



GLOWA – Danube

Integrative Techniken, Szenarien und Strategien zum Globalen Wandel des Wasserkreislaufs am Beispiel des Einzugsgebiets der Oberen Donau

Abschlussbericht Phase 1

über den Fortgang des Projektes 07GWK04
Berichtszeitraum: 01.01.2001 – 29.02.2004

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

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

Inhaltsverzeichnis

I. Zusammenfassung und Überblick über den Fortgang des Projektes	I
II. Berichte der Teilprojekte	
Prof. Dr. Hennicker, LMU München, Lehr- und Forschungseinheit für Programmierung und Softwaretechnik DANUBIA: Ein Web-basiertes Modellierungs- und Entscheidungs-Unterstützungssystem zur integrativen „Global-Change“-Forschung im Bereich der oberen Donau	1
Prof. Dr. Mauser/Dr. Ludwig, LMU München, Lehrstuhl für Geographie und Geographische Fernerkundung Modellierung von Wasser- und Stickstoffflüssen an der Landoberfläche mit Fernerkundung	49
Prof. Dr. Tenhunen, Universität Bayreuth, Lehrstuhl für Pflanzenökologie Einfluss der Vegetation auf die Wasser- und Stickstoffflüsse, die Kohlenstoffbilanz und die Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte auf der Ebene von Landschaften und Regionen	105
Prof. Dr. Kuhn, Universität Innsbruck, Institut für Meteorologie und Geophysik und Kommission für Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften München Modellierung der Wasserhaushaltsgrößen im alpinen Bereich des Inns und Untersuchung ihrer Sensitivität bezüglich Umweltveränderungen	125
Prof. Dr. Wirth, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Physik der Atmosphäre Wechselwirkung zwischen Niederschlag und Landoberfläche	153
Prof. Dr. Bendix, Philipps-Universität Marburg, Lehrstuhl für Geoökologie, Klimatologie und Fernerkundung Fachbereich Geographie Retrieval konvektiver Niederschläge im Einzugsgebiet der Donau mit Meteosat Second Generation (MSG) und Meteosat	187
Dr. Willems/Prof. Dr.-Ing. Kleeberg, IAWG Institut für Angewandte Wasserwirtschaft und Geoinformatik (IAWG) Modellierung von Abfluss und Gewässerbeschaffenheits-Parametern in der Oberen Donau	203
Ph.D. Dr. Braun, Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Hydraulik und Grundwasser Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung, Wasserversorgung	223

Prof. Dr. Ernst, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Psychologisches Institut Modellierung typischer Wassernutzer im Einzugsgebiet der Donau	259
Prof. Dr. Dabbert, Universität Hohenheim Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre (410A) Sozioökonomische Analyse und Modellierung von Wassernutzung und Land- nutzung durch Landwirtschaft	301
Prof. Dr. Schmude, Universität Regensburg, Lehrstuhl für Wirtschaftsgeographie und Tourismusforschung Wechselbeziehungen zwischen dem Tourismus und der Ressource Wasser im Untersuchungsraum von GLOWA	327
Prof. Dr. Sprenger, ifo Institut für Wirtschaftsforschung, München Ein regionalökonomisches, sektoral disaggregiertes Modell der Wassernutzung im Einzugsgebiet der oberen Donau	357
Prof. Dr. Kobus, Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Hydraulik und Grundwasser Ausbildungsforum und Know-How-Transfer in Schwellen und Entwicklungs- länder	377

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 Geo- und Umweltwissenschaften
Sektion Geographie
Lehrstuhl für Geographie und Geographische Fernerkundung
Ludwig-Maximilians-Universität München
Luisenstraße 37, 80333 München

1. Gesamtziele von GLOWA-Danube

Ziel von GLOWA-Danube ist es, für den funktionalen Typ des Wassereinzugsgebietes im Gebirgsvorland der humiden Breiten (F2 im Sinne der GLOWA-Ausschreibung) Integrations-techniken, integrierte Modelle sowie Monitoringverfahren zu entwickeln, zu validieren, und im netzwerk-basierten Entscheidungs-Unterstützungssystem DANUBIA zu implementieren. DANUBIA soll die wesentlichen natur- und sozialwissenschaftlichen Prozesse enthalten, die zur realitätsnahen Modellierung von Wasserflüssen in Gebirgs-Vorland-Räumen benötigt werden. Es wird damit vor allem die lateralen Flüsse, die Ober-Unterlieger Beziehungen, die meteorologischen Gradienten sowie die spezielle Nutzung empfindlicher Grenzräume berücksichtigen, regional übertragbar sein und damit auf die diesbezüglich sehr unterschiedlichen Einzugsgebiete der GLOWA-Transsekte anwendbar sein. DANUBIA wurde in der vergangenen ersten Förderphase als Prototyp aufgebaut und seine Funktionstüchtigkeit mit unterschiedlichen Validierungsläufen, die den Ist-Zustand abbilden und somit mit Realdaten verglichen werden können, getestet.

Zweites Ziel von GLOWA-Danube ist, DANUBIA auf den Themenkomplex des Globalen Wandels des Wasserkreislaufs (GLOWA) exemplarisch für die Obere Donau anzuwenden, d.h. entsprechende Zukunftsszenarien zu entwickeln und auf ihre Nachhaltigkeit zu untersuchen. Diese Zukunftsszenarien werden in einem offenen Dialog gemeinsam mit den wesentlichen Stakeholdern entwickelt, um die für die Umsetzung notwendigen Erfahrungen zu sammeln. Die komplexen Szenarien, die in Zukunft mit DANUBIA untersucht werden sollen, beinhalten vor allem klimatische, politische, ökonomische, demographische und technologische Abweichungen zum heutigen Zustand und schließen Änderungen in der Nutzung und Nutzungsintensität der Land- und Wasserressourcen mit ein. DANUBIA wird in seinem Endausbau allen an der Bewirtschaftung von Wasserressourcen Beteiligten (Politik und Verwaltung, Planungsbehörden, Nicht-Regierungsorganisationen (NGOs), Wissenschaft und Wirtschaft) als Instrument zur Verfügung stehen.

In der ersten Antragsphase wurde zunächst ein Referenzlauf mit dem entwickelten Prototyp von DANUBIA zur Feststellung der prinzipiellen Funktionstüchtigkeit des Systems gerechnet und mit Messdaten erfolgreich validiert. Dieser Referenzlauf erstreckt sich auf die beiden Jahre 1995-1996, wobei sowohl gemessene, als auch mit dem mesoskaligen Klimamodell MM5 simulierte meteorologische Eingabedaten verwendet wurden. Im Vordergrund steht dabei, den Einfluss relativ einfacher, überschaubarer externer Faktoren auf Quantität und Qualität der Wasserressourcen in F2-Einzugsgebieten zu studieren und das Prinzip, die Funktionstüchtigkeit sowie die Sensibilität der einzelnen Teilmodule von DANUBIA an diesen Beispielen aufzuzeigen. Die folgenden Beiträge der einzelnen Teilprojekte enthalten jeweils vergleichende Gegenüberstellungen ihrer Modellergebnisse (gemessene bzw. mit MM5 simulierte meteorologische Eingabedaten), sowie, wo möglich und sinnvoll, eine

Darstellung von interdisziplinären Wechselwirkungen zwischen den Teilmodulen und ihrer Auswirkungen.

Fernziel von GLOWA-Danube ist es, einen entscheidenden Beitrag zur Entwicklung eines global anwendbaren Instrumentariums zur Simulation und zum Vergleich regionaler, nachhaltiger Entwicklungsalternativen für eine breite Palette von Umweltbedingungen zu leisten.

2. Motivation des Projekts

GLOWA-Danube hat zum Ziel, neue Werkzeuge zu entwickeln und zu nutzen, die es erlauben, vor dem Hintergrund des Globalen Wandels unterschiedliche Handlungsoptionen beim Management von Wasserressourcen auf ihre Nachhaltigkeit hin zu überprüfen. Die Handlungsoptionen ergeben sich aus den regionalen Gegebenheiten, der Leistungsfähigkeit der natürlichen Umwelt, den menschlichen Ansprüchen und den politischen, technologischen sowie institutionellen Rahmenbedingungen. Die Fähigkeit zur Analyse der Auswirkungen unterschiedlicher Handlungsoptionen und deren Prüfung auf Nachhaltigkeit ist Voraussetzung für den Übergang zu einem verantwortungsbewussten Management. Sie beruht auf Werkzeugen, die auf möglichst determinierte Weise und unter Berücksichtigung aller wichtigen natürlichen Rahmenbedingungen und menschlichen Einflussfaktoren verschiedene mögliche zukünftige Zustände als Folge heutigen Handelns beschreiben können.

Die Wechselwirkung zwischen Gebirgen als Wasserüberschussregionen und damit als Wasserlieferanten mit ihren Vorländern als Wassernutzer ist typisch für die Struktur von Konflikten bei der Wassernutzung. In diese Wechselwirkung gehen vielfältige natürliche und soziale Gradienten, vom Niederschlag bis zum Wohlstand, ein. Deshalb ist diese Konstellation auch prädestiniert für Fragestellungen, bei denen die räumliche Inhomogenität eine zentrale Rolle bei der Prozessbeschreibung und -erklärung innehat. Sie ist in unterschiedlicher Ausprägung in allen Regionen der Erde anzutreffen (Alpen, Pyrenäen, Himalaya, Anden, Kaukasus, Altai, Äthiopisches Hochland, etc.) und spielt daher weltweit eine herausragende wirtschaftliche und kulturelle Rolle.

Die Wechselwirkung von Gebirgen mit ihren Vorländern lässt sich mit den heutigen Mitteln noch nicht mit dem für Entscheidungen erforderlichen Grad an Determinismus und auf integrierte Weise in Modellen beschreiben und analysieren. Dies liegt an der Komplexität der Fragestellung bedingt durch ihren hohen Vernetzungsgrad, dem Fehlen von Verständnis für räumliche und transdisziplinäre Interdependenzen und nicht zuletzt an der Sensitivität der Prozesse im System. Methoden zur Bearbeitung solcher Fragestellungen, sowie entsprechende Lösungen werden aber gerade dort gebraucht, wo regional unterschiedliche Handlungsalternativen unter sich verändernden Randbedingungen auf ihre Nachhaltigkeit hin überprüft und daraus Handlungsempfehlungen abgeleitet werden sollten.

Für die Wasserflüsse und die daran gekoppelten Stoffflüsse und -umsätze wurde und wird deshalb in der ersten Förderphase im Rahmen des Projektes GLOWA-Danube der Prototyp eines Szenarien-Werkzeuges in Form des Entscheidungs-Unterstützungssystems DANUBIA exemplarisch für ein alpines Einzugsgebiet der gemäßigten Breiten am Beispiel der Oberen Donau entwickelt, validiert und angewandt. Der wesentliche Mehrwert, der dazu führen soll, dass mit DANUBIA ein realistisches Bild von Auswirkungen gewählter Handlungsoptionen entsteht, ist die von Anfang an anvisierte starke Integration der beteiligten Disziplinen aus den Natur- und Sozialwissenschaften.

3. Ziele der ersten Förderphase und Stand der Dinge

3.1 Entwicklung und Nutzung integrativer Ansätze zur disziplinübergreifenden Simulation von Umweltprozessen

GLOWA-Danube setzt sein Hauptaugenmerk in der ersten Förderphase auf die Entwicklung und den Test neuer Methoden zur disziplinübergreifenden Entwicklung von Simulationsmodellen von Umweltprozessen. Dazu wird als Prototyp DANUBIA, ein Global Change Entscheidungsunterstützungssystem unter spezieller Berücksichtigung des nachhaltigen Einzugsgebietesmanagement entwickelt. Grundgedanke bei der Entwicklung von GLOWA-Danube ist es, zu untersuchen, wie weit sich die in der Industrie inzwischen als Werkzeug zur Bewältigung oft extrem komplexer, großer Projekte bekannt gewordene Simulationssprache UML (Unified Modelling Language) und ihr diagrammatischer Ansatz zur Formulierung von Sachverhalten dazu eignet, für ein ebenfalls sehr komplexes, disziplinübergreifendes Projekt der Nachhaltigkeitsforschung erfolgreich eingesetzt zu werden. Der Ansatz der Integration zwischen den Disziplinen über eine gemeinsame Sprache (hier die UML) sowie über ein klar definiertes Ziel ist aus der Beobachtung des Projektkoordinators entstanden, dass Integration oft dadurch behindert wird, dass zu Beginn eines disziplin-übergreifenden Projektes ohne geeigneten gemeinsamen Hintergrund die wissenschaftstheoretischen Erläuterungen der unterschiedlichen Standorte einen großen Raum einnimmt und die Gefahr besteht, dass die Zielformulierung dabei aus den Augen verloren wird.

Ziel der ersten Projektphase war es demnach, unter Berücksichtigung der Beiträge der unterschiedlichen beteiligten Disziplinen, mit der UML den Prototyp eines gemeinsamen Simulationsmodells DANUBIA zu entwerfen, zu bauen, zu implementieren und zu testen. Dieses Ziel wurde zunächst in den ersten Treffen konkreter gefasst, indem beschlossen wurde, dass:

- DANUBIA ein verteiltes Modell sein soll, das auf einem Rechnercluster oder im Netz verteilt und parallel läuft. Dabei wird jedem beschriebenen Prozess ein Rechner zugeordnet und damit die gegenseitig benötigten Daten im Netz ausgetauscht. Vorteil dieser Architektur ist die leichte Möglichkeit der Verbesserung der Prozessbeschreibungen in den Teilmodellen sowie die leichte Ersetz-, Skalier- und Erweiterbarkeit der Teilmodelle.
- Dass jeder beteiligte Prozess nur einmal berechnet werden soll. Dies ist mitnichten trivial und hat sich als Problem erst in den ersten Gesprächen heraus kristallisiert, in denen sich herausstellte, dass alle Gruppen bereits Modelle betreiben und derselbe Prozess z.T. von mehreren Gruppen (und damit unterschiedlich) modelliert wurde. Für jeden Prozess wurde ein Verantwortlicher bestimmt und die Prozesse sinnvoll in Gruppen zusammengefasst.
- Die gegenseitigen Wechselwirkungen werden durch synchronisierten Austausch von Parameterfeldern über definierte Schnittstellen bewerkstelligt.

Die drei aufgestellten Regeln (1 Prozess - ein Rechner, jeder Prozess nur einmal beschreiben, synchronisierter Austausch von Parametern) hat mit Hilfe der UML zu einer sehr effizienten, gemeinsamen Einigung über folgende Punkte geführt:

1. die zwischen den Disziplinen auszutauschenden Parameter. Dies ergab sich daraus, dass zunächst jedes Teilprojekt sein Modell in UML beschrieb und dabei die von den anderen Disziplinen gewünschten Parameter formulierte. Dieser Prozeß führte zu intensiven Diskussionen über die jeweiligen Grenzen der Zuständigkeiten, die an zwei Beispielen exemplarisch dargestellt werden sollen:
 - die Frage, ob, wie ursprünglich der Fall, das meteorologische Mesoskalenmodell MM5 die Oberflächentemperatur und damit die Energiebilanz der Oberfläche berechnen sollte oder ob dies vom SVAT-Modell, das die hydrologischen

und biologischen Oberflächenprozesse beschreibt, geschehen soll. Durch die Einigung auf einen Austausch von Flüßen zwischen den meteorologischen Modellen und dem Landoberflächenmodell wurde dies im Sinn einer leichten Skalierbarkeit dem Landoberflächenmodell zugeordnet.

- die Frage, an welcher Stelle die Transpiration der Vegetation modelliert werden soll. Dies ist klassisch ein Teil der Hydrologie oder der Meteorologie. Durch die Verwendung eines physiologischen Ansatzes zur Berechnung der Photosyntheseleistung der Vegetation im Teilmodell Pflanzenphysiologie hat die gemeinsame Diskussion schließlich ergeben, dass die Transpiration bei der Pflanzenphysiologie anzusiedeln ist, da diese den am weitesten entwickelten Mechanismus zur Beschreibung der Stomataregulation besitzt und dieser, wenn er den CO₂-Fluss gut beschreibt, damit auch den Wasserfluß durch die Pflanze (physikalisch äquivalent) gut zu beschreiben vermag. Eine getrennte Beschreibung von Transpiration und Photosynthese hätte dazu geführt, dass die Stomataregulierung zwangsläufig in zwei Modellen beschrieben worden wäre, was gegen Regel 2 spricht. Hier wurden also die disziplinären Zuständigkeiten durch einen einfachen, transparenten Satz von Regeln neu geordnet.
2. die zeitliche Diskretisierung beim Austausch der Parameterfelder. Die Zeitabstände (in Modellzeit), in denen die Parameter ausgetauscht werden, sind im Prinzip frei wählbar; zwei beteiligte Disziplinen müssen sich aber auf einen gemeinsamen Zeitabstand einigen. Dieser beträgt zwischen Landoberfläche und Atmosphäre und innerhalb der Landoberfläche eine Stunde, zwischen Landoberfläche und Grundwasser einen Tag, zwischen natürlichen Prozessen und den sozialwissenschaftlichen Modelle 1 Monat bis 1 Jahr.
 3. die räumliche Diskretisierung der Prozessbeschreibung sowie die Beschreibung des Raums; hierzu dient für alle Teil-Modelle ein regelmäßiges Raster von 1km (was rein inhaltliche und keine technischen Gründe hat, DANUBIA kann mit allen Rasterweiten rechnen).
 4. die gemeinsame Definition der Einheiten der ausgetauschten Parameter.

Hierzu wurde im ersten halben Jahr der Projektlaufzeit mehrere Treffen aller Beteiligten durchgeführt, während denen das gesamte System zunächst in einem gemeinsamen UML-Diagramm entwickelt wurde. Das fertige UML-Diagramm lässt sich leicht auf Konsistenz überprüfen (z.B. Einheiten, zeitliche Diskretisierung und Schnittstellen mit ihren gemeinsamen Inhalten) und dient als Gerüst zur nachfolgenden Entwicklung der Algorithmen und Schnittstellen in Java. Hierbei war das Teilprojekt Informatik von herausragender Bedeutung, denn dort wurde das Grundgerüst von DANUBIA, die Mechanismen zur Synchronisation der Zeitabläufe, die Basisklassen für ein Flächenelement des Rasters, die Basisklassen für die Rasterebenen und eine ganze Reihe von vererbbaaren grundlegenden Methoden entwickelt.

Die aus UML heraus mit Hilfe von Java geschriebenen Modelle haben sich als weitgehend vollständig erwiesen. Ein erster rudimentärer Prototyp unter paralleler Nutzung mehrerer Rechner wurde ca. 14 Monate nach Projektbeginn fertig gestellt. Die weitere Entwicklung eines Systems zum eigenständigen Test der Modellkomponenten ohne Nutzung des gesamten Systems hat ein weiteres halbes Jahr in Anspruch genommen. Danach folgte die inhaltliche Entwicklung und Test der Modellbausteine und die ersten Tests des Zusammenfügens der Modellbausteine. Erste erfolgreiche Modllläufe fanden ca. 2 Jahre nach Projektbeginn statt. Der erste erfolgreiche Referenzlauf lief ca. 2.5 Jahre nach Projektbeginn.

Insgesamt hat sich gezeigt, dass die Anwendung von UML für den vorliegenden Sachverhalt sich ohne Einschränkungen bewährt hat. Als Vorteile haben sich ergeben:

1. Strukturierte Formulierung von Sachverhalten, Prozessen und Wechselwirkungen mit Hilfe einer allen Gruppen gemeinsamen Sprache, die nicht disziplinabhängig ist.

2. Darauf aufbauend klare Vereinbarung und Separation der Zuständigkeiten und gegenseitigen Wechselwirkungen.
3. Keine Mehrdeutigkeiten in der Prozessbeschreibung.
4. Schnelle Entwicklung und weitgehende Vermeidung von interdisziplinären Schnittstellenfehlern und Missverständnissen.

Ein gravierender Nachteil, der von vielen Teilprojekten (in zeitlich wechselnder Besetzung) formuliert wurde, ist, dass bei dem gewählten Ansatz wegen dem hohen Vernetzungsgrad der Erfolg des Gesamtprojektes in hohem Maß vom schwächsten Glied abhängt. Als erste zusammenfassende Bewertung ist festzustellen, dass der gewählte Ansatz dazu geführt hat, dass ein sehr klarer, zielorientierter Diskussionsprozess stattgefunden hat, der im Rahmen der ersten Projektphase zu einer allen Gruppen transparenten Implementierung eines Prototyps von DANUBIA geführt hat. Die weitere Struktur von DANUBIA wird an späterer Stelle zusammenfassend beschrieben und geht auch aus den Teilberichten der einzelnen Gruppen hervor.

3.2 Aufbau eines Geographischen Informationssystems und gemeinsamen Datenverbunds

Voraussetzung sowohl für die Entwicklung von DANUBIA als auch für Prozessuntersuchungen in den mikroskaligen Testgebieten ist ein Bestand an gemeinsam verfügbaren Daten. Darüber hinaus sollte DANUBIA aus Gründen der Übertragbarkeit so weit wie möglich auf der Grundlage bestehender oder aus operationellen Netzen beziehbarer Daten entwickelt werden. Diese wurden über den Deutschen Wetterdienst, die wasserwirtschaftlichen Dienste, Vermessungs-, Landwirtschafts- und Geologischen Ämter etc. der beteiligten Länder und Bundesländer sowie durch die Betreiber von Erdbeobachtungssatelliten zur Verfügung gestellt. Hierbei handelt es sich wegen der Vielfalt der Disziplinen um sehr heterogene Datenbestände (Flächendaten, Punktdaten, Statistiken, etc.). Aus diesem Grund wurden alle gemeinsam (d.h. von mehr als einem Teilprojekt) benötigten Daten zentral, und nur von einzelnen sektoral benötigte Daten dezentral beschafft. Im Bereich der Hydrologie, Meteorologie, Niederschlagsverbesserung und Pflanzenökologie wurden in unterschiedlichen Test-Einzugsgebieten zur Untersuchung von Skalenfragen in relativ geringem Umfang kleinskalige punktuelle Messungen zur Prozessbeschreibung und Validierung der Modelle durchgeführt.

Insgesamt wurde also zentral an Dienstleistungen bereitgestellt:

1. Sammlung, Qualitätskontrolle und Verfügbarmachung der Flächendaten für das gesamte Projekt im Rahmen eines Geographischen Informationssystems (GIS). Wie zu erwarten, wurden sowohl Zeitreihen von Flächendaten (Landnutzung, Pflanzenparameter, Niederschläge, Strahlung, Fernerkundungsdaten, Geländemodelle, etc.) als auch flächenverteilte Modellergebnisse (z.B. meteorologische Antriebe) etc. von den Datenlieferanten in zunächst unterschiedlichen Formaten zur Verfügung gestellt. Diese wurden auf ein einheitliches Datenbankformat gebracht und allen zugänglich gemacht.
2. Sammlung, Qualitätskontrolle und Verfügbarmachung und Verortung von Stationsdaten der meteorologischen und hydrologischen Dienste sowie Basisdaten, wie diverse Statistiken (Einwohner, Einkommen, Industrie, etc.), Gewässernetze, Pegelstandorte, etc. Diese Daten wurden beschafft, ebenfalls einer Qualitätskontrolle unterzogen, in ihrem Format dokumentiert und zentral verfügbar gemacht.
3. Sammlung, Aufbereitung und Verfügbarmachung der Geländemessungen in den Test-Einzugsgebieten.

3.3 Entwicklung von Verfahren zur Aggregation und Dissaggregation von Prozessbeschreibungen und Daten (Scaling)

Bei der Entwicklung von DANUBIA waren unterschiedliche Skalen gleichzeitig zu betrachten, da hier Prozesse mit ausgeprägtem Flächencharakter (wie z.B. die Versickerung oder Verdunstung) mit linienhaften Prozessen (wie z.B. dem Gerinneabfluss oder Verkehrsflüsse) und auch Prozessen ohne direkten Skalenbezug (z.B. politische Entscheidungen, die erst in ihrer Auswirkung disaggregiert werden müssen) wechselwirken. Je nach gewählter Prozessbeschreibung und -skala kann man diese Prozesse explizit und mechanistisch beschreiben (Mikroskala), oder es empfiehlt sich, subskalig zu arbeiten (Mesoskala). Der Übergang von der Mikro- zur Mesoskala bzw. zurück ist zumindest im naturwissenschaftlichen Bereich immer dann komplex, wenn die beschriebenen Prozesse nichtlinear und die untersuchten Räume heterogen sind; beides trifft auf das Gebiet der Oberen Donau zu, d.h. flächengemittelte Eingaben liefern (bei Berechnung mit flächenverteilten Modellen) andere Resultate als eine Flächenmittelung von Modellergebnissen, die mit flächendetaillierten Parametern erzielt wurden. Dabei fehlen v.a. im sozio-ökonomischen Bereich noch weitgehend Kenntnisse und Instrumente zum Skalieren (z.B. vom Individuum auf die Gruppe, von makro-ökonomischen Beschreibungen in die Mikroökonomie, von der Verordnung zum Betroffenen), obwohl de facto ja auf sehr unterschiedlichen Skalen (z.B. Gemeinde, Kreis, Bundesland, Nation, EU) Entscheidungen getroffen werden.

Ziel ist die Entwicklung von skalenübergreifenden Objekten, mit deren Hilfe die Modellierung auf beiden Skalen äquivalente Ergebnisse liefert. In allen beteiligten Disziplinen fehlen hierfür bislang vor allem Verfahren, die es erlauben,

1. auf der Mesoskala (1km) ausgeprägte subskalige Inhomogenitäten abzubilden, wie Alpentäler (Relief), expositionsabhängige Vegetationsverteilung, aggregierter Bestandeswiderstand, konvektive Niederschläge, laterale Wasser- und Stoffflüsse, Verhalten von Akteursgruppen auf der Basis von Individuen, Flüsse von Kapital usw.
2. auf der Mesoskala flächendetaillierte Aussagen über die Folgen von Einflüssen aus der Makroskala (z.B. globale Klimaänderungen, Änderung der makro-ökonomische Rahmenbedingungen, EU-Landwirtschaftssubventionen, EU-Wasser-Rahmenrichtlinie) zu treffen.

Darüber hinaus fehlen Werkzeuge, um die mesoskaligen Ergebnisse von DANUBIA auf die Mikroskala zu disaggregieren. Zu ihrer Entwicklung wurden in den Bereichen Hydrologie, Glaziologie, Pflanzenökologie, Fernerkundung, Tourismus, Umweltpsychologie und Umweltökonomie in der ersten Projektphase die notwendigen Untersuchungen auf der Mikroskala in unterschiedlichen Test-Einzugsgebieten durchgeführt und up- bzw. downscaling-Verfahren entwickelt.

Durch Fernerkundungsbeobachtungen ist man heute in der Lage, die Heterogenität der Landschaft auf unterschiedlichen Skalen zu erfassen. Dies geschieht dadurch, daß die Reflexions- und Emissionseigenschaften der Erdoberfläche flächendeckend und in unterschiedlichen räumlichen (1m-5km) und zeitlichen (30 min-35 Tage) Skalen wiederholt bestimmt werden. Die Fernerkundung ist ein integratives Monitoring-Verfahren, das alle relevanten Landoberflächenkategorien (Wälder, Landwirtschaft, Siedlungen, Wegenetze, stehende und fließende Gewässer, Schnee, Eis etc.) synoptisch erfasst und eine über Disziplingrenzen hinausgehende Auswertung dieser Daten ermöglicht. Aus diesem Grund wird in GLOWA-DANUBE die Fernerkundung als operationelle und weltweit verfügbare Datenquelle sehr intensiv genutzt.

3.4 Repräsentation sozio-ökonomischer Prozesse durch einen Multi-Akteure-Ansatz

Multi-Akteur-Modelle, durch die Handeln, Entscheidungen und Wechselwirkung vieler Akteure simuliert wird, befinden sich in einer dynamischen Entwicklungsphase mit ersten erfolgreichen Anwendungen. Unser Hauptaugenmerk lag in einer Verallgemeinerung des Ansatz-

zes zur Umsetzung in GLOWA-Danube (auch im Sinn der UML und einer objekt-orientierten Struktur). Kernidee eines Multi-Akteur-Modells ist es, einzelne Handelnde in ihrem Gegenstandsbereich und ihrer inhaltlichen wie räumlichen Wechselwirkung zu anderen Akteuren zu modellieren. Dieses Vorgehen unterscheidet sich damit grundsätzlich von den summativen Modellierungsansätzen, bei denen die Input-Output-Funktionen eines Gesamtsystems beschrieben werden. Der Multi-Akteure-Ansatz ist vor allem dann von Vorteil, wenn eine sinnvolle Typisierung der Akteure vorgenommen werden kann und wenn es gilt, kausale Beziehungen in den Wechselwirkungen zwischen Sozial- und Naturwissenschaften zu berücksichtigen. Die Typisierung erfolgt in DANUBIA zunächst in Landwirte, Touristen, Wirtschaft, private Wassernutzer und Wasserversorger. Entscheidungen werden in den Akteurmodellen so modelliert, dass sie von den Ergebnissen der naturwissenschaftlichen Teilmodelle beeinflusst werden und durch ihre Entscheidungen wiederum die Eingaben für die naturwissenschaftlichen Teilmodelle beeinflussen. Die Modellierung der Akteure erlaubt dann nicht nur eine feinkörnige Extrapolation von Verhalten (was im Fall von DANUBIA im Hinblick auf Akteuertypen wie auf ihre räumliche Verteilung und Wechselwirkung von Belang ist), sondern ist auch leicht erweiter- und verfeinerbar. Im vorliegenden Prototyp von DANUBIA wurden die Akteure zunächst mit flachen Akteurmodellen beschrieben, die mit keinen oder wenigen theoretischen Annahmen die In- und Outputzusammenhänge des Verhaltens einzelner Akteure spezifizieren.

3.5 Nutzung der satellitengestützten Fernerkundung zur Umweltbeobachtung

Aus den digitalen Messwerten der Fernerkundung werden vor allem Art und Zustand von Vegetation und Wolken (Niederschlag) ermittelt. Diese werden u.a. in die Modelle der Landoberfläche (Pflanzenökologie, Landoberfläche, Boden und Schnee/Eis) assimiliert. Die gemeinsamen Arbeiten der natur- und sozialwissenschaftlichen Gruppen haben aber auch gezeigt, dass ein hoher Bedarf an Daten zur Entwicklung der Siedlungen, Industrie und versiegelten Flächen besteht. Dies hat dazu geführt, dass innerhalb der ersten Projektphase über die Entwicklung von Verfahren zur Bestimmung von Pflanzenparametern und Wolkeneigenschaften aus Fernerkundungsdaten hinaus verstärkt Methoden zur Analyse von Siedlungsstrukturen entwickelt werden. Die resultierenden, aktuellen und von administrativen Grenzen (z.B. Gemeinde- und Landkreisgrenzen) unabhängigen Datensätze wurden als Grundlage für die Modellentwicklung im Verbund-Objekt Landsurface und im Verbund-Objekt Actors genutzt.

3.6 Entwicklung des Prototyps von DANUBIA

Der Prototyp des integrativen, gekoppelten, verteilten und parallel rechnenden Simulationssystems DANUBIA bildet die Grundlage für alle Arbeiten in der kommenden Förderphase. DANUBIA besitzt

1. *eine räumliche Struktur*: diese ist durch das Konzept der Proxel (process pixel) gegeben. Mit ihnen werden alle natur- und sozialwissenschaftlichen Elementarprozesse beschrieben bzw. abgebildet. Zwischen ihnen können Größen ausgetauscht und damit räumliche Wechselwirkungen berücksichtigt werden. Proxel sind räumlich als Raster organisiert.
2. *eine zeitliche Struktur*: diese ist durch einen Time-Controller in DANUBIA realisiert, der sicherstellt, dass die sektoralen Teilmodelle in transparenter Weise zusammenarbeiten und kausale Reihenfolgen eingehalten werden.
3. *eine klare Zuordnung der Zuständigkeiten bei der Prozessbeschreibung*: Grundlage dabei ist, dass jeder Prozess nur von einer Disziplin beschrieben wird, wodurch Konflikte durch Mehrfachbeschreibungen entfallen. Die benötigten Daten werden zwischen den Prozessmodellen über Schnittstellen ausgetauscht.

DANUBIA beschreibt somit die beteiligten Prozesse räumlich differenziert und ist darauf vorbereitet, laterale Umverteilungen von Wasser-, Energie- und Stoffflüssen sowie Migration und Kapitalflüsse explizit zu behandeln. Um das gekoppelte Modell als Grundlage von DANUBIA zu implementieren, wurden neue Ansätze, die die aktuellen Entwicklungen in den Informationstechnologien bieten, konsequent genutzt. Sie erlauben es, neue Brücken zwischen den beteiligten Disziplinen zu schlagen und neue Möglichkeiten der Integration zwischen den Disziplinen zu erschließen. Diese neuen Ansätze sind in Abb.1 schematisch dargestellt und sollen im Folgenden wegen ihrer Relevanz für die Philosophie des Projektes kurz beschrieben werden (technische Details siehe v.a. Bericht des Teilprojektes Informatik).

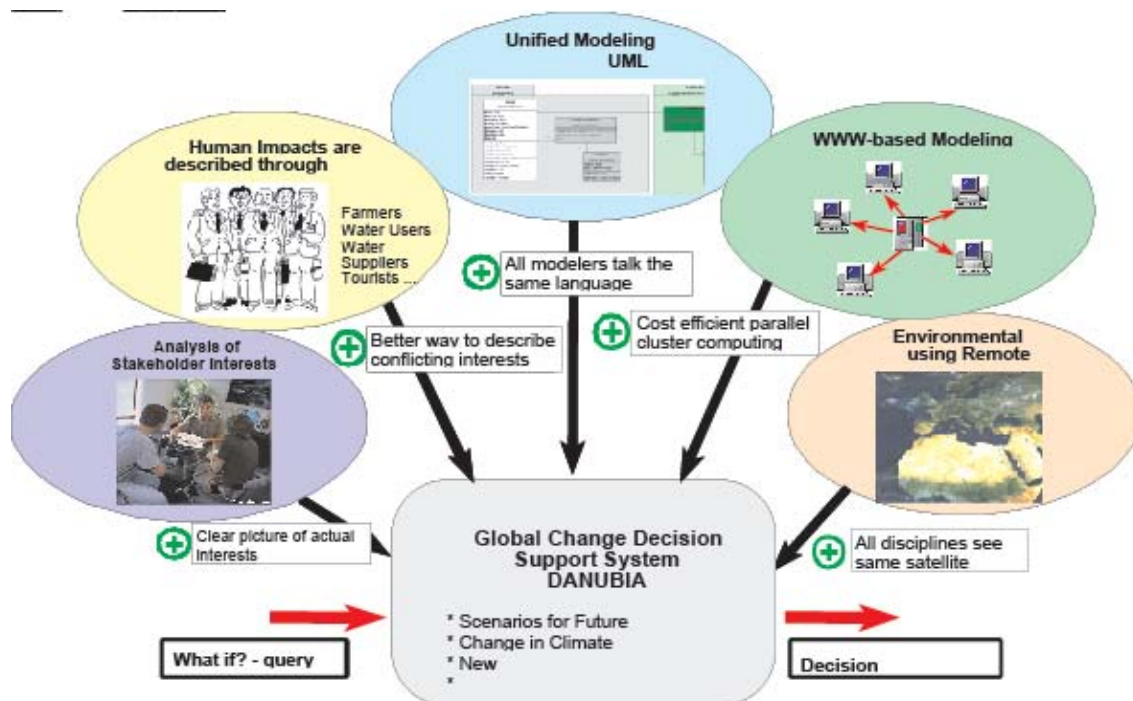


Abb. 1: Schematische Darstellung von DANUBIA mit den verwendeten integrativen Ansätzen. Die Analyse der Stakeholder-Interessen ist inhaltlicher Bestandteil und eigenes Projekt in der zweiten Förderphase.

Die Objekte, die die disziplinären Prozessbeschreibungen enthalten, wurden auf der Grundlage der vorhandenen Kenntnisse und Modelle in den beteiligten Gruppen unter Nutzung der gemeinsamen Meta-Modellersprache UML entwickelt und anhand definierter Schnittstellen durch einen Prototyp-orientierten, inkrementellen Software-Entwicklungsprozess zum integrierten Modellersystem DANUBIA kombiniert. Dieser Prototyp hat in seiner derzeitigen Version seine Funktionalität in den beiden Referenzläufen bewiesen, für die alle Teilmodelle im Verbund rechnet und validiert wurden (siehe entsprechende Berichte der Teilprojekte).

Die Weiterentwicklung und Anpassung des Frameworks von DANUBIA an die spezifischen Bedürfnisse der erforderlichen Dienste zur Durchführung verteilter Simulationen ist zentrale Aufgabe der Gruppe Informatik; dazu gehörten außerdem v.a. die Bereitstellung einer Testumgebung, Implementierung von Recovery-Fähigkeit sowie die Steigerung der Performanz (siehe dazu den Bericht des Teilprojektes Informatik).

3.7 Entwicklung und erste Nutzung von Global Change Szenarien zum Test von DANUBIA

In der ersten Projektphase konnte die Entwicklung des ersten Prototyps von DANUBIA, der lauffähige Teilmodule aller beteiligten Projekte integriert, abgeschlossen und zwei erste Validierungsläufe gestartet werden. Diese Validierungsläufe dienen gleichzeitig auch als Referenz zum Vergleich der Ergebnisse, die später mit den verschiedenen Szenarien gerechnet werden.

Folgende Vorgehensweise wurde für diese beiden Validierungsläufe ausgewählt:

1. Der erste Lauf überdeckt die Simulationsperiode Jan. 1995-Dez. 1996, also ein komplettes hydrologisches Jahr incl. Vorlaufzeit zum Einschwingen der Modelle. Als meteorologische Eingabedaten wurden räumlich und zeitlich interpolierte Stationsdaten des deutschen und österreichischen Wetterdienstes verwendet.
2. Der zweite Lauf deckt denselben Simulationszeitraum ab, verwendet wurden hier allerdings meteorologische Eingabedaten, die aus Simulationen des mesoskaligen Atmosphärenmodells MM5 gewonnen wurden.

Diese Vorgehensweise ermöglicht nicht nur die Beurteilung der MM5-Simulationen durch Vergleich mit gemessenen Daten, sondern auch diejenige der Sensitivität der einzelnen Teilmodelle von DANUBIA hinsichtlich des meteorologischen Antriebs. Die Kenntnis dieser Sensitivität stellt eine wichtige Voraussetzung zur Bewertung der später unter Verwendung von komplexen Klimaszenarien gewonnenen Ergebnisse und damit auch bei der Ableitung von Handlungsempfehlungen im Rahmen des Stakeholder-Dialogs dar.

In einem nächsten Schritt wird die hydrologische Sensitivität des Gesamtsystems auf extreme Einwirkungen getestet (dieser Schritt ist gerade in Bearbeitung und noch nicht Bestandteil dieses Schlussberichts - wird hier aber im Hinblick auf die Statuskonferenz im Mai 2005 erwähnt, da dort die entsprechenden Ergebnisse vorgestellt werden sollen). Dazu wurden zwei Szenarien formuliert:

1. Durch mehrfaches Verwenden des klimatischen Antriebes des (Real-) Jahres 2002, das ausserordentlich feucht war, wird eine extreme Feuchtperiode simuliert.
2. Entsprechend wird durch mehrfaches Verwenden des klimatischen Antriebes von 2003, das entsprechend ausserordentlich trocken war, eine extreme Trockenperiode simuliert.

Diese Vorgehensweise ermöglicht die Beurteilung der Spannweite der zu erwartenden Ergebnisse für die später formulierten, komplexeren Szenarien. Insbesondere interessiert, in welchen natur- und sozialwissenschaftlichen Fragestellungskomplexen besonders schwerwiegende Situationen (Wasserstress, Dürre, Geschäftsflaute, Abwanderung etc.) auftreten und welche Wirkungsgefüge dabei erwartet werden können.

Anschliessend können dann prinzipiell alle denkbaren Szenarien aus dem Bereich der Globalen und Regionalen Klimamodellierung, über die weitere Entwicklung der Bevölkerungs- und der Landnutzungsstruktur bzw. Nutzungsintensität (Düngemittel- und Pestizideinsatz), sowie veränderte politische Rahmenbedingungen dazu genutzt werden, um DANUBIA als Entscheidungshilfe für ein nachhaltiges Management der verfügbaren Ressourcen einzusetzen. Dieser Schritt ist wesentlicher Arbeitsbestandteil der zweiten Förderphase.

3.8 Analyse der Wasser-Konflikte in der Oberen Donau (zweite Förderphase)

Die wesentlichen gegenwärtigen und zukünftig absehbaren Konfliktlagen in der Wassernutzung an der Oberen Donau lassen sich in interne und externe Konflikte und Szenarien unterteilen. Interne Konfliktszenarien werden für die Bereiche Landwirtschaft und Trink-

wasserversorgung, Landschaftsschutz, Tourismus und den konkurrierenden nationalen und föderalen Strukturen, die an der Bewirtschaftung der Wasserressourcen im Einzugsgebiet der Oberen Donau beteiligt sind, erwartet. In diesem Zusammenhang sind interessante Aspekte der Nitratgehalt des Grundwassers, die fallenden Grundwasserspiegel sowie die Umstrukturierung der Wasserversorgung. Mit der Entwicklung externer Konfliktszenarien sollen Untersuchungen über die Folgen einer Entnahme von Wasser aus der Oberen Donau begonnen werden, sowie zum Einfluß von Klimaänderungen auf die Wasserverfügbarkeit bzw. deren Einfluss auf die Umstrukturierung der Industrie (Dienstleistungen, chemische Industrie, Halbleiterindustrie, Luft- und Raumfahrt, etc.).

3.9 Zusammenarbeit mit den Betroffenen (Stakeholder-Projekt, zweite Förderphase)

Durch den Stakeholder-Dialog, d.h. Definition der Zukunftsszenarien, Risikoabschätzungen sowie Herausarbeiten von Konflikten soll ein offener, transparenter Prozess der Nutzung von DANUBIA zur Verdeutlichung der Konsequenzen unterschiedlicher Zukunftsszenarien entwickelt werden. Im Rahmen von Stakeholder-Konferenzen und Stakeholder-Foren, in denen inhaltliche Themenbündel gemeinsam behandelt werden sollen, werden anhand von Model- lergebniissen unterschiedliche Szenarien mit den Betroffenen diskutiert und analysiert. Eine leicht zu bedienende, XML-basierte Benutzeroberfläche wird es den Stakeholdern ermöglichen, sich bei der Entwicklung von Szenarien zur zukünftigen Wassernutzung im Einzugsgebiet der Oberen Donau zu beteiligen. Dieser Prozess führt zu einer möglichst frühzeitigen Berücksichtigung der Nutzer mit dem Ziel eines praxisorientierten Designs von DANUBIA.

4. Bewilligte Mittel und Zusatzförderung durch den Freistaat Bayern und die Universität München für das Koordinationsprojekt

Zusätzlich zu den im Rahmen des Projektes vom BMBF bewilligten Mittel wurden von der LMU München und dem Freistaat Bayern Mittel in Höhe von 1.2 Mio DM (entspricht 613.550 € oder 20 % der auf Bayern bezogenen Bewilligungssumme) zur Verfügung gestellt, um speziell die Koordination des Vorhabens zu unterstützen. Diese Mittel ermöglichten die Finanzierung von zwei ganzen Mitarbeiterstellen für die Laufzeit des Projektes, sowie die Beschaffung eines gemeinsam von allen GLOWA-Danube Gruppen nutzbaren Parallel-Clusterrechners, Geländemessgeräten (Eddy-Korrelationsstation) und einer ME-TEOSAT-Second-Generation Empfangsstation. Diese beiden zusätzlichen Mitarbeiter beschäftigen sich mit Aufbau und Pflege der zentralen GLOWA-Danube Datenbank- und GIS-Struktur (Frau Colgan), sowie der Betreuung des Parallelrechners und der entwickelten Software (Herr Dr. Siebel).

