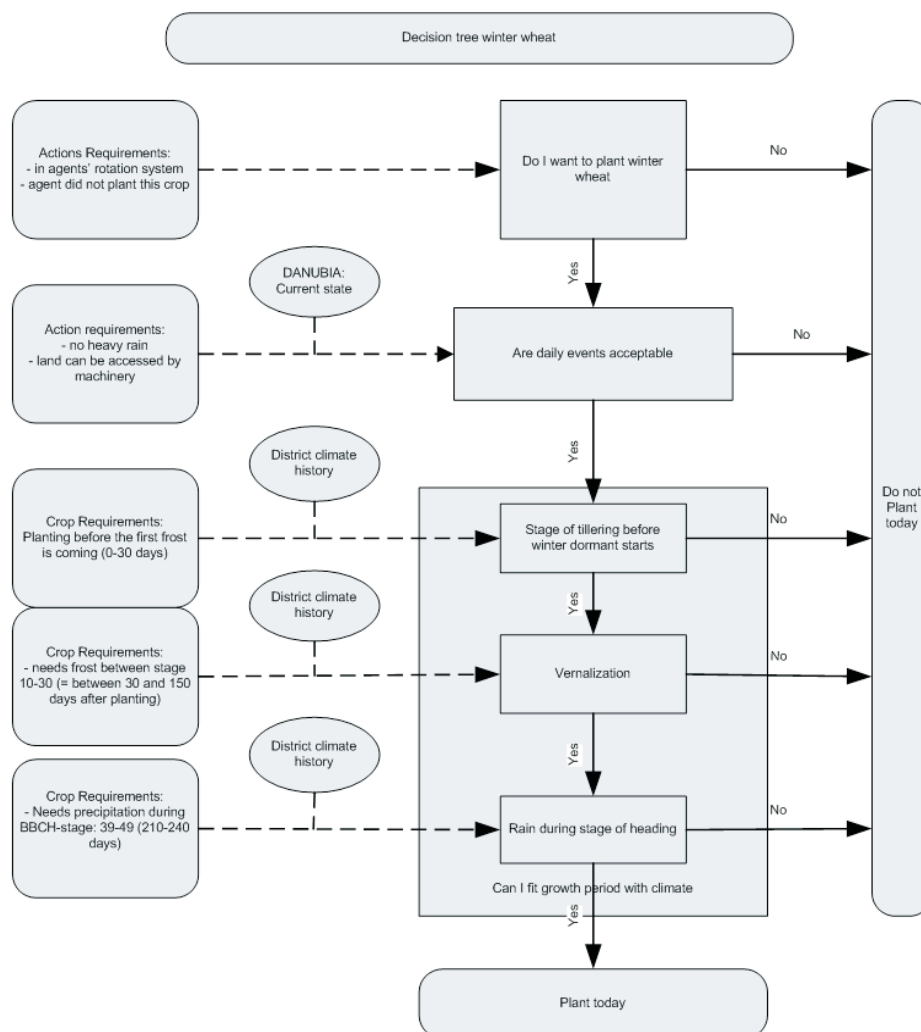


Abb. 2: Entscheidungsbaum für die Aussaat von Winterweizen (Quelle: Eigene Darstellung)

Wie bereits im vorherigen Abschnitt erwähnt, muss der Agent zur Erzielung eines optimalen Ertrages die Pflanzenentwicklung mit den spezifischen Anforderungen in seinen Entscheidungen so berücksichtigen, dass der erwartete Wetterverlauf in der Vegetationsperiode am besten zum Pflanzenwachstum passt. Winterweizen beispielsweise benötigt im BBCH-Stadium 10 bis 30 einen Kälteschock (Vernalisation) (Tab. 6). Im späteren Verlauf während des Ährenschiebens ist ausreichend Niederschlag besonders wichtig. Bei Kartoffeln kann ab dem BBCH-Stadium 47, wenn 70% der Knollenmasse erreicht wurde, mit der Ernte begonnen werden. Der optimale Erntetermin für Kartoffeln liegt allerdings bei Stadium 49. Zu diesem Zeitpunkt sind alle grünen Blatteile abgestorben. Falls der Wachstumsverlauf der Kartoffeln von dem seitens des Agenten erwarteten Verlauf abweicht, wird im Stadium 47 überprüft, welcher Wetterverlauf bis zum optimalen Erntezeitpunkt zu erwarten ist. Wird ein schlechter Verlauf erwartet, beginnt der Agent bereits in Stadium 47 mit der Ernte. Bei Erwartung von gutem Wetter erntet er erst zum optimalen Termin.

Tab. 6: Ansprüche von Kartoffeln und Winterweizen gekoppelt mit BBCH-Stadien (Quelle: DIEPEN-BROCK et. al. (1999) und HEYLAND (1996), verändert)

Crop	Action	BBCH-stage	Additional information	Minimum germination temperature	Average expected soil temperature (next 6 days)	Farmers' knowledge
Potato	Planting	00		8-10°C	10°C	
	First Fertilization of Nitrogen	00				0 - 5 days after planting
	Start Harvesting	47	70% crop mass			Depends on the weather history of the next two weeks
	Optimal harvesting	49	The haulm is dead			
	Fertilization of phosphate					Before Ploughing
Winter wheat	Planting	Before 21	Winter cereals should reach the stage before tillering. Before winter dormant starts	2-5°C	6.5°C	0-30 days before the first frost is recorded (historical knowledge)
		10-30	Requires vernalisation :Temperature: +0.5 - +8°C; minimum period one week during given BBCH stages			
	First Fertilization of Nitrogen					With the day of the last frost
	Second Fertilization of Nitrogen	30-32	Stem elongation			
	Third Fertilization of Nitrogen	39-49	Heading			
	Start Harvesting	87	Yellow ripeness			Depends on the next 2 weeks weather history
	Optimal Harvesting	92	After over ripe dry matter contents in the corn of 84%			
	Fertilization of phosphate					Before Ploughing

Den unterschiedlichen Bedürfnissen der Kulturen versucht der Agent mit seinen jeweiligen Entscheidungsalgorithmen für die spezifischen Bewirtschaftungsmaßnahmen gerecht zu werden, indem er für jede Kultur die Positionierung in der Vegetationsperiode sucht, bei der die Klimaparameter die Ansprüche der Kulturen am Besten treffen. Die notwendigen Informationen über Wachstum und Entwicklungsstadien der Pflanzen werden nach der Aussaat vom Pflanzenwachstumsmodell kalkuliert und bereitgestellt.

### 5.1.2.3 Düngerverteilung

Marktfruchtbau- und Dauerkulturbetriebe haben im Modell nur die Möglichkeit, mineralischen Dünger einzusetzen. Farm-Systeme mit Tierhaltung (Veredelungsbetriebe, Futterbaubetriebe) verwerten zuerst den in der Tierproduktion anfallenden organischen Dünger und ergänzen den fehlenden Bedarf mit mineralischem Dünger.

Das *DeepFarming*-Modell erhält die Angaben über die benötigte Gesamtmenge an Stickstoff und Phosphor für die jeweilige Kultur von ACRE. Außerdem kalkuliert ACRE die Mengen an Stickstoff und Phosphor, die aus der Tierproduktion pro Landkreis entstehen.

Im *DeepFarming*-Modell stehen jedem Farm-System unterschiedliche Mengen an Dünger zur Verfügung. Die verfügbare Menge an organischem Dünger hängt von der Produktionsrichtung und dem Fütterungsverfahren (Ackerland/Grünland) ab. Jedes Tier scheidet je nach Fütterungsverfahren unterschiedliche Mengen an Stickstoff und Phosphor aus (KTBL 2004/2005; LEL 2006). Tabelle 7 zeigt die in der Datenbank des *DeepFarming*-Modells hinterlegten Ausscheidungen unterschiedlicher Tierarten an Stickstoff und Phosphor pro Tier und Jahr in Abhängigkeit des Landnutzungstyps.

Tab. 7: Stickstoff- und Phosphor- Ausscheidung pro Tier und Jahr in Abhängigkeit der Landnutzungstypen Ackerland und Grünland (Quelle: KTBL (2004); LEL (2006))

<b>Tierart</b>	<b>Landnutzungstyp</b>	<b>Organisches N kg/Tier/Jahr</b>	<b>Organisches P kg/Tier/Jahr</b>
Milchkuh	Ackerland		17
Milchkuh	Ackerland/Grünland	118	17
Milchkuh	Grünland intensiv	121	18
Milchkuh	Grünland extensiv	130	18
Mutterkuh	Grünland extensiv	90	37
Mastbullen	Ackerland, Ackerland/Grünland, Grünland intensiv, Grünland extensiv	71	31
Färse	Ackerland	61	7
Färse	Ackerland/Grünland	69	8
Färse	Grünland intensiv, Grünland extensiv	77	9
Männl. Kälber	Ackerland, Ackerland/Grünland, Grünland intensiv, Grünland extensiv	0.25	1.5
Weibl. Kälber	Ackerland, Ackerland/Grünland, Grünland intensiv, Grünland extensiv	0.25	1.5
Zuchtsauen	Ackerland	27	14
Mastschweine	Ackerland	4.6	2
Pferde	Ackerland/Grünland	48	23
Schafe	Grünland extensiv		8

Für die Ausscheidung von Milchvieh finden sich in Abhängigkeit der Milchleistung unterschiedliche Werte. Im *DeepFarming*-Model ist der Durchschnittswert implementiert, wobei Milchkühe mit einer Leistung zwischen 6000kg Milch/Jahr und 10.000kg Milch/Jahr berücksichtigt werden.

Die jährlich anfallenden Stickstoff- und Phosphor- Mengen aus der Tierhaltung werden von den tierhaltenden Agenten zuerst verbraucht um freie Lagerkapazitäten für das nächste Winterhalbjahr zu schaffen. Reicht der Wirtschaftsdüngeranfall nicht aus, wird der Restbedarf der Pflanzen mit mineralischem Dünger gedeckt.

In ACRE wird der Nährstoffbedarf der verschiedenen Kulturen anhand der Ertragsniveaus kalkuliert. Dies gliedert sich in eine ertragsabhängige und eine ertragsunabhängige Komponente (WINTER 2005). Die Werte für den Ackerbau zeigt Tabelle 8.

Die lineare Regression hat folgenden Aufbau:

- NN = YDF\* Ertrag + YIDF
- NN = Nährstoffbedarf pro Kultur
- YDF = Ertragsabhängiger Faktor (Stickstoff oder Phosphor)
- YIDF = Ertragsunabhängiger Faktor (Stickstoff oder Phosphor)

Tab. 8: Ertragsabhängiger und -unabhängiger Nährstoffbedarf in kg/ha (Quelle: WINTER (2005))

Ackerkultur	Nährstoffbedarf pro Kultur			
	Ertragsunabhängige Komponente(kg/ha)		Ertragsabhängige Komponente (kg/dt des jeweiligen Ertrages)	
	N	P	N	P
Kartoffeln	70	100	0.2	0.2
Hafer	40	30	1.0	1.0
Hopfen	0	0	5.0	1.7
Ackerfutter	80	15	1.5	0.2
Leguminosen	-200	80	0	1.0
Mais	40	50	2.0	1.0
Raps	60	60	5.0	2.0
Silomais	-40	20	0.4	0.2
Sommergerste	40	10	1.0	1.0
Sommerweizen	0	10	2.5	1.0
Wintergerste	2	10	2.0	1.0
Winterweizen	0	10	2.5	1.0
Zuckerrüben	80	0	0.2	0.2
Roggen	20	10	1	1
Stillegung	0	0	0	0

Aufgrund des Allokationsalgorithmus kann es zwischen den Landkreisdaten von ACRE und dem *DeepFarming*-Model marginale Abweichungen im Anbauumfang bestimmter Kulturen geben. In Landkreisen, die nur einen sehr geringen Anteil an Ackerfläche an der landwirtschaftlich genutzten Fläche aufweisen, kann im *DeepFarming*-Model in der Fruchtfolge eines Farm-Systems eine Kultur vorgesehen sein, für die ACRE keine Daten ausgibt. Um die Allokation der Farm-Systeme sicher zu stellen wird in den betroffenen Farm-Systemen, zur Aufrechterhaltung der Fruchtfolge, eine Kultur mit einem Anbauumfang von 0.1

Hektar in der Fruchtfolge beibehalten. Für diese Kulturen haben die Agenten die Möglichkeit auf Standardwerte der Düngung zurückzugreifen. Diese Standardwerte sind für das gesamte Donaeinzugsgebiet gleich und beziehen sich auf den durchschnittlichen Ertrag der Kulturen im Jahr 1995. Die Düngeempfehlungen wurden mit der vorher beschriebenen linearen Regression und den Daten aus Tabelle 8 berechnet. In Tabelle 9 sind die Standardwerte für die Ackerkulturen angegeben. Die Gesamtmenge an Stickstoff und Phosphor pro Kultur verteilt der Agent gleichmäßig auf die möglichen Teilgaben einer jeden Kultur. Der Phosphorbedarf wird mit einer Gabe gedeckt.

Tab. 9: Durchschnittliche Düngergaben an Stickstoff und Phosphor einzelner Ackerkulturen bezogen auf den Durchschnittsertrag im Donaeinzugsgebiet (Quelle: Eigene Berechnungen nach WINTER (2005))

Ackerkultur	Stickstoff kg/ha	Phosphor kg/ha
Hopfen	76	26
Zuckerrüben	192	112
Kartoffeln	132	162
Mais	189	124
Silomais	142	111
Sommergerste	82	52
Raps	208	119
Wintergerste	124	62
Hafer	85	75
Sommerweizen	129	61
Roggen	66	56
alphaLeguminosen	0	111
Ackerfutter	208	32
Stilllegung	0	0
Winzerweizen	143	67

#### 5.1.2.4 Pläne und Aktionen

Tab. 10: Plantypen (Quelle: Eigene Darstellung)

Planting
Fertilizing_N1
Fertilizing_N2
Fertilizing_N3
Harvesting
Fertilizing_P
Ploughing
*Cutting_1
*Cutting_2
*Cutting_3
*Fertilizing_NC

\* hier handelt es sich nur um Grünlandverfahren

Die allgemein definierten Plantypen im Bereich des Pflanzenbaus zeigt Tabelle 10.

Diese Plantypen werden in Abhängigkeit des jeweils gängigen Produktionsverfahrens an die 15 unterschiedlichen Kulturen und 2 Grünlandverfahren angepasst. Es gibt insgesamt 11 Plantypen (Bewirtschaftungsgänge) für die 17 im Modell berücksichtigten pflanzlichen Produktionsverfahren (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:  $\text{planId} = \text{Verfahren} \times \text{Kulturart} \rightarrow \text{Integer}$ .

Ein Plan wird durch die Ansprüche an unterschiedliche Bewirtschaftungsgänge einer jeden Kultur festgelegt. Die Kulturen unterscheiden sich zum Beispiel bezüglich der Anzahl der notwendigen N-Düngergaben (1-3 Gaben), die der Agent anhand seiner Informationen über das jeweilige Entwicklungsstadium der Pflanze durchführen sollte. Mit dem Entschluss zur Aussaat einer Kul-



tur steht somit der Aussaatplan fest. Eine Aktion liegt erst dann vor, wenn die Planvorgabe eine zeitliche Verknüpfung erfährt, d.h. der Plan wird zu einem gegebenen Entwicklungsstadium der Pflanze in die Tat umgesetzt.

Das Wachstum der Pflanzen ist durch die Entwicklungsstadien (BBCH-Stadien) festgelegt, welche vom Pflanzenwachstumsmodell übermittelt werden. Durch diese Vorgaben ist auch die Wachstumsdauer der Pflanzen festgelegt, da der Agent erst nach dem Erreichen eines bestimmten Stadiums ernten kann. Zusätzlich stehen dem Agenten Daten zur Verfügung, die ihm Auskunft über die Interaktionen der Pflanzen mit der Umgebung geben (Boden, Klima, Wetter). Anhand der später auch noch näher beschriebenen Klimaparameter und den Ansprüchen der Pflanze kalkuliert jeder Agent die für sein Proxel relevanten Zeitperioden für Anbau, Düngung und Ernte. Dabei werden die Zeitperioden zum Modellstart vorgegeben und im Verlauf der Simulation durch die Speicherung simulierter Daten geändert. Der Agent erhält die Möglichkeit auf sich ändernde Wetter- und Klimabedingungen zu reagieren. Zur Bestimmung des optimalen Zeitpunkts zur Durchführung einer Aktion wird das aktuelle Wettergeschehen mit den Geschehnissen der Vergangenheit und den Ansprüchen der Pflanzen verglichen. Speziell bei der Bestimmung des optimalen Aussaattermins spielt zudem das Wissen über den Wachstumsverlauf der Pflanzen eine entscheidende Rolle.

#### 5.1.2.5 Sensoren

Als Proxelsensoren für die Agenten werden Niederschlag, Bodenfeuchte, Bodentemperatur sowie die Wachstumsstadien benötigt.

- 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).
- Die Wachstumsstadien zeigen an, ob eine Managementmaßnahme (z.B. Düngung) eingeleitet werden soll.

#### 5.1.2.6 History

Die Agenten im *DeepFarming*-Modell entscheiden durch ihr Wissen über vergangene Klima- und Wetterparameter und den Ansprüchen der Pflanzen darüber, wann eine Pflanze ausgesät, gedüngt oder geerntet wird. Diese Daten erhält das *DeepFarming* Modell von einem Klimamodell. Wichtige Daten für den Agenten sind tägliche Angaben zur durchschnittlichen Bodentemperatur, Bodenfeuchte und Niederschlag auf einem Proxel. Diese Daten werden für die letzten drei Jahre in einer Datenbank pro Landkreis gespeichert und stehen den Agenten für die Entscheidungsfindung zur Verfügung.

Zusätzlich zu diesen Daten sammelt der Agent Erfahrungen über die Wachstumsdauer der verschiedenen Kulturen. Vom Pflanzenwachstumsmodell erhält der Agent täglich Angaben über das erreichte Entwicklungsstadium der Pflanzen. Aus den Daten über die jeweiligen Ansprüche der Pflanzen kann der Agent wiederum ersehen, zu welchem Stadium z. B. gedüngt werden muss. Der Agent zählt die Tage bis ein bestimmtes Stadium einer Pflanze erreicht wird und speichert diese Daten für jede spezifische Kultur in der Datenbank. Mit Hilfe der Wetterdaten der letzten drei Jahre und dem Wissen über die Wachstumsdauer der Pflanzen bis zu einem gewissen Stadium kann der Agent abschätzen, in welchem Bereich der Vegetationsperiode der beste Aussaattermin liegt, um einen möglichst hohen Ertrag zu erzielen.

### 5.1.3 Disaggregation von Landkreis- auf Proxelebene

Die Neuentwicklung der proxelbasierten Farm-Systems (Agenten) im *DeepFarming*-Konzept erforderte Anpassungen insbesondere bei der Disaggregation der Daten von Landkreis- auf Proxelebene. Die Agenten (Farm-Systems) bekommen jährlich eine Planvorgabe für die Landnutzung und Tierhaltung von dem landkreisbasierten Agrarsektormodell ACRE. Von ACRE kalkulierte Landnutzungsänderungen gehen als prozentuale Veränderungen des Anbaus der einzelnen Kulturen gegenüber dem Vorjahr in den Disaggregationsprozess ein. Jeder Agent (Farm-System) interpretiert die Ergebnisse von ACRE für seine spezielle Produktionsrichtung. Jede Frucht hat in der spezifischen Fruchtfolge eines Agenten (Farm-Systems) eine bestimmte Priorität, die in der Regel an „dynamischen“ Minimal- und Maximalwerten bezüglich der prozentualen Anteile an der Gesamtfläche fest zu machen ist.

Die Wahl der Kulturen in einem Betrieb ist von verschiedenen Faktoren abhängig: zum einen von der Bodenart und den klimatischen Voraussetzungen und zum anderen von ökonomischen Parametern oder den bestehenden Absatzmöglichkeiten. Veränderungen in einem Anbauplan erfolgen meist infolge von Veränderungen der Gewinnmargen oder Deckungsbeiträge. Diese Änderungen werden in ACRE im Wesentlichen durch das Signal sich ändernder Erträge, Preise oder politischer Vorgaben verursacht.

Der Anbau unterschiedlicher Kulturen wird im *DeepFarming*-Modell in erster Linie von den Standortbedingungen und der Organisation eines Farm-Systems bestimmt. Im Sinne einer nachhaltigen Landwirtschaft sollten bestimmte Kulturen einen gewissen Prozentsatz an der Gesamtfläche eines Betriebes nicht überschreiten, da mit zunehmendem Anbauumfang die Abstände zwischen den Anbaupausen zu kurz werden und dadurch für verschiedene Krankheitserreger eine positive Grundlage geschaffen wird, sich zu vermehren. Die Einhaltung von Fruchtfolgeobergrenzen ist wichtig, um nachhaltig hohe Flächenerträge zu erhalten und den Krankheits- und Unkrautdruck niedrig zu halten.

In der Literatur finden sich unterschiedliche Angaben zu Fruchtfolgehöchstgrenzen. Für die Farm-Systems im *DeepFarming*-Modell wurden die Fruchtfolgeregeln von KÖNNECKE (1967) als Vorlage genutzt. Um die gegenwärtigen Möglichkeiten des Einsatzes chemischer Pflanzenschutzmittel und den züchterischen Fortschritt zu berücksichtigen wurden die Regeln von Könnecke an die Gegenwart angepasst. So ist beispielsweise Mais in sehr hohem Maße selbstverträglich und wird gegenwärtig von vielen Futterbaubetrieben in Monokultur angebaut. Dies trifft auch für Roggen zu.

Bei der Initialisierung für das *DeepFarming*-Modell wurden die Agenten auf die Fruchtfolgeuntergrenzen, wie sie in der Tabelle 11 gegeben sind, kalibriert. Die Agenten haben die Möglichkeit, die Produktion unterschiedlicher Ackerkulturen soweit auszudehnen, bis sie die jeweiligen Fruchtfolgeobergrenzen erreicht haben (s. Tab. 11). Tierhaltende Farm-Systems (Agenten) im Einzugsgebiet müssen zudem ausreichend Futterflächen zur Verfügung haben, um eine Versorgung der Tiere gewährleisten zu können. Der minimale Bedarf an Ackerfutterflächen wurde anhand der Erträge für Ackerfutter und den Tierzahlen aus dem Jahr 1995 berechnet und als Fruchtfolgerestriktion im Modell formuliert.

Während in Tabelle 11 die Fruchtfolgerestriktionen für die einzelnen Kulturen betrachtet werden, betrachtet Tabelle 12 die Beziehungen von Kulturen die sehr nahe miteinander verwandt sind oder gemeinsame Schaderreger haben, was zum Beispiel bei Betrieben mit mehreren Getreidearten in derselben Fruchtfolge der Fall ist. Allen Getreidearten sind viele Krankheiten gemein, woraus Schwierigkeiten bei der Bekämpfung resultieren können. Bei Zuckerrüben und Kartoffeln ist es wichtig eine längere Anbaupause zwischen den beiden Kulturen einzuhalten, um die Ausbreitung der Nematoden zu verhindern. Im *DeepFarming*-Modell wird dieses Problem durch die Restriktion einer maximalen Anbaufläche an Zuckerrüben und Kartoffeln von 35% der Ackerfläche gelöst. Bei Getreide kann ein Betrieb bis zu 75% der Gesamtfläche mit Getreide bestellen.

Tab. 11: Fruchtfolgerestriktionen der Kulturen (Quelle: Eigene Darstellung basierend auf KÖNNECKE (1967))

	<b>Fruchtfolge untergrenze in %</b>	<b>Fruchtfolge obergrenze in %</b>	<b>Zusatzinformationen zu Fruchtfolgegrenzen (vor allem im Hinblick auf die Tierhaltung und den Mindestbedürfnissen pro Tier)</b>
Hopfen	100	100	
Zuckerrüben	100	100	1995 and current ratio Yield/HA equal
Kartoffeln	20	35	
Mais	100	100	
Silomais	100	100	Current and 1995 ratio Yield/No. Animals equal
Sommergerste	40	66	
Raps	25	35	
Wintergerste	40	66	<b>If FarmSystem has animals then:</b> Current and 1995 ratio Yield/No. Animals equal AND 1995 and current ratio Yield/HA equal <b>Else 0</b>
Hafer	33	40	<b>If FarmSystem has animals then:</b> Current and 1995 ratio Yield/No. Animals equal AND 1995 and current ratio Yield/HA equal <b>Else 0</b>
Sommerweizen	33	66	
Roggen	50	75	<b>If FarmSystem has animals then:</b> Current and 1995 ratio Yield/No. Animals equal AND 1995 and current ratio Yield/HA equal <b>Else 0</b>
Leguminosen	20	35	<b>If FarmSystem has animals then:</b> Current and 1995 ratio Yield/No. Animals equal AND 1995 and current ratio Yield/HA equal <b>Else 0</b>
Ackerfutter	20	35	<b>If FarmSystem has animals then:</b> Current and 1995 ratio Yield/No. Animals equal AND 1995 and current ratio Yield/HA equal <b>Else 0</b>
Stilllegung	10	100	
Winterweizen	50	66	<b>If FarmSystem has animals then:</b> Current and 1995 ratio Yield/No. Animals equal AND 1995 and current ratio Yield/HA equal <b>Else 0</b>

Tab. 12: Fruchtfolgebeschränkungen der Farm Systeme (FS) mit mehreren Getreidearten in der Fruchtfolge (Quelle: Eigene Darstellung basierend auf KÖNNECKE (1967))

FS ID	DeepfarmName	Crops in rotation	Kultur ID	Fruchtfolgeuntergrenze	Fruchtfolgeobergrenze
1	CashSugMaize	Sugar beet Winter wheat Winter barley Maize Set aside	1 14 7 3 13	7+14= 50%	7+14 = 66%
2	CashSugPotat	Sugar beet Winter wheat Potato Winter barley Set aside	1 14 2 7 13	7+14= 50%	7+14= 66%
3	CashPotOleag	Potato Winter wheat Summer wheat Oleaginous Summer barley Set aside	2 14 9 6 5 13	5+9+14= 66%	5+9+14= 75%
4	CashSugPoOle	Sugar beet Winter wheat Potato Oleaginous Set aside	1 14 2 6 13	If (1)<35% then 6=35 – (1) else 6 = 0.1	If (1)<50% then 6=50 – (1) else 6 = 0.1
5	MeatBreedOle	Winter barley Oleaginous Winter wheat Oat Maize Set aside	7 6 14 8 3 13	7+14= 50%	7+14= 66%
6	MeatBreedSum	Winter barley Rye Summer wheat Maize Set aside	7 10 9 3 13	7+9= 50%	7+9= 66%
7	MeatFattenOl	Winter barley Oleaginous Winter wheat Summer wheat Maize Set aside	7 6 14 9 3 13	7+9+14= 66%	7+9+14= 75%
8	ForagDairAra	Crop Silage Forage Summer barley Oleaginous Summer wheat Oat Maize Set aside	4 12 5 6 9 8 3 13	5+8+9= 66%	5+8+9= 75%
9	ForagBullAra	Crop Silage Forage summer barley oleaginous summer wheat Oat Maize Set aside	4 12 5 6 9 8 3 13	5+8+9= 66%	5+8+9= 75%
10	ForagDairInt	Crop silage Forage Winter wheat Oat Set aside	4 12 14 8 13	8+14= 50%	8+14= 66%

Tab. 12: Fortsetzung

FS ID	DeepfarmName	Crops in rotation	Kultur ID	Fruchtfolgeuntergrenze	Fruchtfolgeobergrenze
11	ForagDairExt	Crop silage Winter barley Forage Summer wheat Set aside	4 7 12 9 13	7+9= 50%	7+9= 66%
12	ForagBullInt	Crop silage Forage Winter barley Winter wheat Set aside	4 12 7 14 13	7+14 = 50%	7+14 = 66%
13	ForagBullExt	Crop silage Winter barley Winter wheat Legumes Set aside	4 7 14 11 13	7+14 = 50%	7+14 = 66%
15	ForagHorsExt	Oat Summer barley Oleaginous Maize Set aside	8 5 6 3 13	5+8= 50%	5+8= 66%
22	MixedDairPot	Legumes Crop Silage Forage winter barley rye Oleaginous Potato Set aside	11 4 12 7 10 6 2 13	7+10= 66%	7+10= 75%
23	MixedDairSPo	Legumes Crop Silage Forage Winter barley Winter wheat Sugar beet Potato Set aside	11 4 12 7 14 1 2 13	7+14 = 50%	7+14 = 66%
24	MixedDairRye	Legumes Crop Silage Forage Winter barley rye Oleaginous Set aside	11 4 12 7 10 6 13	7+10= 66%	7+10= 75%
25	MixedDairSug	Legumes Crop Silage Forage Winter barley Winter wheat Sugar beet Set aside	11 4 12 7 14 1 13	7+14 = 50%	7+14 = 66%
26	MixedBreeSPo	Legumes Winter barley Winter wheat Summer barley Sugar beet Potato Maize Set aside	11 7 14 5 1 2 3 13	5+7+14= 66%	5+7+14= 75%



Tab. 12: Fortsetzung

FS ID	DeepfarmName	Crops in rotation	Kultur ID	Fruchtfolgeuntergrenze	Fruchtfolgeobergrenze
27	MixedBreePot	Legumes summer barley Winter wheat Oleaginous Potato Maize Set aside	11 5 14 6 2 3 13	5+14= 50%	5+14= 66%
28	MixedBreeOle	Legumes Winter barley Rye Summer barley Oleaginous Maize Set aside	11 7 10 5 6 3 13	5+7+10= 66%	5+7+10=75%

Generell gilt:

ACRE zeigt in neuer Planvorgabe an,

- a. dass eine Kultur ausgeweitet wird. Als Folge wird der Agent versuchen, diese Kultur auszuweiten.
- b. dass eine Kultur eingeschränkt wird. Als Folge wird der Agent versuchen, diese Kultur einzuschränken.

Der Agent muss allerdings hierbei seine intern vorgegebenen Fruchtfolgerestriktionen bezüglich der gegebenen Maximum- und Minimum- Bedingungen einhalten.

Die Vorgehensweise der Agenten hierbei ist Folgende:

1. Ein Agent versucht in jedem Fall seine dynamischen Fruchtfolgegrenzen einzuhalten. Wenn durch die Fruchtfolgebeschränkungen innerhalb eines Farm-Systems eine Frucht ausgeweitet oder eingeschränkt werden muss, die anderen Früchte aber unverändert bleiben sollen, wird die Frucht mit dem größten Flächenanteil in dem Betrieb dazu genutzt Ausgleichsfläche zu schaffen, um die vorgegebene, fixe Gesamtfläche einzuhalten.
2. Der Agent berücksichtigt immer das stärkste Signal von ACRE bezüglich der Anbauflächenausdehnung bzw. -einschränkung einer Kultur (in ACRE größter prozentualer Zuwachs oder Abnahme einer Kultur).
  - a. Wenn das stärkste Signal positiv ist (Zuwachs an Fläche), wird für diese Kultur die prozentuale Änderung in Hektar umgerechnet und summiert. Selbes gilt im umgekehrten Fall.
  - b. Um die nötige Fläche zur Ausdehnung der „positiven“ Kulturen zu realisieren, werden die Kulturen mit negativem Vorzeichen betrachtet, dabei jeweils die Kultur mit der höchsten Einschränkung zuerst. Selbes gilt im umgekehrten Fall.
  - c. Die Agenten vollziehen die vorgegebenen Änderungen immer in Bezug auf die Früchte, die Bestandteile der Fruchtfolge des Farm-Systems sind, beginnend mit der Kultur, die die stärkste Veränderung aufweist.

Diese Vorgehensweise zur Disaggregation der Daten von Landkreisebene auf die Ebene der Agenten (Proxel) wird im nachfolgenden Beispiel näher erläutert. In Tabelle 13 sind die nach Berechnungen von Acre vorgegebenen relativen Änderungen des Anbauumfangs unterschiedlicher Kulturen (A-E) für einen beliebigen Landkreis im Jahr 1996 gegenüber 1995 angegeben. Tabelle 14 zeigt die Fruchtfolge und die Anbauumfänge der angebauten Kulturen eines Farm Systems im Jahr 1995.

Tab. 13: Änderung der Anbauflächen einzelner Kulturen nach ACRE in 1996 (Quelle: Eigene Darstellung)

Kultur	Prozentuale Veränderung der Anbauflächen in 1996 gegenüber 1995 ((this year – last year) / last year)
A	+5
B	+8
C	-7
D	-4
E	-17

Tab. 14: Fruchtfolge eines Farm Systems mit einer Ackerfläche von 12 ha in 1995 (Quelle: Eigene Darstellung)

Kultur	Anbauumfang der Kulturen in 1995 (ha)	Fruchtfolgeuntergrenze %	Fruchtfolgeobergrenze %
B	4.0	10	35
D	0.8	0	40
C	6.2	0	60
A	1.0	Yield/ha equals index	35

Im Beispiel gibt ACRE mit -17% für Kultur E das stärkste Signal zur Änderung der Anbaufläche an (s. Tab. 12). Da jedoch Kultur E nicht Bestandteil der Fruchtfolge des betrachteten Farm-Systems ist, wird dieses Signal von dem Agenten nicht berücksichtigt. Das zweitstärkste Signal gibt ACRE für Kultur B vor, die um 8% ausgedehnt werden soll. Bei einem bisherigen (1995) Anbauumfang von 4 ha würde dies eine Ausdehnung von 0,32 ha bedeuten. Dies würde jedoch die vorgegebene Fruchtfolgeobergrenze dieser Kultur überschreiten, da das Farm-System bei einer Gesamtfläche von 12 ha die Kultur B nur bis zu einem Gesamtumfang von 4,2 ha ausdehnen kann. Für Kultur B ist in diesem Farm-System also nur eine Ausdehnung der Kultur B um 0,2 ha möglich. Zusätzlich soll auch die Kultur A um 5% ausgedehnt werden. Die entspricht einer Ausdehnung des Anbauumfangs von 0,05 ha und steht nicht in Konflikt mit den Fruchtfolgerestriktionen dieser Kultur. Insgesamt beträgt die Ausdehnung der Anbaufläche der Kulturen A und B 0,25 ha. Um diese Fläche bereitzustellen muss der Anbau anderer Kulturen eingeschränkt werden. Im Beispiel sind hiervon die Kulturen C und D betroffen. Die Kultur C wird um  $7/11 \cdot 0,25$  und die Kultur D um  $4/11 \cdot 0,25$  eingeschränkt.

#### 5.1.4 Initialisierung der Agenten - *Farm-System Allocation Tool*

Zur Initialisierung der mittels statistischer Daten entwickelten 28 Farm-Systeme auf Proxel-ebene für das Basisjahr 1995 wurde ein *Farm-System Allocation Tool* entwickelt. Für die Allokation der einzelnen Farm-Systeme auf die Proxel ist die für jedes Farm-System festgelegte Fruchtfolge und Ausstattung an Ackerfläche/Grünlandfläche und die *Suitability* der Kulturen von Bedeutung.

Jedes Proxel weist eine bestimmte Anbaueignung (*suitability*) für die einzelnen Kulturen auf, wobei es für jede Kultur drei verschiedene *Suitability* levels gibt:

- a. Suitability level 1: beste Voraussetzungen für die Kultur
- b. Suitability level 2: gute Voraussetzungen für die bestimmte Kulturart
- c. Suitability level 0: schlechte Voraussetzungen.

Außerdem hat jedes Farm-System eine bestimmte Fruchtfolge. Für jedes Proxel werden die Suitabilities der Früchte aufsummiert und das Farm-System mit der kleinsten Suitability-Summe lokalisiert. Da es nach Angaben der Statistik in einem Landkreis eine unterschiedliche Anzahl von Produktionsrichtungen und Betriebssystemen gibt, werden zur Einhaltung der Anzahl der unterschiedlichen Farm-Systeme die Suitability-Summen mit einem Gewichtungsfaktor versehen. Dieser bezieht die bereits lokalisierten Farm-Systeme mit der Zahl derer die noch lokalisiert werden müssen mit ein. Dadurch wird garantiert, dass nur die Anzahl eines Farm-Systems lokalisiert wird, die von der Statistik ausgewiesen ist. Da die Farm-Systeme zudem eine vorgegebene Ausstattung an Acker- bzw. Grünlandfläche haben (z.B. 20 ha Gesamtfläche) werden pro Proxel mehrere Farm-Systeme allokiert, allerdings nur eines Farm-System Typs.

## 6. Einbindung des Teilprojekts in das Gesamtvorhaben

Das agrarökonomische Teilprojekt wird im Wesentlichen die Auswirkungen unterschiedlicher politischer (z.B. Erhöhung des Wasserpreises) und Global Change - Szenarien auf die ökonomischen Entscheidungen der Landwirte darstellen. Es stellt damit ein zentrales Teilprojekt für die Information der Stakeholder aus dem Bereich Landwirtschaft dar.

Im Projektverlauf wurden im agrarökonomischen Teilprojekt die Verbindungen zu den naturwissenschaftlichen Teilprojekten durch die Erweiterung des direkten Austauschs von einzelnen Parametern ausgebaut. Einerseits importiert die agrarökonomische Modellkomponente wesentliche klimatische Daten sowie die erzielten Erträge der einzelnen Kulturarten. Andererseits stellt die von *Farming* modellierte, nach Kulturarten differenzierte agrarische Landnutzung sowie die damit verbundenen Managementmaßnahmen einen wichtigen Input für andere Modelle in DANUBIA bereit.

Folgende Import/Export Schnittstellen wurden definiert:

Import von	Parameter
Soil	getSoilSaturation (SoilSaturationTypeTable)
Soil	getSoilTempLay1 (TemperatureTable)
Meteorology	getPrecipitationSumFourToEight (MassFluxDensityTable)
Watersupply	getDrinkingWaterPrice (PricePerVolumeTable)
Biological	getYield (MassPerAreaTable)
Export an	
Soil	getFertNitrogen (MassPerAreaTable)
	getFertNMin (MassPerAreaTable)
	getFertNOrg (MassPerAreaTable)
	getFertPhosph (MassPerAreaTable)
	getFertPMin (MassPerAreaTable)
Biological	getFertPOrg (MassPerAreaTable)
	getPlanting (ArableLandcoverTypeTable)
	getHarvesting (BooleanDataTable)
	getCutting (BooleanDataTable)
Watersupply	getPloughing (BooleanDataTable)
	getGrasslandLandcoverType (GrasslandLandcoverTypeTable)
Watersupply	getAgriculturalDrinkingWaterDemand (WaterFluxTable)

Weitere künftig zu implementierende Schnittstellen sind der Import der Lufttemperatur sowie die erreichten Wachstumsstadien der einzelnen Kulturen nach der Aussaat. Zudem wird die Umstellung auf die von der Informatik entwickelte dynamische *subskalige* Landnutzungskomponente zur Folge haben, dass die in den Schnittstellen *getPlanting* und *getGrassland LandcoverCollection* enthaltenen Informationen künftig an die Landnutzungskomponente weitergegeben werden. Die Schnittstellen zu *Biological* bezüglich der pflanzenbaulichen Managementmaßnahmen werden kulturspezifisch ausgestaltet sein.

## 7. Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden zunächst die Ergebnisse der Agrarsektormodellierung für die Szenarien „GAP Reform 2004“ und „SRES A2“ der Stand alone Version des agrarökonomischen Modells auf der Basis statistischer Daten zur Landnutzung analysiert und bewertet. Im Weiteren werden die Ergebnisse der Allokation der Farm Systeme dargestellt.

### 7.1 Regionale Auswirkungen der GAP Reform 2004

Die aktuelle Agrarreform begünstigt viele Grünlandstandorte und extensiv bewirtschaftete Standorte gegenüber der bisherigen Förderung unter Agenda 2000 (BMVEL 2005) und verschiebt die relative Wettbewerbsfähigkeit einzelner Kulturen.

Abbildung 3 zeigt die Veränderung der Gesamtdeckungsbeiträge der Landkreise in der Endstufe der GAP 2004 Reform im Verhältnis zum Basisszenario 2000. Die Änderungen sind in Bezug gesetzt zum Grünlandanteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Es zeigt sich, dass mit zunehmendem Grünlandanteil der Deckungsbeitrag stärker zunimmt.

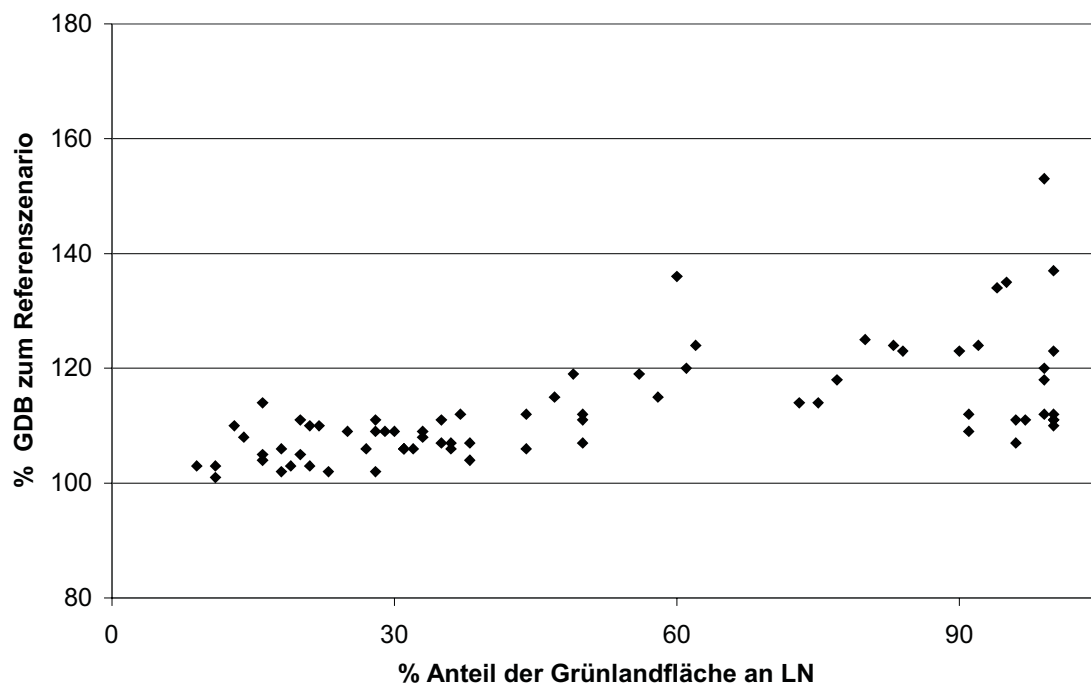


Abb. 3: Veränderung des Gesamtdeckungsbeitrags (GDB) der Landkreise in der Endstufe der Agrarreform im Jahr 2013 gegenüber dem Basisszenario in Bezug zur landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) (Quelle: Eigene Berechnungen)

Der Anstieg der Gesamtdeckungsbeiträge der Landkreise ist hauptsächlich auf die Prämienzahlungen zurück zu führen. In der Endstufe der Agrarreform 2005 werden die Prämien für die Tierhaltung sowie die gekoppelten Prämien für die pflanzliche Produktion gestrichen und durch eine entkoppelte Zahlung für landwirtschaftliche Nutzfläche (Acker-

fläche und Grünland) ersetzt. Die einheitliche Flächenprämie von 340 EUR/ha führt zu einem relativen Anstieg des Prämienvolumens in allen Landkreisen und ist insbesondere darauf zurück zu führen, dass im Gegensatz zur Agenda 2000 Grünland und auch Ackerfutterflächen mit dieser Prämie gefördert werden. Insgesamt ist jedoch anzumerken, dass die Deckungsbeitragsanstiege im Modell überschätzt werden. Die liegt zum einen daran, dass das Gesamtvolumen der Prämien in Deutschland gedeckelt ist und zum anderen daran, dass die für die Endphase der Agrarreform 2005 unterstellte Senkung des Niveaus der Stützpreise im Modell nicht berücksichtigt wird. Auch KÜPKER et al. (2006) gehen von einem geringeren Anstieg des Gesamtdeckungsbeitrags aus.

Die entkoppelten Prämien der GAP Reform 2004 führen zu keiner signifikanten Veränderung der Deckungsbeiträge für Getreide, weshalb die Flächenanteile nahezu konstant zum Basisszenario in 2000 bleiben (Abb. 4).

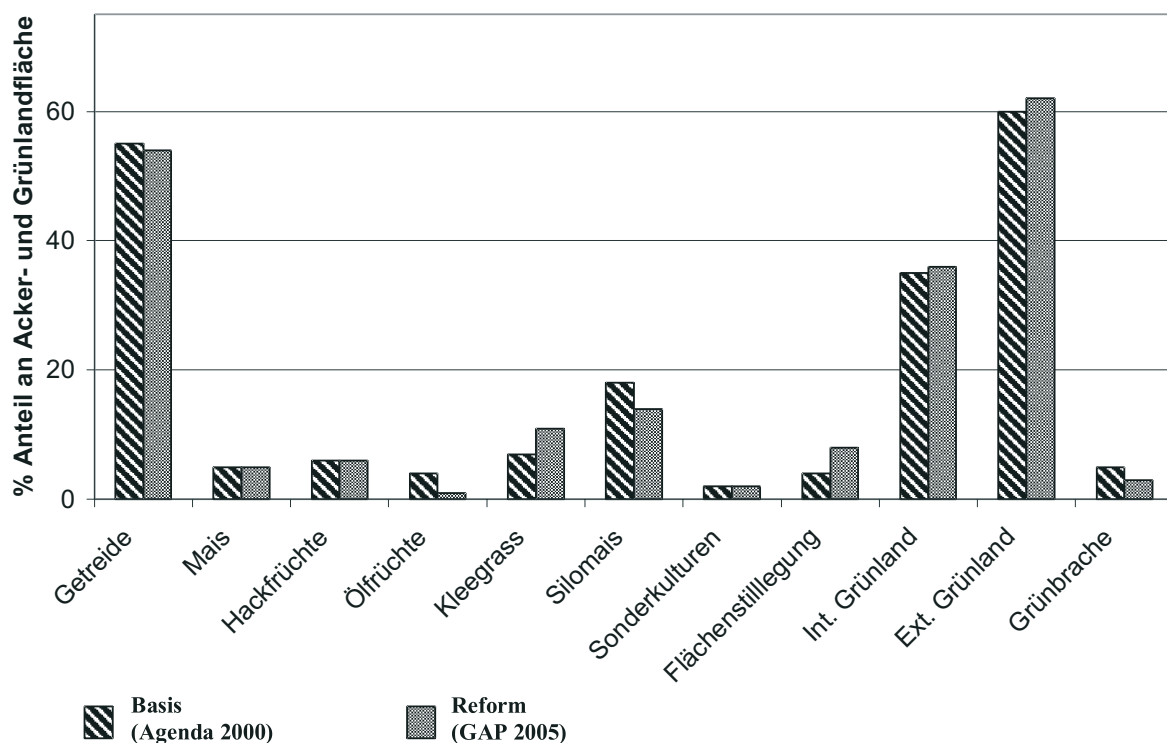


Abb. 4: Entwicklung der Flächenanteile in der pflanzlichen Produktion im Basisszenario und der Endstufe der GAP 2005 Reform.(Quelle: Eigene Berechnungen)

Das neue Prämiensystem führt allerdings zu einer deutlichen Verschiebung der relativen Wettbewerbsfähigkeit der Futterpflanzen zueinander. Während Silomais im gekoppelten Prämiensystem der Agenda 2000 aufgrund der hohen Förderung dem Klee-grass wirtschaftlich überlegen war, wird der Anbau von Klee-grass im entkoppelten System relativ günstiger. Als Folge wird der Anbau von Klee-grass erhöht und es ersetzt teilweise Silomais als Futtermittel. Ähnlich verhält es sich auch für das Grünland.

Für den österreichischen Teil des Einzugsgebietes der Oberen Donau wurden Ergebnisse von agrarpolitischen Simulationen des Agrarsektormodells für das Jahr 2005 mit ausgewiesenen Daten zur durchschnittlichen Einheitlichen Betriebsprämie der Regionshöfe (polit. Bezirke) verglichen. Die berechneten Sätze zur Einheitlichen Betriebsprämie pro Regionshof zeigen eine zufrieden stellende Übereinstimmung (Abb. 5). Für die meisten Regionshöfe wird die Einheitliche Betriebsprämie leicht unterschätzt, für den Regionshof Salzburg hingegen stark überschätzt. Grünlandstandorte profitieren von der Entkoppelung in höherem Maße als Ackerbaustandorte. Bei gleich bleibenden Preisen führt die Agrarreform für die Regionshöfe im österreichischen Einzugsgebiet der Oberen Donau zu positiven Einkommenseffekten. Dies deckt sich mit Ergebnissen des Betriebsoptimierungssystems



FAMOS (Schmid 2004). Der Vergleich der Modellergebnisse mit Standardeckungsbeiträgen für Westösterreich (BMLF 2000; BMLFUW 2002) deutet darauf hin, dass die berechneten Deckungsbeiträge für Grünlandstandorte tendenziell unterschätzt werden.

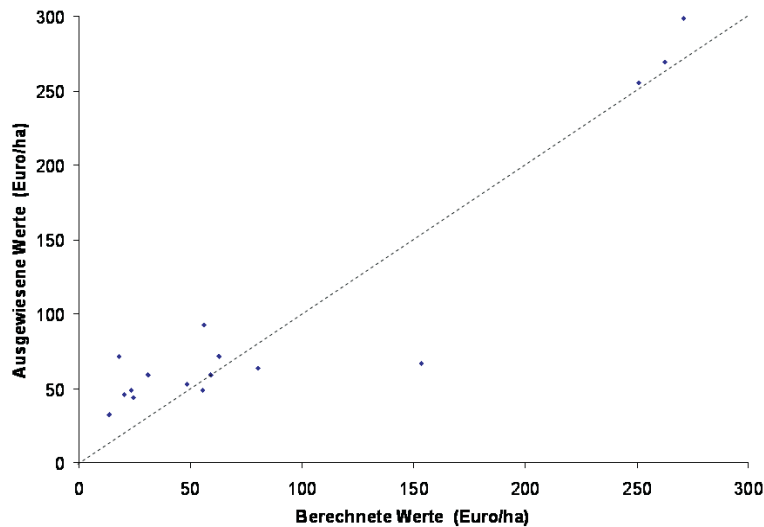


Abb. 5: Vergleich der berechneten und ausgewiesenen durchschnittlichen Einheitlichen Betriebsprämie der Regionshöfe für den österreichischen Teil des Einzugsgebietes für das Jahr 2005 (Quelle: AMA 2006, Eigene Berechnungen)

## 7.2 Regionale Auswirkungen klimabedingter Ertragsänderungen

Im SRES A2 Szenario bewirken die für das Jahr 2020 simulierten Ertragssteigerungen keinen Anstieg der Flächenanteile bei den Marktfrüchten (Tab. 15). Bei den Futterpflanzen bewirkt die erhöhte Produktivität eine Reduzierung der benötigten Flächen für die Futtermittelproduktion. Die Substitution von Silomais durch Klee gras ist, wie bereits im voran gegangenen Kapitel aufgezeigt, auf die Agrarreform 2004 zurück zu führen.

Tab. 15: Anbauumfang der Kulturen im Donaueinzugsgebiet im Jahr 2020 für das A2 SRES Emissions-Szenario unter Berücksichtigung der Agrarreform. Veränderungen gegenüber dem Basiszenario 2000 in Klammern (Quelle: Eigene Berechnungen)

NUTS2 Region	Getreide		Mais		Hackfrüchte		Ölfrüchte		Klee gras		Silomais		Sonderkulturen		Flächenstilllegung	
	% der LN															
DE11	34	(-1)	0	(0)	1	(0)	2	(-1)	6	(2)	5	(-4)	0	(0)	5	(4)
DE13	28	(1)	0	(0)	1	(0)	1	(-2)	3	(1)	1	(-1)	0	(0)	3	(1)
DE14	35	(-1)	1	(0)	1	(0)	3	(-1)	3	(0)	5	(-1)	1	(0)	4	(2)
DE21	28	(0)	2	(-1)	4	(0)	2	(-1)	7	(3)	8	(-4)	2	(0)	4	(2)
DE22	35	(1)	10	(1)	6	(0)	1	(-1)	4	(1)	8	(-4)	2	(0)	6	(3)
DE23	43	(1)	1	(0)	4	(0)	1	(-3)	11	(5)	4	(-7)	0	(0)	6	(3)
DE25	47	(3)	1	(0)	2	(0)	2	(-2)	4	(2)	6	(-6)	1	(0)	6	(4)
DE27	27	(0)	2	(1)	3	(0)	1	(0)	3	(0)	7	(-3)	0	(0)	4	(3)
AT31	23	(-3)	7	(1)	1	(0)	1	(-1)	7	(-2)	9	9	1	(0)	5	(4)
AT32	0	(-1)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0	(0)
AT33	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	1	(0)	1	(0)	0	(0)	0	(0)
AT34	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0	(0)
	34	(-1)	0	(0)	1	(0)	2	(-1)	6	(2)	5	(-4)	0	(0)	5	(4)

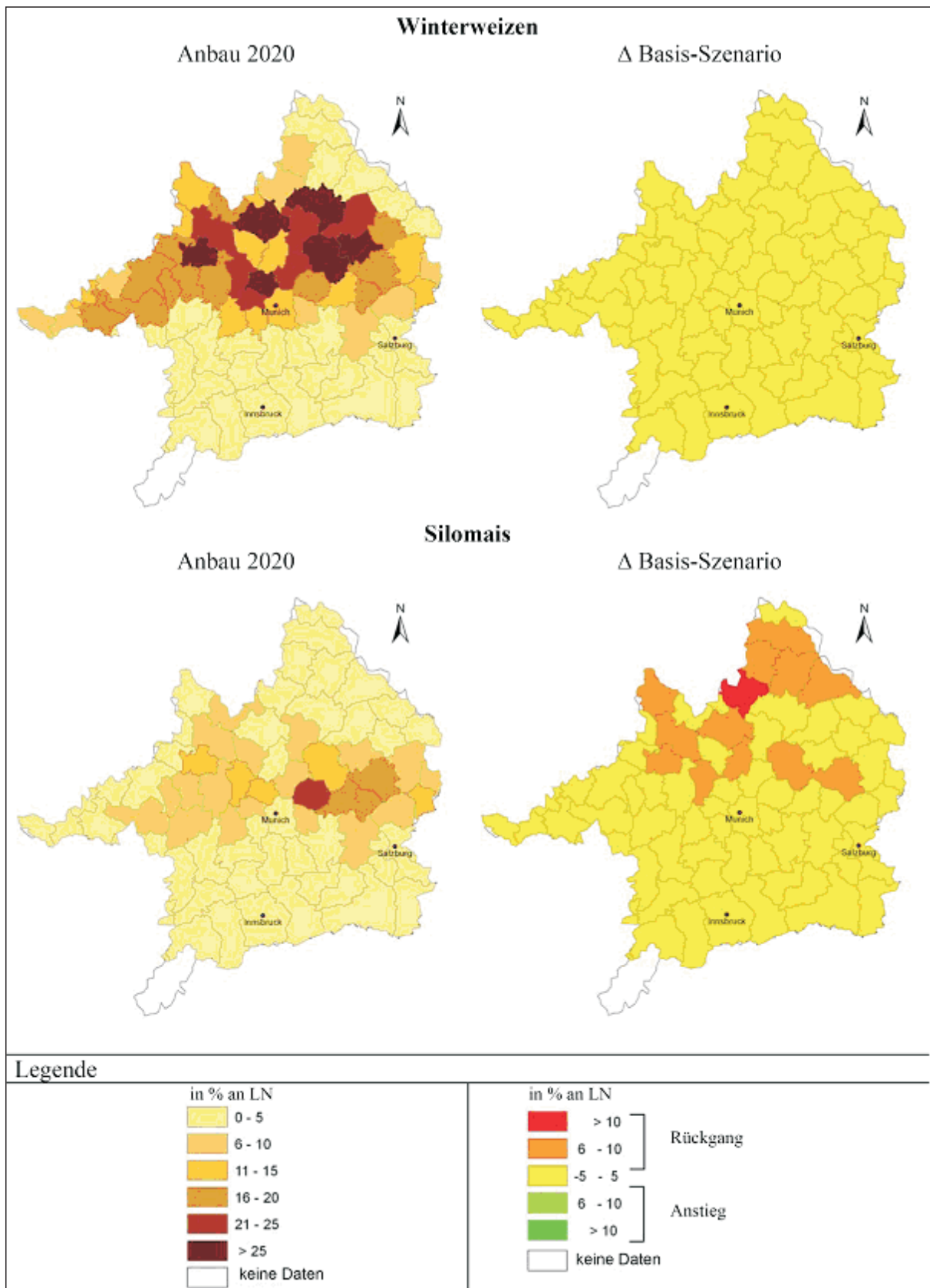


Abb. 6: Anbauumfang von Winterweizen und Silomais sowie Veränderungen gegenüber dem Basisszenario 2000 im Donaeinzugsgebiet im Jahr 2020 für das A2 SRES Emissions-Szenario unter Berücksichtigung der Agrarreform2004 (Quelle: Eigene Berechnungen)

Abbildung 6 zeigt den Anbauumfang von Winterweizen und Silomais in den Landkreisen des Einzugsgebiets der Oberen Donau für das SRES A2 Szenario im Jahr 2020 unter Berücksichtigung der Agrarreform. Im Vergleich zum Basisszenario in 2000 treten für Winterweizen keine

signifikanten Änderungen des Anbauumfangs auf. Dies lässt sich dadurch erklären, dass zum einen die von ROIMPEL modellierten Ertragssteigerungen für Winterweizen zu gering sind um größere Änderungen des Anbauumfangs hervorzurufen. Zum Anderen führt die Agrarreform zu keiner wesentlichen Veränderung der relativen Wettbewerbsfähigkeit von Winterweizen. Im Gegensatz dazu reduziert sich der Anbau von Silomais entlang der Donau und nach Norden hin zum Oberpfälzer Wald zum Teil stark, primär als Wirkung der Agrarreform.

In Abbildung 7 sind die Auswirkungen der Agrarreform 2004 ohne und mit klimabedingten Ertragsänderungen auf den Anbauumfang von Winterweizen und Silomais dargestellt. In den ausgewählten Landkreisen, die mittlere bis hohe Tierdichten und hohe Ackerlandanteile mit schwerpunktmäßigem Anbau von Getreide und Futterpflanzen aufweisen, führen weder die von ROIMPEL modellierten Ertragsänderungen noch die Agrarreform 2004 zu einer signifikanten Anbauänderung von Winterweizen gegenüber dem Basisjahr. Für Silomais hingegen reduziert sich der Anbauumfang deutlich durch die Wirkungen der Agrarreform 2004, während die vom Pflanzenwachstumsmodell modellierten Ertragssteigerungen den Anbauumfang lediglich geringfügig verstärken.

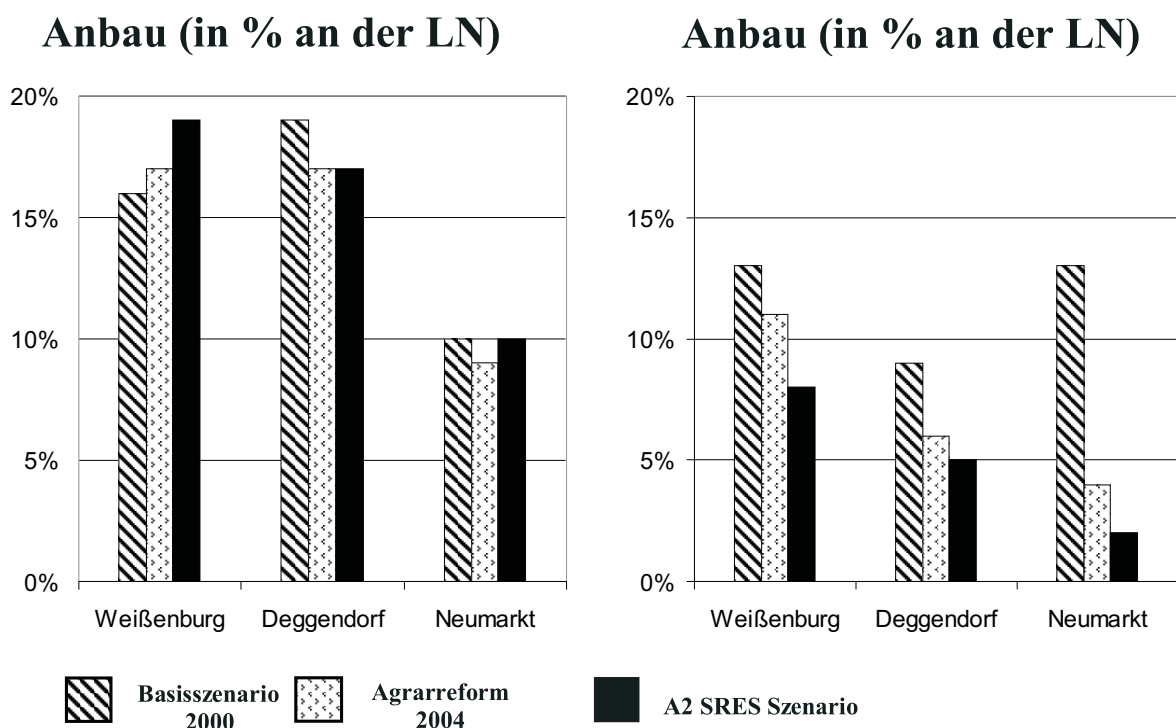


Abb. 7: Anbauumfang von Winterweizen und Silomais in ausgewählten Landkreisen im Donaueinzugsgebiet im Jahr 2020 für die Endstufe der Agrarreform und dem kombinierten A2 SRES Emissions-Szenario unter Berücksichtigung der Agrarreform (Quelle: Eigene Berechnungen)

Im Landkreis Weißenburg erfolgt der Anbau von Silomais hauptsächlich als Futtermittel für die Milchviehhaltung. Die Entkoppelung reduziert die vormals hohen Prämien für Silomais und verringert seine relative Wettbewerbsfähigkeit gegenüber Klee gras. Zudem wird in diesem Landkreis der Bullenbestand deutlich reduziert, was insgesamt zu einem Rückgang der Produktion von Silomais und Klee gras führt. Der Anbau von Winter rap s wird als Folge der Agrarreform 2004 ebenfalls reduziert. Die frei werdenden Flächen werden größtenteils stillgelegt und zu einem geringeren Teil mit Winterweizen bestellt. Im Emissions-szenario SRES A2 für das Jahr 2020 verringern die Ertragsteigerungen bei Silomais die zur Futtermittelproduktion benötigte Fläche. Die frei werdende Fläche wird verstärkt durch Anbau von Winterweizen genutzt, welcher im Vergleich zu den anderen beiden Landkreisen ansteigt.

Im Landkreis Deggendorf wird Silomais sowohl zur Milchvieh- als auch zur Mastbullenfütterung eingesetzt. Die Agrarreform 2004 bewirkt einen Rückgang des Einsatzes von Si-

lormais in der Milchvieh- und Mastbullenfütterung zugunsten von Klee gras (und intensivem Grünland). Die obligatorische Stilllegungsfläche wird auf Kosten des Getreideanbaus erhöht. Die klimainduzierte Ertragssteigerung im SRES A2 Szenario führt zu einer weiteren Verringerung der benötigten Futterfläche. Auf den frei werden Flächen wird verstärkt Körnermais angebaut.

Im Landkreis Neumarkt dient Silomais im Verhältnis zu Klee nur in eingeschränktem Maße als Milchviehfutter und wird primär in der Bullenmast eingesetzt. Durch die Entkoppelung wird der Anbau von Klee gegenüber Silomais begünstigt und es kommt es zu einer starken Reduzierung von Silomais bei gleichzeitiger Erhöhung des Klee grasanbaus. Der Getreideanbau wird zu Gunsten der obligatorischen Stilllegung reduziert. Die klimainduzierten Ertragssteigerungen im SRES A2 Szenario erhöhen die Produktivität der Futterpflanzen und reduzieren die benötigte Futterfläche weiter. Auf den frei werden Flächen erfolgt Getreideanbau und erreicht in etwa den Umfang des Basisszenarios.

### 7.3 Ergebnisse der Allokation der Agenten

Zur Überprüfung der Initialisierungsergebnisse zur Landnutzung und Tierhaltung nach der Allokation der Farm-Systeme auf Proxelebene wurden diese mit den von ACRE auf Grundlage der statistischen Daten von 1995 kalkulierten Ergebnissen verglichen. Dies wurde auf der Ebene des gesamten Einzugsgebietes als auch auf Landkreisebene durchgeführt.

Für die Landnutzung zeigt sich bezogen auf das gesamte Einzugsgebiet der Oberen Donau insgesamt ein sehr gutes Kalibrierungsergebnis (Tab. 16), wobei eine Abweichung von  $\pm 10\%$  als akzeptabel erachtet wird. Eine Ausnahme bildet die Kultur Hopfen, da es sich hier um eine aggregierte Kultur handelt. D.h., dass unter dem Begriff Hopfen alle Dauerkulturen zusammengefasst sind. Zudem ist die Anbaufläche an Dauerkulturen im Einzugsgebiet sehr gering und durch die Tatsache, dass pro Proxel nur ein Farm-System gesetzt werden kann, kann es sein, dass die Dauerkulturfläche in einem Landkreis nach Allokation der Farm-Systeme etwas höher ist als von ACRE ausgewiesen.

Tab. 16: Vergleich der Anbauflächen unterschiedlicher Kulturarten aus ACRE mit den Ergebnissen nach Allokation der Farm-Systeme für 1995 im gesamten Einzugsgebiet (Quelle: Eigene Berechnungen)

Landnutzung	Anbauflächen aus ACRE (ha)	Anbauflächen nach Allokation der Farm Systeme (ha)	Differenz in %
Hopfen	28 636	33 572	17.2
Zuckerrüben	50 453	49 279	-2.3
Kartoffeln	51 838	51 549	-0.6
Körnermais	97 103	99 825	2.8
Silomais	282 446	268 745	-4.9
Sommergerste	135 619	121 221	-10.6
Raps	107 877	100 154	-7.2
Wintergerste	197 825	208 245	5.3
Hafer	95 173	90 231	-5.2
Sommerweizen	11 605	11 243	-3.1
Roggen	30 095	30 039	-0.2
Leguminosen	10 528	10 080	-4.3
Ackerfutterbau	114 836	110 591	-3.7
Stilllegung	88 617	89 404	0.9
Winterweizen	421 773	436 279	3.4

Tabelle 17 stellt die Kalibrierungsergebnisse der Tiere dar. Auch der überwiegende Teil der Tierhaltungsverfahren befindet sich innerhalb des akzeptierten Bereichs von  $\pm 10\%$ . Allerdings gibt es hier größere Abweichungen. Die für einige Tierarten etwas größeren Abweichungen sind insbesondere darauf zurückzuführen, dass die Allokation ganz wesentlich durch den Bereich Pflanzenbau innerhalb eines Farm-Systems gesteuert wird. Die Anzahl der Tiere ergibt sich dann aus den zugewiesenen Haltungsumfängen bestimmter Tierarten innerhalb der Farm-Systeme.

Tab. 17: Vergleich der Anzahl an Tieren aus Berechnungen mit ACRE mit den Ergebnissen nach Allokation der Farm Systeme für 1995 im gesamten Einzugsgebiet (Quelle: Eigene Berechnungen)

	<b>Tierhaltung aus ACRE (Stück)</b>	<b>Tierhaltung nach Allokation der Farm-Systeme (Stück)</b>	<b>Differenz in %</b>
Milchkühe	1 812 855	1 668 483	-7.9
Mutterkühe	64 238	59 514	-7.4
Bullen	717 746	827 297	15.3
Faerse	1 019 747	940 351	-7.8
Männliche Kälber	202 661	195 995	-3.3
weibliche Kälber	260 984	243 029	-6.9
Zuchtsauen	488 834	647 923	32.5
Mastschweine	1 455 072	1 543 326	6.1
Schafe	197 881	152 346	-23.0
Pferde	200 999	237 815	18.3

Auf Landkreisebene fallen die Ergebnisse sehr unterschiedlich aus, was im Wesentlichen auf die Größe der Landkreise sowie die Anzahl der Proxel mit Ackerfläche zurückzuführen ist. Tabelle 18 zeigt am Beispiel der Landnutzung in einem großen und einem kleinen Landkreis, wie sich dies auf den Allokationsprozess auswirken kann.

In einem großen Landkreis steht in der Regel eine größere Anzahl an Proxeln mit einer ähnlich ausgeprägten Ausstattung an Acker- und Grünlandfläche zur Verfügung. Dadurch gleichen sich die Ergebnisse mehrerer Simulationsläufe in großen Landkreisen besser aus. Die Abfolge der Proxel, auf die die Farm-Systeme gesetzt werden, weist keine so große Variabilität auf wie in einem kleinen Landkreis mit zum Einen weniger und zum Anderen deutlich unterschiedlicher ausgestatteten Proxeln. Unterschiede treten zudem insbesondere bei solchen Kulturarten auf, die laut ACRE nur in einem sehr geringen Umfang in einem Landkreis angebaut werden. Da ein Proxel nur mit einem Farm-System Typ belegt werden kann, kann es hier zu Abweichungen kommen. Dies sieht man zum Beispiel bei den Leguminosen in Tabelle 18. Der Mehranbau an Leguminosen nach Allokation der Farm-Systeme ist allerdings absolut gesehen relativ gering gemessen an der Gesamtausstattung an Ackerfläche in dem betreffenden Landkreis.



Tab. 18 Abweichungen von der Statistik am Beispiel eines großen und eines kleinen Landkreises im Einzugsgebiet bezogen auf die Landnutzung (Quelle: Eigene Berechnungen)

Landnutzung	Kleiner Landkreis (Ackerfläche: 17852 ha)		Großer Landkreis (Ackerfläche: 85474 ha)	
	ACRE (ha)	Prozentuale Abweichung nach Allokation auf Proxelebene	ACRE (ha)	Prozentuale Abweichung nach Allokation auf Proxelebene
Hopfen	78.2	-15.1	1485	-13.3
Zuckerrüben	140.6	5.7	1783.4	4.1
Kartoffeln	138.6	12.0	647.5	4.6
Körnermais	124.8	14.1	7671.1	-0.5
Silomais	1877.3	-43.0	14935.2	21.1
Sommergerste	3115.7	33.5	607.3	6.9
Raps	1487.1	24.4	7623.2	9.6
Wintergerste	1877.9	-6.6	12180.5	3.8
Hafer	1150.2	13.3	2122.8	17.7
Sommerweizen	130.6	14.1	176	0.8
Roggen	421	11.0	58.8	8.9
Leguminosen	411.3	35.6	309.2	62.7
Ackerfutterbau	1357.4	-35.7	3221.1	25.9
Stilllegung	324.5	2.5	4794.5	9.6
Winterweizen	5216.8	5.1	27858.5	-2.9

In Tabelle 19 ist die Korrelation der von ACRE kalkulierten Flächenumfänge der einzelnen Kulturen sowie der Tierzahlen mit den Allokationsergebnissen der Farm-Systeme in den Landkreisen dargestellt. Der größte Teil der Landkreise weist einen höheren Korrelationswert als 0.6 auf. Einflussfaktoren, die sich negativ auf die Korrelationswerte auswirken, sind, wie schon oben angesprochen, Landkreise mit einem geringen Anteil Ackerfläche oder mit einer geringen Gesamtfläche. Die Korrelation der Daten zwischen den unterschiedlichen Allokationsläufen weist auf sehr geringe Unterschiede zwischen den Läufen hin. Bis auf ein oder zwei Ausnahmen sind alle Korrelationswerte größer als 0.9. Dies ist ein Zeichen für die Stabilität des Allokationsalgorithmus.

Tab. 19 Anzahl der Landkreise bezogen auf die Korrelationswerte zwischen von ACRE kalkulierten Landnutzungs-/Tierhaltungsdaten und den Allokationsergebnissen (Quelle: Eigene Berechnungen)

Korrelationskoeffizient	Korrelation der von ACRE ausgewiesenen Fläche der einzelnen Ackerkulturen gegenüber den Allokationsergebnissen Anzahl Landkreise	Korrelation der von ACRE ausgewiesenen Tierzahlen gegenüber den Allokationsergebnissen Landkreise (Anzahl)
r>0.9	52	53
r<0.9	8	9
r<0.8	3	3
r<0.7	1	3
r<0.6	1	3
r< 0.5	1	1
r<0.4	1	1
r<0.3	1	1
r<0.2	3	
r< 0	1	
Kein Wert	2	

## 8. Literatur

- AMA (Agrarmarkt Austria) (2005): Einheitliche Betriebsprämie 2005 - Merkblatt mit Ausfüllanleitung. Agrarmarkt Austria, Wien.
- AMA (Agrarmarkt Austria) (2006a): Durchschnittliche Einheitliche Betriebsprämie 2005 pro politischer Bezirk - vorläufige Auswertung. Agrarmarkt Austria, Wien. Excel-Datenblatt. Persönliche Datenübermittlung [Jantschge, M. übermittelt am 25. April 2006].
- AMA (Agrarmarkt Austria) (2006b): Cross Compliance, Einhaltung anderweitiger Pflichten - Merkblatt 2006. Agrarmarkt Austria, Wien S. 31.
- AUDSLEY E., PEARN K.R., SIMOTA C., COJOCARU G., KOUTSIDOU E., ROUNSEVELL M.D.A., TRNKA M. und ALEXANDROV, V. (2006): What can scenario modelling tell us about future European scale agricultural land use, and what not? Environmental Science and Policy, Volume 9, Issue 2: S. 148-162.
- 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. und RUDOW, K. (2003b): Zwischenbewertung der Ausgleichszulage in benachteiligten Gebieten 2000 bis 2002 in Bayern. Braunschweig : FAL, IV, 70, 34 S.
- BLSD (Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung) (2002): Betriebsstruktur in der Landwirtschaft Bayerns 1999. Ausgewählte Ergebnisse für Kreise aus der Landwirtschaftszählung/Agrarstrukturerhebung 1999, Heft 529.
- BMELF (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (1996a): Die europäische Agrarreform - pflanzlicher Bereich. BML, Bonn.
- BMELF (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (1996b): Die europäische Agrarreform - Tierprämien. BML, Bonn. Best. Nr. 425-3/96.
- BMELF (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (2000a): Agenda 2000 - Pflanzlicher Bereich Agrarumweltmaßnahmen. BML, Bonn.
- BMELF (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (2000b): Agenda 2000 - Tierprämien. BML, Bonn.
- BMELF (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.
- BMELF (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (2002a): Agenda 2000 - Pflanzlicher Bereich Agrarumweltmaßnahmen. BML, Bonn.
- BMELF (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (2002b): Agenda 2000 - Tierprämien. BML, Bonn.
- BMLF) (Bundesministerium für Land - und Forstwirtschaft) (2000: Standarddeckungsbeiträge und Daten für die Betriebsberatung 1999/2000/2001. Konventionelle Produktion. Ausgabe Westösterreich. BMLF, Wien.
- BMLFUW (Bundesministerium für Land - und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft) (1996): Grüner Bericht 1995. BMLFUW, Wien. [www.gruener-bericht.at](http://www.gruener-bericht.at).
- BMLFUW (2001) (Bundesministerium für Land - und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft): Grüner Bericht 2000. BMLFUW, Wien. [www.gruener-bericht.at](http://www.gruener-bericht.at).