5. Personelles

1. Die wissenschaftliche, technische und organisatorische Koordination des Projektes haben Frau Dr. Roswitha Stolz (1.3.2001 bis 31.12.2002) und Herr Dr. Ulrich Strasser (seit 1.1.2003) durchgeführt: Abstimmung aller relevanten Fragen zwischen Projektträger und -gruppen, Organisation der mehrtägigen Workshops und Treffen einzelner Arbeitsgruppen, finanztechnische Abwicklung des Gesamtprojektes, zentrale Beschaffung und Verwaltung von Daten, Öffentlichkeitsarbeit sowie Anfertigung der Protokolle und Berichte.
2. Der Aufbau und die Pflege des GLOWA-Danube GIS-Datenbanksystems wird seit 1.4.2001 von Frau Anja Colgan bearbeitet.
3. Mit der Betreuung des gemeinsamen GCDSS DANUBIA Systems sowie des Parallelrechners ist seit 1.2.2003 Herr Dr. Florian Siebel betraut.

4. Die Koordination wird in allen Sekretariats-relevanten Belangen seit 24.9.2003 von Frau Andrea Ebner unterstützt.

Zusätzlich wird das GLOWA-Danube Projekt entsprechend der Angaben im Antrag von den anderen Mitarbeitern des Lehrstuhls von Prof. Dr. W. Mauser unterstützt.

6. Beschaffte Geräte, Daten und Software-Lizenzen

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

Netzwerkserver mit Doppelprozessor

- 1 Bildschirm
- eine Eddy-Korrelationsstation (eine weitere wurde aus der Zusatzförderung Uni München/Freistaat Bayern beschafft)
- Satellitendaten: 5 Szenen LANDSAT TM 5
- 2 Datensätze Gemeindegrenzen 2000
- meteorologische Daten des deutschen Wetterdienstes: alle seit 1949 verfügbaren Daten von Klima- und Niederschlagsstationen in Bayern und Baden-Württemberg, einschließlich vorhandener Radiosondenaufstiege, Bodentemperatur und Globalstrahlung
- meteorologische Daten des Österreichischen Meteorologischen Dienstes (ZAMG)
- Landnutzungsdaten der CORINE Datenbank für Österreich und der Schweiz
- Daten zur Bodenbedeckung für Deutschland
- Digitale Geländemodelle: Bayern, Baden-Württemberg sowie Tirol
- Borland JBuilder Enterprise Edition: Programm zur JAVA Programmierung (2 Lizenzen)
- Magic Draw UML Software zur Programmierung des Gesamtmodells (insgesamt 14 Einzellizenzen Professional Edition und 2 Lizenzen der Floating Version); zusätzlich Beschaffung der sog. „Maintenance“, d.h. der entsprechenden Updates bis Ende 2002 für die Lizenzen der Teilprojekte der Universität München (Informatik, Meteorologie, Zentrale Koordination und Hydrologie/Fernerkundung)
- SQL-Server Lizenz
- ESRI ARC/INFO GIS System

7. Meetings im Berichtszeitraum

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

- 10.11.2000: Kick-off Treffen GLOWA-Danube in München
- 18.1.2001: Treffen der Arbeitsgruppe Sozio-Ökonomie in München
- 19.1.2001: Treffen der AG Informatik in München

- 20.2.2001: Besprechung über eine Zusammenarbeit mit dem in Gründung befindlichen „Zentrum für Naturgefahrenmanagement - Alpine Sicherheit“, einer Initiative der Tiroler Zukunftsstiftung in Innsbruck
- 12.3.-16.3.2001: Workshop zu UML auf Frauenchiemsee
- 23.3.2001: Vortrag im Rahmen des DVWK-AWK „Tag der Hydrologie“ in München
- 15.5.2001: GLOWA-Projektleiter-Besprechung in Bonn
- 17.5.2001: Treffen der Hydrologischen Dienste der Donau-Anrainerländer in Koblenz
- 26.-28.10.2001: großer GLOWA-Workshop am Söllerhaus (Kleinwalsertal)
- 15.11.2001: Workshop „Integrative Methoden in den GLOWA-Projekten“ in München
- 3.-7.12.2001: Posterpräsentation auf der International Conference on Freshwater in Bonn
- 6.-8.5.2002: Statuskonferenz in München mit Vorstellung des GLOWA-Danube Konzeptes und der GLOWA-Partnerprojekte vor internationalem Publikum
- 4.7.2002: Abstimmungstreffen in München mit Beiträgen aller Projektgruppen zu den geplanten Arbeiten bis Ende 2002
- 10.7.2002: Disaggregierungsworkshop in Freiburg mit den Schwerpunkten Landnutzungs- und Bevölkerungsdaten
- 1.-2.8.2002: Treffen zur Abstimmung des Folgeantrages in München
- 29.-30.8.2002: Treffen zur Abstimmung des Folgeantrages in Freiburg
- 19.-20.9.2002: Treffen zur Abstimmung des Folgeantrages in Stuttgart
- 9.-10.12.2002: Vortrag im Rahmen eines Treffens der Arbeitsgruppe Umweltziele und Indikatoren der Alpenkonvention in Bozen
- 10.-11.12.2002: Skalierungsworkshop in Stuttgart mit Doktorandenbeiträgen und anschließender Diskussion mit den Projektleitern
- 24.-27.2.2003: grosses Projekttreffen zur Festlegung einer gemeinsamen Strategie zur Entwicklung der Szenarien in Maria Waldrast
- 31.3.2003: Vortrag beim Tag der Hydrologie in Freiburg
- 15.5.2003: Upscaling-Meeting in München
- 17.-18.7.2003: erstes Validierungstreffen in München
- 16.9.2003: zweites Validierungstreffen in München
- 16.-19.11.2003: DVWK-Veranstaltung zur WRRL in Essen
- 21.11.2003: GLOWA-Projektleiter Treffen in Köln

Weitere kleinere Abstimmungstreffen sowie bilaterale Gespräche zwischen einzelnen Projektgruppen sind in den einzelnen Teilberichten enthalten.

8. Vorträge, Publikationen und Öffentlichkeitsarbeit

Während der ersten Förderphase von GLOWA-Danube wurden von den beteiligten Projektwissenschaftlern eine Vielzahl von wissenschaftlichen Beiträgen publiziert. Deren detaillierte Auflistung würde den Rahmen einer Berichteinleitung sprengen. In den folgenden Einzelberichten ist jeweils eine Auflistung der relevanten Publikationen enthalten; eine vollständige Übersicht über alle Vorträge, Publikationen sowie öffentlichkeitswirksamen Beiträge findet sich unter http://www.glowa-danube_Hlt95020421_Hlt95020422eBM_1_BM_2.de (insgesamt 174 Beiträge, Stand Ende Januar 2005).

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

Bei der Erforschung des globalen Wandels des Wasserhaushalts kommen unterschiedliche Modelle, Techniken und Methoden aus verschiedenen Bereichen der Naturwissenschaften und der Sozialwissenschaften zum Einsatz. Zentrale Aufgabe des Teilprojekts Informatik von GLOWA-Danube ist die Entwicklung des Modellierungs- und Entscheidungs-Unterstützungssystems DANUBIA als ein Werkzeug zur integrativen Simulation wasserbezogener Umweltthemen unter ökologischen und ökonomischen Aspekten.

Während der ersten Förderphase wurde mit der aktuellen Version des DANUBIA-Systems ein Modellverbund geschaffen, in den alle sechzehn Modelle der in GLOWA-Danube beteiligten Fachdisziplinen integriert sind. DANUBIA wurde auf einem aus 52 Knoten bestehenden Rechnerverbund installiert, auf dem eine Reihe von gekoppelten Simulationsläufen durchgeführt wurde. Die Ergebnisse der Simulationen werden in den Abschlussberichten der Projektpartner aus den einzelnen Fachdisziplinen analysiert. In der zweiten Projektphase soll DANUBIA zu einem Entscheidungs-Unterstützungssystem ausgebaut werden, das in der Lage sein soll komplexe Umweltszenarien unter Einbeziehung tiefer Akteursmodelle zu untersuchen und den Benutzer bei der Findung von Entscheidungen für ein nachhaltiges Umweltmanagement zu unterstützen.

Bei der Entwicklung des DANUBIA-Systems wurden Methoden des objekt-orientierten Software Engineerings auf der Grundlage der Unified Modeling Language UML (BOOCH et al. 1999) eingesetzt. Insbesondere wurde die UML als eine gemeinsame, von allen Fachgruppen verwendete Modellierungssprache zur Spezifikation der Schnittstellen zwischen den einzelnen Modellen verwendet. Wesentliche Schritte bei der Systementwicklung waren die Modellierung der Systemarchitektur, die Behandlung von Simulationsräumen auf der Grundlage von Proxel-Hierarchien, die zeitliche Koordination verteilter, gekoppelter Simulationen und die Realisierung der Systemsteuerung und der Netzwerkkommunikation.

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 Grundausstattung durch den Projektgruppenleiter Prof. Rolf Hennicker unterstützt.

- Dipl. Math. Matthias Ludwig: 01.10.2000-31.03.2001, 1/2 BAT IIA Stelle; 01.04.2001-29.02.2004, 1 BAT IIA Stelle,

- Dipl. Phys. Andreas Kraus: 01.02.2001-31.12.2003, 1 BAT IIA Stelle,
- Dipl. Inf. Michael Barth: 01.04.2001-31.12.01, 1/2 BAT IIA Stelle; 01.01.2003-30.06.2003, 1/2 BAT IIA Stelle,
- Dipl. Inf. Stephan Janisch: 01.01.2004-29.02.2004, 1 BAT IIA Stelle,
- Dipl. Inf. Axel Rauschmayer: 01.02.2004-29.02.2004, 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 Rahmen von Werkverträgen im Berichtszeitraum tätig: Frau Erika Kalix, Herr Bernd Vietze, Herr Stephan Janisch, Herr Robert Schmid und Frau Elke Ahtert (geb. Schumm). Aus den gestellten Aufgaben ergaben sich Fortgeschrittenenpraktika und Diplomarbeiten.

1.3 Anschaffungen

Für die Entwicklung des verteilten DANUBIA-Systems und der Testumgebung sowie zu Demonstrationszwecken auf Projektreffen und Konferenzen wurden zwei Personal Computer und ein Notebook angeschafft:

- 2 Fujitsu/Siemens PC Celsius 420 jeweils mit TFT Monitor, 6.719,40 Euro (13.175,28 DM),
- 1 Fujitsu/Siemens Lifebook E, 3.138,40 Euro (6.153,80 DM).

1.4 Veranstaltungen

1.4.1 Projekttreffen

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

- 19.01.2001 Treffen der Arbeitsgruppe Informatik (München)
- 12.-16.03.2001 GLOWA-Danube Workshop (Frauenchiemsee)
- 06.07.2001 Arbeitstreffen aller GLOWA-Danube Projektgruppen (München)
- 31.07.2001 Treffen der Arbeitsgruppe Informatik (München)
- 13.09.2001 Treffen der Arbeitsgruppe Informatik (München)
- 26.-28.10.2001 GLOWA-Danube Workshop (Kleinwalsertal/Österreich)
- 14. und 16.11.01 Java-Einführungskurs für die GLOWA-Danube Projekte
- 15.11.01 GLOWA-Gesamt Workshop „Integrative Methoden in den GLOWA- Projekten“ (München)

Die Arbeitsgruppentreffen am 31.7. und 13.9.01 wurden von der Gruppe Informatik in den Räumen des Instituts für Informatik ausgerichtet und geleitet. Ebenso wurde der o.g. Einführungskurs in die Programmiersprache Java von der Gruppe Informatik organisiert und durchgeführt. Beim GLOWA-Gesamt Workshop am 15.11.01 wurde von R. Hennicker ein einstündiger Vortrag mit dem Thema „Techniken und Methoden zur integrativen Systementwicklung in GLOWA-Danube“ gehalten. In dem Vortrag wurde eine Einführung in die objektorientierte Modellierung mit der Unified Modeling Language UML gegeben und die Modellierung der Schnittstellen und des Raumkonzepts von GLOWA-Danube erläutert.

- 04.03.2002 Arbeitstreffen aller GLOWA-Danube Projektgruppen, München (Hennicker, Kraus, Ludwig)
- 14.-15.03.2002 Arbeitstreffen aller GLOWA-Danube Projektgruppen, München (Hennicker, Kraus, Ludwig)
- 06.-08.05.2002 GLOWA Statuskonferenz, München (Hennicker, Kraus, Ludwig)
- 17.05.2002 Bilaterales Treffen mit der Gruppe Agrarökonomie, Hohenheim (Ludwig)
- 04.-05.07.2002 Arbeitstreffen aller GLOWA-Danube Projektgruppen, München (Hennicker, Kraus, Ludwig)
- 01.-02.08.2002 Arbeitstreffen aller GLOWA-Danube Projektgruppen, München (Hennicker)
- 29.-30.08.2002 Arbeitstreffen aller GLOWA-Danube Projektgruppen, Freiburg (Kraus)
- 19.-20.09.2002 Arbeitstreffen aller GLOWA-Danube Projektgruppen, Stuttgart (Hennicker)

Bei der GLOWA-Statuskonferenz wurde von R. Hennicker ein Vortrag mit dem Thema „A Prototype of DANUBIA“ gehalten.

Bei dem Treffen mit der Gruppe Agrarökonomie am 17.05.2002 wurde von M. Ludwig ein Vortrag mit dem Thema „Techniken und Methoden zur integrativen Systementwicklung in GLOWA-Danube“ gehalten.

- 17.02.2003 Bilaterales Treffen mit Vertretern der Projektgruppe Tourismus, München (Kraus, Ludwig)
- 23.-27.02.2003 Arbeitstreffen aller GLOWA-Danube Projektgruppen, Maria Waldrast, Österreich (Hennicker, Kraus, Ludwig)
- 07.03.2003 Bilaterales Treffen mit Vertretern der Projektgruppe Agrarökonomie, München (Ludwig)
- 05.05.2003 Bilaterales Treffen mit Vertretern der Projektgruppe Ökonomie, München (Ludwig)
- 06.05.2003 Bilaterales Treffen mit Vertretern der Projektgruppe Agrarökonomie, München (Kraus, Ludwig)
- 24.-27.06.2003 Konferenz „Information Technologies in Environmental Engineering (ITEE'2003)“ (Ludwig)
- 04.07.2003 Bilaterales Treffen mit der Projektgruppe Umweltpsychologie zur Übergabe der Entwicklung des Actor-Controllers, Saarbrücken (Zhang)
- 17.-18.07.2003 Arbeitstreffen aller GLOWA-Danube Projektgruppen (Erstes Validierungstreffen), München (Hennicker, Ludwig)
- 05.09.2003 Arbeitstreffen der Actor-Projektgruppen, Kassel (Zhang)
- 16.-17.09.2003 Arbeitstreffen aller GLOWA-Danube Projektgruppen (Zweites Validierungstreffen), München (Hennicker, Kraus, Ludwig)

Neben den genannten Treffen haben Mitarbeiter der Gruppe Informatik an zahlreichen bilateralen Treffen, 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. Zumeist wurde in eigenen wissenschaftlichen Vorträgen über Forschungsergebnisse berichtet.

- Rolf Hennicker, Teilnahme an der fünften Internationalen Konferenz über *Formal Methods for Open Object-Based Distributed Systems* (FMOODS'02), Enschede (Niederlande), März 2002, Mitglied des Programm-Komitees.
- Andreas Kraus, Teilnahme am zweiten Internationalen Workshop über *Web Oriented Software Technology* (IWWOST'02) im Rahmen der Konferenz ECOOP'02 (European Conference on Object-oriented Programming), Malaga (Spanien), Juni 2002, mit Vortrag über The Expressive Power of UML-based Web Engineering.
- Andreas Kraus, Teilnahme an der Internationalen Konferenz über *Integrated Design and Process Technology* (IDPT'02), Pasadena (USA), Juni 2002, mit Vortrag über Generation of Web Applications from UML Models.
- Matthias Ludwig, Teilnahme an der Internationalen Konferenz über *Information Technologies in Environmental Engineering* (ITEE'03), Gdansk (Polen), Juni 2003, mit Vortrag über An Integrated Simulation System for Global Change Research in the Upper Danube Basin.
- Andreas Kraus, Teilnahme an der dritten Internationalen Konferenz über *Web Engineering* (ICWE'03) und am dritten Internationalen Workshop über *Web Oriented Software Technology* (IWWOST'03), Oviedo (Spanien), Juli 2003, mit Vorträgen über Towards a Common Metamodel for the Development of Web Applications (bei ICWE'03) und Modeling Web Business Processes with OO-H and UWE (bei IWWOST'03).
- Alexander Knapp, Teilnahme am Internationalen Workshop OCL 2.0 - *Industry Standard or Scientific Playground? im Rahmen der Konferenz UML'03*, San Francisco, Oktober 2003, mit Vortrag über Semantics of OCL Operation Specifications (Koautoren Rolf Hennicker, Hubert Baumeister)
- Rolf Hennicker, Forschungsaufenthalt an der Ecole Normale Supérieure de Cachan über Formale Spezifikation von objektorientierten Komponenten zur Anwendung in GLOWA Danube, Februar 2004.

1.5 Veröffentlichungen

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

BIDOIT, M. und HENNICKER, R. (2002): On the integration of observability and reachability concepts. Proc. FOSSACS 2002, 5th Int. Conf. Foundations of Software Science and Computation Structures, Conference at ETAPS 2002 (Joint Conferences on Theory and Practice of Software), Springer Lecture Notes in Computer Science 2303, p 21-36.

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), ACTA Press, p. 6-11.

HENNICKER, R. und KOCH, N. (2000): A UML-based Methodology for hypermedia design. In: EVANS, A., STUART, S. und SELIC, B. (eds.): *UML'2000 - The Unified Modeling Language - Advancing the Standard, Lecture Notes in Computer Science 1939*, York, England, Springer Verlag, p. 410-424.

- HENNICKER, R. und KOCH, N. (2001): Systematic design of web applications with UML. In: SIAU, K. und HALPIN, T. (eds.): *Unified Modeling Language: Systems Analysis, Design and Development Issues*, IDEA Group Publishing, p. 1-20.
- HENNICKER, R., BAUMEISTER, H., KNAPP, A. und WIRSING, M. (2001): Specifying component invariants with OCL. In: BAUKNECHT, K., BRAUER, W. und MÜCK, T. (eds.): *Proc. GI/OCG-Jahrestagung*, Bd. 157/I books@ocg.at, ÖGI (Austrian Computer Society), Wien, p. 600-607.
- HENNICKER, R., BARTH, M., KRAUS, A. und LUDWIG, M. (2002): DANUBIA: A Web- based modeling and decision support system for integrative global change research in the upper danube basin. In: *BMBF, German Programme on Globale Change in the Hydrological Cycle* (Phase I, 2000-2003), Status Report 2002, GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, p. 35-38.
- HENNICKER, R., HUSSMANN, H. und BIDOIT, M. (2002): On the precise meaning of OCL constraints. In: CLARK, T. and WARMER, J. (eds.): *Advances in Object Modelling with the OCL*, Springer LNCS 2263, p. 70-85.
- HENNICKER, R., BARTH, M., KRAUS, A. und LUDWIG, M. (2003): An integrated simulation system for global change research in the upper danube basin. First World Congress on Information Technology in Environmental Engineering, ITEE 2003.
- HENNICKER, R., KNAPP, A. und BAUMEISTER, H. (2003): Semantics of OCL operation specifications. In: BAAR, T., CLARK, T., FRANCE, R., HÄHNLE, R. HUSSMANN, H. und SCHMITT, P.H. (eds.): *Proc. Wsh. OCL 2.0 - Industry standard or scientific playground?*, San Francisco, To be published by Elsevier, 19 pages.
- KOCH, N., KRAUS, A. und HENNICKER, R. (2001): The authoring process of the UML-based web engineering approach. In: SCHWABE, D. (ed.): *First International Workshop on Web-oriented Software Technology* (IWWOST01), 29 pages.
- KOCH, N. und KRAUS, A. (2002): The expressive power of UML-based web engineering. In: SCHWABE, D., PASTOR, O., ROSSI, G. und OLSINA, L. (eds.): *Proc. 2nd. International Workshop on Web Oriented Software Technology* (IWWOST'2002), Workshop at the ECOOP'2002, Malaga, Cytel, p. 105-119.
- KOCH, N. und KRAUS, A. (2003): Towards a common metamodel for the development of web applications. In: Third International Conference on Web Engineering (ICWE 2003). In: CUEVA, J.M., LOVELLE, B.M., RODRIGUEZ, G., AGUILAR, L.J., LABRA GAYO, J.E. und RUIZ, M.P. (eds.), LNCS 2722, Springer Verlag, p. 497-506.
- KOCH, N., KRAUS, A., CACHERO, C. und MELIÁ, S. (in print): Modeling web business processes with OO-H and UWE. *Journal of Web-Engineering*, Rinton Press, to appear.
- KRAUS, A. und KOCH, N. (2002): Generation of web applications from UML models using an XML publishing framework. *Proc. of Integrated Design and Process Technology* (IDPT'2002), Vol 1.
- LUDWIG, R., MAUSER, W., NIEMEYER, S., COLGAN, A., STOLZ, R., ESCHER-VETTER, H., KUHN, M., REICHSTEIN, M., TENHUNEN, J., KRAUS, A., LUDWIG, M., BARTH, M. und HENNICKER, R. (2003): „Web-based modeling of water, energy and matter fluxes to support decision making in mesoscale catchments – the integrative perspective of GLOWA-Danube”. In: *Physics and Chemistry of the Earth* 28, p. 621-634.
- 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.

Diplomarbeiten, Fortgeschrittenenpraktika und technische Berichte

ALBERT, I. (2003): Entwicklung eines Generators zur automatischen Erzeugung von Netzwerk-Wrappern für ein System verteilter Umweltrechnungen, Bericht über ein Fortgeschrittenen-Praktikum, Institut für Informatik, Ludwig-Maximilians-Universität München.

KRAUS, A. und LUDWIG, M. (2003) : GLOWA-Danube Papers – Technical Release No. 002 (DANUBIA-Framework).

KRAUS, A. (2003): GLOWA-Danube Papers – Technical Release No. 002 (DANUBIA-Recovery).

SCHMIDT, R. (2002): Entwicklung eines Zeit-Controllers für ein System verteilter Umweltsimulationen, Bericht über ein Fortgeschrittenen-Praktikum, Institut für Informatik, Ludwig-Maximilians-Universität München.

STIEGLER, S. (2002): Entwicklung eines Generators zur semiautomatischen Erzeugung von Web-Anwendungen aus UML Design Modellen, Ludwigs-Maximilians-Universität München, Institut für Informatik, Diplomarbeit.

2. Ergebnisse

2.1 Formulierte Ziele der Ersten Förderphase

Das Ziel der Informatik-Gruppe war es mit der Entwicklung des DANUBIA-Systems eine Plattform für einen Modellverbund zu schaffen, in dem die auf verschiedene Rechner verteilten Simulationsmodelle der einzelnen Fachrichtungen koordiniert zusammenarbeiten und gemeinsam Simulationen des Wasserhaushalts durchführen können. Als Voraussetzung für den integrativen Ansatz sollte zunächst eine auf GLOWA-Danube zugeschnittene Modellierungssprache geschaffen werden, die von allen Projektpartnern zur einheitlichen Definition und Dokumentation von Schnittstellen und Informationsflüssen benützt wird. Während der Systemanalyse stellte sich heraus, dass für die bisherigen Zwecke der Sprachumfang der Unified Modeling Language UML (BOOCH et al. 1999) ausreichend war und keine GLOWA-Danube spezifische Erweiterung der UML vorgenommen werden musste. Im Rahmen des ersten Projektworkshops wurde den beteiligten Fachgruppen eine Einführung in die für die gemeinsame Arbeit benötigten UML Konzepte gegeben. Die Benutzung von UML als gemeinsames Sprachmittel hat sich während der gesamten Projektdauer als äußerst nützlich erwiesen.

Entsprechend des Projektantrags für die erste Förderphase sollte die Entwicklung des DANUBIA-Systems auf der Grundlage der folgenden vier logischen Schichten erfolgen:

- der Anwendungsschicht, die zur Beschreibung der Funktionalität von DANUBIA und zur Kontrolle der Arbeitsabläufe dient,
- der Strukturschicht, die die statische Systemstruktur bestehend aus Komponenten und Schnittstellen repräsentiert,
- der Prozessschicht, die das dynamische System-Verhalten steuert und die Koordination der fachspezifischen Modelle übernimmt,
- der Implementierungsschicht, die die technische Kopplung der verteilten DANUBIA- Komponenten mit Hilfe eines Middleware Standards wie CORBA oder RMI realisiert und eine Web-Oberfläche für die Bedienung von DANUBIA bietet.

Während der Systementwicklung wurde bis auf wenige Abweichungen nach diesen Vorgaben vorgegangen. Die Anwendungsschicht spiegelt sich in den Ergebnissen der Anwendungsanalyse wider, auf die in Abschnitt 2.2 eingegangen wird. Die Strukturschicht umfasst einerseits

die statische Netzwerkstruktur von DANUBIA bestehend aus fünf Hauptkomponenten (Atmosphäre, Landsurface, Rivernetzwerk, Groundwater und Actors), den einzelnen Fachmodellen und den Schnittstellen zwischen den Komponenten (vgl. Abschnitt 2.3). Andererseits gehört auch die Spezifikation der räumlichen Struktur von Simulationsgebieten und deren Bestandteilen in Form von Proxeln zur Strukturschicht (vgl. Abschnitt 2.4). Den Kern der Prozessschicht bildet der in Abschnitt 2.5 beschriebene Timecontroller, der die Berechnungszyklen der einzelnen parallel rechnenden Modelle koordiniert. Die Implementierungsschicht wird in Abschnitt 2.6 beschrieben. Da alle DANUBIA-Modelle entweder vollständig in Java implementiert wurden oder zumindest mit einer Java Hülle umgeben sind, konnte bei der Realisierung der Netzwerkkommunikation auf den Einsatz von CORBA verzichtet werden und statt dessen die Java Netzwerktechnologie RMI (remote method invocation) verwendet werden. Eine Web-Oberfläche für DANUBIA wurde zwar rudimentär geschaffen, wegen der aktuellen Sicherheitsproblematik im Internet jedoch vorerst nicht mehr eingesetzt.

Zusätzlich zu den im Projektantrag der ersten Förderphase formulierten Zielen wurde ein Recovery-Mechanismus implementiert (vgl. Abschnitt 2.7), mit dessen Hilfe unterbrochene Simulationsläufe bei bestimmten Synchronisationspunkten neu aufgesetzt werden können, sowie eine Testumgebung geschaffen (vgl. Abschnitt 2.8), die den Modellentwicklern bei lokalen Tests für einzelne Modelle zur Verfügung steht.

Mit der Entwicklung des verteilten DANUBIA-Systems wurden sowohl integrative Vorhaben im Sinne einer direkten Anwendung durch die Projektpartner umgesetzt als auch sektorale Ziele bei der Erforschung informatikspezifischer Methoden der Systemkonstruktion verfolgt. Ein Überblick über die Ergebnisse sektoraler Forschung wird in Abschnitt 2.9 gegeben. Zunächst wird in Abschnitt 2.9.1 ein allgemeines Koordinationsmodell für zeitabhängige Komponenten beschrieben, das im Hinblick auf GLOWA-Danube Modelle entwickelt wurde und mit Hilfe formaler mathematischer Methoden als korrekt bzgl. gegebenen Sicherheits- und Lebendigkeitseigenschaften bewiesen wurde. Im Bereich des Web-Engineering wurden weitere Fortschritte hinsichtlich der Codeerzeugung aus UML-basierten Modellen erzielt (vgl. Abschnitt 2.9.2). Ergebnisse zur Spezifikation und systematischen Integration verschiedener Sichten auf komplexe Systeme (z.B. statische, dynamische und operationale Sicht) werden in Abschnitt 2.9.3 beschrieben.

2.2 Anwendungsanalyse

Die Analyse des DANUBIA-Systems begann für die Fachgruppe Informatik mit der Durchführung einer Fragebogenaktion unter den Projektpartnern. Diese Aktion brachte als Ergebnis den Bestand an bereits vorhandenen Simulationsmodellen sowie einen Überblick über die im Rahmen von GLOWA-Danube geplanten Simulationsmodelle. Gleichzeitig wurde eine erste Sammlung von Parametern durchgeführt, die später innerhalb von DANUBIA zwischen den einzelnen Fachmodellen im Rahmen von verteilten Simulationen ausgetauscht werden sollen. Auf der Grundlage der Fragebogenaktion und der darauf folgenden Gespräche teils auf bilateraler, teils auf Gesamtprojektebene wurden die Schnittstellen zwischen den Simulationsmodellen entwickelt (vgl. Abschnitt 2.3).

Im weiteren Verlauf des Projekts wurde eine Analyse der grundsätzlichen Systemfunktionalität für das DANUBIA-System durchgeführt. Diese Systemfunktionalität kann durch sogenannte Anwendungsfälle beschrieben und strukturiert werden. Die für DANUBIA wesentlichen Anwendungsfälle wurden in einem Anwendungsfalldiagramm zusammengefasst (vgl. Abb. 1).

Ein Anwendungsfall wird durch ein Oval, das den Namen des Anwendungsfalls enthält, dargestellt. Eine durchgezogene Linie zwischen einem Benutzer und einem Anwendungsfall deutet an, dass dieser Anwendungsfall für diesen Benutzer zur Verfügung steht.

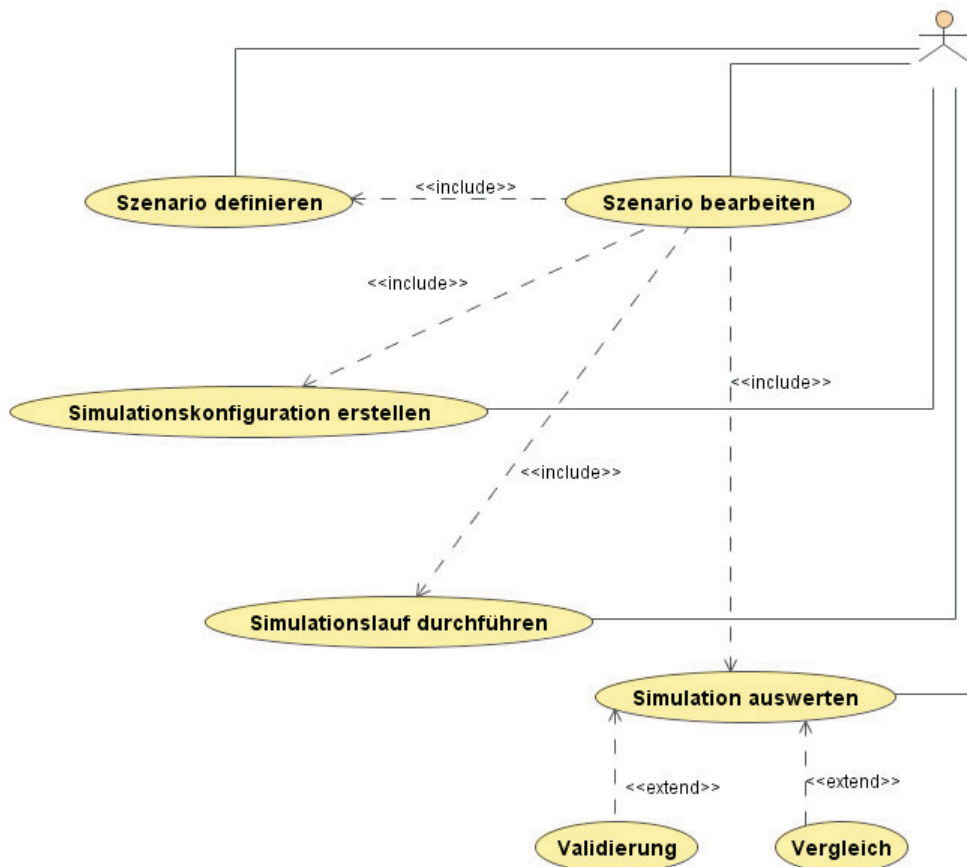


Abb. 1: Anwendungsfalldiagramm.

Zwischen zwei Anwendungsfällen kann es Abhängigkeiten geben: ein Anwendungsfall kann einen anderen als Teil enthalten (dargestellt durch eine gestrichelte Linie mit Pfeilspitze bei dem enthaltenen Anwendungsfall und dem Schlüsselwort <<include>>) oder ein Anwendungsfall kann einen anderen erweitern (dargestellt durch eine gestrichelte Linie mit Pfeilspitze bei dem zu erweiternden Anwendungsfall und dem Schlüsselwort <<extend>>). Der erweiternde Anwendungsfall kann im Ablauf des zu erweiternden Anwendungsfalls auftreten. Beispielsweise enthält der Anwendungsfall „Szenario bearbeiten“ zwingend die Anwendungsfälle „Szenario definieren“, „Simulationskonfiguration erstellen“, „Simulationslauf durchführen“ und „Simulation auswerten“, während „Simulation auswerten“ durch die Anwendungsfälle „Validierung“ und „Vergleich“ erweitert werden kann.

Die in diesem Diagramm auftretenden Bezeichnungen werden durch das in Abbildung 2 dargestellte Klassendiagramm verdeutlicht, das im weiteren Verlauf der Analyse entstanden ist. Ein Szenario wird durch eine Kurzbeschreibung und einen Namen identifiziert. Es soll bestimmte Fragen beantworten und Hypothesen stützen. Dazu bedarf es gewisser Annahmen und Randbedingungen. Andere Szenarien können als Referenz dienen. Zu einem Szenario gehören beliebig viele Simulationen. Eine Simulation wiederum besteht aus einer Simulationskonfiguration und einem Simulationslauf. Die Simulationskonfiguration wird bestimmt durch Rahmenbedingungen, Zeitraum, Simulationsgebiet, Zielgrößen und Prozesse, welche durch die an der Simulation beteiligten Modelle realisiert werden. In die Modelle gehen die Annahmen und Randbedingungen des Szenarios ein.

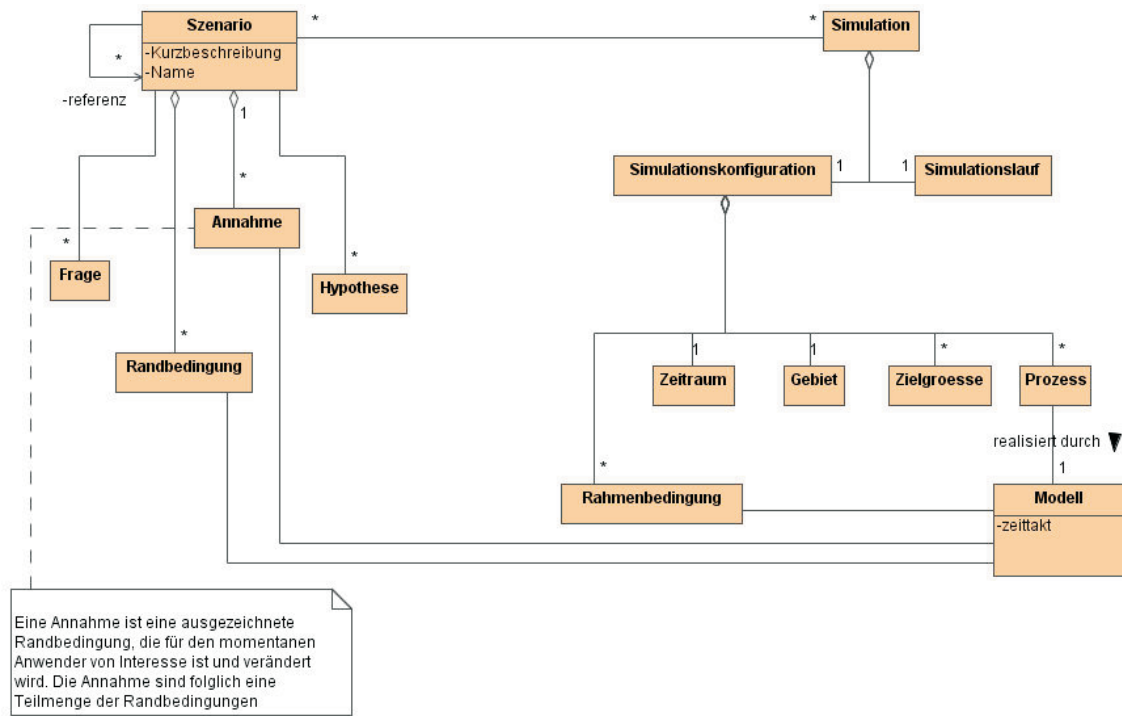


Abb. 2: Klassendiagramm zur Begriffsklärung.

2.3 Komponenten, Modelle und Schnittstellen

In den folgenden Abschnitten und Kapiteln bezeichnet der Begriff *Modell* ein konkretes einzelnes Fachmodell (z.B. *Biological* oder *RiverNetwork*) und der Begriff *Komponente* bzw. *Hauptkomponente* (z.B. *Landsurface* oder *Actor*) einen Verbund von Modellen.

Als wesentliches Ergebnis der Systemanalyse wurden die gegenseitigen Abhängigkeiten der beteiligten Fachgruppen herausgearbeitet. Diese Abhängigkeiten ergeben sich aus den von den verschiedenen Simulationsmodellen ausgetauschten Daten. Jedes einzelne Modell spielt dabei zwei Rollen, einmal als Anbieter und einmal als Nutzer (Client) von Daten.

Nach einer sorgfältigen (paarweisen) Analyse, welche Daten von welchen Modellen angeboten bzw. benötigt werden, wurde eine Menge von Schnittstellen zwischen den Modellen identifiziert und graphisch mit Hilfe der Unified Modeling Language (UML) dokumentiert. Abbildung 3 zeigt die allgemeine Form von Schnittstellendiagrammen für drei Modelle *A*, *B* und *C*. Die Modelle tauschen über die Schnittstellen *AToB*, *AToC*, *BToA*, und *CToB* Informationen aus. Ein Kreis in der rechten oberen Ecke kennzeichnet eine Schnittstelle. Operationen der Form *getX():DataType* beschreiben Dienste, die die Schnittstelle anbietet.

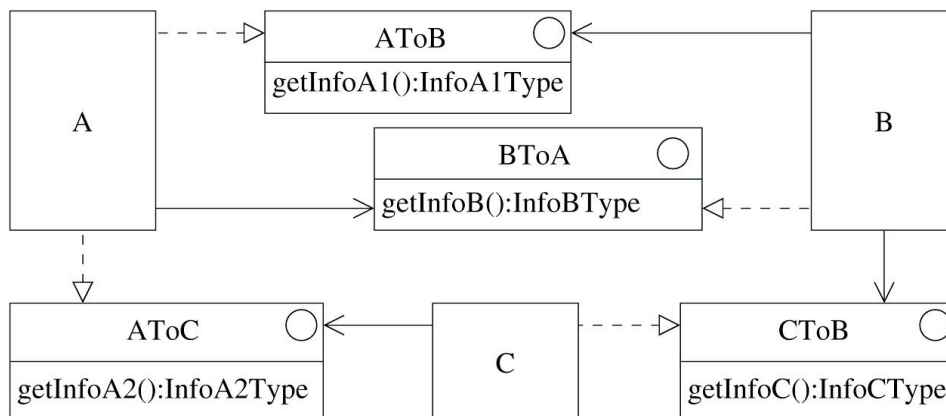


Abb. 3: Wechselseitige Schnittstellen zwischen Modellen.

Das Modell, das eine Schnittstelle implementiert (mit der Schnittstelle durch eine gestrichelte Linie und eine durchgezogene geschlossene Pfeilspitze verbunden) ist verantwortlich für die Bereitstellung der Daten, die von dem Client-Modell verwendet werden. Man beachte, dass eine Schnittstelle je nach Beziehung zu den beteiligten Modellen Import- bzw. Export-Daten spezifiziert. Beispielsweise ist die Schnittstelle *AToB* in Abbildung 3 einerseits eine Export-Schnittstelle von Modell *A* und gleichzeitig eine Import-Schnittstelle von Modell *B*.

Diagramme wie Abbildung 3 werden mit steigender Anzahl beteiligter Modelle schnell unübersichtlich. Aus diesem Grund wurden in GLOWA-Danube fünf Hauptkomponenten *Atmosphäre*, *Landsurface*, *RiverNetwork*, *Groundwater* und *Actors* identifiziert (vgl. Abb. 4). Die Hauptkomponenten gruppieren logisch zusammenhängende Modelle.

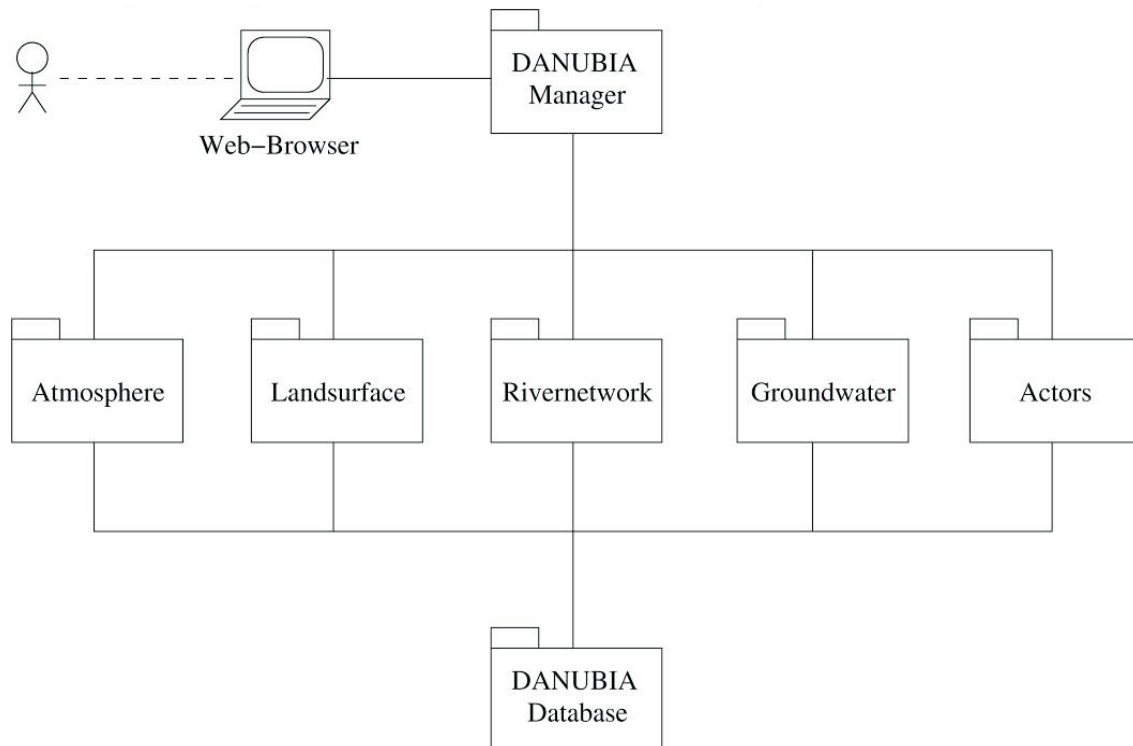


Abb. 4: Basisstruktur von DANUBIA.

Jede der Komponenten ist mit einem Komponenten-Controller ausgestattet, der den Datenaustausch zwischen Komponenten, aber auch von Modellen innerhalb einer Komponente regelt. Die innere Struktur der Komponenten wird aus einem oder mehreren Modellen sowie den benötigten Schnittstellen gebildet. Auf diese Weise erhält man insgesamt eine hierarchische Struktur aus Komponenten und Modellen (vgl. Abb. 5). Beispielsweise enthält die *Landsurface*-Komponente Simulationsmodelle für Pflanzenökologie (*Biological*), Strahlungsbilanzen (*RadiationBalance*), Boden (*Soil*), Oberfläche (*Surface*) und Gletscherforschung (*Snow*) sowie die jeweils benötigten Schnittstellen zwischen diesen Modellen. Aus Platzgründen wurden in Abbildung 5 manche Modelle weggelassen und einige Schnittstellen werden nur durch einen Kreis und den Schnittstellennamen dargestellt. Die hierarchische Struktur ergibt sich einerseits aus den Schnittstellen zwischen den Submodellen einer Hauptkomponente und andererseits aus den Schnittstellen zwischen den verschiedenen Komponenten-Controllern.

Man beachte, dass konkrete Datentypen als Rückgabetyper der *get*-Operationen (z.B. *ArableLandcoverCollection*) benutzt werden. Für DANUBIA wurde eine vollständige Datentyphierarchie geschaffen, die alle innerhalb des DANUBIA-Systems benutzten Datentypen beinhaltet.

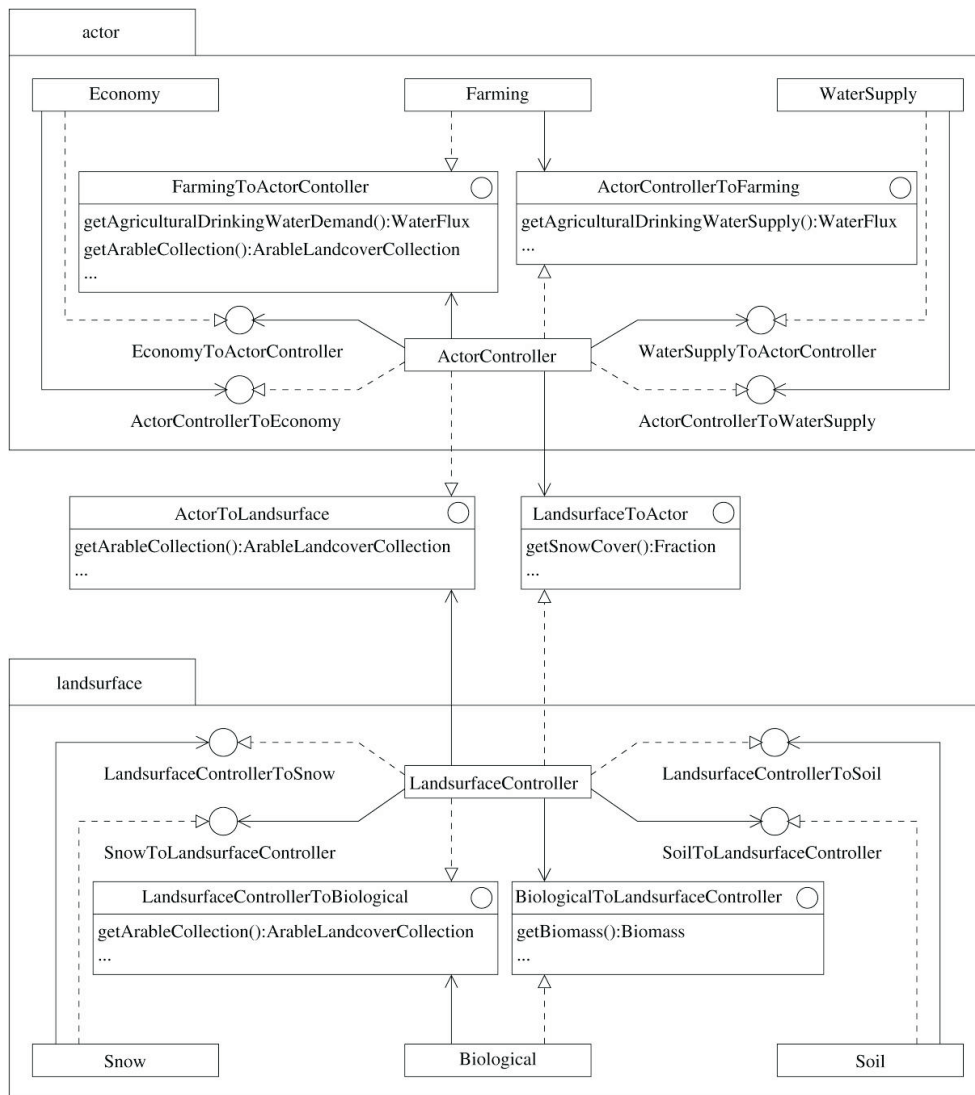


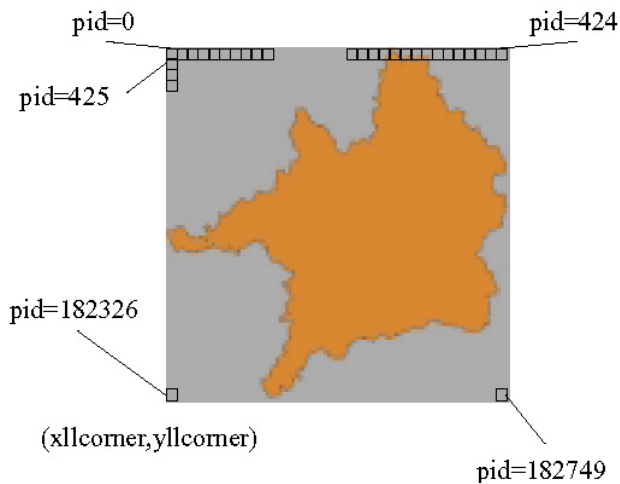
Abb. 5: Hierarchische Struktur von Komponenten.

2.4 Behandlung des Simulationsraumes

Ein zentraler Aspekt von (flächendeckenden) Simulationen ist die Behandlung des Simulationsraumes. Aus Programmiersicht werden räumliche Aspekte oft implizit durch die Verwendung zweidimensionaler Datenfelder behandelt. In diesem Abschnitt werden ausgehend von einer abstrakteren Sichtweise die Konzepte zur Behandlung des Raumes in DANUBIA vorgestellt.

Der Simulationsraum wird durch ein zweidimensionales Netz repräsentiert, das das Simulationsgebiet, wie in Abbildung 6 veranschaulicht, überspannt. Koordinaten in diesem Netz werden auf geographische Koordinaten durch die Lambert-Projektion abgebildet.

Durch Anwendung des objektorientierten Paradigmas erhält der Simulationsraum nicht nur eine statische Struktur, als Netz von Pixeln mit Eigenschaften wie geographischen Koordinaten oder Geländehöhe, sondern zusätzlich eine dynamische Struktur in Form von Verhalten. Dieses Verhalten besteht im wesentlichen aus den Prozessen, die an der entsprechenden Stelle des Netzes ablaufen. Die resultierenden Objekte heißen *Proxel*: ein Akronym für *process pixel*. Durch Anwendung des Vererbungskonzepts werden diese Proxel individuell in den beteiligten Disziplinen spezialisiert. Beispielsweise existieren *surface proxel* oder *biological proxel* als Spezialisierungen für das Oberflächen-Modell bzw. für das Modell zur Pflanzenökologie.



- » name=Danube Basin
- » sid=1
- » nCols=425
- » nRows=430
- » resolution=1000 [m]
- » xllcorner= ... [m]
- » yllcorner= ... [m]
- (Lambert)

Abb. 6: Gebietsbeschreibung des oberen Donaugebiets.

2.4.1 Modellierung von Simulationsgebieten

Ein Simulationsgebiet wird durch die Klasse `SiteMetaData` modelliert (vgl. Abb. 7). Die Klasse enthält einen numerischen Identifikator (*sid*), einen Gebietsnamen (*name*), die Anzahl von Zeilen und Spalten (*nCols* bzw. *nRows*), die Parameter des Lambert-Koordinatensystems (*xllcorner*, *yllcorner*) und die Auflösung (*resolution*). Simulationen beziehen sich immer auf ein Teilgebiet eines zugehörigen `SiteMetaData`-Objektes, zum Beispiel auf das Ammergebiet oder das gesamte Einzugsgebiet der Oberen Donau. Letzteres wird durch die Assoziation zwischen der Klassen `SiteMetaData` und `AreaMetaData` modelliert. Die Klasse `AreaMetaData` definiert zusätzlich die obere linke Ecke relativ zur zugehörigen `SiteMetaData` sowie die Anzahl an Zeilen und Spalten des entsprechenden Teilgebiets.

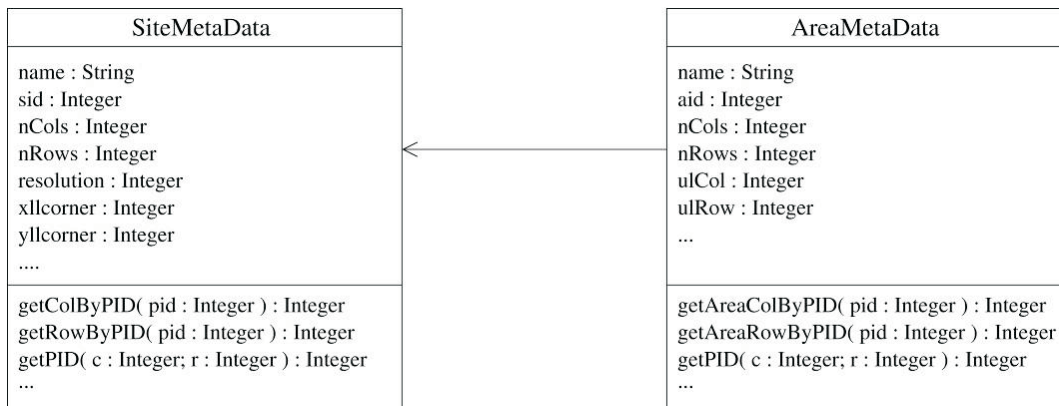


Abb. 7: Modellierung des Simulationsraumes.

Die Proxel des gesamten Simulationsgebiets besitzen jeweils einen eindeutigen numerischen Identifikator, die Proxel ID (vgl. Abb. 6). Dieser Identifikator gilt global und ist damit unabhängig vom gewählten Teilgebiet. Die Klassen `SiteMetaData` und `AreaMetaData` aus Abbildung 7 bieten Transformations-Operationen zur Umrechnung zwischen Proxel ID's und Zeilen- bzw. Spalten-Nummer an. Der Algorithmus zur Berechnung der Proxel ID aus Zeilen und Spalten wird von der Operation `getPID` wie folgt implementiert:

```
getPID(col, row) = col + row * nCols.
```

Die umgekehrte Transformation wird implementiert durch

```
getColByPID(pid) = pid mod nCols,
getRowByPID(pid) = pid div nCols.
```

(Die Funktion `mod` ergibt den Rest bei ganzzahliger Division und die Funktion `div` entspricht der ganzzahligen Division.)

2.4.2 Design der Proxel-Hierarchie

Um räumliche Objekte zu speichern wird ein Tabellenkonzept verwendet. Das bedeutet, dass Objekte unter Angabe der Proxel ID gespeichert und ausgelesen werden können. Dazu wird die abstrakte Klasse `Table` (vgl. Abb. 8) verwendet. Instanzen dieses Typs halten eine Referenz auf ein `AreaMetaData`-Objekt, das das zugehörige Teilgebiet beschreibt. Spezialisierungen dieser Klasse sind einerseits die abstrakte Klasse `DataTable`, die Basisklasse aller räumlichen Datenobjekte, und andererseits die abstrakte Klasse `ProxelTable`, die wiederum als Basisklasse zum Speichern beliebiger Proxelobjekte vorgesehen ist. Auf die Proxel einer Tabelle kann durch die Operationen `getProxel` und `putProxel` zugegriffen werden. Die Operation `getPIDArray` liefert durch Abfrage der DANUBIA-Datenbank ein Feld (Array) aller im Simulationsgebiet liegenden Proxel ID's.

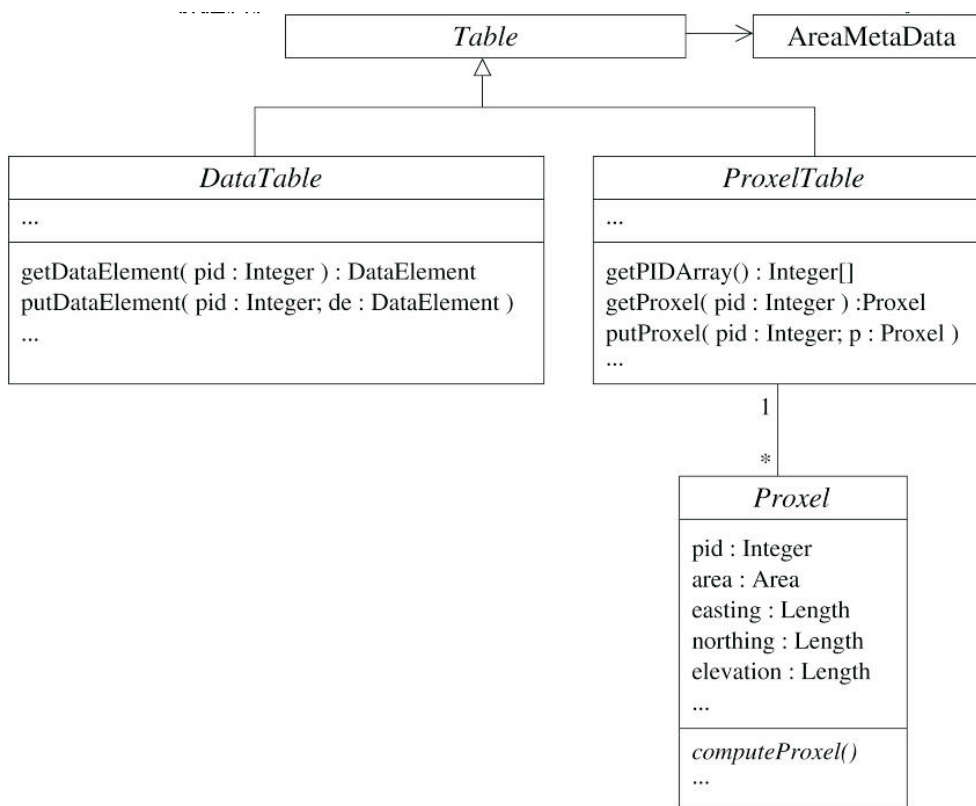


Abb. 8 : Basisklassen zur Behandlung räumlicher Daten.

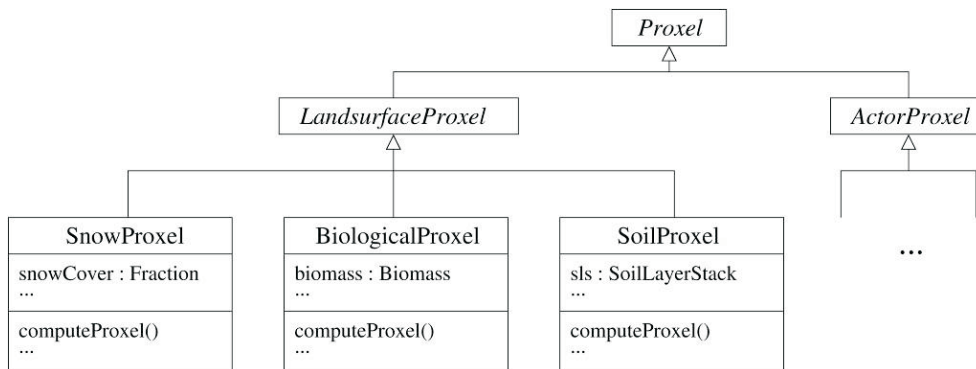


Abb. 9: Beispiel für die Proxel-Hierarchie.

Proxel haben einen Zustand, der durch die Werte der Proxel-Attribute definiert wird. Proxel werden unter Verwendung des Vererbungskonzepts in einer Hierarchie organisiert (Abb. 9), die mit der Komponenten-Struktur aus Abbildung 5 korrespondiert. Die abstrakte Basis-Klasse `Proxel` beschreibt dabei die gemeinsamen Merkmale aller Proxel-Spezialisierungen, wie beispielsweise die geographischen Koordinaten oder die Geländehöhe.

Wie weiter unten (Abschnitt 2.4.4) beschrieben, wird die Methode `compute()` eines Simulationsmodells aufgerufen um einen Simulationsschritt durchzuführen. Die Operation iteriert über alle Proxel innerhalb des aktuellen Simulationsgebiets und ruft dabei die Proxel-Operation `computeProxel()` auf, um den Zustand des jeweiligen Proxel zu ändern. Diese Operation muss in den konkreten Subklassen (z.B. in der Klasse `BiologicalProxel`) durch modellspezifische Berechnungsalgorithmen implementiert werden.

2.4.3 Integration von Komponenten und Raum

Der räumliche Aspekt hat einen starken Einfluss auf das in Abschnitt 2.3 eingeführte Komponentenkonzept. Einerseits findet die tatsächliche Berechnung in den Proxeln statt, die in Proxel-Tabellen organisiert sind. Andererseits werden räumliche Daten, die in Datentabellen organisiert sind, zwischen den Komponenten ausgetauscht. Abbildung 10 zeigt die Einbindung der räumlichen Aspekte am Beispiel des Simulationsmodells `Biological`. Die Rückgabetypen der Operationen in den Import- und Export-Schnittstellen wurden so modifiziert, dass jetzt ganze Datentabellen, d.h. räumliche Daten geliefert werden. Die importierten Tabellen, wie z.B. `ArableLandcoverCollectionTable` werden von `Biological` referenziert. Das gleiche gilt für die exportierten Datentabellen wie `BiomassTable`, die nach jedem Berechnungsschritt des Modells aktualisiert werden. Selbstverständlich hat jedes Modell auch eine Assoziation zu seiner Proxel-Tabelle, in diesem Fall zu `BiologicalProxelTable`, die wiederum aus `BiologicalProxel`-Objekten zusammengesetzt ist.

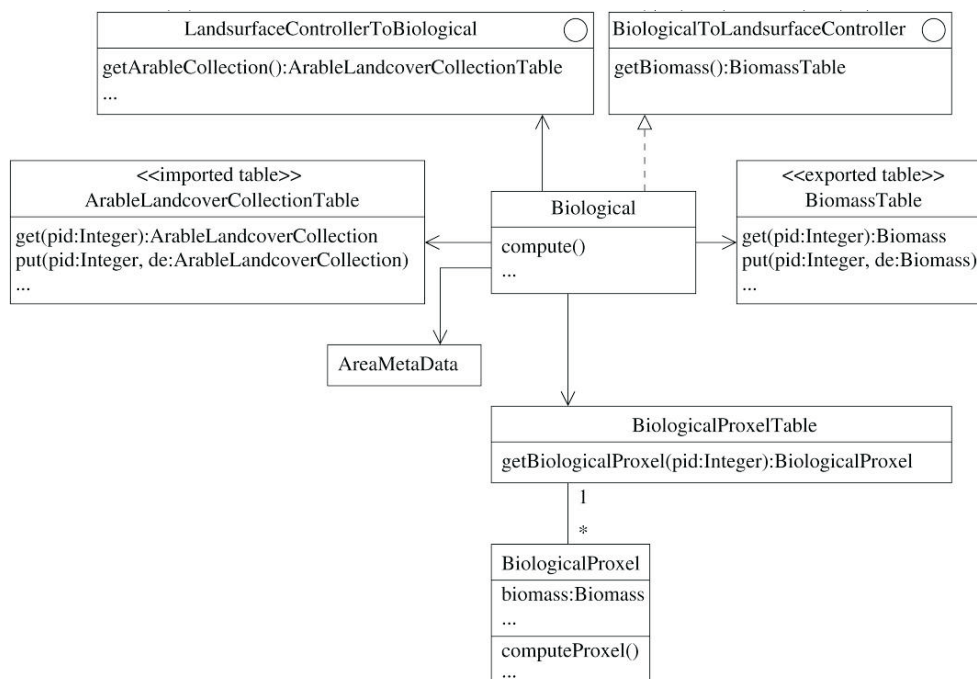


Abb. 10: Beispiel für die Integration von Komponenten und Raumkonzept.

2.4.4 Proxelweise Berechnung

In DANUBIA werden alle Berechnungen der Simulationsmodelle auf Proxelebene durchgeführt. Bei Aufruf der Operation `compute()` iteriert das Modell mit Hilfe der Proxel-Ta-

belle über alle relevanten Proxel und schickt diesen die Nachricht `computeProxel()`. Das Sequenzdiagramm in Abbildung 11 zeigt diesen Ablauf für das Modell `Biological`.

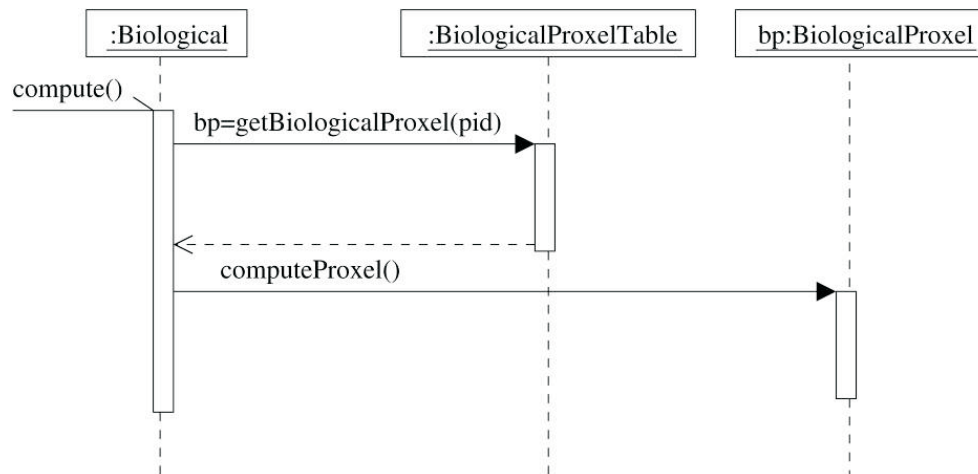


Abb. 11: Proxelweise Berechnung am Beispiel von `Biological`.

Die Nachricht `compute()`, die von einem globalen Timecontroller gesendet wird (vgl. Abschnitt 2.5), ist asynchron (notiert durch eine halbe Pfeilspitze), d.h. der Sender der Nachricht setzt seine Aktivitäten parallel zum Empfänger der Nachricht fort. Die Nachricht `getBiologicalProxel(pid)` ist synchron (angedeutet durch eine ausgefüllte Pfeilspitze) und liefert bei jedem Aufruf ein Proxel-Objekt `bp`.

2.4.5 Schnittstelle zur Datenbank

Bevor eine integrierte Simulation durchgeführt werden kann, müssen alle beteiligten Komponenten mit Daten aus der Datenbank initialisiert werden. Zunächst wird dem Modell eine Referenz auf die Datenbank übergeben. Danach erzeugt das Modell eine entsprechende Proxel-Tabelle, die wiederum Proxel für das gesamte Simulationsgebiet erzeugt. Im nächsten Schritt beginnt die eigentliche Kommunikation mit der Datenbank: die grundlegenden geographischen Proxel-Eigenschaften werden aus der Datenbank eingelesen und über die Proxel-Attribute verteilt. Dadurch wird der Zustand der Proxel initialisiert.

2.5 Zeit und Berechnung

In den vorangegangenen Abschnitten wurde erläutert, inwiefern Modelle einerseits Daten exportieren und andererseits die von anderen Modellen benötigten Daten importieren. Da sich diese Daten während der verteilten Berechnung i.a. ändern, darf ein Modell für die Dauer der eigenen Berechnung keine Daten exportieren. Andernfalls könnten Inkonsistenzen entstehen. Das Ändern bzw. Berechnen von Daten und das Exportieren der berechneten Daten sind zwei Operationen, die unter wechselseitigem Ausschluß erfolgen müssen. Ein Modell verwendet den größten Teil der CPU-Zeit mit der Berechnung neuer Daten. Falls die Menge exportierter Daten an einem separaten Platz gespeichert werden (Export-Tabellen) und die Berechnung neuer Daten auf einer lokalen Kopie dieser Tabellen erfolgt, können die Daten der Export-Tabellen während der Berechnung neuer Daten exportiert werden. Am Ende eines Berechnungsschrittes müssen die Export-Tabellen entsprechend der Werte der lokal veränderten Tabellen aktualisiert werden. Diese beiden Phasen, Berechnung und Aktualisierung alternieren in jedem Schritt.

2.5.1 Das Modellzeit-Konzept

Jeder Berechnungsschritt repräsentiert einen modellspezifischen Simulationszeitschritt (z.B. eine Stunde, ein Tag, ein Monat, etc.), im folgenden Modellzeit genannt. Die Modellzeit un-

terscheidet sich von der tatsächlichen CPU-Zeit, die ein Modell benötigt um neue Daten zu berechnen. Werden verschiedene Modelle zur Simulation eines gemeinsamen Zeitraumes integriert, dann muss die Ausführung dieser Modelle geeignet koordiniert werden.

Es wurde ein Timecontroller entwickelt und implementiert, der die zeitliche Reihenfolge der Berechnungen koordiniert und damit den Kern des DANUBIA-Systems darstellt. Die grundlegende Aufgabe des Timecontroller ist die Verwaltung des Simulationszeitraumes einer integrierten Simulation. Er koordiniert die zeitliche Ordnung in der die einzelnen Modelle Import-Daten abfragen, einen Berechnungsschritt durchführen und ihre Export-Tabellen aktualisieren.

Der Timecontroller muss den gesamten Simulationszeitraum verwalten sowie den wechselseitigen Ausschluß beim Lesen und Schreiben der Daten gewährleisten. Abbildung 12 zeigt die ko-ordinierende Stellung des Timecontroller bei der Synchronisation der einzelnen Modell-rechnungen. Die anfänglich alleinstehenden DANUBIA-Modelle werden durch den Time-controller in einem Kontrollfluss integriert.

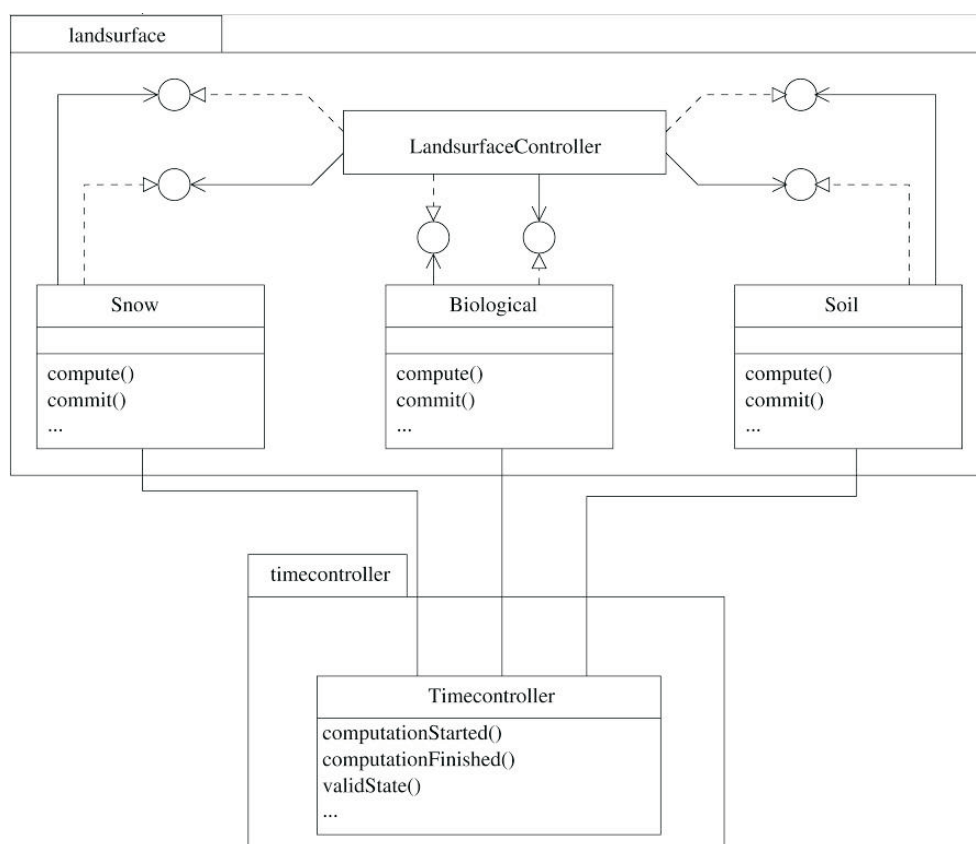


Abb. 12: Der Timecontroller koordiniert die Synchronisation einzelner Modellrechnungen.

2.5.2 Berechnungszyklus eines Simulationsmodells

Das UML-Zustandsdiagramm in Abbildung 13 zeigt die Zustände und Zustandsübergänge eines in DANUBIA integrierten Modells. Die Zustände `processInit`, `processGetData`, `processCompute` und `processCommit` repräsentieren Aktivitätszustände, d.h. das Modell ist in der Ausführung einer entsprechenden Operation aktiv. In den verbleibenden Zuständen `waitForCompute` und `waitForCommit` wartet das Modell auf Nachrichten vom Timecontroller. Die Zustandsübergänge sind mit Nachrichten annotiert, die ein Modell vom Timecontroller erhält (z.B. `compute()`) oder an den Timecontroller versendet (z.B. `/timeController.validState()`).

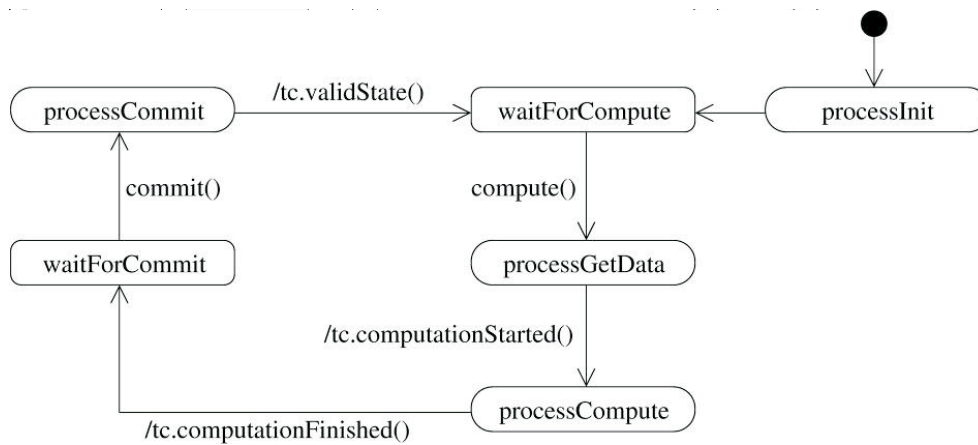


Abb. 13: Zustände eines Simulationsmodells.

Nach der Initialisierungsphase (u.a. initiale Belegung der jeweiligen Export-Tabellen) befindet sich ein Simulationsmodell im Wartezustand `waitForCompute()`. Sobald sichergestellt ist, dass die für einen Berechnungsschritt benötigten Import-Daten zur Verfügung stehen, sendet der Timecontroller die Nachricht `compute()`. Das Modell wechselt dann in den Aktivitätszustand `processGetData` um die entsprechenden Export-Daten anderer Modelle zu importieren. Der Timecontroller sendet nur dann die Nachricht `compute()`, falls garantiert ist, dass alle benötigten Daten für die gesamte Dauer der Import-Aktivität unverändert gültig sind. Dieser Aktivitätszustand bestimmt den ersten der beiden kritischen Bereiche im Datenfluss-Modell von DANUBIA. Sobald ein Modell alle benötigten Daten gelesen hat, benachrichtigt es den Timecontroller (`computationStarted`), wechselt in den Zustand `processCompute` und verläßt damit den kritischen Bereich.

Während der Aktivität `processCompute` berechnet ein Simulationsmodell neue Werte auf den lokalen Kopien seiner Export-Tabellen. Nach Abschluß der Berechnung sendet das Modell die Nachricht `computationFinished()` an den Timecontroller und wechselt in den Zustand `waitForCommit`. Das Modell verbleibt in diesem Zustand, bis es die Nachricht `commit()` vom Timecontroller erhält.

Sobald der Timecontroller sichergestellt hat, dass ein Modell die neu berechneten Werte auf die Export-Tabellen übertragen kann, d.h. kein anderes Modell mehr auf die im letzten Simulationsschritt berechneten Werte zugreifen muss, sendet er die Nachricht `commit()` und das Modell wechselt in den Zustand `processCommit`. Während dieser Aktivität aktualisiert das Modell die eigenen Export-Tabellen, wodurch der zweite kritische Bereich im Datenfluss-Modell von DANUBIA bestimmt wird. Der Timecontroller sendet nur dann die Nachricht `commit()`, falls garantiert ist, dass kein anderes Modell zur gleichen Zeit Daten aus diesen Export-Tabellen einliest. Hat ein Modell die Aktualisierung der Export-Tabellen abgeschlossen, sendet es die Nachricht `validState()` an den Timecontroller und wechselt in den stabilen Wartezustand `waitForCompute`, der den Beginn des nächsten Berechnungszyklus markiert.

2.6 System-Implementierung

Das DANUBIA-Gesamtsystem besteht aus dem DANUBIA-Framework und einer Menge von DANUBIA-Komponenten, die Modelle der verschiedenen Fachgruppen von GLOWA-Danube realisieren. Das DANUBIA-Framework stellt sowohl eine Arbeitsumgebung zur Entwicklung der Komponenten (Implementierungs-Framework) als auch eine Laufzeitumgebung zur Ausführung einer gekoppelten Simulation der Modelle zur Verfügung. Das Framework ist unabhängig von konkreten Komponentenausprägungen. Abbildung 14 zeigt die Struktur des Gesamtsystems. Die Bestandteile des Frameworks sind mit weißem Hintergrund dargestellt, die Komponenten befinden sich in dem Paket *components*. Inhalte der einzelnen Pakete sind in der Framework-Dokumentation (KRAUS und LUDWIG 2003) beschrieben.

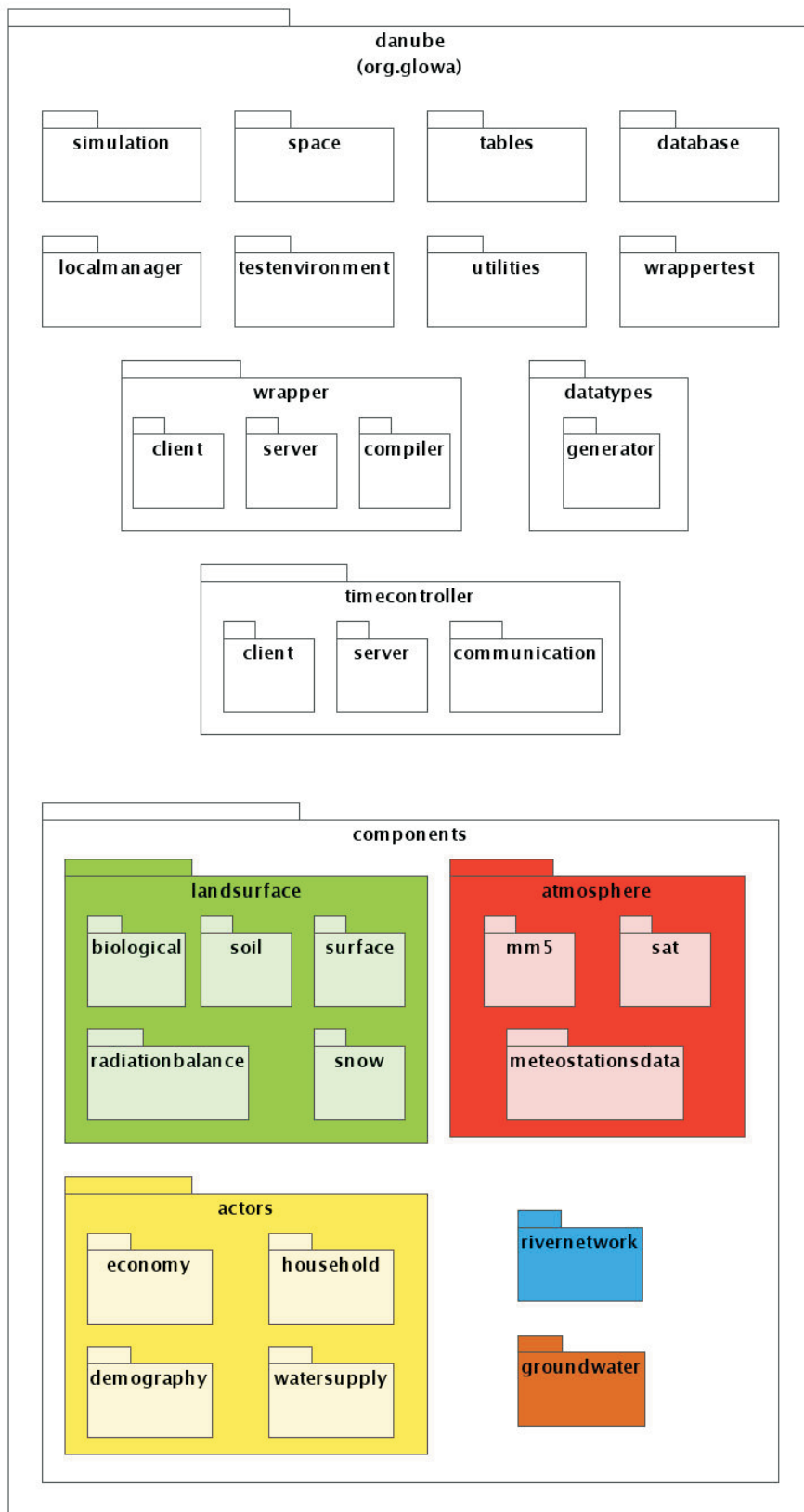


Abb. 14: Struktur des Danubia-Gesamtsystems.

Die Komponenten selbst sind nach den verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen strukturiert. Die Hauptkomponenten sind hierbei die sozioökonomische Komponente *actors* sowie die naturwissenschaftlichen Komponenten *Landsurface*, *Aatmosphere*, *RiverNetwork* und *Groundwater*. Wie in Abbildung 14 zu sehen ist, besitzen manche der Komponenten Unterpakete, die getrennt implementierte Aspekte der Komponente widerspiegeln.

2.6.1 Das DANUBIA-Framework

Das DANUBIA-Framework bildet die Grundlage für die Entwicklung und Ausführung von Komponenten und ihren Modellen in DANUBIA. Die technischen Details, die beispielsweise zur Abwicklung der Simulationssteuerung, der verteilten Kommunikation zwischen den Modellen oder der Kommunikation mit der Datenbank notwendig sind, werden durch das objektorientierte Framework vor dem Modell-Entwickler verborgen und transparent ausgeführt. Die dabei eingesetzten Grundprinzipien werden im folgenden beschrieben.

Vererbung. Das Framework enthält (abstrakte) Basisklassen, die Basiseigenschaften und Basisverhalten abkapseln. Der Modell-Entwickler leitet seine neue Klasse von einer Basis-Klasse ab und fügt eigene Eigenschaften und Verhalten durch das Überschreiben abstrakter Methoden hinzu. Als Beispiel hierfür sei die Basisklasse für Modelle *AbstractModel* genannt, die u.a. die Kommunikation mit dem Timecontroller abwickelt und vor dem Modell-Entwickler verbirgt. Der Entwickler eines fachspezifischen Modells muss die Klasse *AbstractModel* geeignet erweitern (vgl. Abschnitt 2.6.2).

Schnittstellen. An vielen Stellen erfolgt die Kommunikation zwischen Objekten ausschließlich über Schnittstellen, die im Framework enthalten sind, z.B. die Schnittstellen zur Kommunikation mit der Datenbank. Dadurch kann die Implementierung der Schnittstellen flexibel (teilweise auch dynamisch) ausgetauscht werden. So ist ein Modell beispielsweise sowohl in einer lokalen Umgebung zum Testen als auch im Netzwerk lauffähig, ohne dass an der Modellimplementierung etwas geändert werden muss.

Code-Generierung. Bestimmte Entwicklungsaufgaben sind automatisierbar, dazu sind im Framework Code-Generatoren enthalten. So wird z. B. für die verteilte Kommunikationen zwischen Modellen der benötigte Zwischencode, der Methodenaufrufe der Importschnittstellen der Modelle transparent in Netzwerkmethodenaufrufe umgesetzt, automatisch generiert (vgl. Abschnitt 2.6.4).

Der nachfolgende Abschnitt erläutert zwei grundlegende Szenarien bei der Verwendung des Implementierungs-Frameworks. Die anschließend folgenden Abschnitte 2.6.3 bis 2.6.5 beschreiben die wesentlichen Framework-Elemente der Laufzeitumgebung.

2.6.2 Implementierungs-Framework

Das Implementierungs-Framework besteht aus denjenigen Teilen des DANUBIA-Frameworks, die zur Entwicklung eines Simulationsmodells verwendet werden. Im speziellen handelt es sich um Klassen und Schnittstellen aus den Paketen *simulation*, *space*, *tables* und *datatypes* (vgl. Abb. 14). Im folgenden wird beschrieben, wie die Implementierung eines Simulationsmodells sowie die Modellierung von Datentypen unterstützt wird.

Entwicklung eines Simulationsmodells

Die abstrakte Klasse *AbstractModel* im Paket *simulation* (Abb. 14) stellt ein Grundgerüst zur Modellentwicklung zur Verfügung. Der Modell-Entwickler definiert das zu entwickelnde Modell als Ableitung dieser Klasse, und erbt damit einerseits die abstrakten Operationen *processCommit()*, *processCompute()* und *processGetData()* zur Implementierung der modellspezifischen Berechnungen und andererseits die bereits implementierten Operationen *commit()* und *compute()* zur Kommunikation mit dem Timecontroller. Auf diese Weise wird die Kommunikation mit dem Timecontroller von der konkreten Modell-Implementierung abgekapselt. Abbildung 15 zeigt die Vererbungsbeziehung zwischen *AbstractModel* und einem neu zu implementierenden Modell. Das zu entwickelnde neue Modell wird von der Framework-Klasse *AbstractModel* abgeleitet. Die kursiv gedruckten Operationen sind abstrakt und müssen vom Modell-Entwickler implementiert werden.

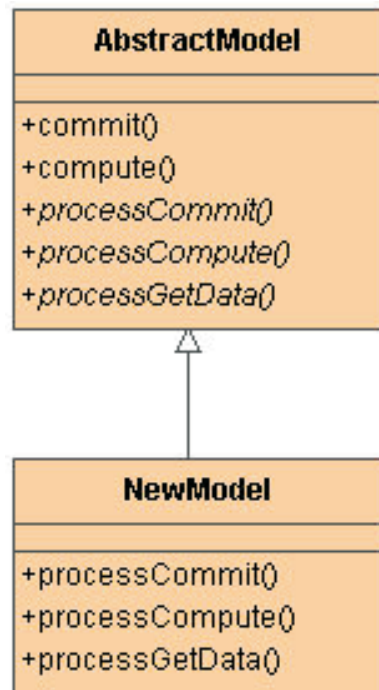


Abb. 15: Realisierung eines neuen Modells durch Ableitung von AbstractModel.

Die Operationen `commit()` und `compute()` werden asynchron aufgerufen. Bei der Abarbeitung dieser Operationen werden die vom Modell-Entwickler zu implementierenden Methoden synchron aufgerufen. Sie führen dann die in den korrespondierenden Aktivitätszuständen von Abbildung 13 genannten Tätigkeiten durch:

- `processGetData()`: Importieren von Daten anderer Modelle über die Import-Schnittstellen.
- `processCompute()`: Berechnung des eigenen Zustands für den nächsten Zeitschritt aus den importierten Daten und dem Zustand des letzten Zeitschritts.
- `processCommit()`: Bereitstellen des berechneten Zustands für den nächsten Zeitschritt auf den Export-Schnittstellen.