- BMLFUW (Bundesministerium für Land - und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft) (2002): Standarddeckungsbeiträge und Daten für die Betriebsberatung 2002/03. Konventionelle Produktion. Ausgabe Westösterreich. BMLFUW, Wien. URL: <http://www.landnet.at/filemanager/download/5438/> [11.10.2006].
- BMLFUW (Bundesministerium für Land - und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft) (2003): Die Reform der EU Agrarpolitik. BMLFUW, Wien.
- BMLFUW (Bundesministerium für Land - und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft) (2004): Compensatory allowances in the municipalities 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](http://www.gruener-bericht.at).
- BMLFUW (Bundesministerium für Land - und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft) (2006a): Compensatory allowances in the municipalities of the Danube river basin. Department II sustainability and rural areas. BMLFUW, Wien (personal communication).
- BMLFUW (Bundesministerium für Land - und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft) (2006b): Der grüne Pakt für Österreichs Landwirtschaft Ländliche Entwicklung 2007 - 2013 Entwurf November 2006. BMLFUW, Wien. URL: <http://land.lebensministerium.at>.
- BMLFUW (Bundesministerium für Land - und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft) (2006b): ÖPUL 2007 - Allgemeiner Teil und Maßnahmen. Stand: November 2006. BMLFUW, Wien. URL: <http://land.lebensministerium.at>.
- BMVEL (Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft) (2005): Meilensteine der Agrarpolitik - Umsetzung der europäischen Agrarreform in Deutschland. BMVEL, Berlin.
- DIEPENBROCK, W., FISCHBECK, G., HEYLAND, K.-U. und KNAUER, N. (1999): Spezieller Pflanzenbau, 3. Auflage. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- HEYLAND, K.-U. (1996): Spezieller Pflanzenbau, Landwirtschaftliches Lehrbuch. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- KÖNNECKE, G. (1967): Fruchtfolgen. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- KTBL- Datensammlung (2004): Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/2005.
- KÜPKER, B., HÜTTEL, S., KLEINHANS W. und OFFERMANN, F. (2006): Assessing impacts of CAP Reform in France and Germany - Abschätzung der Auswirkungen der Agrarreform in Frankreich und Deutschland. Agrarwirtschaft 55, Heft 5/6: S. 227-237.
- LEL (2006): Nährstoffvergleich Feld-Stall 2006 Version 1.0(Stand 28.02.2007), <http://www.landwirtschaft-bw.info/servlet/PB/menu/>.
- LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg) und LfU (Bayrisches Landesamt für Umwelt) (Hrsg.) (2006): Unser Klima verändert sich, Folgen-Ausmaß - Strategien, Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft in Süddeutschland. KLIWA Klimaveränderung und Wasserwirtschaft, August 2006.
- MEIER, U., STAUSS, R., KLOSE, R., HACK, H., BUHR, L., LANCASHIRE, P. D., VAN DEN BOOM, T., HESS, M., WICKE, H., FELLER, C., BLEIHOLDER, H. und WEBER, E. (2001): Growth stages of mono-and dicotyledonous plants, BBCH Monograph2. Edition, 2001, Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry; <http://www.bba.bund.de>.

- NAKIĆENOVIĆ, N. (ed.), ALCOMO J., DAVIS G., DE VRIES B., FENHANN J., GAF-FIN S., GREGORY K., GRUBLER, A., JUNG T.Y., KRAM T., EMILIOLA ROVE-RE E., MICHAELIS, L., MORI S., MORITA T., PEPPER W., PITCHER H., PRICE L., RIAHI K., ROEHL A., ROGNER H.-H., SANKOVSKI A., SCHLESINGER M.E., SHUKLA P.R., SMITH S., SWART R.J., VAN ROOYEN S., VICTOR N. und DADI, Z. (2000) : Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- SCHMID, E. (2004): Das Betriebsoptimierungssystem - FAMOS. Diskussionspapier Nr. DP-09-2004 des Instituts für nachhaltige Wirtschaftsentwicklung, Universität für Bodenkultur Wien.
- SIMOTA, C. (2007): Crop yield data from calculations with the ROIMPEL crop growth model for the Upper Danube basin. National Research Institute for Soil Science, Bucharest, Romania. Unpublished.
- SLBW (Statistisches Landesamt Baden- Württemberg) (1996): Land- und forstwirtschaftliche Betriebe sowie Betriebsgrößenstruktur und Sozialökonomik der landwirtschaftlichen Betriebe in den Gemeinden und Bezirken der Ämter für Landwirtschaft in Baden-Württemberg, Statistische Berichte Baden-Württemberg.
- SLBW (Statistisches Landesamt Baden-Württemberg) (1997): Agrarberichterstattung 1995, Statistik von Baden-Württemberg. Band 519.
- SLBW (Statistisches Landesamt Baden- Württemberg) (2000): Statistische Berichte Ba-den-Württemberg. Größenstruktur und sozialökonomische landwirtschaftlichen Be-triebe in den Gemeinden Baden- Württemberg.
- StaLa (Statistisches Landesamt Baden Württemberg) (2005): Struktur- und Regionaldatenbank. Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Stuttgart. URL: [www.statistik-bw.de](http://www.statistik-bw.de).
- STATISTIK AUSTRIA (Bundesanstalt Statistik Österreich) (2005): Ergebnisse der land-wirtschaftlichen Statistik im Jahre 2002. Wien, Austria. Excel-Datenblatt. Persönli-che Datenübermittlung [Dötzl, M. übermittelt am 27. April 2005].
- StMLF (Bayrisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten) (2004): GAP-Re-form 2005. Europäische Agrarreform 2005 - Nationale Umsetzung. StMLF, Mün-chen.
- StMLF (Bayrisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten) (2006): Bayerisches Zukunftsprogramm Agrarwirtschaft und Ländlicher Raum 2007 - 2013 aus dem Eu-ropeäischen Landwirtschaftsfonds (ELER) gemäß Verordnung (EG) Nr. 1698/2005. Stand: Einreichung bei der EU-Kommission am 14.12.2006. Bayrisches Staatsminis-terium für Landwirtschaft und Forsten, München. [www.stmlf.bayern.de](http://www.stmlf.bayern.de).
- VERBURG, P.-H., CHEN, Y., SOEPBOER, W. und VELDKAMP, T. (2000): GIS-based mode-ling of human-environment interactions for natural resource management - applica-tions in Asia. Proceedings of the 4th International Conference on Integrating GIS and Envi-ronmental Modeling (GIS/EM4) „Problems, Prospects and Research Needs“, 2.-8. Sep-tember 2000, Banff, Alberta, Canada, <http://www.gis.wau.nl/~clue/banf/banf71/banf71.html>, 7.6.2002: 17 S.
- WINTER, T. (2005): Ein Nichtlineares Prozessanalytisches Agrarsektormodell für das Ein-zugsgebiet der Oberen Donau - Ein Beitrag zum Decision-Support-System Glowa-Danubia, PhD-Thesis, University of Hohenheim, Stuttgart. URL: <http://opus-ho.uni-stuttgart.de/hop/volltexte/2005/91/pdf/Dissertation.pdf>.





# **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: Lehrstuhl für Pflanzenökologie (Arbeitsgruppe Ökosysteme)  
Universität Bayreuth, Universitätsstr. 30, 95447

## **1. Organisatorisches**

### **1.1 Arbeitsgruppe in der Zeitperiode März 2004 bis Ende Februar 2007**

Modellierung des Gasaustausches von Ökosystemen

- Herr H.-J. Scharfenberg Biological-Objekt; UML-, C-, Java-Programmierung, Koordination
- Dr. Quan Wang Zeitskalierung, Strahlung und Skalierung in Bergregionen
- Herr Dinh Nguyen "Radiation Use Efficiency" und absorbierte Strahlung (APAR)
- Dr. Matthias Drösler Datenaufbereitung

### **1.2 Publikationen**

ADIKU, S.G.K., REICHSTEIN, M., LOHILA, A. et al. (2006): PIXGRO: A model for simulating the ecosystem CO<sub>2</sub> exchange and growth of spring Barley. *Ecological Modelling* 190: S. 260-276.

DINH, N.Q., REICHSTEIN, M., ADIKU, S. et al. (2007): LAI dynamics in a managed Alpine grassland: matching ground observations, ecosystem modeling and MODIS/TM remote sensing. In preparation for *Remote Sensing of Environment*.

DINH, N.Q. (2007): Validation of MODIS reflectance, land cover and LAI products at Central European eddy covariance flux measurement sites. Doctoral Thesis, University of Bayreuth, submission in October 2007.

KOLCUN, O., SCHMIDT, M., OTIENO, D., WANG, Q. und TENHUNEN, J.D. (2007): Water use by Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) along elevation gradients in the Alps. Submitted to *Annals of Forest Science*.

KOLCUN, O. (2006): Water Use of Forests Along Elevation Gradients in the Berchtesgaden National Park. Doctoral Thesis, University of Bayreuth, S. 203.

LI, Y.L., TENHUNEN, J., OWEN, K., SCHMITT, M., BAHN, M., OTIENO, D., GRUENWALD, T., HUSSAIN, Z. und BERNHOFER Ch. (2007): Patterns in CO<sub>2</sub> gas exchange capacity of grassland ecosystems in the Alps. Submitted to *Agricultural and Forest Meteorology*.

TENHUNEN, J., GEYER, R., ADIKU, S., TAPPEINER, U., BAHN, M., DINH, N.Q., KOLCUN, O., LOHILA, A., OWEN, K., REICHSTEIN, M., SCHMIDT, M., WANG, Q., WARTINGER, M., WOHLFAHRT, G. und CERNUSCA, A. (2007): Influences of landuse change on ecosystem and landscape level carbon and water balances in mountainous terrain of the Stubai Valley, Austria. *Global Planetary Change* (in press).

- WANG, Q., TENHUNEN, J., DINH, N.Q., REICHSTEIN, M., VESALA, T. und KERO-NEN, P. (2004): Similarities in ground- and satellite-based NDVI time series and their relationship to physiological activity of a Scots pine forest in Finland. *Remote Sensing of Environment* 93: S. 225-237.
- WANG, Q., TENHUNEN, J., GRANIER, A., REICHSTEIN, M., BOURIAUD, O., NGUYEN, D. und BREDA, N. (2004): Long-term variations in leaf area index and light extinction in a *Fagus sylvatica* stand as estimated from global radiation profiles. *Theor. Appl. Climatol.*, DOI 10.1007/s00704-004-0074-3.
- WANG, Q., ADIKU, S., TENHUNEN, J. und 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., SCHMIDT, M., OTIENO, D., KOLCUN, O. und DROESLER, M. (2005): Diffuse PAR irradiance under clear skies in complex alpine terrain. *Agric. For. Meteorol.* 128: S. 1-15.
- WANG, Q., TENHUNEN, J., DINH, N.Q., REICHSTEIN, M., OTIENO, D., GRANIER, A. und 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.
- WANG, Q., KAKUBARI, Y., KUBOTA, M. und TENHUNEN, J. (2006): Variation on PAR to global solar radiation ratio along altitude gradient in Naeba Mountain. *Theoretical and Applied Climatology* DOI 10.1007/s00704-005-0220-6.
- WANG, Q., TENHUNEN, J., SCHMIDT, M., KOLCUN, O., DROESLER, M. (2006): A model to estimate global radiation in complex terrain. *Boundary-Layer Meteorology*, 119: S.409-429.
- WANG, Q., ATSUHIRO, I., TENHUNEN, J. und KAKUBARI, Y. (2007): Annual and seasonal variation in photosynthetic capacity of *Fagus crenata* along elevation gradients in the Naeba Mountains, Japan. *Tree Physiology, in Revision*.

### 1.3 Teilnahme an Tagungen und Forschungsaufenthalte

- 31.05.-02.06.2004 Koordinationstreffen Phase II, Frauenchiemsee (Tenhunen, Scharfenberg, Drösler)
- 17.-19.05.2005 2. GLOWA-Statuskonferenz, Köln; Posterpräsentationen (Scharfenberg).
- 01.07.-10.07.2005 Forschungsaufenthalt, Universität New Hampshire, Modellierung der Phänologie (Tenhunen)
- 20.10.2005 Stakeholderkonferenz „Veränderung von Landnutzung und Wasserbedarf im Donaeinzugsgebiet unter Global Change Bedingungen“, München (Scharfenberg).
- 30.11.-02.12. 2005 GLOWA-Klausurtagung, Linden (Scharfenberg, Tenhunen).
- 04.12.09.12.2005 AGU Meeting, San Francisco USA, Präsentation der GLOWA-Modelle (Tenhunen)
- 12.-13.12.2005 Koordinationstreffen mit dem Teilprojekt „Agrarökosysteme“, Geographisches Institut der Universität zu Köln (Scharfenberg).
- 17.12.-20.12.2005 Forschungsaufenthalt, Universität New Hampshire, Modellierung der Phänologie (Tenhunen)

Herr Scharfenberg war im Sommer 2006 für 10 Tage in Lisboa, Portugal, in der Arbeitsgruppe von Prof. Pereira, zum Thema „Wachstum der Korkeichenwälder unter Trockenstress“.

## **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 wurde 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 führte zu einer räumlichen und inhaltlichen Aufteilung der Zuständigkeiten, als auch zu einer Trennung des Modell-Codes. Die nachfolgenden Abschnitte geben einen Überblick über die erfolgte Unterteilung hinsichtlich der Landnutzung, der UML-Entwicklung und des Modell-Codes (für weitergehende Informationen zum *Biological-Agricultural*-Objekt siehe hierzu die Berichte 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 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. Eine detaillierte Beschreibung mit tabellarischer Übersicht ist dem Jahresbericht 2005 zu entnehmen.

### **Modellintegration in DANUBIA**

Die Einbindung des bisherigen Modells in seine Umgebung ist insofern angepasst worden, als dass zahlreiche Änderungen in Bezug auf das *Framework* (Version 1.1.9) 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*. 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 verschiede-

ne 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* an die entsprechenden Schnittstellen weiter.

Das neue Paket *natural* (für Details zum Paket *agricultural* siehe Berichte 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. 1a). Die Kommunikation mit anderen Komponenten und dem Timecontroller findet hier statt. Das *NaturalProxel* leitet sich aus dem *BiologicalProxel* ab. Ebenso erbt die *NaturalProxelTable* alle Eigenschaften von *ProxelTable* und *LandsurfaceProxelTable*.

Abb. 1a

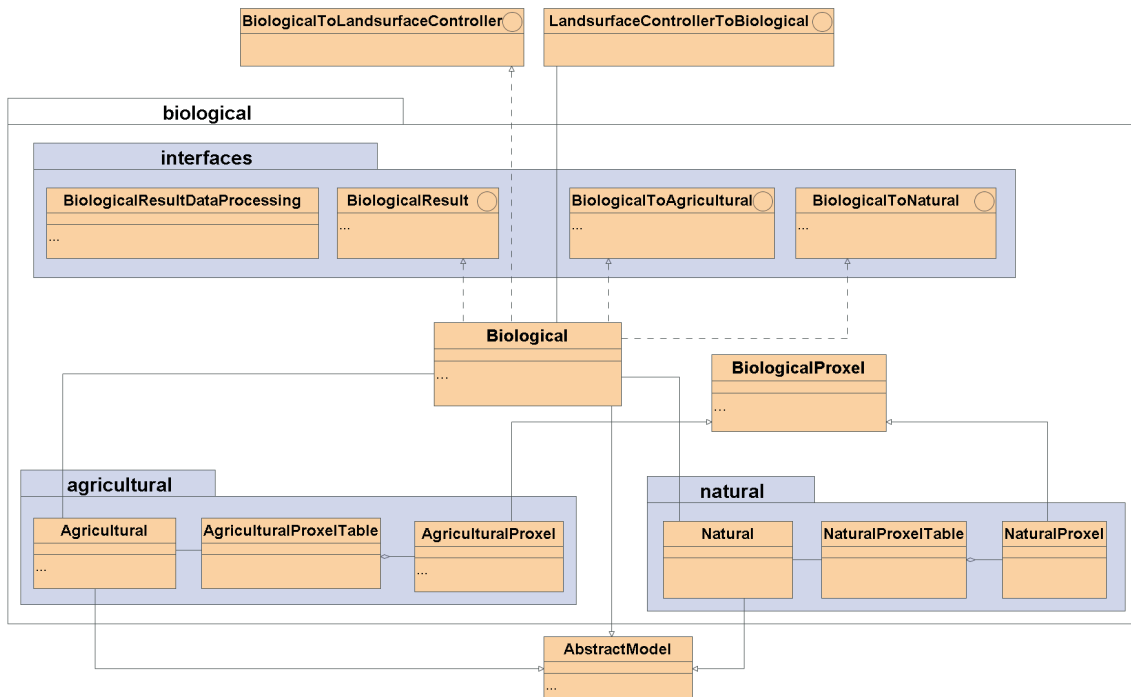


Abb. 1b

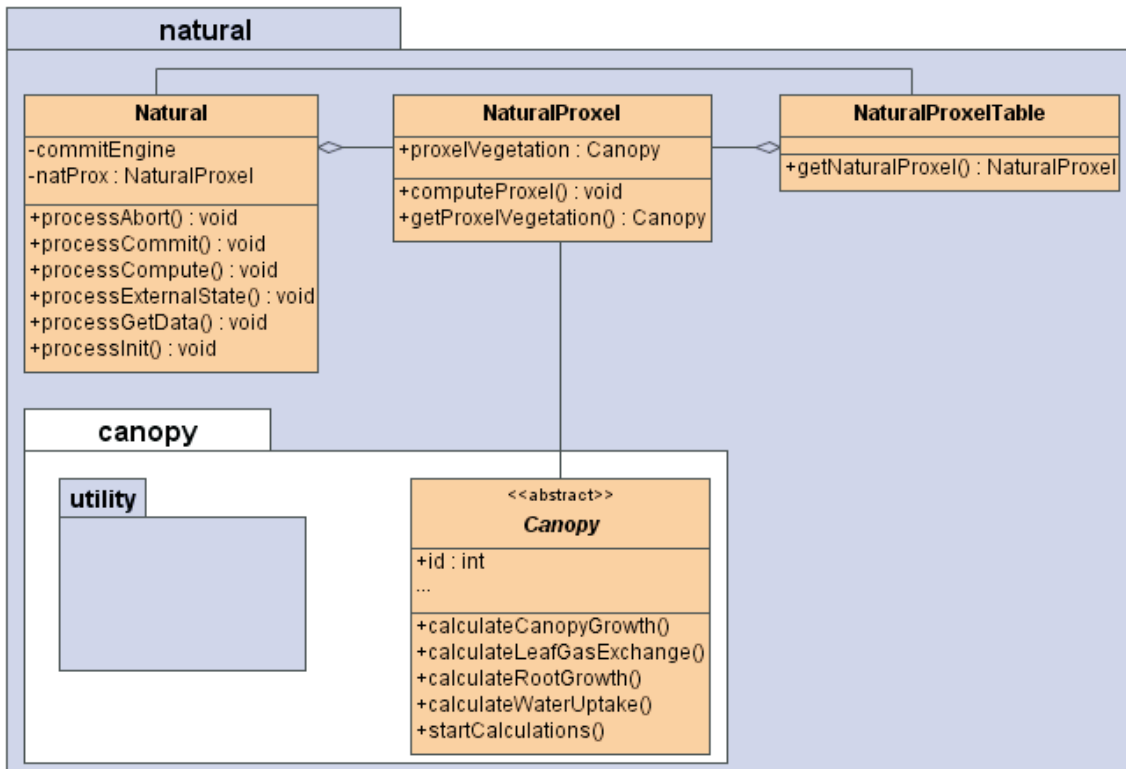


Abb. 1c

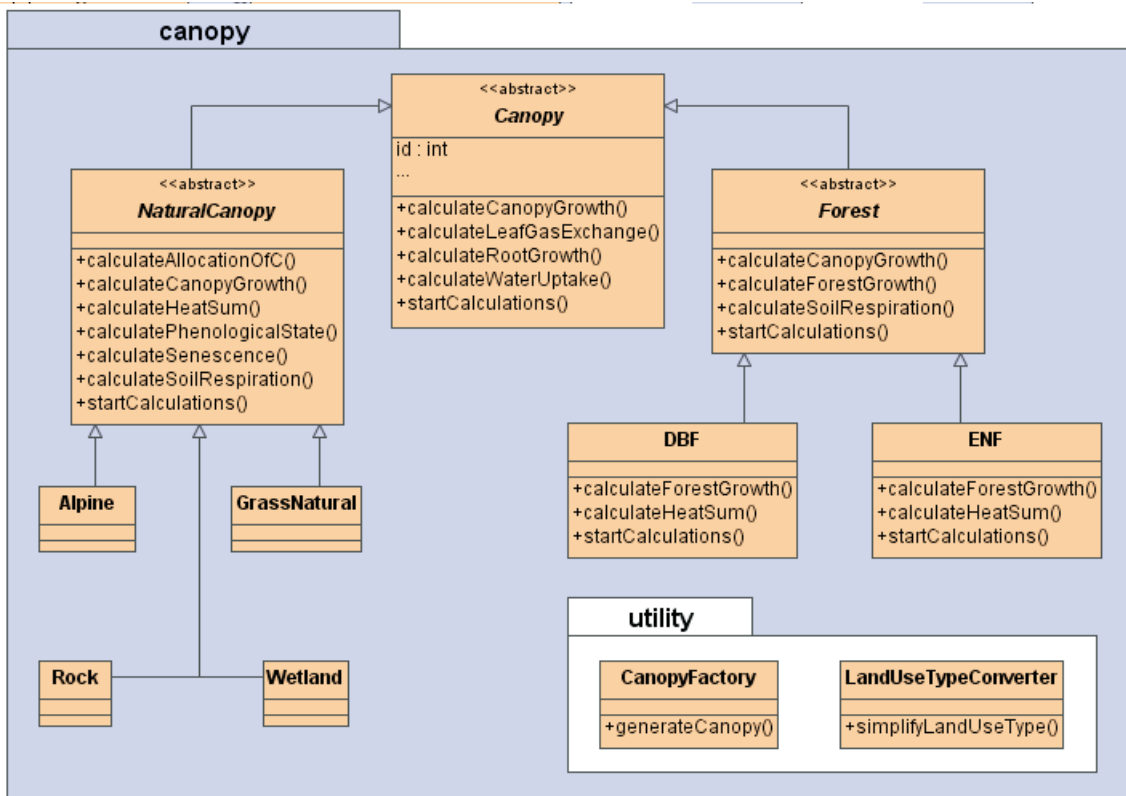


Abb. 1: a) Zeigt die neue Objektstruktur mit den Unterobjekten *Natural* und *Agricultural* und ihre Anbindung über die Klasse *Biological* an die Umgebung; b) das neue *Biological-Natural*-Objekt mit seinen Hauptklassen und dem Unterpaket *canopy* und c) das Paket *canopy* mit allen enthaltenen Klassen und den wichtigsten Methoden jeder Klasse



### 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, (alpinem) Grasland, Feuchtgebieten usw. erforderlich. Die wichtigen Fortschritte bei der Parametrisierung und eine Überprüfung der Ergebnisse sind hier zusammengefasst. Es handelt sich um einen Vergleich von Modellberechnungen von Kronendachprozessen und Wachstum in DANUBIA mit den zu erwartenden Ergebnissen, d.h. mit Schätzungen der Transpiration, CO<sub>2</sub>-Aufnahme und LAI-Änderungen von einzelnen Ökosystemtypen in Plotstudien an verschiedenen Standorten.

#### Höhenabhängigkeit der Physiologie

Da das Einzugsgebiet der Donau hinsichtlich der Alpen sehr starke Höhengradienten aufweist, stellte sich eine starre Festlegung der physiologischen Parameter für die einzelnen Vegetationstypen im Alpenraum als unvorteilhaft (Abschlussbericht der Phase I). Unter der Annahme, dass eine Anpassung der Photosyntheseleistung über die Höhe auch die Transpirationsmenge beeinflusst, wurde ein Höhenfaktor in die Physiologie integriert. Dabei nimmt die Photosyntheseleistung und die Transpirationsmenge prinzipiell mit der Höhe ab. Weiterhin sind die Klimagradientsen und die Bodenbeschaffenheit (Wasserspeicherfähigkeit, Bodenaustrocknung und damit Wasserstress für die Vegetation) von Bedeutung, deren Effekt die Höhenabhängigkeit überlagern kann.

Tab. 1: Monatliche Summen und maximale Tageswerte der Bestandstranspiration, bestimmt an den Fichtenstandorten (*Picea abies*) im Nationalpark Berchtesgaden im Sommer 2002 durch Saftflussmessungen und durch Modellsimulation

Standort	Monatssumme (mm)					Maximale Tageswert (mm d <sup>-1</sup> )				
	BA	BG	HG	SA	BG	BA	BG	HG	SA	BG
Höhe über NN [m]	630	800	1040	1360	1400	630	800	1040	1360	1400
Mai	29	21	21	12	12	2.2	1.5	1.6	1.0	1.2
Juni	46	25	28	20	13	2.5	1.8	1.6	1.4	1.2
Juli	44	32	24	21	19	2.4	2.0	1.5	1.8	1.7
August	27	22	18	12	14	1.8	1.9	1.2	1.3	1.3
September	19	18	8	13	7	1.6	1.4	0.9	1.2	1.3

BA = Bartholomä, HG = Hirschengarten, SA = Seeangerl, BG = Modellergebnis aus Referenzlauf März 2006 für Berchtesgadener Referenz-Pixel

Als Beispiel für die Änderung der Transpirationsleistung entlang eines Höhengradienten soll der Vergleich der Ergebnisse der Saftflussmessungen an Fichten im Nationalpark Berchtesgaden 2002 (KOLCUN 2006) mit dem Referenzlauf vom März 2006 dienen. Tabelle 1 zeigt den Vergleich für gemessene und modellierte Werte für den Zeitraum von Mai bis Oktober 2002 auf monatlicher Basis und als maximaler Tageswert für den jeweiligen Monat. Es ist zu sehen, dass die Transpirationsleistung mit zunehmender Höhe deutlich abnimmt (s. auch Abb. 2), sowohl in den Mess- als auch in den Modellergebnissen, wobei die absolute, als auch die relative Transpirationsmenge von den klimatischen und standörtlichen Faktoren abhängt. Die prozentualen Abweichungen in den Summen einiger Monate um die 40% zwischen Messung und Modell sind wohl eher darauf zurückzuführen, dass die gewählten Pixel nicht exakt den Messstandorten entsprechen und dass das im Modell verwendete Klima nicht dem tatsächlichen Standortbedingungen entspricht.

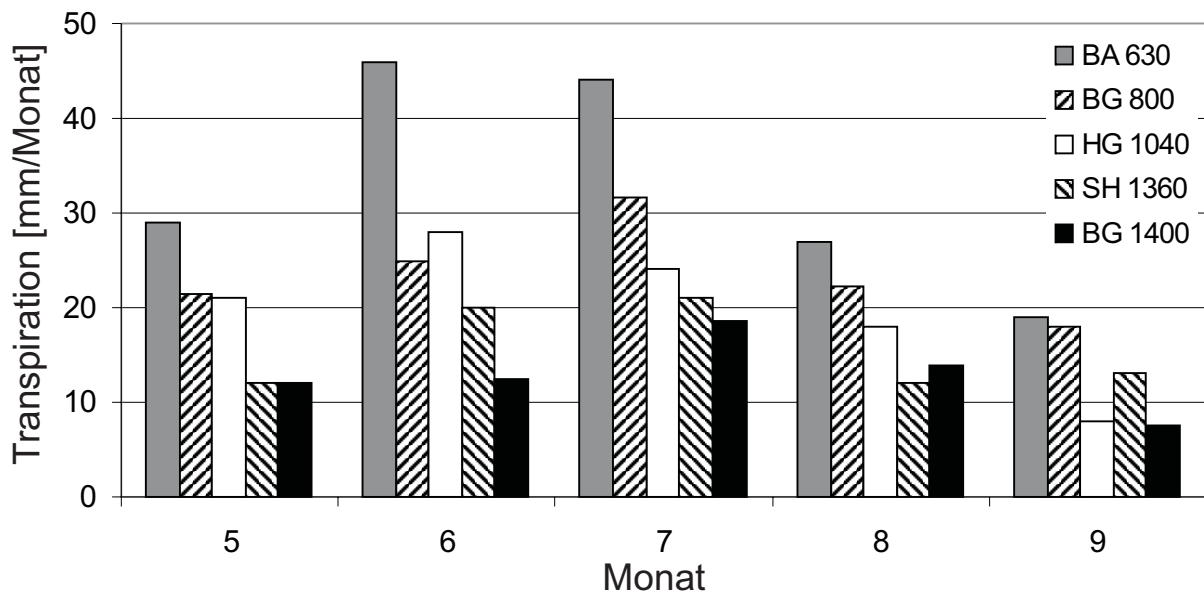


Abb. 2: Vergleich der monatlichen Summen der Bestandestranspiration, bestimmt an den Fichtenstandorten (*Picea abies*) im Nationalpark Berchtesgaden im Sommer 2002 durch Saftflussmessungen und durch Modellsimulation (BA = Bartholomä, HG = Hirschengarten, SA = Seeangerl, BG = Modellergebnis aus Referenzlauf März 2006 für Berchtesgadener Referenz-Pixel)

### Skalenübergänge

Es ist wichtig 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 und in der Landnutzung soweit wie möglich aneinander anzupassen, um danach zu überprüfen, wie weit dasselbe Kernmodell ähnliche oder unterschiedliche Ergebnisse liefert. Für die Simulationen im Stubaital wurden die 100 x 100 m Pixel Informationen als Eingabe für geographische Regridding-Routinen benutzt. Ein Vergleich der zwei resultierenden Landnutzungskarten ist in Abbildung 3 abgebildet.

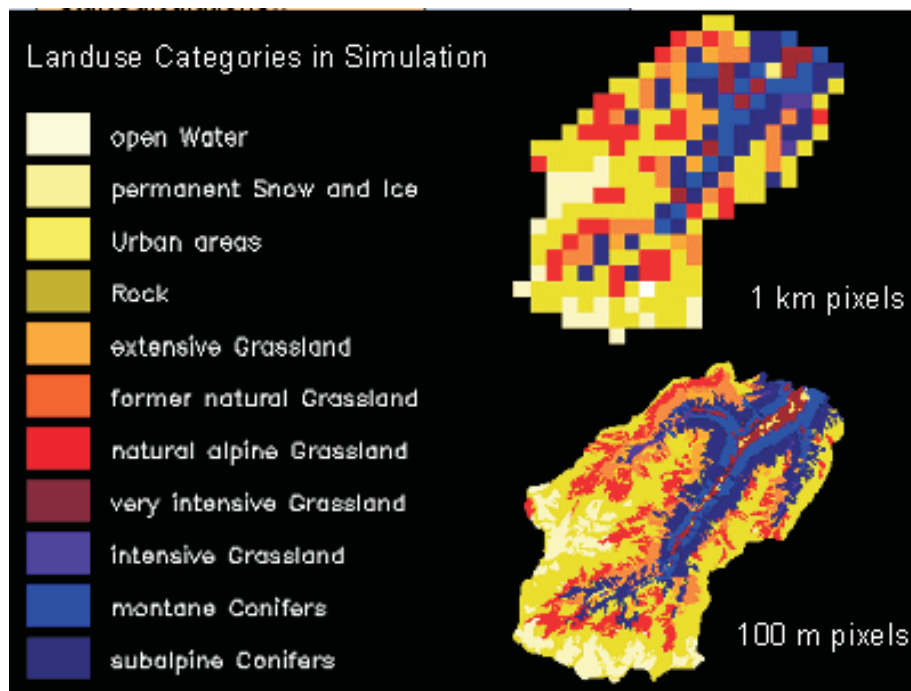


Abb. 3: Vergleich der angewandten Landnutzung in den Simulationen der  $H_2O$ - und  $CO_2$ -Gaswechselraten, des Wachstums für Graslandbestände und der LAI-Entwicklung mit 100m- bzw. 1km-Auflösung im Stubaital. Die 100m-Pixelkarte basiert auf einer Auswertung von Luftbildern, wobei diese auch schon eine Vereinfachung der dokumentierten Landnutzung ist

Ähnlicherweise wurden stündliche Werte für die meteorologischen Treibergrößen, die im Kilometerraster anzuwenden sind, abgeleitet. 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 Bruttoprimärproduktion, die Ökosystematmung, die Transpiration und Evapotranspiration im Stubaital in Abbildung 4 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 2 zu sehen. In der angewandten Modellformulierung gibt es keine wesentliche Unterschiede für CO<sub>2</sub>- und H<sub>2</sub>O-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. 2: Mittelwerte für den Wasserverbrauch durch Transpiration (Tr) und Evapo-transpiration (Et) von verschiedenen Ökosystemtypen (Zeitperiode Mai bis Oktober 2002) im Stubaital bei einer Auflösung von 1km<sup>2</sup>. Die proportionalen Änderungen der Wasserflüsse und des CO<sub>2</sub>-Austauschs (Bruttoprimärproduktion = GPP; Ökosystematmung = R<sub>eco</sub>) von den Ökosystemtypen im Verhältnis zu der Simulation mit 100 m Auflösung ist ebenfalls gegeben

<b>Auflösung</b>	<b>1 km</b>	<b>1 km</b>	<b>1km/100m</b>	<b>1 km/100m</b>	<b>1km/100m</b>	<b>1 km/100m</b>
<b>Landnutzung bzw. Ökosystem</b>	<b>Et (mm)</b>	<b>Tr (mm)</b>	<b>Δ% Et</b>	<b>Δ% Tr</b>	<b>Δ% GPP</b>	<b>Δ% R<sub>eco</sub></b>
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
Alpine Matten	225	69	-6	-25	-2	-3

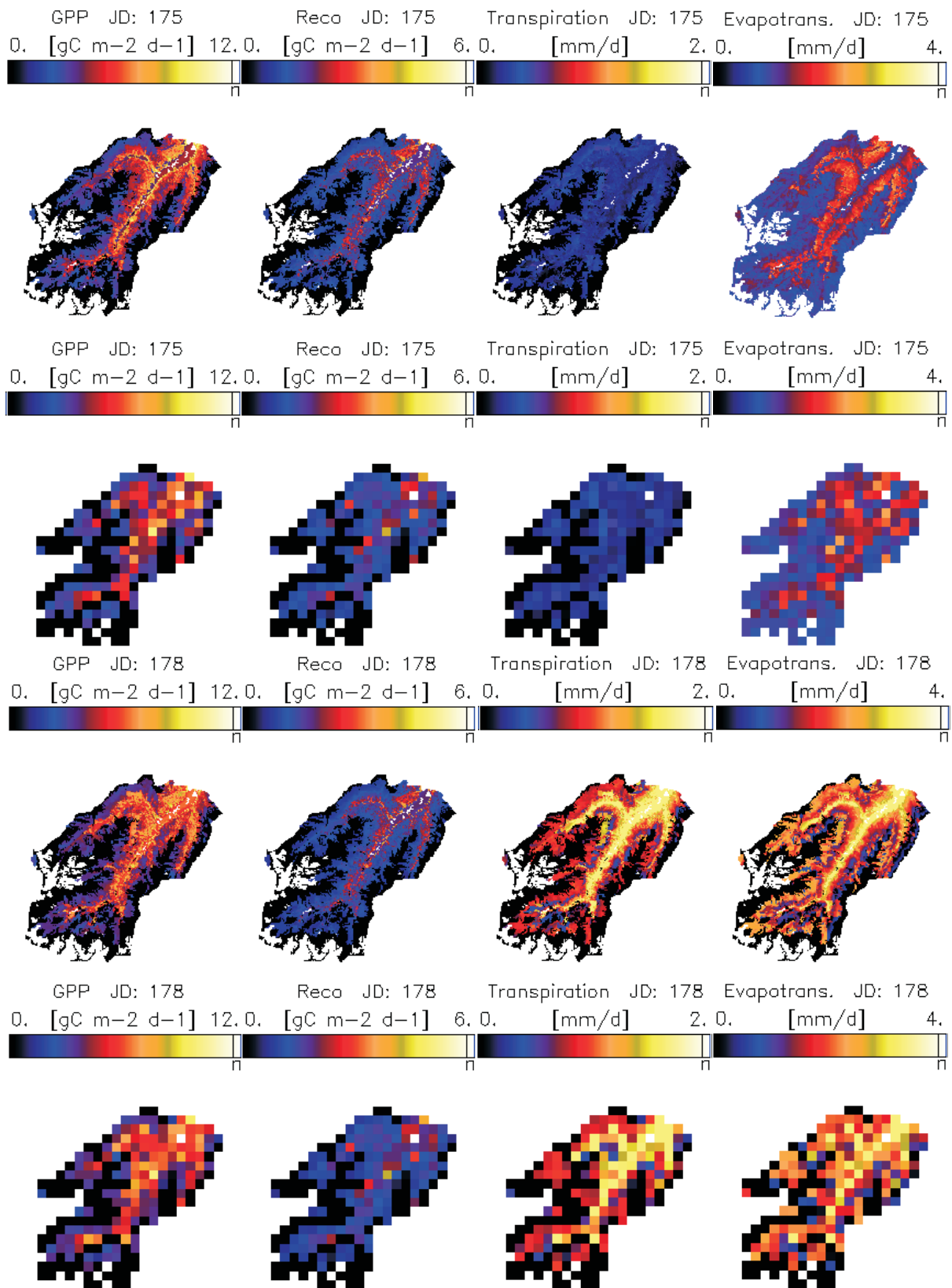


Abb. 4: Vergleich der Ergebnisse der Simulationen der  $H_2O$ - (Transpiration, Evapotranspiration) und  $CO_2$ - (GPP,  $R_{eco}$ ) Gaswechselraten mit 100m- bzw. 1km-Auflösung im Stubaital. Die Ergebnisse sind jeweils für einen strahlungsarmen (24.06.02) und einen strahlungsreichen (27.06.02) Tag dargestellt

## Bodenatmung

Ein weiterer Punkt aus dem Antrag zur zweiten GLOWA-Phase ist die Implementierung der Bodenatmung als Teil des *Biologicals*. Um eine Abschätzung der CO<sub>2</sub>-Flüsse im Ökosystem durchführen zu können, ist neben der Berechnung der CO<sub>2</sub>-Aufnahme durch den Photosyntheseprozess, auch die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Abgabe durch die Atmung von Bedeutung. Dabei spielt die Bodenatmung eine besondere Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf, stellt sie doch nach der Bruttoprimärproduktion (GPP) den zweitgrößten Stofffluss dar (VINCENT et al. 2006).

Obwohl die Bodenatmung prinzipiell im Kompartiment Boden stattfindet, wird es dennoch im Objekt *Biological* realisiert, da die auto- und heterotrophe Atmung (durch Wurzeln und Bodenorganismen) primär biologische Prozesse sind. Während diese Prozesse in natura sehr komplex sind und auf wissenschaftlicher Ebene ein eigenes Modell wert wären, sollen sie hier nur in einer sehr einfachen, mechanistischen Weise abgebildet werden. Als Grundlage dient die einfache Abhängigkeit der Bodenatmung von der Bodentemperatur und dem Bodenwassergehalt, da durch diese beiden Faktoren die saisonale Variabilität zum Großteil (70-80%) erklärt werden kann (BUCHMANN 2000; SUBKE et al. 2003).

Zur Darstellung der Bodenatmung wurde auf zwei neuere Arbeiten zurückgegriffen. Für den Nadelwald ist dies die von SUBKE et al. (2003), für den Laubwald die von VINCENT et al. (2006). Als Grundlage bei beiden Arbeiten wurde die Bodenatmung ( $R_{soil}$ , [ $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ]) in einer bivariaten Gleichung in Abhängigkeit der Bodentemperatur ( $T_{soil}$ , [ $^{\circ}\text{C}$ ]) und des Bodenwassergehalts (SWC, [ $\text{m}^3/\text{m}^3$ ]) dargestellt.

Bodenatmung nach SUBKE et al. (2003) für Nadelwald:

$$R_{soil} = 3.57 * \exp(403 * (1/56.02 - 1/(T_{soil} + 46.02))) * SWC / (0.172 + SWC) \quad (1)$$

Bodenatmung nach VINCENT et al. (2006) für Laubwald:

$$R_{soil} = 2.96 * \exp(0.095 * (T_{soil} - 10.0)) * \exp(-(\ln(SWC/0.31)/1.41)^2) \quad (2)$$

Abbildung 5 und 6 zeigen den modellierten Jahresverlauf der Bodenatmung, sowie der Bodentemperatur und des Bodenwassergehalts für ein Nadel- und ein Laubwaldpixel im Jahr 2003 im Weilheimer Testgebiet. Sowohl die Bodentemperatur, als auch der Bodenwassergehalt werden im Objekt *Soil* berechnet und über ein Interface in das Objekt *Biological* importiert. Zur Berechnung der Bodenatmung werden die Werte der obersten Bodenschicht herangezogen. Diese umfasst den Bereich der ersten 20cm des Bodenprofils, während zur Korrelation der Bodenatmung mit den verschiedenen Variablen normalerweise die Messwerte aus 5 bis 10cm Bodentiefe genommen werden. Dies führt natürlich zu einer Abweichung der Ergebnisse im gesamten DANUBIA-Raum.

Wie den Abbildungen zu entnehmen ist, folgt der saisonale Verlauf der Bodenatmung dem der Bodentemperatur in weiten Teilen. Ebenso ist der Einfluss des Bodenwassergehalts vor allem in den trockeneren Sommermonaten gut zu erkennen. Da diese Form der Modellierung zwar die saisonalen, aber nicht die räumlichen Unterschiede in der Bodenatmung erklären kann (REICHSTEIN et al. 2003), ist die Anwendung auf eine reine Abschätzung hinsichtlich des Kohlenstoffkreislaufs beschränkt. Ebenso ist eine Validierung in der Fläche nahezu unmöglich, da es nur wenige Zeitreihenmessungen der Bodenatmung gibt, die gleichzeitig auch noch die räumliche Heterogenität berücksichtigen. Eddy-Kovarianz-Daten wiederum haben den Nachteil, dass die daraus berechnete Ökosystematmung  $R_{eco}$  nicht nur die Bodenatmung, sondern auch die sonstige, oberirdische Atmung des Ökosystems abbildet. Vor diesem Hintergrund scheint es sinnvoll, auf eine detaillierte Betrachtung einzelner Werte zu verzichten, sondern vielmehr die relativen Änderungen der Kohlenstoffflüsse bezüglich der zu erwartenden Klimaänderung auf größeren zeitlichen Skalen (Monate, Jahre) auszuwerten.



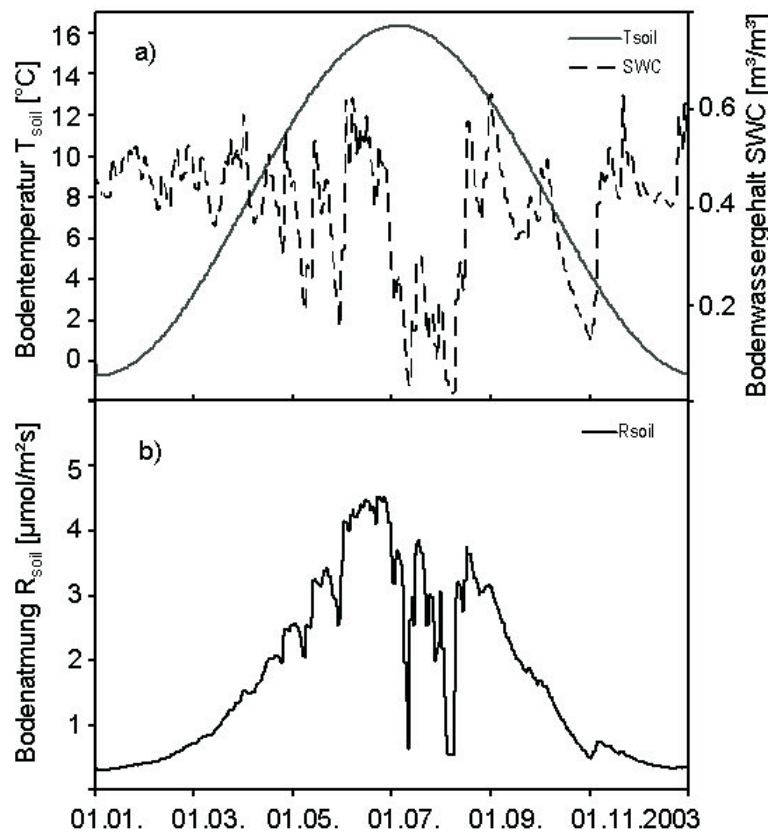


Abb. 5: Modellierter Jahresverlauf der Bodentemperatur und des Bodenwassergehalts aus dem Objekt *Soil* für die oberste Bodenschicht. b) Modellierter Jahresverlauf der Bodenatmung. Jeweils für ein Nadelwaldpixel im Weilheimer Testgebiet im Jahr 2003

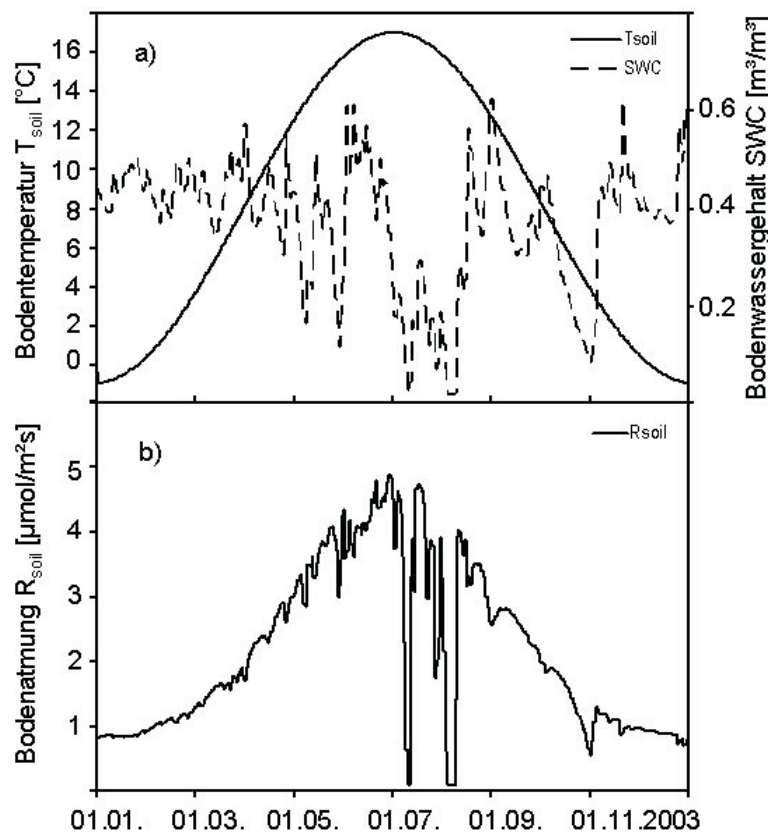


Abb. 6: Modellierter Jahresverlauf der Bodentemperatur und des Bodenwassergehalts aus dem Objekt *Soil* für die oberste Bodenschicht. b) Modellierter Jahresverlauf der Bodenatmung. Jeweils für ein Laubwaldpixel im Weilheimer Testgebiet im Jahr 2003

### Beginn und Ende der Wachstumsperiode

Der Beginn und das Ende der Wachstumsperiode bestimmen die Länge der Vegetationsperiode und damit den Zeitraum, in dem das Ökosystem seine größten Umsätze bezüglich der Kohlenstofffixierung hat. Dabei ist der Beginn für die Produktivität von größerer Bedeu-

tung, fällt er doch in die Periode zunehmender Tageslänge und Lufttemperatur (SCHABER und BADECK 2003).

Durch Auswertungen phänologischer Daten der letzten Jahrzehnte (z.B. Messreihen über Blattentfaltung bei Bäumen, satellitengestützte Beobachtung der Blattentwicklung) konnte ein Trend ausgemacht werden, dass der Beginn der Blattentfaltung (bud burst) pro Jahrzehnt ungefähr 2 bis 5 Tage früher stattfindet (BADECK et al. 2004, CHMIELEWSKI und RÖTZER 2001). Dabei ist der Beginn der Blattentfaltung intra- und interspezifisch variabel bezogen auf die Arten. Während das Ansteigen der globalen Durchschnittstemperatur keinen Einfluss hat, sind der Wechsel und Anstieg der regionalen Winter- und Frühjahrstemperaturen, vor allem in den letzten Wochen vor dem phänologischen Start von übergeordneter Bedeutung. Andere Faktoren, wie Anstieg des CO<sub>2</sub>-Gehalts der Luft, Tageslänge, Ernährung oder Bodenfaktoren haben eher einen untergeordneten Einfluss (SIGURDSSON 2001).

Um den Beginn der Wachstumsperiode bzw. der unterschiedlichen phänologischen Phasen bestimmen zu können, wurde bisher mit dem einfachen Konzept der Temperatursummenbestimmung (thermal times) gearbeitet. Dabei werden die stündlich berechneten Lufttemperaturen aus 2m Höhe aufsummiert. Den verschiedenen Vegetationseinheiten werden für die einzelnen phänologischen Phasen Temperatur-Grenzwerte zugeordnet, so dass bei Überschreitung dieser die nächste Phase erreicht wird.

Für die Vegetationseinheiten Laubwald und Immergrüner Nadelwald wurden die Routinen angepasst, so dass nun der Einfluss der Tagesdurchschnittstemperatur über 10°C in den Wochen vor dem Blattaustrieb von größerer Bedeutung ist (ELLENBERG et al. 1986). Da der Zeitpunkt der Blattentfaltung nicht beliebig früh sein kann (Einfluss der Frosthärte, der Tageslänge etc.) wird ein Beginn vor dem 100ten Tag im Jahr ausgeschlossen (ZHANG 2004).

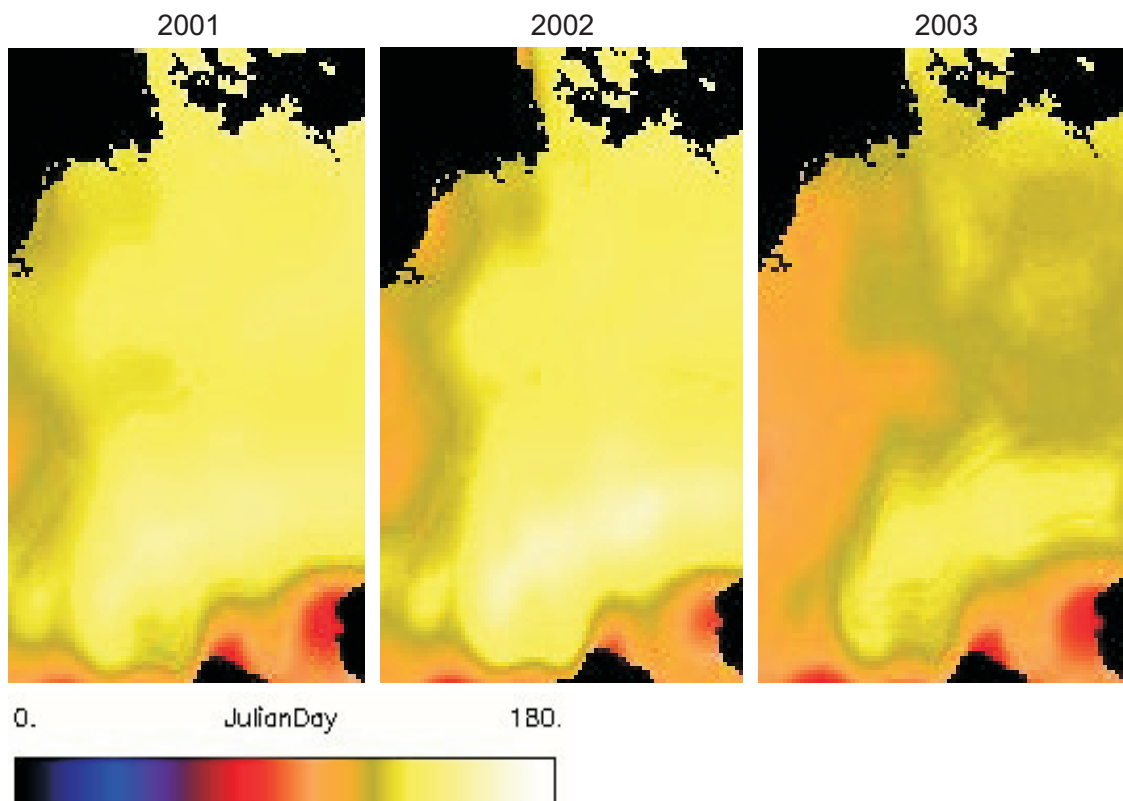


Abb. 7: Berechneter Beginn der Vegetationsperiode für die Jahre 2001 bis 2003 für die BRD, dargestellt als Tag im Jahr (JulianDay). Für das vergleichsweise heiße Jahr 2003 ist ein deutlich früherer Start durch das Modell erzeugt worden

Abbildung 7 zeigt den berechneten, potentiellen Beginn der Vegetationsperiode für die Jahre 2001 bis 2003 für die BRD und angrenzende Gebiete für ein 10km<sup>2</sup>-Raster. Im Vergleich

zu den vorhergehenden Jahren zeigt das Jahr 2003 einen deutlich früheren Beginn der Vegetationsperiode (bis zu 10 Tage), bedingt durch die allgemein höheren Lufttemperaturen. Des Weiteren ist der Einfluss der Höhe (deutliche Verzögerung zumindest im Alpenraum) und der Unterschied zwischen ozeanisch versus kontinental geprägtem Klima (früherer Beginn im Westen) auszumachen.

### Prototyp des Waldwachstumsmodells

Ein Schwerpunkt in der Weiterentwicklung des Modellteils *Natural* ist der Aufbau und die Parametrisierung eines einfachen Waldwachstumsmodells. 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 8.

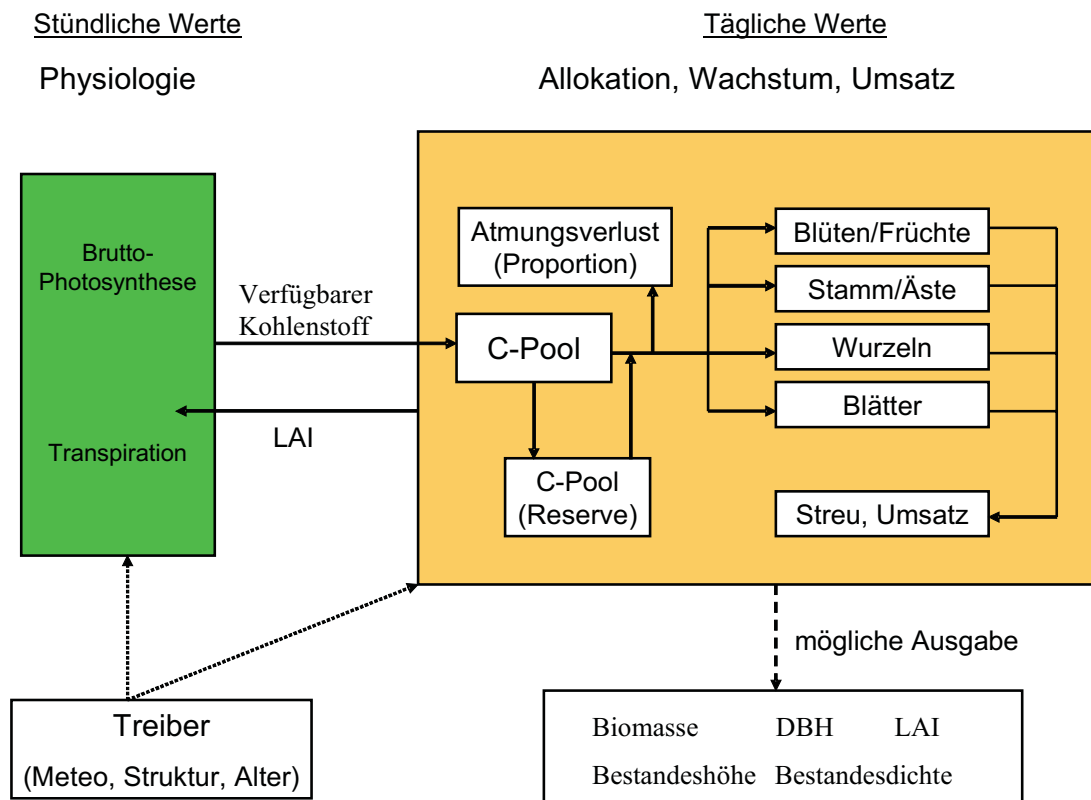


Abb. 8: Schematische Darstellung des Waldwachstumsmodells mit seiner Kopplung zum physiologischen Teil des bestehenden *Biologicals*, den notwendigen Treibern und den möglichen Modellausgaben

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.

Die ersten Tests sollten klären, auf welcher Zeitskala das Waldwachstum stattfinden soll, da z.B. der Zuwachs an Stammbiomasse weniger im Jahresverlauf, als vielmehr über Jahre oder Jahrzehnte kumuliert von Bedeutung ist. Während hier eine jährliche Berechnung der Stammbiomasse ausreichen würde, ist dies auf der Ebene der Blatt- und Feinwurzelentwicklung (z.B. nur ein fester Wert für den LAI pro Jahr) nicht vertretbar, da deren Wechselwirkungen mit anderen Objekten wie *Soil* und *RadiationBalance* zu groben Verzerrungen führen würde. Von daher werden die wachstumsspezifischen Prozesse auf Tagesbasis berechnet.

Anlehnend an das 3PG-Modell zeichnet sich das Wachstumsmodell durch seine Einfachheit aus. Die wesentlichen Funktionen wie Kohlenstoffverteilung, -speicherung, Auf- und Abbau werden durch ein paar wenige funktionale Zusammenhänge abgebildet, ohne dass die zugrunde liegenden Prozesse im Detail betrachtet werden müssen. Dabei kann das Wachstum von verschiedenen Größen wie Baumart, Bestandesalter, Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit durch so genannte „Modifier“ beeinflusst werden.

Der zur Verfügung stehende bzw. aus dem Photosynthesemodul des *Biologicals* gespeiste Kohlenstoff-Pool wird je nach Bedarf auf die Kompartimente Blatt, Stamm/Holz und Wurzel verteilt, um den Biomassezuwachs zu erzeugen. Überschüssiger Kohlenstoff wandert in einen Reserve-Pool, der im Wesentlichen für den Blattaustrieb des Folgejahres genutzt wird. In Abhängigkeit der Biomasseproduktion werden andere wichtige Größen wie LAI und DBH berechnet. Die Berechnung bzw. Ausgabe weiterer Bestandesgrößen (Basalfläche, Volumenzuwachs, Bestandesdichte etc.) hängt von der Aufgabenstellung ab. Dabei ist zu beachten, dass für jedes zu betrachtende Pixel nur ein Durchschnittswert der jeweiligen Größe pro Zeiteinheit berechnet wird. Damit ist ein Vergleich z.B. mit forstlichen Ertrags- tafeln nicht möglich, da diese nicht für ein 1km<sup>2</sup>-Raster konzipiert sind.

Als Grundlage zur Überprüfung des Waldwachstumsmodells konnten dankenswerterweise Datensätze von André Granier (INRA, Nancy) für den Buchenstandort Hesse (Frankreich) Verwendung finden. Diese umfassen verschiedene Messreihen (Struktur, Eddy-Kovarianz, Klima) von ca. 1996-2004, wobei für die Tests nur die Jahre 2001 bis 2003 betrachtet werden, da hier die Daten am vollständigsten sind. Das Objekt *Biological* wurde für die Tests nicht hinsichtlich der spezifischen Eigenschaften des Standorts Hesse neu parametrisiert bzw. optimiert. Lediglich zum Start der Simulation wurde die Initialisierung mit Werten von Hesse durchgeführt. Dementsprechend unterschiedlich fallen die Vergleiche der Simulation mit den Messdaten aus. Aus den nachfolgend gezeigten Abbildungen geht jedoch hervor, dass das Modell in der Lage ist, die Charakteristik eines Buchenstandorts abzubilden und somit eine Abschätzung der Stoffflüsse zu ermöglichen.

Als Eingangsgröße für das Waldwachstumsmodell ist die Bruttoprimärproduktion GPP entscheidend für den zur Verfügung stehenden C-Pool. Von daher wurde das GPP aus den Eddy-Kovarianz-Daten vom Buchenstandort Hesse, Frankreich mit den Simulations-ergebnissen für die Jahre 2001 bis 2003 verglichen. Die Abbildung 9 a) bis c) zeigt die Korrelation zwischen Simulation und Eddy-Werten mit ihrer typischerweise starken Streuung der Stundenwerte. Auf die Jahressummen bezogen überschätzt das Modell die Bruttoprimärproduktion für die Jahre 2001 und 2002 um ca. 20% bzw. 40% für 2003. Letzteres liegt daran, dass für diesen Simulationslauf der Boden nicht stark genug austrocknet und die Vegetation von daher keinen Trockenstress und damit keine Rückkopplung auf das Photosynthesemodell erfährt. Dies zeigt sich auch in den Transpirationswerten in Abbildung 9 d) bis f). Bezogen auf die Jahressummen der Transpiration liegt die Abweichung zwischen 2001 und 2002 zum „Trockenjahr“ 2003 nur bei ca. 8 %, während die Eddy-Daten eine Reduktion um ca. 20% aufzeigen. Dabei ist zu beachten, dass es sich bei letzteren um die



Evaporation handelt, welche sowohl in der Summe, als auch im Jahresverlauf nicht mit der Transpiration identisch ist.

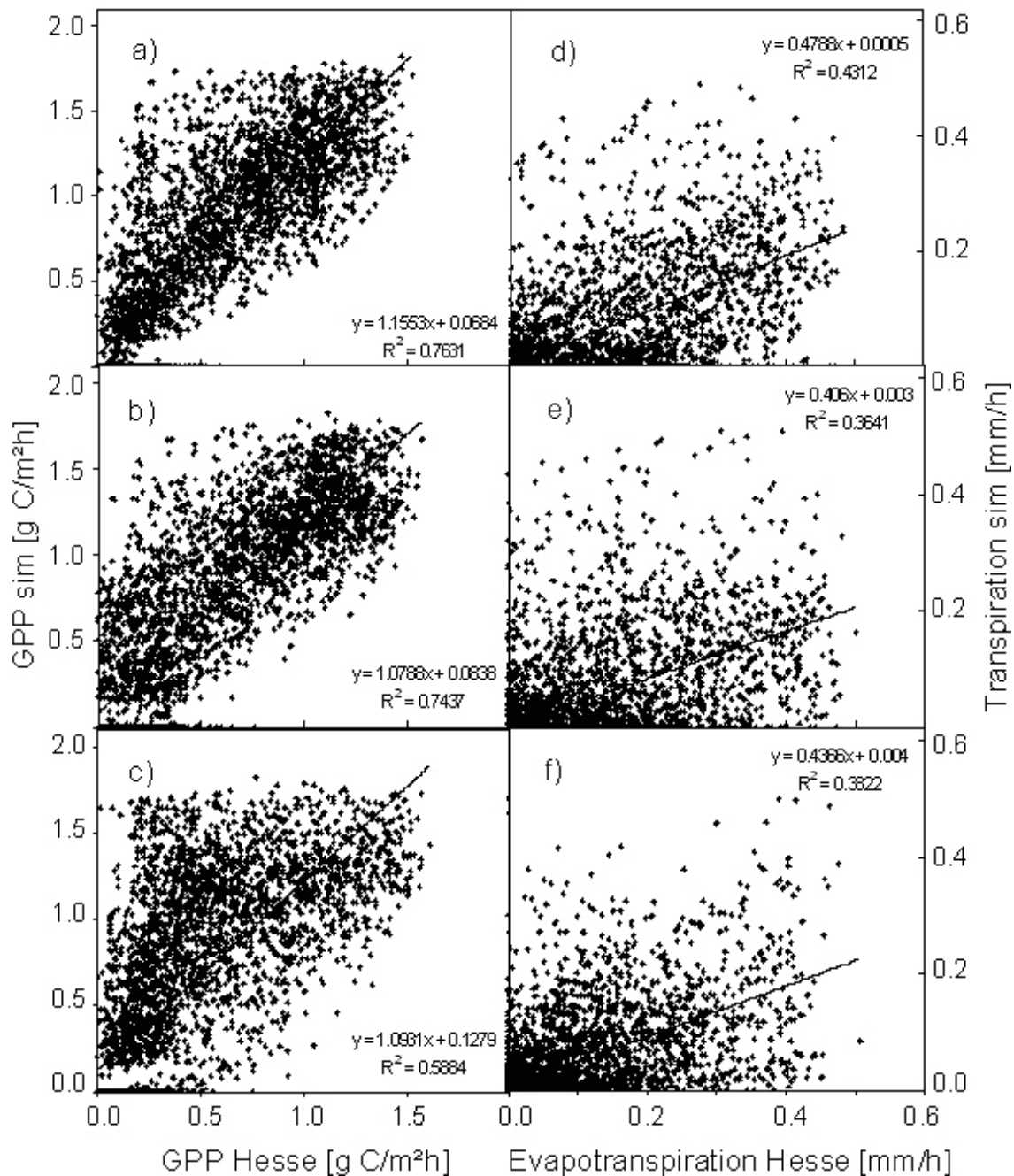


Abb. 9: a) bis c) Vergleich der simulierten Bruttoprimärproduktion GPP mit Eddy-Kovarianz-Daten der Vegetationsperiode 2001 bis 2003 für den Buchenstandort Hesse, Frankreich. Für das Jahr 2003 wird das GPP deutlich überschätzt, da es in der Simulation nicht zu einer Bodenaustrocknung kam und daher auch keine Begrenzung durch Trockenstress erreicht wurde. d) bis f) Die Korrelation der simulierten Transpiration mit der berechneten Evapotranspiration für den Standort Hesse zeigt trotz der ungenügenden Vergleichbarkeit dieser Größen den nicht vorhandenen Trockenstress für 2003

Als Beispiel für die Anwendung des Waldwachstumsmodell soll die Entwicklung der Holzbiomasse und des Brusthöhenumfangs DBH dienen. Der aus dem GPP gespeiste C-Pool wird nach Bedarf auf die Kompartimente Blatt, Holz, Wurzel verteilt. Das Holzwachstum setzt in diesem Modell nach dem Blattaustrieb ein und endet nach einer festgesetzten Periode im Hochsommer. Abbildung 10 zeigt den simulierten und gemessenen Jahresverlauf der Holzbiomasse für 2001 bis 2003. Während der simulierte Verlauf an sich für die Jahre



2001 und 2002 in guter Übereinstimmung mit den Messwerten steht, wird der Zuwachs für 2003 deutlich überschätzt. Dies liegt an der schon beschriebenen Überschätzung der Bruttoprimärproduktion (Abb.10). Der Brusthöhenumfang DBH ist im Modell an das Holzwachstum gekoppelt. Von daher zeigt er einen ähnlichen Verlauf und damit eine Überschätzung für das Jahr 2003 (s. Abb. 11). Ein Vergleich mit den Messdaten zeigt auch hier eine gute Übereinstimmung im Verlauf und der Größenordnung und damit die prinzipielle Eignung des Modells, dass Waldwachstum in vereinfachter Form nachzubilden.

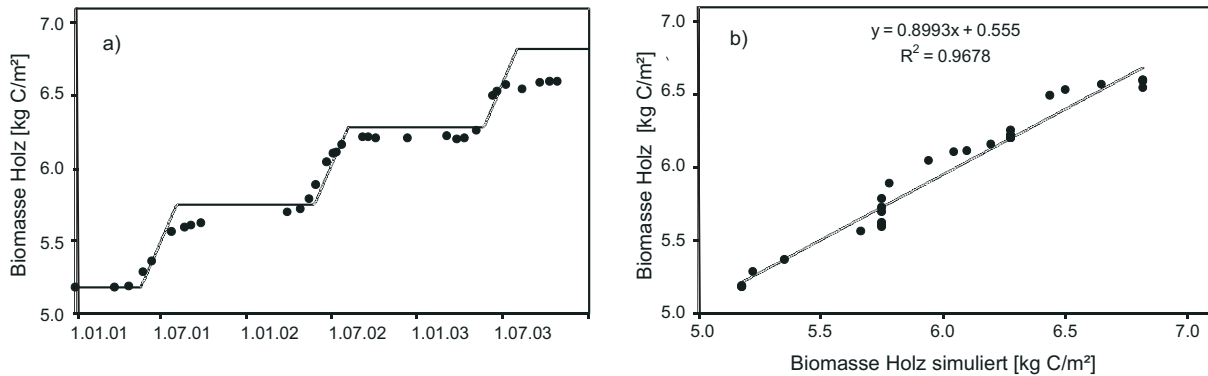


Abb. 10: a) Simulierter und gemessener Jahresverlauf der Holzbiomasse für die Jahre 2001-2003 für den Buchenstandort Hesse, Frankreich; b) Die Korrelation von simulierter und gemessener Biomasse von 2001-2003 zeigt, dass es mit zunehmendem Wachstum zu einer Überschätzung der Biomasse kommen kann

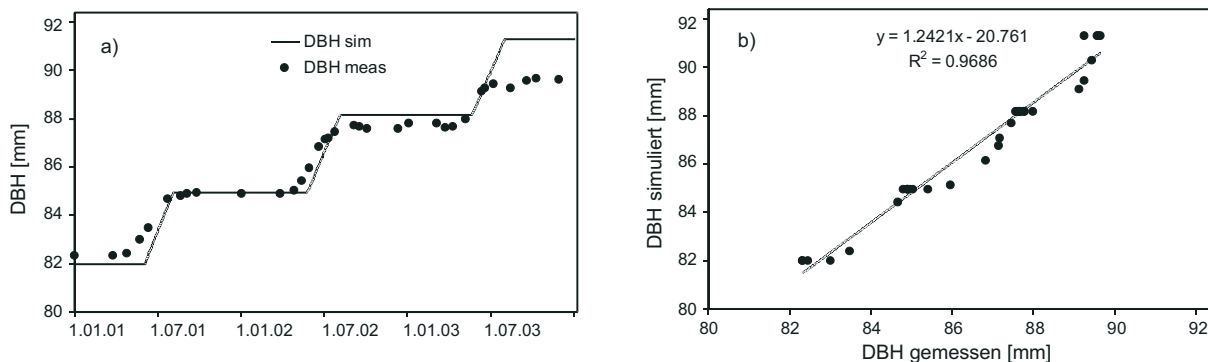


Abb. 11: a) Simulierter und gemessener Jahresverlauf des Baumdurchmessers DBH für die Jahre 2001-2003 für den Buchenstandort Hesse, Frankreich; b) Die Korrelation von simulierten und gemessenem DBH von 2001-2003 zeigt, dass es mit zunehmendem Wachstum zu einer Überschätzung des DBH kommen kann

#### 4. Zusammenfassung

Während der Phase II des GLOWA-Danube Projekts wurden folgende Ziele erreicht. Die Recheneffizienz des *Biological*-Objekts als solches und in Zusammenwirkung mit den anderen Landsurface-Komponenten wurde durch geeigneter Wahl von Datentypen und Rechenroutinen verbessert. Die Parametrisierung der verschiedenen Landnutzungstypen wurde verbessert und z.B. von der Geländehöhe abhängig gemacht, um den Gasaustausch sensibler auf Umweltbedingungen reagieren zu lassen. Anhand von Fallstudien im alpinen Raum (Stubaital) wurde die Skalenabhängigkeit der Modellergebnisse untersucht und mit vorhandenen Messdaten verglichen. Die prinzipielle Übereinstimmung von Mess- und Modelldaten konnte gezeigt werden. Ausgehend von dem 3PG Modell konnte ein einfaches, erweiterbares Waldwachstumsmodell erstellt werden, welches sich in die Architektur des DANUBIA Modells einfügt.