Neben der Kommunikation mit dem Timecontroller stellt das Basismodell u.a. folgende Funktionalitäten zur Verfügung:

- Identifikation des Modells.
- Parallel zum Berechnungszyklus laufende Visualisierung berechneter Werte.
- Statistische Aufzeichnungen über die Verweildauer in den einzelnen Modellzuständen „Netzwerkcommunication“, „Berechnung“ und „Inaktivität“ zur Auffindung von Überlastungsproblemen bzgl. Netzwerk- und Rechenkapazitäten.
- Recovery (vgl. Abschnitt 2.7).
- Speichern von Ergebnisdaten.
- Protokollierung von Aktivitäten (Logging).

Modellierung von Datentypen

Zur Datentypmodellierung stellt das Framework Basisdatentypen in Form von UML-Diagrammen (Abb. 16) sowie die entsprechenden Java-Klassen zur Verfügung.

Die Modellierung durch den Entwickler erfolgt dann entweder auf UML-Ebene mit dem CASE-Tool MagicDraw oder auf Java-Ebene mit einem beliebigen Text-Editor. Im ersten Fall können Java-Klassen aus dem vom Entwickler erstellten UML-Modell generiert wer-

den. Die resultierenden Java-Klassen werden von den Generatoren des Frameworks automatisch in eine effiziente und robuste Implementierung übersetzt. Unter anderem erfolgt hierbei die Generierung von

- Zugriffsoperationen für alle Attribute (Getter/Setter),
- zugehörigen Implementierungen von Datentabellen,
- Objekt-Serialisierungen/-Deserialisierungen für die Übertragung über das Netzwerk.

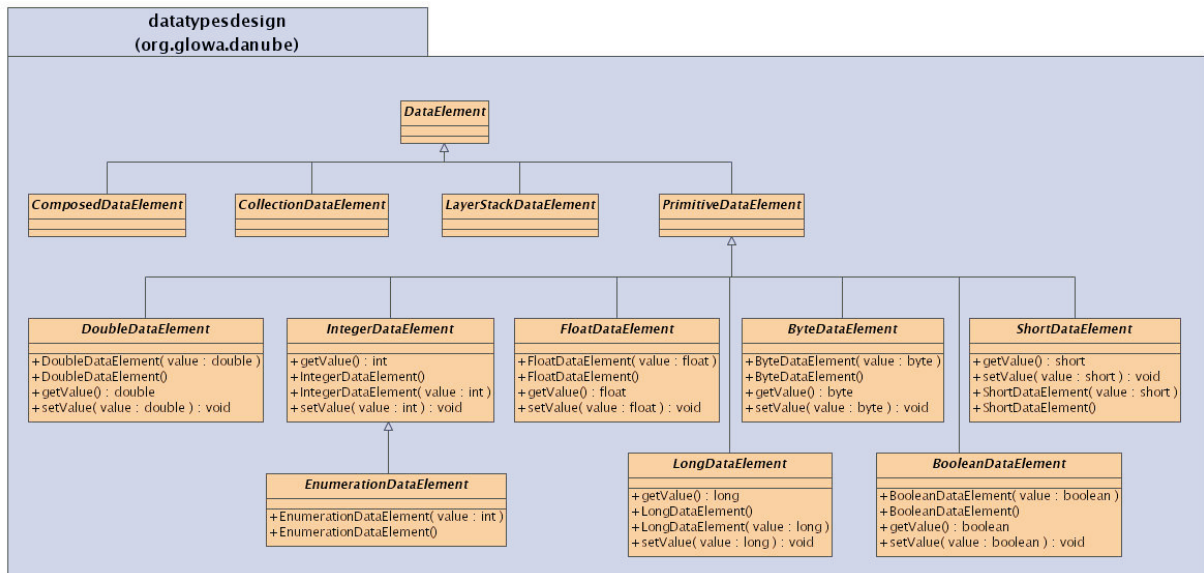


Abb. 16: Struktur der Basisdatentypen.

Neue Datentypen werden durch Vererbung modelliert. Abbildung 18 zeigt die Modellierung eines einfachen Datentyps `EnergyFluxDensity` sowie eines zusammengesetzten Datentyps `IncomingRadiation`. Dabei sind Konventionen zu berücksichtigen, deren Einhaltung von den weiterverarbeitenden Generatoren überprüft wird. Beispielsweise wird bei der Modellierung des Collection-Datentyps `LandcoverCollection` (vgl. Abb. 18) die Existenz des verwendeten Typs `LandcoverType` gefordert.

Ausgehend von den Java-Klassen zu den in Abbildung 17 dargestellten Datentypen, erzeugt der entsprechende Datentyp-Generator Implementierungsklassen wie in Abbildung 19 und ergänzt die Design-Klassen beispielsweise um Get/Set-Methoden (`getSWDiffuse`, `setSWDiffuse`, etc.) oder um Methoden zur Serialisierung/Deserialisierung (`readObject`, `writeObject`) für die Übertragung der Objekte über das Netzwerk.

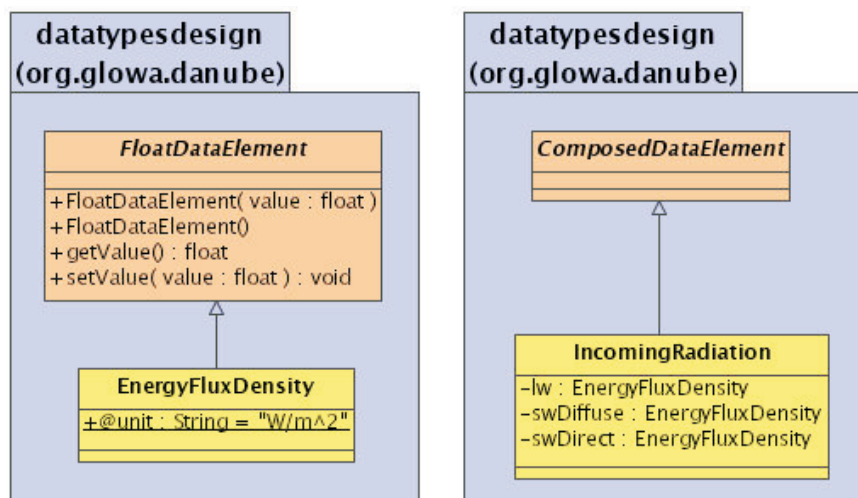


Abb. 17: Beispiele zur Datentyp-Modellierung.

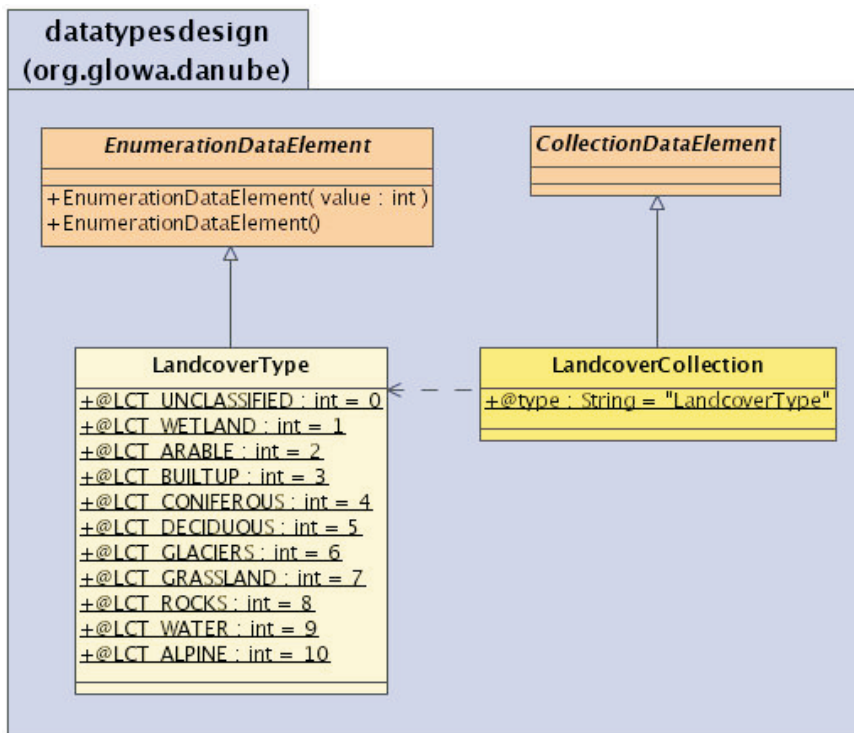


Abb. 18: Konventionen bei der Modellierung von Datentypen.

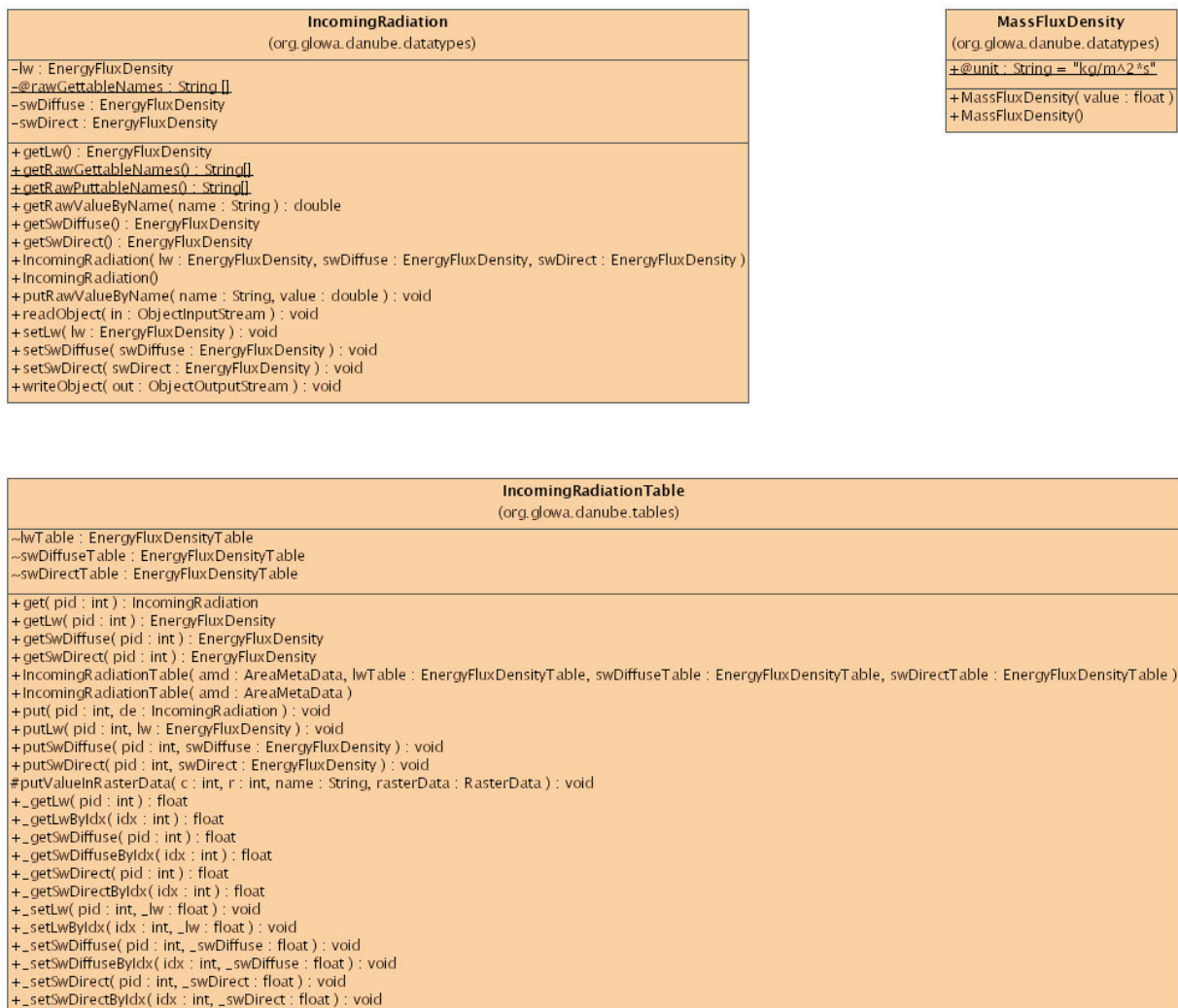


Abb. 19: Generierte Implementierungs-Datentypen und Datentabellen.

2.6.3 Verwaltungs- und Steuerungs-Komponenten

Da sowohl CPU- als auch Speicher-Kapazitäten eines einzelnen Rechners nicht ausreichen, um ein komplexes System wie DANUBIA zu betreiben, wurde ein verteiltes System entworfen und implementiert. DANUBIA arbeitet also verteilt auf mehreren Rechnern, die über ein Netzwerk miteinander verbunden sind.

Zur Realisierung der Netzwerkkommunikation wurde die Java-Technologie RMI (Remote Method Invocation) eingesetzt, da das gesamte System, einschließlich der einzelnen Simulationsmodelle, in Java implementiert ist. Diejenigen Modelle, für die bereits eine Implementierung in einer anderen Programmiersprache existierte, wurden entweder mit einem Java-Hülle umgeben oder in Java reimplementiert. RMI wurde sowohl für die Verbindung zwischen Verwaltungskomponenten als auch für die Datenverbindung zwischen verschiedenen Simulationsmodellen verwendet.

Statische Struktur der Verwaltungskomponenten

Jede Netzwerkkommunikation ist durch Schnittstellen definiert. Abbildung 20 zeigt die einzelnen Komponenten mit ihren Schnittstellen und den wichtigsten Operationen. Die gestrichelte Linie deutet eine Netzwerkgrenze an.

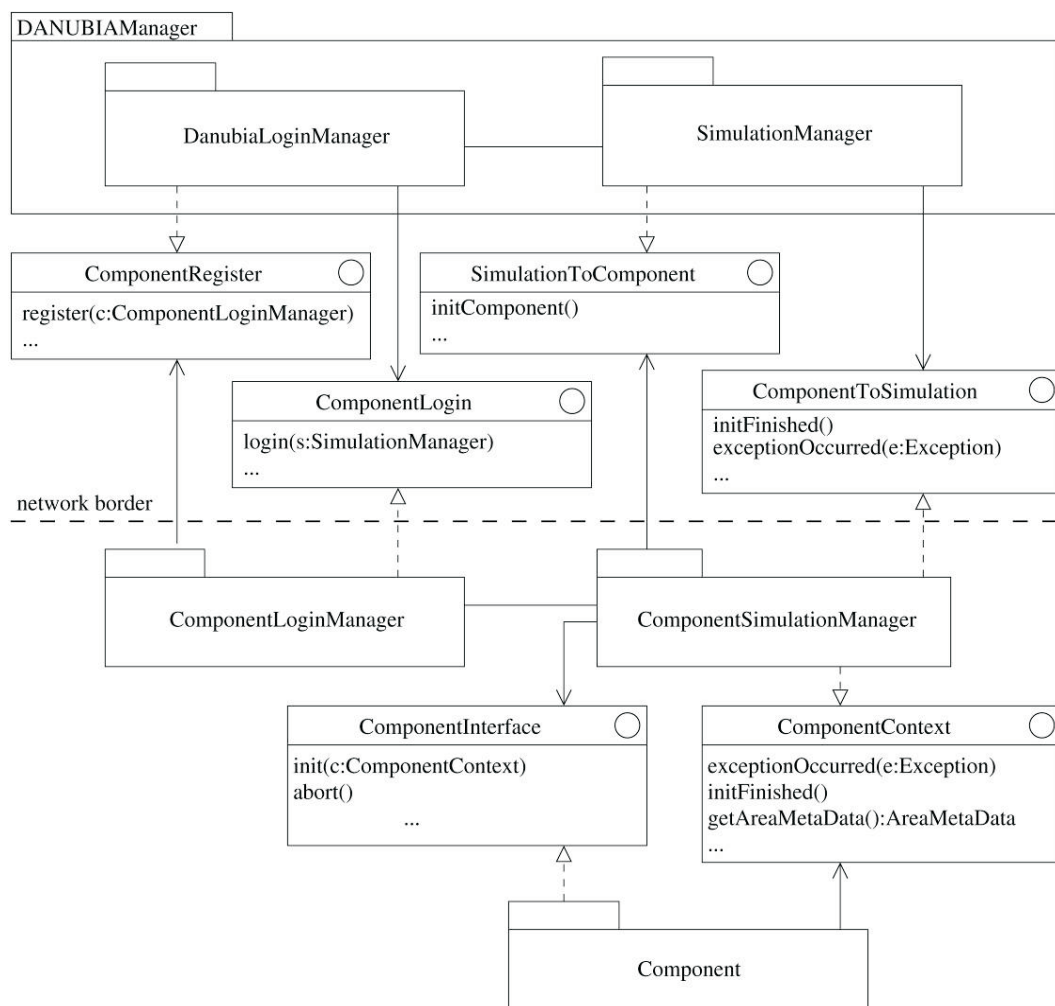


Abb. 20: Verwaltungskomponenten.

Die Komponente DANUBIAManager wird verwendet um das gesamte System zu starten. Beim Systemstart wird ein Registrierungsserver für die verschiedenen Simulationskomponenten und ein Registrierungsserver für den globalen Timecontroller aktiviert.

Nach Aktivierung der Registrierungsserver kann ein Komponenten-Administrator eine Komponente durch Aktivierung des `ComponentLoginManager` starten. Diese Verwaltungskomponente registriert als erstes die Simulationskomponente beim `DANUBIAManager` und wartet anschließend auf den Start der Modellsimulation.

Der `SimulationManager` ist verantwortlich für die Kontrolle einer laufenden Simulation. Alle relevanten Informationen wie z.B. Simulationszeitraum, Simulationsgebiet, beteiligte Modelle, etc. werden hier gespeichert. Er entscheidet außerdem über die korrekte Zuordnung der verteilten Import-Schnittstellen zu den entsprechenden Export-Schnittstellen der Modelle.

Schließlich bietet der `ComponentSimulationManager` lokale Kontrollmöglichkeiten auf dem Hostrechner der jeweiligen Simulationskomponente. Zu den hauptsächlichen Aufgaben dieser Verwaltungskomponente gehört die Aktivierung der Modell-Initialisierung, die Einrichtung der Verbindung des Modells mit dem globalen Timecontroller und die Benachrichtigung des globalen `SimulationManager` über Fehler und Ausnahmesituationen innerhalb des Modells.

Die Simulationskomponente selbst ist durch die Schnittstellen `ComponentContext` und `ComponentInterface` mit dem `SimulationComponentManager` verbunden. Die Verbindung zu anderen Simulationskomponenten wird in Abschnitt 2.6.4 beschrieben.

Ablaufstruktur der Systemsteuerung

Im folgenden werden die Interaktionen zwischen den verschiedenen DANUBIA Komponenten vom Systemstart bis zum Start der verteilten Simulation beschrieben. Die Ausführung eines einzelnen Simulationsmodells während eines integrierten Simulationslaufs wurde bereits in Abschnitt 2.5.1 erläutert.

Das System wird durch Aktivierung des globalen `DANUBIALoginManager` (s.o.) gestartet. Anschließend starten die Komponenten-Administratoren den `ComponentLoginManager` ihrer Komponenten. Letzterer meldet dann die jeweilige Komponente beim `DANUBIALoginManager` an. Abbildung 21 beschreibt diesen Ablauf durch ein UML-Sequenzdiagramm.

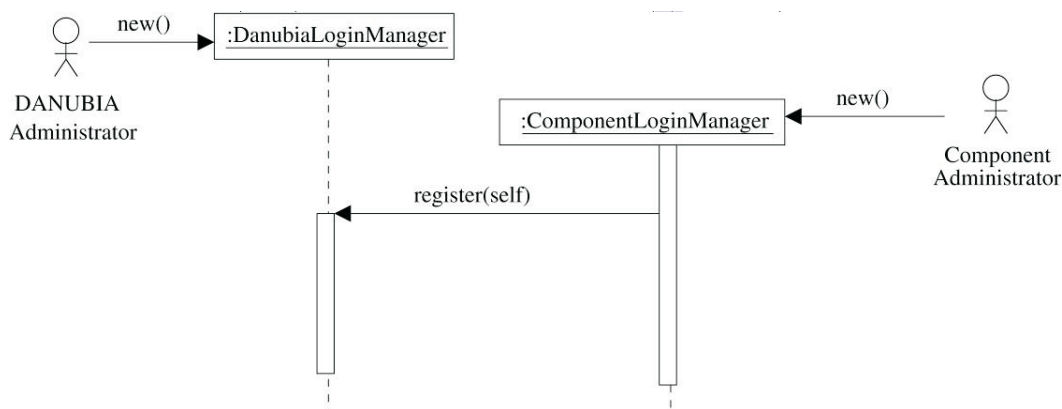


Abb. 21: Start des DANUBIA Systems.

Komplexer gestaltet sich der Start der verteilten Simulation. Ein DANUBIA-Benutzer greift auf den `SimulationManager` (SM) zu, der wiederum den `DANUBIALoginManager` (DLM) instruiert, alle beteiligten `ComponentLoginManager` (CLM) zu benachrichtigen. Ein `ComponentLoginManager` erzeugt dann (asynchron) ein neues `ComponentSimulationManager` (CSM) Objekt und gibt dieses Objekt an den `SimulationManager` zurück. Der `ComponentSimulationManager` erzeugt eine neue Instanz der von ihm verwalteten Komponente `Component` (C). Abbildung 22 zeigt den eben beschriebenen Ablauf. Die Diagramme verwenden die in Klammern angegebenen Abkürzungen als Typbezeichner.

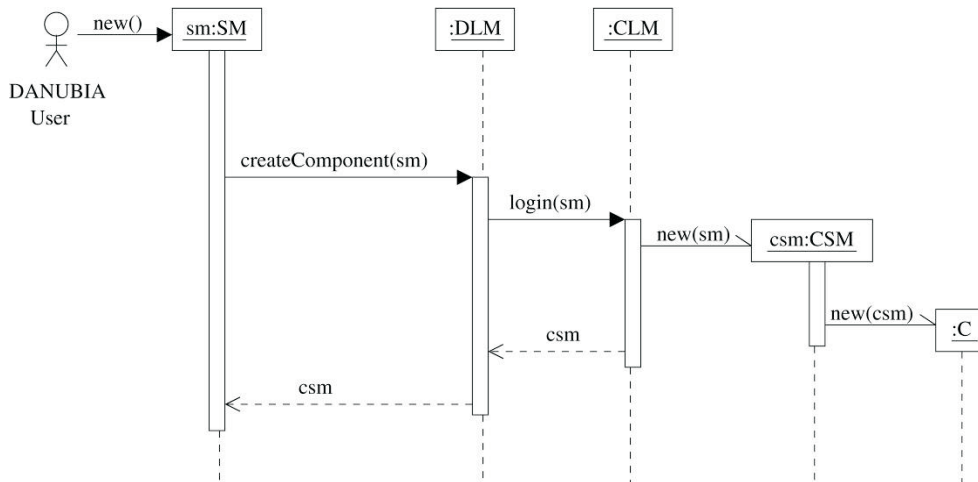


Abb. 22: Startphase einer Simulation.

Sobald alle Simulationskomponenten auf diese Weise erzeugt wurden, veranlasst der `SimulationManager` die Initialisierung der Komponenten. Dabei wird von jeder Komponente eine Verbindung zur globalen DANUBIA-Datenbank hergestellt. Die Datenbank liefert globale Initialisierungsdaten, so dass eine konsistente Initialisierung der verschiedenen Modelle gewährleistet ist. Initialisierungsdaten, die nur einzelne Modelle betreffen, werden jeweils lokal gehalten. In der Initialisierungsphase werden zudem die Datenverbindungen zwischen Modellen durch die Netzwerkwrapper etabliert (vgl. Abschnitt 2.6.4). Nachdem der globale `SimulationManager` überprüft hat, dass der Initialisierungsvorgang aller Simulationsmodelle abgeschlossen ist, ruft er den globalen `Timecontroller` auf, um die Simulation zu starten. Abbildung 23 beschreibt diesen Ablauf.

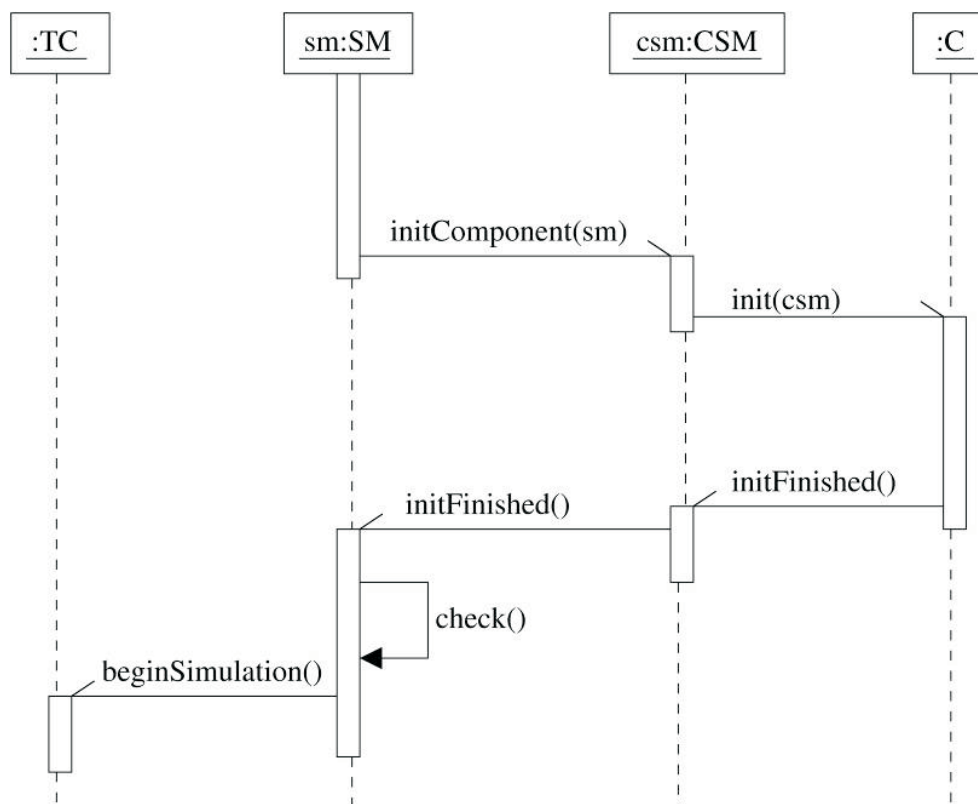


Abb. 23: Initialisierung der Komponenten.

2.6.4 Netzwerkkommunikation

Simulationskomponenten die Daten miteinander austauschen, befinden sich i.A. auf verschiedenen Rechnern. Aus diesem Grund ist es erforderlich eine Netzwerkverbindung zwischen diesen Rechnern herzustellen und die Komponenten mit der erforderlichen Netzwerkfunktionalität auszustatten.

Um die Implementierung der Netzwerkfunktionalität von der Implementierung des Simulationsmodells zu entkoppeln wurden sogenannte Netzwerkwrapper entwickelt (ALBERT 2003). Diese Wrapper werden durch Proxy-Objekte, als Stellvertreter für die jeweilige Remote-Simulationskomponente, instantiiert. Damit erscheint das gesamte verteilte System aus Sicht einer Simulationskomponente als lokales System. Abbildung 24 zeigt diese Situation am Beispiel der Kommunikation des Modells `Biological` mit dem Controller der `Landsurface`-Komponente.

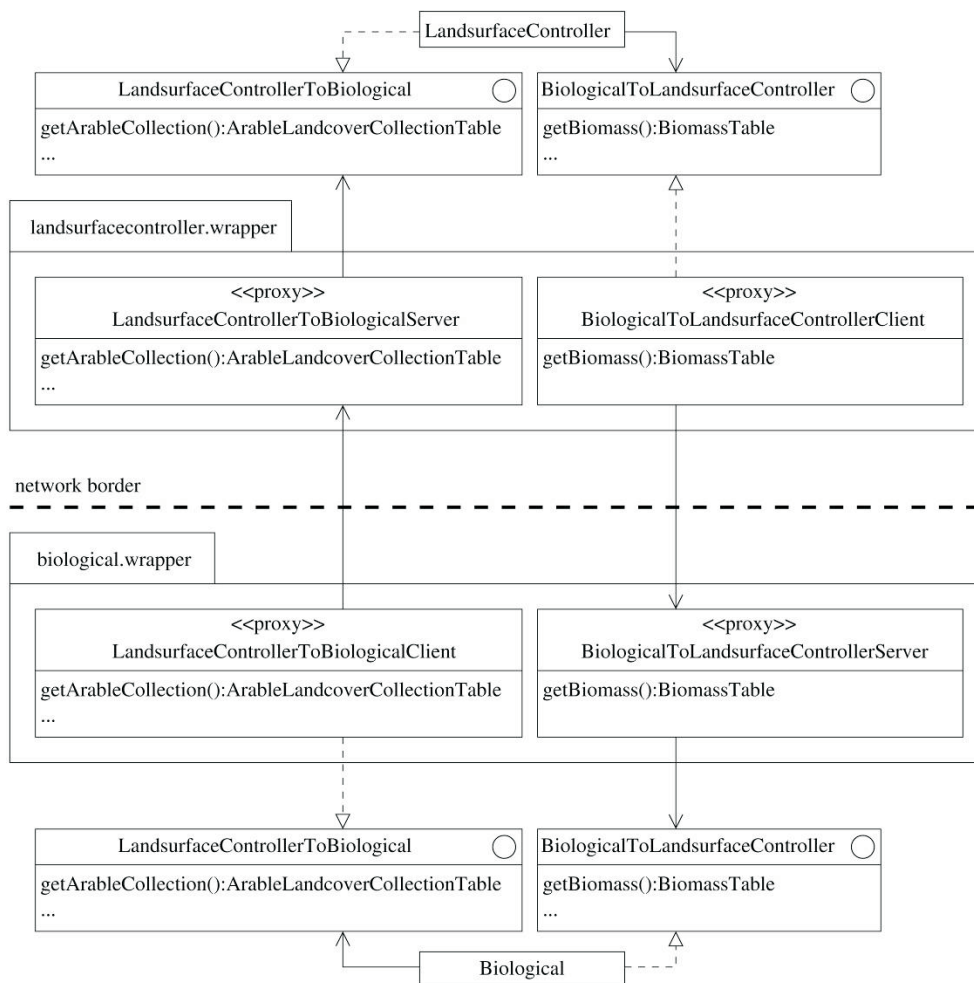


Abb. 24: Netzwerkwrapper am Beispiel des Modells `Biological`.

Da die Proxy-Objekte von den jeweiligen Import- und Export-Schnittstellen einer Komponente abhängen, benötigt jede Komponente individuelle Proxy-Objekte. Die Proxies werden auf Basis der jeweiligen Schnittstellen automatisch generiert.

Ein Netzwerkwrapper ist mit dem `ComponentSimulationManager` verbunden. Netzwerkfehler werden über diesen Weg an den globalen `SimulationManager` weitergeleitet. Zudem implementiert der Wrapper Strategien zur Wiederherstellung unterbrochener Netzwerkverbindungen sowie einen Caching-Mechanismus zur Reduzierung der über das Netzwerk ausgetauschten Datenmengen.

2.6.5 Implementierung des Timecontroller

Die Entwicklung und Implementierung des Timecontroller erfolgte in einem eigenen Software-Entwicklungszyklus, bestehend aus Analyse, Design, Implementierung und Test (SCHMIDT 2002). Der Quellcode umfasst etwa 5600 Zeilen. Die Verteilung der Simulationsmodelle wurde wieder unter Verwendung der Java-Technologie RMI realisiert. Im folgenden werden einige Aspekte der Timecontroller-Implementierung beschrieben.

Die Verantwortlichkeiten der Simulationsmodelle und des Timecontroller wurden in Schnittstellen gruppiert. Abbildung 25 zeigt ein UML-Klassendiagramm mit der Schnittstelle `TModelAccess` eines Simulationsmodells und der Schnittstelle `TConfirmation` des Timecontroller. Die Nachrichten an den Zustandsübergängen im Berechnungszyklus eines Modells (vgl. Abb. 13) entsprechen den Namen der in den Schnittstellen deklarierten Methoden.

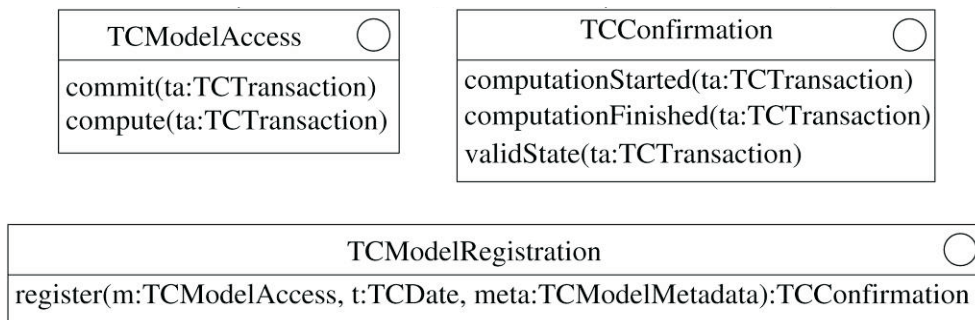


Abb. 25: Schnittstellen beschreiben das Protokoll.

Die Schnittstelle `TModelRegistration` wird vom Timecontroller implementiert, um die initiale Registrierung der für einen Simulationslauf zu integrierenden Modelle zu ermöglichen. Die Operation `register` registriert ein Simulationsmodell beim Timecontroller als Objekt vom Typ `TModelAccess` und liefert dem Simulationsmodell ein Objekt vom Typ `TConfirmation`. Die zusätzlichen Parameter enthalten unter anderem Informationen über die Modellzeit sowie die relative Dauer eines Zeitschritts.

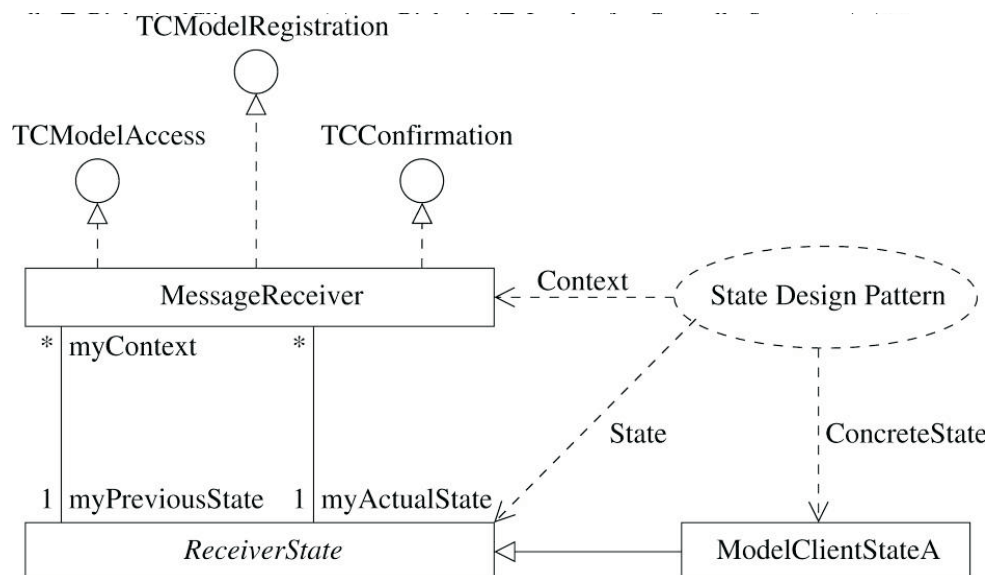


Abb. 26: Verwendung von Design Pattern (State Pattern).

Die Zustände im Berechnungszyklus eines Modells (Abb. 13) wurden mit Hilfe des State-Pattern (GAMMA et al. 1995) auf das Implementierungsmodell abgebildet. Abbildung 26 zeigt das Prinzip der Implementierung. Die Klasse `MessageReceiver` implementiert

die Timecontroller-Schnittstellen und verwaltet den `ReceiverState`. Die exemplarische Klasse `ModelClientStateA` wird durch konkrete Implementierung der Zustände aus Abbildung 13 ersetzt.

Die Implementierung des Timecontroller zeigte von Beginn an eine ausgezeichnete Performanz und konnte aufgrund der kleinen Menge von Schnittstellen, die alle Protokolle und Kommunikationsaufgaben kapseln, auf einfache Art und Weise mit den Simulationsmodellen integriert werden.

2.6.6 Performanz-Verbesserungen

Dieser Abschnitt beschreibt die Arbeiten, die zur Performanzsteigerung verteilter Simulationsrechnungen durchgeführt wurden. Auf Hardwareebene wurde durch verschiedene Tests eine hinsichtlich Performanz optimale Konfiguration des Rechner-Clusters ermittelt. Diese Konfiguration schließt insbesondere die Verteilung der in DANUBIA beteiligten Modelle auf die einzelnen Knoten des Rechnerclusters ein. Auf Softwareebene konnten Performanzverbesserungen durch Zwischenspeicherung von Daten (Caching) und Bündelung von Modellen auf einem Rechnerknoten (Nodebundling) erreicht werden. Zudem wurden spezielle Klassen zur parallelen Ausführung von Berechnungen über Proxeltabellen implementiert. Die Maßnahmen zur Performanzverbesserung auf Softwareebene werden im folgenden erläutert.

Zwischenspeicherung von Daten (Caching)

DANUBIA-Modelle fordern während einer integrierten Simulation zu jedem Zeittakt Daten anderer Modelle über ihre Import-Schnittstellen an. Rechnet das importierende Modell in einem dichteren Zeittakt, als das exportierende Modell würden innerhalb eines Zeittakts des exportierenden Modells wiederholt unveränderte Daten abgefragt werden. Von daher liegt es nahe, die importierten Daten lokal zwischenzuspeichern und sie nur dann neu anzufordern, wenn sie verändert wurden.

Der benötigte Caching-Mechanismus wurde realisiert, indem bei Datenanfragen zusätzlich ein Zeitstempel der aktuell zwischengespeicherten Daten übergeben wird. Dies erfolgt für die Modell-Entwickler transparent in den jeweiligen Wrapper-Komponenten, d.h. zur Integration des Caching-Mechanismus ist keine Änderung des Quellcodes einzelner Modelle erforderlich. Der Zeitstempel ist ein Objekt der in DANUBIA zur Beschreibung von Zeitpunkten verwendeten Klasse `DANUBIACalendar`.

Die für das Caching zuständigen Wrapper-Komponenten sind der `ComponentClient` auf der Seite des anfragenden Modells, und der `ComponentServer` auf Serverseite. Die Klasse `ComponentClient` wurde so erweitert, dass für jede der möglichen Anfrageoperationen ein Datensatz zwischengespeichert werden kann. Die Klasse `DataTransaction`, die zur Identifikation einer Datenanfrage verwendet wird, wurde um einen Zeitstempel erweitert, der den aktuellen Zustand des Zwischenspeichers repräsentiert.

Erhält der entsprechende `ComponentServer` eine Datenanfrage mit Zeitstempel, dann fragt er bei seiner lokalen Datenquelle die geforderten Daten ebenfalls mit Zeitstempel an. Der Zeitstempel für Modelle wird vom Modell selbst (Methode `getValidDataTime()` in `AbstractModel`) und für Controller vom entsprechenden `ControllerAdapter` geliefert. Die besondere Behandlung von Controllern ist erforderlich, da Controller in DANUBIA zustandslos sind und daher der erforderliche Zeitstempel nicht vom Controller selbst verwaltet werden kann.

Durch einen Vergleich der vorliegenden Zeitstempel kann ein Objekt der Klasse `ComponentServer` entscheiden, ob bereits neue Daten produziert wurden. Ist das der Fall, dann werden die entsprechenden Daten an das anfragende Modell weitergegeben, ansonsten wird lediglich eine Benachrichtigung übermittelt, dass noch keine neueren Daten vorhan-

den sind. Zur Übermittlung werden die Daten in ein Objekt der Klasse `DANUBIATransactionData` gekapselt, die zusätzlich zu den Daten auch den Zeitstempel enthält.

Das Sequenzdiagramm in Abbildung 27 zeigt beispielhaft eine Datenanfrage eines Modells B bei einem Modell A mit Caching. Für den Fall, dass der Zeitstempel des Caches (`cts`) nicht älter ist als der aktuelle Zeitstempel (`ts`), wird in Schritt 8 an Stelle des `DANUBIATransactionData`-Objekts eine entsprechende Benachrichtigung übergeben. Schritt 9 entfällt dann und der Rückgabewert der ursprünglich aufrufenden Methode (Schritt 1) wird aus dem Cache entnommen.

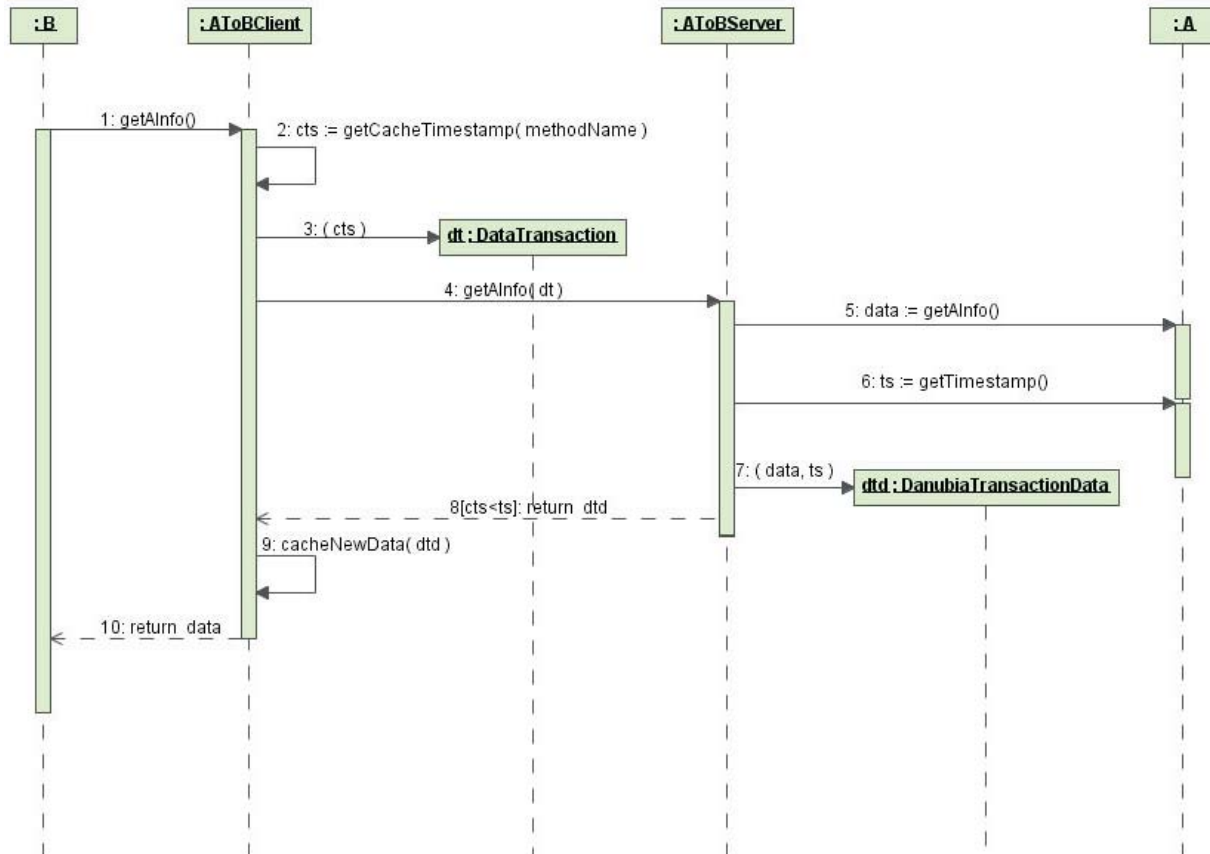


Abb. 27: Datenanfrage über die Netzwerkwrapper mit Caching.

Durch den Caching-Mechanismus wird ein wesentlich geringerer Datentransfer bei der Kommunikation von verteilt arbeitenden Modellen erreicht.