## 5. Literatur

- GRANIER, A., AUBINET, M., EPRON, D., FALGE, E., UMUNDSSON, J., JENSEN, N.O., KÖSTNER, B., MATTEUCCI, G., PILEGAARD, K., SCHMIDT, M. und TENHUNEN, J. (2003): Deciduous forests (Beech): Carbon and water fluxes, balances, ecological and ecophysiological determinants. In: VALENTINI, R. (ed.), Fluxes of Carbon, Water and Energy of European Forests, Ecol. Studies Vol. 163, Springer Verlag, Heidelberg, S. 55-70.
- BADECK F.-W. et al. (2004): Responses of spring phenology to climate change, *New Phytologist* 162: 295-309.
- CHMIELEWSKI F.-M. und RÖTZER T. (2001): Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agricultural and Forest Meteorology* 108: S. 101-112.
- CHURKINA G. et al. (2003). Analyzing the Ecosystem Carbon Dynamics of Four European Coniferous Forests using a Biogeochemistry Model. *Ecosystems* 6: 168-184.
- ELLENBERG H., MAYER R. und SCHAUERMANN J. (1986): *Ökosystemforschung - Ergebnisse des Sollingprojekts 1966-1986*. Eugen Ulmer Verlag, 507 S.
- HEIDE O.M. (2003): High autumn temperature delays spring bud burst in boreal trees, counterbalancing the effect of climatic warming. *Tree Physiology* 23(13): S. 931-936.
- 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.
- 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.
- OWEN K.E. et al. (2007): Linking flux network measurements to continental scale simulations: ecosystem CO<sub>2</sub> exchange capacity under non-water-stressed conditions. *Global Change Biology*, in press.
- PRETZSCH H. et al. (2002): The single tree-based stand simulator SILVA: construction, application and evaluation. *Forest Ecology and Management* 162: S. 3-21.
- REICHSTEIN M. et al. (2003): Modeling temporal and large-scale spatial variability of soil respiration from soil water availability, temperature and vegetation productivity indices. *Global Biogeochemical Cycles* Vol. 17, No. 4: S. 15 - 1-15 - 15.
- RÖTZER T. et al. (2004): The timing of bud burst and its effect on tree growth. *International Journal of Biometeorology* 48: S. 109-118.
- 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.
- SCHABER J. und BADECK F.-W. (2004): Physiology-based phenology models for forest tree species in Germany. *International Journal of Biometeorology* 47: S. 193-201.
- SIGURDSSON B.D. (2001): Elevated [CO<sub>2</sub>] and nutrient status modified leaf phenology and growth rhythm of young *Populus trichocarpa* trees in a 3-year field study. *Trees* 15: S. 403-413.
- SOE A.R.B. und BUCHMANN N. (2005): Spatial and temporal variations in soil respiration in relation to stand structure and soil parameters in an unmanaged beech forest. *Tree Physiology* 25: S. 1427-1436.

- TENHUNEN J. et al. (2007): Influences of landuse change on ecosystem and landscape level carbon and water balances in mountainous terrain of the Stubai Valley, Austria. *Global Planetary Change*, accepted and in revision.
- 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.
- VINCENT G. et al. (2006): Spatial and seasonal variations in soil respiration in a temperate deciduous forest with fluctuating water table. *Soil Biology & Biochemistry* 38: S. 2527-2535.
- ZHANG X. et al. (2004): Climate controls on vegetation phenological patterns in northern mid- and high latitudes inferred from MODIS data. *Global Change Biology* 10: S. 1133-1145.

# 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*-Modells sowie die Modellierung der Stickstoffumsatzprozesse 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 und der Modellergebnisse. 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

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

- Herr Dipl.-Geogr. Christian Klar (BAT IIa/2, Doktorand). Herr Klar beschäftigte sich im Projektteil „Stickstoffumsatz“ mit der Entwicklung einer Modellkomponente zur mesoskaligen, prozessorientierten Modellierung der Stickstoffumsatzprozesse im Boden. Er entwickelte und integrierte ein prozessbasiertes Stickstoffumsatz- und Stickstofftransportmodell in das DANUBIA DSS, untersucht die Skalierungseigenschaften des Modells und führte Geländemessungen für die Modellvalidierung durch. Herr Klar bearbeitet im Wesentlichen die Arbeiten zu den Arbeitspaketen A3 und B des Antrags.
- Frau Dipl.-Geogr. Victoria Lenz (1 x BAT IIa/2, Doktorandin). Frau Lenz beschäftigte sich im Projektteil „Pflanzenwachstum“ mit der prozessbasierten Wachstumsmodellierung landwirtschaftlicher Nutzpflanzen und der Analyse der Auswirkungen des globalen Wandels auf das Pflanzenwachstum. Basierend auf den Modellen GECROS und CERES entwickelte und integrierte sie ein Nutzpflanzenwachstumsmodell in das DA-

NUBIA DSS, parametrisierte das Modell für die wichtigsten landwirtschaftlichen Nutzungsarten und validierte das Modell mit Geländemessungen. Ihr oblagen die Arbeiten des Arbeitspakets A1 und A3 des Projektantrags.

- Frau Dipl.-Met. Susan Pohle (1 x BAT IIa/2) vom 01.09.2004 bis 31.01.2005. Sie war mit dem Aufbau der aus der Grundausrüstung beschafften Eddy-Kovarianz-Station beschäftigt und führte erste Testmessungen durch.
- Herr Dipl.-Geogr. Marius Schmidt (1 x BAT IIa/2, Doktorand) seit 01.05.2005. Herr Schmidt führte die von Frau Pohle begonnenen Arbeiten zur Aufbau und Wartung der Eddy Kovarianz Station fort. Er ergänzte diese Messungen um mikrometeorologische Messungen mit einer Bowen-Ratio Station und um Saftflussmessungen in einem Maisfeld. Insbesondere entwickelt Herr Schmidt Algorithmen zur Auswertung von Eddy-Kovarianz Messungen für die Berechnung der Kohlenstoff- und Wasserflüsse. Die Daten werden zur Validierung der Pflanzenwachstumsmodelle auf der Feldskala eingesetzt und beziehen sich auf die im Antrag unter 2.2 aufgeführten Validierungsmessungen.
- Frau Dipl.-Geogr. Verena Dlugoss (1 x BAT IIa/2, Doktorandin) vom 01.10.2005 bis 28.02.2007. Frau Dlugoss wurde zur Unterstützung der Geländearbeiten insbesondere zur Messung der Kohlenstoffflüsse des Bodens (Bodenrespiration) entsprechend des im Antrag beschriebenen Validierungskonzepts eingesetzt.
- 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**

Folgende studentische Hilfskräfte wurden aus Projektmitteln finanziert:

Unterstützung bei Geländemessungen und Laboranalysen:

- Tobias Frank (01.05.2004-30.09.2004),
- Gunnar Nitsche (01.05.2004-30.09.2004).

JAVA-Programmierung, Administration der Testumgebung, Systemadministration:

- Peter Neuhaus (01.09.2004-0.04.2007)
- Hanno Wendt (01.08.2004-30.04.2006)

Die Hilfskraftmittel wurden aus Mitteln der Grundausrüstung ergänzt. Dadurch wurde die Kontinuität hinsichtlich der notwendigen technischen Unterstützung gewährleistet. Aufgrund der langjährigen und umfangreichen Erfahrung der Systemadministratoren und Java-Programmierer Peter Neuhaus und Hanno Wendt konnten alle Modellkomponenten in die DANUBIA Testumgebung integriert und intensiv getestet werden.

## **1.3 Veranstaltungen**

### **1.3.1 GLOWA-Danube (intern)**

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



## 2004

- 17.-18.03.2004 GLOWA-Danube, Entwickler-Workshop I, München
- 06.05.2004 Treffen mit der Arbeitsgruppe „Natürliche Ökosysteme“, Köln
- 25.05.2004 Treffen mit der Arbeitsgruppe „Agrarökonomie“, Hohenheim
- 31.05.-04.06.2004 GLOWA-Danube, Eröffnung 2. Phase, Frauenchiemsee
- 16.-17.09.2004 GLOWA-Danube, Vorbereitung Statuskonferenz, München
- 06.-07.10.2004 Erfahrungsaustausch zum Aufbau der Eddy-Kovarianz-Station mit der Arbeitsgruppe „Hydrologie/Fernerkundung“, München
- 11.10.2004 Projektleitertreffen, München
- 12.10.2004 GLOWA-Danube, Entwickler-Workshop II, München
- 28.-29.10.2004 Treffen mit den Arbeitsgruppen „Hydrologie/Fernerkundung“ und „Informatik“, München
- 17.12.2004 Treffen mit den Arbeitsgruppen „Agrarökonomie“ und „Natürliche Ökosysteme“, Vorbereitung Stakeholder-Dialog, Hohenheim

## 2005

- 17.-19.05.2005 2. GLOWA-Statuskonferenz, Köln
- 11.07.2005 GLOWA-Projekttreffen, München
- 20.10.2005 Stakeholder-Trfffen „Veränderung von Landnutzung und Wasserbedarf im Donaeinzugsgebiet unter Global Change Bedingungen“, München
- 30.11.-03.12. 2005 GLOWA-Klausurtagung, Linden
- 12.-13.12.2005 Koordinationstreffen mit dem Teilprojekt „Natürliche Ökosysteme“, Köln

## 2006

- 19.07.2006 Treffen mit den Arbeitsgruppen „Agrarökonomie“ und „Informatik“, Hohenheim
- 13.12.2006 Treffen mit der Arbeitsgruppe „Agrarökonomie“, Köln

### 1.3.2 Andere Veranstaltungen

- 14.-16.06.2004 1<sup>st</sup> International Workshop Modelling Water and Nutrient Dynamics in Soil-Crop Systems, im ZALF (Zentrum für Agrarlandschaftsforschung), Müncheberg (Klar).
- 07.-08.10.2004 1<sup>st</sup> Göttingen GIS and Remote Sensing Days - Environmental Studies, im Geographischen Institut der Georg-August-Universität Göttingen.  
Vortrag: „Deriving plant parameters from remote sensing data for assimilation into crop growth models“ (Lenz).
- 19.-20.10.2005 Modelling soil processes in different time scales, Workshop Modelling 2005, im UfZ (Umweltforschungszentrum Halle-Leipzig),

Vortrag: „Designing an object-oriented architecture for the process-based modelling of soil nitrogen fluxes in DANUBIA“ (Klar, Neuhaus).

- 08.03.2006 Workshop zur Programmierung von Datenloggern der Firma Campbell Scientific, im Innovations- und Technologiezentrum, Bremen (Schmidt).
- 23.-24.03.2006 Workshop zu Bodenkammer-Messsystemen des Herstellers Licor, im Institut für Pflanzenökologie in Giessen, Interdisziplinäres Forschungszentrum (IFZ), (Schmidt).
- 10.-21.06.2006 Carbo Europe Summer School, in Wepion (Belgien) zum Thema „Eddy Covariance Flux Measurements“ (Schmidt).
- 09.-14.10.2006 Sino-German Workshop on Integrated Ecosystem Assessment and Comprehensive Watershed Management of Poyang Lake Basin, in Poyang.  
Vortrag: „Plant growth, biomass production and plant water use under global change conditions“ (Schneider).
- 16.10.2006 Sun Yat-Sen University, in Guangzhou/China.  
Vortrag: „Coupled modelling of water, carbon and nitrogen fluxes at the land surface“ (Schneider).
- 09.-12.11.2006 2<sup>nd</sup> Global Change Open Science Conference, in Beijing.  
Poster: „Integrated and spatially distributed modelling of nitrogen fluxes on the regional scale“ (Klar).
- 09.-12.11.2006 2<sup>nd</sup> Global Change Open Science Conference, in Beijing.  
Poster: „Modelling effects of vegetation dynamics upon water resources and land use in the Upper Danube catchment“ (Schneider).

## 2007

- 15.-20.04.2007 European Geosciences Union, General Assembly 2007, in Wien.  
Poster: „Eddy Covariance-Measurements of carbon dioxide and water vapour fluxes of a sugar beet canopy for the validation of the process-based DANUBIA crop growth model“ (Schmidt, Lenz, Fiener, Schneider).
- 15.-20.04.2007 European Geosciences Union, General Assembly 2007, in Wien.  
Poster: „An object-oriented framework for a process-based soil-nitrogen model component“ (Neuhaus, Klar, Schneider).

## 1.4 Veröffentlichungen und Berichte

### 1.4.1 Publikationen

COLGAN, A., KRIMLY, T., PROBECK, M. und SCHNEIDER, K. (2006): Teilprojekt Koordination - Landbedeckung und Landnutzung. In: GLOWA-Danube-Projekt, Universität München, LMU (Hrsg.): Global Change Atlas, Einzugsgebiet Obere Donau. München.

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. 2<sup>nd</sup> GLOWA Statusconference. May 17-19, 2005, Cologne. Poster.

FIENER, P., KLAR, C., LENZ, V., SCHARFENBERG, H.-J., SCHNEIDER, K. und TEN-

- HUNEN, J. (2005): Modeling Plant Growth, Water, Nitrogen and Carbon Fluxes. 2nd GLOWA Statusconference. May 17-19, 2005, Cologne. Poster.
- LENZ, V., KLAR, C., FIENER, P., SCHNEIDER, K., TENHUNEN, J.D. und SCHARFENBERG, H.-J. (2006): Teilprojekt Pflanzenökologie - Pflanzenwachstum und Biomasseproduktion. In: GLOWA-Danube-Projekt, Universität München, LMU (Hrsg.): Global Change Atlas, Einzugsgebiet Obere Donau. München.
- TENHUNEN, J. D., SCHARFENBERG, H.-J., LENZ, V., KLAR, C., FIENER, P. und SCHNEIDER, K. (2006): Teilprojekt Pflanzenökologie - CO<sub>2</sub>-Flüsse und Transpiration. In: GLOWA-Danube-Projekt, Universität München, LMU (Hrsg.): Global Change Atlas, Einzugsgebiet Obere Donau. München.
- KLAR, C., NEUHAUS, P., FIENER, P. und SCHNEIDER, K. (2006): Integrated and spatially distributed modelling of nitrogen fluxes on the regional scale. 2nd Global Change Open Science Conference. November 9-12, 2006, Beijing. Poster.
- 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 and GIS for Environmental Studies: Applications in Geography. Göttinger Geographische Abhandlungen 113, Göttingen.
- SCHNEIDER, K. und LENZ, V. (2005) The use of remote sensing data in a spatially-distributed land surface process model. Proc. ISSDQ Beijing.
- SCHNEIDER, K., LENZ, V., KLAR, C., FIENER, P., SCHARFENBERG, H.-J., TENHUNEN, J., KRIMLY, T., DABBERT, S. und WIRSIG, A. (2006): Modelling effects of vegetation dynamics upon water resources and land use in the Upper Danube catchment. 2<sup>nd</sup> Global Change Open Science Conference. November 9-12, 2006, Beijing. Poster.
- 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.

#### **1.4.2 Berichte, Anträge**

Im Berichtszeitraum wurden folgende Rechenschaftsberichte angefertigt:

- Kurzbericht, englisch, an die Gutachter zum Statusseminar 2005 (Februar 2005)
- Jahresbericht 2005 an das BMBF (April 2005)

Die Fortsetzung des Projekts ab dem 01.03.2007 wurde beantragt:

- Folgeantrag für den Projektzeitraum 2007-2009 an das BMBF (Juni 2006)

#### **1.5 Abschlussarbeiten**

- KOHRING, K. (2004): Bestimmung von Vegetationsparametern des Grünlandes mit Hilfe der Spektrometrie. Diplomarbeit.
- 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.
- KUERTEN, B. (2006): Der Einfluss der Variabilität von Temperatur und Niederschlag auf die ackerbauliche Produktion in Oberbayern. Zulassungsarbeit.

BANGERT, J. (2007): Energie aus Biomasse - Potential und Risiken für die Landwirtschaft Bayerns. Zulassungsarbeit.

KOYAMA, C. (2007): Untersuchung zur räumlichen Heterogenität des Kohlenstoffs im Boden am Beispiel intensiv genutzter Ackerflächen im Pleiser Hügelland. 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 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“ (Hohenheim, Prof. Dabbert) 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. Die Stickstoffverfügbarkeit und der Stickstoffumsatz im Boden sind insbesondere in Agrarökosystemen wichtige Steuerungsgrößen für Pflanzenwachstum und für Grundwasserqualität.

Aufgrund des Neueinstiegs in die zweite Förderphase des Projekts war eine Einarbeitung in das komplexe technische Rahmenwerk von DANUBIA erforderlich. Folgende wissenschaftliche Ziele standen in der Berichtsphase im Zentrum der Arbeiten:

1. Verbesserung und Neukonzeption bestehender Modelle zu Pflanzenwachstum, Stickstoff- und Wasseraufnahme von Nutzpflanzen,
2. Modellentwicklung und Parametrisierung für weitere landwirtschaftliche Nutzpflanzen,
3. Entwicklung, Implementierung und Validierung eines Stickstoffumsatzmodells für die Mesoskala,
4. Abstimmung des Datenaustausches über die Schnittstellen, um zukünftige landwirtschaftliche Nutzungsänderungen in Wechselwirkung mit dem Teilprojekt „Agrarökonomie“ abbilden zu können und
5. 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 im Kontext des Globalen Wandels korrekt abgebildet werden. Voraussetzung dafür ist ein Modellansatz, welcher die Auswirkungen eines geänderten atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Gehaltes, geänderter meteorologischer Bedingungen (insbesondere Lufttemperatur und Niederschlag) sowie einer veränderten Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit auf die Biomasseproduktion, den Ertrag und den Wasser- und Stickstoffbedarf berücksichtigt. Daher werden die wichtigsten Prozesse des Pflanzenwachstums (z.B. Photosynthese, Respiration, phänologische Entwicklung, Allokation) prozessbasiert abgebildet und Optionen landwirtschaftlicher Bewirtschaftung dynamisch berücksichtigt.

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, wurde die Wachstumsmodellierung der Nutzpflanzen im Berichtszeitraum durch das Kölner Teilprojekt neu konzipiert. Das neu entwickelte objektorientierte Teilmodell „Agricultural Ecosystems“ bildet auf der Grundlage der Modelle GECROS (YIN und VAN LAAR 2005) und CERES (HODGES und RITCHIE 1991, JONES und KINIRY (Hrsg.) 1986, RITCHIE und GODWIN (2000) das Wachstum von Winterweizen, Sommergerste, Mais, Zuckerrüben, Kartoffeln und bewirtschafteten Wiesen (extensiv und intensiv) prozessbasiert ab. Für diese Landnutzungen ist die Modellentwicklung abgeschlossen. Die Modellergebnisse wurden anhand von Feldmessungen validiert.

Das neueste Modell der Wageningen Schule, GECROS (YIN und VAN LAAR 2005), verbindet eine prozessbasierte, gekoppelte und wechselwirkende Abbildung der CO<sub>2</sub>- und Wasserflüsse mit einer dynamischen Allokation von Kohlen- und Stickstoff auf die Pflanzenorgane. Basierend auf der Theorie des funktionalen Gleichgewichtes zwischen Wurzel und Spross wird die Kopplung der C- und N-Allokation ermöglicht. Dieser Modellansatz gewährleistet die dynamische Reaktion des Pflanzenwachstums auf Wachstumsstress durch Stickstoff- und Wassermangel, einer durch Umweltbedingungen modifizierten Verteilung der Assimilate und des Stickstoffs zu den Pflanzenorganen, sowie ein physiologisch begründetes Absterben der Pflanzensubstanz in Abhängigkeit von der Stickstoff- bzw. Wasserverfügbarkeit.

Alle im Boden ablaufenden Prozesse (Wurzelwachstum, Wasser- und Stickstoffaufnahme) werden dem CERES-Modellansatz entsprechend (JONES und KINIRY (Hrsg.) 1986; RITCHIE und GODWIN 2000) abgebildet.

Für die Modellierung der phänologischen Entwicklung sind Ansätze aus beiden Modellen miteinander verknüpft und durch Ansätze aus STRECK et al. (2003) ergänzt. Durch den hybriden Ansatz werden im neuentwickelten Teilmodell „Agricultural Ecosystems“ die Stärken der beiden Modelle GECROS und CERES in optimaler Weise miteinander verbunden.

Abbildung 1 zeigt das Flussdiagramm des Modells „Agricultural Ecosystems“. Das Schema basiert auf dem Flussdiagramm von GECROS (YIN und VAN LAAR 2005); Ergänzungen bzw. Änderungen betreffen die Wurzellängendichte, Wasser- und Stickstoffaufnahme sowie die Einflussgrößen Bodentemperatur und Luftdruck.

In den folgenden Absätzen werden die Modellansätze für die modellierten Prozesse kurz beschrieben.



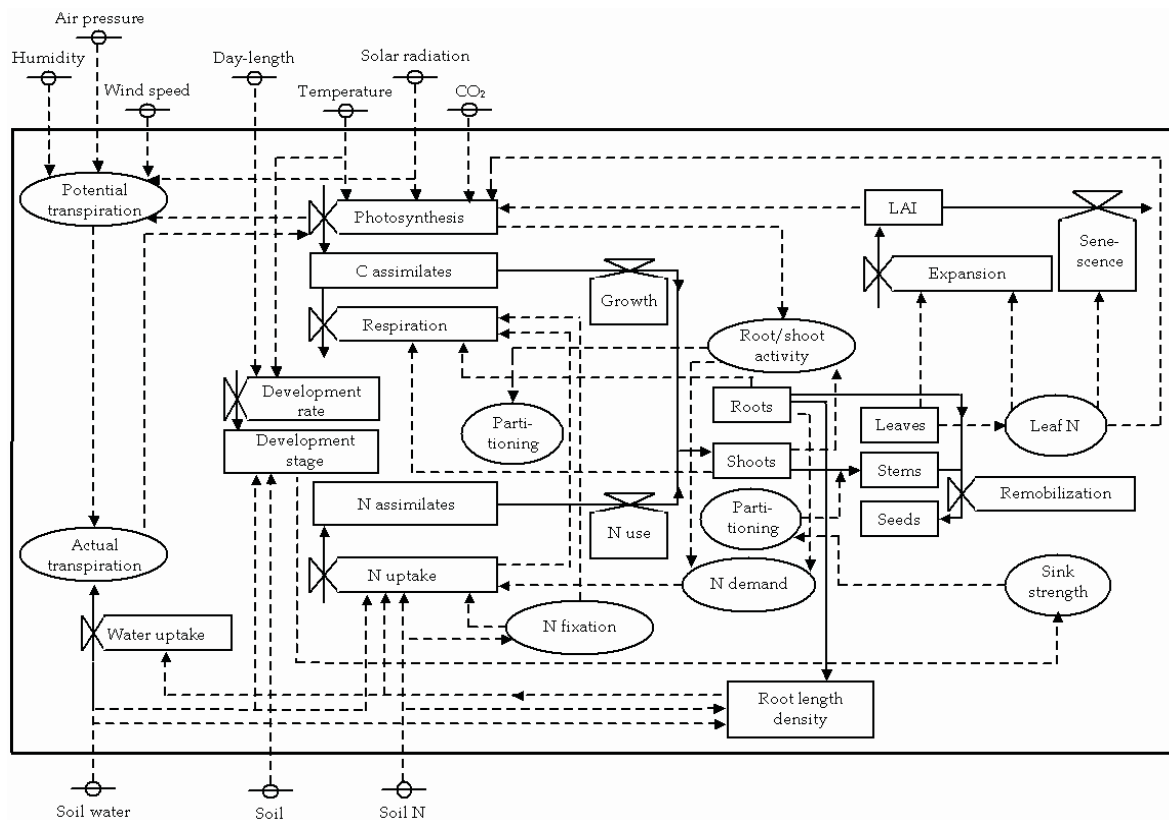


Abb. 1: Flussdiagramm von „Agricultural Ecosystems“, basierend auf GECROS. Nach FORRESTER (1961) stehen Rechtecke für Zustandsvariablen, Ventile für Flussvariablen, Ellipsen für Zwischenvariablen, kleine, durchgestrichene Kreise für Umwelt-Einflussgrößen, durchgezogene Pfeile für Stoffflüsse und unterbrochene Pfeile für Informationsflüsse

Die Modellierung der **Phänologie** berücksichtigt nicht nur die Temperatur als Einflussfaktor, sondern auch die Vernalisation (Blühinduktion durch Kälteperiode) und den Photoperiodismus (Tageslängenabhängigkeit von Entwicklungsvorgängen). Der Einfluss der Umweltparameter Temperatur, Kälteperiode und Beleuchtungsdauer bestimmt die tägliche Entwicklungsrate der Pflanzen in einem multiplikativen Modell (STRECK et al. 2003; YIN und VAN LAAR 2005). Während die Vernalisation nur bei Wintergetreide bedeutsam ist, wird bei der Tageslängenabhängigkeit in Langtags- und Kurztagspflanzen unterschieden (z.B. Winterweizen bzw. Mais). Die Zeitpunkte der Keimung und des Auflaufens werden dem CERES-Modell entsprechend in Abhängigkeit der Bodentemperatur und -feuchte sowie Saattiefe modelliert.

Die Prozesse der **Photosynthese**, **Transpiration** und **Respiration** bestimmen den Gasaustausch der Pflanzen. Diese CO<sub>2</sub>- und Wasserflüsse werden prozessbasiert, gekoppelt und wechselwirkend modelliert. In den letzten Jahren hat sich bzgl. der Photosynthesemodellierung der auf der Rubisco-Enzymkinetik basierende Ansatz nach FARQUHAR et. al. (1980) durchgesetzt, um die Kohlenstofffixierung unter Bedingungen des Globalen Wandels abzubilden. In modifizierter Form wird dieser biochemisch basierte Ansatz im Modell GECROS (YIN und VAN LAAR 2005) verwendet und ist im Teilmodell „Agricultural Ecosystems“ übernommen worden. Da das Modell GECROS die pflanzenspezifischen Photosyntheseparameter nicht für alle berücksichtigten Nutzpflanzen bereitstellt, wurden diese für Zuckerrüben und Kartoffeln anhand von Messungen des Blattgaswechsels mit einem tragbaren Porometer (CIRAS-1, PP Systems, Hitchin, Hertfordshire, UK) bestimmt.

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 Wurzel-

wachstum in der Tiefe simuliert. Proportional zur Wurzellängendichte wird die Wasser- und Nährstoffaufnahme modelliert. Entsprechend der Stickstoffumsatzmodellierung (s. 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 Wurzellängendichte, Bodenwassergehalt, mineralische Stickstoffreservoirs und aktueller Stickstoffbedarf der Pflanzen berücksichtigt.

Für die Allokation des produzierten Kohlenstoffs und des aufgenommenen Stickstoffs wird das Konzept der dynamischen Allokationsmodellierung nach GECROS eingesetzt. Dieser 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). Auf diese Weise wird der Einfluss von Umweltbedingungen auf die **Verteilung der Assimilate und des Stickstoffs** auf die Pflanzenorgane berücksichtigt.

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 Nutzpflanzenertrags für das Teilprojekt „Agrarökonomie“ kommt der Modellierung der Allokation eine wesentliche Bedeutung zu. In Verbindung mit der dynamischen Allokationsmodellierung wird die **Seneszenz** in Abhängigkeit des Stickstoffgehaltes und somit physiologisch begründet abgebildet. 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, werden die Wasseraufnahme und damit die potentielle Transpiration entsprechend reduziert (tatsächliche Transpiration). In diesem Fall wird die Photosyntheserate im Modell neu berechnet, da Transpiration und Assimilation über die Stomata gekoppelt sind. Stickstoffmangel wird sowohl bei der Modellierung des Wurzelwachstums als auch bei der Stickstoff-Allokation berücksichtigt und wirkt sich einerseits direkt aufgrund der Reduktion der Photosyntheserate und der damit einhergehenden geringeren Stomataöffnung auf die Transpiration aus, andererseits indirekt und andauernd durch die bei Stickstoffstress kleiner ausfallende Blattfläche.

Die Prozessbeschreibungen des Wachstumsmodells sind allgemeingültig formuliert. Die Differenzierung in verschiedene Pflanzenarten wird durch eine Zuordnung zu Kategorien (z.B. C<sub>3</sub>- oder C<sub>4</sub>-Pflanze, Winter- oder Sommergetreide) sowie durch pflanzenspezifische Parameter berücksichtigt. Die Werte für die pflanzenspezifischen Parameter sind größtenteils in den Modellen CERES und GECROS bereitgestellt und werden durch Werte aus der Literatur bzw. auf eigenen Messungen basierende Werte ergänzt. Insbesondere die Photosynthese-Parameter wurden für Zuckerrüben und Kartoffeln aus eigenen Messungen mit einem Porometer bestimmt.

Derzeit sind prozessbasierte Wachstumsmodelle für Winterweizen (stellvertretend für Wintergetreide), Sommergerste (für Sommergetreide), Mais, Zuckerrüben, Kartoffeln sowie intensiv und extensiv bewirtschaftete Wiesen implementiert. Die Ernteerträge der restlichen zehn Nutzpflanzenkulturen, die bezüglich ihres Anteils an der landwirtschaftlichen Nutzfläche weniger bedeutsam sind, werden zurzeit empirisch aus den modellierten Ernteerträgen von Nutzpflanzen mit vergleichbarer Phänologie abgeleitet. Grundlage für die Regressionsbeziehungen bilden Ertragsstatistiken über mehrere Jahre (BStMLF 2004). Auf diese Weise können alle Erträge der in der Agrarstatistik aufgeführten Nutzungsarten für die agrarökonomische Modellierung dem Teilprojekt „Agrarökonomie“ (Hohenheim) bereitgestellt wer-

den. Diese auf der Ertragsstatistik beruhende Ableitung der Erträge soll in der nächsten Förderphase sukzessiv durch prozessbasierte Wachstumsmodelle ersetzt werden. Die objektorientierte Programmierung des Wachstumsmodells stellt dabei eine wichtige Voraussetzung für die vereinfachte Implementierung weiterer Nutzpflanzen dar.

## 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 und TYNDALE-BISCOE 1999; RITCHIE und OTTER 1985; RITCHIE und GODWIN 1993) bereits erfolgreich getestet wurde. Sein Komplexitätsgrad und die prozessorientierte Abbildung der Stickstoffumsetzungen im Boden stellen eine geeignete Kombination dar, um die Reaktionen des Systems Boden-Pflanze auf den Globalen Klimawandel hinsichtlich des Stickstoffbedarfs, -verfügbarkeit und -verlagerung (Auswaschung, N<sub>2</sub>O-Emissionen) zu untersuchen. Die vom Stickstoffumsatzmodell abgebildeten Umsetzungsprozesse sind Mineralisation, Immobilisation, Nitrifikation, Denitrifikation und die Hydrolyse von Harnstoff (Abb. 2). Zudem wird die Nitratauswaschung in das Grundwasser modelliert und somit ein zentraler Wasserqualitätsparameter bereitgestellt.

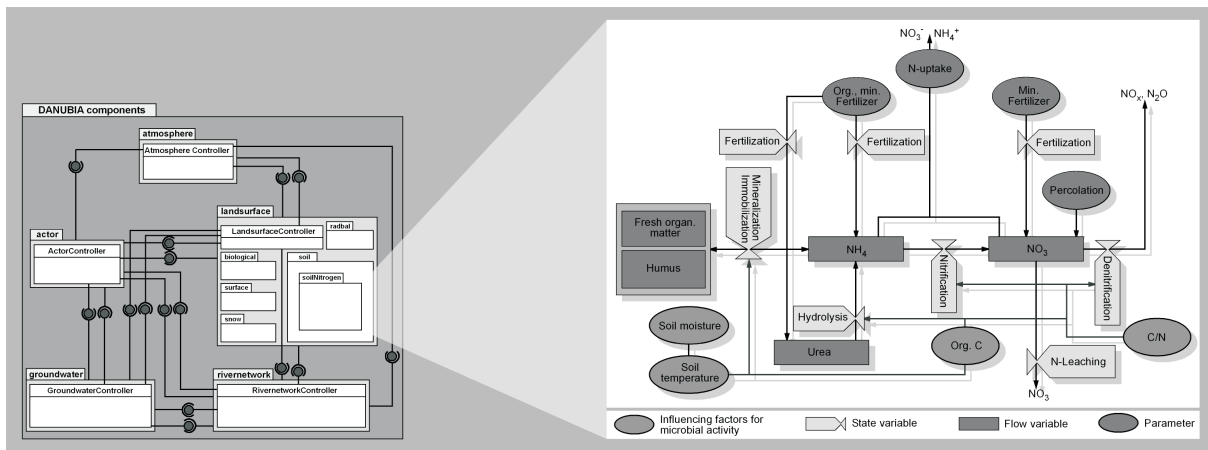


Abb. 2: Schematischer Überblick der Stickstoffumsatzmodellierung (rechts) und zur Integration des Stickstoffumsatzmodells SNT in die Komponente *Soil*

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 Stickstoffverlagerung im Boden wird 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 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 ( $\text{NO}_3^+$ ) und Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) der in der organischen Substanz festgelegte Stickstoff (N in der frischen organischen Substanz sowie 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-Entzug 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

### 2.2.3.1 Validierung auf der Punkt- und Feldskala

Zur Validierung der Pflanzenwachstumsmodellierung stehen eine Vielzahl von bestehenden Datensätzen und eigene Messungen zur Verfügung (Abb. 3).

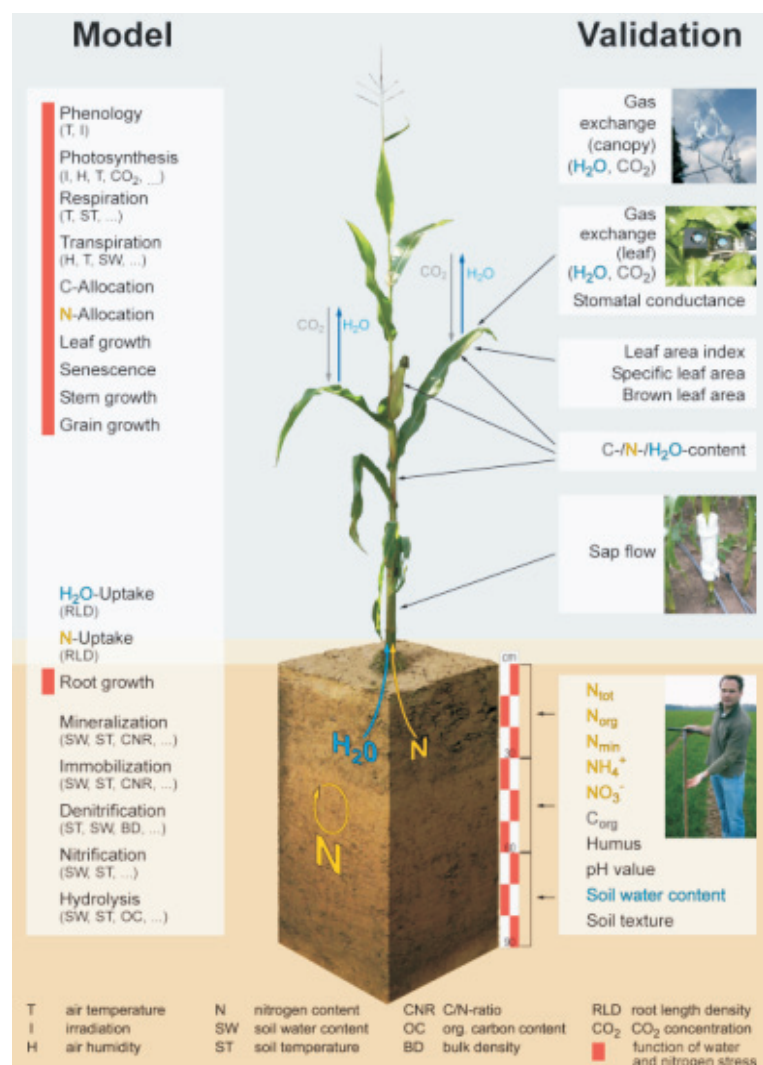


Abb. 3: Übersicht der modellierten Prozesse („*Model*“, linke Spalte) und der Geländemessungen, die zur Validierung herangezogen werden („*Validation*“, rechte Spalte)



Vom Projektpartner „Hydrologie/Fernerkundung“ in München liegen langjährige Messungen (1992-2001) für verschiedene Nutzpflanzen im Ammereinzugsgebiet 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 des modellierten Zuckerrübenwachstums sind Messungen zur Blattflächen- und Biomasseentwicklung eingesetzt worden, die im Rahmen einer Dissertation am Institut für Zuckerrübenforschung, Göttingen (KENTER 2003) erhoben wurden. Diese Messungen wurden auf repräsentativen Standorten der Zuckerrüben-Anbauregionen Deutschlands in den Jahren 2000 und 2001 durchgeführt. Zusätzlich stehen Geländemessungen zur Biomasseentwicklung bei Winterweizen, Sommergerste und Zuckerrüben bei unterschiedlicher Stickstoffdüngerversorgung aus den Jahren 1990 und 1991 im Harzvorland zur Verfügung (MCVOY et al. 1995). Die Verwendung von Messungen aus unterschiedlichen Regionen Deutschlands soll die räumliche Übertragbarkeit des Modellansatzes belegen.

Die vorhandenen Datensätze zur Validierung wurden durch eigene Geländemessungen ergänzt. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die zur Modellvalidierung genutzten Messungen und Messverfahren. In den Jahren 2004 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 vier Wochen.

Tab. 1: Übersicht der erfassten Messparameter für die Validierung und Parametrisierung

<b>Messparameter</b>	<b>Messverfahren bzw. Messgerät</b>	<b>Bezug zum Modell</b>
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>	Validierung der Blattflächenentwicklung und Seneszenz
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 <sub>2</sub> -Austausch am Blatt (Licht- und A/Ci-Kurven)	Porometer <i>CIRAS-1, Blattkuvette PLC6 (U)</i>	Parametrisierung der pflanzenphysiologischen Größen für die Photosynthesemodellierung
H <sub>2</sub> O-Fluss über einem Bestand	<i>Bowen-Ratio-System</i>	Validierung der Transpiration (Bestand)
H <sub>2</sub> O- und CO <sub>2</sub> -Flüsse über einem Bestand	<i>Eddy-Kovarianz-System (Campbell)</i>	Validierung der Transpiration und CO <sub>2</sub> -Aufnahme (Bestand)
Bodenrespiration	<i>Bodenatmungskammer CFX1, Gasanalysator EGM-4</i>	Validierung der CO <sub>2</sub> -Aufnahme (Bestand) in Verbindung mit dem Eddy-Kovarianz-Messsystem

Zur Erweiterung der Messungen wurden im Jahr 2004 vier weitere Messsysteme in Betrieb genommen: eine Saftflussmessanlage (Ecotech Umweltmeßsysteme GmbH, Bonn, Deutschland), ein Eddy-Kovarianz-Messsystem (Campbell Scientific Inc., Logan, USA/LI-COR Inc., Lincoln, USA), ein Bowen-Verhältnis-Messsystem (Ecotech Umweltmeßsysteme GmbH, Bonn, Deutschland) und eine Bodenatmungskammer (PP Systems, Hitchin, UK). 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, einem Versuchsgut der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität (Bonn) durchgeführt.

Das Eddy-Kovarianz-System nimmt unter den neu erworbenen Messgeräten eine besondere Stellung ein, da die mit dem Messsystem ermittelten  $\text{CO}_2$ - und  $\text{H}_2\text{O}$ -Flüsse unmittelbar mit den von DANUBIA modellierten Flüssen verglichen werden können. Daher lag der Arbeitsschwerpunkt in 2006 und 2007 vor allen in der fachgerechten Prozessierung, Korrektur und Qualitätssicherung der ermittelten Flüsse. Gemessen wurde sowohl 2005 als auch 2006 über einem Zuckerrübenbestand. Die Messreihen decken den Zeitraum von Mitte Mai bis Ende September 2005 sowie Ende April bis Mitte November 2006 ab. Die messtechnische Voraussetzung für die Anwendung der Eddy-Kovarianz-Methode (EC-Methode) und somit die Bestimmung der  $\text{CO}_2$ -,  $\text{H}_2\text{O}$ - und Energieflüsse ist die hochfrequente Messung des atmosphärischen  $\text{CO}_2$ -Gehalts, der absoluten Luftfeuchtigkeit, der Lufttemperatur und der vertikalen Windkomponente über dem Vegetationsbestand. Zusätzlich werden Global- und Nettostrahlung, Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Bodenfeuchte und Bodentemperatur gemessen. Diese zusätzlichen Daten dienen der Analyse und Interpretation der ermittelten Flüsse und werden als Eingangsparameter für die Modellläufe benötigt. Ergänzt werden die eigenen Messungen durch meteorologische Messungen an der Wetterstation des Versuchsguts Dikopshof.

Abbildung 4 zeigt exemplarisch die Abhängigkeit des  $\text{CO}_2$ -Flusses von der Globalstrahlung im Tagesverlauf über einem Zuckerrübenbestand. Die  $\text{CO}_2$ -Aufnahme durch die Pflanzen zeigt sich deutlich in den negativen  $\text{CO}_2$ -Flüssen. Positive  $\text{CO}_2$ -Flüsse signalisieren hingegen die nächtliche Boden- und Bestandesrespiration.

Fester Bestandteil im Umgang mit EC-Messungen ist die Anwendung einer auf den Standort und die verwendete Messtechnik ausgerichteten Auswahl von Korrekturverfahren und Qualitätstests. Unter anderem wurden die ermittelten Rohflüsse einer Neigungskorrektur nach KAIMAL und FINNIGAN (1994) unterzogen, welche Ungenauigkeiten in der Ausrichtung der Windsensoren bereinigt. Mit der Schotanus-Korrektur wurde die mit dem Ultraschallanemometer ermittelte Schalltemperatur in die aktuelle Temperatur überführt. Die Korrektur spektraler Verluste wurde nach dem Schema von MOORE (1986) durchgeführt. Dichtefluktuationen wurden nach WEBB et al. (1980) korrigiert. Alle auf diese Weise ermittelten halbstündigen Flüsse wurden auf verschiedene Qualitätskriterien hin überprüft. Hervorzuheben sind dabei neben einfachen Kriterien, wie die der Datenvollständigkeit oder der Plausibilität der Messwerte, vor allem die Stationarität der untersuchten Zeitreihen und das Vorhandensein eines entwickelten Turbulenzregimes. Die beiden letztgenannten Kriterien wurden mit dem von FOKEN und WICHURA (1996) entwickelten Stationaritätstest und dem Integral Turbulenz Test kontrolliert.

Nach dem Schema des Spoleto Agreements aus dem Jahr 2004 (s. MAUDER und FOKEN 2004) wurden die Ergebnisse der einzelnen Qualitätstests anschließend in ein einziges umfassendes Qualitätskriterium überführt. Dieses Kriterium unterscheidet die einzelnen halbstündigen Beobachtungen nur noch in Daten hoher, mittlerer oder schlechter Qualität. Für den gesamten Messzeitraum in 2006 ist diese Unterscheidung für die halbstündigen Beobachtungen am Beispiel des  $\text{CO}_2$ -Flusses in Abbildung 5 dargestellt.

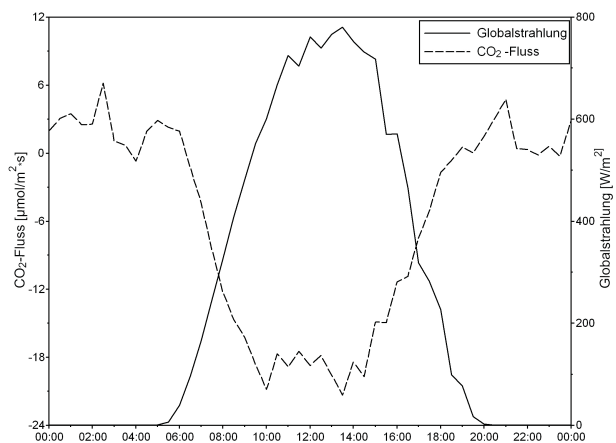


Abb. 4: Beispiel für eine Messung des  $\text{CO}_2$ -Flusses über einem Zuckerrübenfeld (18.08.05). Dargestellt sind die Halbstundenmittelwerte der Globalstrahlung sowie die halbstündigen Flüsse von  $\text{CO}_2$

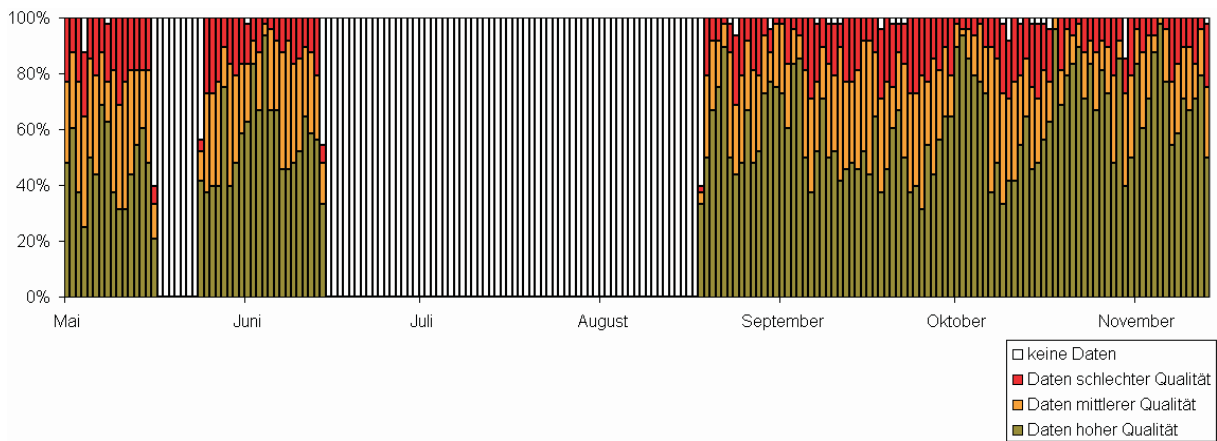


Abb. 5: Anteile der Datenerfassung und Datenqualität über den gesamten Messzeitraum im Jahr 2006 für die halbstündigen Beobachtungen des CO<sub>2</sub>-Flusses; Kategorisierung nach S. Agreements (2004)

Auf den ersten Blick sind zwei Messausfälle erkennbar, ein kürzerer im Mai und ein längerer von Mitte Juni bis Mitte August. Vernachlässigt man diese Ausfälle, dann beträgt der Anteil der Daten mit hoher Qualität über den gesamten Messzeitraum in 2006 etwa 60%, der Anteil der Daten mittlerer Qualität ca. 25% und die restlichen 15% des Datensatzes werden durch Daten schlechter Qualität oder fehlender Messungen gebildet. Je nach Fragestellung können die Daten anschließend über das Qualitätskriterium gefiltert werden. Für die Validierung des Pflanzenwachstumsmodells sollen ausschließlich Daten hoher Qualität verwendet werden.

Als weiteres Qualitätskriterium werden derzeit die Ergebnisse aus einer Footprint-Modellierung nach HSIEH et al. (2000) für das Eddy-Kovarianz-System in die Auswertungsroutine eingearbeitet. Mittels des Footprint-Modells lässt sich eine Aussage darüber machen wie viel des am Eddy-Kovarianz-System gemessenen Flusses tatsächlich seine Quelle bzw. Senke innerhalb des untersuchten Zuckerrübenbestandes hat. Liegt dabei der Anteil der untersuchten Fläche am gemessenen Fluss unterhalb von 90%, wird die Messung von der weiteren Auswertung für die Parametrisierung bzw. Validierung des Zuckerrübenmodells ausgeschlossen.

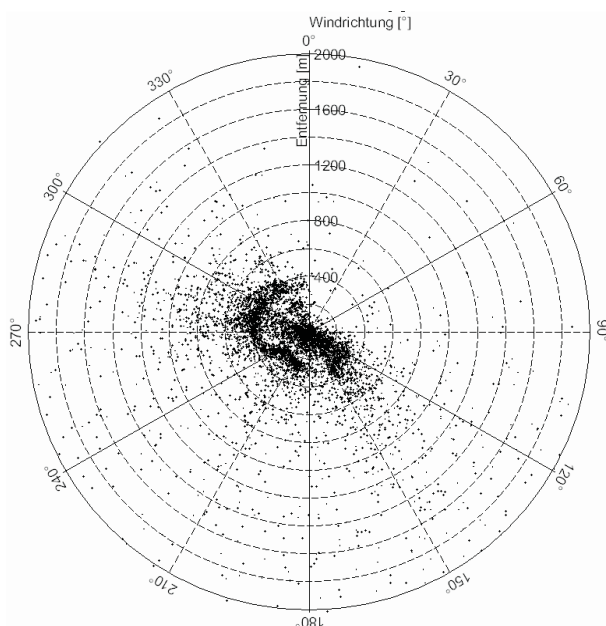


Abb. 6: Windrichtungsabhängige Entfernung der Punkte zur Messstation an dem 90% des Flusses der jeweiligen 30-minütigen Beobachtung erreicht werden

Abbildung 6 zeigt die windrichtungsabhängige Entfernung des Punktes, an dem der Fluss 90% des gesamten gemessenen Flusses beträgt. Für die Darstellung wurden nur Messungen der höchsten Qualitätsstufe verwendet. Wie der Abbildung zu entnehmen ist, liegt der Großteil der insgesamt 6500 Beobachtungen in einem Radius von 400m um die Eddy-Kovarianz-Station. Die Abstände der Eddy-Kovarianz-Station zu den benachbarten Nutzungen betragen teilweise jedoch weniger als 400m. Diese Messungen müssen vor der Verwendung zur Validierung des Zuckerrübenmodells ausgeschlossen werden.

Die CO<sub>2</sub>-Flussmessungen mit der Eddy-Kovarianz-Messstation stellt die Summe aus Bodenrespiration und CO<sub>2</sub>-Flüssen der Pflanze dar. Um diese beiden Komponenten zu trennen, wurden Messungen der Bodenatmung 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 7 zeigt exemplarisch den Tagesverlauf der Bodenrespiration und -temperatur am 08.09.2005 im Zuckerrübenbestand und die deutliche Abhängigkeit der Bodenrespiration von der Bodentemperatur.

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. Ein Beispiel für die gemessenen und berechneten Energieflüsse an der Bowen-Ratio-Station zeigt Abbildung 8 für den 29.08.2005. Nach oben gerichtete Energieflüsse sind hier positiv dargestellt.

Das Saftflussmesssystem wurde in unmittelbarer Nähe des Bowen-Ratio-Systems im Maisbestand eingesetzt. Das Konzept der kombinierten Messungen der Evapotranspiration mit dem Bowen-Ratio-System und der Saftflussmessung diente der Trennung des Evaporations und des Transpirationsanteils an der Gesamtverdunstung. Kontinuierliche Messungen liegen für den Zeitraum vom 14.07.2005 bis zum 15.10.2005 vor. Es hat sich jedoch gezeigt, dass das Saftflussmesssystem für kontinuierliche Messungen in Maisbeständen nicht gut geeignet ist. Die Transpiration der Maispflanzen entlang des Stängels führt zu Wasseransammlungen an den Temperatursensoren und Korrosion auf den Sensoren. Die Saftflussmessungen wurden eingestellt und sollen in Zukunft nur in kurzen Messkampagnen genutzt werden.

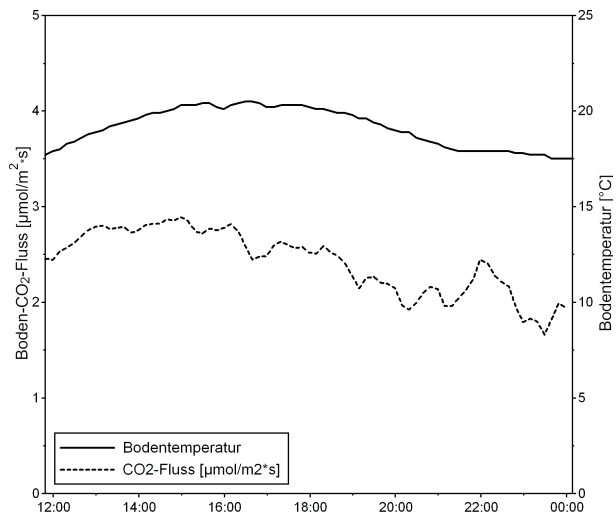


Abb. 7: Tagesverlauf der Bodenrespiration und Bodentemperatur in einem Zuckerrübenbestand am 08.09.05

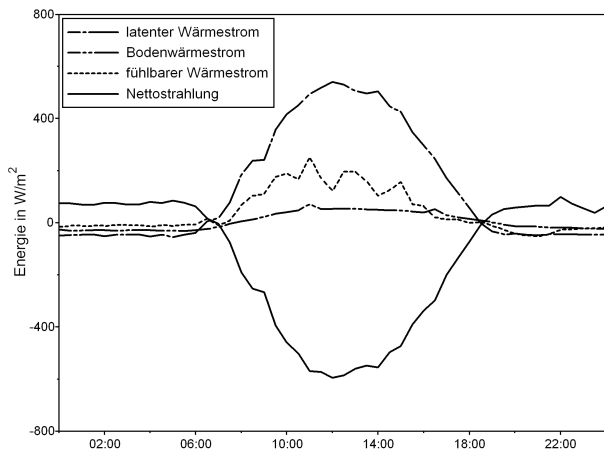


Abb. 8: Energieflüsse über einem Maisbestand am 29.08.05

## 2.2.4 Validierungskonzept für die Stickstoffumsatzmodellierung

### 2.2.4.1 Punktuelle Validierung

Zur prozessnahen Validierung am Punkt werden externe und eigene Geländemessungen eingesetzt. Aus dem Einzugsgebiet der Oberen Donau stehen  $\text{NO}_3^-$ - und  $\text{N}_{\text{min}}$ -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 Kleegrass (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. (1995) 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 Validierung und Prüfung der räumlichen Übertragbarkeit während des Berichtszeitraumes eigene Geländemessungen auf drei verschiedenen konventionell bewirtschafteten Schlägen (Mais, Zuckerrüben, Winterweizen) in 2005 im Siegeinzugsgebiet bei Feienberg durchgeführt (Tab. 2). Die Messungen wurden zweiwöchentlich durchgeführt, um die zeitliche Stickstoffdynamik während der Vegetationsperiode zu erfassen. Auf jedem Feld wurden 10 Bodenproben aus drei Tiefen (0-30, 30-60, 60-90cm) 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 ihre Nitrat-, Ammonium-, organischen und Gesamtstickstoffgehalt sowie den Kohlenstoff- 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 2005

Bodenparameter	Landnutzung	Messfrequenz
$NO_3^-$ , $NH_4^+$ , $N_{org}$ ,	Winterweizen	
$N_{\min}$ , $N_{tot}$ , C-, Wassergehalt	Mais Zuckerrüben	2-wöchentlich

In einer Diplomarbeit wurden von T. Frank die schlaginterne N-Variabilität der Versuchsparzellen und ihre zeitliche Dynamik untersucht. Dabei kam ein neues reflektometrisches Schnelltestverfahren (RQflex plus Reflektometer, Merck, Darmstadt) zur Bestimmung von Nitrat und Ammonium zum Einsatz und wurde für die Eignung im Gelände erfolgreich evaluiert.

#### 2.2.4.2 Flächenhafte Validierung

Direkte flächenhafte Messungen des Stickstoffumsatzes und -austrags 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 Qualitätsabschätzung der Modellergebnisse auf der Mesoskala.

Zusätzliche Evidenzen zur Überprüfung der Stickstoffumsatz- und Stickstoffaufnahme-modellierung 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 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.

Die Weiterentwicklung des DANUBIA-Frameworks durch die Projektgruppe Informatik ermöglicht es nun beliebige Testgebiete auszuwählen und Metadaten selbstständig zu generieren und zu modifizieren. Zusätzlich lässt sich die Größe der Rasterzellen modifizieren. Die Möglichkeit, flächenverteilte Modellläufe beliebiger Modellverbünde auf der Skala von Landkreisen oder Teileinzugsgebieten zu erzeugen, ist sowohl für die flächenhafte Validierung der Modellergebnisse, die Qualitätssicherung von DANUBIA und die Untersuchung von Skalierungseigenschaften des Modells von großer Wichtigkeit, als auch für die Untersuchung der Wechselwirkung der verschiedenen Modellkomponenten sowie für Anwendungen des Modellsystems zur Analyse lokaler und regionaler Fragestellungen, die mit Teilmengen des gesamten DANUBIA-Systems bearbeitet werden können.

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 beinhaltete. Lokal entwickelte Modellrevisionen sind in Simulationsläufen einzeln oder im Modellverbund (*Biological-Soil-Surface*) hinsichtlich ihrer Güte somit überprüfbar. Testläufe im Modellverbund sind wichtig, um im Vorfeld bereits die prozessspezifischen Wechselwirkungen zwischen den Teilmodellen unabhängig von Gesamtsystem des DANUBIA zu prüfen, und das Auftreten technischer Probleme oder fehlerhafter Parameterübergaben der Schnittstellen zu vermeiden.

## **2.4 Ergebnisse**

### **2.4.1 AGRICULTURAL ECOSYSTEMS (Pflanzenwachstum)**

In den folgenden Abschnitten werden exemplarisch die erzielten Modellergebnisse für Sommergerste und Zuckerrüben dargestellt, um die Tauglichkeit der Modellansätze für die Global Change Forschung nachzuweisen. Die weiteren Ergebnisse werden in Kürze im Rahmen der Dissertation von V. Lenz publiziert. Die Ergebnisse für die weiteren Pflanzenarten entsprechen in ihrer Güte den hier vorgestellten Resultaten.



### 2.4.1.1 Sommergerste

Für Sommergerste wird ein von MCVOY et al. (1995) veröffentlichter Datensatz verwendet. Dieser berücksichtigt zwei Stickstoff-Düngungsvarianten: eine Standarddüngung sowie eine reduzierte Düngung. Abbildung 9 vergleicht die Modellergebnisse mit Feldmessungen unter Annahme der Standarddüngung.

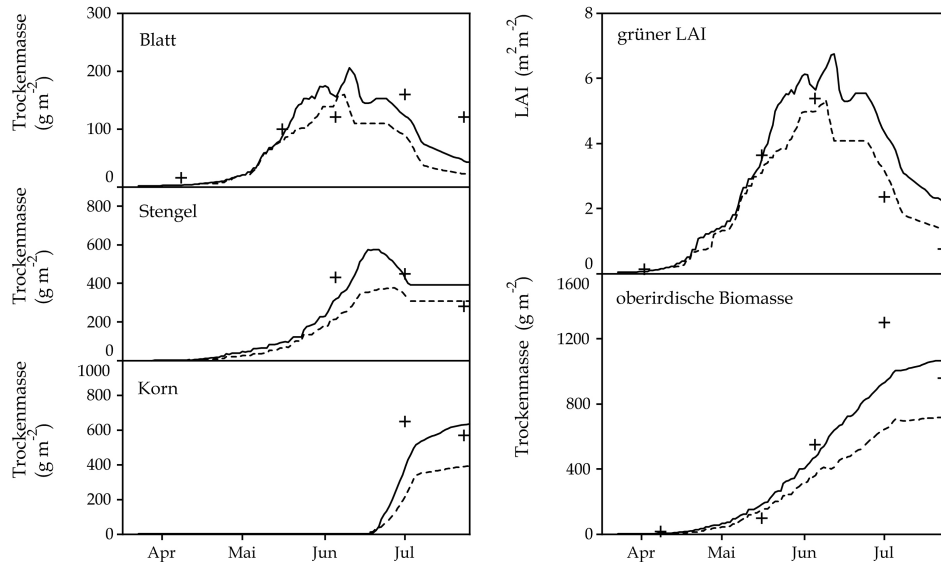


Abb. 9: Modellierte (Linien) LAI- und Biomasseentwicklung für beide Düngungsvarianten (Sommergerste, Nienwohlde 1991, Standarddüngung: durchgezogene Linie, reduzierte Düngung: unterbrochene Linie). Messungen (Punkte) beziehen sich auf die Standarddüngung

Das Modell trifft die im Feld beobachtete LAI-Zunahme sehr gut, während die Messwerte nach Eintreten der Seneszenz überschätzt werden. Die Blattbiomasse wird leicht unterschätzt, wobei jedoch festzustellen ist, dass die beiden letzten Messwerte für Blattbiomasse und LAI nicht stimmig sind ( $120 \text{ g m}^{-2}$  und  $0,76 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ ). Diese Messwerte bedeuten ein sehr niedriges spezifisches Blattgewicht, welches fragwürdig erscheint. Die modellierte Stängel- und Kornbiomasse zeigt die Remobilisierung von Kohlenstoffreserven von dem Stängel ins Korn. Der modellierte Kornertrag stimmt sehr gut mit dem gemessenen überein (Differenz  $61 \text{ g m}^{-2}$ ).

Um die Sensitivität des Modells bzgl. der Stickstoffverfügbarkeit darzustellen, werden ebenso Ergebnisse für eine verminderte Stickstoffversorgung gezeigt. Diese ist im Vergleich zur Standard-Düngung um die Gabe Anfang April ( $50 \text{ kg ha}^{-1}$ ) reduziert.

Die Ergebnisse zeigen eine verminderte LAI-Entwicklung und ein früheres Einsetzen der Seneszenz, bedingt durch eine zeitigere Abnahme der Blattstickstoffkonzentration. Aufgrund der geringeren LAI-Entwicklung wird weniger Kohlendioxid assimiliert und folglich weniger Biomasse produziert.

Abbildung 10 stellt die  $\text{CO}_2$ -Assimilation und Transpiration für beide Düngungsvarianten gegenüber. Die Kopplung beider Flüsse über die Regulation der Stomata wird durch den ähnlichen Verlauf deutlich. Bei der reduzierten Düngungsvariante ist die Größenordnung sowohl der Assimilation als auch der Transpiration niedriger, bedingt durch die geringere LAI-Entwicklung sowie niedrigere Blattstickstoffkonzentration.

In Tabelle 3 werden die Modellresultate für beide Düngungsvarianten gegenübergestellt. Die reduzierte Düngung resultiert in einer um 25% verringerten Transpiration. Zwar bietet eine reduzierte Stickstoffversorgung die Option, den Wasserverbrauch durch Nutzpflanzen zukünftig zu verringern, jedoch bedeutet eine geringere Stickstoffkonzentration im Korn

einen Qualitätsverlust. Die identischen Werte des Transpirationskoeffizienten und das Verhältnis von assimiliertem Kohlenstoff zum aufgenommenen Stickstoff (Standarddüngung: 5,74, reduzierte Düngung: 6,25) belegen das Gleichgewicht der benötigten Wasser-, Kohlenstoff- und Stickstoffmengen bei der Biomasseproduktion.

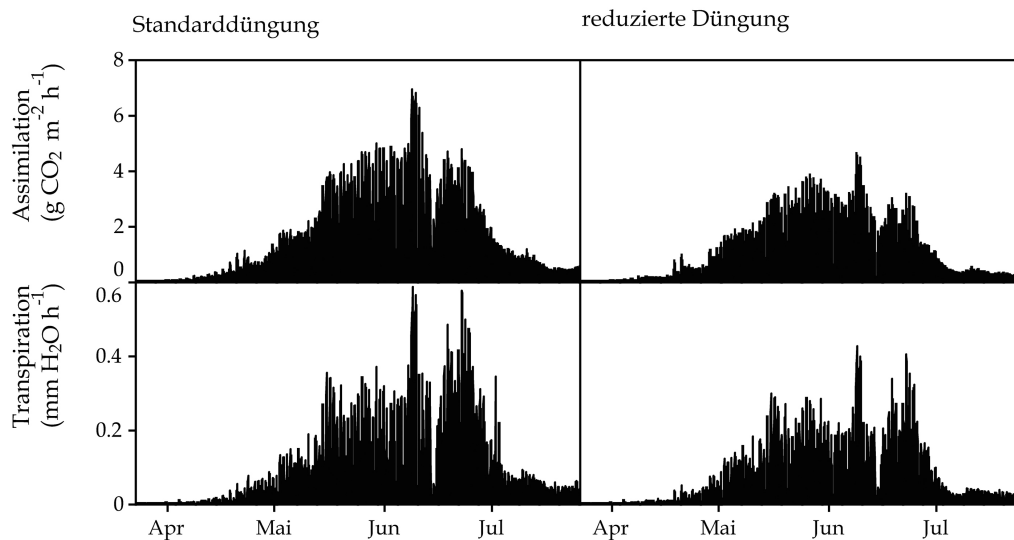


Abb. 10: Modellierter CO<sub>2</sub>-Assimilation und Transpiration für beide Düngungsvarianten (Sommergerste, Nienwohlde 1991)

Tab. 3: Vergleich der Modellresultate für beide Düngungsvarianten (Sommergerste, Nienwohlde 1991)

Düngungs-variante	Gesamter assimiliertes Kohlenstoff (g C m <sup>-2</sup> )	Transpirations-summe (mm H <sub>2</sub> O)	Gesamte N-Aufnahme (kg N ha <sup>-1</sup> )	Gesamte produzierte Trockenmasse (g m <sup>-2</sup> )	Transpirationskoeffizient (kg H <sub>2</sub> O kg <sup>-1</sup> Trockenmasse)
Standard	901	177	157	1683	105
reduziert	681	132	109	1253	105

Der Einfluss der Stickstoffversorgung auf die Allokation sowie Stickstoffkonzentration der Biomasse wird in Abbildung 11 gezeigt. Die Daten beziehen sich auf den 7. Juli 1991. Bei der reduzierten Düngung wird mehr Biomasse in die Wurzeln investiert, um die Aufnahme der begrenzten Ressource Stickstoff im Boden zu erhöhen. Die Blattstickstoffkonzentration bei der reduzierten Düngung ist verringert, welches in einer geringeren Photosyntheseleistung resultiert.

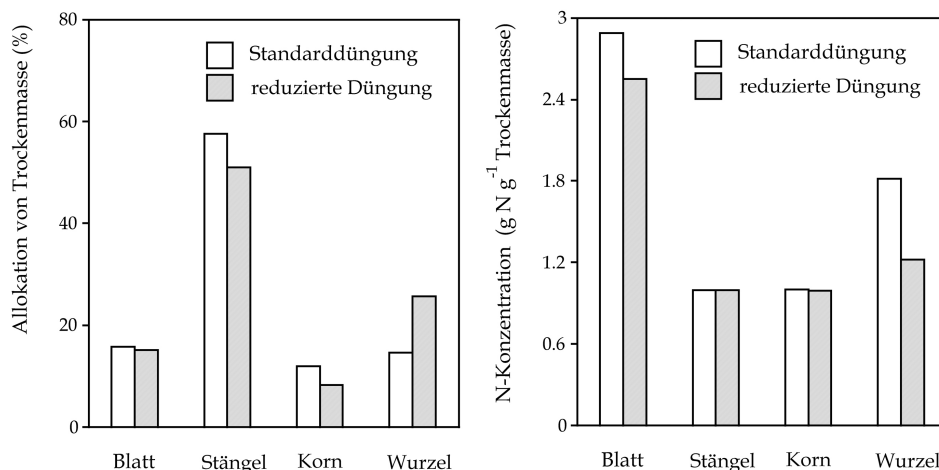


Abb. 11: Allokation und Stickstoffkonzentration für beide Düngungsvarianten (07.07.1991, Sommergerste, Nienwohlde)

### 2.4.1.2 Zuckerrüben

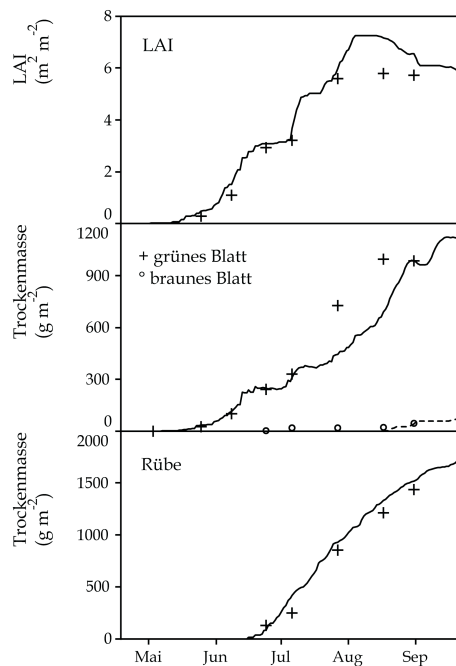


Abb. 12: Modellerte (Linien) und gemessene (Punkte) LAI- und Biomasseentwicklung (Zuckerrüben, Feienberg 2005)

Die Eignung des Modells „Agricultural Ecosystems“, die Entwicklung und Wachstum von Zuckerrüben abzubilden, wird anhand von eigenen Messungen in Feienberg (2005) dargestellt. Das Modell bildet den Anstieg des LAI und der Blattbiomasse sowie die Zunahme der Rübenmasse sehr gut ab (s. Abb. 12 und Tab. 4).

Für die Validierung der Zuckerrüben-Wachstumsmodellierung wurden insgesamt sieben Datensätze von Feldmessungen eingesetzt. Diese umfassen verschiedene Bodenarten und ein großes Spektrum an Saatterminen. Im Durchschnitt wird die oberirdische Biomasse gut abgebildet („Index of agreement“ nach WILLMOTT (1981) = 0.919), das Wachstum der Rübenkörper wird noch besser modelliert (Index of agreement = 0.978, mittlerer durchschnittlicher Fehler = 0.14kg m<sup>-2</sup>). Modellerte Summen der Transpiration sowie Stickstoffaufnahme über den gesamten Zeitraum des Wachstums bewegen sich alle in der erwarteten Größenordnung.

Die Validierung des Wachstumsmodells hat bewiesen, dass das Modell „Agricultural Ecosystems“ Kohlenstoff-, Stickstoff- und Wasserflüsse sowie den Ernteertrag von Zuckerrüben sehr gut abbildet.

Tab. 4: Güte der Modellierung für Zuckerrüben (Feienberg 2005): Mittlere quadratische Abweichung (RMSE), mittlerer durchschnittlicher Fehler (MAE), „Index of agreement“ nach WILLMOTT (1981).

	RMSE	MAE	Index of agreement
grüner LAI	0,67	0,54	0,978
Blattbiomasse	147,04	79,35	0,956
Rübenbiomasse	85,96	66,34	0,992

In der Literatur finden sich bisher keine Ergebnisse von Wachstumsmodellen, in denen das Zuckerrübenwachstum prozessbasiert und unter Bedingungen des Klimawandels untersucht wurde. Somit kommt der Modellierung von Zuckerrübenwachstum innerhalb „Agricultural Ecosystems“ eine besondere Bedeutung zu.

## 2.4.2 SOIL / SNT Stickstoffumsätze und-flüsse)

### 2.4.2.1 Validierung am Punkt

Vor der Auswertung flächenhafter Modellergebnisse ist eine umfangreiche punktbezogene Validierung ohne und mit Wechselwirkungen zu den anderen Modellkomponenten notwendig. Zunächst wurde daher zur Validierung der Stickstoffumsatz- und -verlagerungsprozesse die Wechselwirkung des SOIL/SNT-Modells mit anderen Teilmodellen unterbunden und die erforderlichen Modelleingaben feldspezifisch aus Messungen oder Modellergebnissen anderer Modellläufe bereitgestellt. Die für diese Validierung erforderlichen Eingabeparameter des SOIL/SNT-Modells und die Datenquelle sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tab. 5: Eingabeparameter für die Modellierung von Wasser- und Stickstoffflüssen

Parameter [Einheit]	Niederschlag (effektiver) [kg/m <sup>2</sup> /s]	Interzeption [kg/m <sup>2</sup> /s]	Wasseraufnahme [kg/m <sup>2</sup> /s]	Evaporation [kg/m <sup>2</sup> /s]	Wurzellängendichte [Anteil]	Bodentemperatur [°K]	Stickstoffaufnahme [kg/ha/d]	Düngung [kg/ha]
Quelle	Niederschlag <sub>obs</sub> - Interzeption <sub>mod</sub>	Modelliert	Modelliert	Modelliert	Modelliert	Gemessen	Gemessen	Nach Angaben der Landwirte

Zur Ableitung der Stickstoffaufnahmeeraten wurde die im Labor bestimmte Stickstoffkonzentration der gemessenen Biomasse verwendet. Dabei wurde angenommen, dass die Stickstoffaufnahme gleichmäßig erfolgt. Die Stickstoffaufnahme pro Modellzeitschritt (Stunde) wurde daher durch eine lineare Interpolation der für die Messtermine ermittelten Stickstoffaufnahme bestimmt und auf Basis der modellierten Wurzellängendichteverteilung proportional auf die Schichten verteilt.

Nachstehend werden die so erzeugten Modellergebnisse für die Fruchtarten Winterweizen (Feienberg 2005) (Abb. 13) auf Parabraunerde über Lösslehm und Sommergerste (Braunschweig 1991) (s. Abb. 14) auf schluffigem Lehm exemplarisch dargestellt.

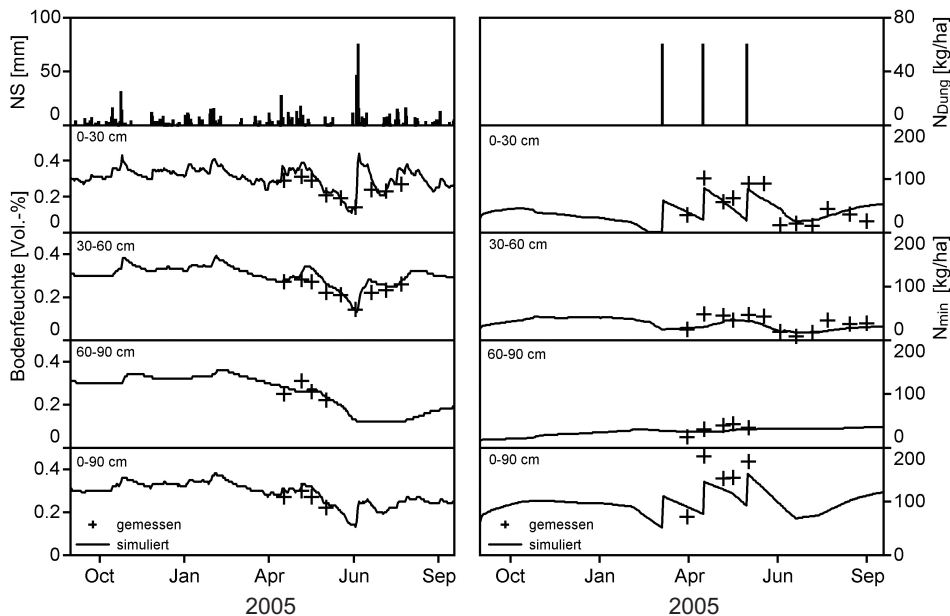


Abb. 13: Modellerte und gemessene Bodenfeuchte und Stickstoffdynamik unter einem Winterweizenbestand

Neben dem Niederschlag (NS) ist die gedüngte  $N_{\min}$ -Menge dargestellt. Aufgrund der Abhängigkeit der Stickstoffdynamik vom Bodenwasserhaushalt ist eine gemeinsame Darstellung der Modellergebnisse der Bodenfeuchte und Stickstoffdynamik sinnvoll. Die modellerte Bodenfeuchtedynamik unter einem Winterweizenbestand im Jahre 2005 ist in allen Schichten und für das gesamte Profil gut abgebildet. Deutlich ist die sensitive Reaktion der Bodenfeuchte auf den Niederschlag, insbesondere in der obersten Schicht, zu erkennen. Während der Messkampagne konnte die Leerung des Bodenprofils infolge der saisonal bedingten Zunahme der Evapotranspiration durch Feldmessungen belegt werden. Diese Abnahme des Bodenwassergehalts sowie die rasche Auffüllung des Bodenprofils nach einem extremen Niederschlagsereignis wird durch das Modell plausibel abgebildet und stellt daher eine gute Grundlage für die Validierung des Stickstoffmodells dar.