Bündelung von Modellen auf einem Rechnerknoten (Nodebundling)

Die Verteilung des DANUBIA -Systems sah ursprünglich vor, jede Komponente (Modell oder Controller) auf je einem Rechner auszuführen. Durch einen Wrapper wurde die Verteilungsarchitektur für die Komponenten transparent gehalten. Die Anschaffung leistungsfähigerer Rechner ermöglichte es allerdings, mehrere Komponenten auf einem Rechner zu bündeln. Damit entfällt zwischen diesen Komponenten der zeitraubende Datenverkehr über das Netzwerk. Da bei der herkömmlichen Architektur zur Transferierung der Datentabellen weiterhin deren Serialisierung und anschließende Deserialisierung notwendig ist, und die dafür benötigte Zeit bei der zu transferierenden Datenmenge nicht vernachlässigbar ist, musste eine Möglichkeit geschaffen werden, die Komponenten nicht nur auf einem Rechner, sondern sogar in einem Prozess (in einer JVM, Java Virtual Machine) zu bündeln.

Zur Realisierung des Nodebundling mussten einige neue Verwaltungskomponenten auf Komponentenseite eingeführt werden. Die wichtigsten dieser Verwaltungskomponenten sind der `NodeLoginServer` und der `LocalDistributionManager`. Der `NodeLogin-`

Server startet die jeweiligen `ComponentLoginServer` für die zu bündelnden Komponenten. Der `LocalDistributionManager` sorgt für die lokale Zuordnung von Import- und Exportschnittstellen. Zusätzlich waren Änderungen an den bisherigen zentralen Steuerungskomponenten, insbesondere am `DistributionManager` notwendig. Alle diese Maßnahmen betreffen nur die Wrapper-Komponenten und bleiben so für die eigentlichen Komponenten transparent.

Der gemessene maximale Performanzgewinn durch Caching und Nodebundeling beträgt (bei optimaler Konfiguration der Rechner im Cluster) etwa 4 Sekunden pro Modellzeitstunde.

Proxelliteratoren

Die Berechnung eines Modellzeitschritts geschieht in DANUBIA proxelweise indem jedem einzelnen Proxel die Nachricht geschickt wird, seinen Zustand durch Neuberechnung zu ändern. Typischerweise erfolgen die entsprechenden Operationsaufrufe innerhalb einer sequentiellen Iteration über alle Proxel des aktuellen Simulationsgebiets.

Spielt die Reihenfolge der Proxelberechnungen keine Rolle, dann kann die sequentielle Berechnung durch eine (teilweise) parallelisierte Berechnung ersetzt werden. Dadurch wird die Leistungsfähigkeit der Hardware besser ausgenutzt und die Berechnungszeit verkürzt.

Die in den Modellen übliche Schleife zur sequentiellen Iteration über alle relevanten Proxel kann durch einen so genannten Proxelliterator ersetzt werden. Proxelliteratoren wurden in verschiedenen Ausprägungen implementiert (vgl. Abb. 28). Ein `SequentialProxelIterator` führt eine sequentielle Berechnung, analog zur klassischen Programmschleife durch. Ein `MultiThreadedProxelIterator` implementiert die eben erwähnte parallelisierte Berechnung über eine Proxel-Tabelle. Die Klasse `RemoteAndMultiThreadedProxelIterator` bietet schließlich zudem die Möglichkeit, parallele Berechnungen von Proxeln über das Netzwerk verteilt durchzuführen. Diese Technik wird in DANUBIA allerdings noch nicht eingesetzt.

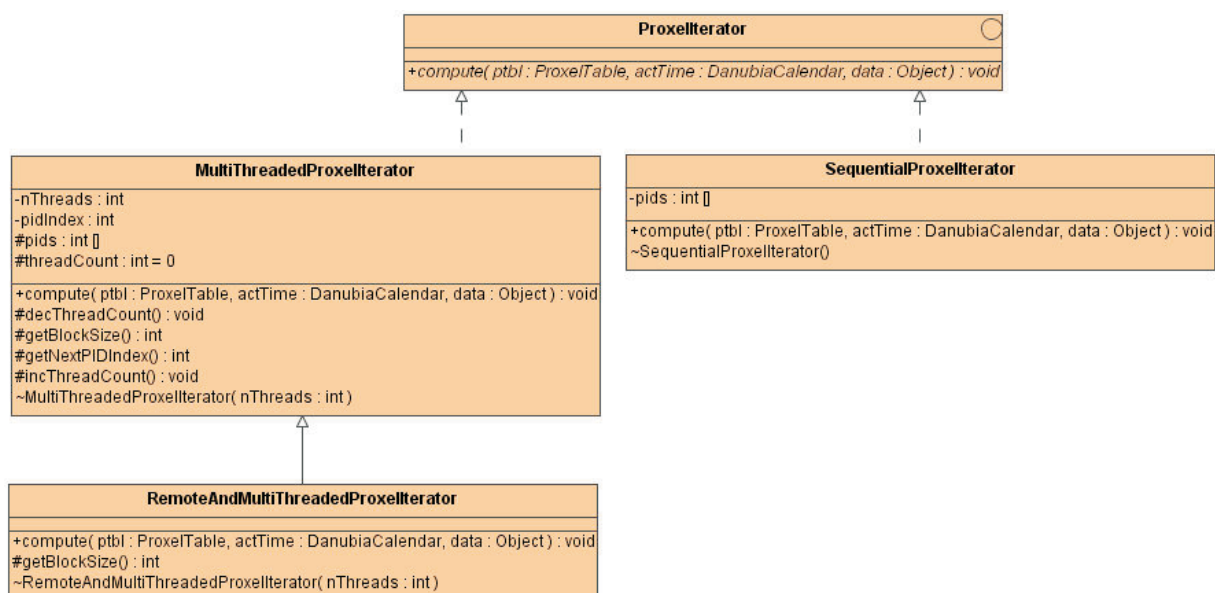


Abb. 28: Hierarchie der Proxelliteratoren.

2.7 Recovery

Zum Ende der ersten Projektphase beträgt die Ausführungszeit des DANUBIA-Systems auf dem Cluster-Rechner für eine Fünfjahres-Simulation etwa vier Wochen. Fehler zur Laufzeit dieses hoch komplexen, stark verteilten und nebenläufigen Systems können zu einem Abbruch eines gesamten Simulationslaufs führen. Derartige Fehler können einerseits

durch technische Probleme in der Infrastruktur des Systems, beispielsweise einem vorübergehenden Ausfall einer Netzwerkverbindung, und andererseits durch modellinhärente Ausnahmesituationen entstehen.

Um im Fehlerfall ein Wiederaufsetzen am zuletzt gültigen Simulationszeitpunkt zu ermöglichen, wurde eine Recovery-Funktionalität implementiert (KRAUS 2003). Bei monolithischen, nicht verteilten Anwendungen kann hierzu ein einfacher Ansatz gewählt werden, indem man ein momentanes Abbild des Speichers sichert (Core-Dump). Dieser wird beim Wiederaufsetzen durch das Betriebssystem geladen und die Anwendung wird fortgesetzt. Für DANUBIA bestand diese Möglichkeit nicht, denn zum einen ist die Anwendung verteilt, was bedeutet, dass ein Speicherabbild der verschiedenen beteiligten Rechnerknoten erstellt werden müsste, zum anderen beinhaltet der Systemzustand auch Betriebssystemressourcen verschiedener Rechnerknoten, wie zum Beispiel Netzwerkverbindungen, geöffnete Dateien oder Datenbankverbindungen. Damit ist als erstes zu klären, wodurch ein Systemzustand in DANUBIA definiert wird.

2.7.1 Globaler Systemzustand

Zur Realisierung der Recovery-Funktionalität muss der globale Systemzustand betrachtet werden. Letzterer besteht einerseits aus Zuständen bzw. Werten, die einen Simulationslauf nach der Initialisierung unverändert überdauern und andererseits aus solchen, die sich während einer Simulation ändern.

Zu den konstanten Bestandteilen gehört der Zustand der Serverkomponenten nach der Initialisierung und Registrierung aller an einer Simulation beteiligten Modelle, die Netzwerkverbindungen, die zum Schreiben von Ergebnisdaten geöffneten Dateien sowie die Instanzen der Komponenten-Controller (vgl. Abb. 5).

Der veränderliche und damit der für Recovery relevante Teil des globalen Systemzustands wird durch die Zustände der beteiligten Modelle definiert. Der Zustand eines Modells setzt sich aus dem Zustand der jeweiligen Proxel-Objekte sowie den Werten privater Daten, wie in Abbildung 29 gezeigt, zusammen. Private Daten speichern beispielsweise die zeitlich aggregierte Summe eines Parameters über mehrere Simulationszeitschritte.

Zur Realisierung der Recovery-Funktionalität müssen die Zustände der beteiligten Modelle periodisch gespeichert werden. Der globale Systemzustand lässt sich dann durch erneute Initialisierung und Aufsetzen auf den zuletzt gespeicherten Modellzuständen wiederherstellen.

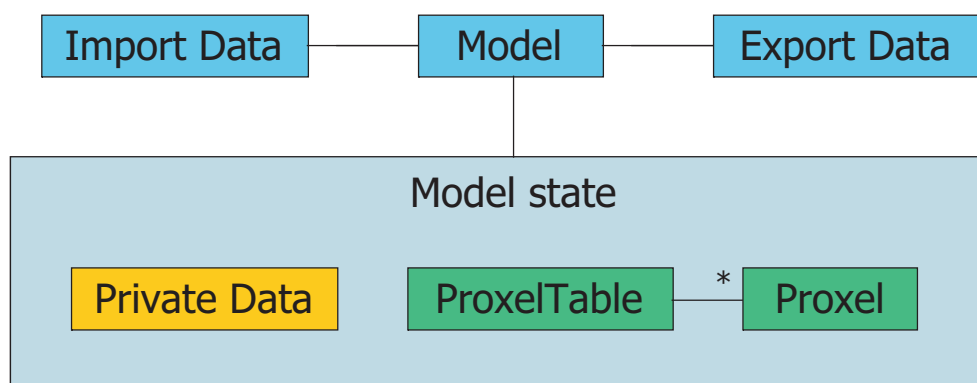


Abb. 29: Veränderlicher Zustand eines Modells.

2.7.2 Recovery von Modellzuständen

Die Zustände aller beteiligten Modelle werden während eines Simulationslaufs periodisch zu Beginn eines Simulationszeit-Monats gespeichert. Wird die Simulation im Fehlerfall neu aufgesetzt, können die Modellzustände zum Anfang des zuletzt erreichten Monats wie-

derhergestellt werden. Bricht die Simulation beispielsweise am 12.03.95 ab, kann bei einem anschließenden Recoverystart am 01.03.95 fortgesetzt werden.

Abbildung 30 zeigt den Zustandszyklus der um Recovery-Funktionalität ergänzten Implementierung eines DANUBIA-Modells. Bei einem Recoverystart verzweigt die Initialisierung `processInit` in den Aktivitätszustand `loadRecoveryState`, der einen vorher gespeicherten Recoveryzustand lädt. Anschließend erfolgt ein direkter Übergang in den Zustand `processCommit`, um den geladenen Modellzustand nach außen freizuschalten. Letzteres ist für den darauffolgenden ersten Berechnungsschritt erforderlich, da die Modelle im Zustand `processGetData` wechselseitig Daten abfragen. Zum Speichern von Recoverydaten wird zu Beginn eines neuen Simulations-Monats zwischen den Zuständen `processCommit` und `waitForCompute` in den neuen Zustand `saveRecoveryState` verzweigt. In diesem Aktivitätszustand wird der für Recovery relevante Teil des Modellzustands gespeichert. Anschließend wird der Zustandszyklus wie bisher fortgesetzt.

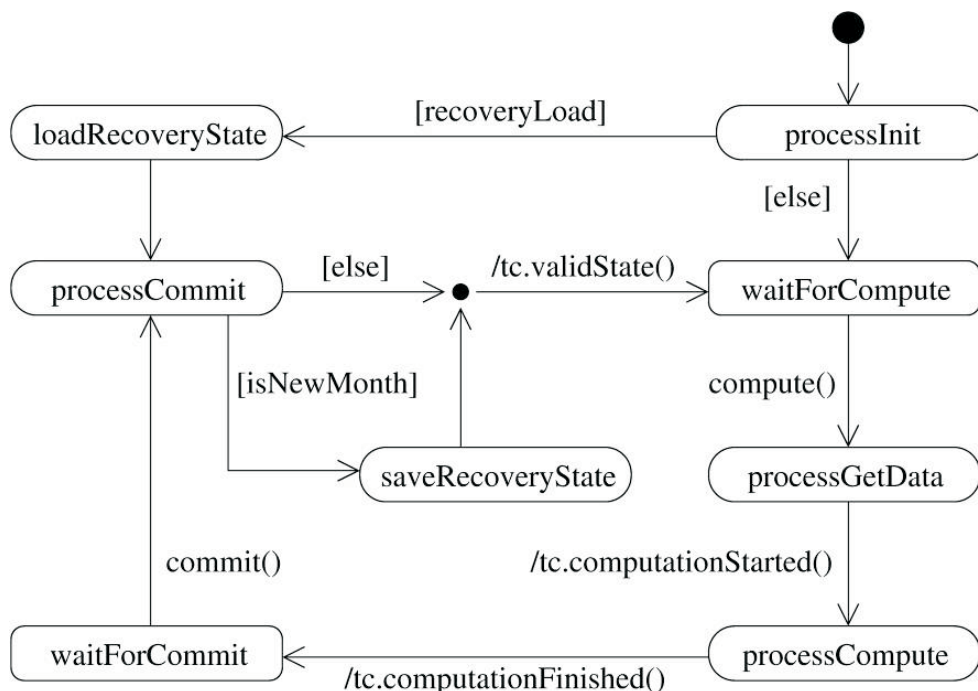


Abb. 30: Zustandszyklus eines DANUBIA-Modells mit Recovery.

Die Implementierung zum Speichern und Laden von Modellzuständen verwendet den Serialisierungsmechanismus von Java und ist für Entwickler von Modellen ohne private Daten weitestgehend transparent. Es sind bei der Implementierung der jeweiligen Proxel lediglich die durch Java vorgegebenen Richtlinien zur Serialisierung zu berücksichtigen. Entwickler von Modellen mit privaten Daten müssen zur vollständigen Recoverfähigkeit ihrer Modelle zudem die entsprechenden Werte in vordefinierten Template-Methoden explizit speichern bzw. laden.

2.8 Testumgebung

Zur Entwicklung eines konkreten DANUBIA-Modells benötigt man eine Umgebung, die es dem Modell-Entwickler erlaubt das Modell isoliert, d.h. getrennt vom Verbund aller DANUBIA-Modelle sowie ohne Verbindung zur DANUBIA-Datenbank, zu testen. Zu diesem Zweck wurde eine Testumgebung realisiert, die lokale Testdatenbanken für das Gesamtgebiet wie auch für ausgewählte Teilgebiete verwendet. Die Testdatenbanken werden auf Grundlage der DANUBIA-Datenbank generiert und vom jeweiligen Modell-Entwickler ausgewählt und in die Testumgebung eingebunden. Die Testumgebung bietet zudem Unterstützung bei der Implementierung der Recovery-Funktionalität für Modelle mit privaten

Daten. Hierfür wurde ein Analyse-Tool sowie die Möglichkeit zur Simulation einer Recovery-Situation integriert.

Abbildung 31 zeigt die Struktur der Testumgebung. Die Import-Schnittstellen des zu testenden Modells werden durch automatisch generierte Dummy-Modelle realisiert. Der erzeugte Code liefert keine berechneten oder eingelesenen Import-Werte, sondern dient lediglich der prinzipiellen lokalen Ausführbarkeit des Modells. Die Dummy-Modelle können vom jeweiligen Entwickler um eine Implementierung zur Erzeugung benötigter Import-Werte ergänzt werden.

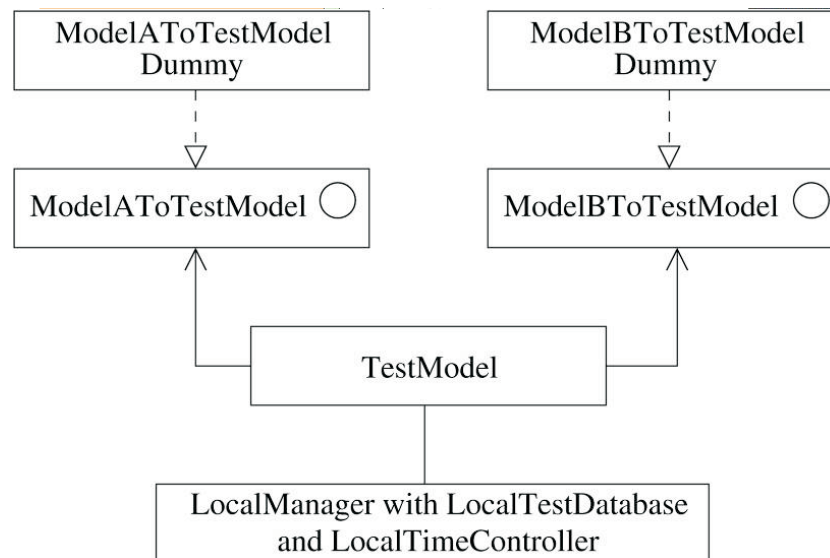


Abb. 31: Struktur der Testumgebung.

2.9 Sektorale Arbeiten

Die Entwicklung des DANUBIA-Systems wurde begleitet durch Arbeiten an speziellen Fragen des Software-Engineering, die sich aus den speziellen Charakteristika von DANUBIA ergeben. Zum Einen wurde der Aspekt der zeitlichen Koordination von Simulationsmodellen (mit unterschiedlichen Modellzeiten) eingehend studiert und in einem abstrakten Koordinationsmodell dargestellt, das in Abschnitt 2.9.1 beschrieben wird. Im Bereich der Web-Anwendungen wurde an einer Web-spezifischen Erweiterung der UML und an Techniken zur Erzeugung von Code aus Design-Modellen gearbeitet, auf die in Abschnitt 2.9.2 eingegangen wird. Schließlich werden in Abschnitt 2.9.3 Methoden zur Spezifikation und Integration verschiedener Sichten auf komplexe Systeme dargestellt.

2.9.1 Koordinationsarchitektur für zeitabhängige Komponenten

In einem integrierten Simulationslauf berechnen alle Modelle zyklisch neue Simulationsergebnisse. Jedes Modell berechnet Daten auf einer eigenen lokalen Zeitskala, die von einer Stunde für naturwissenschaftliche Modelle bis zu einem Jahr für sozioökonomische Modelle reicht. Die Datenabhängigkeiten zwischen verschiedenen Modellen bringen also zeitliche Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen lokalen Zeitskalen mit sich. Jedes Modell muss zu Beginn einer Berechnung mit den zu diesem Zeitpunkt gültigen Daten anderer Modelle versorgt werden. Importiert beispielsweise ein Tages-Modell A Werte von einem Monats-Modell B zur Berechnung am Simulationzeitpunkt 12.02.95, dann muss das Modell A die von B für den 01.02.95 berechneten Daten importieren.

DANUBIA-Modelle lassen sich damit als Klasse datenabhängiger Komponenten betrachten, die in diskreten und durch lokale Zeitskalen festgelegten Zeitschritten Daten produzieren. Dieser Abschnitt beschreibt eine Koordinations-Architektur, die es erlaubt den zeitlichen Aspekt der Datenabhängigkeit zwischen den verschiedenen Komponenten vom Design des wechsel-

seitigen Datenaustauschs zu trennen. Die Architektur lässt sich auf alle zeitbasierten und datenabhängigen Komponentensysteme anwenden. Es wird ein formales Koordinationsmodell entwickelt und gezeigt, dass sich in einem aus der vorgeschlagenen Architektur resultierenden Komponenten-System Lebendigkeit (liveness), Sicherheit (safety) und Fortschritt (progress) garantieren lässt.

Der in den nachfolgenden Abschnitten verwendete Begriff *Modellkomponente* abstrahiert von der bisherigen Unterscheidung zwischen Modellen und Komponenten.

Modellzeit

Alle Modellkomponenten tauschen Daten miteinander aus. Das heißt, jede Modellkomponente exportiert Daten zu und importiert Daten von einer anderen Modellkomponente. Sieht man von dem Aspekt der Zeitabhängigkeit dieser Daten ab, kann die Integration mehrerer Komponenten vereinfacht wie in Abbildung 32 betrachtet werden.

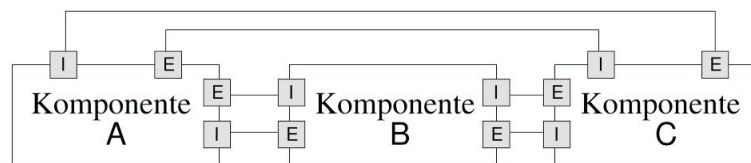


Abb. 32: Integrierte Modellkomponenten.

Eine Modellkomponente führt in einem integrierten Simulationslauf iterierte Berechnungen auf einem internen Datensatz durch. Zeit wird also durch eine geordnete Folge verschiedener, diskreter Zustände dieses Datensatzes dargestellt. Jedes Modell zeichnet sich durch eine typische Zeitschrittweite aus, in der diese Iterationen durchgeführt werden. Da die Schrittweiten verschiedener Modelle voneinander abweichen und die benötigte Rechenzeit für einen Schritt bei allen Modellkomponenten unterschiedlich ist, verläuft die Berechnung jeder Modellkomponente in einem eigenen Zeitmaßstab. Die Schaffung eines einheitlichen Zeitmaßstabes durch Synchronisation der Rechenschritte jeder einzelnen Modellkomponente ist die Aufgabe einer zu entwickelnden Kontrollstruktur. In Abbildung 33 sind die verschiedenen Zeitmaßstäbe so gegen eine einheitliche Simulationszeit aufgetragen, dass sie die erwünschten Verhältnisse in einem koordinierten Modellverbund schematisch darstellen.

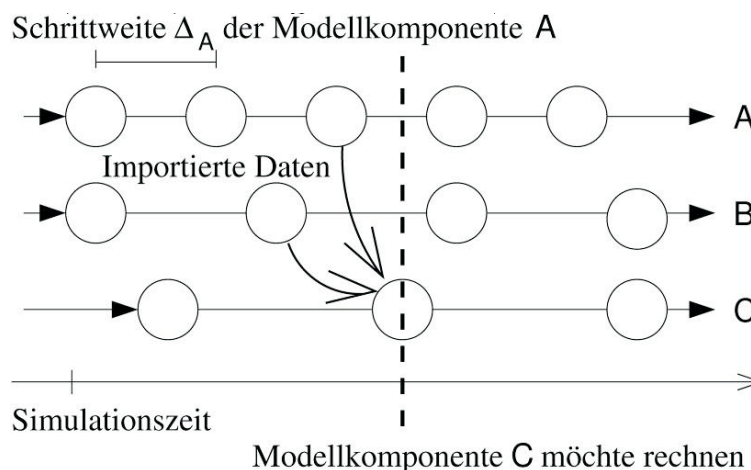


Abb.33 : Zeitliche Abhängigkeiten der Komponenten.

Die Schrittgrößen werden durch den Abstand der Zustandssymbole wiedergegeben. Die gestrichelte Linie bezeichnet den virtuellen Zeitpunkt, zu dem Modellkomponente C die Berechnung beginnen möchte. Die Modellkomponente importiert Daten von den Modellen A und B, d.h. C muss die zu diesem Zeitpunkt aktuellen Daten der Modelle A und B in die Berechnung einbeziehen. Ältere Daten oder Daten, die nach dem augenblicklichen virtuel-

len Zeitpunkt liegen, sollen nicht betrachtet werden. Daraus lässt sich schliessen, dass eine Modellkomponente zwei im weiteren zu betrachtende Aktivitäten ausführen kann: In der einen importiert sie Daten und führt mit diesen eine Berechnung auf dem eigenen Datensatz aus, in der anderen aktualisiert sie die Daten mit den Ergebnissen der letzten Berechnung, vollzieht also eine Zustandsänderung nach außen hin.

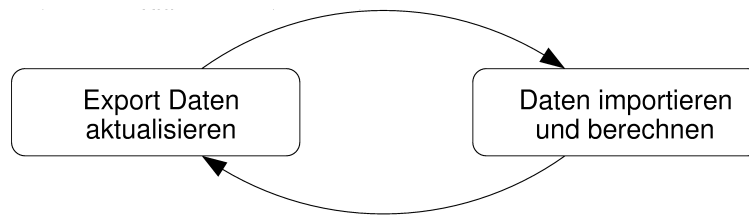


Abb. 34: Basis-Aktivitäten einer Modellkomponente.

In Abbildung 34 sind diese Basisaktivitäten schematisch dargestellt. Da während der Aktualisierung der Daten ein Export an andere Modelle unmöglich ist, schließen sich beide Aktivitäten gegenseitig aus. Im Wechsel zwischen den beiden Aktivitäten spiegelt sich zudem der Fortschritt jeder einzelnen Modellkomponente in der eigenen virtuellen Zeit wider. Somit muss mittels externer Kontrolle durch eine Zeitsteuerungskomponente eine zeitliche Synchronisation, die sichere Kommunikation zwischen allen Modellkomponenten und die Lebendigkeit des Modellverbundes gewährleistet werden.

Koordinationsarchitektur

Das Zeitintegrationsproblem beeinflusst die Komponenten, den Kontrollfluss des Berechnungsprozesses sowie den Datenaustausch über die Export- und Import-Schnittstellen. Um lokale Synchronisation zu gewährleisten, wird jede Komponente in einen Kontrollrahmen eingebettet; jede dieser Strukturen wird mit einer zentralen Zeitsteuerungskomponente (Timecontroller) verbunden. Die daraus resultierende, in Abbildung 35 dargestellte Koordinationsarchitektur, integriert die lokalen Zeitskalen der Modellkomponenten in die globale, virtuelle Zeit der Zeitsteuerung. Insbesondere wirkt die Zeitsteuerungskomponente non-invasiv, es wird lediglich die Infrastruktur der zusätzlichen Kontrollrahmen benötigt.

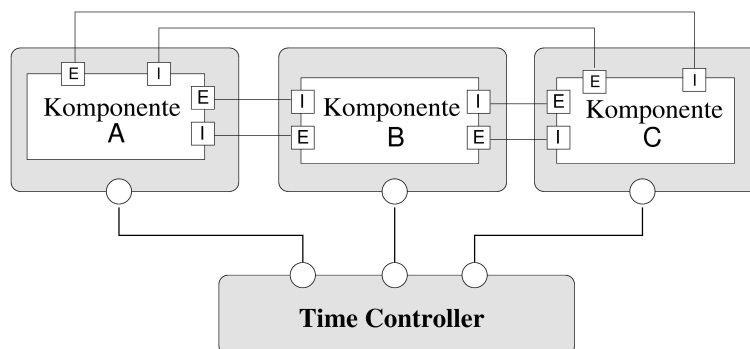


Abb. 35: Koordinationsarchitektur. Die umgebenden Kontrollrahmen und die Zeitsteuerung sind in grau, die Koordinationsanschlüsse als Kreise dargestellt.

Die Kontrollrahmen erweitern das Basisberechnungsmodell aus Abbildung 34 um zwei Synchronisationszustände (vgl. Abb. 36). Jede Komponente muss in diesen Zuständen verweilen, bis sie durch die globale Zeitsteuerung aufgefordert wird den nachfolgenden kritischen Abschnitt zu betreten. Darf eine Komponente Daten importieren und mit der Berechnung beginnen, dann sendet die Zeitsteuerung die Nachricht `compute`. Andererseits sendet die Zeitsteuerung die Nachricht `commit`, wenn eine Komponente ihre zu exportierenden Daten aktualisieren und anderen Modellpartnern zur Verfügung stellen kann.

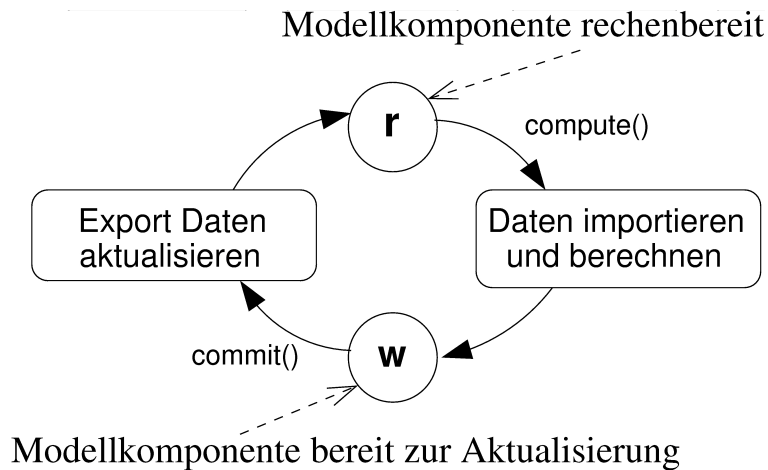


Abb. 36: Erweitertes Zustandsmodell einer Komponente.

Die koordinierende Zeitsteuerung muss sicherstellen, dass alle zeitintegrierten Berechnungen der Modellkomponenten sicher und lebendig sind. Um Sicherheit zu gewährleisten, müssen alle Berechnungen einer Modellkomponente mit gültigen Daten ihrer Modellpartner ausgeführt werden. Dabei sind Partnerdaten gültig, wenn sie aus dem aktuellen Berechnungsschritt dieser Partnerkomponente stammen. In Abbildung 37 wird Modellkomponente **C** zum Zeitpunkt t_C betrachtet. Für den nächsten Berechnungsschritt sind Daten der Modellkomponenten **A** und **B** gültig, wenn sie nicht nach dem Zeitpunkt t_C liegen, d.h. es gilt: $t_A \leq t_C$ und $t_B \leq t_C$. Die Daten müssen außerdem aktuell genug sein, also aus dem letzten Berechnungsschritt des jeweiligen Modells stammen, dessen Länge durch Δ_A bzw. Δ_B beschrieben wird. Es muss also zusätzlich gelten: $t_C - \Delta_A < t_A$ und $t_C - \Delta_B < t_B$.

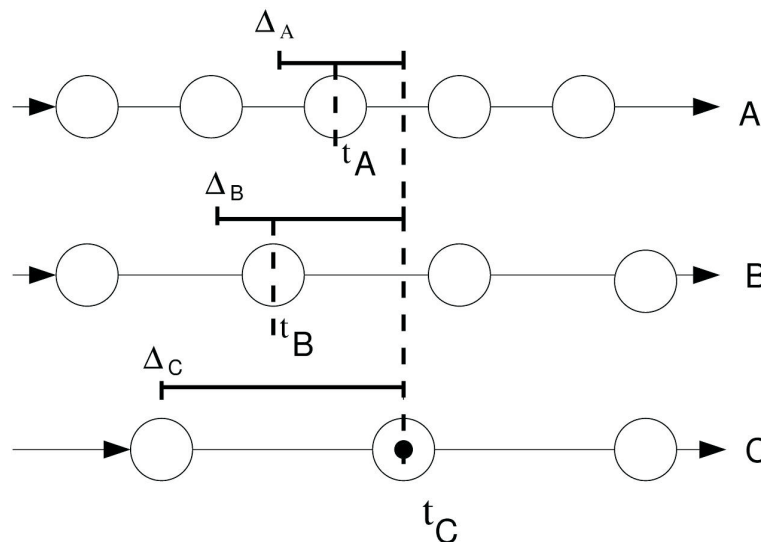


Abb. 37: Identifikation der aktuell gültigen Import-Daten.

Die Nachricht `compute` darf eine Modellkomponente nur dann erhalten, wenn alle für diesen Berechnungsschritt benötigten Daten zum Import bereitgestellt sind. Weiterhin darf eine Modellkomponente die Nachricht `commit` nur dann erhalten und daraufhin ihre alten Daten überschreiben, wenn diese von keiner anderen Modellkomponente mehr benötigt werden. Ein durch diese Architektur koordinierter Simulationslauf mehrerer Modellkomponenten darf nicht innerhalb der zu berechnenden Zeitspanne blockieren. Aus Sicht der Modellkomponente muss deren lokale Zeit unbehindert fortschreiten.

Formales Koordinationsmodell

Die Koordinationsschicht hat systemweit Sicherheit, Lebendigkeit und den zeitlichen Fortschritt der Modellrechnungen zu garantieren. Im folgenden wird ein formales Modell für die Zeitsteuerungskomponente beschrieben und gezeigt, dass dieses Modell die geforderten Eigenschaften erfüllt.

Aus Sicht der Koordinationsschicht wird eine Modellkomponente durch die Größe des Zeitschritts $\Delta > 0$ und ihren Zustand $\sigma = \langle s, t \rangle$ mit dem lokalen Zustand $s \in \{r, w\}$ und der lokalen Zeit $t \in \mathbb{R}$ charakterisiert. Der lokale Zustand zeigt an, ob die Modellkomponente rechenbereit ist (lokaler Zustand r) oder auf die Aktualisierung der Daten wartet (lokaler Zustand w). Die lokale Zeit stellt den Zeitstempel der Daten dar, die augenblicklich von dieser Modellkomponente exportiert werden können. Ein System besteht aus einer Anzahl von Modellkomponenten, von denen der Einfachheit halber angenommen wird, dass sie von $1, \dots, n$ mit $n > 0$ durchnummeriert sind. Der Zustand Σ eines solchen Systems wird daher durch ein n -Tupel $\sigma_1, \dots, \sigma_n$, die Zeitschritte durch $\Delta_1, \dots, \Delta_n$ gegeben. In einem Systemzustand $\langle s_1, t_1 \rangle, \dots, \langle s_n, t_n \rangle$ sind die Daten der Modellkomponente i aus Sicht der Komponente k gültig, wenn sie aus dem aktuellen Rechenschritt von i stammen:

$$t_k - \Delta_i < t_i \leq t_k$$

Der Entwurf der Koordinationsschicht spaltet diese grundlegende Anforderung der Datengültigkeit auf: in die Berechnung neuer Daten und die Aktualisierung der zu exportierenden Daten. Dabei wird die Tatsache ausgenutzt, dass die Zustände r und w alternieren. Für den Start der Berechnung betrachten wir nur die untere Grenze, für die Aktualisierung die zugehörige Obergrenze.

In einem Systemzustand $\langle s_1, t_1 \rangle, \dots, \langle r, t_k \rangle, \dots, \langle s_n, t_n \rangle$ darf die Modellkomponente k mit der Berechnung erst beginnen, wenn alle Modellpartner aktuelle Daten zur Verfügung stellen. Daher muß die Koordinationsschicht sicherstellen, dass k nur mit der Berechnung beginnt, falls gilt:

$$(*) \quad \forall 1 \leq i \leq n. t_k - \Delta_i < t_i$$

Andererseits darf die Modellkomponente k in einem Systemzustand $\langle s_1, t_1 \rangle, \dots, \langle w, t_k \rangle, \dots, \langle s_n, t_n \rangle$ ihre Daten, die für $t_k + \Delta_k$ gültig sind, nur aktualisieren, wenn ihre Daten, die für t_k gültig sind, von den Modellpartnern nicht mehr benötigt werden. Daher muss die Koordinationsschicht sicherstellen, dass k ihre Daten nur dann aktualisiert, falls gilt:

$$(**) \quad \forall 1 \leq i \leq n. (s_i = r \Rightarrow t_k + \Delta_k \leq t_i) \wedge (s_i = w \Rightarrow t_k + \Delta_k \leq t_i + \Delta_i)$$

Der Systemfortschritt ergibt sich dann anhand der folgenden beiden Regeln:

$$\langle s_1, t_1 \rangle, \dots, \langle r, t_k \rangle, \dots, \langle s_n, t_n \rangle \xrightarrow{\text{compute}_k} \langle s_1, t_1 \rangle, \dots, \langle w, t_k \rangle, \dots, \langle s_n, t_n \rangle \text{ falls } (*),$$

$$\langle s_1, t_1 \rangle, \dots, \langle w, t_k \rangle, \dots, \langle s_n, t_n \rangle \xrightarrow{\text{commit}_k} \langle s_1, t_1 \rangle, \dots, \langle r, t_k + \Delta_k \rangle, \dots, \langle s_n, t_n \rangle \text{ falls } (**).$$

Wir schreiben $\Sigma \rightarrow \Sigma'$, falls Systemzustand Σ' aus einem Zustand Σ durch Anwendung einer der beiden Regeln hervorgeht. Desweiteren werden für den Zustand $\Sigma = \langle s_1, t_1 \rangle, \dots, \langle s_n, t_n \rangle$ folgende Abkürzungen verwendet:

$$t + \Delta \equiv \min \{ t_i + \Delta_i \mid 1 \leq i \leq n \},$$

$$T \equiv \max \{ t_i + \Delta_i \mid 1 \leq i \leq n \}$$

Die folgende Invariante der Koordinationsschicht stellt sicher, dass keine Modellkomponente hinter einer Partnerkomponente zurückbleibt und dass alle Modelle, die zur Berechnung bereit sind, ihre aktuellen Daten zum Export zur Verfügung stellen. Insbesondere

etabliert die Invariante die Sicherheitseigenschaft der Koordinationsschicht: Jede Modellkomponente, die mit ihrer Berechnung beginnt, wird mit gültigen Daten versorgt.

Lemma (Invariante)

Bezeichne die folgende Eigenschaft eines Systemzustands $\Sigma = \langle s_1, t_1 \rangle, \dots, \langle s_n, t_n \rangle$:

$$I(\Sigma) = (T \leq t + \Delta) \wedge (\forall 1 \leq i \leq n. s_i = r \rightarrow t_i = T). \text{ Falls } I(\Sigma) \text{ und } \Sigma \rightarrow \Sigma', \text{ dann gilt } I(\Sigma').$$

Man bemerke, dass jedes Intervall $[T, t + \Delta]$ als virtuelle global integrierte Zeit dienen kann. Allerdings ist der Zeitverlauf der Koordinationsschicht im allgemeinen nicht kontinuierlich.

Die Lebendigkeit der Koordinationsschicht ist garantiert, wenn in jedem Systemzustand Σ , in dem die Invariante $I(\Sigma)$ gilt, eine der obgenannten Regeln anwendbar ist. Wird das System in einem Zustand gestartet, der I erfüllt, kann es insbesondere nicht zu einer Verklemmung kommen. Beispielsweise erfüllen alle Zustände $\Sigma = \langle a, t \rangle, \dots, \langle a, t \rangle$ mit $t \in \mathbb{R}$ die Invariante $I(\Sigma)$.

Lemma (Lebendigkeit)

Für den Systemzustand $\Sigma = \langle s_1, t_1 \rangle, \dots, \langle s_n, t_n \rangle$ gelte die Invariante $I(\Sigma)$. Dann gibt es ein Σ' mit $\Sigma \rightarrow \Sigma'$.

Um sicherzustellen, dass die Koordinationsschicht unbeschränkten Zeitfortschritt machen kann, genügt es zu zeigen, dass nach einer endlichen Anzahl von Schritten ein zeitlicher Fortschritt erzielt wird. Die Untergrenze dieses Zeitfortschritts ist nach der Regel (**). Daher kann jede gegebene Zeitgrenze überschritten werden.

Lemma (Fortschritt)

Gelte $\Sigma \rightarrow \Sigma'$ mit $\Sigma = \langle s_1, t_1 \rangle, \dots, \langle s_n, t_n \rangle$ und $\Sigma' = \langle s'_1, t'_1 \rangle, \dots, \langle s'_n, t'_n \rangle$ und gelten $I(\Sigma)$ und $I(\Sigma')$. Ist $t + \Delta = (t + \Delta)'$, dann gilt

$$|\{i \mid s_i = r\}| + 2 \cdot |\{i \mid t_i + \Delta_i \neq t + \Delta\}| > |\{i \mid s'_i = r\}| + 2 \cdot |\{i \mid t'_i + \Delta_i \neq t + \Delta\}|$$

Da auf Grund der Invariante keine Modellkomponente auf unbestimmte Zeit hinter den anderen Modellkomponenten zurückbleiben kann, machen alle Modellkomponenten gemeinsam unbeschränkten Zeitfortschritt.

Für die Beweise der genannten Eigenschaften verweisen wir auf (BARTH und KNAPP 2004).

2.9.2 UML-basiertes Web-Engineering (UWE)

In seiner Endversion soll das DANUBIA-System über eine Web-Oberfläche bedienbar sein. Eine Web-Anwendung unterscheidet sich von einer normalen Anwendung durch die Aspekte der Navigation und Präsentation durch einen Web-Browser. Auch bei der Entwicklung von Anwendungslogik muss man klar zwischen der Logik in der Benutzeroberfläche und der Logik im Anwendungskern unterscheiden. Für eine systematische Entwicklung der web-basierten Teile von DANUBIA wurde die UML-basierte Web-Engineering Methode UWE weiter ausgebaut (KOCH und KRAUS 2002). Es wurde ein Metamodell für die auf UML basierende Web-Notation entwickelt, welches im folgenden Abschnitt vorgestellt wird. Danach wird ein Ansatz zur semi-automatischen Generierung von Web-Anwendungen skizziert, der teilweise im Rahmen einer Diplomarbeit realisiert wurde (STIEGLER 2002).

UWE Methodik

Die Methodik von UWE umfasst den gesamten Lebenszyklus bei der Entwicklung von Web-Anwendungen. Der Ansatz ist objektorientiert und iterativ basierend auf dem Unified Software Development Process. Der Hauptfokus von UWE ist das systematische Design und die semi-automatische Generierung von Web-Anwendungen.

Die verwendete Notation ist eine leichtgewichtige Erweiterung der UML (Unified Modeling Language), ein so genanntes UML Profil, basierend auf den UML-Erweiterungsmechanismen. Dies hat den Vorteil, dass eine weit verbreitete Standardnotation verwendet wird, die von den meisten CASE-Tools unterstützt wird. Das Profil beinhaltet die Definition von sog. Stereotypen und Tagged Values für bestimmte Modellelemente für die Modellierung der verschiedenen Aspekte einer Web-Anwendung wie Navigation, Präsentation oder die Abwicklung von Geschäftslogik. Für jeden Aspekt wird ein eigenes Modell erstellt, wobei UWE eine Methodik zur systematischen Erstellung dieser Modelle vorgibt. Das Navigationsmodell wird z.B. aus Navigationsklassen, Links zwischen den Navigationsklassen und Zugriffselementen erstellt, die zu den Elementen des konzeptuellen Modells in Beziehung stehen.

UWE Metamodell

Im Web-Engineering-Bereich gibt es viele Design-Methoden, die die Entwicklung von Web-Anwendungen unterstützen. Für diese Methoden steht aber meist nur eine informelle Beschreibung der verwendeten Modellelemente zur Verfügung. Wenn überhaupt, dann wird die Semantik meist zu jedem Konstrukt separat und textuell angegeben, ohne Angabe, wie die Konstrukte zueinander in Beziehung stehen und welche Bedingungen sie erfüllen müssen. Bis jetzt definieren nur wenige Methoden ein Metamodell oder ein Referenzmodell für die Modellelemente, die zum Design von Web-Anwendungen verwendet werden sollen.

CASE-Tools (Computer Aided Software Engineering), die für die Design-Aktivitäten benutzt werden, sollten auf einer präzisen Definition der Modellelemente basieren, um somit Änderungsanforderungen besser zu entsprechen. Metamodellierung ist nicht nur die Basis für die Entwicklung von CASE-Tools, sondern hat auch den Vorteil einer präzisen Beschreibung der Semantik von Modellelementen und erlaubt die Erstellung von Meta-CASE-Tools. Das UWE-Metamodell ist eine konservative Erweiterung des UML Metamodells der Version 1.4. Konservativ bedeutet, dass die UML-Elemente nicht verändert werden, z.B. durch Hinzufügen neuer Assoziationen oder Attribute. Alle neu definierten Metamodellelemente sind Erben von mindestens einem UML-Element, wobei für sie neue Eigenschaften und Beziehungen zu anderen Metamodellelementen und zusätzliche statische Bedingungen, die Modelle erfüllen müssen, spezifiziert sind. Abbildung 38 zeigt die Einbettung des UWE-Metamodells in das UML-Metamodell.