Die Dynamik des mineralischen Stickstoffs unter Winterweizen wird im gesamten Bodenprofil plausibel abgebildet, allerdings treten Diskrepanzen bzgl. der absoluten Höhe der Werte auf. Besonders in den oberen 30 cm wird der Stickstoffgehalt nach der zweiten mine-

ralischen Düngung nicht erreicht. Auch in der darunter liegenden Schicht tritt zu diesem Zeitpunkt eine Unterschätzung auf, was sich in der Summe als erhebliche Abweichung (40kg N/ha) darstellt. Diese Abweichung ist wahrscheinlich in einer fehlerhaften Annahme der Stickstoffaufnahme begründet.

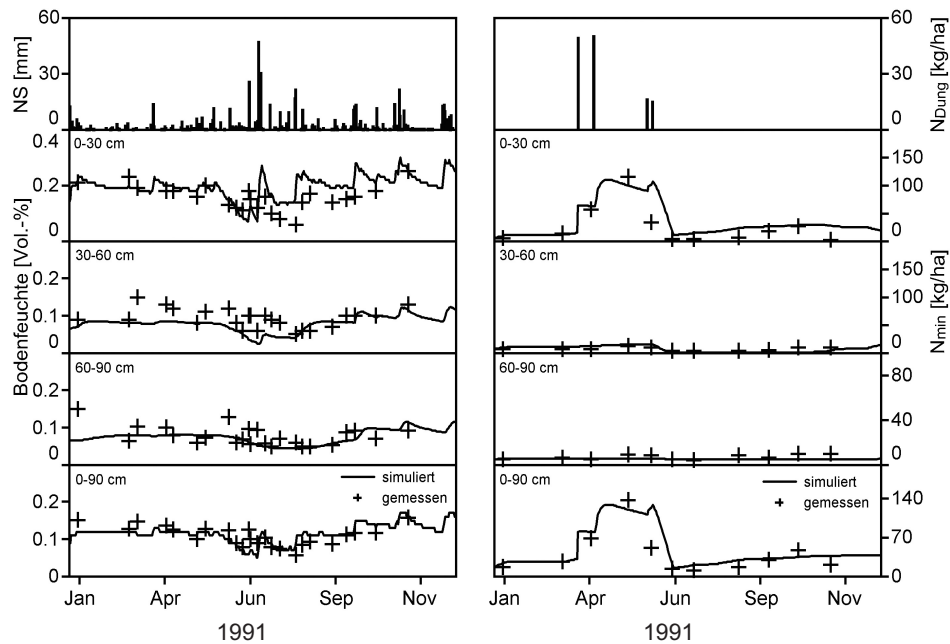


Abb. 14: Modellerte und gemessene Bodenfeuchte und Stickstoffdynamik unter einem Sommergerstebestand

Statistische Merkmale wie die Modelleffizienz (Tab. 6) zeigen eine für alle Bodentiefen zufriedenstellende bis gute Übereinstimmung der Modellergebnisse mit den Messungen.

Tab. 6: Statistische Analyse der Modellergebnisse (mittlere quadratische Abweichung (RMSE), „Index of agreement“ (IA) nach WILLMOTT (1981))

Sommergerste 1991				
	Bodenwasser ( $\Theta$ )	$N_{min}$		
Tiefe [cm]	RMSE [Vol. %]	IA <sup>2</sup>	RMSE <sup>1</sup> [kg/ha]	IA
00-30	0.01	0.59	19.69	0.90
30-60	0.03	0.54	3.99	0.78
60-90	0.01	0.53	1.81	0.41
00-90	0.01	0.68	22.72	0.90
Winterweizen 2005				
00-30	0.03	0.93	0.23	0.87
30-60	0.04	0.87	3.73	0.68
60-90	0.04	0.58	10.21	0.55
00-90	0.01	0.96	41.32	0.70



Die Qualität der Modellergebnisse für den Bodenwassergehalt unter Sommergerste auf sandigen Lehm bleibt hinter den Ergebnissen für Winterweizen zurück. Die Sommergerste wurde berechnet. Die Bodenfeuchtemessungen zeigen allerdings trotz der angegebenen Berechnung abnehmende Bodenfeuchtwerte. KERSEBAUM (1995) und SVENDSEN et al. (1995) stellten anhand der Messungen fest, dass die Bewässerung die Bodenfeuchtemessstelle nicht erreichte. Daher wurde bei den hier vorgestellten Ergebnissen die Bewässerung nicht berücksichtigt. Diskrepanzen zwischen Modell und Messung treten bei der Bodenfeuchte vor allem während der Vegetationsperiode auf, beschränken sich aber auf max.  $\pm 5\%$ . Der Verlauf für das gesamte hier präsentierte Profil zeigt brauchbare Resultate und liefert mit einer Modelleffizienz von 0,68 (s. Tab. 6) eine solide Basis für die Validierung des Stickstoffmoduls.

Vergleiche der gemessenen und der modellierten Stickstoffdynamik (s. rechte Seite der Abb. 13 und Abb. 14) zeigen gute Übereinstimmungen. Wie die statistische Analyse (Tab. 6) belegt, wird sowohl die über das gesamte Profil integrierte Menge des mineralischen Stickstoffs, als auch der schichtspezifische Stickstoffgehalt gut abgebildet. Auffällig ist die geringe Dynamik in der tiefsten Bodenschicht. Vermutlich kam es durch die am pflanzenphysiologischen Bedarf orientierte Düngung und die Niederschlagsverteilung trotz des durchlässigen Sandbodens zu keiner nennenswerten N-Verlagerung bzw. Auswaschung. Tabelle 7 zeigt die Jahresbilanz der Stickstoffs und der Komponenten der Stickstoffbilanz. Sowohl die Umsatzraten als auch der zeitliche Gang der Stickstoffdynamik während der Vegetationsperiode ergeben gute Resultate und zeigen eine im Vergleich zu mit anderen Modellen vergleichbare Qualität. Insbesondere die Parametrisierung der Bodeneigenschaften und die Initialisierung ist für das Erreichen guter Modellresultate von großer Bedeutung.

Tab. 7: Stickstoffjahresbilanz in kg N/ha

		$N_{\min}$ Initialwert	$N_{\min}$ Endwert	$N_m$	$N_f$	$N_u$	$N_l$	$N_d$	$\Delta N_s$
Sommergerste	1991	17	25	63	13 0	16 8	10	6	9
Winterweizen	2005	60	93	158	18 0	23 8	66	1	33

$N_m$  = Mineralisation,  $N_f$  = Düngung,  $N_u$  = Pflanzenaufnahme,  $N_l$  = Austrag,  $N_d$  = Denitrifikation,  $\Delta N_s$  = Speicheränderung

#### 2.4.2.2 Untersuchungen zur Regionalisierung von Stickstoffumsätzen und -flüssen

Zur Untersuchung des Skalierungsverhaltens der Stickstoffmodellierung wurde ein Verfahren entwickelt, das zu dem in DANUBIA eingesetzten und vom Teilprojekt „Hydrologie/Fernerkundung“ entwickelten Konzept der Geokomplexe kompatibel ist (Abb. 15). Dieses Konzept ist dadurch gekennzeichnet, dass jede 1 km-Rasterzelle aus verschiedenen Anteilen homogener Klassen zusammengesetzt ist. Für diese homogenen Klassen lassen sich die Wasser- und Stickstoffflüsse mikroskalig berechnen und anhand der bekannten Flächenanteile auf dem km<sup>2</sup> aggregieren. Dabei können durch die Bündelung heterogener Informationen der Landschaft auf der Mikroskala bei höchstmöglicher Reduktion der Geokomplexe adäquate Resultate rechenzeiteffektiv auf der Mesoskala erreicht werden. Durch die direkte Abhängigkeit der Stickstoffdynamik von den hydrologischen Verhältnissen und dem Pflanzenwachstum erschien es sinnvoll, das Prinzip der Geokomplexe hinsichtlich der N-Dynamik zu erweitern. Dabei wird nun auch für die Landnutzungsklasse Ackerland pro auf der Rasterzelle vorkommender Ackerfrucht ein Geokomplex berechnet. Jeder Nutzpflanze wird die modale Bodenart, auf der diese Fruchtart wächst, zugeordnet.

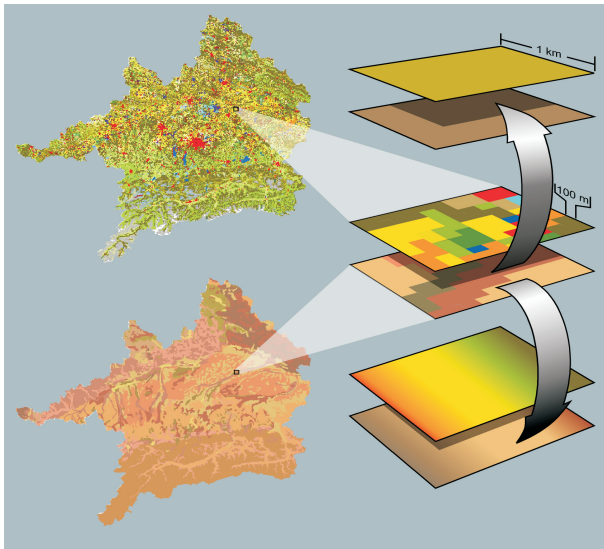


Abb. 15: Übersicht der Modellierungsansätze (oben Majoritätsprinzip, Mitte Mikroskala, unten Geokomplexe)

Erste Tests des Vergleichs der Modellergebnisse mit Verwendung des Majoritätsprinzips, mikroskaliger Modellierung und der Modellierung mit Geokomplexen für den Kreis Neustadt im Oberen Donaeinzugsgebiet zeigen vielversprechende Ergebnisse.

Das Konzept dieses Vergleichs ist in Abbildung 16 gezeigt. Weitere Untersuchungen für zusätzliche Landkreise und Einzugsgebiete müssen durchgeführt werden, um die generelle Tauglichkeit zu beweisen.

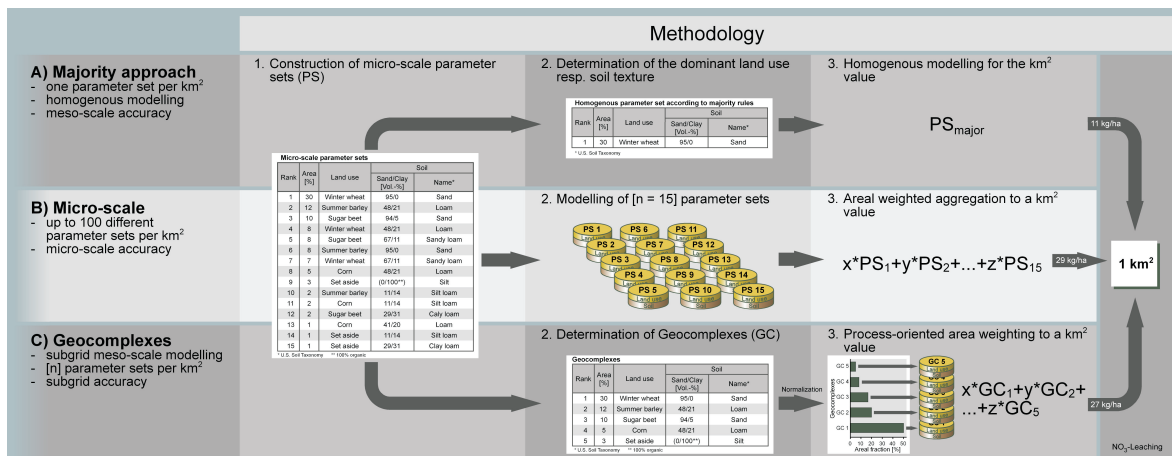


Abb. 16: Konzept zum Vergleich der Modellergebnisse für unterschiedliche Regionalisierungsansätze

### 2.4.3 Ergebnisse aus dem Modellverbund *AGRICULTURAL-SOIL-SURFACE*

Aufgrund des erreichten derzeitigen Entwicklungsstandes ist es nun möglich, Ergebnisse des Modellverbunds „Agrarökologie“ integrativ auszuwerten. Im Folgenden wird anhand der eigenen Feldmessungen (Mais) aus dem Jahre 2005 exemplarisch die Funktionalität sowie die Qualität des Modellverbundes dargestellt.

Die ungünstigen meteorologischen Bedingungen (ungewöhnlich niedrige Temperaturen im Mai und Anfang Juni) führten zu einer geringen LAI-Entwicklung (s. Abb. 17), welche das Modell sehr gut abbildet. Die gesamte oberirdische Biomasse sowie der Kornenertrag werden sehr gut abgebildet.

Die modellierte Transpiration sowie die schichtspezifische Wasseraufnahme (s. Abb. 18) sind im erwarteten Größenbereich. Aufgrund der geringen Blattfläche ist die Transpirationssumme mit 200mm recht gering.

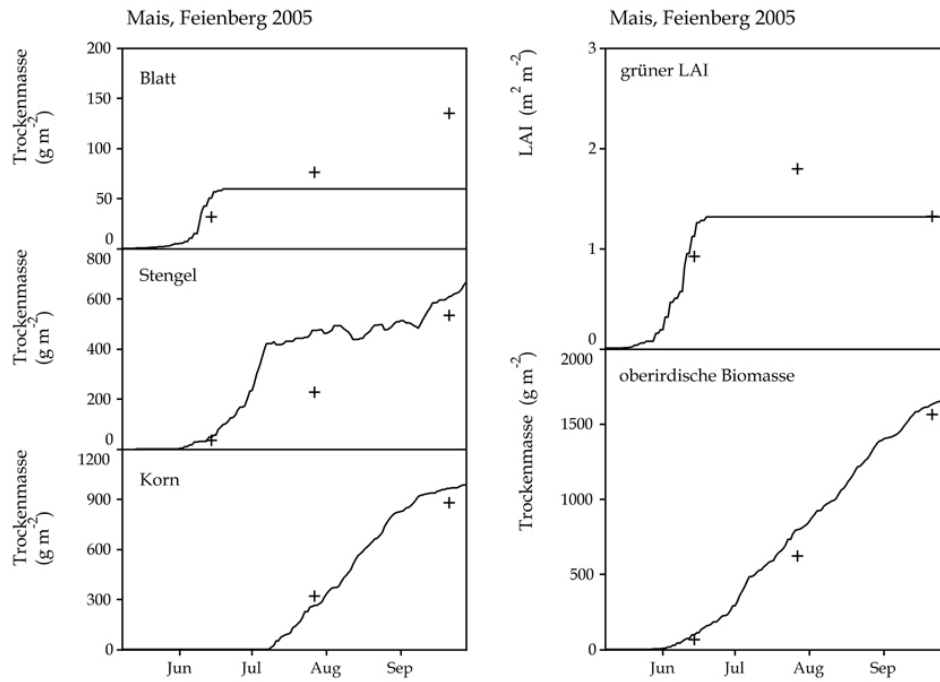


Abb. 17: Modellierte (Linien) und gemessene (Punkte) LAI- und Biomasseentwicklung (Mais, Feienberg 2005)

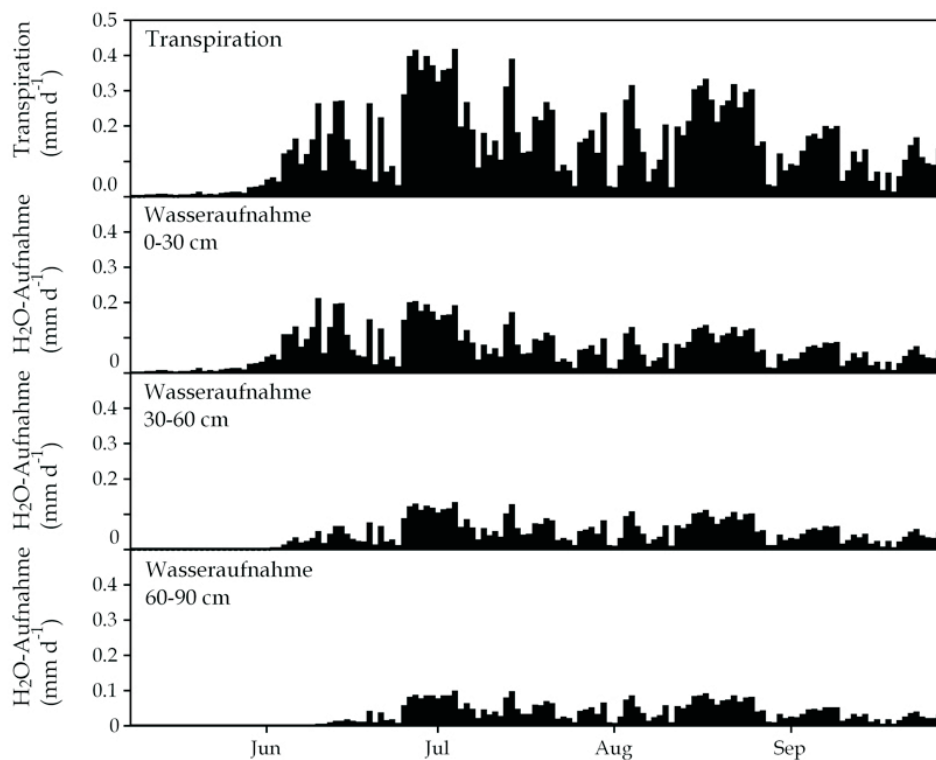


Abb. 18: Modellierte Transpiration und Bodenwasserentnahme (Mais, Feienberg 2005)

Die Wurzellängendichte der Pflanzen bestimmt sowohl die Aufnahme von Wasser als auch von Stickstoff. Letztere wird nach Nitrat- und Ammonium differenziert und in Abhängigkeit von Wasser- und Stickstoffverfügbarkeit berechnet. Deutlich sichtbar ist die mit der Tiefe abnehmende Ammoniumabsorption (s. Abb. 19). Grund dafür ist der sinkende Gehalt organischer Substanz und die damit einhergehende Abnahme der Ammoniumverfügbarkeit.

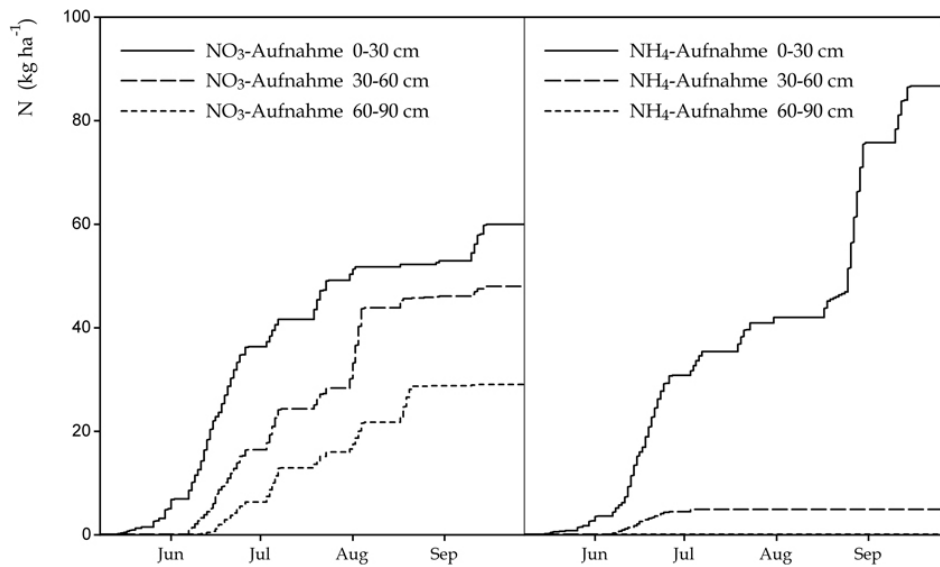


Abb. 19: Modellierte Nitrat- und Ammonium-Aufnahme (Mais, Feienberg 2005)

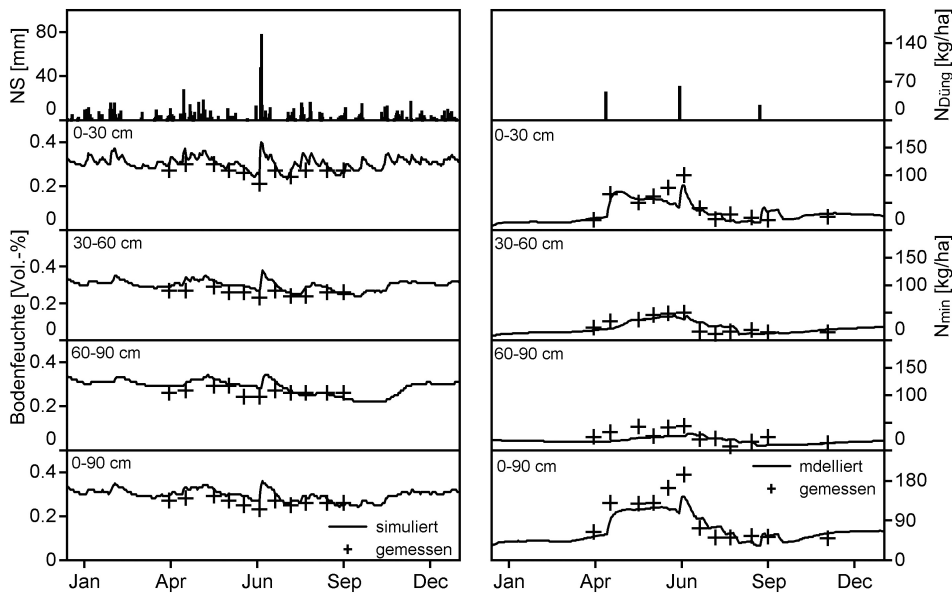


Abb. 20: Modellierte und gemessene Bodenwasser- und Stickstoffdynamik unter einem Maisbestand auf Parabraunerde auf Löss (Mais, Feienberg 2005). Als Säulen abgebildet sind der Niederschlag (links) und die Düngemenge (rechts)

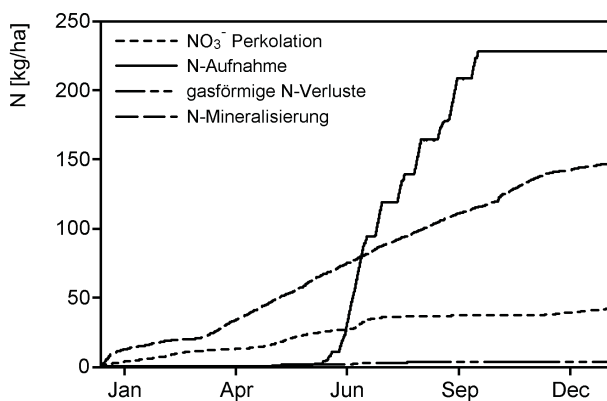


Abb. 21: Kumulierte jährliche Werte für Nitratauswaschung, N-Aufnahme der Pflanzen, Denitrifikation und N-Mineralisierung (Mais, Feienberg 2005)

Neben der Stickstoffaufnahme durch die Pflanzen wird die Stickstoffdynamik insbesondere von den Verlagerungs- und Umsatzprozessen im Boden gesteuert. Die in Abbildung 21 dargestellten kumulierten Werte für Mineralisierung, Nitratauswaschung, Denitrifikation und Stickstoffaufnahme entsprechen den unter den gegebenen meteorologischen und naturräumlich zu erwartenden Werten.

### 3. Integrative Arbeiten

#### 3.1 Überarbeitung des *Biological* - Modells

Aufgrund der Unterschiede bei der Modellierung naturnaher Ökosysteme und landwirtschaftlicher Nutzungen wurde 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. 22).

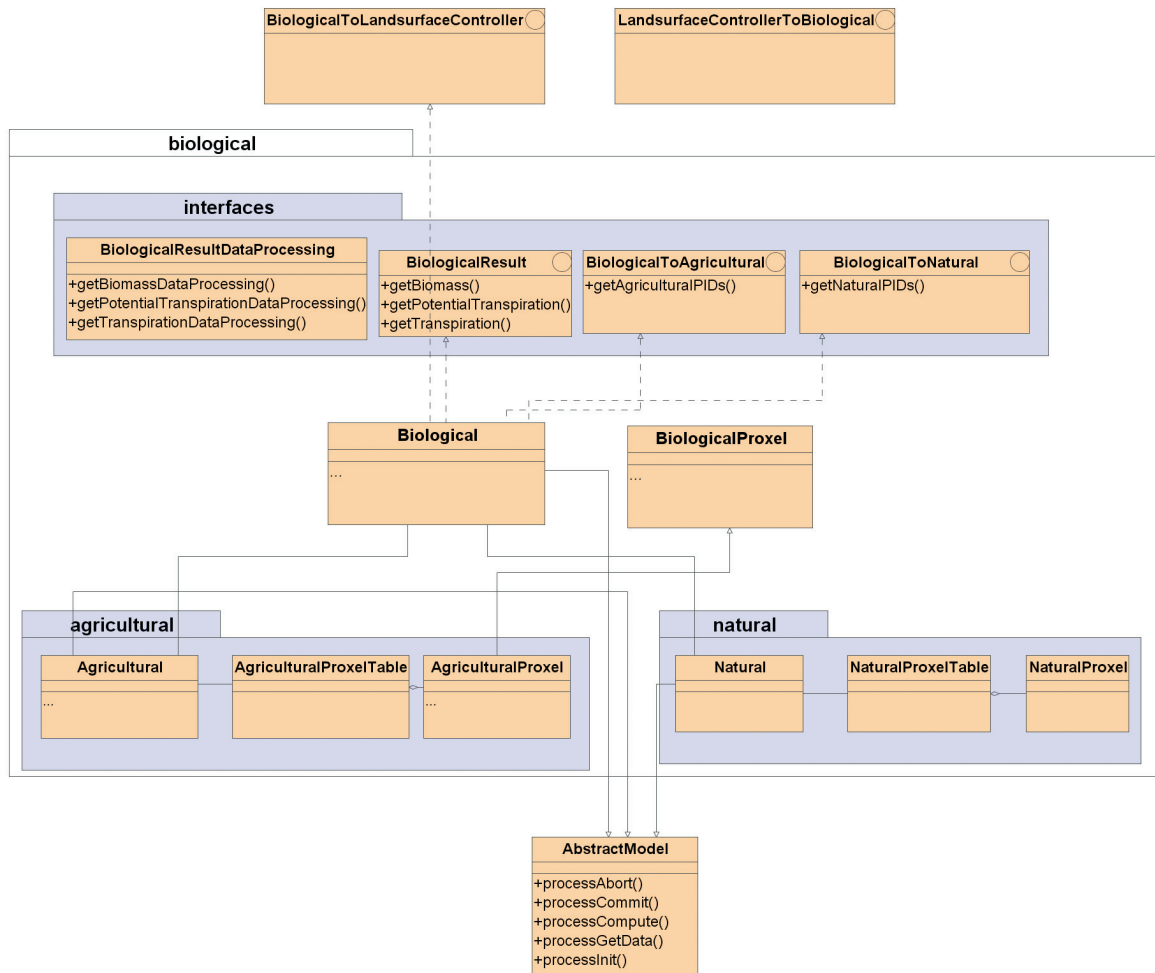


Abb. 22: Klassendiagramm: Aufteilung des *Biological*-Modells in die Submodelle *Natural Ecosystems* und *Agricultural Ecosystems*

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*.

Im Folgenden wird das Submodell *Agricultural Ecosystems* kurz charakterisiert. In der Klasse *Plant* sind die Methoden zur 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*, *SpringBarley*, *Maize*, etc.) abzubilden (s. Abb. 23).



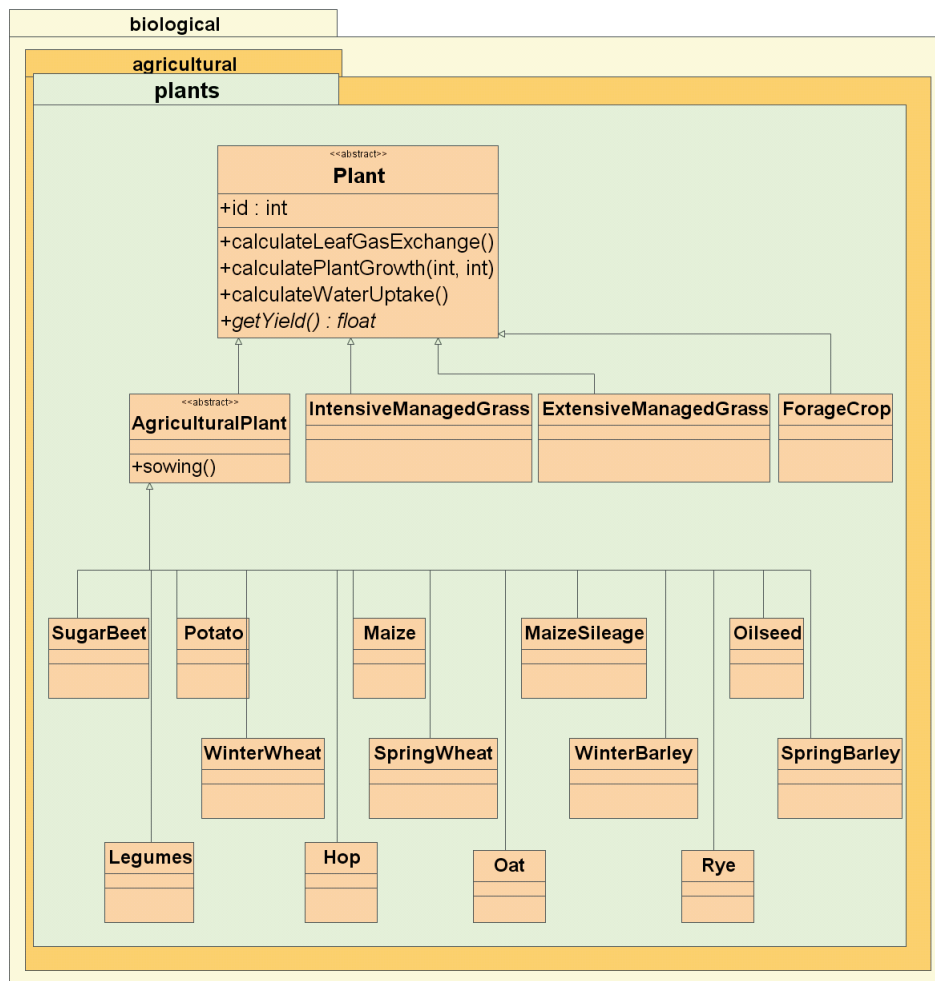


Abb. 23: UML-Diagramm: Klasse *Plant*

Diese abgeleiteten Klassen beinhalten sämtliche pflanzenartsspezifischen Parameter sowie Zuordnungen zu bestimmten inhaltlichen Untergruppen (z.B. *ShortDayCrop*), deren Eigenschaften sie erben. Alle vegetationsbezogenen Vorgänge auf dem Proxel werden in der zugeordneten Pflanzenklasse berechnet oder in themenorientierte Unterpakete delegiert. Diese Struktur bietet den Vorteil der einfachen und sehr übersichtlichen Erweiterbarkeit um neue Nutzpflanzen.

Beispielhaft für die technische Umsetzung der Prozessabbildung wird auf die Phänologie-Modellierung eingegangen (s. Abb. 24). 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 pflanzenartsspezifischer 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.

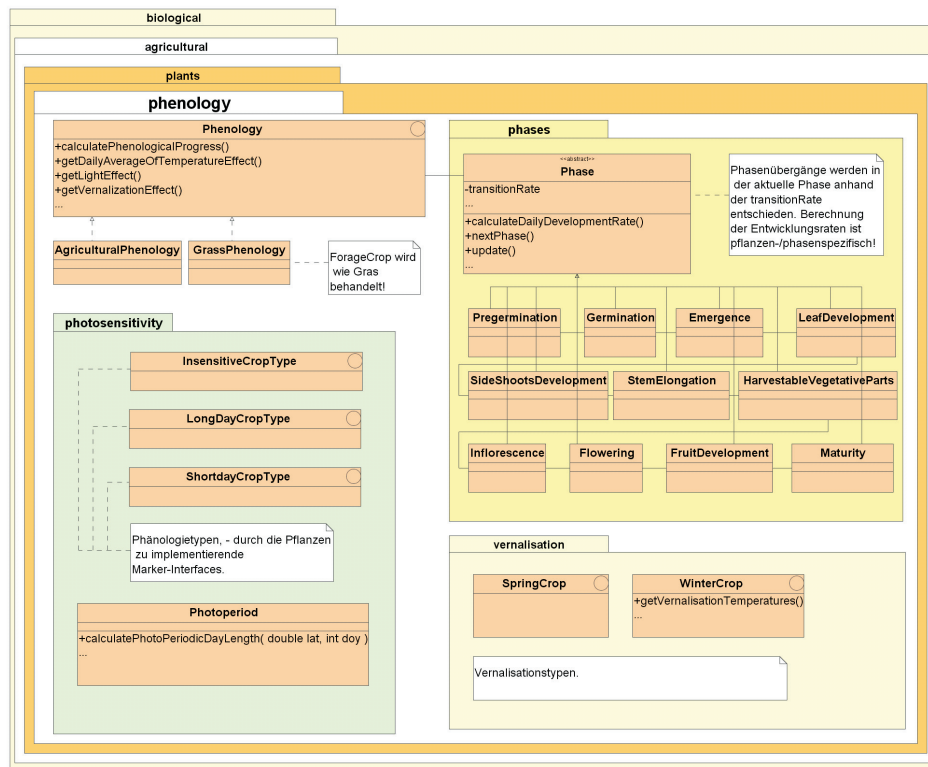


Abb. 24: UML-Diagramm: Struktur des Phänologiemoells in *Agricultural Eco-systems*

### 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. Die bestehende Struktur von *Soil* wurde dabei nicht geändert, sondern ein Paket, *SoilNTransformation* mit allen für die N-Umsatzmodellierung notwendigen Klassen wurde 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 (s. Abb. 25) lässt sich das Konzept zur Erweiterung der Funktionalität von *Soil* erläutern. Es zeigt das *SoilNTransformation*-Paket mit seinen Unterpaket *Processes*, *Pools* und *Debugger*. Die beiden erstgenannten kapseln einerseits die einzelnen Prozesse und andererseits die unterschiedlichen Stoffreservoir 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.

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.

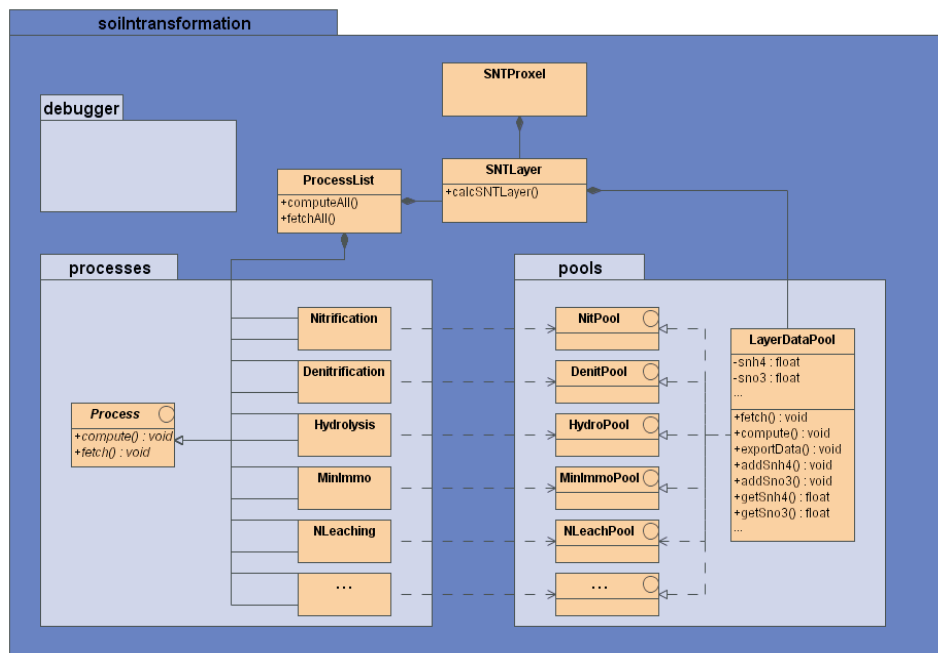


Abb. 25: UML-Diagramm: Architektur von *SoilNTransformation*

### 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- 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.

#### *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  $\text{kg/m}^2$  (aus der Agrarstatistik abgeleitet) angegeben werden und müssen dementsprechend unter der Annahme der guten fachlichen Praxis in konkrete Düngungsarten übertragen werden.

### 3.4 Kopplung von Agrarökologie und -ökonomie

Der Modellverbund „Agrarökologie“ der Komponenten *Agricultural Ecosystems*, *Soil* und *Surface* bildet Wasser-, Kohlenstoff- und Stickstoffflüsse in Agrarökosystemen ab. Um die Auswirkungen des Globalen Wandels regional untersuchen zu können, benötigt der Modellverbund flächendifferenzierte Bewirtschaftungsangaben, die innerhalb der Komponente *Farming* dynamisch modelliert werden. Sich ändernde Stoffflüsse sowie die damit einhergehende Ertragsentwicklung lassen sich dann mittels langfristiger Klimaszenarien quantifizieren. Um die Wechselwirkungen zwischen den Modellen ohne die Komplexität DANUBIAS zu validieren, werden auf ausgewählten Flächen Testläufe durchgeführt. Die Auswahl der Testgebiete richtet sich nach den Erfordernissen der am Modellverbund beteiligten Komponenten. Da *Farming* in seinen Berechnungen einzelne Landkreise betrachtet, dienen diese als kleinste gemeinsame räumliche Einheit. Aus Sicht der Agrarökologie ergibt sich durch die Größenordnung von Landkreisen (z.B. Günzburg ~ 2400km<sup>2</sup>) eine ausreichende Heterogenität hinsichtlich der naturräumlichen Ausstattung und Landnutzungsverteilung. Ein weiterer Vorteil resultiert aus der Möglichkeit, Ergebnisse auch flächenhaft zu validieren. Hierzu werden proxelspezifische Ergebnisse auf Landkreisebene aggregiert und mit Daten der offiziellen Agrarstatistik (Ertrags- und Düngestatistik) verglichen. In Kombination mit der Implementierung der Geokomplexe eröffnet die integrative Modellierung des Modellverbunds „Agrarökologie“ mit der *Farming*-Komponente ein großes Potential interdisziplinärer Forschung.

## 4. Zusammenfassung und Ausblick

Im Berichtszeitraum wurde die notwendige Neustrukturierung der Komponenten *Biological* und *Soil* erfolgreich abgeschlossen. Das Pflanzenwachstum wurde durch die Weiter- und Neuentwicklung, Modellparametrisierung und Implementierung neuer Teilmodelle (z.B. Phänologie) verbessert und validiert (Winterweizen, Sommergerste, Mais, Zuckerrüben und Wiesen). Für die flächenhafte Validierung auf der Mesoskala sollen landwirtschaftliche Ertragsstatistiken von Baden-Württemberg und Bayern auf Bundesland- und Landkreisebene eingesetzt werden. Insbesondere der Vergleich von Modellergebnissen mit Ertragsdaten einzelner Landkreise, welche die naturräumlichen Heterogenitäten im Oberen Donaueinzugsgebiet repräsentieren, wird eine solide Basis für die Quantifizierung von Modellunsicherheiten bilden.

Die Stickstoffumsätze werden durch das neu implementierte Umsatzmodell berechnet. Erste Vergleiche der Modellergebnisse mit Stickstoffmessungen auf der Feldskala zeigen gute Übereinstimmungen mit Messungen. Für die gekoppelte Validierung der Pflanzenwachstums- und Stickstoffumsatzmodellierung wurde eine umfangreiche Datenbank aufgebaut, die sowohl eigene als auch externe Messungen beinhaltet.

In Szenarielläufen 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, Düngemenge) 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 alle im Projektantrag formulierten Ziele erreicht werden. Im letzten Jahr der 2. Projektphase wurden wie geplant die folgenden Arbeiten durchgeführt:

- Abschluss der Modellerweiterungen für Pflanzenwachstum und Stickstoffumsatz,
- Validierung aller Modellteile,
- Ausbau der Schnittstellen zu den Projektpartnern,
- Durchführung von Sensitivitätsanalysen und
- Untersuchungen zum Skalenverhalten 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. *Agrar-informatik* 24, S. 97-108.
- AUTH, S., FORSTNER, S., RINTELEN, P.M., HALAMA, M. und AUERSWALD, K. (2005): Nährstoffbelastungen der Gewässer durch die Landwirtschaft. (02.08.2007) <[http://www.lfl.bayern.de/ilb/agrarstru\\_Hlt173817587\\_Hlt173817588\\_Hlt173817592\\_Hlt173817593kBM\\_4\\_BM\\_5\\_BM\\_6\\_BM\\_7\\_turentwicklung/10645/](http://www.lfl.bayern.de/ilb/agrarstru_Hlt173817587_Hlt173817588_Hlt173817592_Hlt173817593kBM_4_BM_5_BM_6_BM_7_turentwicklung/10645/)>.
- BACH, M. und FREDE, H.-G. (1996): Vergleich zwischen empirisch und statistisch ermittelten Stickstoffbilanzen auf Gemeindeebene. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Landesentwicklung* 37, S. 269-274.
- BACH, M. und FREDE, H.-G. (1998): Agricultural nitrogen, phosphorus and potassium balances in Germany - Methodology and trends 1970 to 1995. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 161, S. 385-393.
- BAUMGÄRTEL, G. und SCHARPF, H.-C. (2002): Gute fachliche Praxis der Stickstoffdüngung, aid infodienst Verbraucherschutz, Ernährung, Landwirtschaft e.V., 9. Auflage, Bonn, 76 S.
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN - BStMLF (Hrsg.) (2004): Bayerischer Agrarbericht 2004, München.
- FOKEN, T. und WICHURA, B. (1996): Tools for quality assessment of surface-based flux measurements. *Agricultural and Forest Meteorology* 78, S. 83-105.
- FORRESTER, J.W. (1961): *Industrial Dynamics*. MIT Press, Waltham, Massachusetts, 464 S.
- 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.
- HANSEN, S., JENSEN, H.E. und SVENDSEN, H. (1995): Simulation of crop production, water and nitrogen balances in two German agro-ecosystems using the DAISY model. *Ecological Modelling* 81, S. 197-212.
- HODGES, T. und RITCHIE, J.T. (1991): The CERES-Wheat phenology model. In: *Predicting crop phenology* (Hrsg. HODGES, T.), CRC Press, Boston, S. 133-141.
- 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. *Agrar-informatik* 24, S. 139-150.



- HSIEH et al. (2000): An approximate analytical model for footprint estimation of scalar fluxes in thermally stratified atmospheric flows. *Advances in Water Resources* 23, S. 765-772.
- JONES, P.K. und KINIRY, J.R. (Hrsg) (1986): CERES-Maize. Simulation model of maize growth and development. Texas A&M University Press, Texas, 194 S.
- KAIMAL, J.C. und FINNIGAN, J.J. (1994): Atmospheric boundary layer flows: Their structure and measurement. Oxford University Press, New York, NY, 289 S.
- KENTER, C. (2003): Ertragsbildung von Zuckerrüben in Abhängigkeit von der Witterung, Dissertation am Institut für Zuckerrübenforschung, Cuvillier Verlag, Göttingen, 98 S.
- KERSEBAUM, K.C. (1995): Application of a simple management model to simulate water and nitrogen dynamics. *Ecological Modelling* 81, S. 145-156.
- MAUDER, M. und FOKEN, T. (2004): Documentation and instruction manual of the eddy covariance software package TK2. Universität Bayreuth, Abteilung Mikrometeorologie, Arbeitsergebnisse, S. 26-44.
- 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, C.J. (1986): Frequency response corrections for eddy correlation systems. *Boundary-Layer Meteorology* 37, 17-35.
- 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.
- 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, S. 139-150.
- RITCHIE, J.T. und GODWIN, D. (2000): CERES Wheat 2.0. Documentation. (02.10.2006) <[http://nowlin.css.msu.edu/wheat\\_book/](http://nowlin.css.msu.edu/wheat_book/)>.
- 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. *Agricultural and Forest Meteorology* 115, S. 139-150.
- WEBB, E.K., PEARMAN, G.I. und LEUNING, R. (1980): Correction of the flux measurements for density effects due to heat and water vapour transfer. *Quarterly Journal of The Royal Meteorological Society* 106, S. 85-100.
- WILLMOTT, C.J. (1981): On the validation of models. *Physical Geography* 2, S. 184-194.
- YIN, X. und VAN LAAR, H.H. (2005): Crop Systems Dynamics. An ecophysiological simulation model for genotype-by-environment interactions. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 155 S.



# Weiterentwicklung des Regionalmodells RIWU zu einem „tiefen“ Akteursmodell

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

## 1. Überblick

Das Teilprojekt Umweltökonomie hat bis zum Abschluss der zweiten Projektphase drei Modelle entwickelt: Erstens das Modell des Tiefen Industrieakteurs zur Berechnung des industriellen Wasserverbrauchs, in welches das flache regionalökonomische Modell RIWU der ersten Projektphase zur Berechnung von wirtschaftlicher Entwicklung eingebunden wurde. Zweitens das Tiefe Modell des demographischen Haushaltsakteurs zur Simulation der regionalen Bevölkerungsentwicklung und deren Untergliederung in 100 Klassen mit den Charakteristika Haushaltsgröße, Kinderzahl und Sinus-Milieu. Und zu guter letzt ein flaches Modell zur Berechnung von Trinkwasserpreisen für Haushalte.

Inhaltlich stand in der zweiten Projektphase die Entwicklung des Tiefen Akteurs Industrieunternehmen und des Tiefen Demographie Akteurs sowie die Vorbereitung auf die Szenarienfähigkeit der Modelle im Vordergrund. Entgegen der ursprünglichen Planung wurde innerhalb des Projektteams beschlossen, hierbei nicht auf das bisher entwickelte, flache Regionalmodell RIWU als 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 dabei als Datengrundlage für eine erste Kalibrierung des neuen Modells. Anschließend wurde das RIWU-Modell auf Basis der vorhandenen theoretischen Grundlagen vollständig neu erstellt und in den Tiefen Modellrahmen integriert.

Das Demographiemodell wurde grundlegend auf eine Tiefe Akteursbasis umgestellt. Dabei war seine Novellierung hin zu einer besseren Szenarienfähigkeit Schwerpunkt der Arbeiten. Die hierzu geleisteten Arbeiten sind ebenfalls Gegenstand dieses Berichts. Aufgrund mangelnder Verfügbarkeit kleinräumiger Bevölkerungsstatistiken auf Quadratkilometer-Basis dienen bisher die Simulationen der beiden Variablen Bevölkerung und Haushaltseinkommen aus dem alten RIWU-Modell als Datengrundlage für die Aufteilung auf die einzelnen Proxel des aktuellen Modells *Demography*.

Das Trinkwasserpreismodell blieb in seinen Grundzügen unverändert. Es wurde jedoch auf einer um Österreichische Versorgungsunternehmen erweiterten Datenbasis erneut geschätzt. Die Ergebnisse dieser Schätzung und das Trinkwasserpreismodell wurden in der zweiten Projektphase in das tiefe Akteursmodell des Teilprojekts *DeepWaterSupply* integriert und so die Recheneffizienz erheblich gesteigert. Das bisherige Trinkwasserpreismodell kann lediglich einen Teil der Varianz der Preise erklären. Deshalb wird noch ein grundlegender Ausblick für einen zukünftigen Forschungsansatz skizziert, um dieses Modell um eine räumliche Komponente zu erweitern.

## 2. Organisatorisches

### 2.1 Personalien

Die Personalbesetzung hat sich seit dem letzten Bericht geändert. Herr Dr. Egerer hat zum StMWIVT gewechselt, daraufhin hat Herr Prof. Egger die Projektleitung übernommen. Verstärkung hat das Projektteam durch Herrn Dr. Mario Larch und Herrn Christoph Jeßberger erhalten. Die volle Wissenschaftlerstelle teilt sich auf folgende Wissenschaftler auf:

- Dr. Matthias Egerer: Projektleitung und -bearbeitung, Bereich Umwelt, Regionen, Verkehr (bis 31. Mai 2006)
- Prof. Dr. Peter Egger: Projektleitung und -bearbeitung, Bereich Umwelt, Regionen, Verkehr (seit 1. Juni 2006)
- Dr. Mario Larch: Projektbearbeitung, Bereich Umwelt, Regionen, Verkehr
- Dipl. Volkswirt Markus Zimmer: Projektbearbeitung (Doktorandenstelle), Bereich Umwelt, Regionen, Verkehr
- Dipl. Volkswirt Christoph Jeßberger: Projektbearbeitung (Doktorandenstelle), Bereich Umwelt, Regionen, Verkehr (seit 01. Juni 2007)

### 2.2 Veranstaltungen

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

- 26.04.2005 *Deep-Actors*-Treffen in Stuttgart  
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.
- 18.05.-19.05.2005 GLOWA-Statuskonferenz in Köln  
Alle Mitglieder des Teilprojekts Umweltökonomie nahmen an der Statuskonferenz in Köln teil und präsentierten unter anderem ein Poster über den aktuellen Stand der Projektentwicklung. Ferner zeigte die Forschungsgruppe eigene Beiträge im GLOWA-Atlas.
- 11.07.2005 Projektmeeting in München  
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.
- 18.10.2005 Expertenrunde im Rahmen des GLOWA-Danube *Stakeholder*-Prozesses in München  
Die Forschungsgruppe Umweltökonomie war im Rahmen des *Stakeholder*-Prozesses auf der Expertenrunde „Veränderungen von Wasserverbrauch und Wasserversorgung im Donaeinzugsgebiet unter Global Change-Bedingungen“ durch Dr. Matthias Egerer vertreten. Dort wurde den teilnehmenden *Stakeholdern* die Vorgehensweise und die Ziele des Teilprojekts vorgestellt.

- 30.11.-03.12.2005 GLOWA-Danube Klausurtagung in Linden  
 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.
- 09.11.2006 *Actors* Treffen in Stuttgart  
 Von dem Teilprojekt Umweltökonomie nahmen an der Tagung Dr. Mario Larch und Markus Zimmer teil. Das Treffen diente dazu, den eigenen Projektstand vorzustellen und Anforderungen der Projektgruppen untereinander zu spezifizieren und deren Weiterentwicklungen der Tiefen Akteure zu koordinieren, um die nächsten DANUBIA Läufe durchführen zu können.
- 18.01.2007 GLOWA-Workshop: "Szenarien der industriellen Entwicklung und Wassernutzung im Donaeinzugsgebiet", Ifo Institut für Wirtschaftsforschung, München  
 Von der Forschungsgruppe Umweltökonomie nahmen an der Tagung Dr. Mario Larch und Markus Zimmer teil. Die Teilnehmer stellten den aktuellen Arbeitsstand des Teilprojektes Umweltökonomie zur industriellen Wassernutzung vor. Anschließend stellten die geladenen institutionellen sowie privatwirtschaftlichen *Stakeholder* und Vertreter des GLOWA-Elbe Projekts ihrerseits Forschungsergebnisse und relevante Fragestellungen zur industriellen Wassernutzung vor und es fand eine rege Diskussion zur Verbesserung der Nutzbarkeit des GLOWA-Danubue Environmental Decision Support System DANUBIA durch die *Stakeholder* statt. Eine bereits umgesetzte Anregung ist beispielsweise der Szenarioeditor, welcher später noch vorgestellt wird.
- 25.01.2007 GLOWA-Workshop: "Szenarien der regionalen demographischen Entwicklung im Donaeinzugsgebiet", Ifo Institut für Wirtschaftsforschung, München  
 Von der Forschungsgruppe Umweltökonomie nahmen an der Tagung Prof. Dr. Peter Egger, Dr. Mario Larch und Markus Zimmer teil. Die Teilnehmer stellten den aktuellen Arbeitsstand des Teilprojektes Umweltökonomie zur Modellierung der demographischen Entwicklung vor. Anschließend stellten die geladenen institutionellen sowie privatwirtschaftlichen *Stakeholder* und Vertreter des GLOWA-Elbe Projekts ihrerseits Forschungsergebnisse und relevante Fragestellungen zur regionalen demographischen Entwicklung vor und es fand eine rege Diskussion zur Verbesserung der Nutzbarkeit des GLOWA-Danubue Environmental Decision Support System DANUBIA durch die *Stakeholder* statt. Diese Veranstaltung hat zur grundlegenden Anpassung des Demographiemodells und der Ausgestaltung in seiner jetzigen Form geführt.

### Weitere Veranstaltungen

Um das Gesamtprojekt bzw. das Teilprojekt Umweltökonomie darüber hinaus näher an die wissenschaftliche Öffentlichkeit zu bringen, wurden Vorträge auf diversen referierten, internationalen Konferenzen gehalten 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:



- 06.-08.06.2005 11th International Sustainable Development Research Conference, Helsinki,
- 15.-17.06.2005 7th Nordic Environmental Social Science Research Conference, Göteborg,
- 14.-17.06.2005 ESEE 2005 - the 6th International Conference of the European Society of Ecological Economics<sup>5</sup>, Lissabon,
- 21.-27.08.2005 World Water Week, Stockholm,
- 06.-09.02.2006 Industrial Water 2006 - European Conference on Efficient Use of Water Resources in Industry, Frankfurt am Main,
- 06.-08.04.2006 12th International Sustainable Development Research Conference, Hong Kong,
- 03.-07.07.2006 Global Change Effects on Industrial Water Use in the Catchment Area of the Upper Danube 3rd World Congress of Environmental and Resource Economists, Society of Environmental Economics and Policy Studies, Association of Environmental and Resource Economists, European Association of Environmental and Resource Economists, Kyoto, Japan,
- 11.-13.09.2006 Does Global Change Matter? - The Case of Industries in the Upper Danube Catchment Area, International Conference on Economics, Turkish Economic Society, Ankara, Turkey.

### 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 die Wertigkeit der Veröffentlichung im Rahmen der ifo Reihe Beiträge zur Wirtschaftsforschung zeigte sich insbesondere in der regen Resonanz in Presse und Privatwirtschaft. Bereits angenommen und veröffentlicht wurde der Artikel „Does Global Change Matter? The Case of Industries in the Upper Danube Catchment Area“ (WIT Transactions on Ecology and Environment, Vol 98, 2006, pp. 75-83. WIT Press) von Matthias Egerer und Markus Zimmer.

## 3. Modellentwicklungen

Im Verlauf der zweiten Projektphase stand die Neuentwicklung des Tiefen Akteursmodells Industrieunternehmen zur Modellierung industrieller Wassernachfrage und des Tiefen Akteursmodells *Demography* im Vordergrund. Das Tiefe Akteursmodell Industrieunternehmen wurde im letzten Projektjahr in eine neue Version überführt und gegenüber der ersten Version deutlich verbessert (s. Kap. 3.1). Die Szenarienfähigkeit ist mit der aktualisierten Version gewährleistet, so dass alle Voraussetzungen für die Dritte Projektphase erfüllt sind. Die Funktionsfähigkeit des Modells konnte bereits im letzten DANUBIA-Lauf der zweiten Projektphase gezeigt werden (s. Kap. 4). Das Hauptaugenmerk des letzten Projektjahres lag auf der Entwicklung des Tiefen Akteursmodells *Demography*. Das neue Modell, welches insbesondere die Aufgabe hat die Abbildung der Bevölkerungsentwicklung und ihre Szenariofähigkeit zu verbessern, wird in Kapitel 3.2 vorgestellt. Das Trinkwasserpreismodell blieb in seiner

Grundstruktur unverändert, wurde jedoch auf einer erweiterten Datenbasis neu geschätzt. Die Ergebnisse dieser Schätzungen sind ebenfalls Gegenstand dieses Kapitels. Die Modellierung der Trinkwasserpreisentwicklung gilt damit als abgeschlossen. In Kapitel 3.3 wird jedoch noch ein Ausblick auf einen grundlegenden Ansatz zur Erweiterung des Modells um eine räumliche Komponente vorgestellt.

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. Das RIWU Modell wurde ebenfalls vollständig erneuert um es in die Tiefen Modelle Industrieunternehmen und *Demography* integrieren zu können. Dabei generiert es die großräumigeren regionalen ökonomischen Zusammenhänge, welche nicht bereits durch die Tiefen Modelle abgebildet werden, sowie die Interdependenzen in der ökonomischen Entwicklung zwischen den Regionen auf Ebene der Kreise.

### **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 Mieten als Hauptkraft zur Streuung wirtschaftlicher Aktivitäten, da in deren Zentren die Nachfrage nach Mietflächen größer und diese dementsprechend relativ teurer sind (HANSON 1998; s. für Deutschland BRAKMAN et al. 2001). Auf Grund der Datenverfügbarkeit wirken im RIWU-Modell die Landpreise als Proxy für die Mietkosten 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)<sup>1)</sup> und die Arbeitsproduktivität der Industrie ( $\pi$ ). Weiterhin werden die Variablen Wasserverbrauch der Industrie (WAUF), Wertschöpfung der Industrie (WI) und Einwohner (B) durch die Einbindung in die Tiefen Akteursmodelle Industrieunternehmen und *Demography* nun durch diese und nicht mehr durch das Regionalmodell RIWU geschätzt. Durch drei regionale Dummy-Variablen werden einmalige Sondereinflüsse erfasst, die durch den Modellzusammenhang nicht erklärt werden können. RIWU besteht aus insgesamt sechs Modellgleichungen, mit denen die Variablen Wertschöpfung im Dienstleistungsbereich (WDL), Bruttoinlandsprodukt (BIP), Wertschöpfung Staat (WS), Baulandpreise (BLAP), Arbeitsproduktivität in der Industrie ( $\pi$ ) und Haushaltseinkommen (YH) auf der Ebene der Landkreise bestimmt werden. Die Modellgleichungen finden sich ebenfalls im Appendix 1. Die Gleichungen bilden zusammen ein interdependentes System, in dem der Bodenpreis den Rückkoppelungsmechanismus liefert, der zu einer stabilen regionalen Verteilung der wirtschaftlichen Aktivität führt.

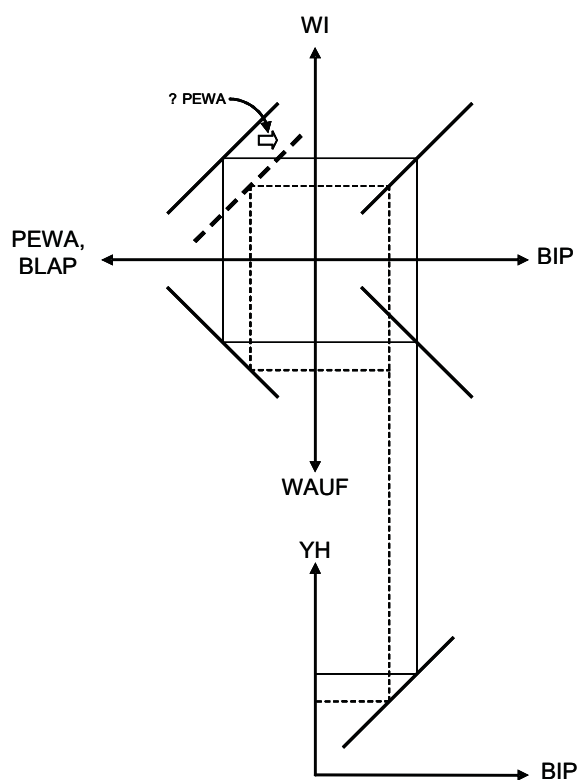


Abb. 1: Schematische Darstellung der Wirkungsweise des RIWU-Modells

Zentrale Größe für die Prognose der wirtschaftlichen Entwicklung eines Landkreises ist die Produktivitätsentwicklung ( $\pi$ ). Es ist davon auszugehen, dass diese, bedingt durch den Wettbewerb auf den Märkten, auch in Zukunft kontinuierlich weiter ansteigen wird. Da sich die regionalen Landkreisproduktivitäten in der Vergangenheit kaum verändert haben, wird angenommen, dass die gegebenen regionalen Produktivitätsunterschiede auch bei Modellprognosen erhalten bleiben.

Die Wirkungsweise des Modells ist in Abbildung 1 am Beispiel einer Erhöhung des Wasserpreises (PEWA) dargestellt und in Tabelle 1 abgebildet. 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 mehr oder weniger. 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

<sup>1)</sup> 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 anhand von theoretischen Überlegungen ermittelt werden. Geht man davon aus, dass Wasser einen Inputfaktor für die industrielle Produktion darstellt, und unterstellt in den Unternehmen Produktionserfahren, 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.

ermittelten Landnutzungsinformationen unverändert. Jedoch wird nun die industrielle Wasserentnahme nach Fremdbezug und Grund- und Oberflächenwasser aus Eigenförderung differenziert. Allen industriell besiedelten Proxeln, die gleichzeitig einen Fluss beinhalten oder in unmittelbarer Nachbarschaft zu einem „Flussproxel“ liegen, wird auch die Möglichkeit eingeräumt Flusswasser zu entnehmen, allen anderen Proxel können lediglich Wasser aus der Grundwasserentnahme oder dem Fremdbezug nutzen.

Tab. 1: Wirkungen einer Wasserpreiserhöhung in ausgewählten Landkreisen (Quelle: Berechnungen des ifo Instituts)

Gebiet	Wasserpreis	Industrieller Wasserverbrauch	Bodenpreis	BIP
	Veränderung in %			
Ingolstadt	0,0	0,05	0,07	0,07
<b>München</b>	<b>10,0</b>	<b>-7,68</b>	<b>-0,63</b>	<b>-0,49</b>
Rosenheim	0,0	0,11	-0,09	0,06
Altötting	0,0	0,01	0,01	0,01
Bad Tölz-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

### 3.1 Neuentwicklung des Tiefen Akteurs Industrieunternehmen

Ziel des Tiefen Akteurs Industrieunternehmen ist die möglichst realistische Simulation wasserspezifischer Entscheidungen jedes einzelnen, für den Wasserkreislauf bedeutenden Betriebes. Um die Rendite eines Unternehmens zu maximieren, muss das Management im Wesentlichen zwei grundlegende Probleme lösen: Wie viel produziere ich optimal und wie produziere ich diese Menge zu minimalen Kosten? Eine Antwort auf diese Problemstellung liefert in der ökonomischen Forschung der Kostenminimierungsansatz. Die allgemeine Konzeptionierung des Tiefen Akteurs zur expliziten Modellierung von Entscheidungen wird damit in unserem Teilprojekt als ökonomischer Optimierungsansatz interpretiert und umgesetzt. Dabei werden unternehmerische Entscheidungen über die eingesetzte Wassermenge und die verwendete Technologie zur Mehrfach- und Kreislaufnutzung des geförderten Wassers - dies

determiniert den so genannten Nutzungsfaktor<sup>2)</sup> - 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 Unternehmen unterschiedlicher Branchen und dem Studium der relevanten Produktionsprozesse vor Ort (s. hierzu Modellgrundlagen in Kap. 3.1.2).

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

### 3.1.1 Die Umsetzung des Akteurskonzepts im *DeepActorIndustry*-Modell

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

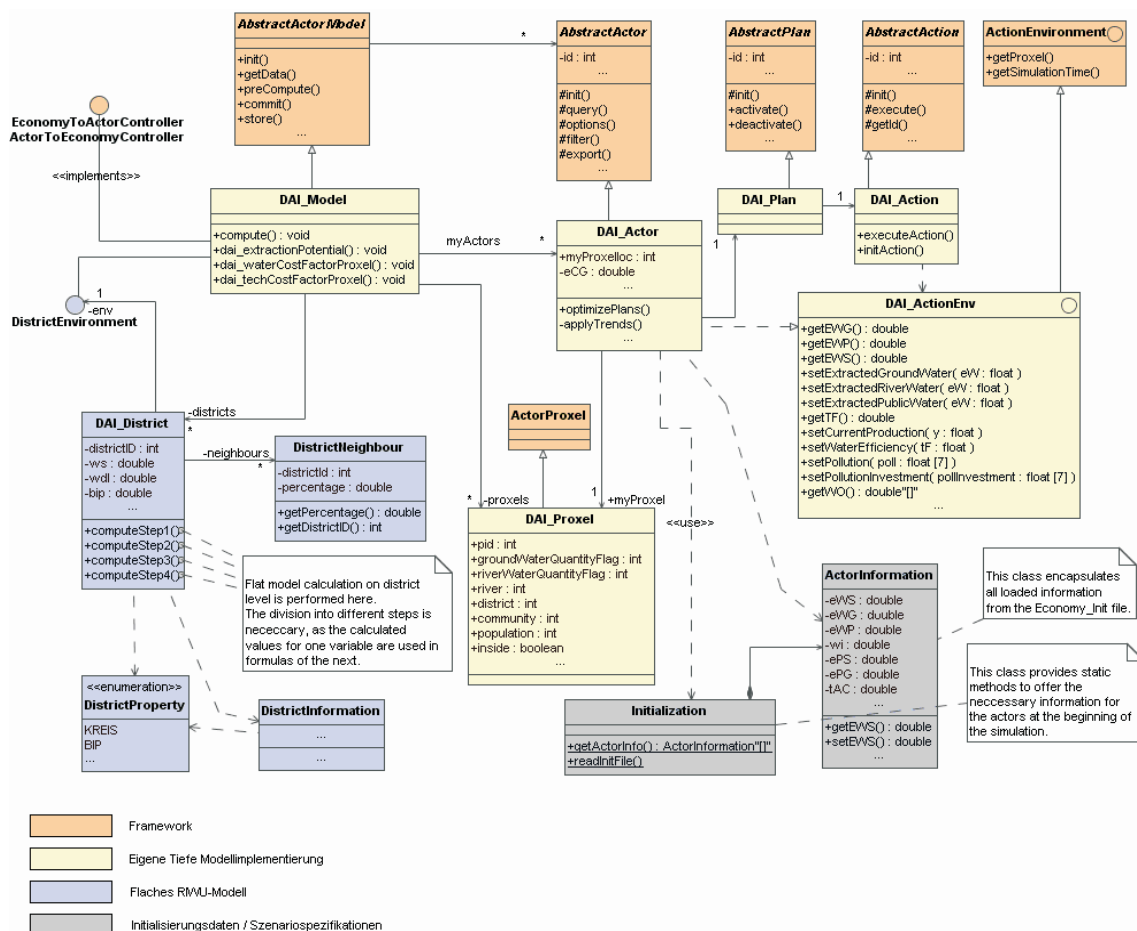


Abb. 2: Der Tiefe Akteur Industrieunternehmen im UML-Diagramm (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

<sup>2)</sup> Der Nutzungsfaktor ist definiert als Verhältnis des insgesamt genutzten WAWs zur Menge des geförderten Wassers.



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. Über die Schnittstelle *DAI\_ActionEnv* (Action Environment) kommuniziert die Aktion mit ihrem Akteur. Der Datenaustausch mit den anderen Modellen erfolgt über die Schnittstellen *EconomyToActorController* (Datenexport) und *ActorControllerToEconomy* (Datenimport). Insbesondere wurde nun das ursprüngliche RIWU-Modell als *DAI\_District*-Klasse in das Tiefe Akteursmodell integriert.

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

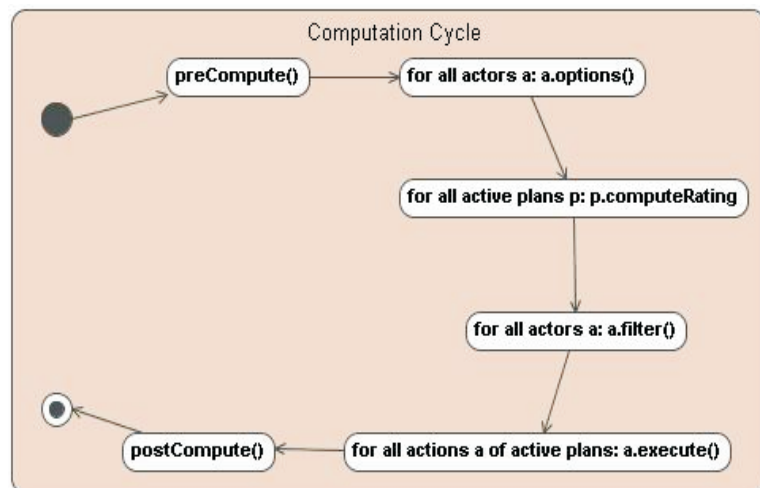


Abb. 3: Der computation cycle zur Auswahl der auszuführenden Pläne (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

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

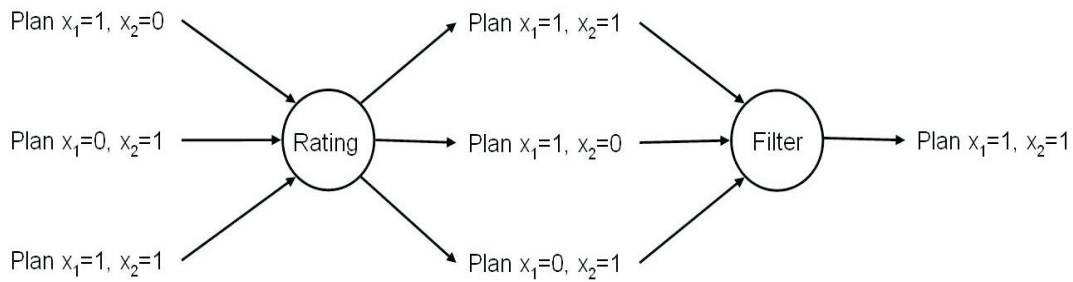


Abb. 4: Sequenzielle Ausführung der *rating*- und *filter*-Methoden (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Aus diesem Verfahren ergibt sich der Nachteil, dass lediglich Pläne realisiert werden können, welche bereits vorher festgelegt wurden. Damit scheiden zum einen unerwartete Handlungsalternativen aus, zum anderen ist es aufgrund der begrenzten Zahl von stetigen Alternativen unwahrscheinlich, das Optimum tatsächlich zu erreichen. Durch die im Tiefen Akteur Industrieunternehmen verwendete Methode der Optimierung wird versucht, diese Probleme zu überwinden. Die Kostenminimierung als stetiger Ansatz dient dabei gleichzeitig als *rating*- und *filter*-Element. Abbildung 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.

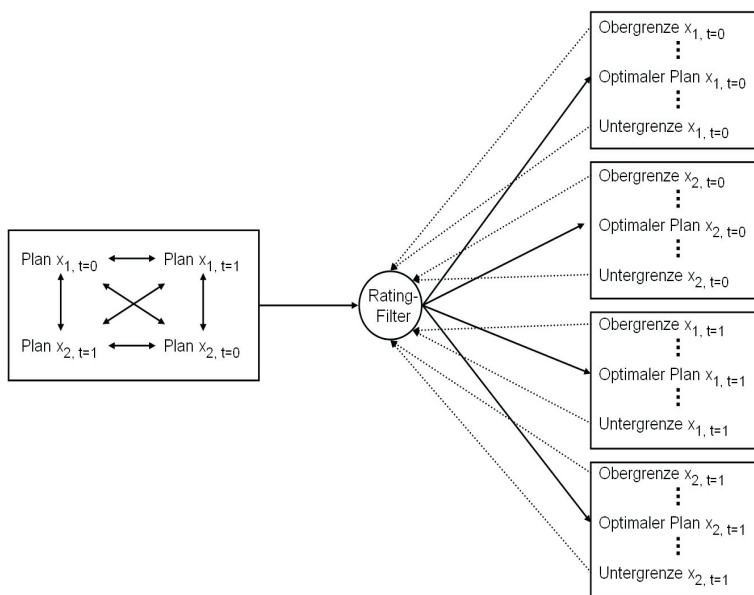


Abb. 5: Rating und Filter im *DeepActor-Industry*-Modell (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Bei der Wahl der optimalen Pläne müssen außerdem die Ober- und Untergrenzen der einzelnen Parameter berücksichtigt werden. Sie determinieren, in welchem Rahmen die einzelnen Pläne ausgeführt werden können. Dabei kann die Wahl der Ausprägung eines Planes sowohl dessen Grenzen in einer anderen Periode als auch die Grenzen eines anderen Planes beeinflussen. Investiert der besagte Betrieb beispielsweise in die Erhöhung des Wassernutzungsfaktors, so hat er weniger Mittel zur Verfügung, die er für andere Investitionen ausgeben kann. Im Tiefen Industrieakteur können insbesondere die Potentiale der maximal einsetzbaren Technologie zur Mehrfachnutzung des Wassers als direkte obere Grenzwerte interpretiert werden (s. auch Abb. 8 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. Das heißt also nicht, dass der Tiefe Akteur über vollkommene Information verfügt und die Zukunft perfekt vorhersagen kann, sondern vielmehr, dass er dennoch versucht sich gegeben seinen Informationsbeschränkungen und unsicheren Zukunftserwartungen rational zu verhalten. 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 exogene technologische Fortschritt und der Wert der so genannten Flaggen. Die Flaggen repräsentieren in der Simulation auf einer Skala von 1 (grün, alles in Ordnung) bis 5 (schwarz, akuter Wassermangel) die Nachhaltigkeit der Wassernutzung. Die Flaggen sind derart angelegt, dass Sie von den einzelnen Akteurs-Gruppen individuell interpretiert werden können. Sie werden für Grund- und Oberflächengewässer von den jeweils zuständigen Modellen berechnet und den Akteurs-Modellen über Schnittstellen zur Verfügung gestellt (*GroundwaterQuantityFlag* und *RiverWaterQuantityFlag* in Abb. 2). Entsprechend den Beobachtungen in der Praxis (siehe unten in diesem Abschnitt) beziehen die einzelnen Betriebe den Flaggenwert jedoch nicht aus Nachhaltigkeitsbemühungen in ihre Kalkulation ein. Die Flaggen können vielmehr als Erhöhung der Extraktionskosten, sowie als steigender institutioneller bzw. sozialer Druck der Behörden und der allgemeinen Öffentlichkeit und steigende direkte Kosten durch vermehrtes *Monitoring* der Behörden interpretiert und umgesetzt werden. Steigende Flaggenwerte erhöhen damit direkt und vor allem indirekt (soziale Kosten) die Extraktionskosten des Wassers und senken so die Wassernachfrage des Unternehmens.<sup>3)</sup>
- Zu den Faktoren die der Akteur als von ihm beeinflussbar wahrnimmt, zählt vor allem der Anteil der laufenden Extraktionskosten, der durch den technischen Aufwand zur Mehrfach- und Kreislaufnutzung des Wassers determiniert ist. Investitionen in die Erhöhung des Nutzungsfaktors des Wassers 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

---

<sup>3)</sup> 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.