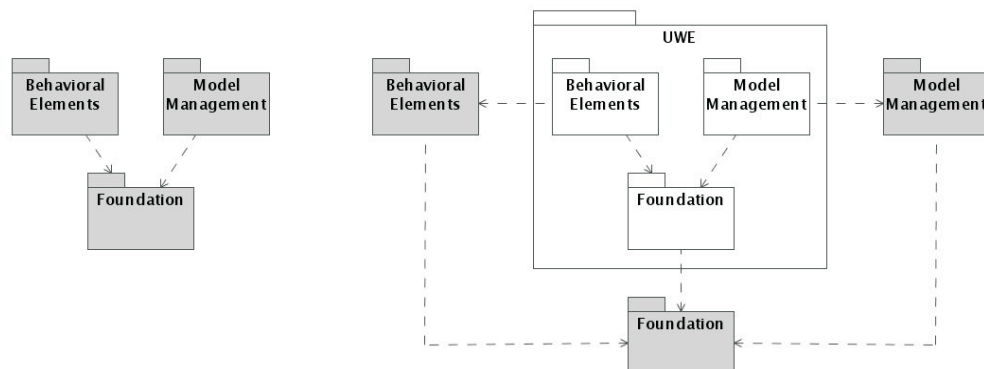


Abb. 38: Die Erweiterung des UML-Metamodells um das Paket UWE.

Das UML-Paket Foundation, das die Elemente zur statischen Modellierung enthält, wird durch das entsprechende UWE-Paket mit dem gleichen Namen erweitert. Analog verhält es

sich mit dem Paket für die Modellierung der dynamischen Aspekte Behavioral Elements und dem Paket zum Model Management.

Automatische Code-Generierung mit UWEXML

Der UWEXML-Ansatz ermöglicht die semi-automatische Generierung von Web-Anwendungen (KRAUS und KOCH 2002). Dabei wird die Web-Anwendung zuerst mit einem CASE-Tool gemäß der UWE-Methodik und Notation modelliert. Dieses Modell wird dann in einem XML-Format zum Austausch von UML-Modellen abgespeichert und vom UWEXML-Generator verarbeitet. Der Generator erzeugt daraus zum einen Dokumente, die in das XML Publishing Framework Cocoon installiert werden. Cocoon ist ein Web-Framework auf Basis der Java 2 Enterprise Edition (J2EE) Architektur für Web-Anwendung und ermöglicht die Anzeige von XML-Inhalten über einen Web-Browser. Ein wesentliches Merkmal ist dabei die (technische) Trennung der Aspekte Logik, Inhalt und Präsentation. Zum anderen werden aus dem konzeptuellen Modell Code-Gerüste für die Anbindung an die Anwendungsobjekte erzeugt. Im Fall von DANUBIA werden Code-Gerüste für die Java- Technologie RMI (Remote Method Invocation) zum entfernten Zugriff auf Objekte erzeugt. Nach der Generierung ist nur noch die physikalische Präsentation anzupassen, z.B. Farben, Schriftgrößen oder Grafiken. Abbildung 39 zeigt den gesamte Entwicklungsprozess. Eine erste Version des UWEXML Generators wurde in einer Diplomarbeit von Sebastian Stiegler bereits entwickelt (STIEGLER 2002)t .

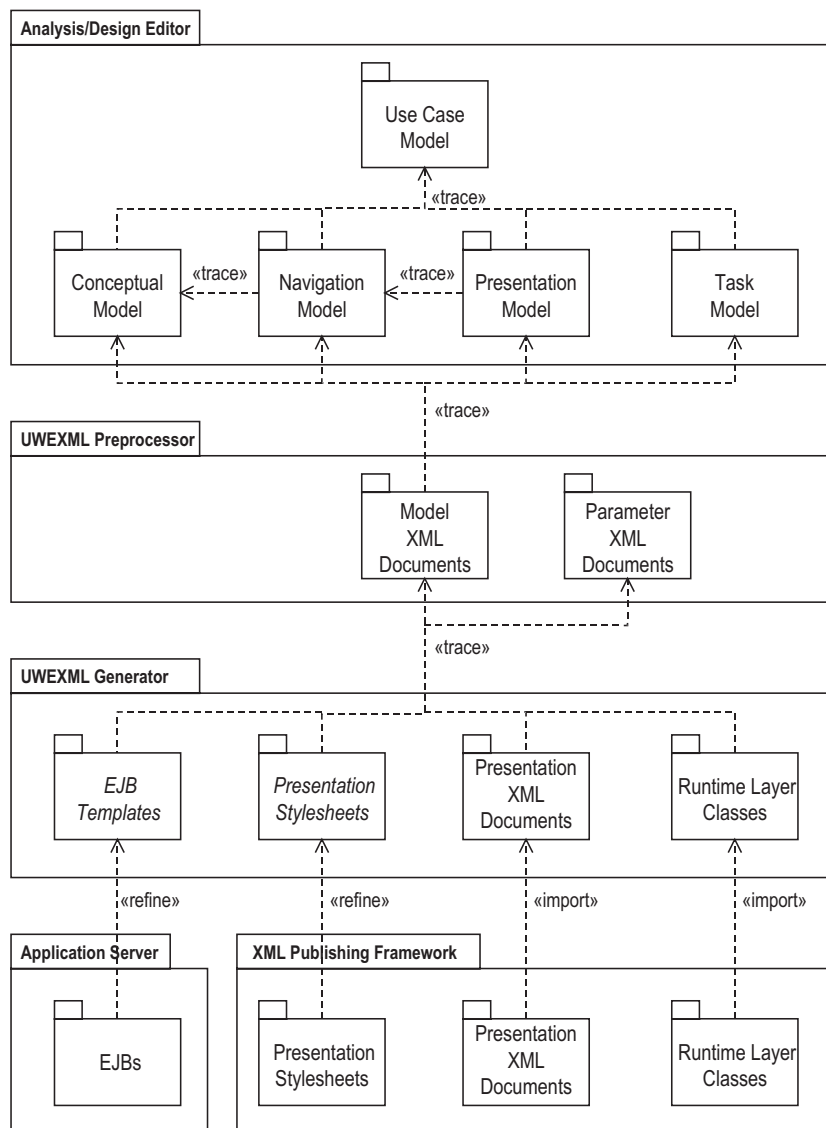


Abb. 39: Übersicht über den Prozess von UWEXML von der Analyse bis zur semi-automatischen Generierung von Web-Anwendungen.

2.9.3 Sichtenorientierte Spezifikationen

Bei der Entwicklung eines komplexen Software-Systems wie DANUBIA ist es hilfreich, bei der Systemspezifikation verschiedene Aspekte des geplanten Systems getrennt zu betrachten und diese später zu einem Gesamtsystem zu integrieren. Durch die Reduzierung der Komplexität bei der Betrachtung einzelner Sichten wird ein besseres Verständnis für die Eigenschaften des Systems erzielt, wodurch eine kontrollierte Systementwicklung unterstützt und damit die Qualität des Systems verbessert wird.

Systemsichten

Im folgenden werden drei wichtige Sichten betrachtet, die in jedem Softwaresystem (in mehr oder weniger ausgeprägter Form) vorhanden sind, nämlich

- eine statische Sicht, die die Struktur des Systems,
- eine Operationssicht, die die Wirkung der Operationen, und
- eine Ablaufsicht, die das dynamische Verhalten von Systemabläufen beschreibt.

Dabei liegt unser besonderes Interesse an

- einer geeigneten (in großen Teilen grafischen) Notation für die verschiedenen Sichten auf der Grundlage der UML,
- einer Formalisierung der Semantik einzelner Sichten und deren Integration,
- einem systematischen Übergang von sichtenorientierten Spezifikationen zu einem Systementwurf und schließlich zu einer Systemimplementierung.

Ein Lösungsansatz zu den genannten Punkten wurde anhand eines Beispiels studiert, das im folgenden näher erläutert wird. Betrachtet wird ein einelementiger Puffer, der eine ganze Zahl speichern kann. Die üblichen Operationen, die auf dem System ausgeführt werden können, sind *put(x)* (um ein Element *x* zu speichern) und *get()* (um das gespeicherte Element auszulesen).

Die statische Sicht auf den Puffer ist durch ein UML-Klassendiagramm gegeben, das in diesem Fall nur aus einer einzigen Klasse `Buf` besteht:

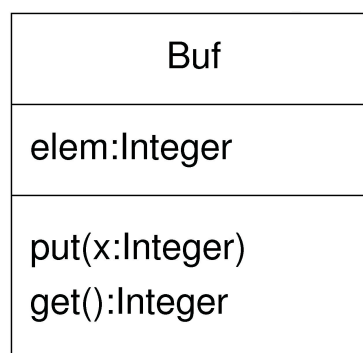


Abb. 40: Statische Sicht.

Die Operationssicht lässt sich durch OCL-Constraints in Form von Nachbedingungen für Operationen spezifizieren. Die Object Constraint Language OCL (WARMER und KLEPPE 2903) ist eine formale Sprache zur Beschreibung der Eigenschaften von Systemzuständen. Sie ist keine alleinstehende Sprache sondern vielmehr integraler Bestandteil der UML und wird stets in Bezug auf ein konkretes UML-Modell, wie beispielsweise das Klassendiagramm in Abbildung 40, verwendet. Die Nachbedingungen für die Operationen *put* und *get* lassen sich im Kontext der Klasse `Buf` wie folgt spezifizieren:


```

context Buf :: put(x:Integer) post: elem = x
context Buf :: get():Integer post: result = elem

```

Die Nachbedingung für `put` beschreibt die Belegung des Puffers mit der übergebenen Integer-Zahl und die Nachbedingung für `get` spezifiziert, inwiefern das im Puffer gespeicherte Element als Resultat eines `get`-Aufrufes geliefert wird.

Die Ablaufsicht zur Beschreibung des dynamischen Verhaltens wird durch das UML-Zustandsdiagramm in Abbildung 41 repräsentiert.

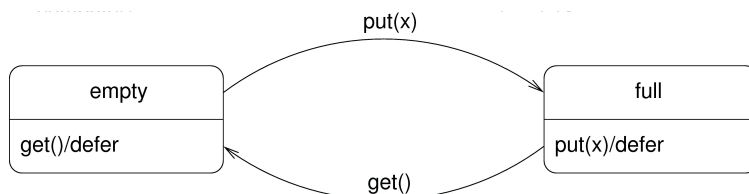


Abb. 41: Ablaufsicht.

Während die Nachbedingungen der Operationssicht angeben, welche Wirkung die jeweilige Operation hat, wird durch das Zustandsdiagramm der Ablaufsicht deutlich, wann die jeweilige Operation auftreten darf. Das Schlüsselwort *defer* kennzeichnet eine Operation, die im entsprechenden Zustand nicht ausgeführt, sondern zurückgestellt wird.

Die Semantik der statischen Sicht ist gegeben durch eine Menge von Objekt-Konfigurationen (auch Systemzustände genannt). Eine Objekt-Konfiguration beschreibt die zu einem Zeitpunkt existierenden Objekte, deren Attributwerte und Beziehungen zu anderen Objekten (HENNICKER et al. 2002). Bei den beiden weiteren Sichten kann die Semantik jeweils durch ein markiertes Transitionssystem angegeben werden (s. Abb. 42 und Abb. 43).

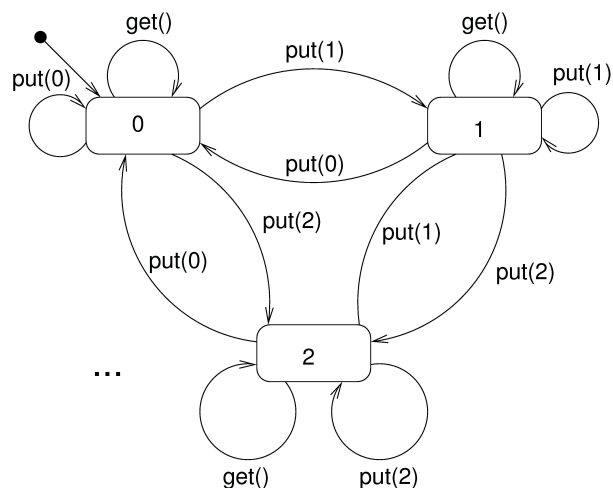


Abb. 42: Semantik der Operationssicht.

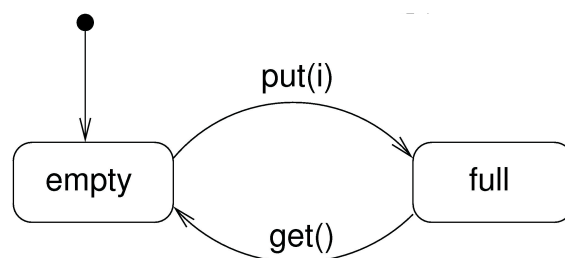


Abb. 43: Semantik der Ablaufsicht

Die Knoten der Operationssicht entsprechen dabei den Speicherbelegungen, die Kanten geben die Zustandsübergänge an.

Bei der Ablaufsicht wird nur zwischen einem leeren und einem vollen Speicher unterschieden, von der konkreten Belegung des Speichers wird abstrahiert.

Eine integrative Semantik für Operations- und Ablaufsicht kann aus der parallelen Komposition der beiden Transitionssysteme gebildet werden (s. Abb. 44). Dabei ist zu erkennen, dass *put(x)* nur möglich ist, wenn der Speicher leer, also im Zustand `<empty>` ist. Nach einem *put(x)* kann nur ein *get()* folgen, das genau das vorher in den Puffer eingebrachte Ele-

ment x zurückgibt. Die Vorgehensweise bei der weiteren Integration der Semantik der statischen Sicht muss noch ausgearbeitet werden.

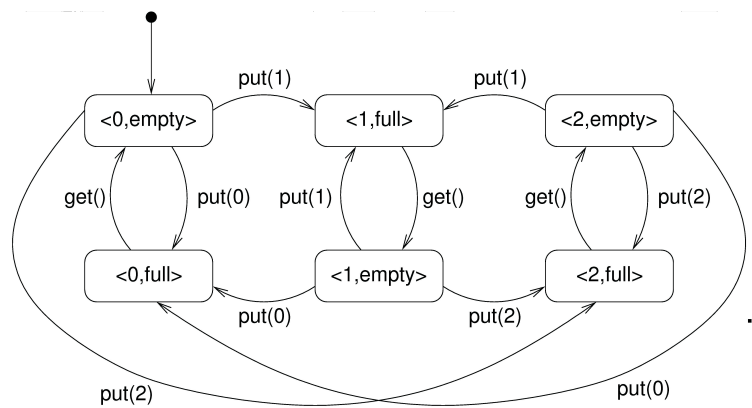


Abb. 44: Integrative Semantik.

Übergang zu einem Entwurf

Im folgenden wird anhand des Puffer-Beispiels ein Ansatz für einen systematischen Übergang zu einem Entwurf gezeigt. Die Idee dabei ist, das Zustandsdiagramm in eine neue Klasse `Buffer` zu überführen, die der Klasse `Buf` vorgeschaltet wird und die Kontrolle über diese übernimmt. Die Zustände werden in dieser Klasse durch boolesche Attribute repräsentiert, deren Wert *true* ist, wenn sich das System in dem durch dieses Attribut repräsentierten Zustand befindet, andernfalls ist der Wert *false*. Die Aktionen bzw. Ereignisse der Ablaufsicht finden sich als Operationen der Klasse wieder (s. Abb. 45).

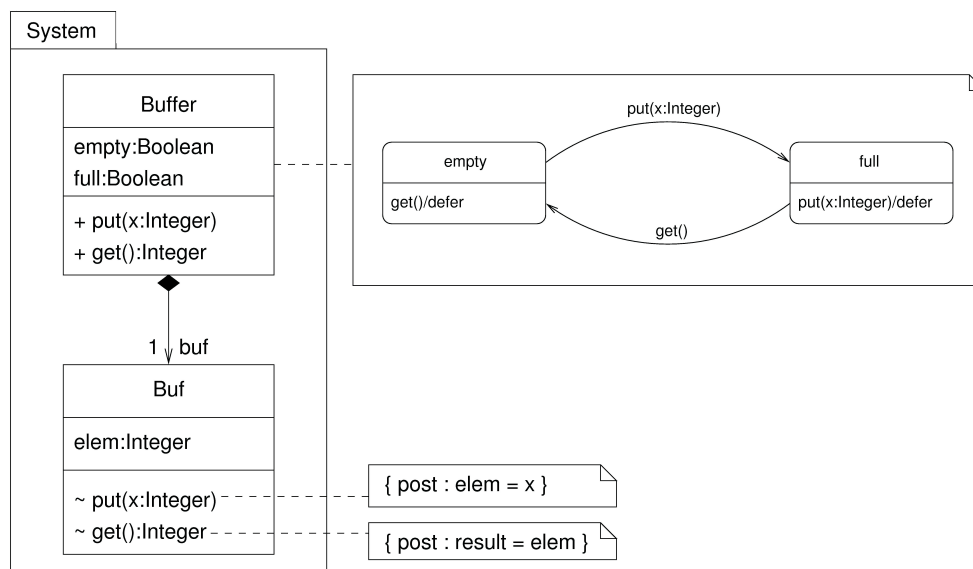


Abb. 45: Entwurf des Systems.

Die Annotation des Zustandsdiagramms der Ablaufsicht an der Klasse `Buffer` bedeutet, dass das dynamische Verhalten der Klasse durch dieses Zustandsdiagramm spezifiziert wird.

Ausgehend von dem Entwurf ist ein systematischer Übergang zu einer Implementierung in Java möglich. Die Methodenrumpfe sind in Abbildung 46 als Kommentare angefügt. Man beachte, dass das Schlüsselwort *defer* durch ein *wait-notify*-Konstrukt von Java realisiert wird.

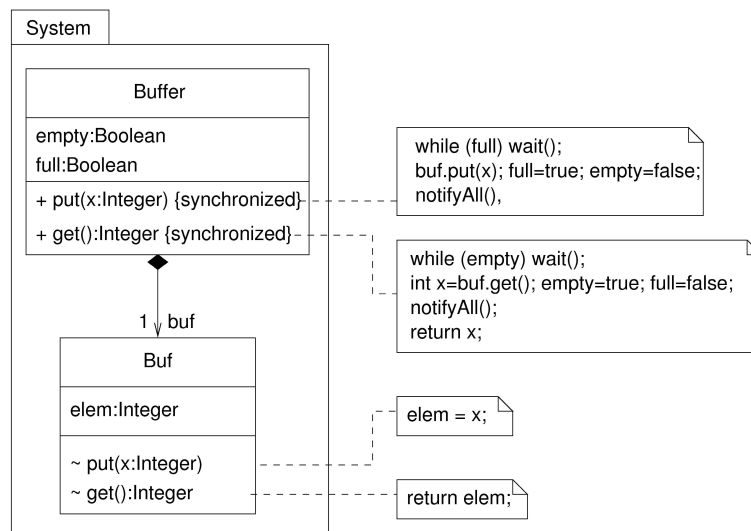


Abb. 46: Implementierung.

Durch das Kapseln in ein Paket und die Klassifizierung der Operationen von Buf als komponentenprivat (dargestellt durch ~) soll verdeutlicht werden, dass diese Operationen nur von der Klasse Buffer aufgerufen werden können. Nur die Operationen von Buffer sind öffentlich und von jeder Stelle im Gesamtsystem aus verwendbar.

3. Zusammenfassung

3.1 Stand der Entwicklung

In der ersten Förderphase wurde das DANUBIA-System von einer anfänglichen Demonstrations-Implementierung zu einem ersten Prototyp entwickelt. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Integration der Modellkomponenten, insbesondere auf der zeitlichen Koordination und dem Datenaustausch über das Netzwerk. Der Prototyp erlaubt die Durchführung einer verteilt rechnenden Simulation für ein vorgegebenes Szenario und soll in der nächsten Förderphase verbessert und erweitert werden. Diese Vorgehensweise folgt einem Prototyporientierten, inkrementellen Software-Entwicklungsprozess (POMBERGER und BLASCHEK 1993).

Zu Projektbeginn wurden durch eine detaillierte Systemanalyse fünf Hauptkomponenten sowie die Datenabhängigkeiten zwischen den Hauptkomponenten in Form von Schnittstellen identifiziert. Zur Behandlung von Simulationsräumen wurde der Begriff des Proxels verwendet. Zeitliche Aspekte wurden durch ein Modellzeit-Konzept modelliert, das die verschiedenen lokalen Zeitskalen einzelner Simulationsmodelle in einem gemeinsamen Ablauf integriert. Das Ergebnis der System-Implementierung ist ein Framework, das basierend auf dem Vererbungskonzept den Ausgangspunkt zur Entwicklung fachspezifischer Modelle bildet. Darüber hinaus implementiert das Framework alle erforderlichen Dienste zur Durchführung einer verteilten Simulation. Der Verteilungsaspekt einer integrierten Simulation ist für die Modell-Entwickler transparent realisiert. Zur Unterstützung der Modell-Entwicklung wurde eine Testumgebung erstellt, die es ermöglicht einzelne Modelle lokal, ohne Verbindung zu Datenbank und anderen Modell-Implementierungen, auszuführen. Zum Ende der ersten Projektphase wurde zudem eine Recovery-Funktionalität realisiert, die ein Wiederaufsetzen des Danubia-Systems nach Systemabbrüchen ermöglicht.

Das System ist derzeit für den Betrieb auf dem Rechnercluster von GLOWA-Danube konfiguriert. Die Installation und Bedienung erfolgt unter Verwendung von Shellskripten auf Kommandozeilebene. Die Performanz des Systems liegt etwa bei einem Faktor 60, d.h. 60 Sekunden Modellzeit entsprechen 1 Sekunde Rechenzeit.

Zur fachlichen Analyse der Ergebnisse eines integrierten Simulationslaufs durch die beteiligten Disziplinen wurden neben zahlreichen Testläufen zwei Läufe für den Simulationszeitraum 01.01.1995 bis 01.01.1997 durchgeführt. Im ersten Lauf wurden die von der Hauptkomponente *Atmosphere* exportierten Daten durch das Atmosphärenmodell *Atmostations*, im zweiten Lauf durch das Atmosphärenmodell *AtmoMM5* berechnet. Eine Bewertung zur Güte der berechneten Simulationsergebnisse findet sich in den Abschlussberichten der jeweiligen Teilprojekte.

3.2 Ausblick auf die zweite Förderphase

Der folgende Abschnitt erläutert einige Ansatzpunkte zur Überarbeitung (Refactoring (FOWLER 1999)) von DANUBIA. Anschließend skizziert Abschnitt 3.2.2 die innerhalb dieses Teilprojekts für die zweite Förderphase geplanten Vorhaben und Erweiterungen des DANUBIA-Systems.

3.2.1 Verbesserung existierender Strukturen

Die am Ende der ersten Förderphase durchgeführten Simulationsläufe haben gezeigt, dass die gegenwärtige Implementierung des DANUBIA-Systems als Ausgangspunkt für zukünftige Erweiterungen vor allem in den Bereichen Performanz und Usability weiter verbessert und vervollständigt werden muss. Darüber hinaus lassen sich in der Realisierung einzelner Komponenten und Modelle wiederkehrende Muster erkennen, aus denen sich zusätzliche Verbesserungen für das DANUBIA-Framework herleiten lassen.

Performanz. Zur Verbesserung des Laufzeitverhaltens und des Speicherplatzbedarfs eines integrierten Simulationslaufs erscheint neben einer entsprechenden Analyse und Überarbeitung der Implementierung einzelner Modelle eine Überarbeitung des DANUBIA-Datenmodells nötig. Das Datenmodell basiert auf einer Datentyphierarchie, die alle in DANUBIA ausgetauschten Daten charakterisiert (vgl. Modellierung von Datentypen in Abschnitt 2.6.2). Die zur Integration mit dem Raumkonzept verwendeten Tabellen (Abschnitt 2.4.2) enthalten in Abhängigkeit des gewählten Simulationsgebiets bis zu 80000 Datentyp-Objekte. Sowohl die Objekt-Erzeugung beim Exportieren von Daten als auch die Übertragung der (serialisierten) Tabellen über das Netzwerk erfordert einen hohen Zeitaufwand. Die Verwendung von Basisdatentypen statt der expliziten Implementierung der Datentyphierarchie würde das Laufzeitverhalten einer integrierten Simulation verbessern. Statt einer statischen Typüberprüfung könnten Konsistenzbedingungen für die Operationen der Import- und Export-Schnittstellen eine Grundlage für eine automatische Integritätsüberprüfung der ausgetauschten Daten bilden.

Usability. Wie oben erwähnt, erfolgt die Installation und Steuerung des DANUBIA-Systems zur Zeit auf Kommandozeilen-Ebene mit Hilfe von Shellskripten. Die Zustände einer laufenden Simulation werden durch Logmeldungen des Frameworks und der einzelnen Komponenten bzw. Modelle protokolliert. Es ist wünschenswert, eine komfortablere Schnittstelle zur Bedienung und Überwachung des Systems zu entwickeln. Dazu gehören beispielsweise Möglichkeiten zur Konfiguration einer integrierten Simulation genauso wie automatisierte Überwachungsprozeduren, die Konsistenzbedingungen zur Laufzeit überprüfen und Unregelmäßigkeiten geeignet protokollieren.

Zusätzliche Verbesserungen. Zu den wiederkehrenden Mustern in der Realisierung einzelner Komponenten und Modelle gehört unter anderem das Einlesen modellspezifischer Initialisierungs- und Importdaten aus Dateien (gegenüber den globalen Daten aus der Datenbank und den Import-Schnittstellen) sowie das Schreiben sektoraler Ergebnisse in verschiedenen Dateiformaten (gegenüber den globalen Ergebnissen in den Export- und Ergebnis-Schnittstellen). Eine einheitliche Behandlung dieser Anforderungen innerhalb des Frameworks würde die Konfiguration und die Verarbeitung der Ergebnisse eines integrierten Simulationslaufs vereinfachen.

Darüber hinaus existieren, entgegen ursprünglicher Annahmen über die Architektur des Gesamtsystems, kausale Zusammenhänge zwischen den Berechnungsschritten einzelner Modelle. Zur Berücksichtigung dieser Zusammenhänge ist eine sequentielle Ausführung der Berechnungsschritte verschiedener Modelle erforderlich. Hierfür wurde unter Eingriff in den Berechnungszyklus eines Simulationsmodells (Abschnitt 2.5.2) die Möglichkeit zur Subtaktung von Modellen hierarchischer Komponenten implementiert (KRAUS und LUDWIG 2003). Um Wartung, Erweiterung und Konfiguration des Gesamtsystems zu vereinfachen, ist es wünschenswert eine alternative und möglichst modulare Lösung zur sequentiellen Komposition verteilter Modellrechnungen zu finden.

3.2.2 Ausbau von DANUBIA zu einem Entscheidungs-Unterstützungssystem

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 Simulationsläufe für einfache Szenarien durchführen kann. Zentrales Ziel der zweiten Projektphase ist der Ausbau von DANUBIA zu einem Entscheidungs-Unterstützungssystem. Dazu müssen zusätzlich zu den bereits vorhandenen Komponenten zur Steuerung und Ausführung von gekoppelten Simulationen geeignete Systemkomponenten entwickelt werden, die den Benutzer dabei unterstützen Fragestellungen zur Veränderung des Wasserhaushalts zu formulieren und Handlungsoptionen für ein nachhaltiges Wassermanagement zu erschließen. Zentrale Aufgabe des Systems ist dabei die Behandlung komplexer Szenarien. Insbesondere muss das System den Benutzer bei der Erstellung von Szenarien unterstützen, so dass auf systematische Weise Randbedingungen und Annahmen, z.B. über das Verhalten einzelner Akteure oder über zukünftige Klimaentwicklungen, definiert werden können, den Benutzer bei der *Auswertung* von Szenarien unterstützen, indem Ergebnisse von gekoppelten Simulationsläufen geeignet aufbereitet werden, den Benutzer bei der *Konfliktlösung* unterstützen, indem Entscheidungsalternativen aufgezeigt und deren Auswirkungen verglichen werden können (etwa gegenüber Referenzszenarien).

Zur Lösung dieser Aufgaben müssen zunächst konzeptionelle Vorarbeiten geleistet werden, die z.B. die verschiedenen Typen von Entscheidern einordnen und den Zusammenhang zwischen entscheidungsunterstützenden Maßnahmen, Szenarien und Simulationen klären. Eine Schlüsselrolle spielen hierbei Akteure wie Landwirte, Touristen, Wasserversorger, private Haushalte und Industrie, die in GLOWA-Danube durch (tiefe) Akteursmodelle simuliert werden sollen. Die einer solchen Modellierung zugrundeliegenden Charakteristika sollen in einem abstrakten Multi-Akteursmodell formal beschrieben werden. Jedes einzelne, konkrete Akteursmodell stellt dann im Sinne des objektorientierten Vererbungskonzepts eine spezielle Ausprägung dar. Gemeinsame Mechanismen können damit in DANUBIA einheitlich behandelt und aufbereitet werden.

Grundlage des Multi-Akteurmodells ist, dass jeder Akteur eine Menge von Handlungsoptionen besitzt. Während einer Simulation werden von einem Akteursmodell Handlungsentscheidungen abhängig von gegebenen Größen berechnet. Größen, die die gewählten Handlungen eines Akteurs beeinflussen sind die vom DANUBIA Nutzer vorgegebenen Annahmen (z.B. über Klimaveränderungen), geltende Rahmenbedingungen (z.B. Gesetze oder verfügbare Technologien), geographische Daten, die als Input von anderen DANUBIA Modellen geliefert werden und den Zustand der einzelnen Proxel bestimmen, und die vom Akteur verfolgten Ziele (z.B. Kostenminimierung). Die sich daraus ergebenden Handlungsentscheidungen (z.B. über die konkrete Landnutzung) oder deren Konsequenzen (z.B. Stickstoffeintrag im Boden) werden im gekoppelten System als Input für andere DANUBIA Modelle zur Verfügung gestellt.

Zur Sicherung der Qualität des DANUBIA-Systems wurden bereits in der ersten Förderphase verschiedene konstruktive Maßnahmen angewandt wie etwa die Verwendung der objektorientierten Entwicklungsmethodik oder Techniken zur Generierung von Programmcode. In der zweiten Projektphase sollen solche Maßnahmen ergänzt werden um ein Konzept zur Fehler-Analyse bei gekoppelten Simulationen, wobei auf der Grundlage von lokalen Fehlervarian-

zen einzelner Modelle die Propagierung von Fehlern bei der Modell-Kopplung untersucht werden soll. Die so erhaltenen Informationen sind sowohl für den Modellentwickler zur Verbesserung des Systems als auch für den Benutzer zur Einschätzung der Unsicherheiten von Ergebnissen wichtig.

Literatur

- ALBERT, I. (2003) : Entwicklung eines Generators zur automatischen Erzeugung von Netzwerk-Wrappern für ein System verteilter Umweltrechnungen. Bericht über ein Fortgeschrittenen-Praktikum, Institut für Informatik, Ludwig-Maximilians-Universität München.
- 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.
- BOOCH, G., RUMBAUGH, J. und JACOBSON, I. (1999): The unified modeling language user guide. Addison Wesley object technology series.
- FOWLER, M. (1999): Refactoring: improving the design of existing code. Addison Wesley object technology series.
- GAMMA, E., HELM, R., JOHNSON, R. und VLISSIDES, J. (1995): Design patterns: elements of reusable object-oriented software. Addison-Wesley.
- HENNICKER, R., HUSSMANN, H. und BIDOIT, M. (2002): On the precise meaning of OCL constraints. In: CLARK, T. und WARMER, J. (eds.): *Advances in Object Modelling with the OCL*, Springer LNCS 2263, p. 70-85.
- KOCH, N. und KRAUS, A. (2002): The expressive power of UML-based web engineering, In: SCHWABE, D., PASTOR, O., ROSSI, G. und OLSINA, L. (eds.): *Proc. 2nd. International Workshop on Web Oriented Software Technology (IWWOST'2002)*, Workshop at the ECOOP'2002, Malaga, June 2002, Cytel, p. 105-119.
- KRAUS, A. und KOCH, N. (2002): Generation of web applications from UML models using an XML publishing framework. *Proc. of Integrated Design and Process Technology (IDPT'2002)*, Vol 1.
- KRAUS, A. und LUDWIG, M. (2003): GLOWA-Danube Papers – Technical Release No. 002 (DANUBIA-Framework).
- KRAUS, A. (2003): GLOWA-Danube Papers – Technical Release No. 002 (DANUBIA-Recovery).
- POMBERGER, G. und BLASCHEK, G. (1993): Grundlagen des Software-Engineering – Prototyping und objektorientierte Software-Entwicklung. Carl Hanser Verlag, München, Wien.
- SCHMIDT, R. (2002): Entwicklung eines Zeit-Controllers für ein System verteilter Umweltsimulationen, Bericht über ein Fortgeschrittenen-Praktikum, Institut für Informatik, Ludwig-Maximilians-Universität München.
- STIEGLER, S. (2002): Entwicklung eines Generators zur semiautomatischen Erzeugung von Web-Anwendungen aus UML Design Modellen, Ludwigs-Maximilians-Universität München, Institut für Informatik, Diplomarbeit.
- WARMER, J. und KLEPPE, A. (2003): The object constraint language: getting your models ready for MDA. Addison-Wesley. Pearson Education, Inc.

Modellierung von Wasser- und Stickstoffflüssen an der Landoberfläche mit Fernerkundung

Teilprojekt:	Hydrologie und Fernerkundung
Leiter:	Prof. Dr. Wolfram Mauser
Ausführende Stelle:	Department für Geo- und Umweltwissenschaften Sektion Geographie Lehrstuhl für Geographie und Geographische Fernerkundung Ludwig-Maximilians-Universität München Luisenstraße 37, 80333 München
Berichtersteller:	M. Braun, R. Ludwig, W. Mauser, M. Probeck, D. Reichert, R. Stolz

1. Organisation

1.1 Kurzbeschreibung der Aufgabe 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 Modelleraster. 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) werden optimierte Strategien entwickelt, um das Upscaling von der Mikro- auf die Mesoskala durch Bildung subskaliger *Geokomplexe* unter besonderer Berücksichtigung des Boden- und Reliefinflusses durchzuführen. Die im Teilprojekt entwickelten Objekte *RadiationBalance*, *Surface*, *Soil* und *AtmoStations* werden in DANUBIA zur Simulation des Ist-Zustandes im gesamten Donau-Einzugsgebiet eingesetzt.

1.2 Personal

1.2.1 Wissenschaftler

Für die Durchführung des Forschungsvorhabens waren die zugewiesenen Personalstellen im Berichtszeitraum folgendermaßen besetzt:

- 1x BAT Ila Geo-Wissenschaftler (PostDoc) mit Herrn Dr. Stefan Niemeyer. Er arbeitete vorwiegend im Bereich der Modellentwicklung, der Modellkopplung und des allgemeinen Projektmanagements.
- 1x BAT Ila/2 Geo-Wissenschaftler (Doktorand) mit Frau Dipl.-Ing. Doris Reichert. Frau Reichert beschäftigte sich im Projektteil „Skalierung“ primär mit der Regelerstellung zur Klassenbildung, der Analyse von Skalierungsansätzen sowie der multiskaligen Modellierung.

- 1x BAT Iia/2 Geo-Wissenschaftler (Doktorand) mit Herrn Dipl.Geogr. Marco Braun. Herr Braun beschäftigte sich mit der Inwertsetzung multisensoraler und multiskaliger Fernerkundungsdaten zur Ableitung von Vegetationsparametern und Modellparametrisierung.
- 1x BAT Iia/2 Geo-Wissenschaftler (Doktorand) war seit dem 01.02.2002 mit Herrn Dipl.Geogr. Markus Probeck besetzt. Er arbeitete im Bereich der Assimilierung von Fernerkundungsdaten in das hydrologische Modell sowie der Modellinvertierung.

Darüber hinaus wurden die Arbeiten innerhalb des Teilprojektes aus der Grundausrüstung der ausführenden Stelle durch Prof. Wolfram Mauser und Dr. Ralf Ludwig unterstützt.

1.2.2 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.

1.3 Anschaffungen

Für die umfangreichen und rechenintensiven Arbeiten im Bereich der Modellentwicklung, Bildverarbeitung und GIS wurden zu Projektbeginn 3 PCs (Pentium III, Doppelprozessor) und Peripherie beschafft. Die dafür entstandenen Kosten beliefen sich auf 11.662 Euro. Zusätzlich benötigte EDV-Umgebung für die Arbeiten der Projektmitarbeiter, Diplomanden und studentischen Hilfskräfte wurden aus der Grundausrüstung des Teilprojektleiters bereit gestellt.

1.4 Veranstaltungen

1.4.1. 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.

2000

- 10.11.2000 Kick-off Treffen GLOWA-Danube, München

2001

- 12.-16.03.2001 Workshop GLOWA-Danube, Frauenchiemsee
- 06.07.2001 Projekttreffen GLOWA-Danube, München
- 26.-28.10.2001 Workshop GLOWA-Danube, Söllerhaus
- 15.11.2001 Workshop GLOWA, München

2002

- 05.03. und 05.07.2002 Groundwater-Rivernetzwerk-Landsurface Treffen, München
- 14.-15.03.2002 Projekttreffen GLOWA-Danube, München
- 06.-08.05.2002 Statuskonferenz GLOWA, München

- 03.-04.06.2002 Actors-Treffen, Freiburg
- 04.-05.07.2002 Projekttreffen GLOWA-Danube, München, Doktorandenvorträge
- 10.07.2002 Projekttreffen „Disaggregation“, Freiburg
- 16.-17.07.2002 Atmosphere-Treffen, Mainz
- 01.-02.08.2002 GLOWA-Danube Treffen zum Folgeantrag I, München
- 29.-30.08.2002 GLOWA-Danube Treffen zum Folgeantrag II, Freiburg
- 19.-20.09.2002 GLOWA-Danube Treffen zum Folgeantrag III, Stuttgart
- 03.12.2002 Landsurface-Treffen, München
- 10.-11.12.2002 Scaling Workshop, Stuttgart, Doktorandenvorträge

2003

- 04.2003 GLOWA-Danube Klausurtagung Maria Waldrast
- 15.05.2003 Upscaling-Workshop, München
- 17.-18.07.2003 GLOWA-Validierungstreffen I
- 16.09.2003 GLOWA-Validierungstreffen II.

1.4.2 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:

- *Workshop „Advances in Global Change Research“*, Wengen (CH), 09/2000
Vortrag: „GLOWA-Danube – Integrative Techniques, Scenarios and Strategies regarding the Global Change of the Water Cycle“ (Mauser)
- *Projektvorstellung* im Nationalpark Berchtesgaden, 02/2001, unter Teilnahme von Vertretern der Bayerischen Staatsregierung sowie Vertretern verschiedener staatlicher Behörden
- *ATV-DVWK, „Tag der Hydrologie“*, München 22./23.03.2001
Vortrag: „Integrative, transdisziplinäre Ansätze in GLOWA-Danube“ (Ludwig)
- *XXVI General Assembly of the European Geophysical Society*, Nizza, 23.-27.3.2001
Vortrag: „Integrative Techniques, Scenarios and Strategies regarding the Water Cycle in the Upper Danube Watershed“ (Ludwig)
- *Jahrestagung des AK Hydrologie der Dt. Geogr. Gesellschaft*, Trier, 04/2001, Posterpräsentation (Ludwig)
- *Jahrestagung des AK Hydrologie der Dt. Geogr. Gesellschaft*, Berlin, 10.-12. März 2002
Vortrag: „Fusion of NOAA-AVHRR imagery and GIS-techniques to derive subscale land cover information for water balance modelling in the Upper Danube“ (Probeck)
- *XXVII General Assembly of the European Geophysical Society*, Nizza, 21.-26.4.2002
Vortrag: „Water balance modelling in the Upper Danube using subscale land use information derived from fuzzy based GIS-techniques and remote sensing“ (Ludwig)
Vortrag: „Network based modeling of mesoscale catchments - The land surface perspective of GLOWA-Danube“ (Ludwig)

- *GLOWA-Statuskonferenz*, München, 08.-10.5.02
Vortrag: „Land Surface Processes within GLOWA-Danube“ (Niemeyer)
Posterpräsentationen: „The Landsurface-Object“ (Teilprojekte Landsurface)
- *Ecosystem Management in Cultural Landscapes*. Berchtesgaden, 23.-24.5.02, Training Course, Niemeyer
- *21st Conference of Danube Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management*. Bukarest, Rumänien, 2.-6.9.02
Vortrag: „GLOWA-Danube: Integrative Techniques, Scenarios and Strategies regarding the Global Change of the Water Cycle “ (Niemeyer)
- *International Conference on Policies and Tools for Sustainable Water Management in the EU*. Venedig, Italien, 21.-23.11.02
Vortrag: “ Integrative Modelling in the Upper Danube catchment – GLOWA-Danube and the DANUBIA Decision Support System ” (Niemeyer)
- *Workshop zur großskalige Modellierung in der Hydrologie*, Magdeburg, 28./ 29.11.02
Vortrag: „Fernerkundung und fuzzy logic basierte GIS-Methoden zur Modellierung des Wasserhaushalts in mesoskaligen Einzugsgebieten“ (Ludwig)
Vortrag: „Modellierung hydrologischer Prozesse in mesoskaligen Einzugsgebieten“ (Reichert)
- *ATV-DVWK „Tag der Hydrologie“*, Freiburg, 20./21.3.2003
Vortrag: „GLOWA-Danube – Integrative hydrologische Modellentwicklung zur Behandlung von Global Change Szenarien beim Einzugsgebietsmanagement“ (Mauser)
- *XXVIII. Joint Assembly of the EGS and the American Geophysical Union*, Nizza, April 2003
Vortrag: “Distributed modeling of water and energy fluxes in mesoscale catchments using the concept of Geocomplexes“ (Ludwig)
- *2nd International Workshop on the Analysis of Multi-Temporal Remote Sensing Images*, Ispra, Italien. 16./18.07.2003
Vortrag: “Spectral unmixing of sub-scale land cover from multitemporal NOAA-AVHRR imagery using a combined GIS- and Fuzzy Logic approach” (M. Probeck)
- *7. Workshop zur großskaligen Modellierung in der Hydrologie*, München 27./28.11.2003
Vortrag: „Flächenverteilte Modellierung der Wasserflüsse in einem mesoskaligen Einzugsgebiet – Ergebnisse mit dem Skalierungsansatz „Geokomplexe“ (Reichert)“
Vortrag: „Mesoskalige Modellierung der Wasserflüsse im Einzugsgebiet der Oberen Donau – Implementierung des Integrationskonzeptes in GLOWA-Danube am Beispiel des Objektes Soil“ (Ludwig)

1.5 Veröffentlichungen und Berichte

1.5.1 Publikationen

Resultate der integrativen und sektoralen Forschung des Teilprojektes Hydrologie/Fernerkundung wurden im Berichtszeitraum veröffentlicht bzw. zur Veröffentlichung eingereicht:

LUDWIG, R., MAUSER, W., NIEMEYER, S., COLGAN, A., STOLZ, R., ESCHER-VETTER, H., KUHN, M., REICHSTEIN, M., TENHUNEN, J., KRAUS, A., LUDWIG, M., BARTH, M. and HENNICKER, R. (2003): „Web-based modeling of water, energy and matter fluxes to support decision making in mesoscale catchments – the integrative perspective of GLOWA-Danube“. In: *Physics and Chemistry of the Earth* 28, p. 621-634.