Erfahrungen der Vergangenheit für den zukünftigen Zeitraum, den er in seine Kostenminimierung mit einbezieht.

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, um diese in einer möglichst realitätsnahen Modellierung umzusetzen. Abbildung 6 illustriert diesen partizipatorischen Prozess der Informationsfindung.

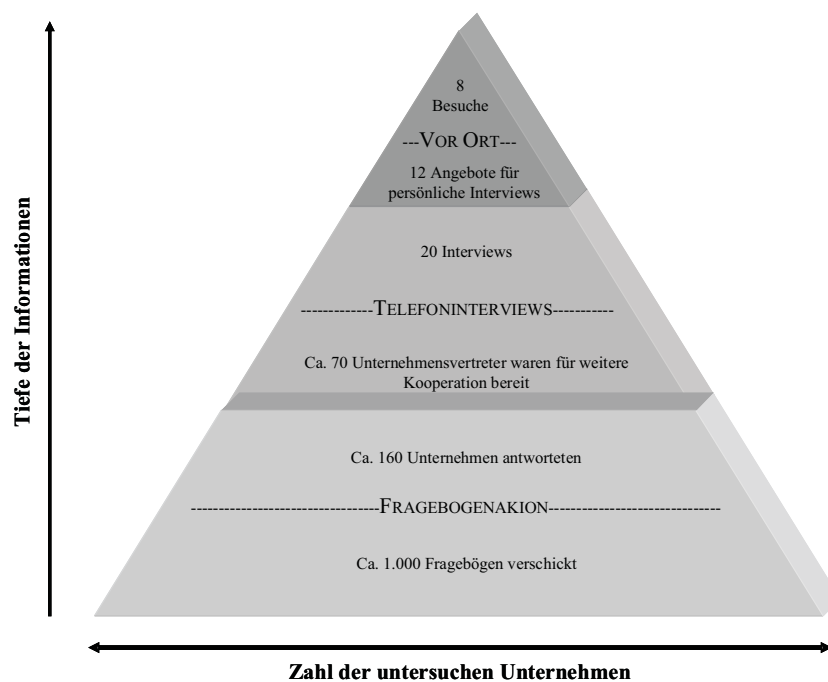


Abb. 6: Informationsbildung als dreistufiger Prozess (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Die Identifikation relevanter Unternehmen erfolgte vornehmlich nach zwei Kriterien: der Ansiedlung des Produktionsstandortes innerhalb des Einzugsgebietes und der Zugehörigkeit des Betriebs zu einer wasserintensiven Branche. Für das Einzugsgebiet sind dabei vornehmlich die chemische Industrie und die Papierherstellung relevant. Allen mittleren und großen, über Firmendatenbanken (Hoppenstedt) identifizierbaren, Betriebe wurde zunächst ein Fragebogen zugesandt (s. Abb. I in Appendix 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 (Abb. III in Appendix 3). Deutlicher werden die Unterschiede zwischen wasserintensiven und andern Branchen in der Realisation von Investitionen zur Erhöhung des Nutzungsfaktors. So nutzt die

Mehrheit von 60% der nicht wasserintensiven Betriebe das geförderte Wasser ausschließlich einmalig, während 46% der wasserintensiven Betriebe ihr Wasser mehrfach oder in einem Kreislauf nutzen und 23% sogar beide Technologien realisiert haben (Abb. IV in Appendix 3).

Im extrem heißen und trockenen Sommer des Jahres 2003 mussten lediglich 2,6% der Betriebe einen Produktionsrückgang aufgrund der klimatischen Bedingungen verzeichnen (s. 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 genügend nutzbares Wasser für ihre Produktionszwecke vorhanden ist (s. 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 (s. 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 (s. 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.

Besonders erfreulich ist, dass die Ergebnisse unserer Untersuchung zur Innovationstätigkeit der Industrieunternehmen durch die Ergebnisse des GLOWA-Elbe Projekts zu dieser Fragestellung voll bestätigt werden. Denn es hat in einem eigenen Teilprojekt jene Fragestellung sehr ausführlich untersucht und die Ergebnisse in dem in Kapitel 2.2 genannten *Stakeholder Workshop* am ifo-Institut vorgestellt.

### **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 Zeitschritte aus der *History* sowie der zukünftigen Werte aus seiner eigenen Erwartungsbildung. Daran anschließend erfolgt der zweistufige Prozess der Planfindung. Zunächst bildet der Tiefe Akteur rationale Erwartungen darüber, wie unterschiedliche Produktionsniveaus aus dem stetigen Kontinuum aller Kombinationsmöglichkeiten der gegenwärtigen und zukünftigen Entscheidungsvariablen optimal und kostenminimal hergestellt werden können. Diese Erwartungen dienen anschließend als Basis zur Bestimmung des optimalen Produktionsniveaus.

Im aktuell umgesetzten Modell werden bei der Kostenminimierung die

- Wasserentnahme des Unternehmens,
- Höhe der Produktion,
- eingesetzte Technologie zur Realisierung des Nutzungsfaktors des Wassers sowie



- Beschäftigung, Kapitaleinsatz und Baulandeinsatz

über einen Zeitraum von drei Jahren bzw. 36 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 Industrieproxel (aktuell 1354 Proxel). Die Attribute jedes Akteurs werden durch die Gegebenheiten auf dem entsprechenden Proxel bestimmt. Dazu zählen insbesondere Art und Menge des entnommenen Wassers (Fremdbezug und Grund- oder Oberflächenwasser), der Umsatz der Industriebetriebe, die Förderkosten, der Nutzungsfaktor des Wassers, die Löhne, die Kapital- und die Baulandkosten. Jeder Akteur führt im Rahmen seiner Entscheidungsfindung in jedem Zeitschritt derzeit die Pläne für die Grundwasserentnahme, Oberflächenwasserentnahme, Wasserfremdbezug, Kapitaleinsatz, Beschäftigung, Baulandeinsatz und den Nutzungsfaktor des Wassers aus, die seine Kosten insgesamt minimieren. Diese Pläne resultieren aus der Konkretisierung der *active-plans* in der *rating*- und *filter*-Methode (s. Abb. 5). 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 (s.o.)
- Kosten für technologische Innovationen zur Erhöhung des Nutzungsfaktors sowie das diesbezügliche Innovationspotential
- Eigener Wasserverbrauch
- Absatzpreise
- Wachstum (technologischer Fortschritt und Effizienzzuwachs)
- Lohnkosten
- Kapitalkosten
- Baulandkosten

Abbildung 7 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 unteren 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 unterscheiden 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 36 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 oben genannten unterschiedlichen Plangrößen mit einer jeweils unendlichen Zahl von Planausprägungen.

In der unteren, mittleren Graphik der Abbildung 7 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.

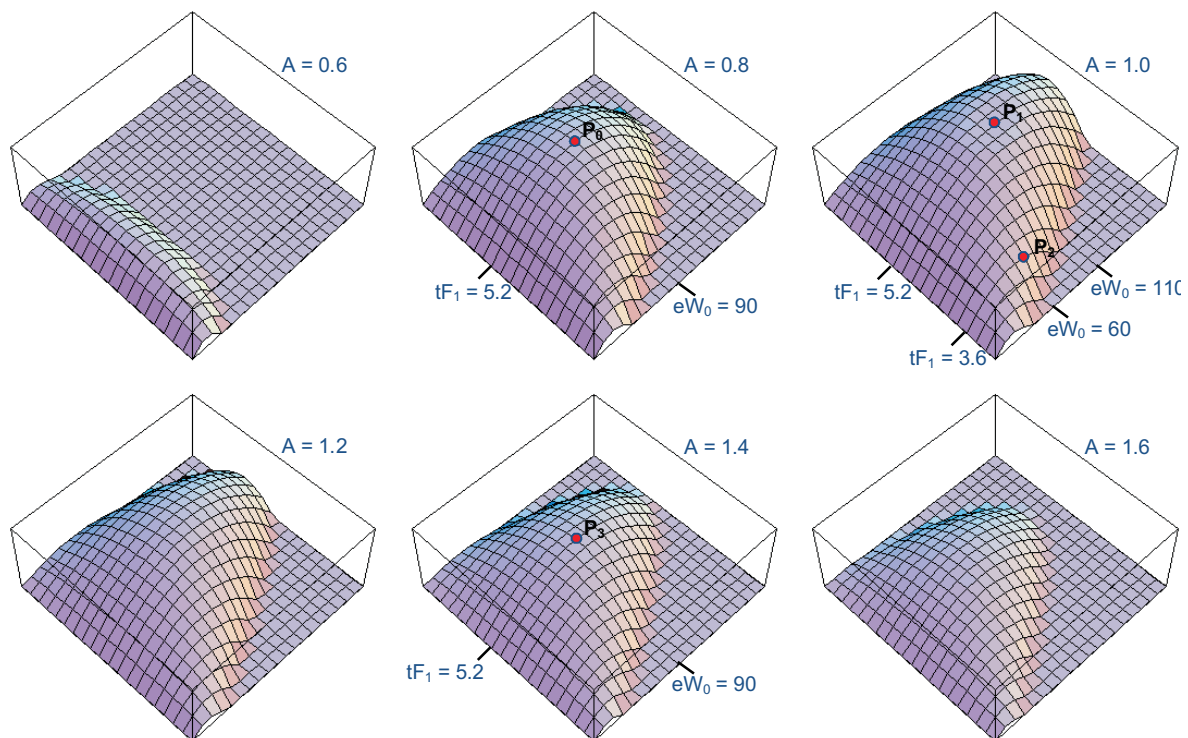


Abb. 7: Planauswahl eines Industrieakteurs (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

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 Faktoren Arbeit, Kapital, Bauland, effektive Wassermenge und Schadstoffausstoß beschrieben.<sup>4)</sup> Arbeit, Kapital und Bauland bilden Substitute in einer Cobb-Douglas-Produktionstechnologie und steigern ihre Produktivi-

<sup>4)</sup> Die Modellierung von Schadstoffen in den Abwässern der Unternehmen ist im Minimierungsansatz angelegt und im Modell implementiert, hat aufgrund fehlender Daten jedoch in der konkreten Umsetzung noch keinen Einfluss auf die Simulationsergebnisse.

tät über die Zeit, gegeben einem exogenen Effizienzparameter. Die effektive Wassermenge ergibt sich dabei aus einer substitutionalen Technologie, in der die verschiedenen Wasserarten und Innovationen Perfekte Substitute bilden. Der in Innovationen investierte Kapitalstock bestimmt den Nutzungsfaktor des Wassers. Der Ausstoß der unterschiedlichen Schadstoffe ist über eine Cobb-Douglas Technologie mit Investitionen in die Schadstoffvermeidung substituierbar. Tabelle 2 fasst die in dem Modell verwendeten Variablen zusammen und beschreibt den aktuellen Stand ihrer Implementierung.

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 8 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 Funktion der physikalischen Extraktionskosten sind, auf der anderen Seite aber auch durch die Flaggenwerte beeinflusst werden, die die sozialen Kosten bzw. den sozialen Druck und die institutionellen Bedingungen miteinbeziehen.

Das Potential entspricht dabei den von den Firmen empfunden Grenzen, welche nicht mit

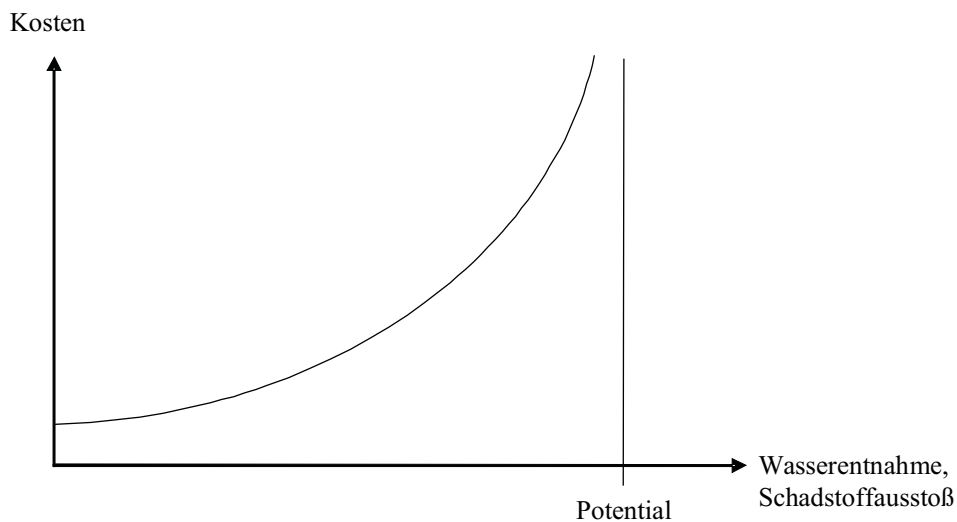


Abb. 8: Technologische Potentiale und Kostenentwicklung (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

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.

Tab. 2: *DeepActorIndustry* - Parameterübersicht und Implementierung (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Parameter	Beschreibung	Stand in der Modellentwicklung
$J$	Anzahl der berücksichtigten Perioden	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 substituiert zwischen Grund- und Oberflächenwasser sowie Fremdbezug
$I$	Anzahl der berücksichtigten Schadstoffe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chem. Sauerstoffbedarf</li> <li>• AO<sub>5</sub> - Gehalt</li> <li>• Mech. Abwasserbehandlung</li> <li>• Chem. Abwasserbehandlung</li> <li>• Biol. Abwasserbehandlung</li> </ul> (durch fehlende Daten bisher kein Einfluss auf die Simulation)
$tAC$	Anpassungskosten für effizientere Wassernutzung (Mehrfach-, Kreislaufnutzung)	Implementiert (durch fehlende Daten bisher kein Einfluss auf die Simulation)
$tF$	Nutzungsfaktor des Wassers (Mehrfach-, Kreislaufnutzung)	Implementiert
$twAC$	Anpassungskosten für Anlagen zur Reduktion des Schadstoffausstoßes	Implementiert (durch fehlende Daten bisher kein Einfluss auf die Simulation)
$wI$	Investitionen in Schadstoffvermeidung	Implementiert (durch fehlende Daten bisher kein Einfluss auf die Simulation)
$cC$	Vektor der konstanten Kosten	Implementiert
$oC$	Kosten für Kapital und Arbeit (bei konst. Kapitalintensität)	Implementiert
$oI$	Kapital-, Arbeits-, und Baulandeinsatz (bei konst. Kapitalintensität)	Implementiert
$eC$	Kosten für den Wasserbezug der Wasserbezugsarten	Oberflächen-, Grundwasser- und Fremdbezugskosten (geschätzte Werte)
$eP$	Von der Firma wahrgenommene Bezugspotentiale	Oberflächenwasser- und Grundwasserpotential (geschätzte Werte)
$eW$	Bezogene Wassermengen	Oberflächenwasser, Grundwasser und Fremdbezug (geschätzte Werte)
$tC$	Nutzungsfaktorspezifische Anlagenkosten (Unterhaltskosten)	Implementiert (durch fehlende Daten bisher kein Einfluss auf die Simulation)
$wC$	Kosten für den Schadstoffausstoß	Siehe „I“
$wP$	Von der Firma wahrgenommene Grenzwerte für den Schadstoffausstoß	Siehe „I“
$wE$	Ausgestoßene Schadstoffe	Siehe „I“
$twC$	Unterhaltskosten der Anlagen zur Reduktion des Schadstoffausstoßes	Implementiert (durch fehlende Daten bisher kein Einfluss auf die Simulation)
$p$	Produktpreise	Implementiert (geschätzte Werte)
$y$	Produktionsoutput	Implementiert (geschätzte Werte)
$gO$	exogener Effizienzzuwachs von Kapital und Arbeit	Implementiert
$\alpha$	Technologieparameter Kapital und Arbeit	Implementiert
$\beta$	Technologieparameter Wassereinsatz	Implementiert
$\gamma$	Technologieparameter der Einzelschadstoffausstöße	Siehe „I“

Formal bestimmen sich die von einem Unternehmen ausgeführte Pläne aus ihrer Nutzenfunktion. Dabei ist es die Zielsetzung des Unternehmens ihre Kosten möglichst gering zu halten. Die nachfolgende Kostenfunktion kann also als Teil Nutzenfunktion interpretiert werden, wobei der Nutzen umso höher ist je niedriger die Kosten sind.

$$\begin{aligned} \sum_{j=0}^J (Costs_{t+j}) = & \sum_{j=0}^J (cC_{t+j} + \sum_{n=1}^N (oC_{n,t+j} oI_{n,t+j}) + \sum_{h=0}^H (oC_{h,t+j} (\frac{eP_{h,t+j}}{eP_{h,t+j} - eW_{h,t+j}} - \frac{eW_{h,t+j}}{eP_{h,t+j}}))) \\ & + tC_{t+j} tF_{t+j} + tAC_{t+j} (tF_{t+j} - tF_{t+j-1}) + \sum_{i=1}^I (wC_{i,t+j} (\frac{wP_{i,t+j} wE_{i,t+j}}{wP_{i,t+j} - wE_{i,t+j}}) \\ & + tWC_{i,t+j} wI_{i,t+j} + tWAC_{i,t+j} (wI_{i,t+j} - wI_{i,t+j-1}))) \end{aligned}$$

Trivialerweise sind die Kosten natürlich dann am niedrigsten wenn keinerlei Produktionsfaktoren eingesetzt werden. Deshalb ist das Unternehmen bestrebt seine Kosten zu einem gegebenen Produktionsniveau zu minimieren. Die folgende Produktionsfunktion des Unternehmens bildet also die Nebenbedingung für die Kostenminimierung des Unternehmens.

$$\begin{aligned} Output_{t+j} = & Min\{\alpha_{t+j} \prod_{n=1}^N (oI_{n,t+j}^{\frac{1}{N}}), \beta_{t+j} (\sum_{h=0}^H (eW_{h,t+j}) + tF_{t+j}), \gamma_{1,t+j} wI_{1,t+j}^{\frac{1}{2}} wE_{1,t+j}^{\frac{1}{2}}, \\ & \gamma_{2,t+j} wI_{2,t+j}^{\frac{1}{2}} wE_{2,t+j}^{\frac{1}{2}}, \dots, \gamma_{I,t+j} wI_{I,t+j}^{\frac{1}{2}} wE_{I,t+j}^{\frac{1}{2}}\} \end{aligned}$$

Die Nutzenfunktion der Unternehmen entspricht nun ihrem Gewinn und ergibt sich somit aus der Kombination der beiden obigen Gleichungen. Zielsetzung des Unternehmens ist nun diesen Gewinn zu maximieren, was durch eine geeignete Wahl der Pläne erreicht werden kann.

$$Max\{\sum_{j=0}^J (Profit_{t+j})\} = \sum_{j=0}^J (p_{t+j} Output_{t+j} - Costs_{t+j})$$

Aus allen möglichen Kombinationen der Inputfaktoren (alle möglichen Kombinationen unterschiedlicher Planausprägungen) wählt das Unternehmen also diejenigen Pläne aus (schreibt also diesen Plänen entsprechend Abbildung 4 und 5 das höchste Rating zu) welche den Gewinn maximieren. Dazu ergibt sich aus dem Kostenminimierungsansatz die indirekte 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.

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, kann diese Herangehensweise im weiteren Verlauf der Modellentwicklung durch einen konkreten Mikrodatensatz ersetzt werden. Die ersten Ergebnisse des Tiefen Akteurs Industrieunternehmens in einem DANUBIA-Lauf werden in Kapitel 4 dargestellt.

## Das GUI Tool

Weiterhin wurde auf Anregung der *Stakeholder*konferenzen ein GUI entwickelt, mit dem die Nutzer selber einfache Szenarien vorgeben können (Abb. 9). In diesem Szenario-Editor können Elastizitäten oder Wachstumstrends in der Form 1+X% eingegeben werden (möch-



Allgemeine Parameter	
Wachstum (gO)	0.0
Preisentwicklung (p)	1.0
Preiselastizität des Angebots (Betrag)	1.0
Preiselastizität der Nachfrage (Betrag)	1.0
Lohnelastizität des Arbeitsangebots (Betrag)	1.0
Lohnelastizität der Arbeitsnachfrage (Betrag)	1.0
Anpassungskosten für effizientere Wassernutzung (tAC)	1.0
Anpassungskosten für Anlagen zur Reduktion des Schadstoffausstoßes (twasteAC)	1.0
Nutzungsfaktorspezifische Anlagen-kosten (Unterhaltskosten) (tC)	1.0
Kosten für die Anlagen zur Reduktion des Schadstoffausstoßes (twasteC)	1.0

extraction trends	
Potential	
Flusswasserentnahme (ePS)	1.0
Grundwasserentnahme (ePG)	1.0
Kosten	
Flusswasserentnahme (eCS)	1.0
Grundwasserentnahme (eCG)	1.0
Leitungwasserentnahme (eCP)	1.0

waste trends		
	Potential	Kosten
chem. Sauerstoffbedarf	1.0	1.0
AOX-Gehalt	1.0	1.0
mech. Abwasserbehandlung	1.0	1.0
chem. Abwasserbehandlung	1.0	1.0
biol. Abwasserbehandlung	1.0	1.0
Andere 1	1.0	1.0
Andere 2	1.0	1.0

Abb. 9: Szenario-Editor für die Industrieunternehmen (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

te man beispielsweise die Absatzpreise pro Jahr um 2% steigen lassen so würde im Szenario-Editor ein Wert von 1.02 für  $p$  eingetragen werden). Abgesehen davon, dass sich damit leicht beliebige Szenarien generieren lassen erweist sich dieses Tool als ausgesprochen nützlich für die Sensitivitätsanalyse des Modells.

### 3.1.3 Laufende Arbeiten zur Verbesserung des Modells

An dieser Stelle sollen abschließend auf laufende Arbeitsschritte zur ökonomischen Validierung des *DeepActorIndustry*-Modells hingewiesen werden. Im Wesentlichen ist eine weitere Vertiefung der Datenbasis geplant. Durch eine bereits initiierte Kooperation mit den Forschungsdatenzentren der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder konnte ein detaillierter Mikrodatsatz zu den wasserintensiven Industriebetrieben erstellt werden. Erste ökonomische Schätzungen haben bereits stattgefunden um unser Modell in Zukunft auf der Ebene des einzelnen Betriebes zu validieren, anstatt dem bisherigen repräsentativen Betrieb pro 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.

## 3.2 Ein neues Modell zur Bevölkerungsentwicklung

Wie dargestellt, wurde die Modellierung industrieller Wassernutzung bereits frühzeitig in ein neues Tiefes Modell überführt. Die Überführung der Bevölkerungsentwicklung in ein Tiefes Modell war nun der Schwerpunkt des letzten Projektjahres. Ziel des neu entwickelten 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* war dies schwer möglich.

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 10. 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, zeigt anschließend deren Modellierung im Rahmen des Tiefen *Demography* Modells und schließt mit einer kurzen Beschreibung des Szenario- und des Modell-Editors.

### 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 nach Milieus vor. Die Informationen der amtlichen Statistik liegen für Österreich auf der Ebene der Landkreise vor, für Bayern und Baden-Württemberg auf der größeren Ebene der Regionen. Da die Daten über Kinderzahl und Haushaltsgröße für Bayern und Baden-Württemberg lediglich für jeweils vier Klassen vorliegen - in Österreich sind es 5 bzw. 6 Klassen - wird aus Gründen der Einheitlichkeit für das gesamte Einzugsgebiet quasi als kleinster gemeinsamer Nenner eine 4x4x10-Matrix entwickelt (Abb. 10).

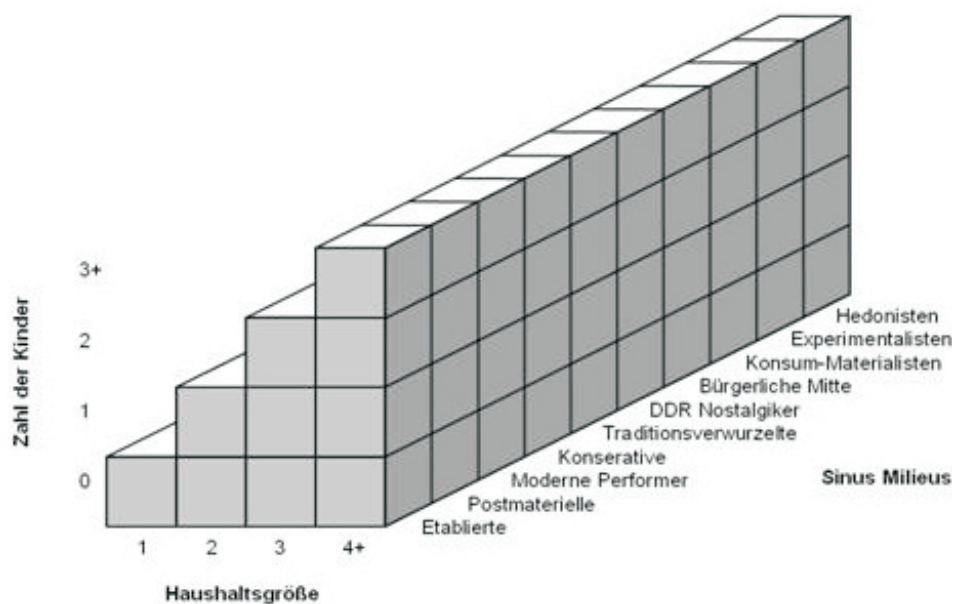


Abb. 10: Unterteilung der Bevölkerung in eine 4x4x10-Matrix (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Das entwickelte Verfahren zur Generierung einer proxelbasierten Bevölkerungsverteilung in die beschriebene 4x4x10-Matrix, basiert im Wesentlichen auf den folgenden drei Schritten:

- Bildung einer 4x4-Matrix aus Haushaltsgröße und Zahl der Kinder auf der feinsten verfügbaren Ebene der amtlichen Daten (s.o.): Die hierbei zur Verfügung stehenden Rohdaten der bayerischen und baden-württembergischen Landesämter unterscheiden sich, neben der räumlichen Auflösung, auch in ihren konkreten Inhalten von den österreichischen, sodass das entwickelte Verteilungsverfahren jeweils leicht abgewandelt werden musste.
- Disaggregation der so ermittelten 4x4-Matrizen auf das Proxel, anhand der bekannten Informationen der Landnutzungsklassifizierung: Die relative, prozentuale Verteilung der Bevölkerung innerhalb der einzelnen Proxel-Matrizen eines Landkreis bzw. einer Region ist dabei identisch.
- Erweiterung der 4x4-Matrix um die 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 aufwendigste, erste Schritt zur Generierung der 4x4-Matrix soll im Folgenden im Detail beschrieben werden.

### 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.

Tab. 3: Datenbasis zur Ermittlung der 4x4-Matrix (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

	<b>Bayern</b>	<b>Baden-Württemberg</b>	<b>Österreich</b>
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)
adjustrightDaten HHGröße	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)

## 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. 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 (Eiersonenhaushalt, 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 (s. Tab. 5).

Tab. 4: Statistische Daten Innsbruck Stadt (Quelle: STATISTIK AUSTRIA 2005a)

	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

Da auch die Zahl der Eiersonenhaushalte 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 Stadt (Quelle: Berechnungen des ifo Instituts)

	Zahl der Haushalte	Zahl der Familien	
<b>Gesamtzahl aus der Statistik</b>	<b>53903</b>	<b>29122</b>	
Ein Familien HH	28186	28186	
Zwei Familien HH	444	888	
Drei und mehr Familien HH	15	<del>45</del>	→ 48
Ein Personen HH	22847	0	
Zahl der "Wohngemeinschaften"	2411	0	
<b>Kontrollsumme</b>	<b>53903</b>	<b>29122</b>	
Wie viele Familie sind mehr als Drei-Familien-HH?		3	↗

Als nächster Schritt kann die Zahl der Eiersonenhaushalte 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) (Quelle: Berechnungen des ifo Instituts)

		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

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 (s. 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 viel“ 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) (Quelle: Berechnungen des ifo Instituts)

	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	$804+8824$	$2291-183,5-91,5$	$=585+3983-80-40$	0	15492
	3	$=804+183,5$	$=80$		0	7943
	4 und mehr	$=804+91,5$	$=40$			7621
	Summe	35505	10398	6088	1912	53903



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.<sup>5)</sup> 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) (Quelle: Berechnungen des ifo Instituts)

		Zahl der Kinder pro HH				Summe HH
		0	1	2	3 und mehr	
HH Personen	1	22847	0	0	0	22847
	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

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.

### 3.2.1 Die Umsetzung des Akteurskonzepts im *Demography*-Modell

Nachdem am Anfang der Projektphase die Entwicklung einer sinnvollen Ausgangsverteilung der Bevölkerung im Vordergrund stand, war für den weiteren Verlauf die Modellierung der Bevölkerungsentwicklung ein zentraler Arbeitsschwerpunkt. Ziel war die Entwicklung eines Modells, dass durch Variationsmöglichkeiten in den drei Hauptdeterminanten zur Veränderung der Bevölkerung (Geburtenrate, Sterberate und Migration) die Kalkulation unterschiedlicher Szenarien ermöglicht. Konzeptionellen Ausgangspunkt bilden dabei die Bevölkerungsvorausrechnungen der verschiedenen statistischen Ämter, die im Wesentlichen alle nach einem ähnlichen Prinzip arbeiten.

### Modellierung der Bevölkerungsentwicklung

Die 11. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes, „Bevölkerung Deutschlands bis 2050“ ist beispielsweise die aktuellste Studie dieser Art für Deutschland (STATISTISCHES BUNDESAMT 2006). Sie setzt sich aus den Vorausrechnungen 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.

<sup>5)</sup> Im konkreten Beispiel: Mehrfamilien = 444+(48-15)=477.

In allen Varianten geht der Bevölkerungsstand zurück. Grund hierfür sind die unterstellten niedrigen Geburtenzahlen, die wiederum zur Folge haben, dass weniger potentielle Mütter heranwachsen, was die Geburtenzahlen nochmals verringert. Auch die Zuwanderung kann demnach den Bevölkerungsrückgang langfristig nicht kompensieren.

	Ausgangsbasis (2001)	Niedrigste Annahme (2050)	Mittlere Annahme (2050)	Höchste Annahme (2050)
<b>Fertilität</b>	1,4	1,4	1,4	1,4
<b>Lebenserwartung</b>	74,8 Jahre Männer/ 80,8 Jahre Frauen	78,9 / 85,7 Jahre*	81,1 / 86,6 Jahre*	82,6 / 88,1 Jahre*
<b>Wanderung</b>	+200.000 Personen / Jahr	+100.000 Personen/ Jahr	+ 200.000 Personen / Jahr	+200.000, ab 2011 +300.000 Personen / Jahr
<b>Bevölkerungsstand</b>	82.440.300	67.046.200	75.117.300	81.252.500

\*Lebenserwartung für Neugeborene (Männer / Frauen) im Jahr 2050

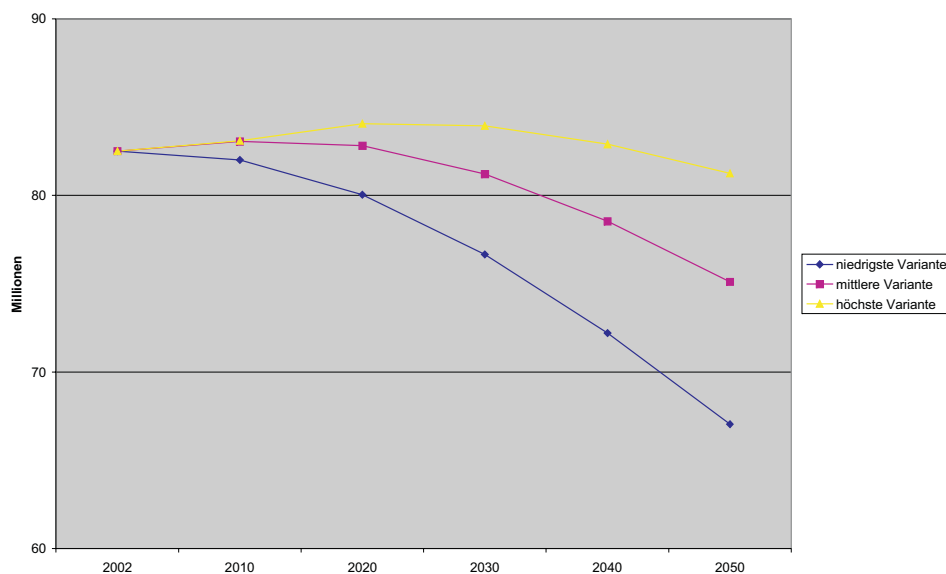


Abb. 11: Annahmen und Ergebnisse der 10. koordinierten Bevölkerungsvorausbe-  
rechnung (Quelle: Darstellung des ifo Instituts nach STATISTISCHES BUNDES-  
AMT 2003)<sup>6)</sup>

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. Durch die Abbildung von Haushalten wird die Problematik der Alterskomponente in den einzelnen Matrizen deutlich vereinfacht.

<sup>6)</sup> Die analoge Prognose für Österreich befindet sich im Appendix 5, Abbildung IX.

## Das Modell

Unterschiedlich zu den Sterberaten welche sich weitgehend der aktiven Entscheidung der Akteure entziehen und auch im Gegensatz zu den Geburtenraten, deren Tiefe Modellierung in unserem Modellkontext als wenig sinnvoll erscheint, so ist die Migration sehr wohl durch Entscheidungsprozesse geprägt. Dementsprechend sind auch die Generierung der Bevölkerung und deren räumliche Verteilung bewusst in zwei Bereiche gegliedert. Zum Einen wird die natürliche Bevölkerungsbewegung, welche ausschließlich durch Sterbefälle und Geburten, nicht aber durch Migration bestimmt wird, exogen vorgegeben und entsprechend den Bevölkerungsszenarien der Statistischen Ämter generiert. Zum Anderen wird die Migration und damit insbesondere die räumlich Verteilung innerhalb des Einzugsgebietes durch die Entscheidungsprozesse des Tiefen Akteurs *Demography* bestimmt.

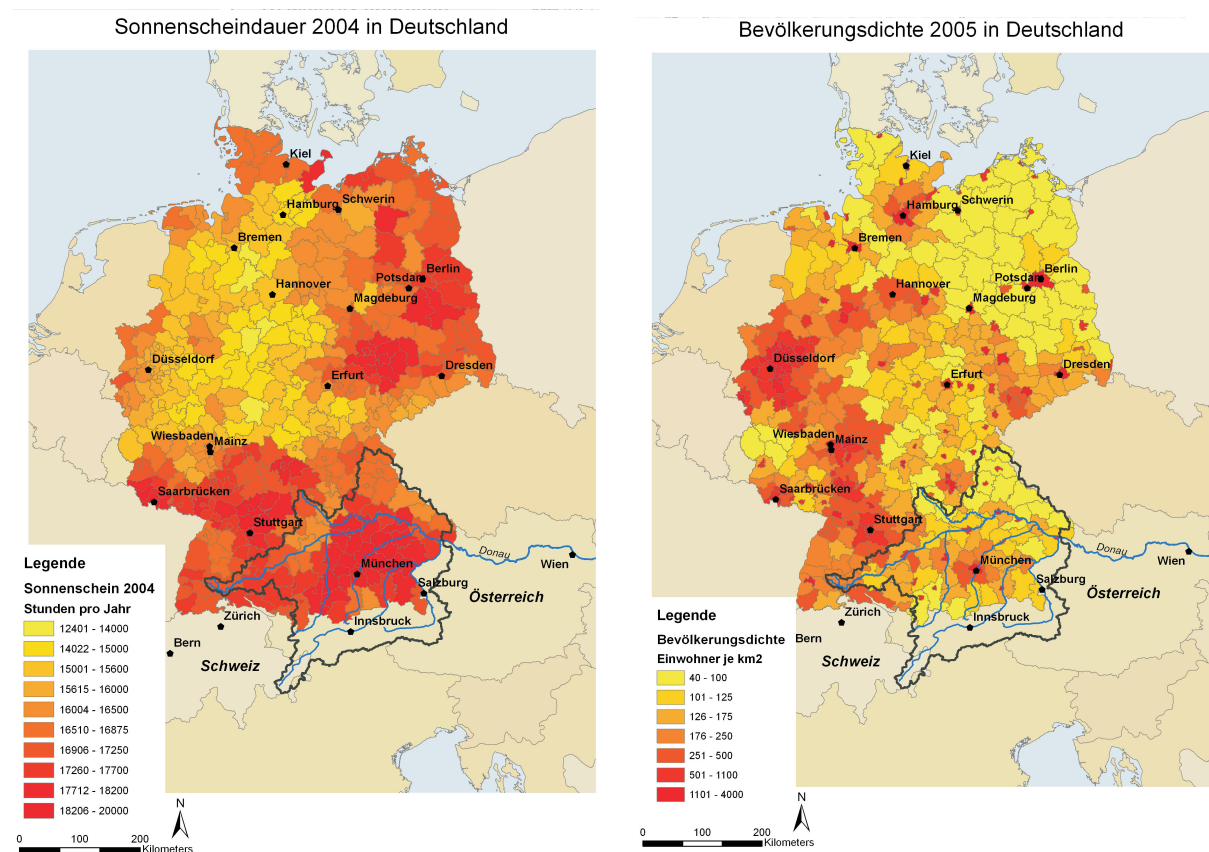


Abb. 12: Einflussgrößen Sonnenscheindauer und Bevölkerungsdichte (Quelle: Darstellung des ifo Instituts nach Daten des Deutschen Wetterdienstes und der Statistischen Landesämter)

Insbesondere muss dabei die Problematik der Datenverfügbarkeit nach administrativen Grenzen und deren Abbildung auf das Einzugsgebiet, welches durch die Wasserscheide der Donau bestimmt wird, berücksichtigt werden. Für die Migrationsentscheidung sind dabei nicht ausschließlich die Bedingungen in der Zielregion ausschlaggebend, sondern ebenso die in den umliegenden Gebieten. So mag es sein, dass eine Familie wegen der guten Arbeitsmarktbedingungen in die Nähe Münchens zieht, aber als Wohnsitz einen der umliegenden Kreise wählt, um die Vorteile einer niedrigeren Bevölkerungsdichte zu nutzen. Abbildung 12 verdeutlicht diese Problematik anhand zweier Einflussgrößen (beispielsweise ist der demographiespezifische Einfluss der Bevölkerungsdichte in Tabelle 9 und 10 unter der Variable *population density t-1* abzulesen). Dabei zeigt sich deutlich, dass die Sonnenscheindauer überregional stark zusammenhängt und so die Berücksichtigung der umliegenden Kreise weniger bedeutend ist als im Falle der Bevölkerungsdichte. Die schwarze Grenzlinie gibt auf den Abbildungen den Verlauf der Wasserscheide des Oberen Donau Einzugsgebietes wieder

Tab. 9: Lineare Regressionen des gepoolten Paneldatensatzes (Quelle: Darstellung des ifo Instituts nach Daten der Statistischen Landesämter Deutschlands, des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung, der OECD, Eurostat, Statistik Austria, des Deutschen Wetterdienstes und des ifo Institutes)

	pooled OLS in per outmove	pooled OLS inmove	pooled OLS in per outmove	pooled OLS inmove	pooled OLS in per out domestic	pooled OLS inmove domestic	pooled OLS in per out abroad	pooled OLS inmove abroad
gdp per capita	0.005910 (12.02)**	0.083100 (13.88)**	0.005881 (4.99)**	0.076068 (4.93)**	0.008779 (6.37)**	0.742797 (11.27)**	-0.023909 (3.21)**	0.002099 (0.02)
gdp growth	0.392576 (3.54)**	-1.254148 (0.93)	0.090167 (0.80)	-1.074546 (0.73)	0.078771 (0.60)	-6.752786 (1.07)	0.631026 (0.88)	-4.382055 (0.34)
population density	-0.029095 (3.99)**	0.445291 (5.01)**	-0.038750 (3.99)**	-0.300249 (2.36)*	-0.047734 (4.21)**	-1.077119 (1.98)*	-0.061040 (1.00)	-1.853849 (1.69)
labor force share	-1.787774 (12.60)**	-3.383117 (1.96)						
employees per labor force			-0.155497 (4.48)**	-0.548597 (1.21)	-0.257508 (6.35)**	-13.740057 (7.08)**	0.835781 (3.82)**	8.572498 (2.19)*
industry share			0.033018 (13.13)**	0.116282 (3.53)**	0.032162 (10.93)**	0.422633 (3.00)**	0.043441 (2.74)**	0.710140 (2.50)*
services share			0.033904 (12.95)**	0.167138 (4.87)**	0.032180 (10.51)**	0.756364 (5.16)**	0.055953 (3.39)**	0.881919 (2.98)**
share on welfare			-0.206209 (7.70)**	-0.424225 (1.21)	-0.210419 (6.72)**	4.512024 (3.01)**	-0.081109 (0.48)	-8.213297 (2.71)**
tourist beds per square meter			0.157990 (3.66)**	2.060592 (3.64)**	0.243490 (4.82)**	24.009474 (9.93)**	-0.808645 (2.97)**	-3.803997 (0.78)
price developed land			0.000086 (1.45)	0.002218 (2.83)**	0.000159 (2.28)*	0.010867 (3.25)**	-0.000289 (0.77)	0.011064 (1.64)
Constant	1.356822 (10.92)**	4.608765 (3.05)**	-2.318163 (8.27)**	-10.87853 (2.96)**	-2.162323 (6.60)**	-30.649811 (1.96)	-4.559972 (2.58)*	-74.663207 (2.36)*
Observations	1451	1451	1177	1177	1177	1177	1177	1177
Adjusted R-squared	0.17	0.23	0.28	0.27	0.27	0.51	0.03	0.05
F Stat	75.92	112.17	52.18	49.10	49.51	139.52	5.40	8.32

Absolute value of t statistics in parentheses; \* significant at 5%; \*\* significant at 1%

und zeigt somit den Bereich, welcher durch das Entscheidungsunterstützungssystem Danubia analysiert werden kann. Insbesondere für die beiden Länder Österreich und der hier dargestellten Bundesrepublik Deutschland, welche den Hauptteil des Einzugsgebietes ausmachen zeigt sich deutlich das Problem der einheitlichen Datenumsetzung auf einen gemeinsamen Naturraum. Zusätzlich lassen sich sozialökonomische Zusammenhänge oft nur ungenügend darstellen, wenn Teile der administrativen Gesamteinheit (z.B. der Bundesrepublik Deutschland) außer acht gelassen werden müssen. Dies zeigt sich insbesondere für die Binnenwanderung. Hier sind Wanderungsströme aus einem Teil Deutschlands, welcher im Einzugsgebiet der Donau liegt, in einen Teil, welcher nicht im Einzugsgebiet liegt, deutlich wahrscheinlicher als Strömungen vom deutschen in den österreichischen Teil innerhalb des Einzugsgebietes.

Dabei bestimmt jeder der 100 Akteurshaushaltstypen für jeden besiedelten Proxel seinen Migrationswunsch. Dieser kann also als Nutzen des Zuzuges in einen Proxel interpretiert werden. Je mehr Haushalte netto in einen Proxel migrieren möchten, desto höher wird dieser bewertet. Die Nettomigration setzt sich dabei im Modell aus den beiden Komponenten Zuzüge und Wanderungsverhältnis zusammen, welche sich im Tiefen Akteur für jeden Haushaltstyp auf jedem bewohnten Proxel aus zwei getrennten kognitiven Prozessen ergeben. Die Nettomigration auf einem Proxel ergibt sich aus den Zuzügen abzüglich der Fortzüge, wobei

sich die Fortzüge wiederum aus der Division der Zuzüge durch das Wanderungsverhältnis ergeben. Zur Modellierung wurde der Umweg über das Wanderungsverhältnis gewählt, statt direkt die Fortzüge als Entscheidungsprozess zu modellieren, da sich diese nur schwer in einem empirischen Modell schätzen lässt. Die folgenden Gleichungen geben den Entscheidungsprozess für die Pläne eines Haushaltstypen eines Proxels wieder:

$$Inmove_{Type\ i,Proxel\ j} = \beta_{0,Type\ i}^{Inmove} + \sum_{n=1}^N (\beta_{n,Type\ i}^{Inmove} x_{n,Proxel\ j})$$

$$InPerOutmove_{Type\ i,Proxel\ j} = \beta_{0,Type\ i}^{InPerOut} + \sum_{n=1}^N (\beta_{n,Type\ i}^{InPerOut} x_{n,Proxel\ j})$$

$$\begin{aligned} NetMigration_{Type\ i,Proxel\ j} &= Inmove_{Type\ i,Proxel\ j} - Outmove_{Type\ i,Proxel\ j} \\ &= Inmove_{Type\ i,Proxel\ j} - \frac{Inmove_{Type\ i,Proxel\ j}}{InPerOutmove_{Type\ i,Proxel\ j}} \end{aligned}$$

Dabei gibt  $x_{n,Proxel\ j}$  die Charakteristika eines Proxels wie beispielsweise die Bevölkerungsdichte, die Übernachtungen in Fremdenverkehrsbetrieben der Region oder die durchschnittliche Sonnenscheindauer wieder. Die Koeffizienten  $\beta_{n,Type\ i}$  bezeichnen, wie der Akteur auf diese Charakteristika reagiert und wie stark diese dann in die Bewertung des einzelnen Proxels eingehen. Die Koeffizienten können nun anhand eines von uns erstellten Paneldatensatzes geschätzt werden. Tabelle 9 zeigt die Ergebnisse verschiedener Schätzungen des gepoolten Datensatzes.

Tab. 10: Fixe Effekte Schätzung des Paneldatensatzes (Quelle: Darstellung des ifo Instituts nach Daten der Statistischen Landesämter Deutschlands, des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung, der OECD, Eurostat, Statistik Austria, des Deutschen Wetterdienstes und des ifo Institutes)

	<b>fixed effects in per out domestic</b>	<b>fixed effects inmove domestic</b>	<b>fixed effects in per out domestic</b>	<b>fixed effects inmove domestic</b>
gdp per capita	0.001107 (0.41)	-0.190691 (2.30)*	-0.001442 (0.48)	-0.248643 (2.76)**
gdp growth	0.140466 (2.16)*	5.928459 (3.09)**	0.146092 (2.09)*	5.581181 (2.68)**
population density	-2.247358 (6.87)**	-59.233434 (5.66)**	-2.176594 (5.22)**	-56.515176 (4.55)**
labor force share	-0.716289 (2.71)**	-3.677864 (0.47)		
employees per labor force			0.212621 (2.27)*	10.231197 (3.65)**
share on welfare			0.043672 (0.47)	-2.749550 (0.98)
tourist beds per square meter			-0.069274 (0.28)	13.546190 (1.84)
landprice			0.000002 (0.03)	-0.000691 (0.40)
Constant	2.225203 (10.10)**	59.597660 (8.59)**	1.682141 (7.17)**	48.124279 (6.87)**
Observations	1451	1416	1232	1232
Adjusted R-squared	-0.40	-0.44	-0.48	-0.45
F Stat	15.37	10.63	6.09	7.90
Absolute value of t statistics in parentheses; * significant at 5%; ** significant at 1%				



Die geschätzten Koeffizienten können je nach gewünschtem Schwerpunkt im weiter unten erläuterten *Demography* Modell-Editor eingegeben werden. Dadurch können auch weitere Variablen wie Sonnenscheindauer oder Niederschläge zusätzlich in das Modell integriert werden. Auch können so verschiedene Schätzmethode in den Szenarioläufen miteinander verglichen werden und beispielsweise statt einer Linearen Regression eine Fixe Effekte Panel Schätzung (wie in Tab. 10 gezeigt) verwendet werden.

Der Tiefe Akteur *Demography* (*Demography\_Actor*) wurde in Einklang mit den informativischen Vorgaben des *DeepActor-Frameworks* entwickelt. Das folgende UML-Klassendiagramm zeigt das Zusammenspiel der Klassen im Paket *demography*. Als steuernde und initialisierende Klasse fungiert die Klasse *Demography*. Sie bietet dem Tiefen Akteur die Schnittstelle *DemographyActorEnvironment* an, über die der Akteur Informationen über seinen Kreis abfragen kann, die für seine Migrationsentscheidung bedeutend sind. In jeder Rechenperiode wählt der Akteur den Plan *Demography\_Plan* aus. Dieser beinhaltet die *Demography\_Action*. Diese Aktion entscheidet über die tatsächliche Bevölkerungsmigration des Akteurs und wird, nachdem der Akteur sein Migrationsvorhaben berechnet hat, durchgeführt. Die Trennung von Plan und Aktion ist sinnvoll, da diese unterschiedlich sein können. So kann es vorkommen, dass etwa alle Akteure wegen einer schlechten globalen Bedingung planen auszuwandern. Hier greift die Aktion ein und normiert die lokalen Pläne der Aktion, damit sie dem gegebenen Bevölkerungsszenario *PopulationScenario* entsprechen. Jeder Akteur speichert in seiner *Actor\_Information* die Bevölkerungszahl pro Sinusmilieu Milieu. Jedes Milieu wird bei den Berechnungen einzeln behandelt, und somit werden hundert Akteure auf einem Akteur simuliert. Nachdem alle Tiefen Akteure ihre tatsächlichen Migrationen entschieden haben, sammelt die verwaltende Klasse *Demography* die Bevölkerungsinformationen ein, und bietet sie dem *Framework* an.

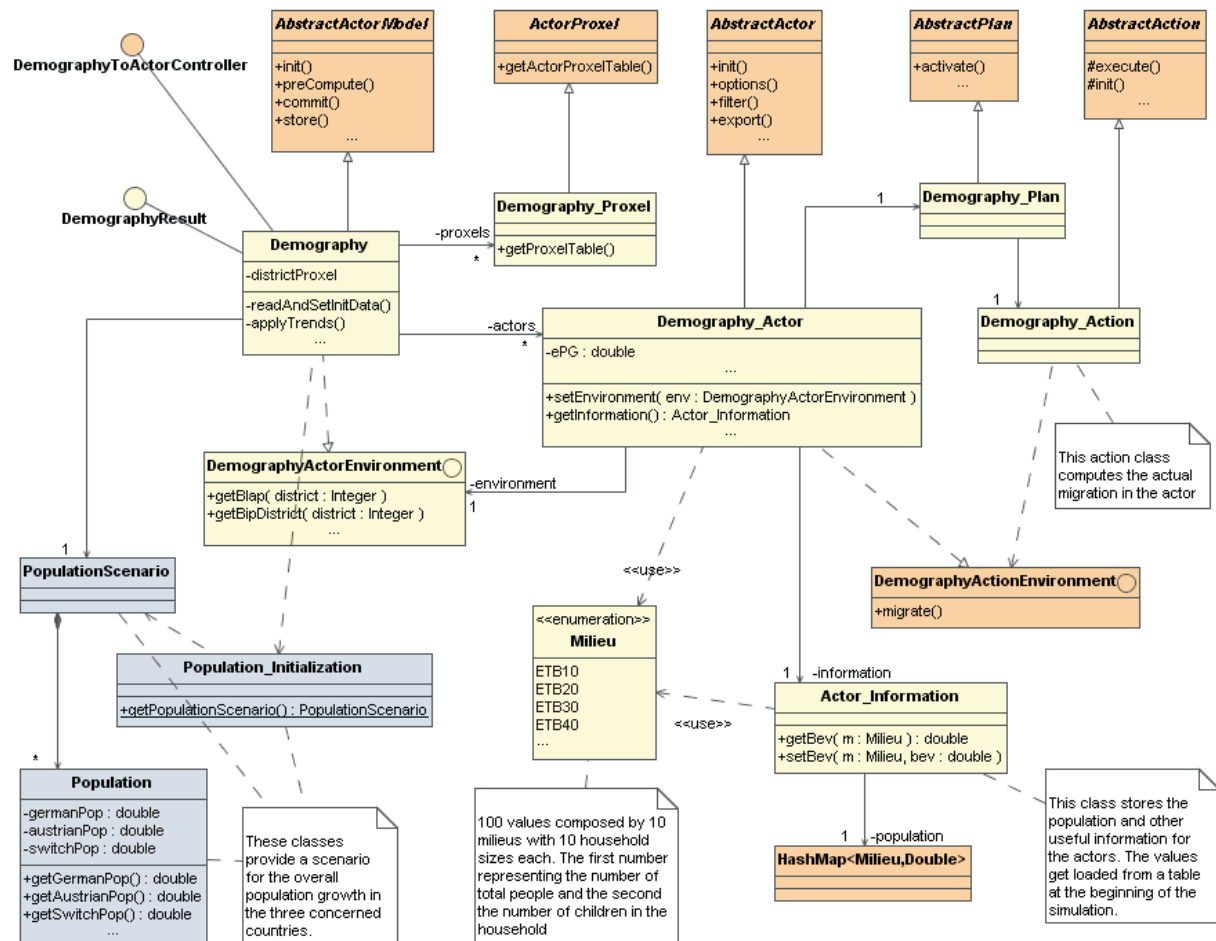


Abb. 13: Der Tiefe Akteur *Demography* im UML-Diagramm (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Der Berechnungszyklus ist vom *Framework* vorgegeben und wurde in 1.1.1 dargestellt. Siehe auch Abbildung 3.

### Das GUI Tool

Abbildung 14 zeigt den bereits oben erwähnten Modell-Editor. Dort können die Koeffizienten der Schätzungen direkt eingetragen werden. Dabei sind insbesondere die von DANUBIA Environmental Decision Support Tool endogen generierten Werte von Interesse. Es wäre aber auch denkbar, weitere Variablen zu berücksichtigen und deren Entwicklung in Form eines exogenen Szenarios über den Simulationszeitraum vorzugeben.

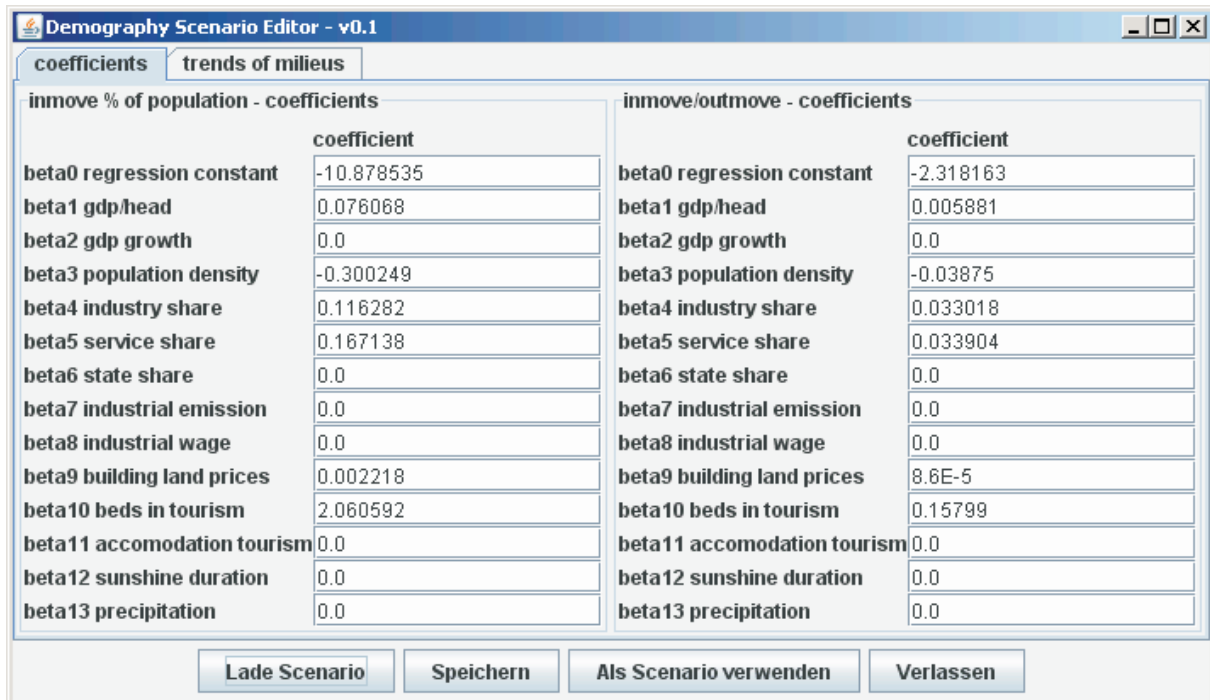


Abb. 14: Modell-Editor für die Demographie-Akteure (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Erfreulich ist vor allem, dass erste Regressionen mit einem erweiterten Datensatz auch eine hohe Signifikanz der von den naturwissenschaftlichen Teilprojekten bereitgestellten Variablen wie der Sonnenscheindauer oder des Niederschlags zeigen. Dies wird in der endgültigen Ausgestaltung zu einer sehr hohen Integration des Tiefen *Demography* Akteurs sowohl mit den naturwissenschaftlichen Komponenten als auch mit den anderen Akteuren führen, wie beispielsweise der bereits implementierten Anbindung an den Tiefen *Tourism* Akteur.

Abbildung 15 zeigt den Szenario-Editor des Tiefen *Demography* Akteursmodells. In diesem können verschiedene Milieu-Szenarien vorgegeben werden indem für jedes Milieu ein jährlicher Trend für die prozentuale Veränderung gewählt wird.

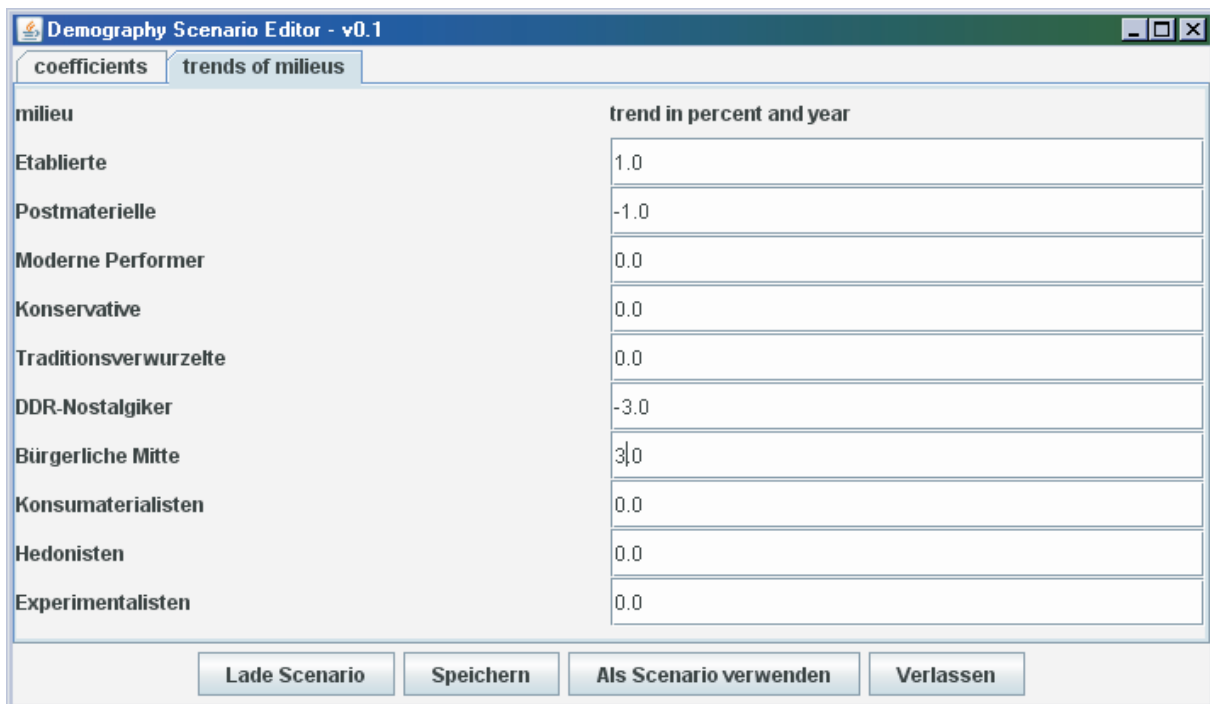


Abb. 15: Szenario-Editor für die Demographie-Akteure (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

### 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 Regressionen mit der erweiterten Datenbasis konnte folgende beste neue Schätzgleichung für die Trinkwasserpreise des Jahres 1993 ermittelt werden:<sup>7)</sup>

$$\ln pber_{1993} = 1,571 - 0,508 \ln pkv + 0,068 \ln grög + 0,043 \ln AntBez \\ + 0,331 regionBW - 0,353 regionÖ ;$$

<sup>7)</sup> 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.

Der Trinkwasserpreis hängt negativ vom Pro-Kopf-Verbrauch ( $lnpkv$ ) und positiv von der Größe der versorgten Gemeinde ( $lngröge$ ) 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 (KNEIPS 2000; SCHNURRER 2001). Darüber hinaus steigt der Wasserpreis an, je höher der Anteil des Wassers ist, den ein Versorger nicht selbst fördert, sondern von einem anderen Unternehmen bezieht ( $lnAntBez$ ). 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:

- 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  $m^3$ -Preis für Wasser ist dementsprechend mit einer Spanne von 0 bis 1,0 Franken (Durchschnitt ca. 0,30 Franken) relativ niedrig. Ferner war der  $m^3$ -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  $R^2$  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 Wasserpreise 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 (s. 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 Variablen in die Regression aufzunehmen. 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 der Unternehmen in angrenzenden Gemeinden politische Auswirkungen 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 Komplemente (Substitute) sehen. Ähnlich ist die Auswirkung des Wasserpreises eines öffentlichen Unternehmens auf ein anderes öffentliches Unternehmen zu interpretieren, wobei hierbei 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 öffentliche 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 der Szenarien**

Um unter anderem die Funktionsfähigkeit der Tiefen Akteure zu überprüfen, wurde in DANUBIA nach zahlreichen Testläufen, ein Szenariolauf gestartet, bei dem relativ heiße und trockene klimatische Bedingungen hinterlegt wurden. Dadurch soll gewährleistet werden, dass die einzelnen Akteursmodelle, über das erwartete Normalmaß hinaus, reagieren. Aus Sicht des *DeepActorIndustry*-Modells ist mit relativ hohen Flaggenwerten zu rechnen, die zu erheblichen Schwankungen in der industriellen Wasserförderung führen. Zur Auswertung des Szenariolaufes stehen Daten der Jahre 2000 bis 2013 zu Verfügung.

##### **Bevölkerungsentwicklung**

Die Gesamtbevölkerung sank im Verlauf des Szenarios von 9,7 Mio. um rund 2% auf ca. 9,5 Mio. Einwohner. Vergleicht man dieses Ergebnis mit den Prognosen der amtlichen Statistik (s. Abb. 11 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 16. 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.

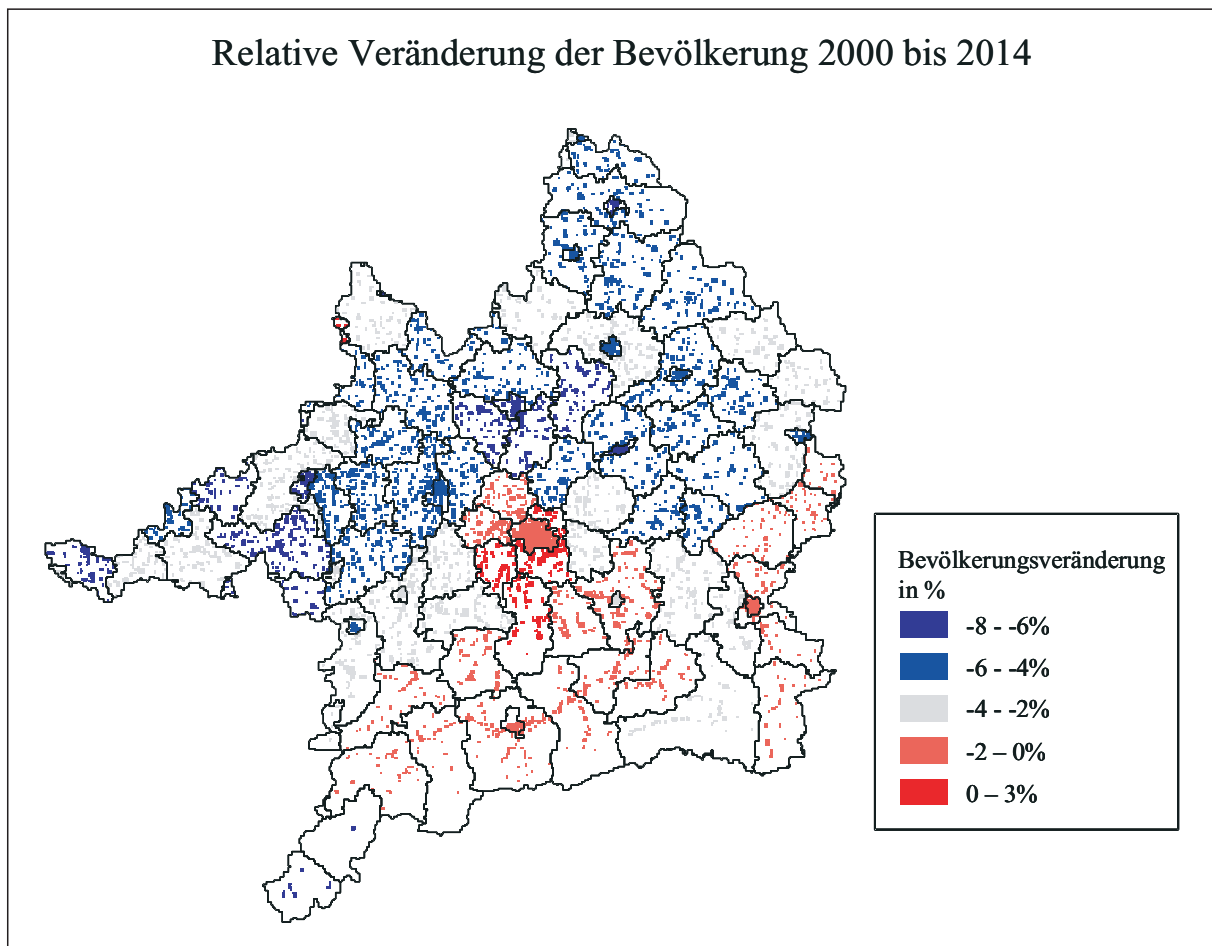


Abb. 16: Veränderung der Bevölkerung auf dem Proxell (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

### Entwicklung der industriellen Wasserentnahme

Die Grundwasserförderung steigt im Szenariozeitraum von 10,46 m<sup>3</sup>/sec auf 11,92 m<sup>3</sup>/sec leicht an. Eine ähnliche Entwicklung zeigt auch die Flusswasserförderung. Sie stieg von 22,56 m<sup>3</sup>/sec auf 23,17 m<sup>3</sup>/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 (s. Abb. 17), 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 18 zeigt die über alle Proxell summierte Grund- und Oberflächenwasserentnahme. Der durchschnittliche Nutzungsfaktor des Wassers stieg dabei von 3,4 auf 5,1 an.

Das Modell bringt durch den leichten Anstieg der Wasserförderung die bei den Telefoninterviews und Besuchen der Unternehmen vor Ort gemachten Erfahrungen zum Ausdruck (s. Kap 3.1.2). Gerade die Vertreter der Papierindustrie sahen kaum Spielraum für grundlegende Innovationen im Bereich der Wassernutzung, die ohne großen äußeren Druck umgesetzt werden würden. Vertreter der chemischen Industrie äußerten sich ähnlich skeptisch gegenüber grundlegenden, wassersparenden Innovationen. In dem Szenariolauf war damit offenbar genügend Wasser vorhanden, um flächendeckend grundlegende Innovationen in der Industrie zu verhindern.

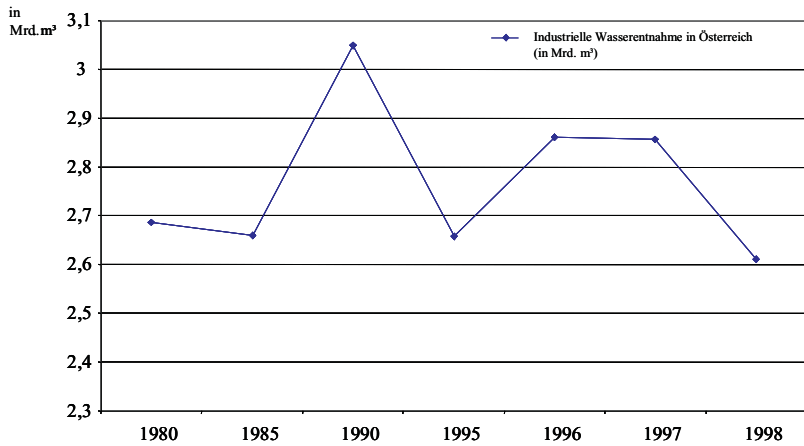
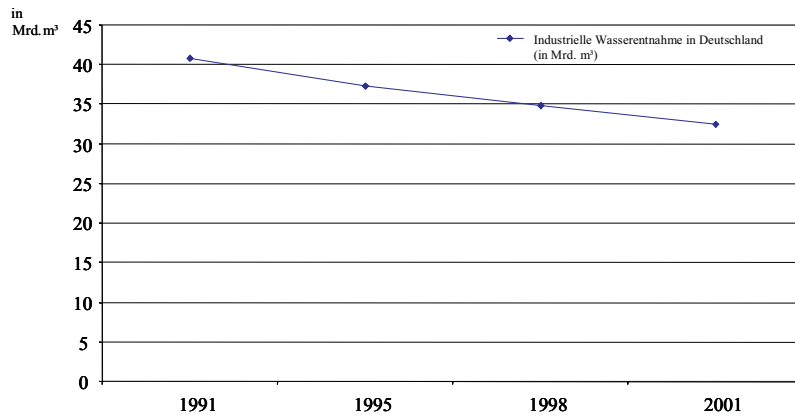


Abb. 17: Entwicklung der industriellen Wasserförderung in den letzten Jahren (Quelle: STATISTIK AUSTRIA 2002; STATISTISCHES BUNDESAMT 2005)

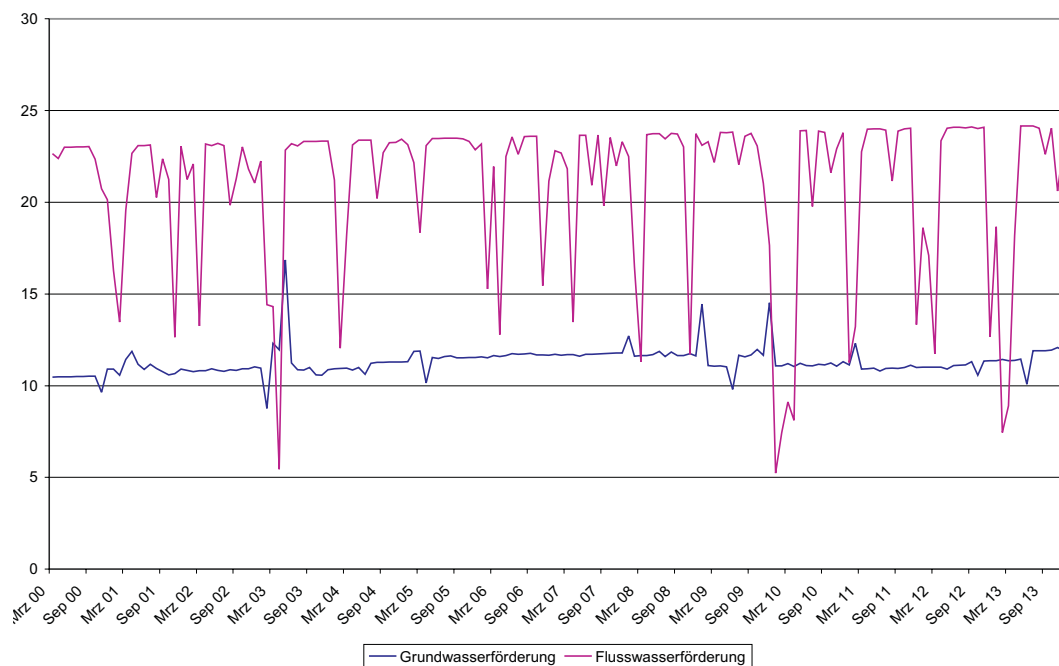


Abb. 18: Entwicklung der industriellen Wasserförderung im Szenariolauf ( $m^3/sec$ ) (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

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 m<sup>3</sup>/sec auf ca. 0,88 m<sup>3</sup>/sec (Abb. 19). 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.

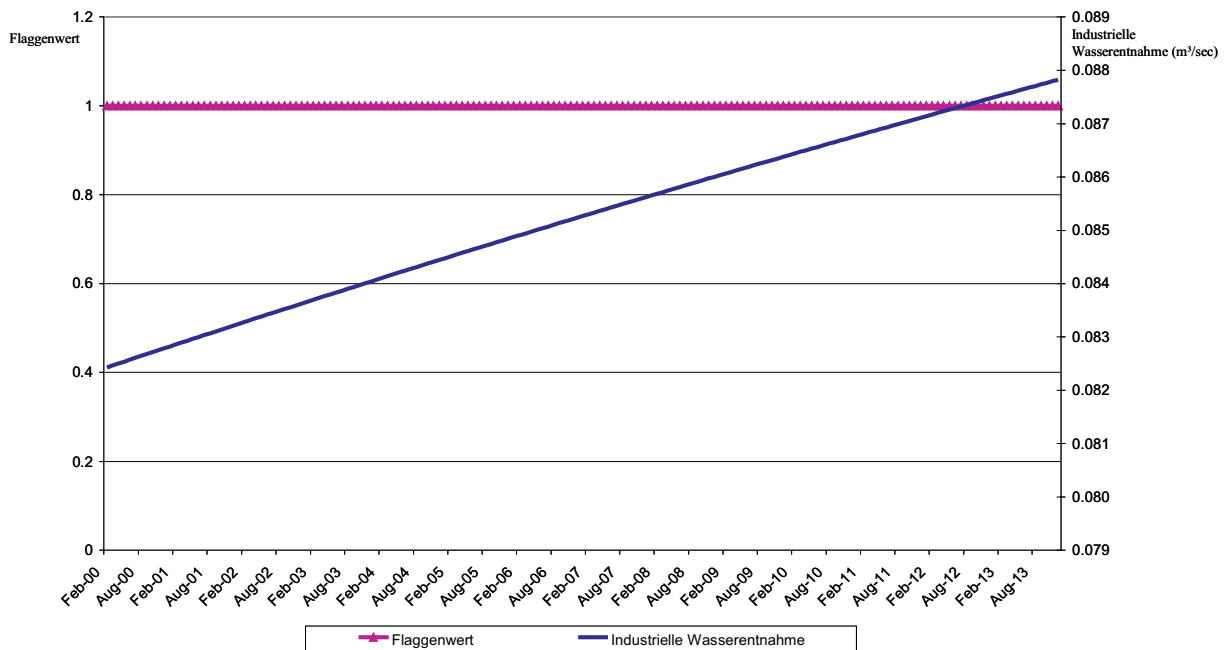


Abb. 19: Modellierung auf einem Proxel mit konstantem Flaggenwert 1 (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

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. 20). Da sich der Flaggenwert nicht erholt hat, verharrte die Wasserentnahme des Unternehmens auf dem niedrigen Niveau.

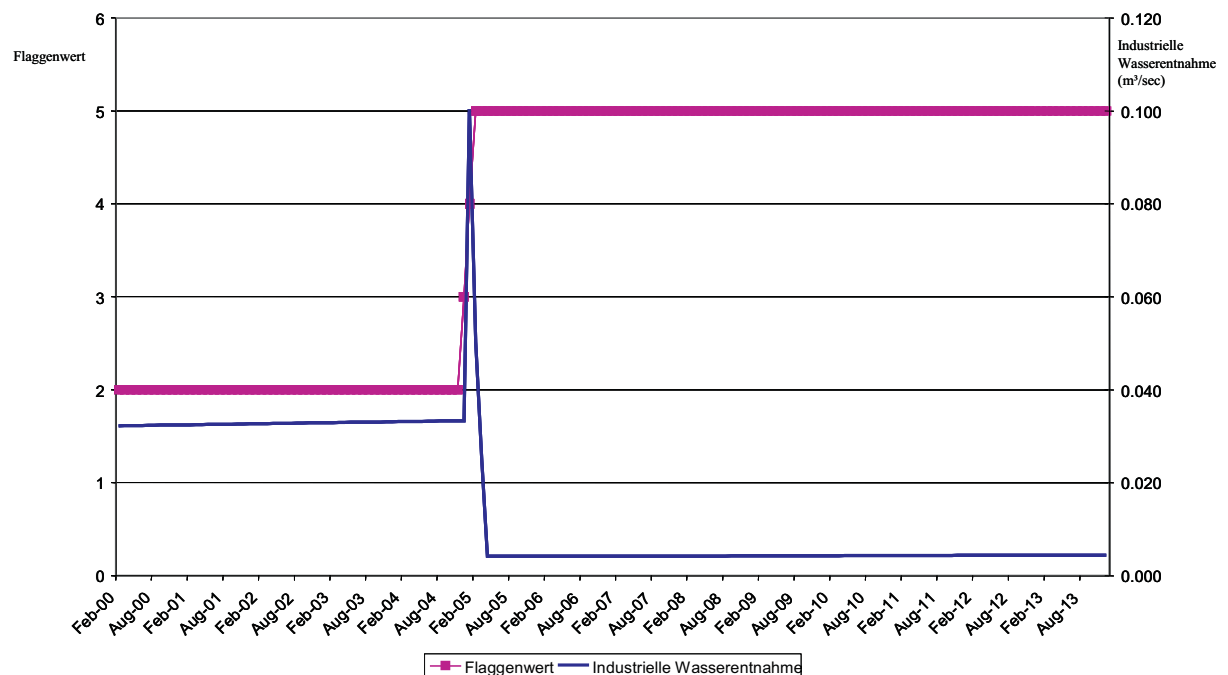


Abb. 20: Modellierung auf einem Proxel mit steigendem Flaggenwert (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

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. 21).

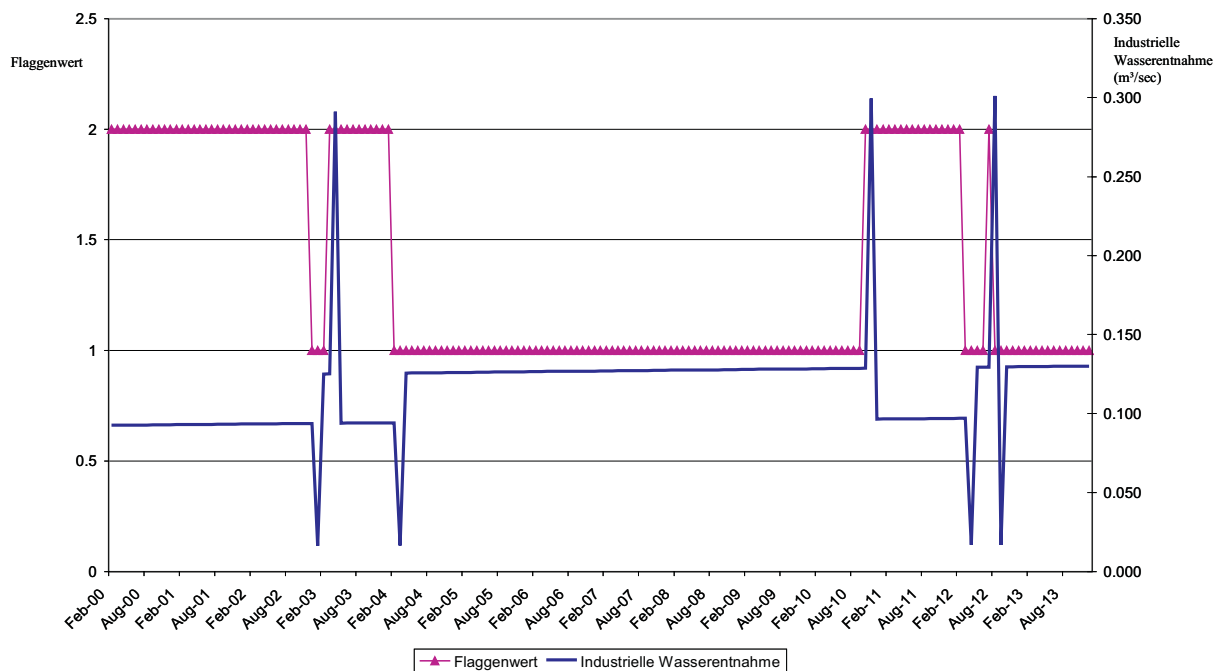


Abb. 21: Modellierung auf einem Proxel mit schwankendem Flaggenwert (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

Es soll an dieser Stelle nicht verschwiegen werden dass die Abbildungen 20 und 21 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 21 auf die Flagge 2 deutlich geringer ausfällt als die Reaktion in Abbildung 20 auf die Flagge 5.

## 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.



## 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 & 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) (Entspricht Parameter Y im Tiefen Modell Industrieunternehmen)
- WDL Wertschöpfung Dienstleistungsbereich (Mrd. Euro in jeweiligen Preisen)
- WS Wertschöpfung Staat (Mrd. Euro in jeweiligen Preisen)
- BLAP Baulandpreis (Euro je Quadratmeter) (Entspricht Parameter oI3 im Tiefen Modell Industrieunternehmen)
- B Einwohner
- FL Fläche (Quadratkilometer)
- SVFL Siedlungs- und Verkehrsfläche (Quadratkilometer)
- YH Haushaltseinkommen (Mrd. Euro in jeweiligen Preisen)
- WAUF Wasserverbrauch der Industrie
- PEWA Wasserpreis (geschätzte Kosten der Eigenförderung von Wasser durch die Industrie) (Entspricht Parameter eC0 im Tiefen Modell Industrieunternehmen)
- $\pi$  Arbeitsproduktivität in der Industrie
- $d\pi$  Abweichung der Produktivität vom Durchschnitt des gesamten Einzugsgebiets ( $\pi$ )
- T Zeittrend
- D1 Dummy für Altötting, Pfaffenhofen, Dingolfing und Rhön-Grabfeld
- D2 Dummy für München
- D3 Dummy für Kitzingen

Das RIWU-Gleichungssystem besteht aus den insgesamt sechs folgenden Modellgleichungen:

$$(1) \quad WS_i = BIP_{i,t-1}^{0.90} e^{-1.51};$$

$$(2) \quad WDL_i = \bar{\pi}^{-0.67} WI_i^{0.40} WS_i^{0.46} \left( \sum_j n_{ij} BIP_{j,t-1} \right)^{0.42} \left( \sum_j n_{ij} \pi_j \right)^{-0.35} e^{1.05D2+0.67D3};$$

$$(3) \quad BIP_i = 16.88 + 1.32(WI_i + WDL_i);$$

$$(4) \quad BLAP_i = (BIP_i / FL_i)^{0.73} (SVFL_i / FL_i)^{-0.86} \left( \sum_j n_{ij} BLAP_j \right)^{0.66} e^{7.02};$$

$$(5) \quad YH_i = BIP_i^{0.75} \left( \sum_j n_{ij} BIP_j / FL_j \right)^{0.15} e^{9.34};$$

$$(6) \quad \pi_i = d\pi_i \cdot \bar{\pi}; \quad \text{wobei: } \bar{\pi} = e^{-93.77+0.04T};$$

## 2. Die Fragebogenaktion als Teil eines dreistufigen Informationsgewinnungsprozesses

**ifo Institut**

für Wirtschaftsforschung

Forschungsbereich Umwelt, Regionen und Verkehr  
 Poschingerstraße 5 81679 München  
 E-mail: egerer@ifo.de Internet: http://www.ifo.de

Telefon: (089) 9224-0 bei Rückfragen: Fr. Gnegel App. 1244  
 Telefax: (089) 9224-2346 Hr. Egerer App. 1346

ifo Institut für Wirtschaftsforschung  
 Umwelt, Regionen und Verkehr  
 Herrn Matthias Egerer  
 Poschingerstraße 5  
 81679 München

**GLOWA-DANUBE**

Verarbeitendes Gewerbe

Ihre Angaben werden **streng vertraulich** behandelt.  
 Der gesetzliche Datenschutz ist voll gewährleistet

Fragebogen-Nr.: 2005031036

**Freiwillige Angaben:**

Name des Betriebs: \_\_\_\_\_

Ansprechpartner: \_\_\_\_\_

Telefon: \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_

Allgemeine Angaben	9) Welcher Faktor wäre Ihrer Meinung nach für diese Situation ausschlaggebend?	III Wasserqualität
1) Die Produktionsstandorte unseres Unternehmens in Süddeutschland befinden sich in (bitte die 3 wichtigsten) <u>89584 Ehingen</u> PLZ Ort _____ PLZ Ort _____ PLZ Ort _____	-- geringe Wassermenge <input type="checkbox"/> erhöhte Wassertemperatur <input type="checkbox"/> mangelnde Wasserqualität <input type="checkbox"/> Sonstiges _____	16) In welcher Form könnte die <u>Qualität des Wassers</u> die Produktion Ihres Betriebs beeinträchtigen? Wasserqualität spielt keine Rolle <input type="checkbox"/> Bei einer Verschmutzung durch... - Schwebstoffe <input type="checkbox"/> - Schadstoffe <input checked="" type="checkbox"/> - Algen <input type="checkbox"/> - Sonstiges _____
2) Wir fördern selbst ja <input checked="" type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ☞ Wenn ja:	I Wassermenge	Folgen von Wassermangel
3) Wir fördern Grundwasser <input checked="" type="checkbox"/> Oberflächenwasser (z. B. Fluss, See) <input checked="" type="checkbox"/>	10) Wird die Produktion Ihres Betriebs beeinträchtigt, wenn <u>zu wenig</u> Wasser vorhanden ist? ja <input checked="" type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> ☞ Wenn ja:	17) In welchem Umfang musste Ihr Betrieb während der Trockenperiode im Sommer 2003 die Produktion zurückfahren? um _____ Prozent <input checked="" type="checkbox"/> keine Auswirkungen auf die Produktion
4) Wieviel m <sup>3</sup> Wasser fördern Sie insgesamt durchschnittlich pro Jahr? ca. <u>10 Mio</u>	11) Wassermangel wirkt sich, außerhalb der üblichen Schwankungen, auf die Produktion Ihres Betriebs ab einem Zeitraum von...aus. bis zu einer Woche <input checked="" type="checkbox"/> bis zu sechs Wochen <input type="checkbox"/> über 6 Wochen <input type="checkbox"/>	18) Eine klimatische Veränderung hätte Auswirkungen auf Ihre <u>Kosten/Technologien</u> : <input type="checkbox"/> wenn eine Trockenperiode wie im Sommer 2003 alle _____ Jahre zu erwarten wäre <input checked="" type="checkbox"/> keine Auswirkungen
5) Wir fördern Wasser zur einmaligen Nutzung <input checked="" type="checkbox"/> mehrfachen Nutzung <input checked="" type="checkbox"/> Kreislaufnutzung <input checked="" type="checkbox"/> ☞ Bei Mehrfach- oder Kreislaufnutzung:	12) Wird die Produktion Ihres Betriebs beeinträchtigt, wenn <u>zu viel</u> Wasser vorhanden ist? ja <input type="checkbox"/> nein <input checked="" type="checkbox"/> ☞ Wenn ja:	19) Eine klimatische Veränderung hätte Auswirkungen auf Ihre <u>Standortwahl</u> : <input type="checkbox"/> wenn eine Trockenperiode wie im Sommer 2003 alle _____ Jahre zu erwarten wäre <input checked="" type="checkbox"/> keine Auswirkungen
6) Wieviel m <sup>3</sup> Wasser nutzen Sie insgesamt durchschnittlich pro Jahr? ca. <u>55 Mio</u>	13) Eine zu hohe Wassermenge wirkt sich, außerhalb der üblichen Schwankungen, auf die Produktion Ihres Betriebs ab einem Zeitraum von...aus. bis zu einer Woche <input type="checkbox"/> bis zu sechs Wochen <input type="checkbox"/> über sechs Wochen <input type="checkbox"/>	20) Wenn Sie aufgrund klimatischer Veränderungen in Technologien investieren würden, welche wären das? Mehrfache Nutzung des Wassers <input checked="" type="checkbox"/> Kreislaufnutzung <input checked="" type="checkbox"/> Sonstiges _____
7) Wir verwenden das geförderte Wasser in erster Linie... zur Kühlung <input type="checkbox"/> als Betriebsmittel <input checked="" type="checkbox"/> zur Reinigung/Spülung <input type="checkbox"/> Sonstiges _____	14) Wird die Produktion Ihres Betriebs beeinträchtigt, wenn die Wassertemperatur <u>zu hoch</u> ist? ja <input type="checkbox"/> nein <input checked="" type="checkbox"/> ☞ Wenn ja:	21) Wie würden Sie reagieren, wenn noch extremere klimatische Verhältnisse eintreten würden? Standortschließung <input type="checkbox"/> Standortverlegung <input type="checkbox"/> Sonstiges _____ Keine Auswirkung <input checked="" type="checkbox"/>
Relevanz von Wassermangel 8) Können Sie sich vorstellen, dass innerhalb der nächsten Jahre Wasser nicht mehr in der erforderlichen Qualität oder Quantität für Ihre Produktion vorhanden ist? ja <input type="checkbox"/> nein <input checked="" type="checkbox"/>	II Wassertemperatur 14) Wird die Produktion Ihres Betriebs beeinträchtigt, wenn die Wassertemperatur <u>zu hoch</u> ist? ja <input type="checkbox"/> nein <input checked="" type="checkbox"/> ☞ Wenn ja:	20) Wenn Sie aufgrund klimatischer Veränderungen in Technologien investieren würden, welche wären das? Mehrfache Nutzung des Wassers <input checked="" type="checkbox"/> Kreislaufnutzung <input checked="" type="checkbox"/> Sonstiges _____

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

GESAMTSEITEN 01

Abb. I: Ein beispielhaft ausgefüllter Fragebogen (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

### 3. Ausgewählte Ergebnisse der Unternehmensbefragung

#### Eigenförderung

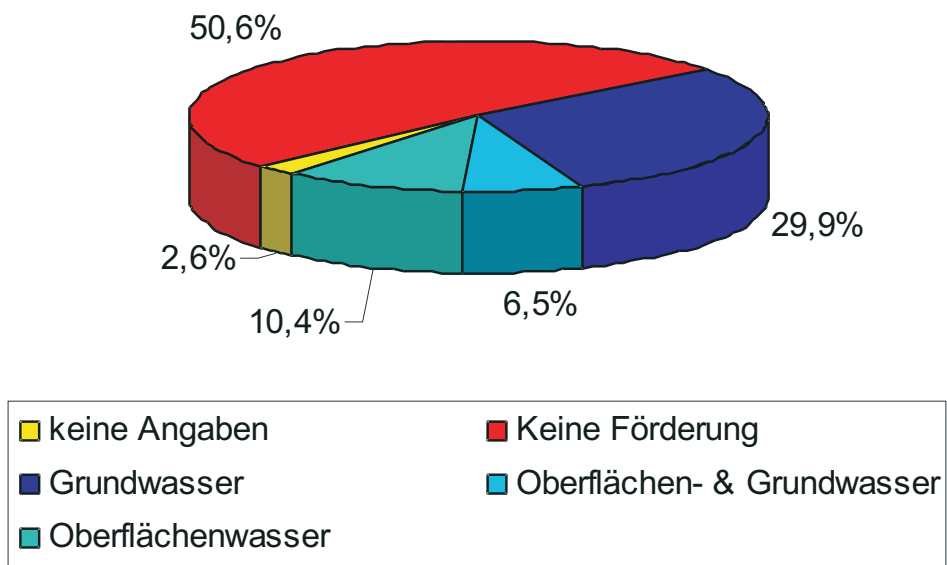


Abb. II: Herkunft des geförderten Wassers (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

#### Nutzungsart nach Branchen

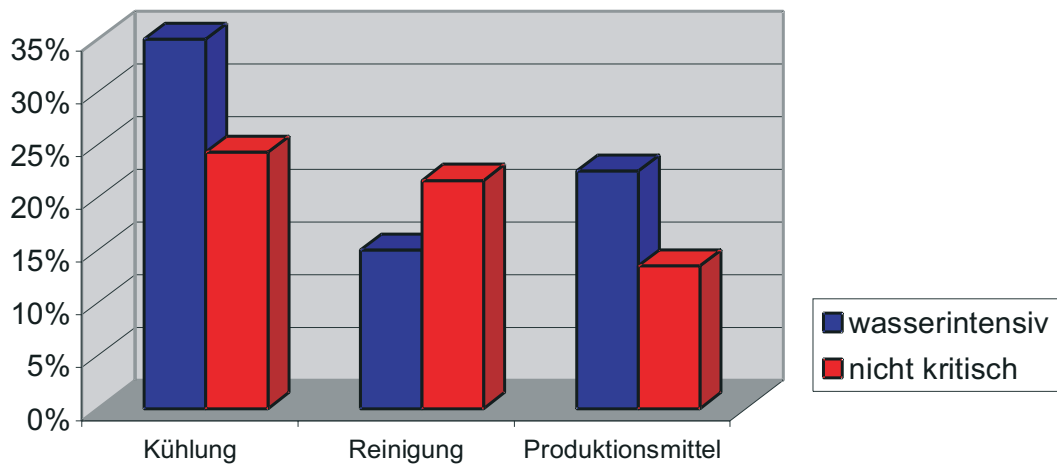


Abb. III: Nutzungsart des Wassers, differenziert nach wasserintensiven und nicht wasserintensiven Branchen (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

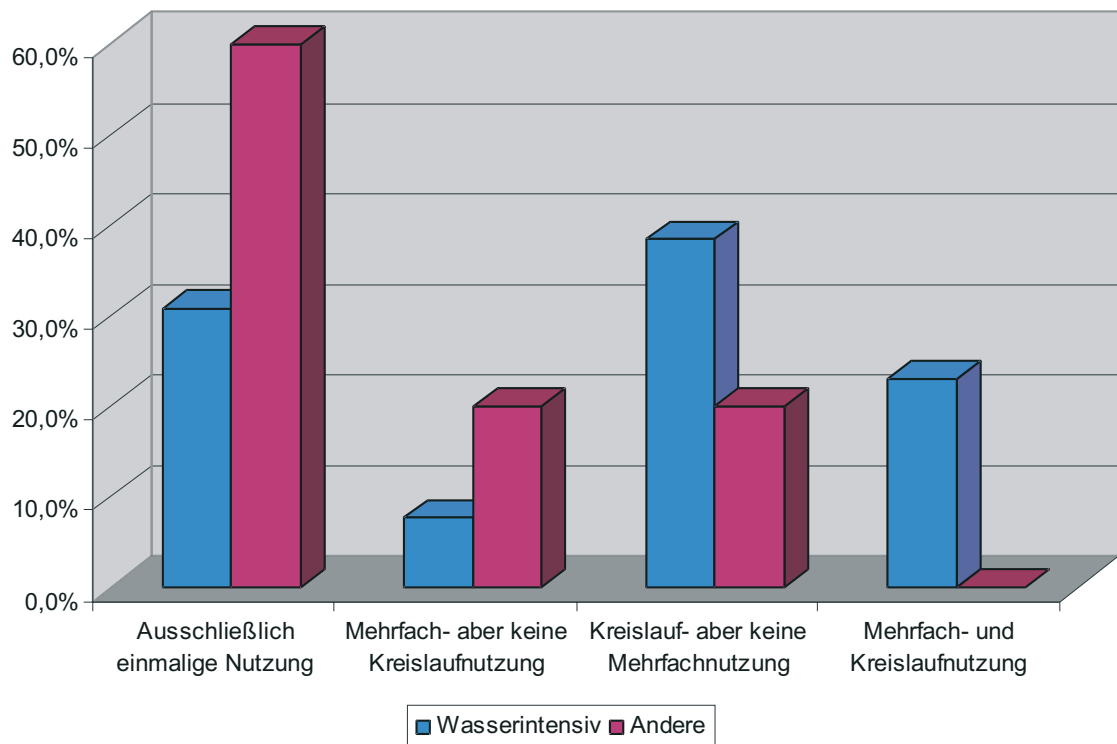


Abb. IV: Technologische Maßnahmen zur Reduktion des Frischwasserbedarfs nach wasserintensiven und nicht wasserintensiven Branchen (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

### Produktionsrückgang 2003

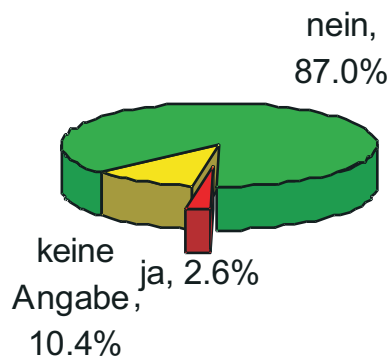


Abb. V: Klimatisch bedingter Produktionsrückgang im Jahr 2003 (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)



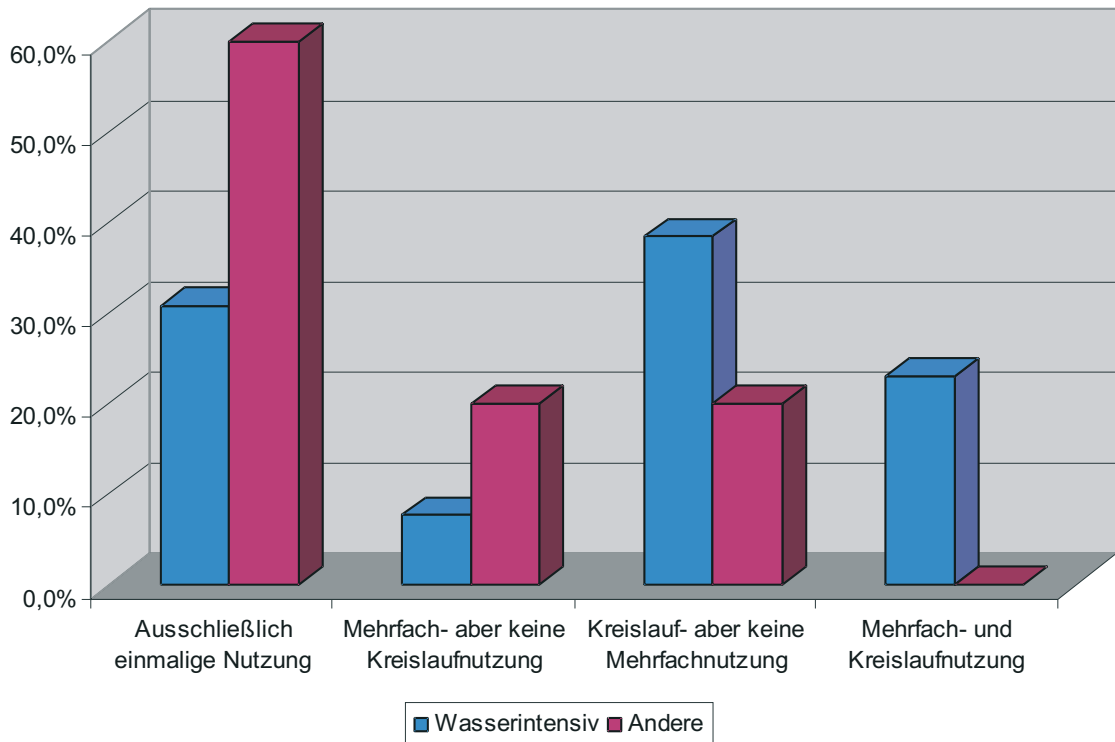


Abb. IV: Technologische Maßnahmen zur Reduktion des Frischwasserbedarfs nach wasserintensiven und nicht wasserintensiven Branchen (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

## Erwartete wasserspezifische Problemfelder

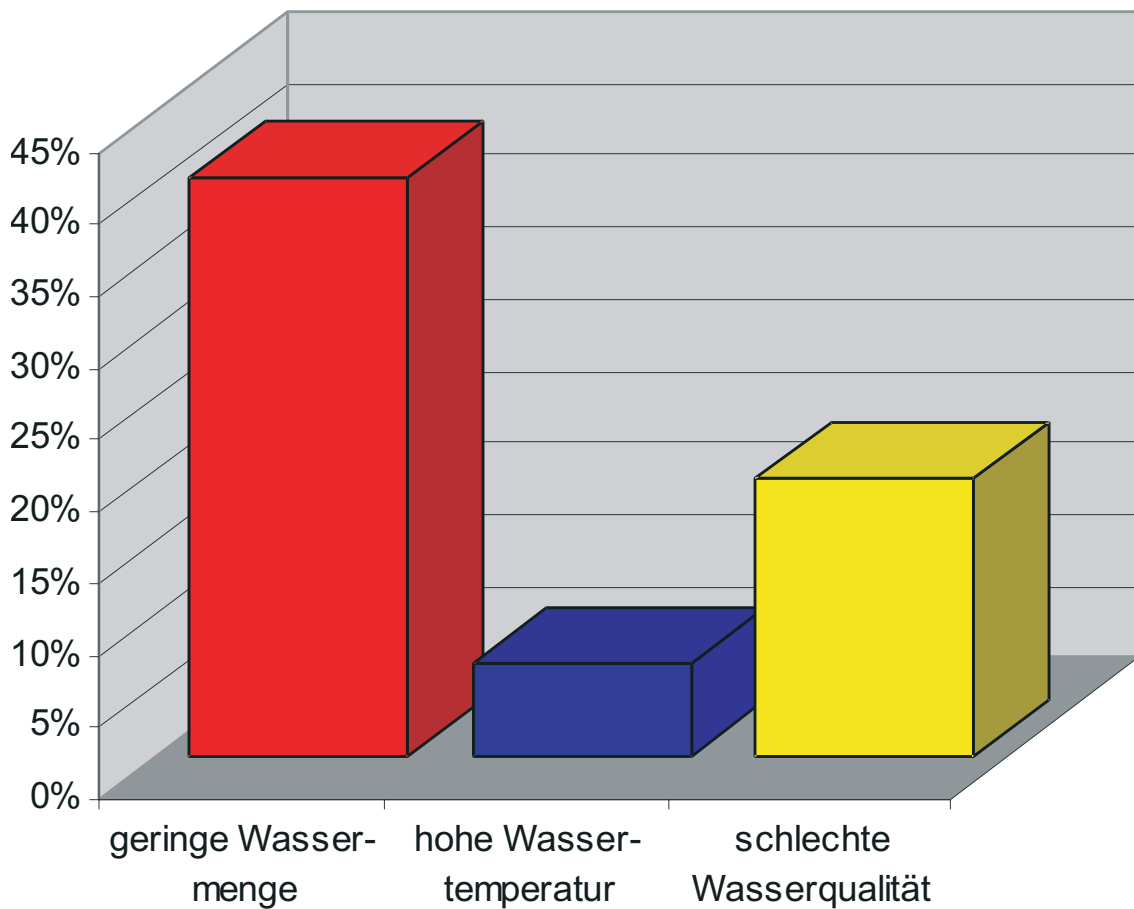


Abb. VII: Erwartete wasserspezifische Problemfelder (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

### Auswirkungen einer Veränderung des Klimas auf die Standortwahl

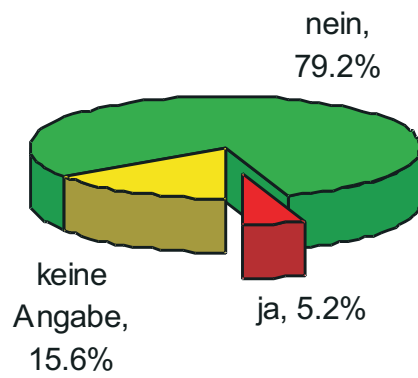


Abb. VIII: Betriebe, deren Standortwahl durch eine kontinuierliche, negative Änderung der klimatischen Bedingungen beeinflusst wäre (Quelle: Darstellung des ifo Instituts)

#### 4. 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 Hauptszenario<sup>8)</sup>, das Wachstumsszenario<sup>9)</sup>, sowie das Alterungsszenario<sup>10)</sup> werden in der folgenden Grafik dargestellt.

	Ausgangsbasis (2004)	Niedrigste Annahme (2050)	Mittlere Annahme (2050)	Höchste Annahme (2050)
<b>Fertilität</b>	1,4	1,4; 1,1 ab 2030	1,4; 1,5 ab 2030	1,4; 1,9 ab 2030
<b>Lebenserwartung</b>	76,4 Jahre Männer/ 82,1 Jahre Frauen	80,3 / 86 Jahre*	84,3 / 89 Jahre*	88,3 / 92 Jahre*
<b>Wanderung</b>	+50.582 Personen / Jahr	+5000-10.000 Per- sonen/ Jahr	+ 30.000, ab 2020 +20.000 Personen / Jahr	+30.000 Personen / Jahr
<b>Bevölkerungsstand</b>	8.174.733	7.576.597	8.986.033	10.974.237

\* Lebenserwartung für Neugeborene (Männer / Frauen) im Jahr 2050

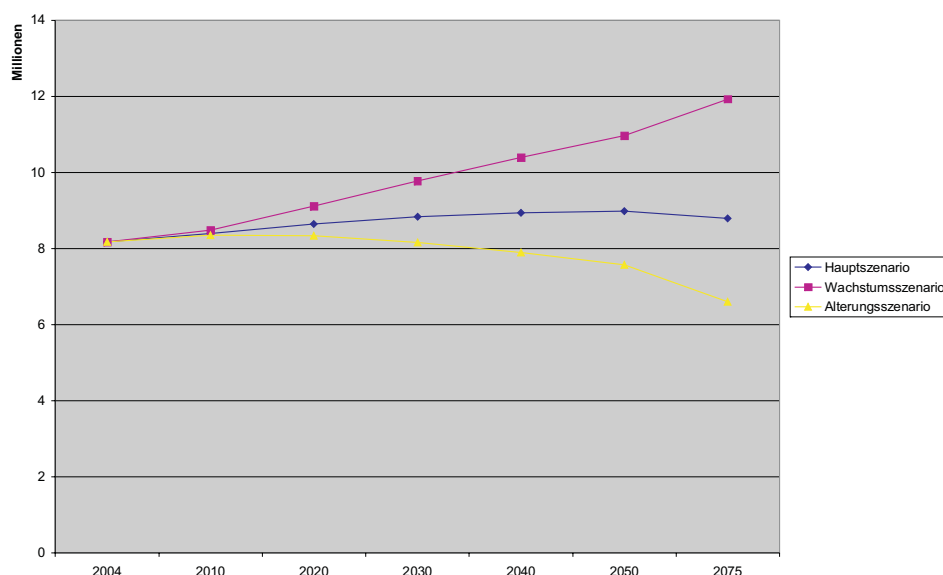


Abb: IX: Ergebnisse der österreichischen Bevölkerungsvorausberechnung von 2005 (Quelle: Darstellung des ifo Instituts nach Statistik Austria (2005b))

<sup>8)</sup> Mittlere Fertilität, Lebenserwartung und Wanderung.

<sup>9)</sup> Hohe Fertilität, Lebenserwartung und Wanderung.

<sup>10)</sup> Niedrige Fertilität, hohe Lebenserwartung, niedrige Wanderung.

# **Entwicklung, Durchführung und Evaluierung eines problemgerechten und computerbasierten informellen Beteiligungsverfahrens**

Teilprojekt: Umweltökonomie  
Leiter: Prof. Dr. Rolf-Ulrich Sprenger (College of Europe)  
Ausführende Stelle: ifo Institut für Wirtschaftsforschung,  
Poschingerstraße 5, 81679 München  
Bereich Umwelt, Regionen, Verkehr

## **1. Überblick**

Das GLOWA-*Stakeholder*-Projekt wurde in der zweiten Phase des interdisziplinären Projekts GLOWA-Danube als integratives Teilprojekt konzipiert. Zielsetzung des *Stakeholder*projektes ist es, 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. Zur Erreichung dieser Zielsetzung wurde die einschlägige Literatur analysiert, es wurden die für GLOWA relevanten *Stakeholder* identifiziert, verschiedene Veranstaltungen für *Stakeholder* organisiert und unterschiedliche Kommunikationsformen für die Verbreitung der Ergebnisse und die Aufrechterhaltung des Dialogs genutzt.

## **2. Organisation**

Das Teilprojekt „*Stakeholder*“ wurde von

- Prof. Dr. Rolf-Ulrich Sprenger (College of Europe)
- Dr. Tillman Rave (ifo Institut)
- Dr. Ursula Triebswetter (ifo Institut)
- Dr. Johann Wackerbauer (ifo Institut)
- Sigune Wieland (ifo Institut)

bearbeitet.

## **3. Sachstand im Berichtszeitraum 01.03.2004-28.02.2007**

### **3.1 Kontext**

#### **3.1.1 Warum *Stakeholder*beteiligung?**

Da es nicht möglich ist, die komplexen Wechselwirkungen zwischen Natur, Wasser und Menschen aus einer einzigen Wissenschaft heraus zu erklären, wird bei GLOWA-Danube auf einen interdisziplinären Ansatz verschiedenster Forschungsdisziplinen gesetzt. Forscher aus allen von diesem Projekt tangierten Fachgebieten arbeiten an diesem neuen Modell des Flusseinzugsgebietsmanagements mit. Dazu zählen Hydrologen, Glaziologen, Meteorologen,

Geographen, Wasserbauingenieure, Umweltökonomien, Umweltpsychologen, Ökologen, und Computerexperten. Die primär zu stellende Frage ist: Warum ist es nötig, so genannte Interessen- und Anspruchsgruppen („Stakeholder“) in solche Projekte mit einzubeziehen? Lange galt es zum Beispiel in Unternehmen, aber auch in der öffentlichen Verwaltung als dogmatischer Widerspruch, die Bevölkerung in öffentliche Entscheidungen mit einzubeziehen. Diese Auffassung ist auf Otto MAYER (1980) zurückzuführen, der in seiner Begründung des modernen Verwaltungsrechts dem Staat mit seinen Verwaltungen die Verkörperung des Gemeinwohl zuschreibt (vgl. MEISTER, PINKEPANK und STAUDACHER 1996, S. 246). Im Zuge immer komplexer werdenden Herausforderungen und Problemzusammenhänge der letzten Jahre sind Politik und Verwaltung jedoch zunehmend auf die Unterstützung der gesellschaftlichen Akteure angewiesen, um Lösungsoptionen zu erarbeiten (vgl. IFOK-INSTITUT 1998, S. 1). Sämtliche gesellschaftlichen Akteure sollen deshalb zur Mitarbeit an politischen Prozessen motiviert werden (vgl. EBENDA). Der Staats- und Verwaltungsapparat nimmt nur noch eine prozesssteuernde Rolle ein (vgl. EBENDA). Ein weiterer Punkt ist, dass die Bevölkerung vorsichtiger und kritischer gegenüber politischen Institutionen geworden ist und falls nötig durch öffentlichen Druck die Revidierung von Entscheidungen jeglicher Art erzwingt. Eine frühzeitige Einbeziehung der Öffentlichkeit kann deshalb finanzielle Risiken minimieren. Des Weiteren können soziale Vorteile bei lokalen Gemeinschaften entstehen wie beispielsweise durch Attraktion lokaler Sponsoren, lokale Netzwerke durch Bürgerengagement und lokale Unterstützung in den Zielgebieten (IFC 1998, S. 7). Deshalb muss das Vertrauen der Bevölkerung wieder gestärkt und aufgebaut werden (vgl. ECONOMIC and SOCIAL RESEARCH COUNCIL 2000, S. 18). Ein zusätzlicher Vorzug der Einbindung gesellschaftlicher Akteure in politische Gestaltungsprozesse ist die Einbringung der „Alltagssicht“ in die Entscheidungsprozesse (vgl. BIOETHIK DISKURS o.J.). Die Bevölkerung wird durch Bürgerbeteiligungsverfahren auf irgendeine Weise in Entscheidungsprozesse mit eingebunden, an denen sie nicht durch Verwaltungsverfahren beteiligt worden wären. Auf diese Weise können Informationen zusammengetragen werden, die ansonsten nur mit großem Aufwand hätten erhoben werden können (vgl. WIBERA 2002). So werden sowohl Sachinformationen, wie zum Beispiel das Wissen von Anwohnern bestimmter Orte, aber auch Wertinformationen, wie zum Beispiel Präferenzen bestimmter gesellschaftlicher Akteure, evaluiert (vgl. EBENDA). Diese gewonnenen Informationen können daraufhin in politische und bürokratische Entscheidungsprozesse einfließen und Berücksichtigung finden (vgl. EBENDA). So können öffentlichen werden Verwaltungen durch Bürgerbeteiligung völlig neue Blickwinkel eröffnet und damit neue Handlungsoptionen zu den klassisch-formalen Verwaltungsverfahren hinzutreten (vgl. MEISTER, PINKEPANK und STAUDACHER 1996, S. 245). Es profitiert folglich nicht nur die Öffentlichkeit von der Beteiligung an Entscheidungsprozessen, sondern auch die Wissenschaft und der staatliche Verwaltungsapparat. Aus diesen Gründen ist es notwendig, die Bevölkerung an politischen Entscheidungsprozessen zu beteiligen und ihnen eine aktive Partizipation zu ermöglichen. Als wichtigstes Kriterium ist die frühzeitige Information der vom Projekt betroffenen Bürgern anzusehen, denn eine informierte Öffentlichkeit kann die Vor- und Nachteile eines Projekts besser einordnen und sich sinnvoll an projektbezogenen Diskussionen beteiligen (vgl. IFC 1998, S. 3). Auf diese Weise wird ebenfalls das Selbstverständnis der Bevölkerung als Bürger gestärkt und das Interesse an sie selbst betreffende Entscheidungen angeregt. Eine transparente Entscheidungsfindung ist deshalb entscheidend, um das Vertrauen der Bürger in die politischen Institutionen wieder herzustellen (vgl. ECONOMIC and SOCIAL RESEARCH COUNCIL 2000, S. 18). Weiterhin müssen begründete und unbegründete Ängste der Bevölkerung in Verhandlungs- und Entscheidungsprozesse einkalkuliert werden. Als Kehrseite der Medaille zu diesem Sachverhalt darf nicht nur auf das Meinungsbild der Öffentlichkeit vertraut werden (EIDGENÖSSISCHE ANSTALT FÜR WASSERVERSORGUNG, ABWASSERREINIGUNG UND GEWÄSSERSCHUTZ o.J.). Zu jedem Sachverhalt müssen ebenfalls Expertenmeinungen angehört und ausgewertet werden, um faktische Hintergrundinformationen zu erhalten, die in die Diskussion mit einfließen müssen. Experten, Politik und Bevölkerung müssen deshalb in einem kontinuierlichen und systematischen Diskurs stehen.



So unterschiedlich die im einzelnen eingesetzten Beteiligungsverfahren und die jeweiligen Einsatzgebiete auch sein mögen, verbinden die verschiedenen Formen der *Stakeholder*-Beteiligung doch eine Reihe von Gemeinsamkeiten in Bezug auf ihre grundsätzlichen Funktionen. *Stakeholder*-Beteiligungen zielen in der Regel darauf ab,

- betroffene und andere Anspruchsgruppen in Entscheidungsprozesse einzubeziehen,
- mehr Transparenz beim Entscheidungsprozess zu schaffen,
- bei den Beteiligten eine gemeinsame Wissensgrundlage und gemeinsames Problemverständnis zu schaffen,
- den Austausch von Einschätzungen und begründeten Meinungen zu fördern,
- gegenseitiges Verständnis für die Positionen und Wertungen der anderen Beteiligten aufzubauen,
- zu einer diskursiven Verständigung zu gelangen,
- gemeinsam Lösungen zu erarbeiten, und letztlich
- die Akzeptanz von Entscheidungen zu erhöhen.

### 3.1.2 Politische Rahmenbedingungen

Dem zunehmenden Interesse der *Stakeholder* an einer Beteiligung hat inzwischen auch die Politik Rechnung getragen. Als aktuelle Beispiele für die Einbeziehung der *Stakeholder* bei der Entscheidungsfindung sind die Aarhus-Konvention und die EU-Wasserrahmenrichtlinie anzusehen.

#### Die Aarhus-Konvention

Das „Übereinkommen über den Zugang zu Informationen, die Öffentlichkeitsbeteiligung an Entscheidungsverfahren und den Zugang zu Gerichten in Umweltangelegenheiten“ (vgl. PARTIZIPATION und UMWELTMEDIATION IN EUROPA o.J.) wurde im Rahmen der United Nations Economic Commission for Europe (UN/ECE), der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen, verhandelt. Allgemein bekannt ist dieses Abkommen unter dem Namen „Aarhus-Konvention“, genannt nach der dänischen Stadt Aarhus, in der die vierte Europäische Ministerkonferenz zum Thema „Umwelt für Europa“ stattfand (vgl. MEDIATION IN EUROPA o.J.a). Im Rahmen dieser Konferenz wurde die Konvention am 25. Juni 1998 angenommen und trat am 30. Oktober 2001 in Kraft (vgl. EBENDA). Sie umfasst 22 Artikel und zwei Anhänge (vgl. ZSCHIESCHE o.J.). Die Zielsetzung der Aarhus-Konvention basiert auf dem ersten Grundsatz der Erklärung von Stockholm, der die Umwelt des Menschen behandelt (vgl. HECHT 2001, S. 133). Die Konvention beschließt auf Basis dieser Grundlagen, dass es das Recht eines jeden Menschen ist, in einer intakten Umwelt zu leben (vgl. EBENDA). Diese Tatsache impliziert ebenfalls Verpflichtungen gegenüber kommenden Generationen (vgl. EBENDA). Deshalb müssen sowohl die Öffentlichkeit als auch staatliche Einrichtungen ihre Meinungsbildung und Rechtssetzungsprozesse transparent gestalten (vgl. EBENDA).

Die Präambel der Aarhus-Konvention spekuliert durch den verbesserten Zugang zu Informationen für Interessierte auf eine gesteigerte Beteiligung der Öffentlichkeit an Entscheidungsverfahren. Das würde die Entscheidungen verbessern und die Umsetzung erleichtern. Weiterhin würde die Einbindung der Öffentlichkeit zu einer Bewusstseinsbildung der Öffentlichkeit in Umweltfragen führen. Eine informierte und kritische Öffentlichkeit kann ihren Anliegen Ausdruck geben und so mit Behörden in Dialog treten. Auf diese Weise kann eine Verständigung zwischen Behörden und Öffentlichkeit erreicht werden (vgl. HECHT 2001, S. 120). Die Konvention besteht aus folgenden drei Säulen (vgl. Abb. 1):

**„Kern“ der Aarhus-Konvention sind die so genannten drei Säulen („Three Pillars“):**

- Zugang zu Informationen über die Umwelt (einschließlich Erhebung und Vorbereitung von Informationen über die Umwelt; Art 4f),
- Öffentlichkeitsbeteiligung an Entscheidungen über bestimmte Tätigkeiten bei umweltbezogenen Plänen, Programmen und Politiken sowie während der Vorbereitung von Vorschriften und normativen Instrumenten (Art 6 bis 8) sowie
- Zugang zu Gerichten (Art 9 der Konvention)

Damit sollen

- aufgrund der ersten Säule natürlichen und juristischen Personen Umweltinformationen unter Gewährung eines Rechtszuspruches zugänglich sein,
- aufgrund der zweiten Säule der Öffentlichkeit frühzeitig und zwingend in Entscheidungen einbezogen werden, die Auswirkungen auf die Umwelt haben können und
- aufgrund der dritten Säule zwingende Rechtsmittel offen stehen.

Abb. 1: Das Wesen der Aarhus-Konvention (Quelle: HECHT 2001, S.15)

Mittlerweile wurde die Konvention in 22 Mitgliedsstaaten der EU ratifiziert (Stand Juli 2002; vgl. MEDIATION IN EUROPA ( o.J). Weitere 17 Staaten sowie die Europäische Gemeinschaft haben ihre Befolgung bis zum 21.12.1998 (vgl. ZSCHIESCHE o.J.) vertraglich zugesichert, bereiten aber derzeit durch Anpassung der Institutionen die Ratifizierung vor (vgl. ÖGUT 2001). Beim UNECE-Büro mit Sitz in Genf wurde inzwischen das so genannte Compliance Committee eingerichtet. Diese Institution prüft gemeldete Fälle von Verletzungen der Konvention durch Verwaltungen. Das Compliance Committee hat keine rechtsetzende Macht, kann aber an das betroffene Land Empfehlungen aussprechen (vgl. LEXIKON DER NACHHALTIGKEIT o.J.).

### **Die EU-Wasserrahmenrichtlinie**

Die am 22. Dezember 2000 in Kraft getretene Wasserrahmenrichtlinie berücksichtigt die in der Aarhus-Konvention beschlossenen Grundsätze und schreibt eine Bürgerbeteiligung gesetzlich durch Artikel 14 (1a, b, c) vor. Der Herausforderung der Öffentlichkeitsbeteiligung wird in Deutschland mit der Einrichtung von Beiräten auf Länderebene entgegengetreten, in denen Fachverbände und Naturschutzverbände, aber auch Agrar- und Wirtschaftsverbände mitwirken. Zur Bürgerbeteiligung auf regionaler bzw. lokaler Eben werden „Runde Tische“ zur Mitwirkung von interessierten Bürgern eingeführt (vgl. EBENDA o.J., S. 15).

Artikel 14 (1a, b, c) der Wasserrahmenrichtlinie bildet die gesetzliche Verankerung der Einbeziehung aller Interessierten in der Umsetzung der Richtlinien.

## **Artikel 14**

### **Information und Anhörung der Öffentlichkeit**

- (1) Die Mitgliedstaaten fördern die aktive Beteiligung aller interessierten Stellen an der Umsetzung dieser Richtlinie, insbesondere an der Aufstellung, Überprüfung und Aktualisierung der Bewirtschaftungspläne für die Einzugsgebiete. Die Mitgliedstaaten sorgen dafür, dass sie für jede Flussgebietseinheit Folgendes veröffentlichen und der Öffentlichkeit, einschließlich den Nutzern, zugänglich machen, damit diese Stellung nehmen kann:
  - a) einen Zeitplan und ein Arbeitsprogramm für die Aufstellung des Plans, einschließlich einer Erklärung über die zu treffenden Anhörungsmaßnahmen, und zwar spätestens drei Jahre vor Beginn des Zeitraums, auf den sich der Plan bezieht;
  - b) einen vorläufigen Überblick über die für das Einzugsgebiet festgestellten wichtigen Wasserbewirtschaftungsfragen, und zwar spätestens zwei Jahre vor Beginn des Zeitraums, auf den sich der Plan bezieht;
  - c) Entwürfe des Bewirtschaftungsplans für die Einzugsgebiete, und zwar spätestens ein Jahr vor Beginn des Zeitraums, auf den sich der Bewirtschaftungsplan bezieht. Auf Antrag wird auch Zugang zu Hintergrunddokumenten und -informationen gewährt, die bei der Erstellung des Bewirtschaftungsplanentwurfs herangezogen wurden.
- (2) Um eine aktive Einbeziehung und Anhörung zu ermöglichen, räumen die Mitgliedstaaten für schriftliche Bemerkungen zu diesen Unterlagen eine Frist von mindestens sechs Monaten ein.
- (3) Die Absätze 1 und 2 gelten auch für die aktualisierten Bewirtschaftungspläne für die Einzugsgebiete.

Abb. 2: RICHTLINIE 2000/60/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Quelle: BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT 2001)

Besondere Mitarbeit der Öffentlichkeit wird dabei bei der Aufstellung und den darauf folgenden Anhörungen, dem Entwurf, der Überprüfung und der Aktualisierung der Bewirtschaftungspläne gefordert (vgl. RUCHAY 2001, S. 118). Dazu sollen der Zeitplan und das Arbeitsprogramm des Entwurfs einschließlich sämtlicher Fristen und Anhörungen veröffentlicht werden (vgl. EBENDA). Zusätzlich soll ein Überblick über wichtige Bewirtschaftungsfragen sowie der Entwurf des jeweiligen Bewirtschaftungsplanes der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden, ebenso wie alle Hintergrundinformationen (vgl. EBENDA). Dieser Zugang der Öffentlichkeit wird laut Europäischer Kommission durch das Internet erfüllt (vgl. JEKEL 2003). Auf diese Weise soll die Einbindung der Öffentlichkeit in sämtliche Entscheidungen gewährleistet werden. Sämtliche Fristen von Anhörungsmaßnahmen und mündlichen und schriftlichen Stellungnahmen sind durch obigen Artikel der WRRL gesetzlich geregelt. So soll der Öffentlichkeit ein angemessener Zeitraum zur Informationsbeschaffung und Meinungsbildung geschaffen werden, um effektiv und informiert an den jeweiligen Diskussionen den Bewirtschaftungsplan betreffend mitzuwirken und ihre Interessen zu vertreten. Der in der Wasserrahmenrichtlinie zugrunde gelegte Ansatz setzt auf die Integration der Bevölkerung bei der inhaltlichen Erarbeitung der durch die Richtlinie festgelegten Ziele.

### 3.2 Zielsetzungen des Teilprojekts

Die Aufgabe der *Stakeholder*-Beteiligung ist auch für das modellgestützte Management von Flusseinzugsgebieten von zentraler Bedeutung. Einerseits stellt sich für entscheidungsunterstützende Modelle die Frage nach dem konkreten Anwendungsbezug, der gesellschaftlichen Relevanz und Praxistauglichkeit und mithin der Überwindung des vielfach zu beobachtenden „Paradigm Lock“ zwischen Wissenschaft und jeweiligem Umfeld (vgl. Abb. 3). Entscheidungsunterstützende Modelle sollen dazu dienen, Wissensbestände für *Stakeholder* handhabbar zu machen. Insofern dient die *Stakeholder*-Beteiligung der Prüfung der Praxistauglichkeit und Benutzerfreundlichkeit derartiger Modelle und mithin dem neuen Paradigma partizipativer, interaktiver Prozesse (vgl. Abb. 4).

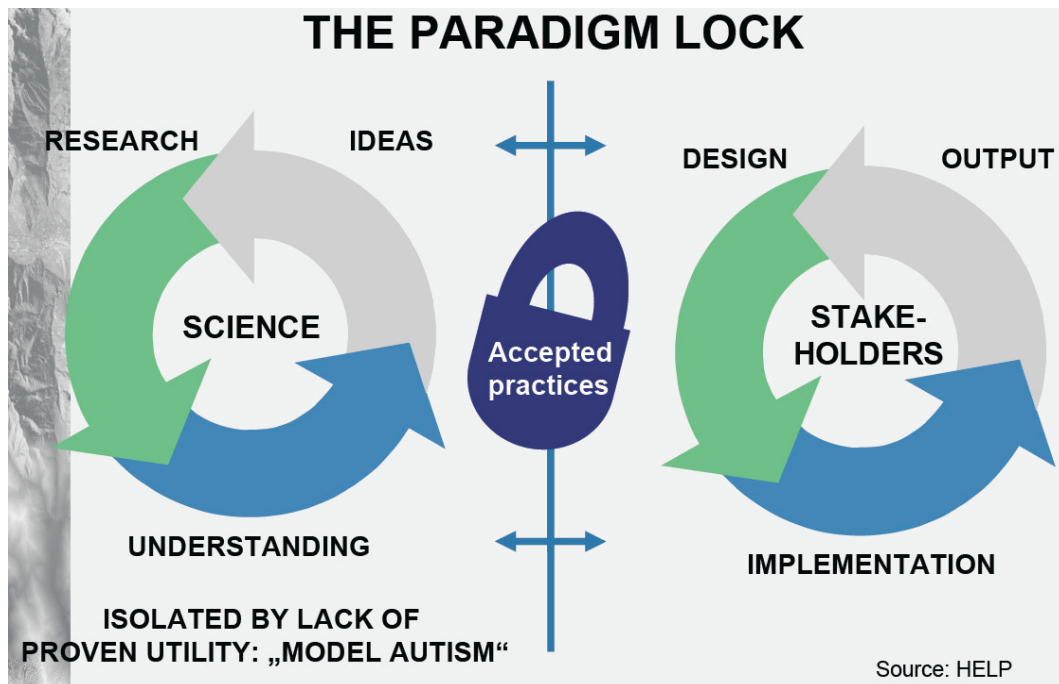


Abb. 4:

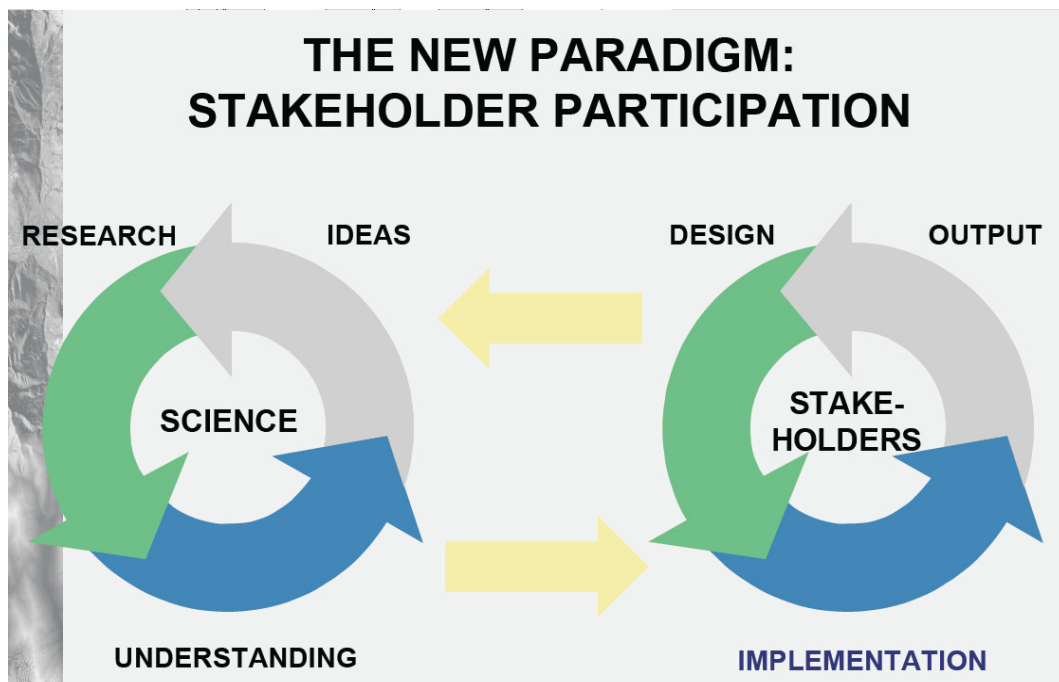


Abb. 3:

Die vorgesehene Kommunikation zwischen Modellentwicklern und Interessenten bzw. Anspruchsgruppen im Sinne einer *Stakeholder*-Beteiligung erweist sich dabei weitgehend als Neuland. Zwar gibt es - wie erwähnt - inzwischen Beispiele für einen Dialog zwischen Wissenschaft und unterschiedlichen Anspruchsgruppen. Doch die Tatsache, dass sich bei diesen Dialogbeispielen Wissenschaftler und (außer-wissenschaftliche) Anspruchsgruppen z.B. um einen Runden Tisch versammeln und miteinander ins Gespräch kommen, adelt diese Aktivitäten noch nicht zu einem *Stakeholder*-Beteiligungsverfahren.

Um eine methodische Beliebigkeit zu vermeiden, bedarf es einer problem- und adressatengerechten Strukturierung und Entwicklung eines Beteiligungsverfahrens, in das einerseits das notwendige Sachwissen über dessen Leistungsfähigkeit, die Einsatzmöglichkeiten, die Reichweite und Qualität der erwartbaren Ergebnisse eingehen und andererseits die Professionalität bei der Durchführung sowie Effizienz und Ergebnisqualität durch eine prozessbegleitende Evaluierung sichergestellt werden. Vor diesem Hintergrund geht es in dem vorliegenden Teilprojekt um folgende fünf Zielsetzungen:

**Ziel 1: Konzipierung eines problem- und adressatengerechten informellen Beteiligungsverfahrens**

Ziel ist die Auswahl und Grobkonzipierung eines Beteiligungsverfahrens, das problem- und adressatenspezifisch, gegebenenfalls durch Nutzung, Kombination und Adaption mehrerer Verfahren, den projektspezifischen Zielen und Anforderungen und dabei den verfügbaren Ressourcen gerecht wird.

**Ziel 2: Planung und Durchführung des entwickelten Beteiligungsverfahrens**

Auf der Grundlage des Grobkonzepts für die vorgesehene *Stakeholder*-Beteiligung geht es dann darum, das ausgewählte, ggf. adaptierte Beteiligungsverfahren im Detail zu planen und in die Praxis umzusetzen. Dadurch sollen die Chancen der *Stakeholder*-Beteiligung für die konkrete Arbeit an und mit DANUBIA genutzt und ein effektiver und effizienter Austausch zwischen Modellentwicklern und *Stakeholdern* erzielt werden.

**Ziel 3: Auswertung des Experiments**

Die erfolgreiche Erprobung eines informellen Beteiligungsverfahrens bei der Entwicklung und Nutzung eines Entscheidungs-Unterstützungssystems ist für sich betrachtet ohne Zweifel ein wichtiges, aber noch nicht hinreichendes Ergebnis. Angesichts der für die Wissenschaft immer bedeutender werdenden Aufgabe des Dialogs mit der Öffentlichkeit ist ein *Know-how-Transfer* aus dem vorliegenden Teilprojekt ein zentrales Anliegen, um bei vergleichbaren Projekten aufwendige Entwicklungsarbeiten und handwerkliche Fehler bei der Organisation und Durchführung von *Stakeholder*-Beteiligungsprozessen zu vermeiden.

Insofern besteht die wichtige Aufgabe darin, das Beteiligungsverfahren zu begleiten, die Ergebnisse zu sichern und systematisch auszuwerten und eine Evaluierung des Prozesses zu organisieren. Darüber hinaus sollen die Erfahrungen aus dem Beteiligungsverfahren der Öffentlichkeit und anderen Institutionen in Form eines Leitfadens zur Verfügung gestellt werden.

**Ziel 4: Entwicklung einer computerbasierten Infrastruktur zur *Stakeholder*-Beteiligung**

Der nach Abschluss der ersten Projektphase entwickelte Prototyp von DANUBIA stellt ein gekoppeltes Simulationssystem dar, das alle Modelle der beteiligten Disziplinen aus Natur- und Sozialwissenschaften integriert und in der zweiten Phase zu einem Entscheidungs-Unterstützungssystem für ein nachhaltiges Wassermanagement ausgebaut werden soll. Ein wesentliches Ziel des *Stakeholder*-Projekts ist daher, DANUBIA in Zukunft nicht nur Ex-



perten sondern auch *Stakeholdern* mit unterschiedlichem Wissensstand nutzbar zu machen. Von entscheidender Bedeutung für die Akzeptanz des Systems ist hierbei die Schaffung einer praktikablen Bedienoberfläche, die sich adaptiv auf das Profil eines *Stakeholders* einstellen und Ergebnisse benutzergerecht aufbereiten kann.

### 3.3 Konkrete Ansprüche an das Beteiligungsverfahren im Projekt „GLOWA-Danube“

Grundsätzliche Anforderungen an das Projekt sind:

- Die Ausrichtung der Modellentwicklung schon im Entstehungsprozess auf potentiell interessierte Anspruchsgruppen.
- Die Erhöhung der Transparenz und des Verständnisses in Bezug auf die Modellgegebenheiten und Einsatzmöglichkeiten des Modells.
- Die Einbindung von Experten- und Erfahrungswissen durch *Stakeholder*.
- Die gemeinsame Entwicklung und Analyse von Szenarien.
- Die gemeinsame Ergebnispräsentation.
- Der Aufbau einer Loyalitätsbeziehung zwischen Modellentwicklern und *Stakeholdern*.
- Die Erhöhung der öffentlichen Akzeptanz von Modellergebnissen (vgl. Projektantrag: GLOWA-Danube: Entwicklung, Durchführung und Evaluierung eines problemgerechten und computerbasierten informellen Beteiligungsverfahrens zur Nutzung von GLOWA-Danube durch interessierte Stakeholder, S. 9).

### 3.4 Festlegung der Arbeitsschritte

Um das Ziel des GLOWA-*Stakeholder*-Projekts 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 2007). Auf dieser Basis wurde Einigkeit über folgende weiteren Aktivitäten im Rahmen des GLOWA-*Stakeholder*projekts erzielt:

#### 1. Durchführung von Experten-Workshops:

Diese Experten-Workshops sollten bei Fachleuten Interesse an GLOWA-Danube wecken, Gelegenheit bieten, über die Modellgrundlagen und die Modellimplementierung zu diskutieren und der Validierung der Ex-post Simulation dienen.

#### 2. Entwicklung von Referenzszenarien mit den *Stakeholdern*:

Auf der Basis der Teilnehmer der Experten-Workshops, aber auch unter Einbeziehung weiterer *Stakeholder* aus dem Akteursbereich sollten verschiedene Referenzszenarien entwickelt werden.

#### 3. Entwicklung von Alternativszenarien mit den *Stakeholdern*:

Ebenfalls sollten mit diesen Akteuren ein oder zwei Alternativszenarios entwickelt werden. Bei der Entwicklung von Referenz- und Alternativszenarien sollte dabei ein hohes Maß an Akzeptanz und eine Integration der *Stakeholder* in den Modellierungsprozess gewährleistet werden.

#### 4. Breitere Öffentlichkeitsbeteiligung:

Parallel dazu sollen Informationsveranstaltungen die Arbeit zu den Szenarien einer größeren Öffentlichkeit zugänglich machen. Damit bietet sich zudem die Gelegenheit, neue *Stakeholder* zu gewinnen.

## 5. 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 Rahmen der Analyse wurden folgende Beteiligungsverfahren in die engere Auswahl gezogen:

- Planungsziele
- Ratschlagverfahren
- Runder Tisch
- Szenario-Workshop
- Teledemokratie und internetgestütztes Verfahren
- Zielgruppenbeteiligung
- Zukunftskonferenz/Future Search Conference
- Zukunftswerkstatt

Die Bewertung der verschiedenen Beteiligungsverfahren erfolgte nach folgendem Schema:

- Darstellung: Merkmale, Einsatzmöglichkeiten, Ablauf und Akteure
- Anwendungsbeispiele
- Bewertung von Stärken und Schwächen: u.a. Aufwand (Finanziell, zeitlich und organisatorisch)
- Schlussfolgerungen für *GLOWA-Stakeholder*

### 3.5 Konzipierung des Beteiligungsverfahrens

Nach einer Fülle von Anregungen aus der Literatur konnten die konkreten Ansprüche an das ComputermodeLL und an das Beteiligungsverfahren in Bezug auf das Projekt „GLOWA-Danube“ geklärt werden. Bei den prinzipiell in Betracht zu ziehenden zehn Verfahren wurde nach dem Grad der Eignung für das Projekt „GLOWA-Danube“ sortiert. Den Anfang bildet das am wenigsten geeignete Verfahren für das Projekt, das letzte Verfahren wird das am besten geeignete Verfahren bilden. Als Kriterien für diese StaffeLung wurden Merkmale, Einsatzmöglichkeiten, Ablauf und Akteure des Beteiligungsverfahrens herangezogen. Weiterhin werden Stärken und Schwächen eines jeden Verfahrens herausgestellt. Verdeutlicht wurden die Ausführungen an konkreten praktischen Beispielen, bei denen das jeweilige Beteiligungsverfahren zum Einsatz gekommen ist. Schließlich wurden die konkreten Vorteile des Beteiligungsverfahrens in Bezug auf das Projekt „GLOWA-Danube“ hin untersucht und in Hinblick auf den finanziellen, den organisatorischen und den zeitlichen Aufwand kategorisiert. Als Bewertungsskala wurden drei Stufen eingeführt: niedrig (+), mittel (++) und hoch (+++). Eine weitere Kategorie bildete die Zweckmäßigkeit des Verfahrens in Hinblick auf das Projekt „GLOWA-Danube“. Mit dieser Variable wird ausgedrückt, wie gut das Beteiligungsverfahren auf das genannte Projekt zugeschnitten ist bzw. ob das Modell sehr (+), etwas (++) oder gar nicht (+++) modifiziert werden muss. Sind keine Angaben über die entsprechende Kategorie eines Verfahrens vorhanden, wird die Angabe „keine Information“ (k. I.) eingesetzt. Diese Angabe ist bei der Durchführung des Verfahrens als Risikofaktor in Bezug auf die exakte Planung des Beteiligungsverfahrens zu bewerten. Nach dieser Abhandlung sämtlicher Verfahren wurde am Ende das Verfahren der „Fokusgruppe“ ausgewählt.

### **3.5.1 Merkmale der Fokusgruppe**

Ziel der *Stakeholder*-Beteiligung in Form von Fokusgruppen ist die Verbesserung der Praxisrelevanz. Die einzelnen Gruppen umfassen in der Regel sechs bis zwölf Personen. Die Diskussionsleitung in den einzelnen Gruppen wird von mindestens zwei Moderatoren übernommen, die abwechselnd die Diskussion leiten. Durch sie wird der Austausch von Informationen und Erfahrungen auf den Diskussionsgegenstand fokussiert (vgl. BECKMANN und KECK 1999, S. 40).

### **3.5.2 Einsatzmöglichkeiten**

- Zeitliche Dimension: Das Beteiligungsverfahren von Stakeholdern ist an keinen zeitlichen Horizont gebunden und kann deshalb sowohl in lang- als auch in kurzfristigen Projekten eingesetzt werden.
- Räumliche Dimension: Fokusgruppen sind sowohl für die kommunale, regionale, bundesweit und EU-Ebene einsetzbar.
- Konflikttyp: Fokusgruppen können sowohl in konfliktfreien Situationen als auch bei latenten Konflikten angewendet werden (EBENDA).

### **3.5.3 Ablauf**

Die Diskussion einer Fokusgruppe erfolgt im Rahmen von Sitzungen, für die in der Regel ca. zwei Stunden angesetzt werden (→ zeitlicher Aufwand +). Dieser Richtwert variiert je nach Umfang der Problemstellung. Durch den Austausch von Informationen, Gedanken und Sichtweisen beeinflussen sich die Teilnehmer im Laufe der Diskussion gegenseitig und kreieren so neue Ideen und Ansätze (vgl. BECKMANN und KECK 1999, S. 40)

### **3.5.4 Akteure**

In Fokusgruppen treffen Laien und Interessenvertreter aufeinander, die anhand spezifischer Merkmale in die verschiedenen Gruppen eingeteilt wurden. Diese Merkmale können zum Beispiel die gemeinsame räumliche Betroffenheit sein, ebenso wie soziale Aspekte (EBENDA).

### **3.5.5 Stärken von Fokusgruppen**

Die wesentliche Funktion der Fokusgruppe kann in der Ideengewinnung sowie im Sondieren von Einstellungen und Erwartungen gesehen werden (vgl. SORA 2002). Weiterhin ist die Fokusgruppe von Vorteil, wenn ein Themenfeld noch sehr unstrukturiert ist und die Strategie noch in den Ansätzen steckt (vgl. WIDO 2003). Praktische Vorteile ergeben sich durch die vertretbaren Kosten und den überschaubaren Zeitaufwand. (→ finanzieller Aufwand +; → zeitlicher Aufwand +) (vgl. DÜRRENBARGER und BEHRINGER 1999).

### **3.5.6 Schwächen von Fokusgruppen**

Ein Problem des Bürgerbeteiligungsverfahrens „Fokusgruppe“ ist die Tatsache, dass die Auswertung und Interpretation maßgeblich in der Hand des Forschers liegt. Eine weitere Schwäche ist im Element des Moderators zu sehen: Durch seine starke Rolle in der Fokusgruppe kann er unter Umständen die Diskussion maßgeblich beeinflussen. Andererseits ist die starke Rolle des Moderators von Vorteil um dominante Diskussionsteilnehmer in ihre Schranken zu verweisen und schwächere Gruppenmitglieder zu ermutigen (vgl. DEPARTMENT OF VALUE-PROCESS MANAGEMENT MARKETING GROUP o.J.). Eine Gefahr besteht bei der heterogenen Zusammensetzung von Fokusgruppen: Stark divergierende Interessen können sich negativ auf eine konstruktive Diskussion auswirken. Außerdem sollten keine befreundeten Personen oder Ehepaare in ein und derselben Fokusgruppe aufgenommen werden, da Tendenzen zur Gleichförmigkeit der Meinungen besteht. Dadurch würde die Anzahl der

am Gespräch beteiligten Teilnehmer reduziert (vgl. EBENDA). Eine Frontenbildung der befreundeten Personen oder Ehepaare kann unter Umständen zu einer Beeinträchtigung der Dynamik der Gruppe führen.

### 3.5.7 Stärken der Fokusgruppen in Bezug auf das Projekt „GLOWA-Danube“

Das Beteiligungsverfahren der Fokusgruppen ist an keinen zeitlichen Horizont gebunden. Weiterhin kann es auf jeder politischen und gesellschaftlichen Ebene eingesetzt werden. In Bezug auf den Konflikttyp ist das Verfahren sowohl für latente als auch konfliktfreie Situationen geeignet, was den Anforderungen des Projekts genügen würde. Durch den Einsatz von Moderatoren können eventuelle Kontroversen direkt aus der Welt geschafft werden. Weiterhin kann durch die Moderation die Fokussierung auf den Diskussionsgegenstand erreicht und somit eine effektive Diskussion gewährleistet werden. Eine weitere Stärke der Fokusgruppe zeigt sich im Einsatz unstrukturierter Themenfelder. Da im Vorfeld offen ist, wie sich die verschiedenen Teilbereiche entwickeln werden, bietet diese Beteiligungsverfahren die entsprechenden Konditionen. Ein weiterer Vorteil ist die Tatsache, dass die Zusammensetzung der Fokusgruppen je nach Themenstellung variiert. Zudem ist mit einem geringen finanziellen und zeitlichen Aufwand zu rechnen. Da für die Durchführungsdauer von Fokusgruppen zwei Stunden angesetzt werden, die größtenteils aus Diskussionen bestehen, wird der organisatorische Aufwand in Form von Vorbereitung und Planung als durchschnittlich, wenn nicht sogar unter dem Durchschnitt liegend geschätzt werden.

Verfahren	Finanzieller Aufwand	Organisatorischer Aufwand	Zeitlicher Aufwand	Zweckmäßigkeit
Fokusgruppe	+	k. I. (+/++)	+	+++

+ niedrig; ++ mittel; +++ hoch; k.I. Keine Information

Abb. 5: Kategorische Zusammenfassung des Beteiligungsverfahrens „Fokusgruppen“ (Quelle: Eigene Erstellung)

### 3.5.8 Identifizierung von Stakeholdern

Interessierte, Interessengruppen oder so genannte betroffene Anspruchsgruppen jeglicher Art werden in der Literatur generalisierend als „*Stakeholder*“ bezeichnet. Nach JANISCH versteht

„eine präziser gefasste Definition unter „Stakeholdern“ oder „strategischen Anspruchsgruppen“ Handlungseinheiten bzw. soziale Gruppen, die ihre Interessen in Form von konkreten Ansprüchen an die Unternehmung formulieren und entweder selbst oder durch Interessenvertreter auf die Unternehmungsziele, deren Erreichung sowie auf die Tätigkeit und das Verhalten der Unternehmung maßgeblichen Einfluss ausüben können, und selbst von den Unternehmungszielen, deren Gewichtung und Erreichung sowie von der Tätigkeit und dem Verhalten der Unternehmung beeinflusst werden“ (vgl. JANISCH 1992).