- LUDWIG, R., PROBECK, M., MAUSER, W. (2003): "Mesoscale water balance modelling in the Upper Danube watershed using sub-scale land cover information derived from NOAA-AVHRR imagery and GIS-techniques". In: *Physics and Chemistry of the Earth* 28, p. 1351-1364.
- MAUSER, W., BECKER, A., SPETH, P. and VLEK, P. (2001): Integrated River Basin Management – the GLOWA projects; 1st Global Change Open Science Conference, Amsterdam, July 10-13, 2001 "Challenges of a Changing Earth", Abstract of Oral Presentation, (www.sciconf.igbp.kva.se), p. 54.
- MAUSER, W., BECKER, A., TENHUNEN, J. and SCHNEIDER, K. (2001): Water in Complex Landscapes: Recent Achievements by German Research Groups. In: HEINEN, D. et al. (eds): Contributions to Global Change Research, A Report by the German National Committee on Global Change Research, pp. 54-59.
- MAUSER, W. and LUDWIG, R. (2002): GLOWA-DANUBE – A research concept to develop integrative techniques, scenarios and strategies regarding global changes of the water cycle. In: BENISTON, M. (ed): Climatic Change: Implications for the Hydrological Cycle and for Water Management. Advances in Global Change Research, 10. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht and Boston, pages 171-188.
- MAUSER, W., LUDWIG, R., STOLZ, R., VOGEL, T., DABBERT, S., WINTER, T. and HERRMANN, S. (2002): Integrative Techniken, Szenarien und Strategien zum Globalen Wandel des Wasserkreislaufs am Beispiel des Einzugsgebiets der Oberen Donau. In: BÖCKER, R. (Hrsg.): Globale Klimaänderung und Ernährungssicherung, 34. Hohenheimer Umwelttagung 2002, S. 157-163, Verlag Günter Heimbach.
- MAUSER, W., COLGAN, A., LUDWIG, R., NIEMEYER, S., PROBECK, M., REICHERT, D. und STOLZ, R. (2002): GLOWA-Danube - Werkzeuge zum Integrativen Einzugsgebietsmanagement der Oberen Donau. Münchener Geographische Abhandlungen A52, S. 275-285.
- MAUSER, W., LUDWIG, R. und NIEMEYER, S. (2003): GLOWA-Danube – Integrative hydrologische Modellentwicklung zur Behandlung von Global Change Szenarien beim Einzugsgebietsmanagement – erste Erfahrungen. Tagungsband "Tag der Hydrologie", Universität Freiburg, S. 235-242.
- NIEMEYER, S., MAUSER, W., LUDWIG, R. and STOLZ, R. (2002): "GLOWA-Danube: Integrative Techniques, Scenarios and Strategies regarding the Global Change of the Water Cycle". In: *21st Conference of Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. Bukarest, Sept. 2-6, 2002.*
- NIEMEYER, S., LUDWIG, R., MAUSER, W. (2002): "Integrative Modelling in the Upper Danube catchment – GLOWA-Danube and the DANUBIA Decision Support System." In: *Proc. Int. Conference on Policies and Tools for Sustainable Water Management in the EU. Venedig, Italien, Nov. 21-23, 2002.*
- PROBECK, M., LUDWIG, R. and MAUSER, W. (2003): Spectral unmixing of sub-scale land cover from multitemporal NOAA-AVHRR imagery using a combined GIS- and fuzzy logic approach. Proceedings of the 2nd International Workshop on the Analysis of Multitemporal Remote Sensing Data (MultiTemp-2003). Ispra, Italy 16-18 July 2003 (im Druck).
- PROBECK, M., LUDWIG, R. and MAUSER, W. (2004): "Fusion of NOAA-AVHRR imagery and GIS-techniques to derive subscale land cover information for the Upper Danube watershed." In: *Die ERDE*, 134, (im Druck).
- REICHERT, D., LUDWIG, R. und MAUSER, W. (2003): Subskalige Modellierung hydrologischer Prozesse in mesoskaligen Einzugsgebieten. In: HENNRICH, K. et al. (Hrsg.): Flußgebietsmanagement – 6. Workshop zur Großskaligen Modellierung in der Hydrologie, Magdeburg 2002. Kassel University Press, S. 21-32.

REICHERT, D., LUDWIG, R. und MAUSER, W. (2004): Flächenverteilte Modellierung der Wasserflüsse in einem mesoskaligen Einzugsgebiet – Ergebnisse mit dem Skalierungsansatz „Geokomplexe“; In: LUDWIG, R. (Hrsg.): Neue methodische Ansätze zur Modellierung der Wasser- und Stoffumsätze in großen Einzugsgebieten – 7. Workshop zur Großskaligen Modellierung in der Hydrologie, München 2003, 209 S.

1.5.2 Berichte, Anträge

Zur Dokumentation der technischen Entwicklung des Systems DANUBIA wurden Technical Releases angefertigt, die Aufbau und Inhalt einzelner Modellkomponenten beschreiben. Im Berichtszeitraum wurden folgende Rechenschaftsberichte für den Projektförderer angefertigt:

- Jahresbericht 2001 an das BMBF (Januar 2002)
- Kurzbericht, deutsch, an die Gutachter zum Statusseminar 2002 (Mai 2002)
- Kurzbericht, englisch, an die Gutachter zum Statusseminar 2002 (Mai 2002)
- Jahresbericht 2002 an das BMBF (Januar 2003)
- Jahresbericht 2003 an das BMBF (April 2004)

Die Fortsetzung des Projektes ab dem 01.03.2004 wurde beantragt:

- Folgeantrag für den Projektzeitraum 2004-2006 an das BMBF (Oktober 2002).

1.6 Diplomarbeiten

Die Forschungsaktivitäten des Teilprojektes Hydrologie/Fernerkundung wurden durch Diplomarbeiten unterstützt. Dabei sind Diplomarbeiten mit integrativem und sektoralem Charakter zu unterscheiden. Die sektoralen Diplomarbeiten wurden durch Herrn Prof. Dr. Mauser und Herrn Dr. Ludwig betreut; Themen integrativer Ausrichtung wurden darüber hinaus durch GLOWA-Projektpartner begleitet:

Modellierung des Stickstoffhaushaltes im Einzugsgebiet der Rott mit Hilfe der Fernerkundung (Monika Rothbart) in Verbindung mit dem Teilprojekt Farming.

Die mesoskalige Modellierung des Wasserhaushalts der Oberen Donau mit Niederschlagsfernerkundung (Uta Schirpke) in Verbindung mit dem Teilprojekt Niederschlag.

Skalierung von Abflussbildung und Abflusskonzentration (Markus Muerth).

2. Ergebnisse

2.1 Formulierte Ziele der ersten Förderphase

- Entwicklung eines mesoskaligen Landoberflächen-Objektes (*Landsurface-Object*) zur Beschreibung der Energie-, Wasser- und Stickstoffflüsse an der Landoberfläche
- Integration des Landoberflächen-Objektes in DANUBIA, gemeinsame Beschreibung und Definition der Schnittstellen auf der Basis der Unified Modelling Language (UML) und unter Nutzung des Netzwerk-Datenaustausch-Protokolls RMI
- Untersuchungen zur Skalierung von Landoberflächenprozessen und zur optimalen subskaligen Parametrisierung der Landoberfläche
- Untersuchungen zur Bestimmung von Landoberflächenparametern aus den neuen Fernerkundungs-Sensoren ASTER, MODIS und MERIS und Entwicklung von Verfahren zu ihrer Assimilation im Landoberflächen-Objekt

- Gemeinsame erste Modell-Läufe in DANUBIA mit den übrigen Arbeitsgruppen zum proof of concept und zur Validierung des Systems anhand des Ist-Zustandes sowie Bereitstellung von Datensätzen für andere Gruppen.

2.2 Sektorale Arbeiten

Die sektoralen Forschungsaktivitäten umfassen sowohl hydrologische als auch fernerkundliche Fragestellungen. Im Bereich der Hydrologie stehen Arbeiten zur Modellentwicklung der DANUBIA-Objekte im Zuständigkeitsbereich des Teilprojektes, sowie die Konzeptentwicklung und Implementierung des Skalierungsansatzes Geokomplexe im Vordergrund. 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 wissenschaftlichen Entmischung von Reflexionswerten multiskaliger Fernerkundungsdaten.

2.2.1 Hydrologische Fragestellungen

2.2.1.1 Modellentwicklungen der DANUBIA-Objekte

Das Teilprojekt „Hydrologie/Fernerkundung“ ist im Rahmen der Entwicklung des *Land-surface*-Objektes von DANUBIA für die Entwicklung der Objekte *RadiationBalance*, *Surface* und *Soil* verantwortlich. Darüber hinaus wurde das Modul *AtmoStations* entwickelt, welches räumlich und zeitlich interpolierte Messdaten der meteorologischen Stationen in Bayern, Baden-Württemberg und Österreich für die Fläche der Oberen Donau in stündlicher Auflösung bereitstellt.

2.2.1.1.1 *RadiationBalance*

Das Objekt *RadiationBalance* im Verbundobjekt *Landsurface* wurde während des Berichtszeitraumes von der Gruppe Hydrologie/Fernerkundung (Mauser) von der Konzeption in UML hin zu einem lauffähigen Teilmodell mit voller Funktionalität entwickelt. *RadiationBalance* berechnet die Strahlungsbilanz der Landoberfläche und verteilt die vom *Atmosphere*-Verbundobjekt gelieferten meteorologischen Parameter in vertikalen Schichten im Bestand, sofern Vegetation auf der Landoberfläche vorhanden ist. Außerdem bestimmt es einen Impulsfluss in die Atmosphäre, der für die Rückkopplung mit dem Objekt *AtmoMM5* im Verbundobjekt *Atmosphere* von Bedeutung ist. Schließlich wird hier die Phasenunterscheidung des Niederschlages vorgenommen (Schnee/Regen). Abbildung 1 zeigt schematisch den Datenimport, die im Objekt berechneten Prozesse, und den Datenexport an weitere Teilmodelle. Die kurzwellige Rückstrahlung wird über eine landnutzungsabhängige Albedo bestimmt. Die langwellige Rückstrahlung wird als Emission der Landoberfläche in Abhängigkeit ihrer Temperatur und der landnutzungsabhängigen Emissivität der Landoberfläche berechnet. Innerhalb eines Vegetationsbestandes erfolgt eine schichtweise Absorption der kurz- und langwelligen Strahlung (CAMPBELL und NORMAN 1998), wobei die kurzwellige Komponente in die vier Strahlungsflüsse diffus und direkt sowie photosynthetisch aktiv und gesamte kurzwellig unterschieden wird. Die nach Durchdringen der Vegetation verbleibende Strahlungsenergie steht am Boden den turbulenten Energieflüssen zur Verfügung.

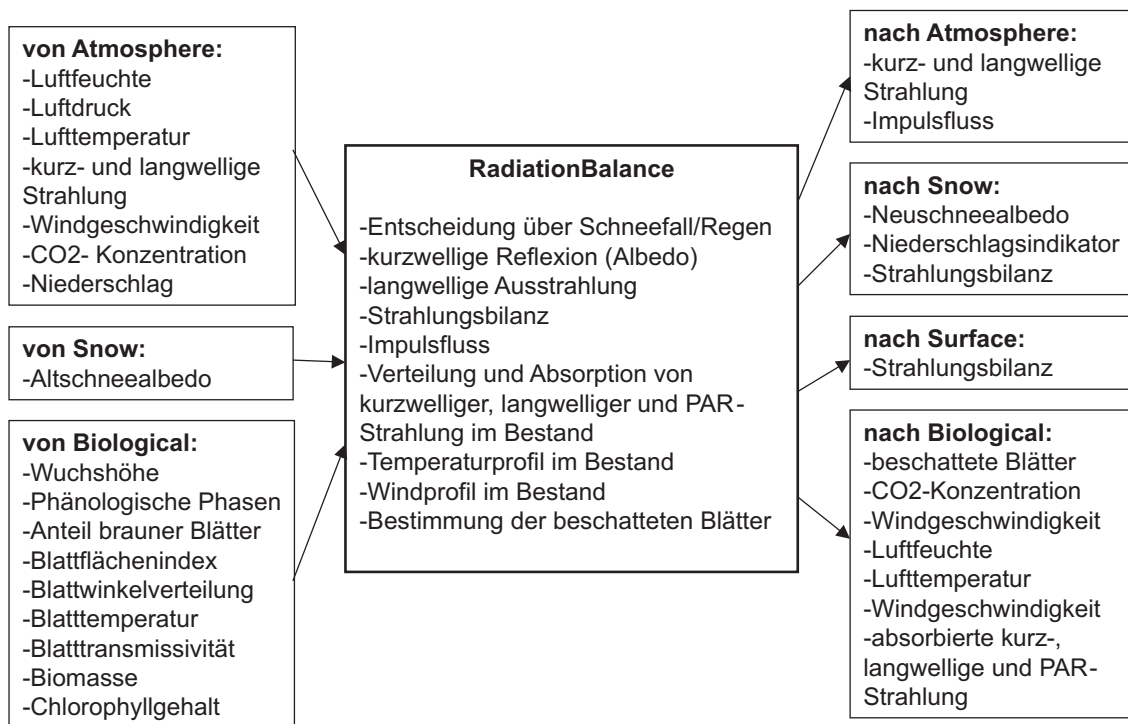


Abb. 1: Datenfluss zum und vom Objekt RadiationBalance im Verbundobjekt *Landsurface* sowie von ihr bearbeitete Prozesse.

Die Unterscheidung der Phase des Niederschlages erfolgt in Abhängigkeit der Lufttemperatur, wobei die Grenztemperatur auf 0.05°C gesetzt wurde. Da der Wert der Windgeschwindigkeit routinemäßig für 10m Höhe über Boden gilt, wird ein logarithmisches Windprofil angenommen, um den Wert auf Vegetationshöhe zu reduzieren. Innerhalb des Bestandes gilt dieses logarithmische Profil nicht mehr; es wird nach GOUDRIAAN (1977) ein exponentielles Modell in Abhängigkeit der Wuchshöhe, der Blattform und des Blattflächenindex angewendet. Der Impulsfluss in die Atmosphäre wird über die Reibungsgeschwindigkeit (friction velocity) aus der horizontalen Windgeschwindigkeit und der Rauigkeit der Landoberfläche berechnet. Das Profil der Lufttemperatur innerhalb des Bestandes wird von der Lufttemperatur der Grenzfläche Bestand-Atmosphäre bestimmt, wobei eine Dämpfung der Amplitude und zeitliche Verschiebung der Temperaturen im Bestand in Abhängigkeit der Eindringtiefe vorgenommen wird. Das mit diesen Funktionalitäten ausgestattete Objekt ist vollständig und lauffähig in DANUBIA implementiert.

2.2.1.1.2 Surface

Das Objekt *Surface* ist Teil des Verbundobjektes *Landsurface*. Es ist den Objekten *RadiationBalance* und *Snow* nachgeordnet, rechnet zeitlich parallel zum Objekt *Biological* und vor dem Objekt *Soil*. In *Surface* werden die auf der nicht schneebedeckten Landoberfläche ablaufenden physikalischen Prozesse in Abhängigkeit der Landnutzung modelliert. Einen Überblick über Import-Daten, modellierte Prozesse und Ergebnisdaten zeigt Abbildung 2.

Das Objekt *Surface* wurde im Berichtszeitraum in vollem Funktionsumfang in DANUBIA implementiert. Die landnutzungsabhängige Bearbeitung der Energiebilanz in *Surface* ermöglicht die gemeinsame Bearbeitung dieses Objektes durch die Teilprojekte Hydrologie/Fernerkundung (Mauser) und Glaziologie (Kuhn). Da Gletscher in GLOWA-Danube konzeptionell als Landnutzung betrachtet werden, werden die dort ablaufenden Prozesse gletscherspezifisch von der Gruppe Glaziologie (Kuhn) beschrieben und modelliert. Das Objekt *Surface* bestimmt einerseits die Energiebilanz der Landoberfläche, andererseits übernimmt es die Zwischenspeicherung des Niederschlages in Form von Interzeption.

Zur Bestimmung der Energiebilanz wird der Bodenwärmestrom als Funktion der Strahlungsbilanz am Boden und des Bedeckungsgrades modelliert. Die Evaporation setzt sich

zusammen aus der Interzeptionsverdunstung und der Bodenverdunstung, wobei das für letztere zur Verfügung stehende Wasser vom Teilmodell *Soil* geliefert wird. Der fühlbare Wärmestrom wird momentan als Residuum der Energiebilanz bestimmt. Die Transpiration als pflanzengesteuerter Anteil der Evapotranspiration wird im Teilmodell *Biological* modelliert. Die Füllung des Interzeptionsspeichers erfolgt in Abhängigkeit der Blattfläche und der Niederschlagsintensität, die vom Objekt *Biological* und dem Verbundobjekt *Atmosphäre* zur Verfügung gestellt werden. Während das Wasser von den Blättern mit potentieller Rate verdunstet, ist bei der Bodenverdunstung ein Bodenwiderstand in Abhängigkeit der Wasserverfügbarkeit zugeschaltet. Der Verdunstung liegt der Ansatz von Penman bzw. Penman-Monteith zugrunde.

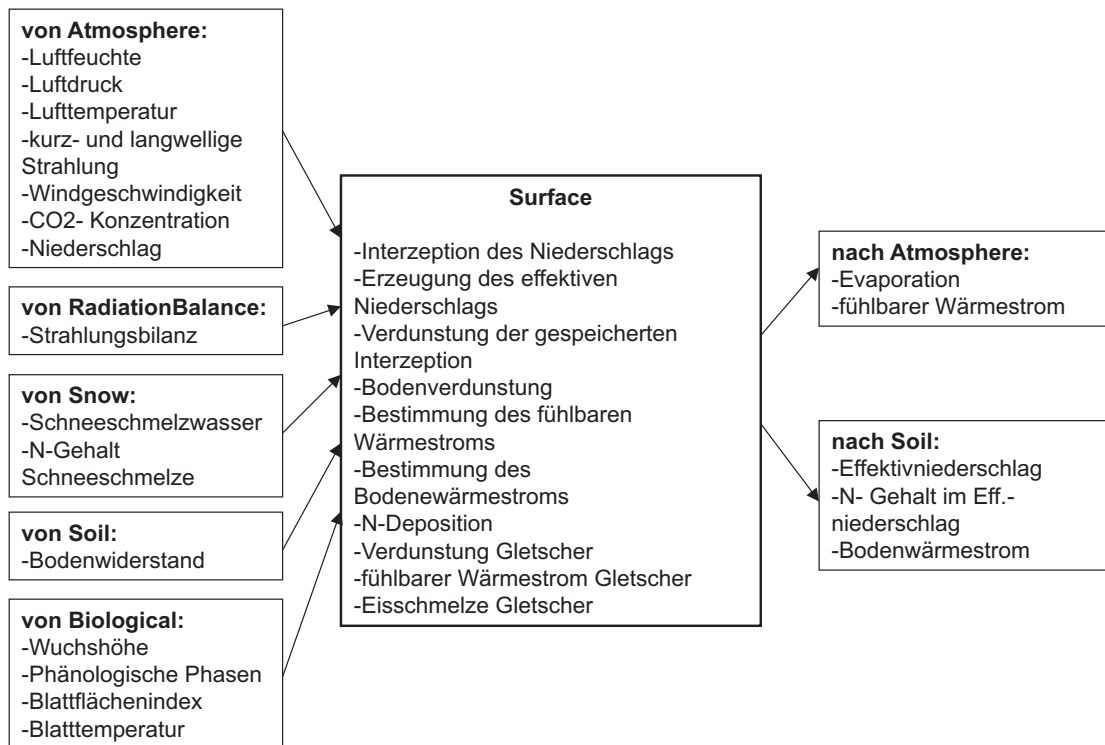


Abb. 2: Datenfluss zum und vom Objekt *Surface* im Verbundobjekt *Landsurface* sowie von ihm bearbeitete Prozesse.

2.2.1.1.3 *Soil*

Das Objekt *Soil* ist innerhalb des Verbundobjektes *Landsurface* für die Berechnung der Wasserflüsse im Boden, der Bodentemperatur sowie des Bodenstickstoffhaushaltes zuständig. Es ist hierin den anderen Objekten des Verbundobjektes zeitlich nachgeordnet. Es greift also als letztes Modul je Berechnungszeitschritt auf die Ausgaben der anderen Module zu, gibt Werte an die Objekte *Biological* und *Surface* zurück, bedient über den *LandsurfaceController* das Verbundobjekt *Rivernetwork* und steht mit dem Verbundobjekt *Groundwater* im Austausch. In Abbildung 3 sind die Schnittstellen für den Import von Daten und den Export von Ergebnissen sowie die im Objekt berechneten Prozesse schematisch dargestellt. Die Grundlage für die Entwicklung des eingesetzten Mehrschicht-Bodenmodells stellt die Implementierung in PROMET-V (SCHNEIDER 1999) dar. Hier werden die bodenspezifischen Wasserflüsse aus einer Kombination des Eagleson-Ansatzes (EAGLESON 1978) mit einem Kaskadenmodell nach RITCHIE et al. (1998) berechnet. Der Eagleson-Ansatz stellt eine analytische Lösung für die auf der Philip-Gleichung basierende eindimensionale Berechnung der vertikalen Wasserflüsse (Infiltration, Exfiltration, Perkolation und kapillarer Aufstieg) in einer semi-infiniten, homogenen Bodensäule dar.

Die Philip-Gleichung wird dabei um die Entnahmeterme für Transpiration und Evaporation ergänzt. Die Modellierung dieser Größen wird durch die Teilmodelle *Biological* bzw. *Surface* übernommen. Die Änderung des Wassergehaltes im Boden ist dabei eine Funktion der Diffusivität, der effektiven hydraulischen Leitfähigkeit, der Schichtmächtigkeit, der Entnahmeterme und der Zeit.

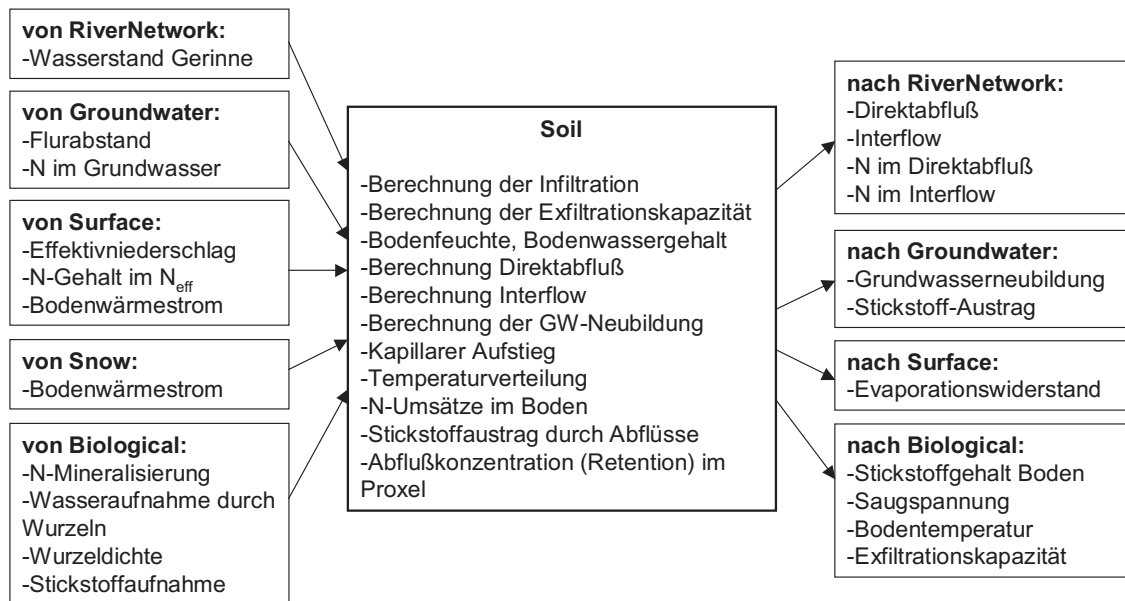


Abb. 3: Datenfluss zum und vom Objekt Soil im Verbundobjekt *Landsurface* sowie von ihr bearbeitete Prozesse.

Die Einführung des Mehrschichtmodells dient der verbesserten Beschreibung der vertikalen Verteilung der Bodenfeuchte in der Bodensäule. Die Mächtigkeit der einzelnen Schichten wurde a priori festgelegt (20cm, 60cm, 120cm). Die zur Parametrisierung des Kaskadenmodells erforderlichen Größen sind aus der Bodenart ableitbar. Die Zugabe von Effektivniederschlag aus dem Teilmodell *Surface* erfolgt zunächst an die oberste Bodenschicht (Infiltrationskapazität berechnet aus Eagleson-Ansatz). Übersteigt der Wassergehalt der obersten Bodenschicht die Vollsättigung (als Funktion der Porosität und Schichtdicke), so fließt überschüssiges Wasser oberirdisch ab (retentierete Übergabe an Verbundobjekt *Rivernetwork*); die Perkolation in die unterliegende Schicht erfolgt gemäß der hydraulischen Sättigungsleitfähigkeit des Bodens. Bei Erreichen der Vollsättigung der zweiten Schicht wird überschüssiges Wasser als Interflow zeitlich verzögert an das Objekt *Rivernetwork* abgegeben, die Perkolation in die dritte Schicht erfolgt wieder gemäß der hydraulischen Sättigungsleitfähigkeit. Dort erfolgt die Berechnung analog. Die Sickerwasserrate (Übergabe als Grundwasserneubildung an Verbundobjekt *Groundwater*) entspricht somit der Perkolation aus der dritten Schicht. Der nach dem Eagleson-Ansatz berechnete kapillare Aufstieg wird zum Wassergehalt der untersten Bodenschicht gezählt.

Die Modellierung einer oberflächennahen Bodenschicht hat wegen des schnelleren Aufbrauchs des Wasservorrats durch die Zunahme des Matrixpotentials Konsequenzen für die Evaporation, weswegen die Berechnung eines Evaporationswiderstandes (in *Surface*) nach KONDO (1992) eingeführt wurde.

Die physikalisch basierte Modellierung des zeitlichen Temperaturverlaufs in den drei Bodenschichten wird über die von den Objekten *Surface* und *Snow* gelieferten und die dorthin abgegebenen Wärmeströme gesteuert. Der jeweilige Temperaturgradient ergibt sich dabei in Abhängigkeit der bodenartspezifischen volumetrischen Wärmekapazität, der thermischen Leitfähigkeit und Diffusivität und einer Dämpfungstiefe.

Die Modellierung des Stickstoffhaushaltes wurde implementiert und in einer lokalen Testumgebung getestet. Nach Verfügbarmachung der noch ausstehenden Stickstoffgaben aus

den Teilobjekten Farming (Düngung), Atmosphäre (Deposition) und Biological (Mineralisierung) wird die Komponente in DANUBIA implementiert werden. Die Modellierung von Stickstoffhaushalt und -transport erfolgt in Anlehnung an das in PROMET-V angewendete Modell zur Berechnung der pflanzenverfügbaren Stickstoffmenge im Boden aus den Umsatzprozessen der Mineralisation, Immobilisation, Hydrolyse, Nitrifikation und Denitrifikation. Die Modellierung der Stickstoffverlagerung ist dabei direkt an die Wasserflüsse gebunden, so dass der Austrag von Nitrat (N-Leaching an *Groundwater*, N im Direktabfluss und Interflow an *Rivernetzwerk*) direkt proportional zur Sickerwassermenge ist. Es wird angenommen, dass Nitrat in wässriger Lösung vorliegt und in jeder Bodenschicht gleichmäßig verteilt ist.

2.2.1.1.4 *AtmoStations*

Das Objekt *AtmoStations* liefert meteorologische Daten auf der Grundlage von Stationsmessungen der meteorologischen Dienste. Es wurde in der Berichtsperiode in das Verbundobjekt *Atmosphäre* integriert und angepasst. Das Teilmodell *AtmoStations* liefert meteorologische Eingangsgrößen, mit denen DANUBIA auf der Grundlage von Stationsmesswerten betrieben wird. Flächenverteilte Ausgaben der von *AtmoStations* berechneten meteorologischen Felder sind Niederschlag, Temperatur, Luftdruck, relative Luftfeuchte sowie Windgeschwindigkeit und -richtung in stündlicher Auflösung. Die kurzwelligen und langwelligen Strahlungsterme werden aus der aufgezeichneten Bewölkung abgeleitet. Die von *AtmoStations* produzierten Größen werden von den nachgeschalteten Objekten *RadiationBalance* und *Surface* verwendet. Auftretende Fehler wurden gemeldet und korrigiert und führten damit zu Verbesserungen in *AtmoStations*. Des Weiteren wurde das Objekt in seiner Laufzeit optimiert.

Die für *AtmoStations* notwendigen Eingangsdaten standen von insgesamt etwa 450 Messstationen des DWD und ÖWD zur Verfügung. Durch die Aufbereitung der Daten in das von *AtmoStations* geforderte Format konnten zahlreiche Inkonsistenzen, Fehlwerte und Datenausfälle (insbesondere in den österreichischen Daten) identifiziert und von der Interpolation der meteorologischen Felder ausgeschlossen werden.

2.2.1.2. Der Skalierungsansatz „Geokomplexe“

Während auf der Mikroskala (100m) bis zu 100 verschiedene, verortete Parametersätze aus Landnutzung, Bodenart und Topographie pro km² bestehen können, ist es auf der homogenen Mesoskala nur jeweils ein Parametersatz je Proxel. Dieser Verlust von hydrologisch relevanter Information zieht in der hydrologischen Modellierung auf der Mesoskala besonders in heterogenen Einzugsgebieten enorme Fehler nach sich. Um die Datenmenge innerhalb eines km² zu reduzieren, aber die hydrologisch relevante räumliche Heterogenität zu erhalten, wurde für die skalierte, hydrologische Modellierung das Konzept der Geokomplexe entwickelt, das für mesoskalige Rasterflächen [n] Parametersätze subskalig modelliert ($n \geq 1$).

Dieses Konzept ist dadurch gekennzeichnet, dass jede 1km-Rasterzelle (Proxel) aus verschiedenen Fraktionen homogener Klassen zusammengesetzt ist. Für diese homogenen Klassen lassen sich die Wasser- und Stickstoffflüsse mikroskalig berechnen. Mit den bekannten Anteilen lassen sich damit die hydrologischen Flüsse aggregieren (vgl. Abb. 4). Ziel ist die Bildung sogenannter Geokomplexe, welche die heterogenen Informationen oben genannter Parameter auf der Mikroskala für die Anwen-

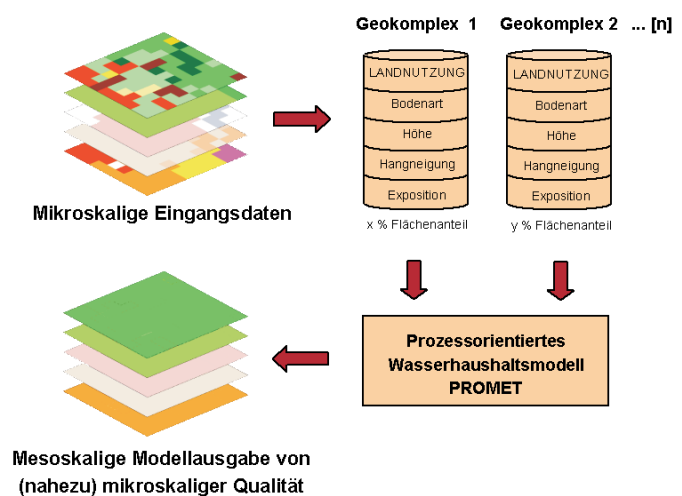


Abb. 4: Schematische Darstellung des Konzeptes der Geokomplexe.

dung auf der Mesoskala bündeln. Die Skalierungsstudien verfolgen den Zweck, letztendlich bei einer höchstmöglichen Reduktion der Anzahl von Geokomplexen in einem Proxel dennoch adäquate Resultate bei der Modellierung auf der Mesoskala zu erhalten.

Konzeptionelle Grundlagen

Grundlegende Sensitivitätsstudien wurden am Ausgangsmodell PROMET zu Beginn der ersten Projektphase durchgeführt, mit denen die Relevanz der subskaligen Erfassung der Landnutzung für die Modellierung auf der Mesoskala aufgezeigt werden konnte. In der jetzigen funktionalen Ausbaustufe bietet PROMET optional die Verwendung homogener Landnutzung und heterogener (fraktioneller) Landnutzungsinformation je Rasterelement an.

Bei ansonsten gleichen Bedingungen (Topographie, Meteorologie, Boden) führt beispielsweise die Einstufung nach Majorität in die Klasse „Ackerland“ durch die Unterschiede in der Parametrisierung zu beträchtlichen Unterschieden im Tagesgang der Evapotranspiration. Gravierende Auswirkungen auf das Modellergebnis zeigen sich insbesondere auch bei der Modellierung von Direktabfluss. Die subskalige Beschreibung der Landnutzung ermöglicht eine detailliertere Beschreibung der räumlichen Verteilung versiegelter Flächen, die im Falle von flüssigem Niederschlag Direktabfluss produzieren.

Methodik

Die Reduktion der Datenmenge innerhalb eines km^2 ist dann zweckmäßig, wenn die räumliche Landoberflächenheterogenität erhalten bleibt, da auf diese Weise die Abweichung zwischen den mikro- und mesoskaligen Modellierungen möglichst klein gehalten wird. Entscheidend ist dabei das Verfahren, mit dem möglichst wenige, aber die für die Wasserhaushaltsmodellierung effektiven Geokomplexe generiert werden. Bei der Generierung ist die Hierarchisierung und die daraus folgende Zuordnung von Datenebenen von fundamentaler Bedeutung. Eine gezielte und hierarchische Aggregation der Parameter nach deren hydrologischer Priorität stellt die hydrologische Wirksamkeit der Geokomplexe und deren subskaliger Modellierung sicher.

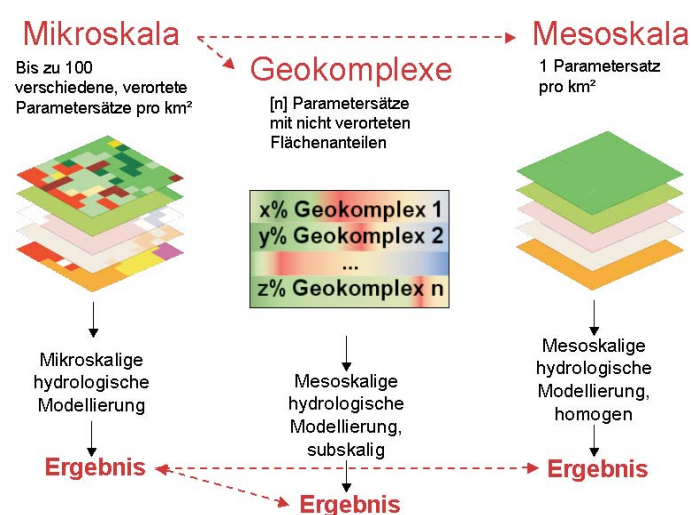


Abb. 5: Konzept der Sensitivitätsstudie.

In gezielten Sensitivitätsstudien zur Bestimmung der hydrologischen Relevanz der Geokomplexe (vgl. Abb. 5) wurde die Abhängigkeit der Ergebnislage von der Hierarchisierung bei deren Generierung untersucht. So bestätigte sich erwartungsgemäß der entscheidende Einfluss der Landnutzung auf hydrologische und energetische Prozesse, indem das Ergebnis der subskaligen Modellierung bei der Generierung der Geokomplexe nach der Landnutzung sowie nach dem Boden eine deutliche Verbesserung im Hinblick auf die mikroskaligen Modellierungen aufzeigte. Die Topographie besitzt demnach eine nur sehr untergeordnete Bedeutung für die adäquate Abbildung des Wasserhaushaltes auf der Mesoskala.

In diesem Skalierungsschema kommt infolgedessen der Landnutzung die oberste hydrologische Priorität zu, der durch automatisierte GIS-Operationen jeweils deren häufigste Bodenart und die spezifischen topographischen Größen (Höhe, Gefälle, Exposition) zugeordnet wird. Sensitivitätsstudien am Punkt zeigen, dass durch dieses Verfahren die wesentlichen Flüsse in ausreichender Genauigkeit abgebildet werden konnten und es zu einer hohen Übereinstimmung der subskaligen Ergebnisse mit denen der Mikroskala kommt (vgl. REICHERT et. al. 2003). Eine weitergehende Aufspresung der Geokomplexe durch den zusätzlichen Erhalt der Bodeninformationen und die damit verbundene verbesserte Abbil-

dung der mikroskaligen Heterogenität führte zu weiteren Verbesserungen. Da dies jedoch die Rechenzeit durch vermehrte Rechenläufe deutlich erhöht, wurde für die im Berichtszeitraum implementierten flächenverteilten Modellierungen darauf verzichtet. Dieser Ansatz vollzieht eine sinnvolle und dem Gebiet entsprechende starke Komprimierung des Parameterraums für das mesoskalige Modell und ermöglicht damit eine Übertragung der wesentlichen Informationen von der Mikro- auf die Mesoskala, ohne dabei einzelne Klassen z.B. der Landnutzung zu verlieren. Dabei können die mikroskalig ausgetesteten Modelle und Parametersätze beibehalten und mit einem Minimum an Rechenzeit adäquate Resultate auf der Mesoskala erzielt werden, die dem Vergleich mit der Mikroskala standhalten. Für die Vergleichsrechnungen wurde das SVAT-Modell PROMET (MAUSER und SCHÄDLICH 1998) verwendet.

Punktmodellierungen

Modelliert wurden jeweils Tageswerte der Evapotranspiration, der Bodenfeuchte und der Saugspannung für den Zeitraum 1.1.-31.12.1996. Der Vergleich der Ergebnisse auf der Mesoskala zeigt eine deutliche Verbesserung durch die Methode der subskaligen Modellierung gegenüber der konventionellen homogenen, indem die Abweichungen von den Ergebnissen der Mikroskala wesentlich geringer ausfallen (vgl. Abb. 6).

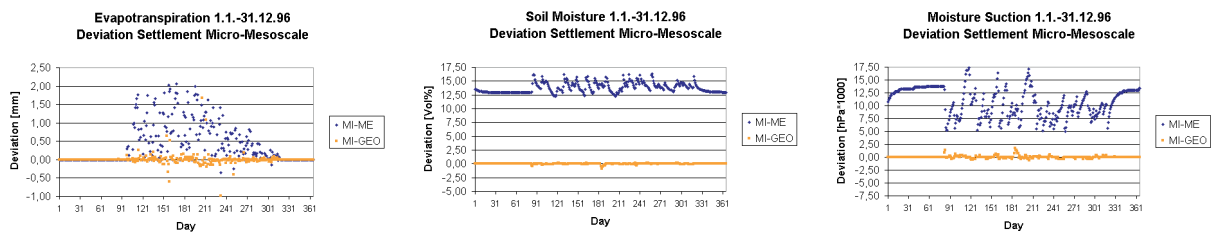


Abb. 6: Abweichung der modellierten Evapotranspiration, Bodenfeuchte und Saugspannung am Punkt „Siedlung“: Mikroskala minus Mesoskala (MI-ME) und Mikroskala minus Geokomplexe (MI-GEO).

Weitere Punktmodellierungen für das hydrologische Jahr 1997 zeigen ebenfalls eine deutliche Annäherung der subskaligen hydrologischen Ergebnisse an die Ergebnisse der Mikroskala (vgl. Abb. 7a), was ferner mit den Abweichungen von der Mikroskala (vgl. Abb. 7c) als auch mit den Korrelationen (vgl. Abb. 7b und 7d) bestätigt wird.

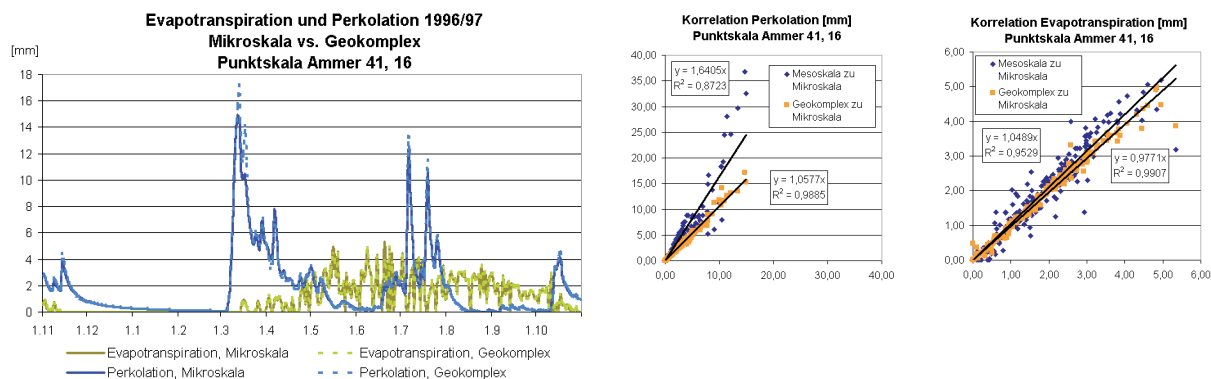


Abb. 7a: Evapotranspiration und Perkolation im hydrologischen Jahr 1997: Mikroskala vs. Geokomplexe.

Abb. 7b: Korrelationen von Perkolation und Evapotranspiration: Mesoskala bzw. Geokomplexe zur Mikroskala 1996/97.

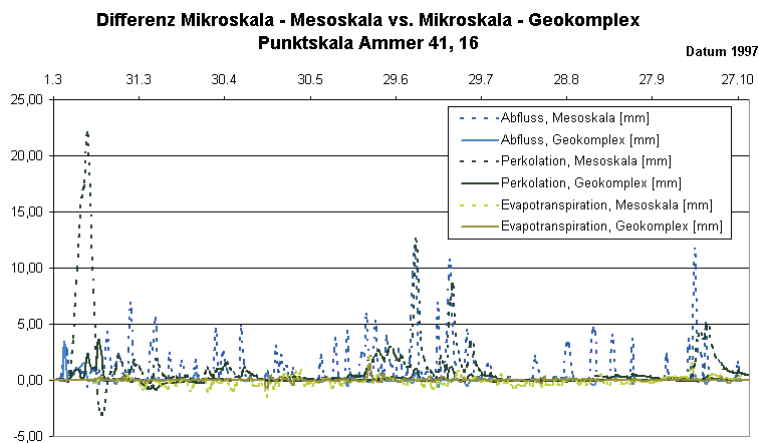


Abb. 7c: Abweichung des modellierten Direktabflusses, der Evapotranspiration und Perkolation: Mikroskala minus Mesoskala und Mikroskala minus Geokomplexe im hydrologischen Jahr 1997.

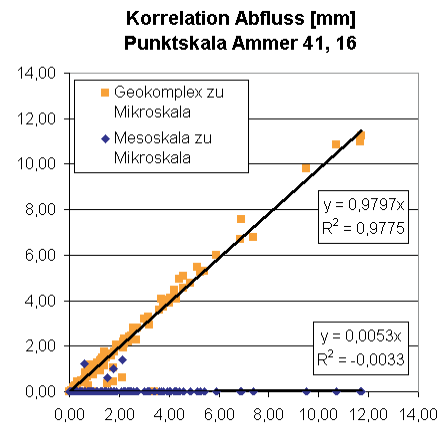


Abb. 7d: Korrelation des Abflusses: Mesoskala bzw. Geokomplexe zur Mikroskala 1996/97.

Flächenverteilte Anwendung

Das Verfahren der Generierung der Geokomplexe, der Modellierung sowie der Auswertung wurde automatisiert und in das SVAT-Modell PROMET implementiert, um die Effizienz flächenverteilt für das Einzugsgebiet der Ammer (709km²) untersuchen zu können. Es zeigt sich, dass die Verwendung der Geokomplexe auf der Mesoskala zu deutlichen Verbesserungen insbesondere bei der räumlichen Wiedergabe der modellierten Evapotranspiration bezogen auf die mikroskalige Modellierung führt. Modelliert wurden Tageswerte der Evapotranspiration für das hydrologische Jahr 1997 (vgl. Abb. 8).