Nach der Definition des Terminus „*Stakeholder*“ muss als nächster Schritt die Identifikation von Interessierten und Interessengruppen, also *Stakeholdern* unternommen werden, um direkt und indirekt beeinflusste Gesellschaftsgruppen des betreffenden Projekts herauszufinden. Weiterhin wird auf diese Weise herausgestellt, wer projektrelevante Informationen beizusteuern hat, bzw. welche Interessengruppen den Erfolg des Projekts behindern wollen. Dabei muss beachtet werden, dass eine *Stakeholder*identifikation stets kontextspezifisch, d.h. auf das jeweilige Projekt zugeschnitten durchgeführt werden muss (vgl. IFC 1998, S. 22).

Der Grund dafür sind die spezifischen Ziele, die jedes einzelne Projekt verfolgt und deshalb bestimmte gesellschaftliche Bereiche tangiert. Selbst wenn zwei Projekte dasselbe

Ziel verfolgen, dies aber jeweils mit unterschiedlichen Mitteln tun, ist eine *Stakeholder*-identifikation für jedes einzelne Projekt nötig, denn jedes Projekt wird aufgrund der unterschiedlichen Zielverfolgung andere gesellschaftliche Bereiche tangieren und deshalb verschieden Stakeholdergruppen mit einbeziehen. Dabei kann sich durchaus eine Schnittmenge zwischen beiden Projekten ergeben. Trotzdem müssen auch Randgruppen beider Zielverfolgungen beachtet werden. Um alle Interessierte und Interessengruppen zu erfassen und nicht nur die offensichtlich vom Projekt beeinflussten Interessengruppen, kann folgender Fragenkatalog zu Hilfe genommen werden (vgl. Abb. 6).

- Who will be affected by the negative environmental and social impacts of the project, both on- and off-site?
- Who will benefit from the project other than the project sponsor and investors?
- Who will be responsible for implementing measures designed to avoid, mitigate, or compensate for the project's negative impacts?
- Whose cooperation, expertise, or influence would be helpful to the success of the project?
- Who are the most vulnerable, least visible, and voiceless for whom special consultation efforts may have to be made?
- Who supports or opposes the changes that the project will bring?
- Whose opposition could be detrimental to the success of the project?

Abb. 6: Fragenkatalog zur Identifikation von Interessierten und Interessengruppen (Quelle: IFC 1998, S. 24)

Im Zuge der Identifikation sollte weiterhin für jeden Interessenten bzw. jede Interessengruppe die Legitimation der Teilnahme herausgestellt werden. Es muss geklärt werden, ob der *Stakeholder* bzw. die *Stakeholder*gruppe seine eigenen oder die Interessen Anderer vertritt (vgl. EUROPEAN FOUNDATION FOR THE IMPROVEMENT OF LIVING AND WORKING CONDITIONS (2003). Nach der Identifizierung der verschiedenen *Stakeholder*gruppen können diese in verschiedene Kategorien eingeteilt werden. Es kann zum Beispiel zwischen direkt vom Projekt Betroffenen (*primary stakeholders*) und indirekt vom Projekt Betroffenen (*secondary stakeholders*) unterschieden werden (vgl. EBENDA). Diese Einteilung sollte jedoch keinen Einfluss auf Gleichbehandlung aller Gruppen nehmen.

Weiterhin müssen andere relevante *Stakeholder* beachtet werden, die an der Entwicklung und der Zielerreichung des Projekts interessiert sind, bzw. sein werden. Hierzu zählen:



- Politicians
- Local government authorities
- Commercial and industrial enterprises, including suppliers, customers, and contractors
- Labor unions
- National environmental and social government agencies
- The media
- Local and national environmental and developmental nongovernmental organizations (NGOs)
- International activist groups
- Research institutes
- Colleges and universities

Abb. 7: Identifikation andere relevanter *Stakeholder* (Quelle: IFC 1998, S. 23)

Es ist empfehlenswert, während der Projektentwicklung stets die betroffenen Interessengruppen aufzulisten und diese Liste mit jeder Entwicklungsstufe des Projekts zu aktualisieren. So ist es möglich, die verschiedenen Interessen der involvierten gesellschaftlichen Akteure den entsprechenden Entwicklungsstufen zuzuordnen, was bei der Durchführung des Projekts hilfreich sein wird und die Einbeziehung der verschiedenen Interessengruppen transparent gestalten wird (vgl. IFC 1998, S. 24). Als praktische Hilfestellung zur Identifikation sämtlicher *Stakeholder* wird das so genannte „*impact zone mapping*“ vorgeschlagen. Bei dieser Technik wird eine Luftaufnahme des projektspezifischen Gebiet genutzt. In diese Aufnahme werden die verschiedenen Wirkungen des Projekts auf die Umwelt eingetragen. Diese Wirkungen können politischer, wirtschaftlicher und sozialer, aber auch klimatischer, hydrologischer oder anderer Natur sein. Durch diese graphische Darstellung können ebenfalls die betroffenen *Stakeholder*gruppen ausfindig zu machen (vgl. EBENDA).

### 3.5.9 Festlegung der Beteiligungsprinzipien und -regeln

Das Ziel eines jeden Partizipationsprozesses ist nicht die Durchsetzung der Mehrheitsmeinung, sondern die Herstellung einer „win-win“-Situation (vgl. ZSCHIESCHE o.J.). Die Beteiligungsverfahren der *Stakeholder* verfolgen demnach einen demokratischen, mitwirkenden und kommunikativen Ansatz, von dem jede Interessenpartei profitieren sollte (vgl. BECKMANN und BECK 1999, S. 2). Selbstverständlich können nicht sämtliche Wünsche der verschiedenen Interessengruppen berücksichtigt werden. Bei jedem Partizipationsmodells steht das Gemeinwohl an vorderster Stelle. Grundsätzlich sind die folgenden Prinzipien und Verhaltensregeln zu berücksichtigen, die von der Gruppe der Modellierer akzeptiert wurden:

<b>Prinzipien und Verfahrensregeln</b>	<b>Inhalt</b>
Chancengleichheit	Allen <i>Stakeholdern</i> müssen gleiche Beteiligungschancen eingeräumt werden. Jeder, der sich aus seinem Selbstverständnis heraus als Betroffener ansieht, muss die Chance haben, seine Interessen, Kenntnisse und Fähigkeiten einzubringen.
Frühzeitigkeit der Einbindung	Alle Teilnehmer sollen in einem frühen Stadium einbezogen werden und nicht erst zu einem Zeitpunkt, wo Änderungen, wenn überhaupt, nur noch marginal möglich sind.
Gleichberechtigung	Alle Beteiligten sind bezüglich ihrer Position innerhalb des Verfahrens gleichgestellt. Hierarchien, Kompetenzen und Machtverhältnisse außerhalb des Verfahrens können keine Privilegien und Sonderrechte innerhalb des Verfahrens begründen.
Offenheit für Szenarien	Keine Anspruchsgruppe darf versuchen, die eigenen Präferenzen als Ergebnis des Verfahrens durchzusetzen. Alle Beteiligten müssen bereit sein, auf ihre Präferenzen zugunsten anderer, als besser bewerteter Optionen zu verzichten.
Transparenz	Zwischen- und Endergebnisse müssen den beteiligten Gruppen zugänglich gemacht werden; die Transparenz des Verfahrens ist ein wesentliches Element seiner Legitimierung.
Effizienz	Es ist ein positives Verhältnis zwischen Zeitaufwand und Kosten des Verfahrens und den zu erwartenden Ergebnissen anzustreben.
Klares Mandat	Die Fragestellung an die Teilnehmer, ihre Aufgaben und ihre Kompetenzen müssen zu Beginn klar benannt und akzeptiert sein.
Zeitplan	Ein klarer Zeitplan erlaubt allen Beteiligten, ihren Aufwand vorab zu bestimmen und zu akzeptieren.
Verbindlichkeit	Die von den Beteiligten akzeptierten Aufgaben müssen auch verbindlich erfüllt werden.

Abb. 8: Prinzipien und Regeln für Beteiligungsverfahren (Quelle: In Anlehnung an BECKMANN und KECK 1999)

### 3.5.10 Technische Vorbereitung

Die Vorbereitung der Implementierung beinhaltet die Planung sowie die Durchführung des informellen Beteiligungsverfahrens, die wiederum in folgende 3 Etappen aufgeteilt werden können:

1. Planung des Verfahrens im Hinblick auf Inhalte, Teilnehmer, Gruppen und Ressourcen
2. Vorbereitung und Organisation der Veranstaltungen
3. Durchführung der Veranstaltungen

In der Planungsphase waren folgende Entscheidungen zu treffen:

- Inhalte
  - Festlegung der zu verhandelnden Themen
  - Entwicklung eines Diskussionsleitfadens
  - Bestimmung der Optionen für die Szenarienbildung und -berechnung

- Teilnehmergruppen
  - Ziel
  - Auswahlverfahren
- Bestimmung der Sitzungstermine
- Ressourcenallokation
  - Budget
  - Personal
  - Zeitplan für Prozessinput und *-output*

In der Vorbereitungsphase waren folgende Aufgaben zu bewältigen:

- Bereitstellung von Materialien, u.a.
- Einladungsmaterial
- Informationsmaterial
- Arbeitsmaterial zur Vorbereitung von Szenariooptionen, Darstellung von Szenarienergebnissen und zur Analyse und Interpretation von Szenarienergebnissen
- Infrastruktur
  - Wahl der Veranstaltungsorte
  - Auswahl der Räumlichkeiten
  - Bereitstellung der technischen Infrastruktur
  - Bereitstellung moderner Moderationsmaterialien
- Personal
  - Festlegung der Rollen
  - Bestimmung der Moderatoren
  - Auswahl der Modellexperten
  - Auswahl der Zuständigen für die Ergebnissicherung

Die Durchführungsphase umfasste im wesentlichen folgende Aufgaben:

- Betreuung der Teilnehmenden
- Moderation des Beteiligungsverfahrens
- Interaktion
  - Bereitstellung von Experten- und Erfahrungswissen für das Modell
  - Hilfestellung bei Szenarioentwicklung
- Dokumentation
  - Protokolle
  - Befragung der Teilnehmenden

Zur besseren Vor- und Nachbereitung der einzelnen Veranstaltungen diente die folgende Checkliste:

Was?	Wann?	Wer?
<b>Eventvorbereitung</b>		
Festlegung der Veranstaltung	2-3 Monate Vorlauf	Koordinator, Ifo und Beteiligte
Festlegung von Veranstaltungsort und -termin	2 Monate Vorlauf	Ifo und Beteiligte
Festlegung des Programms und Zeitplans	8 Wochen Vorlauf	Ifo und Beteiligte
Bestimmung der Referenten	Mit dem Programm, andernfalls kurzfristig	Beteiligte
Formulierung der Einladung	2 Monate Vorlauf	Ifo
Auswahl der Teilnehmer inkl. Adressliste	2-3 Monate Vorlauf und lfd. Egrünzung	Ifo und Beteiligte
Unterschreiben und Versenden der Einladungen	8 Wochen Vorlauf	Koordinator/Ifo
Teilnahmebestätigung	21 Tage vor Veranstaltung	an Ifo mit Kopie an Beteiligte
Entwicklung des Evaluationsfragebogens	1 Woche Vorlauf	Ifo
<b>Eventabwicklung</b>		
Technische Ausstattung	Rechtzeitig vor Veranstaltung	Ifo bzw. veranstaltender Partner
Schriftliche Präsentationsvorlage	5 Tage vor Veranstaltung	Beteiligte
Poster	5 Tage vor Veranstaltung	Alle GLOWA-Danube-Partner
Flyer	5 Tage vor Veranstaltung	Veranstalter
Publikationsstand	5 Tage vor Veranstaltung	Alle GLOWA-Danube-Partner
Getränke im Tagungsraum	Rechtzeitig vor Veranstaltung	Veranstalter
Mittagessen	Abzuklären, kein Budget vorgesehen	
Protokoll	7 Tage vor Veranstaltung	Auswahl unter Beteiligten
Verteilen und Einsammeln des Evaluationsfragebogens	Am Tag der Veranstaltung	Ifo
Vereinbarung einer Anschlussveranstaltung	Am Tag der Veranstaltung	Alle Beteiligten
<b>Event-Nachbereitung</b>		
Protokollerstellung	5 Tage nach Veranstaltung	Protokollführer
Vorlage der Präsentation für die Website	Spätestens 5 Tage nach Veranstaltung	Koordinator/Ifo
Einstellen der Präsentation und des Protokolls in die Website	7 Tage nach Veranstaltung	Ifo
Auswertung des Evaluationsfragebogens	5 Tage nach Veranstaltung	Ifo
Debriefing	Nach Absprache	Alle GLOWA-Teilnehmer
Ergänzung der Adresslisten	5 Tage nach Veranstaltung	Alle Beteiligten
Ausarbeiten von vereinbarten Aufgaben	Nach Absprache	Teilprojekte

Abb. 9: Checkliste für die Gestaltung und Organisation der Veranstaltungen im Rahmend des *Stakeholder*-Projekts (Quelle: Eigene Zusammenstellung)

### 3.5.11 Auswahl des Evaluierungsverfahrens

Als Schwachstelle vieler informeller Beteiligungsverfahren erweist sich die Tatsache, dass ihre Ergebnisse und Erfahrungen zumeist nicht an die „Außenwelt“ weitergegeben werden. Darüber hinaus zeigen die bisherigen Recherchen, dass ein erheblicher Bedarf an einem allgemeinverständlichen Leitfadens für die selbständige und effektive Durchführung von *Stakeholder*-Beteiligungsverfahren im Spannungsfeld Wissenschaft/Modellentwicklung und Öffentlichkeit besteht. Die gegenwärtige Lücke zwingt immer wieder zur aufwendigen Neu- oder Weiterentwicklung von problem- und adressatengerechten Beteiligungskonzepten. Daher stellte sich für das vorliegende Teilprojekt die Aufgabe, die Ergebnisse des Prozesses systematisch zu sammeln und auszuwerten. Auf der Basis einer systematischen Evaluation sollen die Ergebnisse dann der Öffentlichkeit und anderen Institutionen in geeigneter Form zur Verfügung gestellt werden.

Zur Auswertungsphase, die im Wesentlichen der Nachbereitung der einzelnen Veranstaltungen diente, zählten im Einzelnen:

- Ergebnissicherung
- Evaluierung

Vor dem Hintergrund der geplanten Auswertung des *Stakeholder*-Beteiligungsverfahrens einigten sich die DANUBIA-Beteiligten auf ein prozessbegleitendes und -verbesserndes Evaluierungsverfahren.

## 3.6 Implementation

Die entwickelte Konzeption wurde in drei Expertenworkshops, zwei Szenarioworkshops, im Rahmen der Status-Konferenz und bei weiteren externen Veranstaltungen umgesetzt.

### 3.6.1 Expertenworkshops

Das Teilprojekt *Stakeholder* hat drei Expertenworkshops organisiert, in denen es den Forschungsansatz von GLOWA-Danube einem fachkundigen Auditorium vorgestellt und zur Diskussion gestellt hat. Im Einzelnen handelte es sich dabei um die folgenden Veranstaltungen:

- 09.05.2005 *Stakeholder*-Workshop „Wasserwirtschaft“
- 18.10.2005 Expertenrunde „Veränderungen von Wasserverbrauch und Wasserversorgung im Donaeinzugsgebiet unter Global Change-Bedingungen“
- 20.10.2005 Expertenrunde „Veränderung von Landnutzung und Wasserbedarf im Donaeinzugsgebiet unter Global Change Bedingungen“

Zu den Workshops im Einzelnen

- „Wasserwirtschaft (Grundwasser/ Hydrologie)“: Auf der Basis einer Einführung in GLOWA-Danube durch Prof. Mauser und das *Stakeholder*-Beteiligungsverfahren durch Prof. Sprenger wurden in drei Vorträgen von Dr. Barthel, Dr. Willems und Dr. Ludwig 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 mehrere Vertreter aus dem Bayerischen Landesamt für Umwelt (ehemals Wasserwirtschaft) anwesend.
- „Wassernutzung und -versorgung“: Auf der Basis einer Einführung in GLOWA-Danube und das *Stakeholder*-Beteiligungsverfahren wurden in vier Vorträgen die GLOWA-Teil-



modellen Psychologie (Silke Kuhn und Roman Seidl), Ökonomie (Dr. Egerer), Tourismus (Prof. Schmude und Mario Sax) und Wasserversorgung (Dr. Barthel und Darla Nickel) vorgestellt. Als Experten waren Vertreter aus dem Bayrischen 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 von Prof. Dabbert und Professor Schneider die Modellierung von Landnutzungsänderungen aus naturwissenschaftlicher und agrarökonomischer Sichtweise dargestellt. Als Experten waren mehrere Vertreter aus dem Bayrischen Landesamt für Umwelt (ehemals Wasserwirtschaft) anwesend.

### 3.6.2 Szenarioworkshops

Zur Fundierung und Verbesserung der Validität der GLOWA-Teilmodelle und zur Diskussion offener Fragen bzgl. Modellannahmen und Datensituation spielten Szenario-Workshops eine wichtige Rolle. Diese Workshops sollten bei Fachleuten Interesse an GLOWA-Danube wecken und insbesondere Gelegenheit bieten, über die Modellgrundlagen und die Modellimplementation der GLOWA-Teilmodelle zu diskutieren. Dabei wurden auch externe Experten zu Präsentationen eingeladen, um die Erfahrungen mit der Vorgehensweise bei vergleichbaren Forschungsprojekten einzubeziehen.

- 18.01.2007 Workshop “Szenarien der industriellen Entwicklung und Wassernutzung im Donaueinzugsgebiet“
- 25.01.2007 Workshop “Szenarien der regionalen demographischen Entwicklung im Donaueinzugsgebiet“

Zu den Szenarioworkshops im Einzelnen:

- Szenario-Workshop “Industrielle Entwicklung und Wassernutzung im Donaueinzugsgebiet“: Hier konnten als externe Referenten Thomas Hillenbrand vom Fraunhofer Institut für System- u. Innovationsforschung, Karlsruhe, Timo Mitze von der Gesellschaft für Finanz- u. Regionalanalysen Münster und Konar Mutafoglu von der Technischen Universität Berlin gewonnen werden. Als projektinterne Beteiligte trugen Prof. Dr. Sprenger, Dr. Wackerbauer sowie Markus Zimmer und Dr. Mario Larch die vom die Vorgehensweise der *Stakeholder*beteiligung und der Modellierung des industriellen Wasserverbrauchs im GLOWA-Danube-Teilprojekt „Ökonomie“ dar. Als Gäste beteiligten sich an der Veranstaltung und der abschließenden Diskussion verschiedene Experten der Industrie- und Handelskammer München und Oberbayern, des Landesverbandes Bayern des Verbandes der Chemischen Industrie sowie aus unterschiedlichen Unternehmen aus den Bereichen Anlagen- und Verfahrenstechnik sowie Ingenieurbüros.
- Szenario-Workshop “Regionale demographische Entwicklung im Donaueinzugsgebiet“: Hier konnten als externe Referenten Jana Borgwardt von der Technischen Universität Berlin, Dr. Jürgen E. Flöthmann von der Universität Bielefeld, Dr. Monika Meyer-Künzel vom Leibniz Institut für Ökologische Raumentwicklung, Dresden und Dr. Erika Schulz vom Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin, gewonnen werden. Als projektinterne Beteiligte trugen Prof. Dr. Sprenger, Dr. Wackerbauer sowie Dr. Mario Larch und Markus Zimmer den entsprechenden Ansatz des GLOWA-Danube Teilprojekts „Demographie“ vor. Als Gäste beteiligten sich an der Veranstaltung und der abschließenden Diskussion Vertreter der Bayerischen Landesämter für Umwelt und für Statistik, der Regierung von Oberbayern, dem Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie, des Umweltamtes der Stadt Passau, des Bundesinstituts für Bevölkerungsforschung, Wiesbaden, von Sinus Sociovision Heidelberg, der Technischen Universität München sowie von Versorgungs- und Consultingunternehmen.

Die einzelnen Workshops wurden jeweils im Sinne einer Qualitätskontrolle in Gestalt einer Qualitätssicherung und -verbesserung nachbereitet. Dies beinhaltete zum einen eine kritische Selbstevaluation und Reflexion und zum anderen ein Feed-Back zu den Teilnehmern.

### **3.6.3 Status-Konferenz am 17.-19. Mai 2005 in Köln**

Die GLOWA-Status-Konferenz in Köln, bei der die Ergebnisse aller fünf GLOWA Projekte (Elbe, Danube, Jordan River, IMPETUS, Volta) einem internationalen Fachpublikum präsentiert wurden, stellte die bedeutendste und umfangreichste Informations- und Beteiligungsveranstaltung für das Projekt GLOWA-Danube dar. Insgesamt waren dabei ca. 520 *Stakeholder* aus Wissenschaft, Behörden und Politik vertreten.

### **3.6.4 Website**

Zum Zwecke der laufenden Information der Stakeholder wurde eine GLOWA-Danube Homepage eingerichtet. Diese ermöglicht es, in einem interaktiven Prozess zwischen Projektarbeitern und *Stakeholdern* den Fortgang des Forschungsprojekts zu erörtern und Anregungen bzw. Kritikpunkte unterzubringen.

### **3.6.5 Online Atlas**

Des Weiteren wurde auf der GLOWA-Danube Homepage ein „Global Change Atlas Obere Dona“ eingestellt, der die sektoralen und integrativen Ergebnisse von DNAUBIA gemeinsam dokumentiert und sie als Diskussionsgrundlage für *Stakeholder* und Entscheidungsträger zur Verfügung stellt. Die Resonanz auf den im Luf des 1. Halbjahres 2005 erstellten Prototyp war ausgesprochen positiv. Anregungen und Vorschläge wurden im folgenden GLOWA-Projekt-Meeting im Juli 2005 in München besprochen. Im Folgenden wurde der Prototyp weiter ausgearbeitet.

### **3.6.6 Print-Atlas**

In Ergänzung zur Online-Version des Global Change Atlas wurde ein gedruckter Atlas als offenes Ringbuch konzipiert. Dieser erlaubt eine ständige Verbesserung, Ergänzung und Erweiterung als Reaktion auf neu entwickelte Szenarien bzw. neue, gesicherte Erkenntnisse zu den zu erwartenden globalen und regionalen Trends.

### **3.6.7 Poster-Präsentationen**

Die Ergebnisse des Projekts GLOWA-Danube und seiner einzelnen Teilprojekte wurden auf der Statuskonferenz mit 13 Postern dokumentiert, des Weiteren mit Postern bei verschiedenen Fachkonferenzen. Das Teilprojekt *Stakeholder* unterstützte hierbei die anderen Teilprojekte hinsichtlich der *Stakeholder*-orientierten Gestaltung der Poster.

### **3.6.8 Teilnahme und Präsentationen auf externen Veranstaltungen**

Die Mitarbeiter/innen von GLOWA-Danube haben an zahlreichen nationalen und internationalen Veranstaltungen mit Papers und/oder mündlichen Beiträgen teilgenommen. Die einzelnen Beiträge sind in den Abschlußberichten bzw. Websites dokumentiert. Diese Aktivitäten reflektieren vor allem den Dialog mit der Scientific Community und politischen Institutionen.

### **3.6.9 Veröffentlichungen**

Neben der Öffentlichkeitsarbeit über das Internet und den Print-Atlas hat ein großer Teil der Öffentlichkeitsarbeit über die klassischen Kommunikationsformen innerhalb der Scientific Community stattgefunden. Im einzelnen sind hier anzuführen:

- Publikationen von Dissertationen
- Peer-reviewed Publikationen
- Nicht-referierte Publikationen
- Berichte und Artikel in anderen Medien
- Mündliche und Poster-Präsentation

Eine Einzelaufstellung findet sich in den Abschlußberichten und Websites der Projektpartner.

### 3.7 Evaluierung der *Stakeholder*beteiligung

Obwohl eine formative Evaluierung geplant war, musste letztendlich aus diversen Gründen eine summative Selbstevaluierung erfolgen. Im Folgenden sollen thesenartig einige Ergebnisse dieser Selbstevaluation präsentiert werden:

#### 1. Positiver Input durch die diversen Workshops

Im Einzelnen wurden von den Teilnehmern der Workshops 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 könnten Vergleichsbetrachtungen zwischen den Modellen angestellt und ggf. 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 Wasserrahmenrichtlinie) 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.

Die Vorträge der Workshops wurden für zahlreiche Fragen und vertiefende Diskussionen mit den teilnehmenden Experten genutzt. Generell wurde bei beiden 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 sowie Hinweise auf eigene modellbasierte Projekte zum industriellen Wasserverbrauch und zur demographischen Entwicklung gegeben.

#### 2. Vernetzung des Projekts

Als Ergebnis einzelner Workshops kam es zur Zusammenarbeit mit einzelnen *Stakeholdern*, z.B. im Rahmen des KLIWA-Projekts der Bayerischen Staatsregierung und der Landesregierung von Baden-Württemberg sowie bei der Erarbeitung von Vergleichsrechnungen für bestimmte Wassereinzugsgebiete für das Bayerische Landesamt für Umwelt/Wasserwirtschaft.

3. Integration von *Stakeholdern*  
Für die dritte Phase des GLOWA-Danube Projektes ist eine Mitarbeit des Landesamts für Umweltschutz, Augsburg/Hof vorgesehen.
4. Diffusion des Projektes in der *Scientific Community*  
Die Vielzahl der wissenschaftlichen Aktivitäten in Form von Dissertationen, Vorträgen und Publikationen ist ein klares Indiz dafür, dass in der Phase der Modellentwicklung die *Scientific Community* erster Adressat für die *Stakeholder*beteiligung ist.
5. Identifizierung der *Stakeholder* für die Workshops  
Die Beteiligung von *Stakeholdern* an den Expertenworkshops war relativ gering. Dies hing vermutlich mit der Ausklammerung der *Scientific Community* und der geringen „Masse“ an Modellierungsexperten und -interessenten zusammen.
6. Beachtung der vereinbarten Beteiligungsprinzipien  
Aufgrund des unterschiedlichen Backgrounds fand die Diskussion in den Expertenworkshops nicht „auf gleicher Augenhöhe“ statt. Dies führte i.d.R. zu sehr einseitigen Dialogen zwischen den Modellierern und einschlägig beruflich tätigen Teilnehmern von Behörden.
7. Kommunikation zwischen Modellierern und *Stakeholdern*  
Mit Ausnahme der einschlägig aktiven *Stakeholder* erschwerte die Präsentationsform und -sprache einen substantiellen Diskurs zwischen Modellierern und *Stakeholdern*. Teilweise verließen Teilnehmer/innen vorzeitig die Workshops. Im Verlauf des *Stakeholder*prozesses entstanden Kommunikationsprobleme insofern, als die aus der Praxis kommenden *Stakeholder* die wissenschaftliche Terminologie nicht immer exakt verstanden bzw. falsch interpretierten und auch ihre eigenen Ansprüche und Anforderungen nicht in der einschlägigen Wissenschaftssprache ausdrücken konnten.
8. Einstellung der Modellierer zur *Stakeholder*-Beteiligung  
Nach anfänglicher Bereitschaft zur *Stakeholder*beteiligung zeigte sich im Verlauf der Workshops leider, dass dieser Prozess als zeitaufwändige Pflichtveranstaltung angesehen wurde. Die Präsentationen wurden i.d.R. wie bei wissenschaftlichen Veranstaltungen vorgetragen, ohne Rücksicht auf die Vorkenntnisse der *Stakeholder*.
9. Passivität der Teilnehmer  
Teilweise war den eingeladenen Gästen zu den *Stakeholder*-Workshops nicht bewusst, dass ein aktiver Beitrag von ihnen gewünscht wurde; einzelne Teilnehmer verblieben daher in der Rolle des Zuhörers.
10. Einschätzung der Funktion eines *Stakeholder*-Beteiligungsprozesses  
Zwischen dem *Stakeholder*-Projektleiter und anderen GLOWA-Danube Teilnehmern traten im Verlauf des Projekts deutliche unterschiedliche Einschätzungen über die Funktion und die wissenschaftlich nachvollziehbare Organisation dieses Projekts auf.

### **Fazit:**

Eine breite *Stakeholder*-Beteiligung **in der Phase der Modell-Evaluierung** erscheint sehr schwierig, wenn nicht gar unmöglich zu sein. Dieses Verfahren erscheint eher in der Phase der Modell-Nutzung erfolgversprechend zu sein.

#### 4. Literatur

- BECKMANN, J. und KECK, G. (1999): Beteiligungsverfahren in Theorie und Anwendung; erschienen bei: Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg, Stuttgart 1999.
- DEPARTMENT OF VALUE-PROCESS MANAGEMENT MARKETING GROUP (o.J.): Links: Toolbox; Fokusgruppen. In: [www.belfin.at/marketing/content/toolbox.htm](http://www.belfin.at/marketing/content/toolbox.htm); [Stand: 03.09.2003].
- DÜRRENBARGER, G. und BEHRINGER, J. (1999): Die Fokusgruppe in Theorie und Anwendung. Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg. Stuttgart 1999.
- ECONOMIC and SOCIAL RESEARCH COUNCIL (2000): Risky Choices, Soft Disasters; Environmental decision-making under uncertainty, [www.gecko.ac.uk](http://www.gecko.ac.uk).
- EIDGENÖSSISCHE ANSTALT FÜR WASSERVERSORGUNG, ABWASSERREINIGUNG UND GEWÄSSERSCHUTZ (o.J.): In: [www.eawag.ch/publications/eawag-news/www\\_eu50d\\_pdf/eu\\_50d\\_kas.pdf](http://www.eawag.ch/publications/eawag-news/www_eu50d_pdf/eu_50d_kas.pdf); [Stand: 19.09.2003].
- EUROPEAN FOUNDATION FOR THE IMPROVEMENT OF LIVING AND WORKING CONDITIONS (2003): Towards a sustainable corporate social response, Dublin 2003.
- FEINDT, P. (1996): Rationalität durch Partizipation? Das Mehrstufige Dialogische Verfahren als Antwort auf gesellschaftliche Differenzierung. Aus: FEINDT, P.H., GEISSENHARTER, W., BIRZER, M. u.a.(Hrsg.): Konfliktregelung in der offenen Bürgergesellschaft. Dettelbach (Röll) 1996. (= Forum für interdisziplinäre Forschung/Studiengruppe für Entwicklungsprobleme der Industriegesellschaft. 17), S. 169-189.
- FREEMAN, R.E. (1984): Strategic Management - A Stakeholder Approach, Boston: Pitman, 1984 Pitman series in business and public policy.
- HECHT, M. (2001): Informationen zur Umweltpolitik 145, Partizipation und Access to Justice im Umweltbereich, Umsetzung der Aarhus-Konvention in Österreich, Wien 2001.
- IFC (International Finance Corporation), Environment Division (1998): Doing Better Business Through Effective Public Consultation and Disclosure.
- IFOK (Institut für Organisationskommunikation) (1997): Bundesweite Kampagne zur CO<sub>2</sub>-Vermeidung bei Kommunen und Verbrauchern; ETnews 2, Oktober 1997.
- IFOK (Institut für Organisationskommunikation) (1998): Der Agenda-Tisch ®; Ein Weg zur Gestaltung kommunaler Agenda 21-Prozesse, Juni 1998.
- ILMES - Internet-Lexikon der Methoden der empirischen Sozialforschung(1999): Qualitative Sozialforschung (engl.: Qualitative [Social] Research). In: [http://www.lrz-muenchen.de/~wlm/ilm\\_q1.htm](http://www.lrz-muenchen.de/~wlm/ilm_q1.htm) [19.09.2003].
- JANISCH, M. (1992): Das strategische Anspruchsgruppenmanagement - Vom Shareholder Value zum Stakeholder Value, St. Gallen, 1992 (Dissertation).
- JEKEL, H. (2003): Europäische Wasserrahmenrichtlinie; Einbindung der Öffentlichkeit bei der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie (KA 03/2003). In: [http://www.wasserblick.net/servlet/is/10687/KA\\_03\\_2003\\_oeffentlichkeit.RTF?command=downloadContent&filename=KA\\_03\\_2003\\_oeffentlichk.RTF](http://www.wasserblick.net/servlet/is/10687/KA_03_2003_oeffentlichkeit.RTF?command=downloadContent&filename=KA_03_2003_oeffentlichk.RTF); [Stand: 20.09.2003].
- MEISTER, H.-P., PINKEPANK, TS. und TAUDACHER, R. (1996): „Konfliktvermeidung durch parizipative Kommunikation. Beispiele aus der Praxis“. In: RELLE, H.: Konfliktregelung in der offenen Bürgergesellschaft, 1996, S. 243-260.



- MEDIATION IN EUROPA (o.J.a): Die Aarhus-Konvention. In: <http://www.partizipation.at/deutsch/aarhus.html> [Stand: 23.09.2003].
- MEDIATION IN EUROPA (o.J.b): Partizipation und Umweltmediation in Europa, Neue Wege der Konfliktvermeidung und Konfliktlösung. In: <http://www.partizipation.at/deutsch/wz.html> [Stand: 16.10.2003].
- PARTIZIPATION UND UMWELTMEDIATION IN EUROPA; NEUE WEGE DER KONFLIKTVERMEIDUNG UND KONFLIKTLÖSUNG (o.J.) Die 3 Säulen der Aarhus-Konvention. In: [http://www.partizipation.at/pdf/3\\_saeulen\\_der\\_ak.pdf](http://www.partizipation.at/pdf/3_saeulen_der_ak.pdf) [Stand: 23.09.2003].
- PROJEKTANTRAG GLOWA-DANUBE: Entwicklung, Durchführung und Evaluierung eines problemgerechten und computerbasierten informellen Beteiligungsverfahrens zur Nutzung von GLOWA-Danube durch interessierte Stakeholder.
- RUCHAY, D. (2001): Die Wasserrahmenrichtlinien der EG und ihre Konsequenzen für das deutsche Wasserrecht; in: ZUR Sonderheft 2001, S. 115-119.
- SCHMID, M. (1998): Kurzreferat im Rahmen des Economic Policy Club an der Otto-Friedrich-Universität Bamberg am 12. Januar 1998.
- SORA (Institut for Social Research and Analysis) (2002): Fokusgruppen. In: [www.sora.at/produkte/fokusgruppen/](http://www.sora.at/produkte/fokusgruppen/); Oktober 2002, [Stand: 03.09.2003].
- SPRENGER, R.-U. (2001): ADAPT, Unternehmensnetzwerke und regionale Netzwerke, Chancen für Beschäftigung und Umweltschutz, Bonn 2001.
- WEINER, M. (2003): Europäische Gewässerschutzpolitik im 21. Jahrhundert: Die EU - Wasserrahmenrichtlinie. In: ÖkologiePolitik, September 2003, 116, S.14-15.
- WELP, M. (2002): Bürgerbeteiligung und Computermodelle verknüpfen. In: Ökologisches Wirtschaften 2/2002, S. 21-22.
- WIBERA (Wirtschaftsberatung AG, Wirtschaftsprüfungsgesellschaft) (2002) Abschlussbericht: „Beteiligung der Öffentlichkeit bei der Standortauswahl für die Endlagerung radioaktiver Abfälle“. In: [www.akend.de/aktuell/pinnwand/pdfendbericht\\_wibera.pdf](http://www.akend.de/aktuell/pinnwand/pdfendbericht_wibera.pdf) [Stand: 19.09.2003].
- WIDÖ (Wissenschaftliches Institut der AOK) (2003): Telefoninterviews/Fokusgruppen. In: [www.wido.de/Marktforschung/interviews/content.html](http://www.wido.de/Marktforschung/interviews/content.html); Oktober 2003, [Stand: 03.09.2003].
- ZSCHIESCHE, M. (o.J.): Neue Anforderungen an Bürgerbeteiligung durch die Umsetzung der Aarhus-Konvention am Beispiel der Bundesrepublik Deutschland. In: [http://www.ag-umweltfragen.de/Veranstaltungen/2001/eu\\_ost/EU\\_Ost\\_Beitraege/Zschiesche.htm](http://www.ag-umweltfragen.de/Veranstaltungen/2001/eu_ost/EU_Ost_Beitraege/Zschiesche.htm) [Stand: 01.10.2003].





Anzahl	Artikel	Beschreibung	Preis in €
1	Magic Draw 11	Software zur Modellierung mit UML	253,-
2	Personal Computer	Neuer Personal Computer zur Bewältigung der Rechenanforderungen	2.334,-

Darüber hinaus wurden für die beiden PCs Arbeitsspeichererweiterungen von jeweils 1 GB angeschafft. Diese zusätzlichen Kosten wurden aber nicht durch den GLOWA-Etat finanziert, sondern aus eigenen Mitteln des Lehrstuhls für Wirtschaftsgeographie übernommen.

### 1.3 Mittelumwidmungen

Da von der Forschungsgruppe Tourismus im Winter und Sommer 2005 Befragungen von Touristen im Untersuchungsgebiet durchgeführt wurden, war es notwendig, einen Teil der bewilligten Mittel für sekundärstatistische Daten umzuwidmen. Hiermit wurden die bei Primärerhebungen anfallenden Kosten gedeckt. Die primärstatistischen Erhebungen wurden vom Lehrstuhl für Wirtschaftsgeographie in Form von Geländepraktika mit Studierenden der Geographie der Universität Regensburg durchgeführt. Um die Kosten für Unterkunft und Anreise, für die die Umwidmungen nicht ausgereicht hätten zu decken, wurde dabei auch auf Exkursionsmittel des Lehrstuhls sowie finanzielle Selbstbeteiligung von Studenten zurückgegriffen.

### 1.4 Publikationen der Forschungsgruppe Tourismus

In der zweiten Projektphase wurden von der Forschungsgruppe Tourismus einige Veröffentlichungen erstellt.

DINGELDEY, A. (in Vorbereitung): Modellierung der touristischen Attraktivität zur Bestimmung der Übernachtungsnachfrage im Einzugsbereich der Oberen Donau unter Berücksichtigung von Umwelteinflüssen. Dissertation Universität Regensburg.

SAX, M. (2005): Bedeutung der Ressource Wasser für den Tourismus. In: SCHMUDE, J. und PIERMEIER, A. (Hrsg.): Tegernseer Tourismus Tage 2004, Proceedings (= Beiträge zur Wirtschaftsgeographie Regensburg, Band 8). Regensburg, S. 73-79.

SAX, M. (2007): Entwicklung eines Konzepts zur computergestützten Modellierung der touristischen Wassernutzung im Einzugsgebiet der oberen Donau unter Berücksichtigung des Klimawandels. Dissertation Universität Regensburg (im Druck).

SAX, M. (2007): Szenarien zum Wintertourismus. In: SCHMUDE, J. und SCHAAR-SCHMIDT, K. (Hrsg.) (2007): Tegernseer Tourismus Tage 2006, Proceedings. = Beiträge zur Wirtschaftsgeographie Regensburg, Band 9, Regensburg, S. 64-74.

SAX, M. (2007): Water and Tourism - Simulating the Tourist Water Use in the Upper Danube Catchment Area. In: SCHUMANN, A., PAHLOW, M., BOGARDI, J.J. und VAN DER ZAAG, P. (in print): IWRM 2006, Bochum, September 2006. = IAHS - Red Book, IAHS Press.

SAX, M., SCHMUDE, J. und DINGELDEY, A. (2006): Simulationsmodelle der Teilprojekte: Tourismus: touristischer Trinkwasserbedarf. In: GLOWA-Danube-Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, Kap. 2.12.1.

SAX, M., SCHMUDE, J. und DINGELDEY, A. (2006): Natur- und Sozialraum: Wasserbedarf touristischer Einrichtungen - Teilprojekt Tourismus. In: GLOWA-Danube-Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau, Kap.1.14.

SCHMUDE, J. (2007): Le ski sans montagne? Le tourisme de neige entre Alps et snowdomes. In: BOURDEAU, P. (Hrsg.): Les sport d'hiver en mutation, S. 75-85.

SCHMUDE, J. und SAX, M. (2007): Wasser als touristische Ressource - Ein Ansatz zur Modellierung des touristischen Wasserverbrauchs. In: *Tourismus Journal* Band 8, Heft 4, S. 557-574.

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 Vorträge der Forschungsgruppe Tourismus

Im Berichtszeitraum wurden von der Forschungsgruppe Tourismus zu folgenden Anlässen Vorträge gehalten.

- 27.-30.09.2004 Tegernseer Tourismus Tage in Tegernsee: Im Rahmen der Tegernseer Tourismus Tage wurde von Dipl. Geogr. Mario Sax ein Vortrag zum Thema „Wasser als touristische Ressource“ gehalten.
- 28.10.2005 GLOWA-Danube Stakeholdertreffen im Ifo-Institut in München: Auf dieser Veranstaltung wurden den Stakeholdern von Dipl. Geogr. Mario Sax die Ansätze der Forschungsgruppe Tourismus vorgestellt.
- 18.-22.09.2006 Tegernseer Tourismus Tage in Tegernsee: Im Rahmen der Tegernseer Tourismus Tage wurde von Mario Sax ein Vortrag zum Thema „Szenarien zum Wintertourismus“ gehalten.
- 26.-28.09.2006 International Symposium on Integrated Water Resources Management 2006 in Bochum: Im Rahmen der Veranstaltung wurden durch Dipl. Geogr. Mario Sax die Arbeiten der Forschungsgruppe Tourismus den Teilnehmern mit einem Vortrag zum Thema „Simulating the Tourist Water Use in the Upper Danube Catchment Area“ vorgestellt.
- 07.-11. 03.2007 Internationale Tourismusbörse Berlin (ITB) 2007: Auf der Internationalen Tourismusbörse in Berlin wurde von Dipl. Geogr. Mario Sax ein Vortrag zum Thema: „Wintertourismus und Klimawandel - Ein Ansatz zur Berechnung von Szenarien“ gehalten.

## 2. Arbeitsschritte in der Phase II von GLOWA-Danube

In der zweiten Projektphase wurden von der Forschungsgruppe Tourismus verschiedene Arbeitsschritte durchgeführt. Dies umfasste u. a. die Erstellung von Datenbanken, die Untersuchung des Verhaltens der touristischen Nachfrager, die Befragung der touristischen Leistungsanbieter hinsichtlich ihrer Wassernutzungsverhaltens, die Entwicklung von Schnittstellen zu anderen Forschungsgruppen, die Mitarbeit am GLOWA-Danube-Atlas sowie die Entwicklung des *Deep-Actors*-Modells.

### 2.1 Analyse und Eingabe von sekundärstatistischem Material

Zu Beginn der zweiten Projektphase lag der Schwerpunkt der Arbeit der Forschungsgruppe Tourismus zunächst auf dem Ausbau der Datenbasis. In der Phase I wurden zunächst nur Daten für den bayerischen Teil des Untersuchungsraums erhoben. Dementsprechend musste die Datenbasis für das gesamte Untersuchungsgebiet erweitert werden. Dabei wurden die



Übernachtungszahlen für die österreichischen, schweizerischen und baden-württembergischen Teile des Untersuchungsgebiets ermittelt.

Es erfolgte eine Bereinigung und Aufbereitung der Daten, so dass sowohl eine Zuordnung zu einzelnen Proxeln als auch Gemeinden und Kreisen möglich ist. Im Gegensatz zur Phase I und den Beginn der Phase II finden diese Daten nicht mehr direkten Eingang zur Bestimmung des touristischen Wasserbedarfs (vgl. flaches Akteurmodell), sondern dienen als Grundlage für die Modellierung der touristischen Übernachtungsnachfrage, bei der auch Umwelteinflüsse berücksichtigt werden.

## **2.2 Primärstatistische Arbeiten**

Die primärstatistischen Arbeiten der Forschungsgruppe Tourismus umfassten Erhebungen zum Verhalten der touristischen Nachfrager im Untersuchungsgebiet sowie die Befragung von Betreibern touristischer Infrastruktureinrichtungen sowie Interviews zur Modellvalidierung. Zunächst wird auf die Erhebungen zur Charakterisierung der touristischen Nachfrage eingegangen.

### **2.2.1 Befragung der touristischen Nachfrager im Zielgebiet**

Die Befragung von touristischen Nachfrager wurden im Jahr 2005 mit Hilfe von Studierenden der Geographie an der Universität Regensburg an verschiedenen Orten des Untersuchungsgebiets als mündliche, standardisierte Interviews durchgeführt. Um sowohl Aussagen zum Sommer- und Wintertourismus treffen zu können, wurden zu unterschiedlichen Zeiten an ausgewählten Orten im Untersuchungsgebiet Befragungen durchgeführt. An folgenden Orten fanden Erhebungen statt:

- 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).

Durch diese Erhebungen konnten rund 2.300 Fragebögen gewonnen werden. Die Ergebnisse der Befragung dienten einerseits der Identifikation touristischer Angebotselemente, die für die Modellierung der touristischen Nachfrage (sowohl Tages- als auch Übernachtungstourismus) von Bedeutung sind. Damit konnte der Anregung der Gutachter für die Phase II Rechnung getragen werden, auch touristische Angebotselemente zu berücksichtigen, die über die wasserintensive touristische Infra- und Suprastruktur hinausgehen (wie z.B. Skigebiete ohne Beschneigung). Andererseits hinaus lieferten 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.

## 2.2.2 Erhebung der touristischen Infrastruktur außerhalb Bayerns

Neben der Ermittlung des Verhaltens der touristischen Nachfrager sowie dem Wassernutzungsverhalten der Betreiber von touristischer Infra- und Suprastruktur mussten die touristischen Infrastruktureinrichtungen außerhalb des bayerischen Teils des Untersuchungsgebiets von GLOWA-Danube recherchiert und in DANUBIA integriert werden. Durch diese Erhebungsarbeiten konnten die Berechnungen auf das gesamte Untersuchungsgebiet ausgedehnt werden.

### 2.2.2.1 Schwimmbäder

Die Schwimmbäder stellen im Hinblick auf den touristischen Wasserbedarf eine bedeutende Gruppe der relevanten touristischen Infrastruktur dar. Die Schwimmbäder wurden unterteilt in die Typen Freibad, Hallen- und Freibad, Hallenbad, Erlebnisbad sowie Thermalbad erfasst (vgl. Abb. 1).

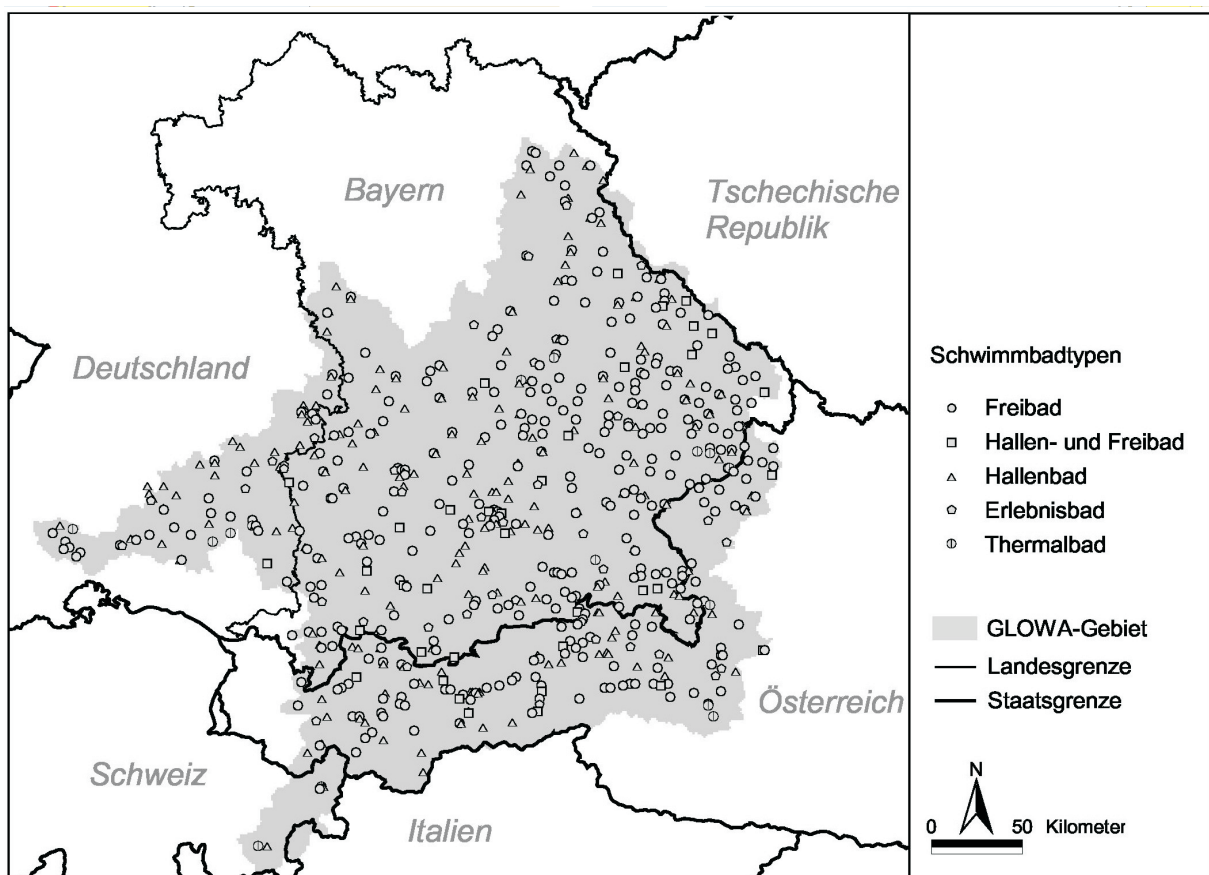


Abb. 1 : Schwimmbäder im GLOWA-Gebiet (Quelle: Eigene Darstellung)

### 2.2.2.2 Golfplätze

Neben den Schwimmbädern sind auch die Golfplätze für die Bestimmung des touristischen Wasserbedarfs von Bedeutung. Sie wurden entsprechend ihrer tatsächlichen Verbreitung im Entscheidungsunterstützungssystem DANUBIA abgebildet.

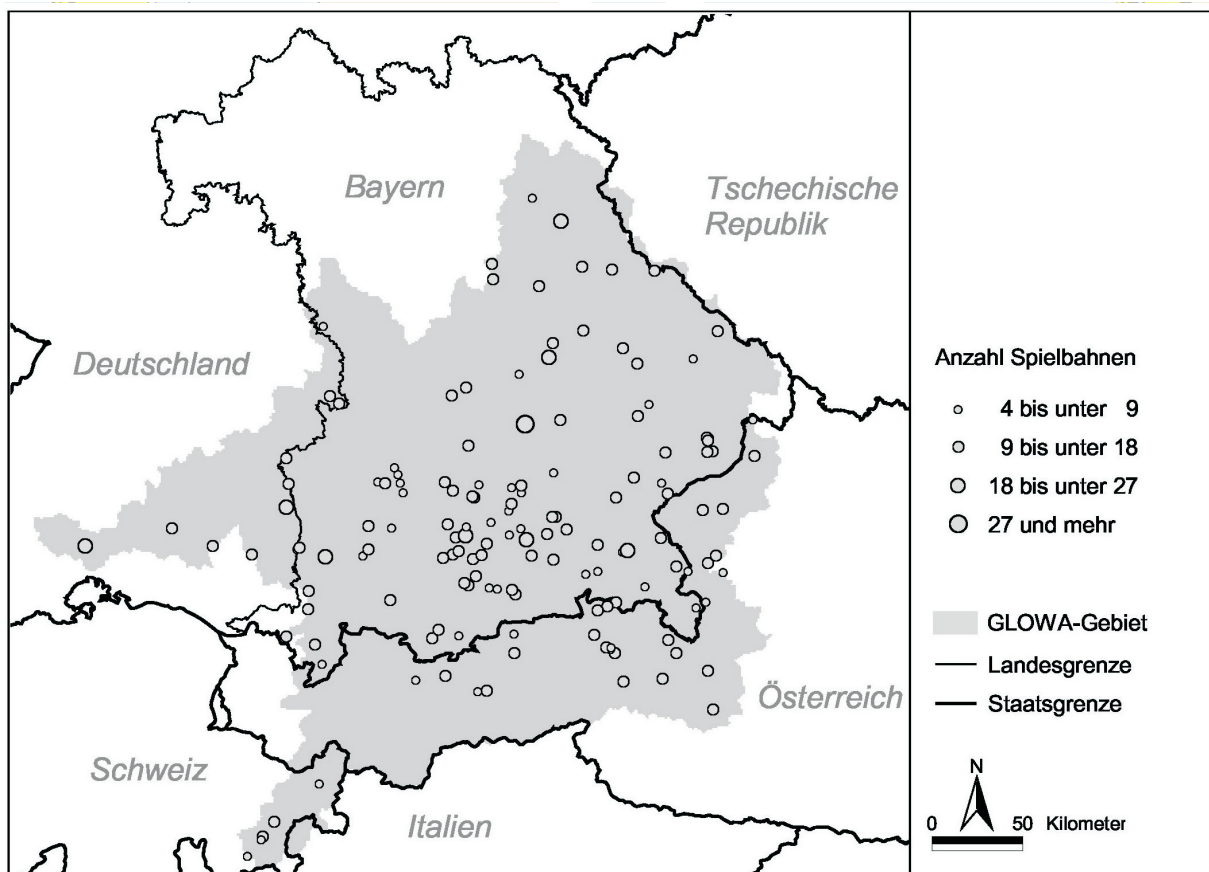


Abb. 2 : Golfplätze im GLOWA-Gebiet (Quelle: Eigene Darstellung)

### 2.2.2.3 Beschneiungsanlagen/beschneite Fläche

Die Skigebiete mit Beschneigung sind von besonderem Interesse. Einerseits benötigen sie während der Wintermonate große Mengen Wasser, andererseits gehören sie zu einem Wirtschaftszweig, der besonders anfällig gegenüber einer Klimaänderung ist. Dies ist in dreifacher Hinsicht der Fall. Einerseits sind diese Einrichtungen auf das Vorhandensein einer ausreichenden natürlichen Schneedecke angewiesen, andererseits werden bestimmte Temperaturbedingungen benötigt, um zusätzlich künstliche Beschneigung durchführen zu können. Darüber hinaus sind Skigebiete mit künstlicher Beschneigung auf die ausreichende Verfügbarkeit von Wasser für die Schneeproduktion angewiesen (Abb. 3).

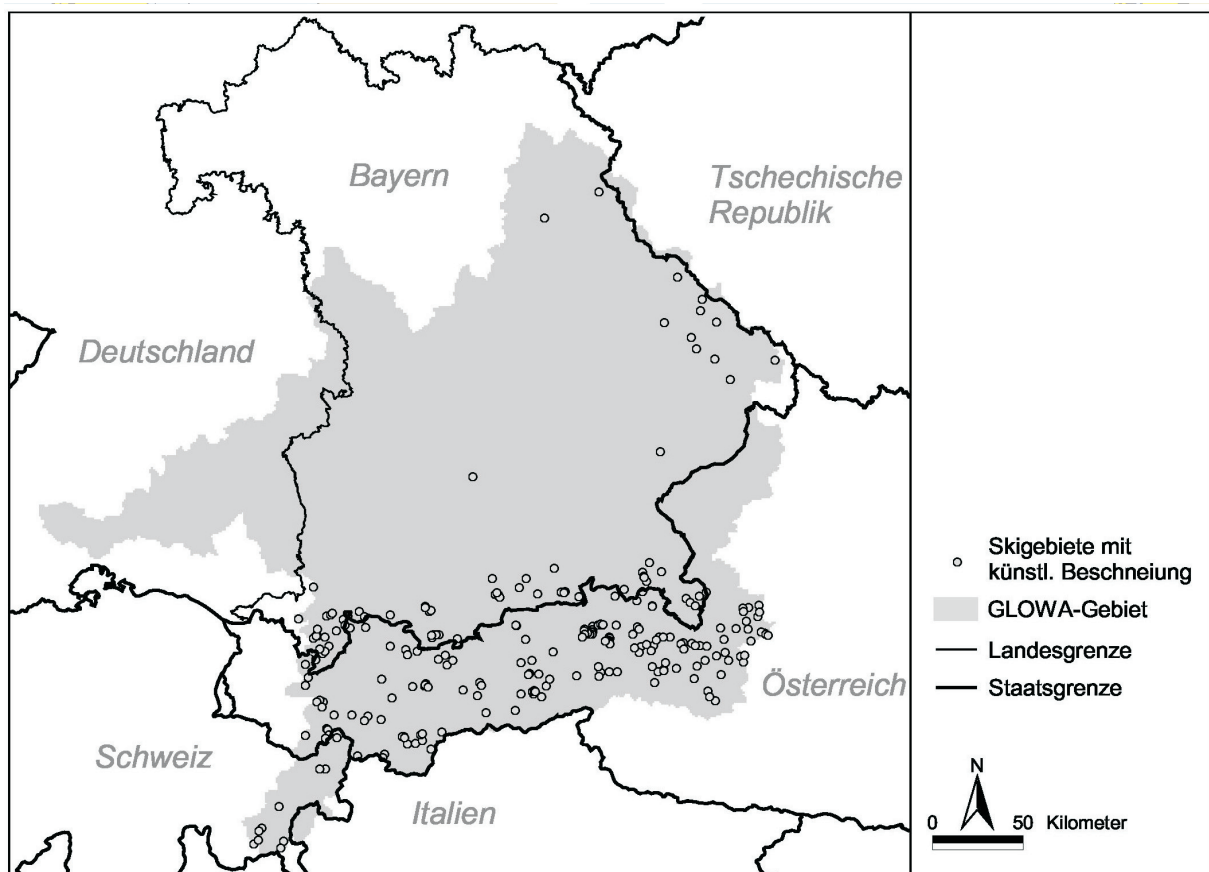


Abb. 3 : Skigebiete mit künstlicher Beschneigung im GLOWA-Gebiet (Quelle: Eigene Darstellung)

#### 2.2.2.4 Skigebiete allgemein

Zusätzlich zu den Skigebieten mit künstlicher Beschneigung wurden auch alle anderen Skigebiete im Untersuchungsgebiet in den Datenbestand der Forschungsgruppe Tourismus aufgenommen. Dies geschah vor dem Hintergrund, dass Skigebiete allgemein als Magnet für die Übernachtungs- aber auch für die tagestouristische Nachfrage angesehen werden können und damit für die Berechnungen des Attraktivitätsmodells von Belang sind. Darüber hinaus muss berücksichtigt werden, dass die Beschneigung in Zukunft ausgeweitet werden kann. Der Wintersporttourismus ist vor allem im südlichen Teil des Untersuchungsraums von großer wirtschaftlicher Bedeutung und weist eine hohe „Verwundbarkeit“ gegenüber einer Klimaerwärmung auf. Aus diesem Grund muss diesem Segment der touristischen Infrastruktur besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Durch die Berücksichtigung aller Skigebiete kann den Auswirkungen der Klimaänderung auf diese Tourismussektor Rechnung getragen werden.

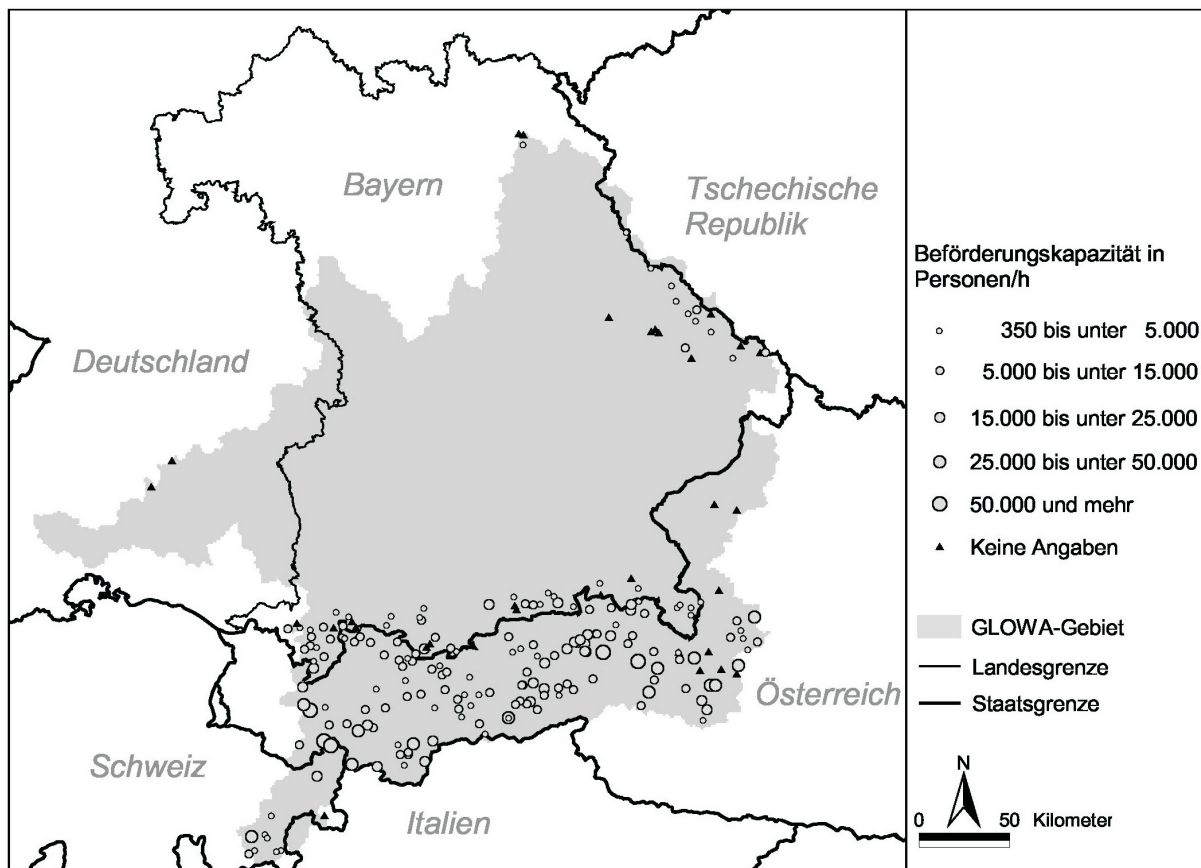


Abb. 4 : Skigebiete allgemein im GLOWA-Gebiet (Quelle: Eigene Darstellung)

### 2.2.3 Befragung der Betreiber touristischer Infrastruktureinrichtungen

Neben dem Verhalten der touristischen Nachfrager war es notwendig, zusätzliche Informationen zu den touristischen Leistungsanbietern zu erhalten. Die Befragung von Betreibern touristischer Infra- und Suprastruktur zielte darauf ab, einerseits mehr Informationen über das Wassernutzungsverhalten, andererseits Einschätzungen der Betreiber hinsichtlich der Betroffenheit durch eine Klimaänderung und beabsichtigte Handlungsweisen in Anbetracht des Klimawandels in Erfahrung zu bringen. Die Primärerhebungen fanden in Form einer standardisierten schriftlichen Befragung statt. Folgende Einrichtungen der touristischen Infra- und Suprastruktur wurden befragt:

- Skigebiete mit und ohne Beschneigung (Süddeutschland, Österreich, Schweiz) in Kooperation mit Diplomarbeit von Bianca Knerr,
- Golfplätze (Süddeutschland, Österreich, Schweiz),
- Beherbergungsbetriebe (Süddeutschland, Österreich, Schweiz),
- Gastronomiebetriebe (Süddeutschland, Österreich, Schweiz),
- Schwimmbäder (Süddeutschland, Österreich, Schweiz).

### 2.2.4 Primärstatistischer Erhebungen für die Validierung des Modells der touristischen Übernachtungsnachfrage

Für die Validierung der Modellierung der Übernachtungsnachfrage im Attraktivitätsmodell wurden im Dezember 2006 in Form von Leitfaden gestützte Expertengespräche durchgeführt. Die befragten Personen (vgl. Tab. 1) waren Experten aus der deutschsprachigen Tourismusbranche. Die Auswahl dieser Experten erfolgte aufgrund ihrer praktischen Tätigkeit sowie ihrer umfassenden Kenntnis der Tourismusbranche.



Tab. 1: Befragte Tourismusexperten (Quelle: Eigene Darstellung)

Name	Organisation	Funktion / Stellung
Sybille Wiedenmann	Bayern Tourismus Marketing GmbH	Prokuristin, Leiterin Marketing/Entwicklung
Günter Ihlau	TUI AG	Direktor Internationale Beziehungen
Martin Schlüter	TUI AG	Leiter Iberotel und Dorfhotel
Wolfgang Diels	Europäische Reiseversicherung AG	Vorsitzender des Vorstandes der Europäischen Reiseversicherung AG
Dr. Ralf Corsten	Messe Berlin GmbH, Steigenberger Hotels AG	Vorsitzender des Aufsichtsrates der Messe Berlin GmbH und Steigenberger Hotels AG
Dieter Grepl	Bergbahnen Zell am Ziller GmbH, Zillertalarena	Geschäftsführer
Annemarie Kröll	Bergbahnen Zell am Ziller GmbH, Zillertalarena	Leiterin Marketing
Gerold Schreiber	Bergbahnen Zell am Ziller GmbH, Zillertalarena	Technischer Leiter

Die Ergebnisse dieser Expertenbefragungen gehen in Form von Modellparametern in die Gestaltung des touristischen Attraktivitätsmodells ein.

### 3. Kooperationen der Forschungsgruppe Tourismus mit anderen Forschungsgruppen

Die Forschungsgruppe beteiligte sich in der zweiten Förderphase des Projekts GLOWA-Danube an der *Deep-Actors*-Arbeitsgruppe sowie an der Erstellung des GLOWA-Danube Atlas. Im Rahmen der interdisziplinären Zusammenarbeit während des Projekts GLOWA-Danube konnten verschiedene Einflussfaktoren auf das Tourismussystem identifiziert werden. Dies mündete, im Vergleich zur ersten Projektphase, in die Definition von weiteren Schnittstellen, so dass zum Ende der Projektphase II eine Kopplung mit DANUBIA-Teilmodellen sowohl aus den Natur- als auch dem sozialwissenschaftlichen Bereich vorgenommen wurde. Damit konnte auch auf modelltechnischer Ebene die Integration der Arbeiten der Forschungsgruppe Tourismus in das Projekt GLOWA-Danube weiter ausgebaut werden.

Im Folgenden wird kurz auf die von anderen Modellen bezogenen bzw. in Zukunft zu beziehenden Daten sowie abgegebenen Daten eingegangen, die bei einem nächsten DANUBIA Lauf in der Phase III genutzt werden.

- **Abgabe von Betriebsstatus Skigebietsakteure (täglich) (Pläne):** Der Betriebsstatus der Skigebietsakteure wird an das DANUBIA-Modell TRAFFIC übergeben, welches diese Daten zur Berechnung der Anzahl der Skifahrer in das jeweils geöffnete Gebiet benutzt (Status: implementiert).
- **Abgabe des touristischen Trinkwasserbedarfs (monatlich) (TourismDrinking-waterDemand):** Diese Wasserbedarfswerte werden monatlich an das DANUBIA-Modell *WATERSUPPLY* übermittelt (Status: implementiert).
- **Abgabe des touristischen Grundwasserbedarfs (monatlich) (TourismGround-waterDemand):** Der touristische Grundwasserbedarf wird einmal monatlich an die das DANUBIA-Modell Groundwater übermittelt (Status: noch zu implementieren).
- **Abgabe des Touristischen Oberflächenwasserbedarfs (täglich) (TourismRiver-waterDemand):** Der Bedarf der Tourismuswirtschaft im Untersuchungsraum wird

täglich an das DANUBIA-Modell *RIVERNETWORK* geliefert, das diese Werte bei den Berechnungen berücksichtigt (Status: implementiert).

- **Bezug der Schneehöhe (täglich):** Um die Betriebsfähigkeit der Skigebiete modellieren sowie auch die Öffnungstage von Golfanlagen simulieren zu können (z.B. kein Spielbetrieb bei Wintereinbruch), werden vom DANUBIA-Modell *SNOW* täglich die Werte der akkumulierten Schneemenge (in Wasseräquivalenten) eingelesen (Status: implementiert).
- **Bezug der Durchschnittstemperatur (monatlich):** Die monatliche Durchschnittstemperatur beeinflusst in bestimmten Gemeinden des Untersuchungsgebiets die Zahl der Gästeübernachtungen. Daher geht die monatliche Durchschnittstemperatur in die Berechnungen des Attraktivitätsmodells ein (Status: implementiert).
- **Bezug der Maximaltemperatur (täglich):** Die Maximaltemperatur konnte als maßgeblicher Einflussfaktor für die Öffnung und Nutzung eines Freibades identifiziert werden. Daher findet diese Größe bei den Berechnungen von Freibadakteuren Berücksichtigung (Status: implementiert).
- **Bezug des Minimums der Feuchttemperatur (täglich):** Die Möglichkeiten der künstlichen Beschneigung hängen unter anderem von der Feuchttemperatur ab. Je geringer die Temperatur, desto besser kann beschneit werden. Im GLOWA Tourismus-Modell wird diese Tatsache mit dem Minimum der täglichen Feuchttemperatur operationalisiert (Status: implementiert).
- **Bezug der Niederschlagssumme (täglich):** Die tägliche Niederschlagssumme ist für den Bedarf an künstlicher Bewässerung von Golfanlagen von Bedeutung (Status: implementiert).
- **Bezug der *DrinkingwaterQuantityFlag* (monatlich):** Diese Flagge wird von allen Akteuren, die Trinkwasser benötigen, bei ihren Entscheidungen berücksichtigt (Status: implementiert).
- **Bezug der *GroundwaterQuantityFlag* (monatlich):** Alle touristischen Akteure, die Grundwasser benötigen (Beschneigungsakteure, Golfakteure sowie diverse Schwimmbäder), sind bei der Entscheidung über die Betriebsfähigkeit auf diese Größe angewiesen (Status: implementiert).
- **Bezug der *RiverwaterQuantityFlag* (täglich):** Sowohl Beschneigungsakteure als auch Golfplatzakteure benötigen für ihre Tätigkeit auch Oberflächenwasser, dessen Verfügbarkeit durch Wert dieser Flagge angezeigt wird (Status: implementiert).
- **Bezug der Bevölkerung (jährlich):** Die Bevölkerungsdaten des DANUBIA-Modells *DEMOGRAPHY* werden dazu benutzt, die Menge an Tagestouristen zu bestimmen, die im Untersuchungsgebiet Tagesreisen unternehmen und in Gastronomiebetrieben zum Wasserverbrauch beitragen (Status: implementiert).

Zusammenfassend werden die Schnittstellen des Tourismusmodells in Abbildung 5 dargestellt.

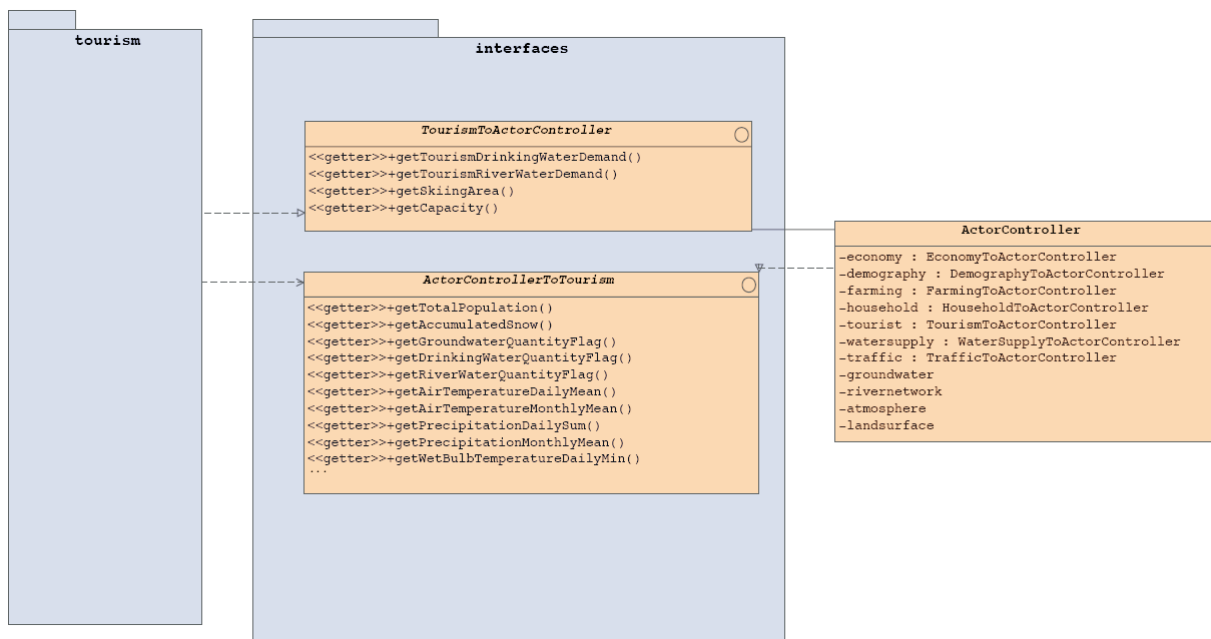


Abb. 5 Schnittstellen des *Deep-Tourism*-Modells (Quelle: DINGELDEY, in Vorbereitung)

#### 4. Entwicklung des GLOWA-Danube Tourismusmodells

Entsprechend des in der ersten Projektphase entwickelten angebotsorientierten Ansatzes, der in ein flaches, statisches touristisches Akteursmodell mündete, wurde in der zweiten Förderphase ein dynamisches Modell (GLOWA-Tourismusmodell) entwickelt, das verschiedene Fähigkeiten besitzt. Zielsetzung war einerseits den touristischen Wasserbedarf zu quantifizieren, andererseits sollten der Einfluss des Klimawandels auf den touristischen Wasserbedarf, die Funktionsfähigkeit der touristischen Infrastruktur sowie die Beeinflussung der touristischen Nachfrage modelliert werden. Diese Aspekte sind in dem neuen Tourismusmodell für DANUBIA verwirklicht.

Dieses Modell besteht aus inhaltlicher Sicht aus den Komponenten ‚Attraktivitätsmodell‘, ‚Wasserverbrauchsmodell‘ und dem ‚*TourismDeepActor*‘. Die Simulationsberechnungen finden in diesen Komponenten statt. Darüber hinaus gibt es noch eine weitere Komponente, die in der folgenden Abbildung als ‚Szenarien‘ bezeichnet ist. Mittels dieser Komponente ist es möglich, Szenarioeinstellungen (Parametersätze, die inhaltlich konsistent sind, bzw. Expertenwissen z.B. aus dem Stakeholderdialog) in das Modell vor Beginn eines Simulationslaufs zu integrieren (vgl. Abb. 6). Auf technische Aspekte des Tourismusmodells wird in Kapitel 4.5 eingegangen.

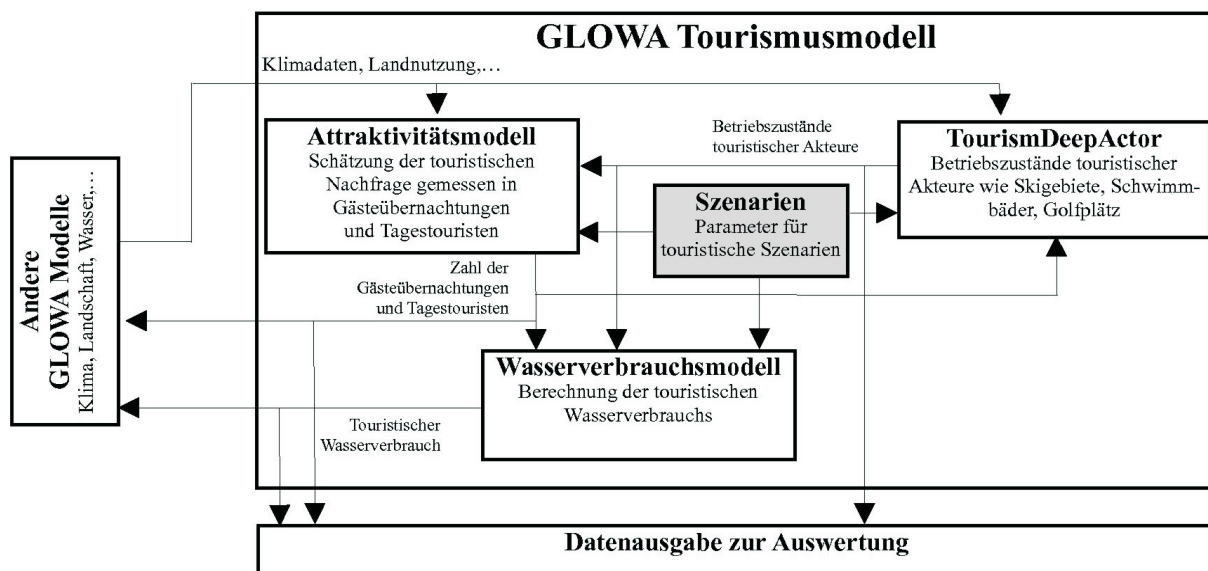


Abb. 6 Übersicht Konzeption des *Deep-Tourism-Modells* (Quelle: DINGELDEY, in Vorbereitung, leicht verändert)

Im Folgenden wird kurz auf die einzelnen Modellkomponenten eingegangen, wobei mit der *TourismDeepActor*-Komponente begonnen wird.

#### 4.1 *TourismDeepActor*-Modell

Im *TourismDeepActor*-Modell werden, basierend auf dem von der Forschungsgruppe Informatik basierenden Deep-Actor-Konzept, die Einrichtungen der touristischen Infra- und Suprastruktur in Form von selbstständig entscheidenden Akteuren abgebildet. Grundlage für die Darstellung der räumlichen Verteilung sind dabei die durchgeführten Erhebungsarbeiten (vgl. Kap. 2.2.1). Alle Elemente der touristischen Infra- und Suprastruktur, die zu Beginn dieser Projektphase im flachen touristischen Akteurmodell abgebildet sind, finden sich mit einer erheblich erweiterten Funktionalität in dieser Modellkomponente wieder.

Die Arbeit der Forschungsgruppe hat gezeigt, dass folgende Elemente des touristischen Angebots in dieser Modellkomponente abgebildet werden müssen. In Klammern ist jeweils angegeben, welche anderen Modellkomponenten des Tourismusmodells von diesen Infrastruktureinrichtungen berührt werden.

- Beherbergungsakteure (*Wasserverbrauchsmodell*, *Attraktivitätsmodell*),
- Gastronomieakteure (*Attraktivitätsmodell*),
- Skigebietsakteure mit Beschneigung (*Wasserverbrauchsmodell*, *Attraktivitätsmodell*),
- Skigebietsakteure ohne Beschneigung (*Attraktivitätsmodell*),
- Golfplatzakteure (*Attraktivitätsmodell*, *Wasserverbrauchsmodell*),
- Schwimmbadakteure verschiedenen Typs (*Attraktivitätsmodell*, *Wasserverbrauchsmodell*).

#### 4.2 *Wasserverbrauchsmodell*

Im *Wasserverbrauchsmodell* wird basierend auf der Anzahl der touristischen Nachfrager sowie den Betriebszuständen der touristischen Akteure der Wasserbedarf bestimmt. Diesen Berechnungen liegt die inhaltliche Abgrenzung des touristischen Wasserbedarfs zugrunde. In amtlichen Statistiken ist dazu keine Abgrenzung zu finden, so dass von der Forschungsgruppe Tourismus eine eigene Abgrenzung vorgenommen wurde, nachdem in der Phase I nur der touristische Trinkwasserbedarf bei der Modellierung berücksichtigt wurde. Daher

wurde festgelegt, „dass der touristische Wasserbedarf nur diejenige Wassermenge umfasst, die im Zusammenwirken, bzw. in der Vorbereitung des Zusammenwirkens von Tourist und Tourismuswirtschaft im engeren Sinne bei der Leistungserstellung in der touristischen Destination während einer fest definierten Zeitspanne am Konsumort benötigt wird. Der Wasserbedarf von vor- und nachgelagerten Wirtschaftsbereichen wird nicht berücksichtigt“ (SAX 2007, S. 51).

Bei der Betrachtung des touristischen Wasserbedarfs ist zu beachten, dass dieser bei manchen touristischen Angebotselementen nur einen Teil des jeweiligen gesamten Wasserbedarfs umfasst. So werden Skigebiete, Golfplätze und Schwimmbäder nicht nur von Touristen genutzt, so dass der Wasserbedarf dieser Einrichtungen streng genommen nicht nur dem Tourismus zugerechnet werden darf (vgl. Abb. 7).

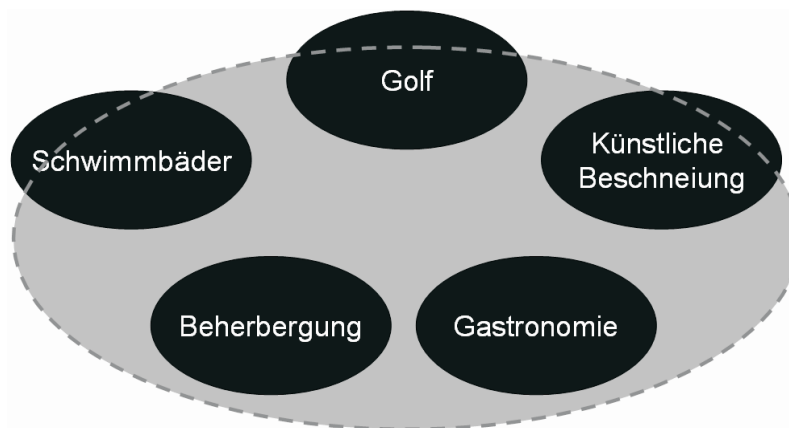


Abb. 7 Schematische Darstellung der Abgrenzung des touristischen Wasserbedarf (Quelle: SAX, in Vorbereitung)

Diese Unschärfe in der Abgrenzung des touristischen Wasserbedarfs wird jedoch als unproblematisch angesehen. Die konkrete Quantifizierung des touristischen Wasserbedarfs geschieht mittels des angebotsorientierten Ansatzes. Dabei wird von dem Wasserbedarf der Einrichtungen der touristischen Infra- und Suprastruktur ausgegangen. Sofern die Wasserbedarfsmengen von der Nachfrage beeinflusst werden (Gastronomiebetriebe, Beherbergungsbetriebe) wird dies im GLOWA-Danube-Tourismusmodell berücksichtigt. Für die Quantifizierung der touristischen Nachfrage wird auf die Modellkomponente ‚Attraktivitätsmodell‘ zurückgegriffen.

### 4.3 Attraktivitätsmodell

Das Attraktivitätsmodell dient dazu, die Anzahl der übernachtenden Touristen als auch der Tagestouristen abzuschätzen. Zunächst wird auf die Abschätzung der Übernachtungsnachfrage eingegangen.

#### 4.3.1 Schätzung der Übernachtungsnachfrage

Die Berechnung der Übernachtungsnachfrage wird monatlich auf der Ebene der Gemeinden vorgenommen, da auf dieser Ebene Vergleichsdaten aus der amtlichen Statistik zur Verfügung stehen. Dennoch wird durch entsprechendes Skalieren auf die Ebene der Proxel die Austauschbarkeit mit anderen DANUBIA-Modellen gewährleistet. Bei der Implementierung des Modells wurde den unterschiedlichen Zeittakten (Tagestakt bei den tiefen Akteuren, Monatstakt bei den tiefen Akteure, durch entsprechende Aggregationsschritte Rechnung getragen (vgl. Kap. 4.5).

Die Übernachtungsnachfrage in einer Gemeinde berechnet sich aus der Übernachtungsnachfrage des Vorjahres und Addition oder Subtraktion des konstanten Übernachtungswachstums bzw. Übernachtungsrückgangs. Dies wird für jede Gemeinde des Untersuchungsgebiets mit



Hilfe einer Zeitreihenanalyse und linearen Regression über den Zeitraum von 1983 bis 2002 bestimmt. Die monatlichen Übernachtungen werden aus dem Produkt der jährlichen Übernachtung und dem Monatsanteil der Übernachtungen (berechnet aus monatlichen Übernachtungsdaten auf Ebene der Gemeinden im GLOWA-Danube Testzeitraum von 1995 bis 1999) bestimmt.

Der daraus resultierende Wert wird mit additiven Attraktivitätszuschlägen und multiplikativen Attraktivitätsfaktoren, die sich aus Umweltvariablen und den Betriebszuständen der touristischen Infra- und Suprastruktur berechnen, angepasst. Mit einer zusätzlichen Skalierungsvariable lassen sich touristische Metatrends (z.B. bei der Gestaltung von Szenarien) in das Modell integrieren, die gleichmäßig auf das ganze GLOWA-Gebiet wirken.

Der Attraktivitätsfaktor berechnet sich aus den Faktoren für die Abhängigkeit der Übernachtungsnachfrage von der monatlichen Durchschnittstemperatur während der Sommersaison, von der Verfügbarkeit von Trinkwasser, vom Betriebszustand von Skigebieten und Schwimmbädern. Attraktivitätszu- und -abschläge gibt es für Skigäste, die in schneesichere Gebiete aus ihrem ursprünglichen Urlaubsgebiet wechseln und für den Betriebszustand von Golfplätzen.

In Gemeinden, die einen Monatsanteil an den Gesamtübernachtungen im August von mehr als 12% und/oder im Februar von mehr als 8% aufweisen, wird ein temperaturabhängiger Attraktivitätsfaktor mit Hilfe der monatlichen normierten Durchschnittstemperatur - dem Quotienten aus der entsprechenden Monatsmitteltemperatur und der Durchschnittstemperatur - bestimmt.

Für die Monate der Wintersaison - Dezember bis April - wird der Attraktivitätsfaktor für den Betriebszustand von Skigebieten berechnet. Die Attraktivität einer Gemeinde hängt dabei von der in Betrieb befindlichen Kapazität der Skigebiete - gemessen in der Beförderungskapazität in Personen/Stunde - und dem Anteil der wintersportinduzierten Übernachtungen ab.

In einem weiteren Schritt wird für das GLOWA-Gebiet berechnet, wieviele Gäste aufgrund des Schneemangels in andere Skigebiete wechseln. Die Anzahl der Übernachtungen von Gästen, die ihren Urlaubsort wechseln, werden in einem weiteren Schritt auf die GLOWA-Gemeinden verteilt, in denen noch Wintersport möglich ist. Dies erfolgt proportional zur Beförderungskapazität der noch in Betrieb befindlichen Skigebiete - dem Marktanteil.

Die Verfügbarkeit von Trinkwasser wird mit Hilfe der fünfstufigen Verfügbarkeitsflaggen vom Wasserversorgungsmodell beurteilt. Für diese wird über alle Proxel einer Gemeinde der durchschnittliche Flaggenwert der *DrinkinwaterQuantityFlag* berechnet. Wenn die Flagge den Wert 4 annimmt, reduziert sich die Übernachtungsnachfrage um 10%, bei einer Flagge mit dem Wert 5 um 32,5%.

Die Attraktivitätswirkung von Thermal- und Spaßbädern im Einzugsgebiet wird mit einem eigenen Attraktivitätsfaktor berücksichtigt. Für jedes Schwimmbad im Umkreis von 20 km, das aufgrund von Wassermangel seinen Betrieb einstellen muss, wird die Übernachtungsnachfrage in der jeweiligen Gemeinde um 10% reduziert.

Auch die Betriebszustände der Golfplätze (Golfplatzakteure) fließen bei der Modellierung der Übernachtungszahlen in die Berechnungen ein. Als Faustregel gilt, dass jeder Golfplatz mit 18 Spielbahnen in Urlaubsgemeinden 3.800 Übernachtungen pro Jahr generiert. Bei einem Ausfall eines Golfplatzes werden die entsprechenden Gäste pro Monat mit dem Saisonanteil der Golfspieler ermittelt. Alle Gäste, die aufgrund des Betriebsausfalls eines Golfplatzes nicht anreisen, werden vom Übernachtungsaufkommen der Gemeinden im Umkreis von 30km abgezogen. Dies erfolgt geschlüsselt anhand des Anteils der Gemeinde am Übernachtungsaufkommen im Einzugsgebiet des Golfplatzes.

Die touristische Übernachtungsnachfrage wird für jede Gemeinde berechnet und mit Hilfe des Bevölkerungsanteils des jeweiligen Proxels auf die einzelnen Proxel der Gemeinde verteilt.

Lokale Testläufe des Modells mit interpolierten Daten von Klimastationen zeigen, dass der gewählte Modellansatz bei der Darstellung der stark saisonal schwankenden Tourismusnachfrage sehr gute Ergebnisse liefert (vgl. Abb. 8).

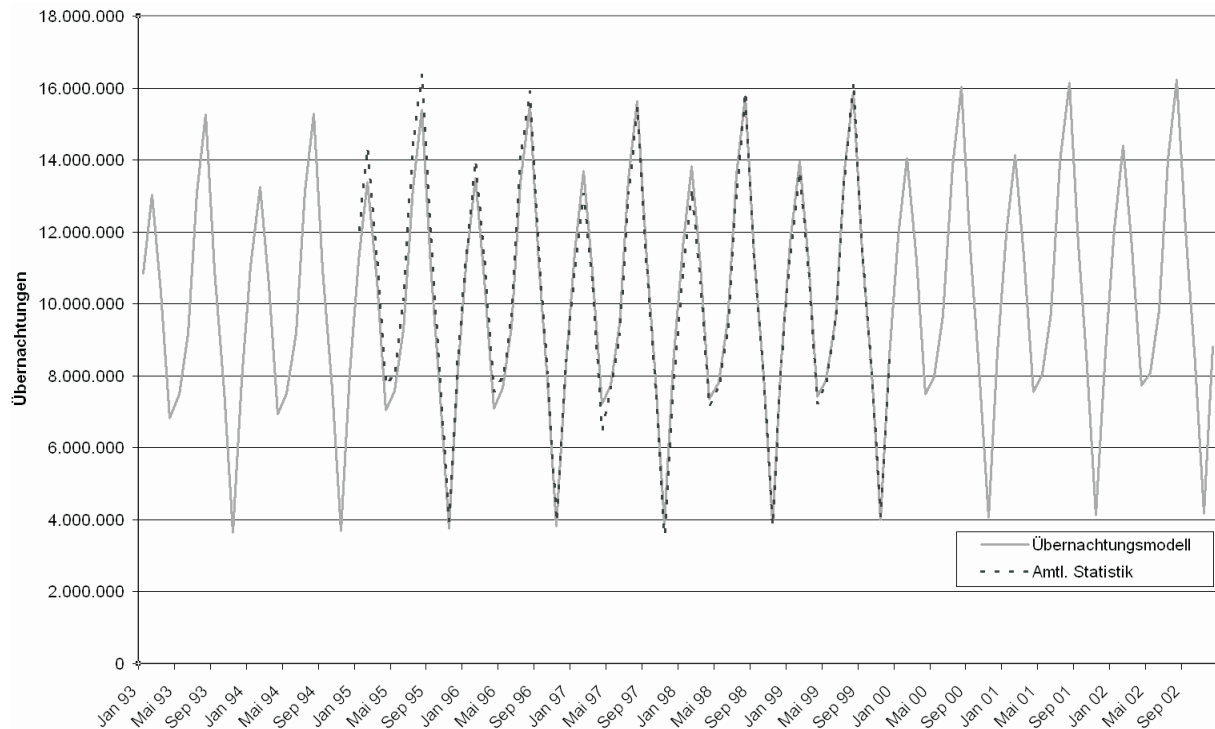


Abb. 8: Monatliche Übernachtungen im Untersuchungsgebiet von 1993 bis 2002 (Quelle: Eigene Darstellung und Berechnung)

### 4.3.2 Schätzung der tagestouristischen Nachfrage

Neben den übernachtenden Gästen stellen auch die Tagestouristen im Hinblick auf die absolute Zahl und die ausgegebenen Geldmengen sowie den Wasserbedarf ein wichtiges Segment dar. Dieses wird von der amtlichen Statistik nicht erfasst und ist daher dementsprechend schwer zu quantifizieren. Tagestouristen stellen zahlenmäßig eine erheblich größere Gruppe dar als die Übernachtungsgäste und müssen im Modell Berücksichtigung finden, da sie auch zum touristischen Wasserbedarf beitragen. Analog zum Modell der Übernachtungsnachfrage finden die Berechnungen dieser Modellkomponente auf der Ebene der Gemeinden statt und werden anschließend auf das Proxelniveau umgerechnet. Ausgangspunkt aller Überlegungen zur Modellierung der tagestouristischen Nachfrage ist das Ausflugsverhalten der Bevölkerung im Untersuchungsraum.

Um grundsätzlich die Zahl der Tagestouristen zu ermitteln, stehen verschiedene Studien zum Ausflugsverhalten von Deutschen, Österreichern und Schweizern zur Verfügung (vgl. MASCHKE, 2005; ÖSTERREICHISCHES STATISTISCHES ZENTRALAMT 1994 u. BAK BASEL ECONOMICS 2003).

Die Modellierung der Tagestouristen geschieht, wie im Jahresbericht 2006 dargestellt, mittels eines Gravitationsansatzes, bei dem während der Simulation die Betriebszustände der touristischen Akteure berücksichtigt werden. Dadurch erfolgt eine dynamische Darstellung der Tagestouristen, die für den Wasserbedarf der Gastronomie von Bedeutung sind. Durch diese Modellkomponente wird die Bedeutung dieses Tourismussegments für die touristische Wassernutzung in das Simulationsmodell integriert. Durch die Berücksichtigung der Bevölkerungszahl (über eine Schnittstelle zum DANUBIA-Modell *DEMOGRAPHY*) kann auch auf schwankende Bevölkerungszahlen reagiert werden.

#### 4.4 Szenarien

Mit der inhaltlichen Komponente ‚Szenarien‘ besteht die Möglichkeit, einerseits Expertenwissen in das Modell zu integrieren, andererseits tourismusfachliche Szenarien berechnen zu lassen. Dies ist aus zweierlei Sicht notwendig.

Grundsätzlich sollen mit den Simulationsrechnungen lange Zeiträume abgedeckt werden. Dabei ist es jedoch absehbar, dass sich bestimmte Modellparameter im Zeitverlauf ändern und die aktuelle Modellparametrisierung in Zukunft so nicht mehr gültig ist. Um diesem Sachverhalt Rechnung zu tragen, kann man auf hinsichtlich zukünftiger Parameterausprägungen z.B. im Rahmen eines Stakeholderdialogs auf Expertenwissen zurückgreifen und im Modell berücksichtigen.

Andererseits erscheint es aus Sicht der Forschungsgruppe Tourismus nicht sinnvoll, nur die Auswirkungen eines veränderten Klimas auf den touristischen Wasserbedarf zu untersuchen. Um eine sinnvolle Arbeit mit dem Entscheidungsunterstützungssystem DANUBIA zu gewährleisten, ist es notwendig, auch unterschiedliche touristische ‚Zukünfte‘ in Szenarioberechnungen zu untersuchen (=sektorale Szenarien), da davon auszugehen ist, dass das Tourismussystem zumindest nicht statisch sein wird.

Verschiedene denkbare Ausprägungen der Zukunft können mittels ‚Stellschrauben‘ in das GLOWA-Danube Tourismusmodell integriert werden. Folgende Stellschrauben erscheinen dabei sinnvoll (vgl. Tab. 2).

Tab. 2: Stellschrauben touristischer Akteure (Quelle: Eigene Darstellung)

<b>Touristischer Akteur</b>	<b>Stellschraube</b>	<b>Modifikation</b>
Beschneigungsakteur	Betriebstage	Wert setzen
	Feuchttemperatur (Tagesminimum)	Wert setzen
	Schneehöhe	Wert setzen
	Wasserbedarf	Änderung der Steigung der Regressionsgerade zur Ermittlung des Wasserbedarfs
	Verhältnis beschneite Fläche / Anzahl Schneemaschinen	Wert setzen
Golfakteur	Bewässerungsintervall	Wert setzen
	Fairwaybewässerung	Wert setzen
Schwimmbadakteure	Wasserverfügbarkeitsschwelle	Wert setzen
Beherbergungsakteur	Wasserbedarf	Wert setzen
Gastronomieakteur	Wasserbedarf	Wert setzen

Für die erfolgreiche Durchführung von Szenarioberechnungen müssen inhaltlich sinnvolle und konsistente Bündel von Einstellungen der Stellschrauben gefunden werden. Diese integrative Arbeit muss in der dritten Projektphase zusammen mit den anderen Forschungsgruppen ausgeführt werden, um für die Berechnungen in DANUBIA in sich stimmige Gesamtszenarien zu erhalten. Die Forschungsgruppe Tourismus wird sich an einem projektinternen Dialog zu dieser Thematik beteiligen.

#### 4.5 Umsetzung des Modells in JAVA (Tourism Model) und Integration in DANUBIA

Die im Lauf der zweiten Förderphase entwickelten Modellansätze (Zwischenschritte) wurden in Java umgesetzt. Dabei wurden von der Forschungsgruppe Tourismus alle von der

Forschungsgruppe Informatik entwickelten Verbesserungen (z.B. Performanceoptimierung) umgesetzt.

Die tiefe Modellkonzeption der Forschungsgruppe Tourismus wurde im Verlauf der aktuellen Projektphase sukzessive in Java umgesetzt, so dass jetzt ein funktions- und szenariofähiges Modell in der Version 1.3.2 zur Simulation der touristischen Wassernutzung vorliegt.

Alle inhaltlichen Entwicklungen wurden in dieser DANUBIA-Komponente abgebildet, so dass dieses jetzt ein funktionierender Bestandteil des Gesamtsystems ist. Entsprechend sind alle Berechnungen in die Rechenzyklen des DANUBIA-Frameworks eingebunden. Im Folgenden wird die technische Konzeption des GLOWA-Danube Tourismusmodells kurz erläutert.

Innerhalb des Pakets ‚*tourism*‘ (=GLOWA-Danube Tourismusmodell) bestehen mehrere Pakete (vgl. Abb. 9). Das wichtigste ist dabei in Anlehnung an das DeepActorKonzept das Paket ‚*deeptourism*‘. Darin sind die modellhaft abgebildeten touristischen Leistungsanbieter (=Tiefe-Akteure) abgebildet. Besonderheiten, wie z.B. die Nutzung eines Speicherteichs (für Skigebietsakteure mit Beschneigung und Golfplatzakteure) werden ebenfalls dort abgebildet und stehen den entsprechenden Akteuren zur Verfügung (z.B. DT\_Skiingarea für die künstliche Beschneigung und DT\_Golfcourse für die Bewässerung der Spielflächen). Die Schwimmbäder sind in einem eigenen Unterpaket organisiert. Weiterhin befinden sich im Paket ‚*deeptourism*‘ auch die für die Funktionsfähigkeit wichtigen Pakete *action*, *event* sowie *plan*, die für die korrekte Funktionweise der tiefen Akteure notwendig sind.

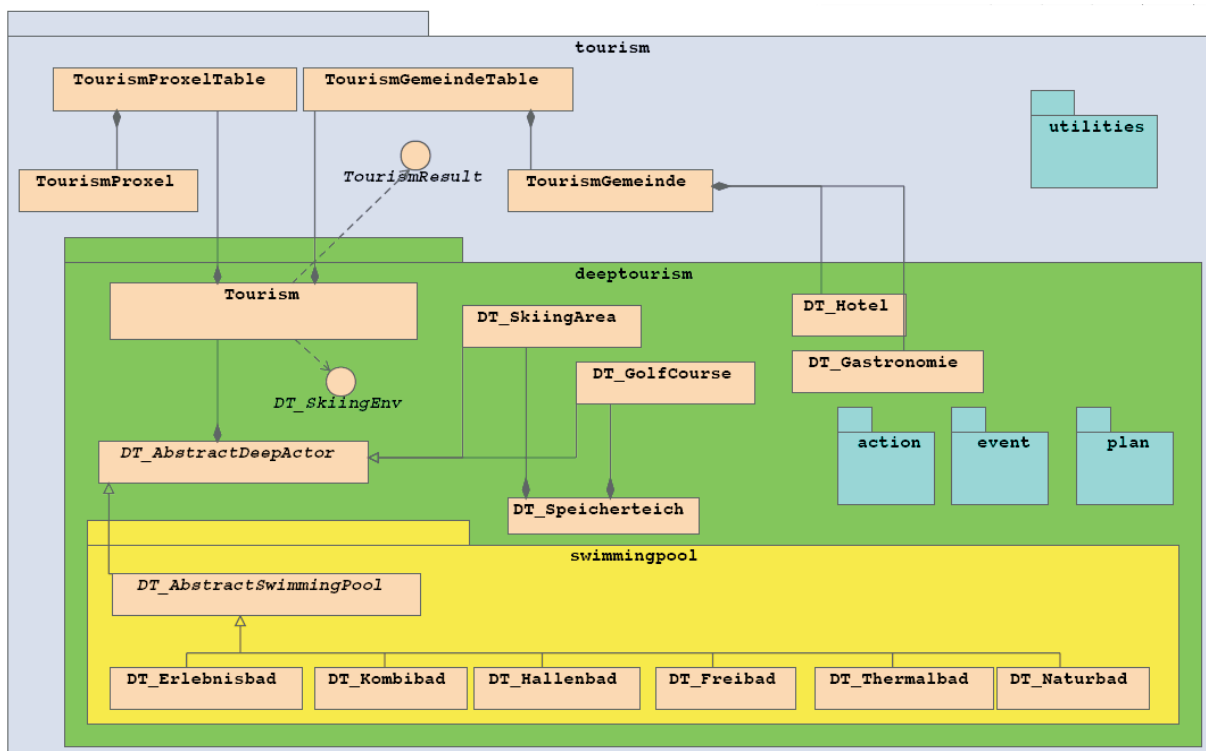


Abb. 9: Paketstruktur des GLOWA-Danube Tourismusmodells (Quelle: DINGELDEY, in Vorbereitung)

Die Ebene des Datenaustausches sind die Proxel. Für das GLOWA-Danube Tourismusmodell ist es aber notwendig, dass auch auf der Ebene der Gemeinden Berechnungen durchgeführt werden. Dies hat den Hintergrund, dass z.B. Übernachtungszahlen nur auf der Ebene der Gemeinde erhoben werden und Berechnungen zur Bestimmung der touristischen Nachfrage (vgl. Attraktivitätsmodell) in Teilbereichen einzelner Gemeinden nicht sinnvoll erscheinen. Analog wird auch bei der Berechnung der Tagestouristen vorgegangen. Daher besteht neben Proxel und einer Proxeltable auch eine Gemeindetable mit entsprechenden Gemeinden (vgl. Abb. 10).

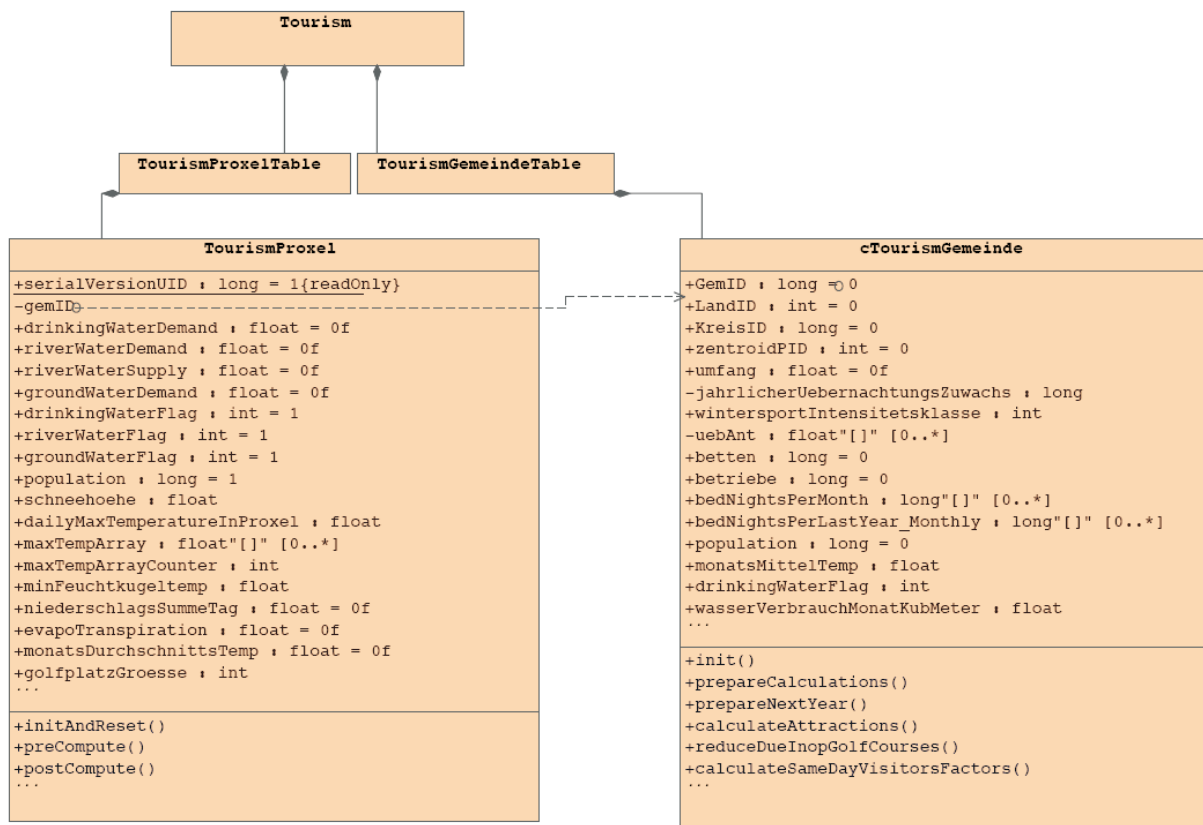


Abb. 10: Proxel und Gemeinden (Quelle: DINGELDEY, in Vorbereitung)

Das Tourism-Modell besitzt genau ein TourismGemeindeTable und ein TourismProxelTable. In diesen sind sämtliche TourismGemeinde bzw. TourismProxel Objekte gespeichert. Jedem „Tiefen Akteur“ ist ein Tourism- Proxel als Standort zugeordnet. Jede TourismGemeinde besitzt einen Verweis zu ihren entsprechenden besiedelten Proxeln. Dabei hat jede Gemeinde mindestens ein besiedeltes Proxel. Jede Gemeinde enthält einen Bezug zu allen Thermal- und Erlebnisbädern sowie Schwimmbädern in 20 km Umkreis. Darüber hinaus ist jeder Tourism- Gemeinde genau ein „Tiefer Akteur“ für sämtliche Gastronomiebetriebe DT\_Gastronomie und Hotels DT\_Hotel zugeordnet. Der Golfplatzakteur enthält eine Liste mit den Gemeinden im Umkreis von 30 km.

In Abbildung 11 werden die Datenabhängigkeiten der einzelnen Objekte des Tourismusmodells dargestellt.



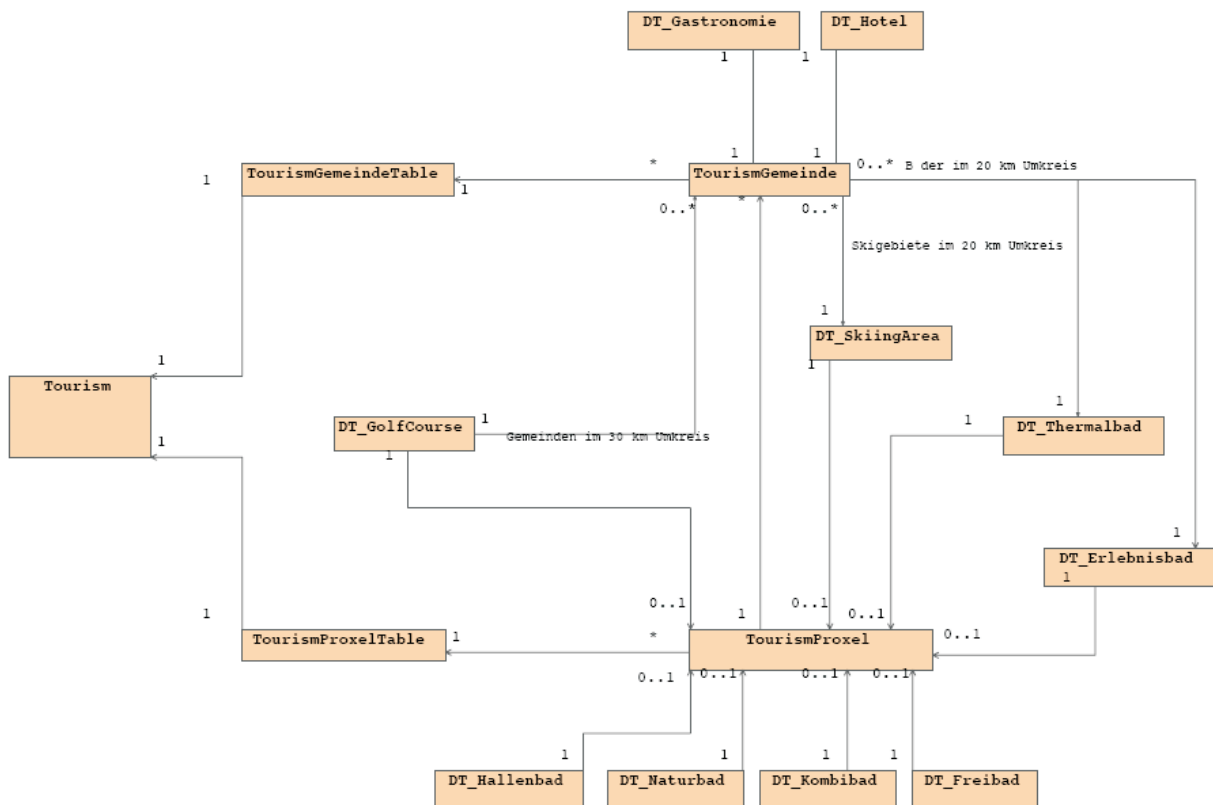


Abb. 11: Datenabhängigkeiten im Tourismusmodell (Quelle: DINGELDEY, in Vorbereitung)

Die bisherigen Ausführungen in diesem Kapitel beziehen sich auf die statische Struktur des Tourismusmodells. Im Folgenden wird die Dynamik des entwickelten Modells vorgestellt.

Der Modellablauf wird durch die vom *Framework* vorgegebenen Funktionen realisiert. Zum Modellstart wird wie in allen GLOWA-Danube Modellen die Funktion `init` ausgeführt. Hier werden sämtliche Objekte erzeugt und initialisiert und die Daten aus den externen Dateien in die Modellkomponenten geladen. In der Methode `getData` werden die ersten Parameter von anderen Modellen in das Tourismusmodell geladen. Die Funktion `preCompute` bereitet die Berechnungen der „Tiefen Akteure“ vor. Als nächster Schritt werden die Berechnungen der *DeepActors* ausgeführt - Abfrage der Umweltvariablen mit `deepActors.query`, Auswahl der möglichen Entscheidungen mit `deepActors.options` und konkrete Entscheidung mit `deepActors.filter`. In der Funktion `postCompute` werden die Daten aus den touristischen „Tiefen Akteuren“ aggregiert und die Berechnungen der Nachfrage von Übernachtungs- und Tagesausflugsgästen durchgeführt sowie der touristische Wasserverbrauch bestimmt. Die Operation `commit` gibt die berechneten Werte an die anderen GLOWA-Danube Modelle weiter. Mit `store` werden alle lokalen Ausgabedateien gespeichert. Danach beginnt ein neuer Modellzyklus mit der Funktion `getData` (vgl. Abb. 12). Das Besondere des Tourismusmodells sind die unterschiedlichen Zeittakte innerhalb des Modells. Grundsätzlich rechnet das Tourismusmodell im Tagestakt. Sämtliche „Tiefen Akteure“ rechnen täglich. Die Berechnungen der Modellkomponenten Übernachtungsnachfrage und Tagestourismus werden allerdings nur monatlich durchgeführt. Aus diesem Grund müssen Daten der „Tiefen Akteure“, die von den monatlichen Teilmodellen benötigt werden - beispielsweise die Anzahl der Betriebstage - in jedem „Tiefen Akteur“ aggregiert werden. Am letzten Tag jeden Monats werden die Berechnungen der Teilmodelle Übernachtung und Tagestourismus ausgeführt (vgl. Abb. 12).

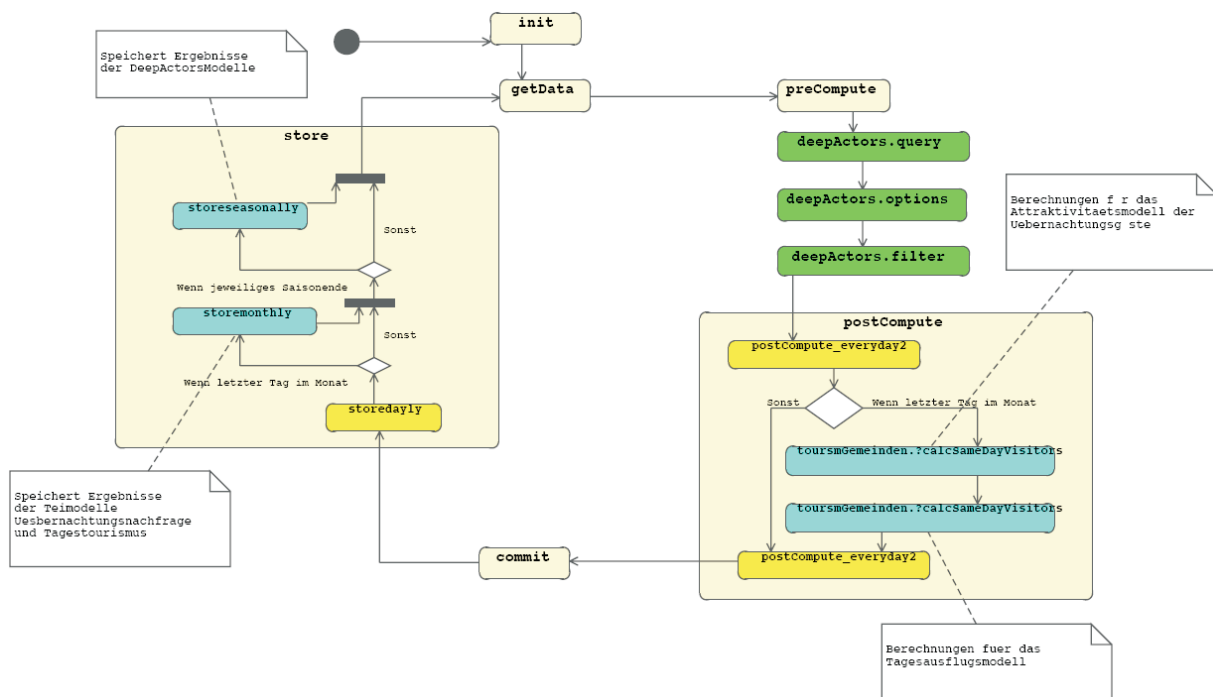


Abb. 12: Aktivitätsdiagramm GLOWA-Danube Tourismusmodell (Quelle: DINGELDEY, in Vorbereitung)

#### 4.5 Ergebnisse des Szenariolaufs

Zum Ende der zweiten Projektphase konnte das Konzept mit einem einfachen Prototypen in einem Szenariolauf getestet werden. Der DANUBIA Szenariolauf erbrachte für die Forschungsgruppe Tourismus gute Ergebnisse.

Von besonderem Interesse war dabei die Modellierung des Wasserbedarfs der Freibadakteure, die hinsichtlich ihrer Öffnungszeiten von den simulierten Temperaturbedingungen beeinflusst werden. Dabei zeigt sich, dass mit dem verfolgten Modellansatz auf regional unterschiedliche Umweltbedingungen reagiert werden kann und der gewählte Ansatz realitätsnahe Ergebnisse hinsichtlich der Öffnungszeiten dieses touristischen Angebotslements liefert (vgl. Jahresbericht 2006).

Abbildung 13 zeigt die regional unterschiedlichen Öffnungstage, die im Berichtslauf mit für die Freibadakteure errechnet werden konnten. Darüber hinaus kam auch ein Prototyp des Skigebietsakteurs zum Einsatz. Durch die Berücksichtigung der im Modell Snow berechneten Schneehöhen können regional sehr unterschiedliche Öffnungszeiten der Skigebietsakteure festgestellt werden (vgl. Abb. 15).

Aufgrund der täglichen Berechnungen des Modells können auch klimatische Extremwerte, die sich auf die Schneebedeckung auswirken, im Modell berücksichtigt werden. Deutlich kann man in Abbildung 9 erkennen, dass die Zahl der Öffnungstage von Skigebietsakteuren von Jahr zu Jahr starken Schwankungen unterliegen kann. Bei der Betrachtung der mittleren Öffnungstage über den gesamten Simulationszeitraum (vgl. Abb. 15) zeigen sich ausgeprägte regionale Unterschiede. Dadurch wird es ermöglicht, unter verschiedenen Klimaszenarien zukünftige Gunst- oder Ungunsträume für den Skitourismus zu identifizieren.

Bei den Skigebietsakteuren wurden nicht nur Werte von anderen DANUBIA-Modellen zur Laufzeit berücksichtigt, sondern es fand eine Kopplung mit dem Modell TRAFFIC statt, das von den Skigebietsakteuren über eine Schnittstelle eine Benachrichtigung über den Betriebszustand (offen oder geschlossen) erhielt. Diese Information wurde wiederum für die Berechnungen des Modells TRAFFIC benötigt. Daran zeigt sich, dass während der zweiten Projektphase von GLOWA-Danube auch in technischer Hinsicht eine starke Integration der Forschungsgruppe Tourismus in das Projekt stattfand.

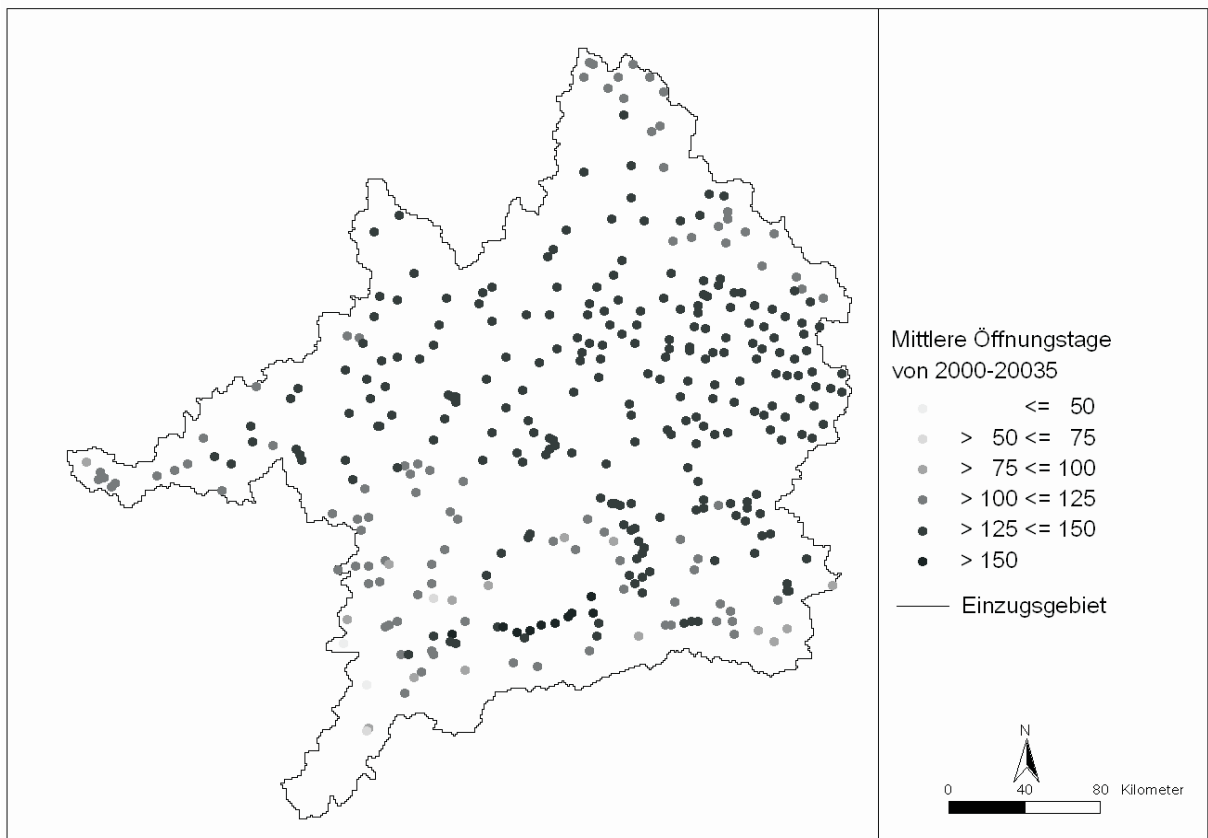


Abb. 13: Mittlere simulierte Öffnungstage von Freibadakteuren (Quelle: DANUBIA Berichtslauf Februar 2006, eigene Darstellung)

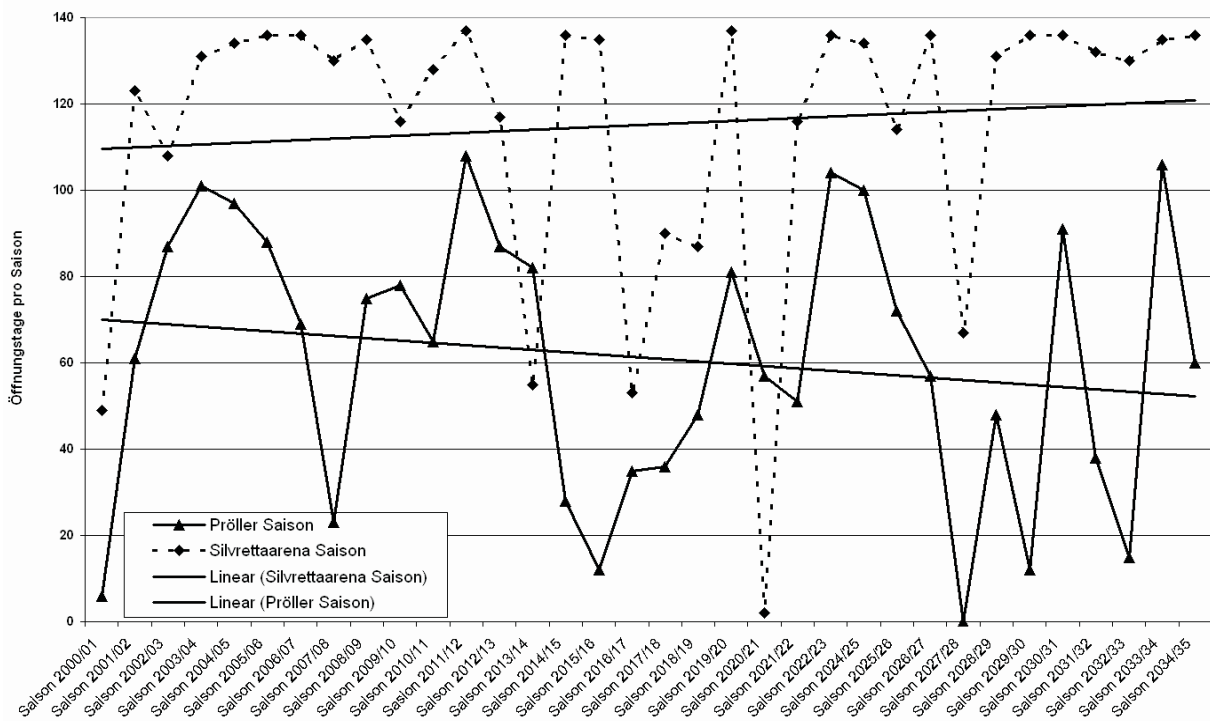


Abb. 14: Verlauf simulierter Öffnungstage ausgewählter Skigebietsakteure von der Saison 2000/01 bis 2034/35 (Quelle: DANUBIA Berichtslauf Februar 2006, eigene Darstellung)

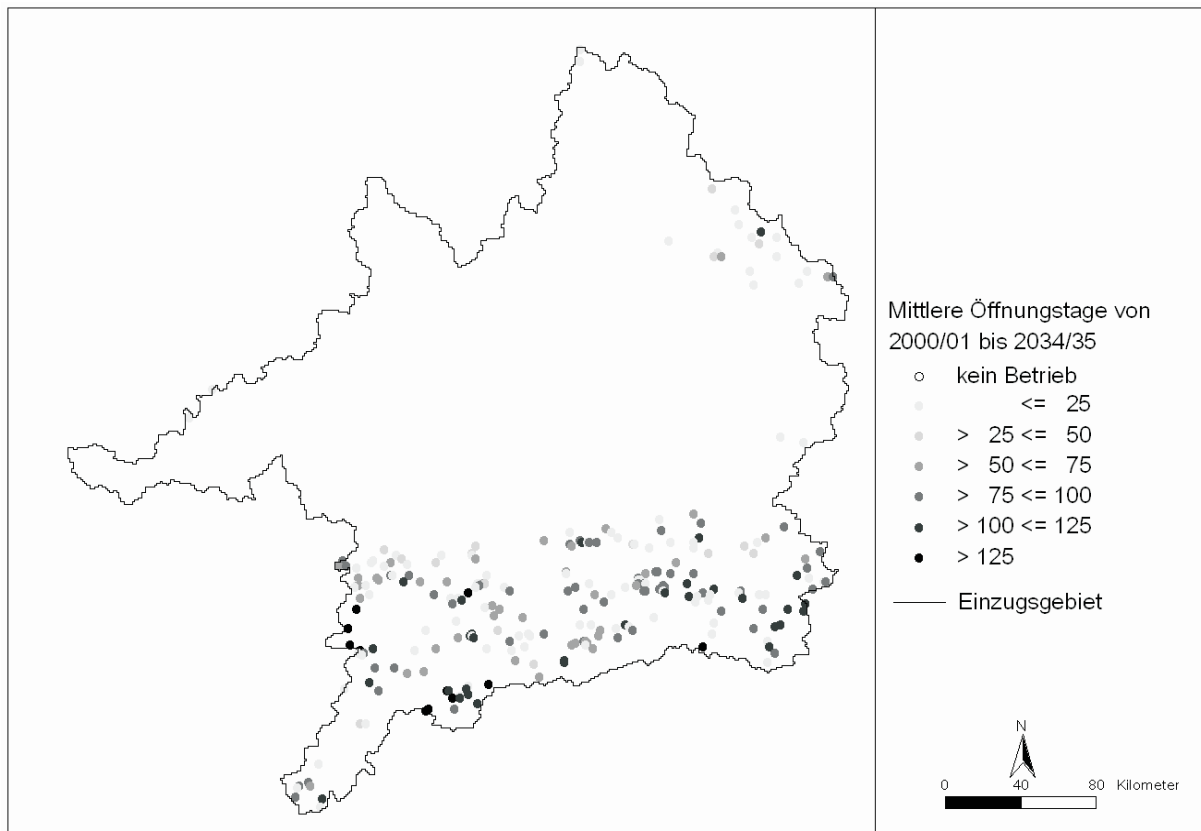


Abb. 15 : Mittlere simulierte Öffnungstage von Skigebietsakteuren im Zeitraum der Saison 2000/01 bis 2034/35 (Quelle: DANUBIA Berichtslauf Februar 2006, eigene Darstellung)

#### 4.6 Auswertungskonzept

Neben der Implementierung des von der Forschungsgruppe Tourismus entwickelten Modells wurde bis zum Ende der zweiten Projektphase ein Auswertungskonzept erarbeitet, um die Ergebnisdaten der Simulationsläufe inhaltlich auswerten zu können. Das Auswertungskonzept sieht dabei vor, dass man sich sowohl auf verschiedene Wasserarten, den Gesamtwasserbedarf und die entsprechenden Verursacher konzentriert (vgl. Tab. 3). Dabei sollten unterschiedliche Zeitintervalle und räumliche Aggregationsstufen berücksichtigt werden, um einen Überblick auf die Ergebnisse zu erhalten. In ähnlicher Weise ist es auch notwendig, die Daten zur touristischen Nachfrage sowie das Verhalten der touristischen Akteure auszuwerten. Zunächst wird auf die Auswertung der Betriebszustände der touristischen Akteure eingegangen.

Durch den gewählten Modellansatz ist es nicht nur möglich, den touristischen Wasserbedarf zu quantifizieren, sondern darüber hinaus kann auch die Betriebsfähigkeit touristischer Infrastruktureinrichtungen simuliert werden. Exemplarisch wird das Auswertekonzept für die Betriebszustände anhand der Tabelle 4 für die Skigebietsakteure mit künstlicher Beschneidung dargestellt.

Tab. 3: Aggregationsschema für den touristischen Wasserbedarf (Quelle: Eigene Darstellung)

<b>Aggregation nach Monaten und Kalenderjahren, auf räumlicher Ebene nach Untersuchungsgebiet, Landkreisen (Bezirken) und Gemeinden; Einheiten in m<sup>3</sup> pro ausgewählter Zeiteinheit (Monat, Jahr)</b>				
	<b>Trinkwasser</b>	<b>Grundwasser</b>	<b>Oberflächenwasser</b>	<b>Gesamter Wasserbedarf</b>
<b>Golfakteure</b>	Golfakteure	Golfakteure	Golfakteure	Golfakteure
<b>Schwimmbad-akteure*</b>	Schwimmbad-akteure	Schwimmbad-akteure	kein Bedarf	Schwimmbäder
<b>Beschneigungs-akteure</b>	Beschneigungs-akteure	Beschneigungs-akteure	Beschneigungs-akteure	Beschneigungs-akteure
<b>Beherbergungs-akteure</b>	Beherbergungs-akteure	kein Bedarf	kein Bedarf	Beherbergungs-akteure
<b>Gastronomie-akteure</b>	Gastronomie-akteure	kein Bedarf	kein Bedarf	Gastronomieakteur

\*Hier kann noch zusätzlich eine Aufteilung nach den einzelnen Schwimmbadtypen vorgenommen werden

Tab. 4: Auswertungsoptionen für Beschneigungsakteure (Quelle: Eigene Darstellung)

<b>Aggregationsart</b>	<b>Zeitliche Auflösung</b>	<b>Anzahl Dateien</b>
Erster Öffnungstag pro Saison	Tag	1
Letzter Öffnungstag pro Saison	Tag	1
Anzahl Öffnungstage am 20.12.	Tag	1
Anzahl Öffnungstage am 06.01.	Tag	1
Öffnungstage aktuelle Saison	Saison	1
Durchschnittliche Öffnungstage pro Saison	Saison	1
Schließtage pro Monat	Monat	12
Schließtage pro Jahr	Jahr	1
Erster Beschneigungstag pro Saison	Tag	1
Letzter Beschneigungstag pro Saison	Tag	1
Anzahl Beschneigungstage pro Monat	Monat	12
Anzahl Beschneigungstage pro Saison	Saison	1
		<b>Summe: 34</b>

Schließlich ist bei der Auswertung der Ergebnisdaten die touristische Nachfrage zu berücksichtigen. Die Daten sowohl für den Tagestourismus als auch den Übernachtungstourismus werden in monatlicher und jährlicher Auflösung sowohl für Gemeinden als auch Kreise (Bezirke) des Untersuchungsgebiets ausgewiesen. Damit können durch weitere Berechnungen Veränderungsmuster in der räumlichen Verteilung der touristischen Nachfrage ermittelt werden. Um einen Eindruck der Bedeutung des Tourismus zu erhalten, ist es sinnvoll, die jährlichen Bevölkerungszahlen des DANUBIA-Modells *DEMOGRAPHY* mit den ermittelten Übernachtungszahlen zur Tourismusintensität zu verrechnen. In der dritten Projektphase werden für die Auswertung der Ergebnisdaten entsprechende Routinen entwickelt.



## 5. Schlussbetrachtung

In der zweiten Förderphase des Projekts GLOWA-Danube wurden die Berechnungen der Forschungsgruppe Tourismus, im Gegensatz zur ersten Förderphase, auf das gesamte Untersuchungsgebiet ausgedehnt. Dazu waren umfangreiche Recherchearbeiten zur touristischen Infrastruktur notwendig. Ebenso wurden primärstatistische Erhebungen zum Verhalten der touristischen Nachfrager sowie der Betreiber von touristischen Infrastruktureinrichtungen durchgeführt.

Darüber hinaus wurde von der Forschungsgruppe Tourismus das in der ersten Projektphase entwickelte Konzept der angebotsorientierten Quantifizierung des touristischen Wasserbedarfs in Form eines tiefen touristischen Akteurmodells zur Szenariofähigkeit ausgebaut (=GLOWA-Tourismusmodell) und die Integration mit den von natur- und sozialwissenschaftlichen Forschungsgruppen innerhalb des Projekts vertieft. Dies erfolgte auf durch die Identifizierung und Implementierung zahlreicher Schnittstellen. Aufgrund dieser Erweiterungen ist das GLOWA-Danube Tourismusmodell in der Lage, auf variable simulierte Umweltbedingungen zu reagieren.

Mit den Ergebnissen der Tätigkeiten der zweiten Projektphase ist die Forschungsgruppe Tourismus in der Lage, in der folgenden dritten Projektphase an voll gekoppelten Simulationsläufen des Entscheidungsunterstützungssystems DANUBIA teilzunehmen.

Durch den vorgestellten Modellansatz können sektorale Ziele (Szenariengestaltung in der folgenden Phase) aus Sicht der Tourismusforschung, wie z.B. Auswirkung des Klimawandels auf die alpine Wintertourismusinfrastruktur oder die Auswirkungen einer veränderten klimatischen Situation auf die touristische Übernachtungsnachfrage untersucht werden. Gleichzeitig ermöglicht der gewählte angebotsorientierte Ansatz, einen Beitrag zum integrativen Aspekt der Abbildung des Wasserkreislaufs im Einzugsgebiet der oberen Donau zu leisten, sowie zur Modellierung der anthropogenen Wassernutzung, insbesondere die Nutzung der Ressource Wasser durch die Tourismuswirtschaft. Dabei ist zu betonen, dass die Bearbeitung sektoraler und integraler Fragestellungen nur durch die integrative Arbeit in diesem Forschungsprojekt, sowie die Nutzung der Ergebnisdaten der Modelle anderer Forschungsgruppen sowohl aus dem natur- als auch dem sozialwissenschaftlichen Forschungsbereich realisieren lassen.

## Literatur

- DINGELDEY, A. (in Vorbereitung): Modellierung der touristischen Attraktivität zur Bestimmung der Übernachtungsnachfrage im Einzugsbereich der Oberen Donau unter Berücksichtigung von Umwelteinflüssen. Dissertation Universität Regensburg.
- SAX, M. (2007): Entwicklung eines Konzepts zur computergestützten Modellierung der touristischen Wassernutzung im Einzugsgebiet der oberen Donau unter Berücksichtigung des Klimawandels. Dissertation Universität Regensburg (im Druck).
- MASCHKE (2005): Tagesreisen der Deutschen, Teil I. München.
- ÖSTERREICHES STATISTISCHES ZENTRALAMt (Hrsg.) (1994): Tagesausflüge und Kuraufenthalte der Österreicher 1993/94. Wien.
- BAK BASEL ECONOMICS (Hrsg.) (2003) Der Tagestourismus in der Schweiz. Basel.

# **Ausbildungsforum und Know-How Transfer in Schwellen und Entwicklungsländer**

Teilprojekt: Human Capacity Building  
Leiter: Jürgen Braun, Ph.D.  
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. Organisation**

### **1.1 Kurzbeschreibung des Teilprojekts**

Im Teilprojekt „Human Capacity Building“ werden einerseits hochqualifizierte Nachwuchswissenschaftler aus Drittländern mittels Stipendien gefördert und andererseits wird ein wissenschaftlicher Austausch zwischen den an GLOWA-Danube beteiligten Nachwuchswissenschaftlern, den im Rahmen dieses Teilprojekts geförderten GLOWA-Danube-Stipendiaten und den Studierenden des auslandsorientierten Studiengangs „Water Resources Engineering and Management - WAREM“ sowie des Doktorandenprogramms „Environment Water - ENWAT“ der Universität Stuttgart geschaffen. 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- und ENWAT-Studenten der Wissenstransfer in Schwellen- und Entwicklungsländer sichergestellt.

### **1.2 Personal**

#### **1.2.1 Wissenschaftler**

Das Teilprojekt wurde von Professor Kobus und Dr. Braun beantragt und wird von Prof. Kobus auch nach seiner Emeritierung (30. September 2002) begleitet. Die Tagesaufgaben wurden, auch nach seiner Ernennung zum Wissenschaftlichen Leiter der „Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung - VEGAS“ mit Unterstützung durch das WAREM-Sekretariat von Dr. Braun durchgeführt. Somit werden alle Personalkosten des Teilprojekts aus der Grundausrüstung der Universität Stuttgart bezahlt.

#### **1.2.2 Wissenschaftliche Hilfskräfte**

Wissenschaftliche Hilfskräfte wurden im Teilprojekt nur in sehr geringem Umfang zur Unterstützung des WAREM-Sekretariats bei der Betreuung der Stipendiaten eingesetzt. Die Koordinatoren des Teilprojekts wurden von Herrn 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.

Der Großteil der für Beschäftigungsentgelte (Pos. 0822) bewilligten Mittel wurde, wie beantragt, in Stipendien für hoch qualifizierte Studierende umgesetzt.

### **1.3 Investitionen**

Alle notwendigen Anschaffungen wurden aus der Grundausrüstung finanziert.

## **1.4 Interkulturelle Betreuung und Integrationsmaßnahmen**

Neben dem regulären Fachstudium besuchen die Stipendiaten interkulturellen und Deutschunterricht. Weiterhin konnten die Stipendiaten in den vom Auslandsamt angebotenen Exkursionen etc. teilnehmen. Damit soll mittelfristig eine soziale Einbindung und dadurch langfristig eine enge Beziehung zu Deutschland als Wirtschaftsstandort erreicht werden.

In fachlicher Hinsicht benötigen die internationalen Studierenden oft einen erheblich höheren Betreuungsaufwand als ihre deutschen Kommilitonen. Das liegt vor allem daran, dass viele der internationalen Studierenden aus einem relativ „verschulten“ Universitätsystem kommen und somit selbständiges Arbeiten oft nicht gewöhnt sind. Weiterhin sind insbesondere die asiatischen und afrikanischen Studierenden aufgrund der in ihrem Heimatland herrschenden Hierarchien nicht gewohnt, sich fehlende Daten selbst zu beschaffen.

## **2. Ergebnisse**

In den Zwischenberichten wurde auf die Stipendiatenauswahl und die einzelnen Stufen ihrer Ausbildung detailliert eingegangen. Im Nachfolgenden werden daher die individuellen Stipendiaten und ihr derzeitiger Ausbildungsstand kurz erläutert.

### **2.1 Stipendiaten**

In den Zwischenberichten 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 war, erhöhten sich die monatlichen Auszahlungsbeiträge entsprechend. Dies machte das Stipendium auch im Hinblick auf die Angleichung an die höheren Raten anderer Stipendienprogramme für die Studierenden attraktiver.

Die ausgewählten StipendiatInnen erhalten ein Startgeld in Höhe von € 500, € 1000 als Reisezuschuss am Ende des Studienaufenthaltes. Die Stipendienzahlungen werden gleichmäßig auf 18 Monatsraten verteilt. Die Höhe dieser Auszahlung liegt dabei immer noch unter den im Rahmen des IPSWAT-Programms (ebenfalls BMBF).

#### **2.1.1 Stipendiaten der Gruppe GLOWA04 (Zulassung zum WS 2004/05)**

- Joanna Studzinska (Polen)

(Stipendium von 1.09.2004-31.08.2006) hat während der Arbeit an ihrer ersten Master's Thesis das Thema gewechselt und ist nun in der Endphase ihrer Master's Thesis mit dem Titel „Environmental Impact Assessment in the UK, USA and Canada as a Guideline for EIA Implementation in Mexico“.

- Ahmet Baran Özcan (Türkei)

(Stipendium von 1.09.2004-31.08.2006) hat seine Master's Thesis: „A Case Study: Water Balance in Iberotel Sarigerme Park/Turkey and Evaluation of Wastewater Reuse - Opportunities Using MEMOS Membrane Bioreactor“ abgegeben und somit sein Studium erfolgreich abgeschlossen. Die Arbeit wird derzeit von den Betreuern bewertet. Die enge Zusammenarbeit mit türkischen Projektpartnern bewirkte, dass bereits während der Master's Thesis ein Technologietransfer in die Türkei gewährleistet war.

- Angela Aray Villalba (Kolumbien)  
(Stipendium 1.4.05.-30.09.06) hat im Sommersemester 2007 ihre Independent Study "Evaluation of the capacity to counteract the effects of a long power failure in different wastewater treatment plants of Baden-Württemberg" beendet und begann im Juli 2007 bei SIEMENS ihre Master's Thesis "Untersuchungen zur Reinigung von sulfat- und schwermetallhaltigen Abwässern im Vergleich von konventionellen Fällungs- und Flockungsverfahren mit kombinierten Membranverfahren". Im August und September 2007 wird Fau Aray Villalba Laboruntersuchungen durchführen, dann die Ergebnisse analysieren und ihre Master's Thesis schreiben.
- Phan Anh Nguyen (Vietnam)  
(Stipendium 1.4.05.-30.09.06) hat im September 2006 seine Master's Thesis mit dem Titel "Reactivation of a Small Hydropower Plant in Wolfegger Ach" mit der Note 1,3 und das WAREM Studium mit 1,8 erfolgreich abgeschlossen. Nach erfolgreichem Abschluss seines Studiums ist er nach Hanoi, Vietnam zurückgekehrt.
- Eloise Byrne (Großbritannien)  
(Stipendium 1.4.05.-30.09.06) hat ihr WAREM Studium mit den Schwerpunkten „Urban Hydraulics and Sanitary Engineering“ und „Integrated Water Resources Planning and Management“ mit 1,3 erfolgreich abgeschlossen und die Note 1,0 für ihre Master's Thesis „Application of the Mesocosim GIS Complex as a Tool to assess the „Ecological Status“ of the River Neckar“ erhalten. Sie arbeitet inzwischen bei einer Ingenieurfirma im Großraum Stuttgart.

### **2.1.2 Stipendiaten der Gruppe GLOWA05 (Zulassung zum WS 2005/06)**

- Ganesh Prasad Parajuli (Nepal)  
(Stipendium 1.4.06.-30.09.07) hat die Vorlesungen mit den Schwerpunkten Hydroinformatics and Hydrosystems, Groundwater Resources Management sowie Ecohydraulics and Hydraulic Engineering erfolgreich abgeschlossen und wird seine Master's Thesis „Creep Analysis of Leaning Tower of Pisa; Development & Implementation of Anisotropic Creep Model for Soft Soil“ voraussichtlich Mitte November 2007 abgeben.
- Ulisses Lourenco Filho (Brasilien)  
(Stipendium 1.04.06.-30.9.07) hat die Vorlesungen des Studiengangs "Air Quality Control, Solid Waste and Waste Water Process Engineering (WASTE)" erfolgreich beendet und im Februar 2007 eine Semesterarbeit „Air Quality in the Metropolitan Region of Sao Paulo in a day of strike in the public transport system and chaotic traffic“ angefertigt. Weitere Semesterarbeiten: "An Overview on the Solid Waste Management System in Sao Paulo" und "Individual Practical Work on Measurements, Flue Gas and Waste Air Treatment". Seine Master's Thesis mit dem Titel "Synthesis of Nano-Scaled Catalyst Particles" hat Herr Lourenco Filho in Mannheim angefertigt.
- Angeliki Chioni (Griechenland)  
(Stipendium 1.4.06.-30.9.07) hat die Vorlesungen mit den Schwerpunkten Hydroinformatics and Hydrosystems, Groundwater Resources Management sowie Ecohydraulics and Hydraulic Engineering erfolgreich abgeschlossen. Sie hat ihre Independent Study „Characterization of tracer distribution in a lake using spatial moments“ und die Arbeit an ihrer Master's Thesis „Lay-out and calibration of automatic weirflaps in an irrigation scheme“, bei der sie im VEGAS Labor Experimente durchführte, Ende September 2007 erfolgreich beendet. Die Note für die Master's Thesis liegt noch nicht vor.

- Dimitrios Diamantakis (Griechenland)

(Stipendium 1.4.06.30.09.07) hat die Vorlesungen mit den Schwerpunkten Hydroinformatics and Hydrosystems, Groundwater Resources Management, Integrated Water Resources Planning and Management sowie Ecohydraulics and Hydraulic Engineering erfolgreich abgeschlossen. Er hat seine Master's Thesis „Possibilities of Water Management under Changing Climate“ ebenfalls im September 2007 erfolgreich beendet. Die Note für die Master's Thesis liegt ebenfalls noch nicht vor.

### **3. Interdisziplinärer Wissenstransfer**

Mit zunehmendem Projektfortschritt wurde versucht, die Partner der anderen Teilprojekte dazu zu animieren, Themen für Master's Theses oder Independent Studies anzubieten, um die Stipendiaten oder ihre Kommilitonen interdisziplinär in das Gesamtkonzept von GLOWA-Danube einzubinden und somit den Wissenstransfer zu verstärken.

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 solchen interdisziplinären Ausbildung, wie sie WAREM im Verbund mit den anderen Teilprojekten bieten kann, wird mittelfristig ein Wissenstransfer in Schwellen- und Entwicklungsländer sichergestellt.

Angebote für die Zusammenarbeit wurden von den Gruppen „*Snow*“, „*Farming*“ und „*River network*“ gemacht. Leider wurden diese Angebote von den Studierenden nicht wie erwartet angenommen. Dies lag wohl einerseits an der Themenauswahl, andererseits auch daran, dass die Studierenden den Standort Stuttgart nicht verlassen wollten (bzw. sich die Wohnungssuche an anderen Standorten als schwierig herausstellte).

### **4. Zusammenfassung und Ausblick**

Die Ziele des Teilprojekts konnten weitgehend erreicht werden. Unter Einbindung des Studiengangs WAREM (Deutsch- und interkultureller Unterricht, Fachvorlesungen) und der GLOWA-Partner (Workshops, Short Courses, Seminare, Vorträge) konnte ein intensiver Wissenstransfer erreicht werden.

Diese positive Bilanz soll in der dritten Projektphase weiter ausgebaut werden. Wiederum ist geplant, Stipendien an hoch qualifizierte Studierende zu vergeben und diese Studierenden sowie ihre Kommilitonen eng in die fachliche Bearbeitung des GLOWA-Forschungsvorhabens einzubeziehen.



Ein weiteres Ziel muss es sein, insbesondere die Stipendiaten dazu anzuregen, ihre Master's Thesis bei einem unserer Projektpartner anzufertigen, um ihre Ausbildung interdisziplinär abzurunden. Ein zusätzlicher 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 solchen 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.
- 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.
- NGUYEN, P.A. (2006): Reactivation of a Small Hydropower Plant in Wolfegger Ach, Master's Thesis, WAREM, Universität Stuttgart.
- ARAY VILLALBA, A. (2006): Evaluation of the capacity to counteract the effects of a long power failure in waste water treatment plants. Independent Study, WAREM, Universität Stuttgart.
- BYRNE, E. (2007): Application of the MesoCASIMIR GIS Complex to assess ecological status in the River Neckar; Master's Thesis, WAREM, Universität Stuttgart.
- CHIONI, A. (2007): Characterisation of tracer distribution in a lake using spatial Moments, Independent Study, WAREM, Universität Stuttgart.
- CHIONI, A. (2007): Lay-out and calibration of automatic weirflaps in an irrigation scheme, Master's Thesis, WAREM, Universität Stuttgart.
- DIAMANTAKIS, D. (2007): Global Climate Change Perspectives Case Study: Greece Independent Study, WAREM, Universität Stuttgart.
- DIAMANTAKIS, D. (2007): Water Management Possibilities under Changing Climate. Master's Thesis, WAREM, Universität Stuttgart.