Die flächenverteilten Modellierungen zeigen, dass sich sowohl subskalige als auch mesoskalige Ergebnisse über die gesamte Fläche und das hydrologische Jahr hinweg gut an das Ergebnis der Mikroskala angleichen. Gravierende Unterschiede bestehen jedoch in der räumlichen Wiedergabe innerhalb des heterogenen Gebietes, wie in Abb. 9 und mit Hilfe der Standardabweichungen deutlich zu sehen ist.

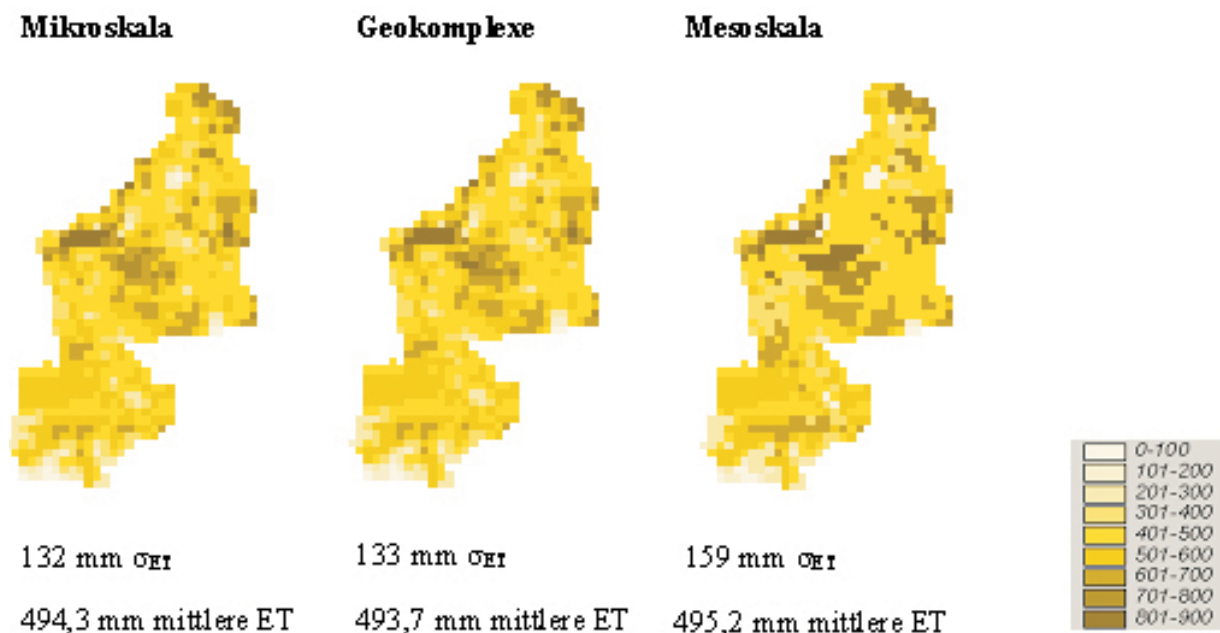


Abb. 8: Modellierte Evapotranspiration in [mm] (links: Mikroskala, auf 1.000m skaliert mitte: Geokomplexe, 1.000m rechts: Mesoskala, 1.000m).

Betrachtet man die direkten Abweichungen zwischen den Modellierungsergebnissen der Mikro- und der Mesoskala bzw. der Mikroskala und den Geokomplexen, wird die Verbesserung durch die Methode der subskaligen Geokomplexe, im Gegensatz zur herkömmlichen Methode der homogenen Aggregation auf die Mesoskala, noch deutlicher (vgl. Abb. 9).

**Mikroskala minus
Geokomplexe**

**Mikroskala minus
Mesoskala**

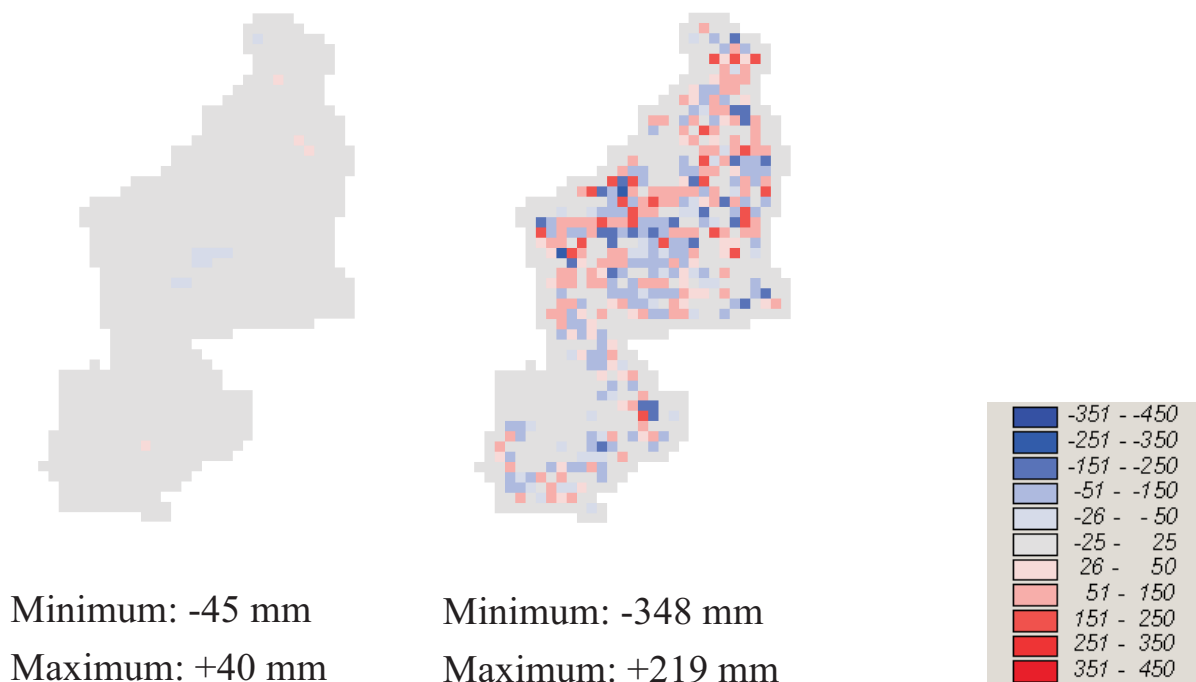


Abb. 9: Abweichung der modellierten Evapotranspiration in [mm] (links: Mikroskala minus Geokomplexe mitte: Mikroskala minus Mesoskala).

Bei einer Jahresverdunstung über das gesamte Einzugsgebiet von 494mm bedeutet dies einen Fehler von bis zu 70% auf der homogenen Mesoskala, während der Fehler durch die Geokomplexe auf maximal 11% reduziert wird.

Je mehr Heterogenität in den mikroskaligen Daten vorhanden ist, desto größer ist die Abweichung des mesoskaligen Ergebnisses der hydrologischen Modellierung von dem der Mikroskala. Geokomplexe repräsentieren die Heterogenität der Fläche auf der Mesoskala sowohl insgesamt als auch punktuell deutlich besser als eine homogene Aggregation nach Majorität, ohne dabei einen wesentlich größeren Datensatz oder Rechenaufwand zu benötigen. Die Konsequenz ist eine erhebliche Verbesserung der Interpretierbarkeit der hydrologischen Ergebnisse, beispielsweise für Entscheidungsträger. Das weitergehende Ziel ist es, durch Sensitivitätsanalysen das Verfahren der Generierung der Geokomplexe dahingehend zu verfeinern, durch abgeleitete Aggregierungsregeln eine zusätzliche Datenreduzierung zu erreichen, um den Rechenaufwand weiter zu minimieren.

2.2.1.3 Digitales Geländemodell für DANUBIA

Die topographische Information über das Untersuchungsgebiet der Oberen Donau stellt eine wesentliche Datengrundlage für zahlreiche Modellierungsaspekte der beteiligten Teilprojekte dar. Die topographische Höhe ist als Basisdatensatz in der Beschreibung der DANUBIA-Proxel verankert. Sensitivitätsstudien haben ergeben, dass die Genauigkeit des ursprünglich verwendeten Digitalen Geländemodells des USGS (World DEM) mit der Auflösung von 1km² nicht den durch die Projektpartner spezifizierten Anforderungen einer realistischen Beschreibung der Wasserflüsse im Einzugsgebiet der Oberen Donau gerecht

werden kann. Besondere Bedeutung hat die möglichst genaue Erfassung der Topographie für die Schnittstelle der Modellobjekte Soil, RiverNetwork und Groundwater, da hier der vernünftige Austausch von Wasserflüssen die hydrologische Konsistenz des Datensatzes erfordert. Darüber hinaus sind hochaufgelöste Informationen zur Topographie eine wesentliche Voraussetzung einer qualitativ hochwertigen geometrischen und radiometrischen Prozessierung von Fernerkundungsdaten. Das Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung hat in der Folge aus der Fusion zahlreicher verschiedener hochauflösender DGMs und DEMs einen zentralen Datensatz zur Topographie der Oberen Donau erzeugt. In Abbildung 10 sind die verschiedenen verfügbaren Höhendatensätze mit ihrer jeweiligen räumlichen Abdeckung und Auflösung dargestellt. Es standen digitale Datensätze der Landesvermessungsämter Bayern und Baden-Württemberg, der österreichischen Länder Salzburger Land und Tirol sowie der Shuttle Radar Topography Mission (X-band, für Teile Oberösterreichs) zur Verfügung. Die nicht erfaßten Einzugsgebietsanteile (Tschechien, Italien, Schweiz) wurden mit den Daten des World DEM aufgefüllt. Es wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem durch gewichtete Mittelung eine Anpassung und Glättung der Übergangsbereiche erzielt wurde. Dabei wurde jeweils der Datensatz mit der besseren räumlichen Auflösung und Genauigkeit priorisiert. Anschließend wurde der komplette Datensatz in die Lambert-Projektion transformiert.

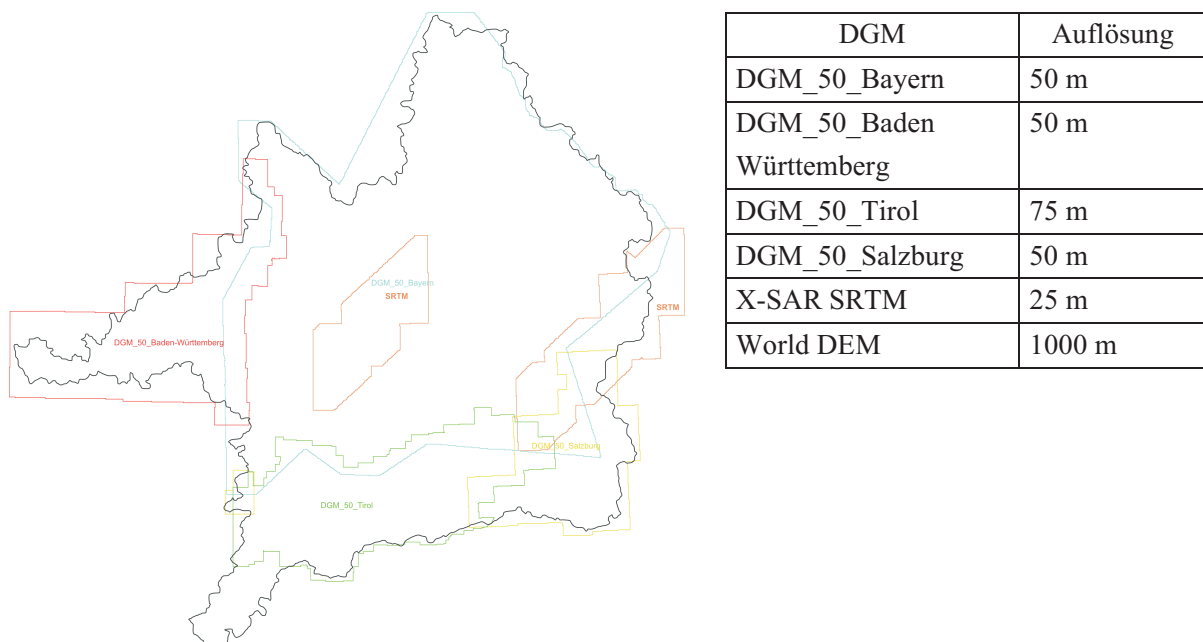


Abb. 10: Die räumliche Verteilung und Abdeckung der verfügbaren digitalen Datensätze zur Topographie im Einzugsgebiet.

Ziel der Datenfusion war die Bereitstellung eines Datensatzes für die Bildkorrekturen in der Fernerkundung (30m) sowie eines hydrologisch konsistenten Datensatzes mit der räumlichen Auflösung von 1 km², der für die weiteren Modellierungen mit DANUBIA mit einer für alle Projektpartner genügenden Genauigkeit verbindlich eingesetzt werden kann. Die möglichst verlustfreie Überwindung des Skalensprungs von 50 auf 1000 m räumliche Auflösung wurde schrittweise vollzogen (50m-100-250-500-1000m). Als Referenz für die Güte des DGMs wurde das jeweils abgeleitete Gewässernetz verwendet. Die digitale Geländeanalyse erfolgte mit Hilfe des Software-Paketes TOPAZ (GARBRUCHT und MARTZ 1995). Eine gute Abbildung des realen Gewässernetzes konnte durch Mitführung der Minimumhöhe der fließgewässertragenden Proxel bei der Aggregation der Höhendatensätze erreicht werden. Abbildung 11 zeigt das Endprodukt der digitalen Topographie des Einzugsgebietes der Oberen Donau mit dem daraus abgeleiteten Gewässernetz in einer räumlichen Auflösung von 1000m.

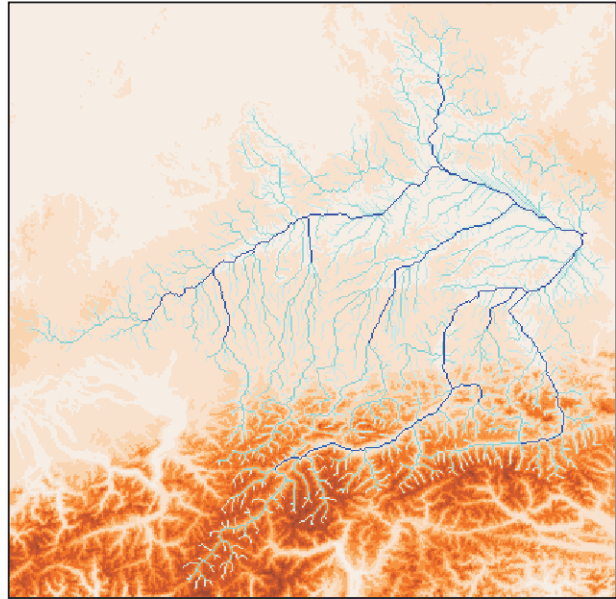


Abb. 11: Digitales Geländemodell der Oberen Donau mit dem daraus abgeleiteten Gewässernetz in einer Auflösung von 1000m.

2.2.2 Fernerkundliche Fragestellungen

Ein integratives Monitoring der Landoberfläche durch Satellitenaufnahmen stellt einen wesentlichen Bestandteil des Integrationskonzeptes von GLOWA-Danube dar. Für die Arbeiten im Projektteil „Fernerkundung“ wurden multisensorale und multiskalige Satellitenbilddaten besorgt und aufbereitet, die für die projekt-internen Forschungsfragestellungen, für die Bereitstellung von Initial- und Validierungsdaten für die DANUBIA-Modellläufe und als Basisdaten für die Skalierungsansätze von grundlegender Bedeutung sind. Während aus hochauflösenden Fernerkundungsdaten (Landsat TM) mit robusten Algorithmen präzise Parametrisierungen gewonnen werden können, verschwimmt diese Information bei der Nutzung mesoskaliger Sensoren (MODIS, MERIS). Für das Monitoring des gesamten Untersuchungsraumes sind jedoch nur letztere sinnvoll einsetzbar. Auf Basis der gesicherten Information hochauflösender Sensoren kann untersucht werden, welche Informationstiefe unter Einsatz mesoskaliger Daten erhalten bleiben kann.

2.2.2.1 Multisensorale Datenbeschaffung und Datenaufbereitung

MODIS (=MODERate-resolution Imaging Spectroradiometer)

Über eingerichtete Benutzerkonten wurden seit dem Jahr 2001 Zeitserien der MODIS Produkte MOD09 Reflectance sowie MOD15 LAI/FPAR beschafft. Auf der Basis dieser Datensätze und der Europäischen CORINE Landnutzungsclassifizierung wurden erste Ergebnisse bei der Ableitung des Blattflächenindex (leaf area index, LAI) erzielt. Die Erstellung von flächenhafter LAI-Verteilung aus MODIS Reflectance Daten beruht auf der landnutzungsabhängigen Korrelation von NDVI und LAI nach SCHNEIDER (1999) und LUDWIG et. al. (1998). Diese Ergebnisse wurden mit dem MODIS LAI Produkt (MOD15) verglichen. Es zeigt sich, dass die Einbindung der Landnutzungsinformation eine wesentlich differenziertere Repräsentierung der Blattflächenverteilung ermöglicht. Es ergaben sich jedoch erhebliche Abweichungen im Vergleich zu dem MOD15 Produkt. Dieser Sachverhalt sollte mit Hilfe von Daten aus der Geländekampagne 2002 und 2003 auf seine Plausibilität überprüft werden. Abbildung 12 zeigt eine Gegenüberstellung des LAI-Verlaufs aus dem MOD15 Produkt mit der landnutzungsabhängigen LAI-Ableitung aus Reflectance Daten. Hier zeigt sich, dass die LAI-Werte aus dem MOD15 keine sinnvolle LAI-Entwicklung nachzeichnen und somit für lokale Zeitreihen ungeeignet sind.

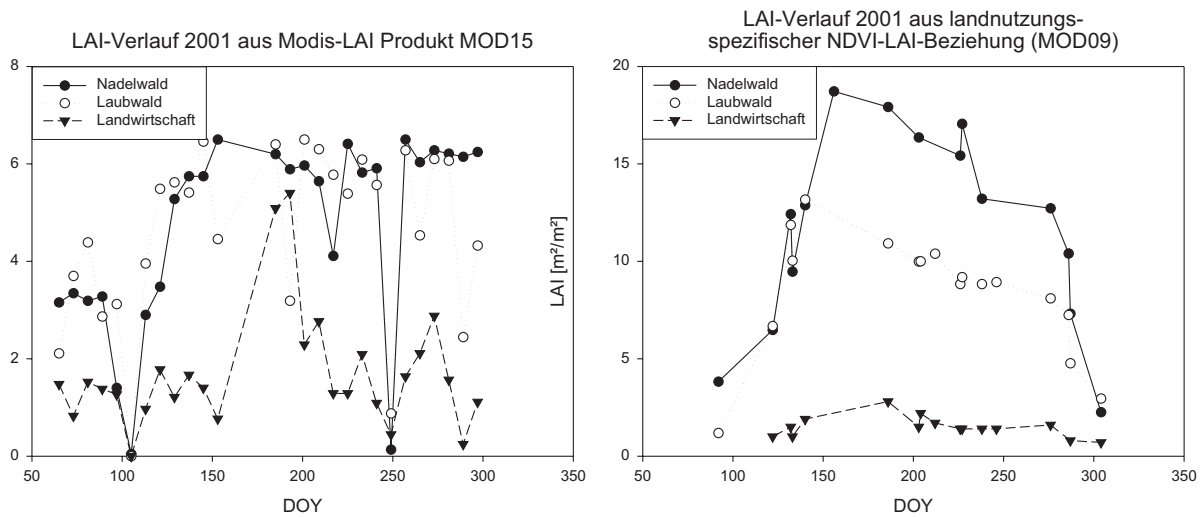


Abb. 12: LAI-Verlauf 2001 für einzelne Pixel nach dem MOD15 LAI-Produkt (links) und landnutzungsabhängige LAI-Ableitung aus MODIS Reflectance Daten (rechts).

MERIS (= MEdium Resolution Imaging Spektrometer)

Der im März 2002 gestartete abbildende Spektrometer MERIS auf ENVISAT besitzt 15 Spektralkanäle im sichtbaren Spektralbereich und Nahen Infrarot. Bei einer Pixelauflösung von 300m x 300m im Nadir eignet sich dieser Sensor besonders zur flächenhaften Ableitung von Landnutzungsinformationen und Vegetationsparametern für die hydrologische Modellierung. Im Laufe der ersten Jahreshälfte 2003 lief seitens der ESA die operationelle Datenauslieferung an, so dass im Rahmen des „Primary Investigator“ Status für ENVISAT mehrere Full Resolution Szenen für 2002 und 2003 beschafft werden konnten. Da es sich bei MERIS um einen optischen Sensor handelt, ist die Wolkenfreiheit der Szenen von essenzieller Bedeutung, was bei einem Untersuchungsgebiet von der Größe der Oberen Donau bei nur 3-täglichem Überflug normalerweise nicht unproblematisch ist. Wegen der besonders häufigen Hochdrucklagen in Mitteleuropa im Jahrhundertsommer 2003 konnte aber eine besonders lückenlose zeitliche Abdeckung dieser Vegetationsperiode mit wolkenfreien oder kaum wolkenbedeckten Szenen erreicht werden (s. Tab. 1).

Tab. 1: Übersicht über die beschafften MERIS Full Resolution Szenen der Oberen Donau 2003.

Datum	Uhrzeit	Orbit	Track
19.02.2003	09:48:06	5086	22
06.05.2003	09:58:45	6174	108
16.05.2003	09:45:10	6317	251
01.06.2003	09:41:31	6546	480
04.06.2003	09:47:16	6589	22
10.06.2003	09:59:25	6675	108
19.07.2003	09:33:52	7233	165
22.07.2003	09:38:38	7276	208
07.08.2003	09:36:46	7505	437
13.08.2003	09:48:09	7591	22
25.08.2003	10:10:55	7763	194
20.09.2003	09:53:55	8135	65
30.09.2003	09:39:35	8278	208
15.10.2003	10:08:01	8439	423
18.10.2003	10:13:43	8536	466

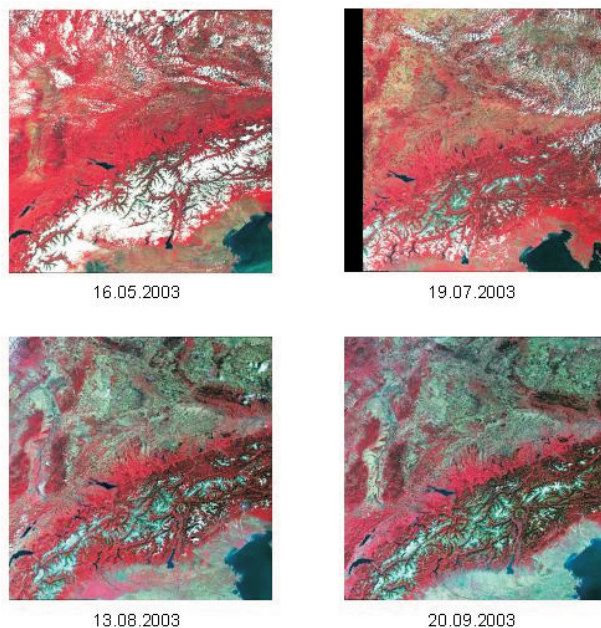


Abb. 13: Ausgewählte MERIS-Vollszenen aus der Vegetationsperiode 2003 in Falschfarb-Infrarot-Darstellung (Kanäle 5-7-14). Die Kantenlänge der Szenen beträgt jeweils 672km.

Mit jeweils nur einer einzigen MERIS-Szene kann dabei das gesamte Einzugsgebiet komplett abgedeckt werden (s. Abb. 13). Für 2004 ist die Beschaffung weiterer MERIS Full Resolution Szenen geplant. Im Weiteren werden, zunächst in Testgebieten, die MERIS-Daten über das Verfahren der Modellinvertierung auch in laufende Modellierungen assimiliert werden.

ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)

Für die Aqoise zeitgleicher Aufnahmen unterschiedlicher Sensoren wurden beim ASTER Ground Data System (ASTER GDS) des Jet Propulsion Laboratory der NASA Data Aquisition Requests (DAR) platziert. Die DARs wurden so generiert, daß sie ASTER veranlassen, zeitgleich mit Landsat ETM+ ein Teilgebiet der oberen Donau aufnehmen. Das Zeitfenster wurde jeweils auf den Tag des ETM+ Überflugs gesetzt. Daraus ergaben sich 13 Aufnahmearträge zwischen 1. April und 10. Oktober 2003. Trotz der guten Bedingungen des Sommers 2003 konnten jedoch keine Aufnahmen gewonnen werden. Dies ist einerseits durch die Überlappung der Zeitfenster mit DARs anderer ASTER-DAR-User zu erklären, andererseits hat das automatische Steuerungssystem die sehr kurz gewählten Zeitfenster nicht in den Aufnahme-Zeitplan von ASTER einbauen können. Demnach ist das zugewiesene Kontingent von 40000km² ASTER-Daten nicht ausgeschöpft worden. Für die Vegetationsperiode des laufenden Jahres wird demnach erneut eine Serie von DARs erzeugt.

2.2.2.2 Geländearbeiten

Während der Vegetationsperioden 2002 und 2003 wurden im Testgebiet Ammer spezielle Geländekampagnen zur Messung des Blattflächenindex (LAI) durchgeführt. Bei der Kampagne 2002 wurden je drei ausgewählte großflächige Felder mit Winterweizen und Silomais beprobt, in 2003 zwei Mais-Felder, sowie je ein Triticale- und ein Winterweizen-Feld und erstmals auch ein Raps-Feld. Die Feldauswahl richtete sich nach Feldgröße, guter Erreichbarkeit und einer Kooperation mit den jeweiligen Landwirten.

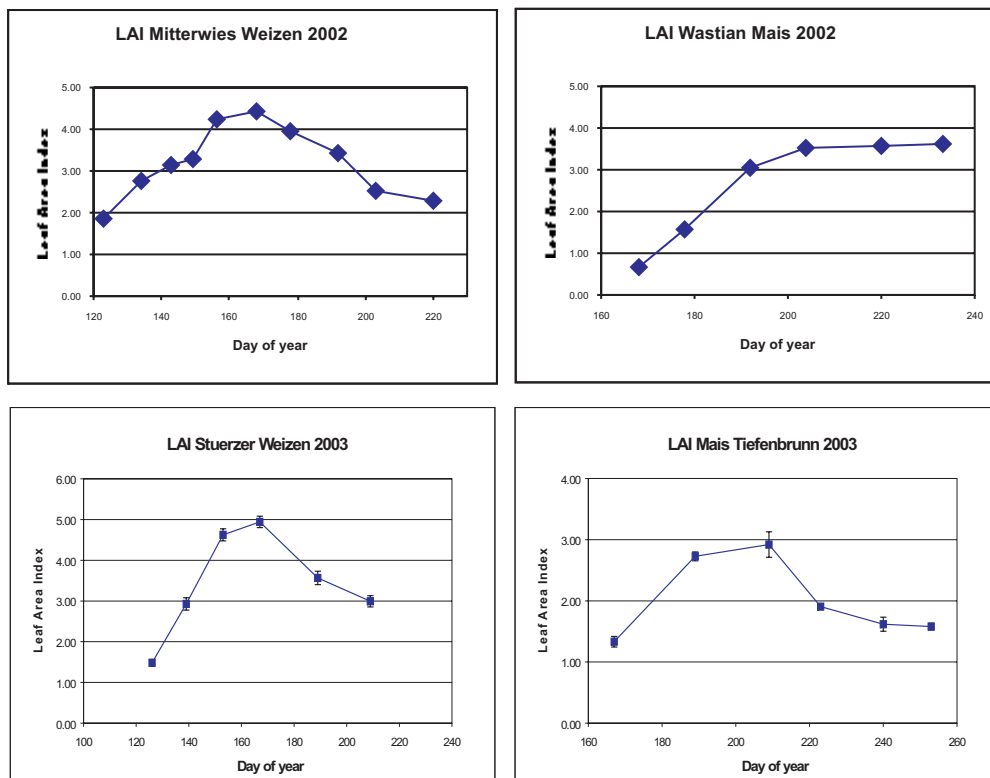


Abb. 14: Geländemessungen des LAI-Verlaufes (als Feldmittel) auf den Testfeldern „Mitterwies Weizen“ und „Wastian Mais“ (2002, oben) und „Stürzer Weizen“ und „Tiefenbrunn Mais“ (2003, unten).

Die Messung des Bestandes-LAIs erfolgte zu mehreren Messzeitpunkten während der Vegetationsperiode an festgelegten Messpunkten und mit Hilfe von zwei aus der Grundausrüstung des Lehrstuhls bereitgestellten tragbaren LAI-Metern (LI-COR LAI2000). Diese messen zunächst den Bedeckungsgrad der Vegetation mit Hilfe einer Fisheye-Optik in einem 180° abdeckenden Halbraum innerhalb des Pflanzenbestandes. Die Messung dieses stark Blickwinkel-abhängigen Bedeckungsgrades wird mit dem LAI-Meter gleichzeitig in fünf konzentrischen Raumwinkelsegmenten durchgeführt, woraus mit Hilfe eines internen Algorithmus der Blattflächenindex des Bestandes errechnet werden kann. Da der LAI in einer landwirtschaftlichen Fläche kleinräumig stark variabel ist, wurden pro Feld drei repräsentativ verteilte Messpunkte ausgewählt und an jedem Messpunkt vier Messsequenzen mit wiederum jeweils vier Einzelmessungen durchgeführt. Die Messdurchführung richtet sich dabei nach der von HOLZHAUSER (2002) empfohlenen Methodik. Die Messungen erfolgten über die gesamte Vegetationsperiode hinweg in unregelmäßigen Abständen, da das Verfahren primär auf bewölkte, aber niederschlagsfreie Wetterbedingungen angewiesen ist.

Im Jahrhundertsommer 2003 war die Einhaltung der optimalen Messbedingungen oft nicht einfach und es konnten weniger auswertbare Messungen durchgeführt werden als in durchschnittlichen Jahren. Alle gültig gemessenen Werte weisen dafür kontinuierliche Verläufe und nur geringe Standardabweichungen auf (s. Abb. 14 unten).

Diese im Testgebiet Ammer erhobenen Messdaten werden vor allem für die Frage der Skalierbarkeit hydrologischer Prozesse bzw. für die Ableitung der zur Modellierung erforderlichen Parametersätze benötigt. Darüber hinaus wurden die Daten vor allem zur Validierung der aus Fernerkundungssensoren (z.B. MODIS) abgeleiteten flächenhaften LAI-Verteilung verwendet. Des Weiteren wurden Versuche zur Messung des Bestandes-LAIs von Laub- und Nadelwaldstandorten mit Hilfe von LAI-Metern durchgeführt.

2.2.2.3 Multiskalige Landnutzungsdaten für DANUBIA

Die flächendifferenzierte Information über die Verteilung der Landnutzung im Einzugsgebiet der Oberen Donau ist eine der wesentlichen Voraussetzungen für eine erfolgreiche:

- a) Kopplung zu den beteiligten Teilprojekten
- b) Beschreibung der Energie-, Wasser- und Stickstoffflüsse

Grundsätzlich stehen flächenverteilte Informationen zur Landbedeckung in Form der CORINE-Datenbank in einer räumlichen Auflösung von 250m x 250m zur Verfügung. Wesentlicher Nachteil dieser Datengrundlage ist die oft unzureichende Aktualität der Basisdaten sowie deren unterschiedliche Erfassung. Darüber hinaus sind diese Daten auf Europa beschränkt und stehen damit für potenzielle Anwendungen von DANUBIA in anderen mesoskaligen Flussgebieten nur eingeschränkt zur Verfügung. Die Fernerkundung liefert dagegen je nach räumlicher Auflösung des verwendeten Sensors alternative Möglichkeiten zur Bestimmung der Landnutzung mit hoher zeitlicher Aktualität und regionalisierbaren Methoden. Im Teilprojekt wurde mit hohem Aufwand an der Bereitstellung entsprechender Datensätze geforscht.

2.2.2.3.1 Multitemporale spektrale Entmischung aus NOAA-AVHRR

Die Projektgruppe hat eine Variante eines Spektralen Entmischungsansatzes entwickelt und zur flächenhaften und subskaligen Klassifikation der Landnutzung eingesetzt. Dabei wird ein multitemporaler Datensatz des NOAA-AVHRR entmischt. Das Entmischungsergebnis sind so genannte fraction images, die Informationen über die Subpixel-Flächenanteile der verschiedenen Landnutzungsklassen in jedem Pixel enthalten. Damit unterscheiden sie sich von „normalen“ Klassifikationsergebnissen, die immer nur genau eine zugewiesene Klasse pro Pixel aufweisen. Da wegen der Größe und Heterogenität des Untersuchungsgebietes bis zu 10 Landnutzungsklassen bestimmt werden sollten, musste eine Vorauswahl getroffen werden, die die Anzahl der in Frage kommenden Landnutzungen für jedes Pixel unter

Verwendung von Zusatzinformationen vorab reduzierte. Diese Vorauswahl erfolgte unter Verwendung der vier Geofaktoren Geländehöhe, Gefälle, Niederschlag und Bodenart entsprechend dem ökologischen Wirkungsgesetz. Dabei fand die Fuzzy Logic-Theorie entscheidende Verwendung.

Als Datengrundlage lag ein multitemporaler Bildstapel aus 27 Szenen (Kanal 1 + 2) der NOAA-AVHRR-Satelliten für die gesamte Vegetationsperiode 1995 vor (Abb. 15). Nach Korrektur und Stapelung der Daten konnte die spektrale Entmischung durchgeführt werden, nach deren Theorie mehrere Landnutzungsklassen (Endmember) innerhalb eines Pixels ihre Spektren flächengewichtet linear überlagern. Dabei bestimmt die Spektrale Entmischung aus „reinen Spektren“ und Mischspektren die Flächenanteile der Endmember pro Pixel.

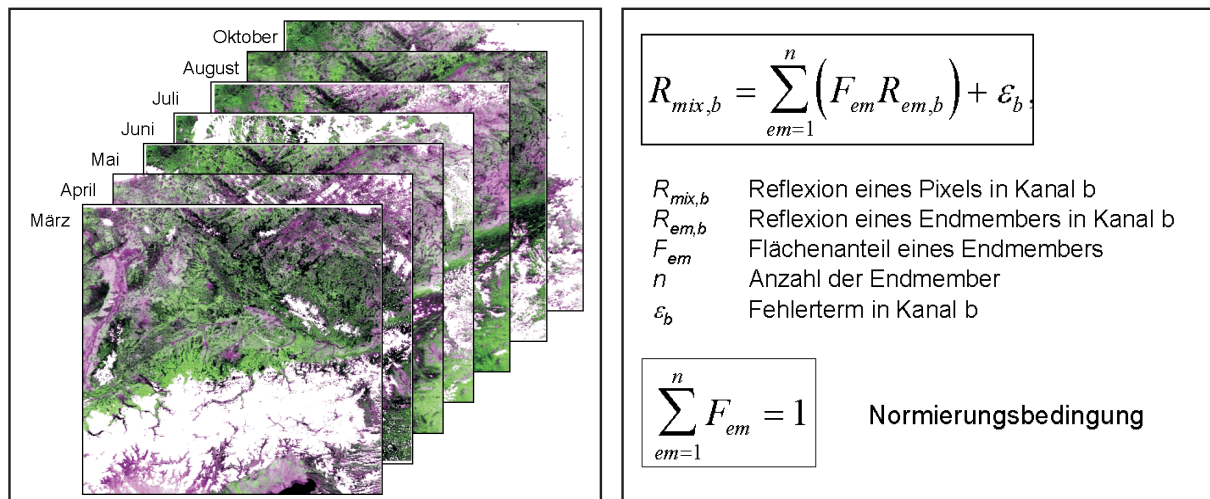


Abb. 15: Spektrale Entmischung der Landnutzungsanteile je Pixel aus NOAA-AVHRR-Szenen des Donaugebiets für die Vegetationsperiode 1995.

Die Verwendung des Thermalkanals einer ausgesuchten AVHRR Sommerszene als zusätzlichem Kriterium bei der Geofaktoren-gestützten Vorauswahl von potenziellen Landnutzungen konnte vor allem eine wesentlich genauere Abgrenzung von versiegelten Flächen erreicht werden. Dadurch wurden Entmischungsfehler durch Über- oder Unterschätzung bei einigen Landnutzungsklassen nochmals deutlich reduziert. Letztendlich konnten 8 Landnutzungsklassen erfolgreich entmischt werden; die Klassen Wasser sowie Schnee/Eis wurden a-priori maskiert und dem Entmischungsergebnis zugefügt (Abb. 16).

Die Resultate wurden mit Hilfe räumlich aggregierter Klassifikationsergebnisse aus CORINE (räumliche Auflösung 250m) sowie einer verfügbaren Landsat-TM Landnutzungs-klassifikation mit gutem Ergebnis validiert. Aus der Fusion von Satellitenbilddaten mit GIS-Techniken konnte damit eine flächendeckende Landnutzungsinformation für das Gebiet der Oberen Donau in akzeptabler Genauigkeit zur Verfügung gestellt werden (vgl. Abb. 16). Vorteil dieser Methodik ist die flexible Einsetzbarkeit, mit der eine Übertragbarkeit wertvoller Basisdaten für eine Anwendung in anderen Regionen geleistet werden kann.

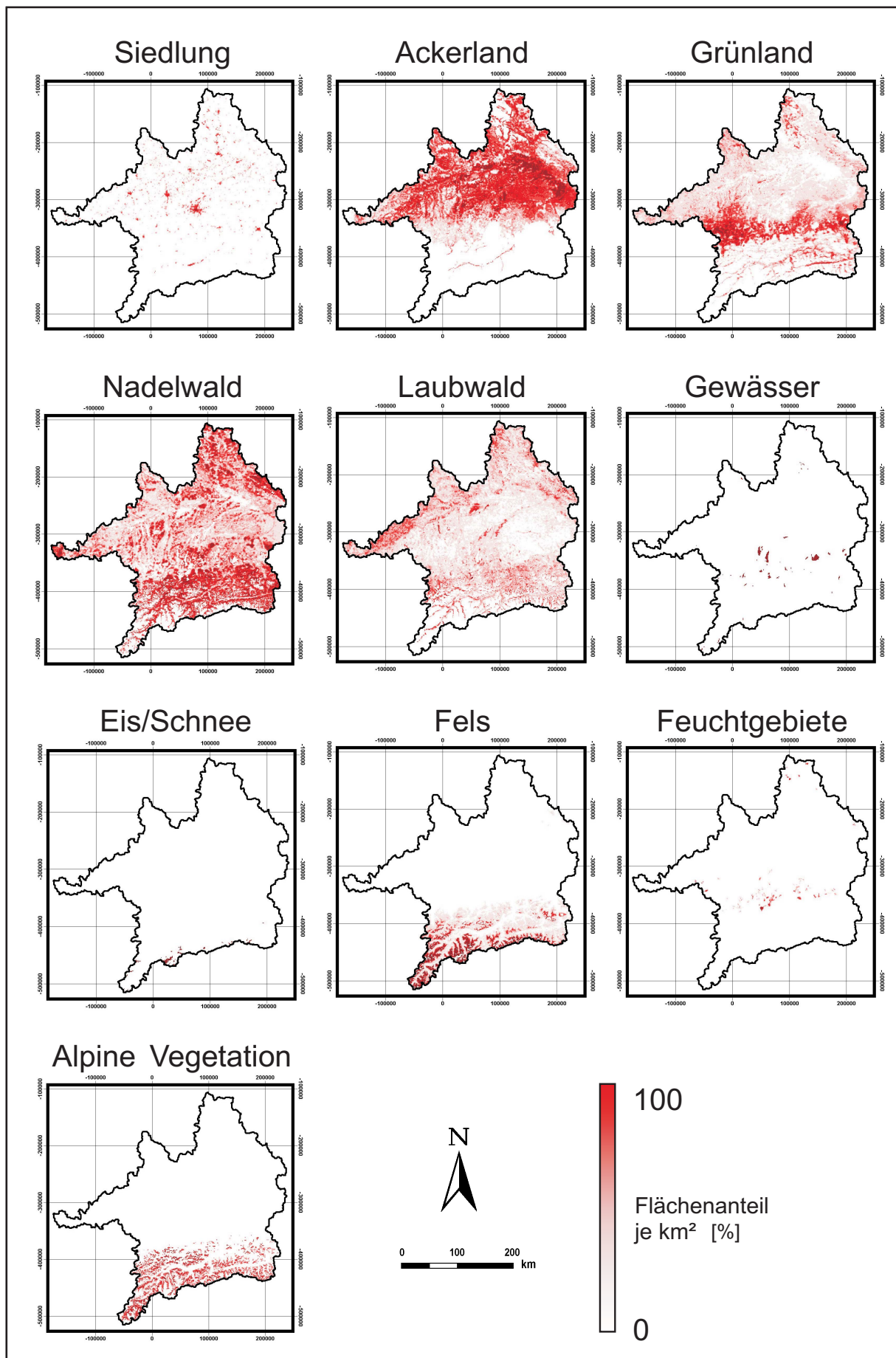


Abb. 16: Ergebnis der Landnutzungsklassifizierung aus der multitemporalen spektralen Entmischung von AVHRR-Daten für das Einzugsgebiet der Oberen Donau.

2.2.2.3.2. Fuzzy logic basierte Klassifikation der Landnutzung mit Landsat-TM

Die Notwendigkeit einer aktuellen, flächendeckenden und hoch aufgelösten Landnutzungs-klassifikation definiert sich aus den Anforderungen der einzelnen Gruppen innerhalb von GLOWA-Danube. Daraus erwächst auch der Anspruch, nicht nur Landnutzungs-klassen bis in Level 2 (Tab. 2) zu unterscheiden, sondern den Wachstumsbedingungen der Kulturpflanzen gemäß stärker zu differenzieren. Insgesamt wurden in der erstellten Klassifikation 33 Klassen unterschieden. Für Klassifikationen dieser Größenordnung liegen noch keine Bei-spiele aus der Literatur vor. Klassifikationen diesen Umfangs wurden immer nur auf deut-lich weniger Klassen beschränkt. Die Durchführung der Klassifikation erforderte einen hohen zeitlichen und personellen Aufwand, bedingt durch die aufwändige Vorverarbeitung, die notwendige Recherche zur Erstellung gültiger membership functions, die aufwändigen Rechenoperationen und die schwierige Validierung.

Tab. 2: Einteilung der unterschiedenen Klassen im Landuse Classification System des USGS.

Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
Versiegelte Flächen			
Wasser			
Ödland	Fels Kiesgruben/Steinbrüche Schnee Gletscher		
Feuchtgebiete	Moorgebiete Torfabbau		
Wald	Laubwald Nadelwald Mischwald	Laubwal Jungwald auf Windwurflläche Verbuschte Fläche Nadelwald Hochmontaner Wald Latschen >1600m Mischwald Bergmischwald	
Landwirtschaftlich genutzte Flächen	Dauergrünland Ackerland Dauerkulturen Sonderkulturen	Mähwiesen Weiden Almen Wintergetreide Sommergetreide Hackfrüchte Hopfen	Winterweizen Wintergerste Winterroggen/Tritikale Mais Zuckerrüben Raps Futterpflanzen Kartoffeln
Natürliches Grünland	Alpiner Rasen Matten		

Datenbeschaffung und Aufbereitung

Für zahlreiche Detailstudien innerhalb GLOWA-Danube und für die Erstellung subskaliger Datensätze haben sich die vorliegenden Landnutzungsklassifikationen als zu grob erwiesen. Daher wurde angestrebt, eine Landnutzungsklassifizierung für den Bereich der Oberen Donau zu erstellen, welche, basierend auf Landsat TM Daten mit einer räumlichen Auflösung von 30 m vorliegen soll. Zu diesem Zweck wurden insgesamt 17 Landsat TM5 bzw. ETM+ Vollszenen erworben, welche das Untersuchungsgebiet der Oberen Donau vollständig und z.T. multitemporal abdecken (vgl. Abb. 17). Tabelle 3 listet die vorliegenden Szenen auf.

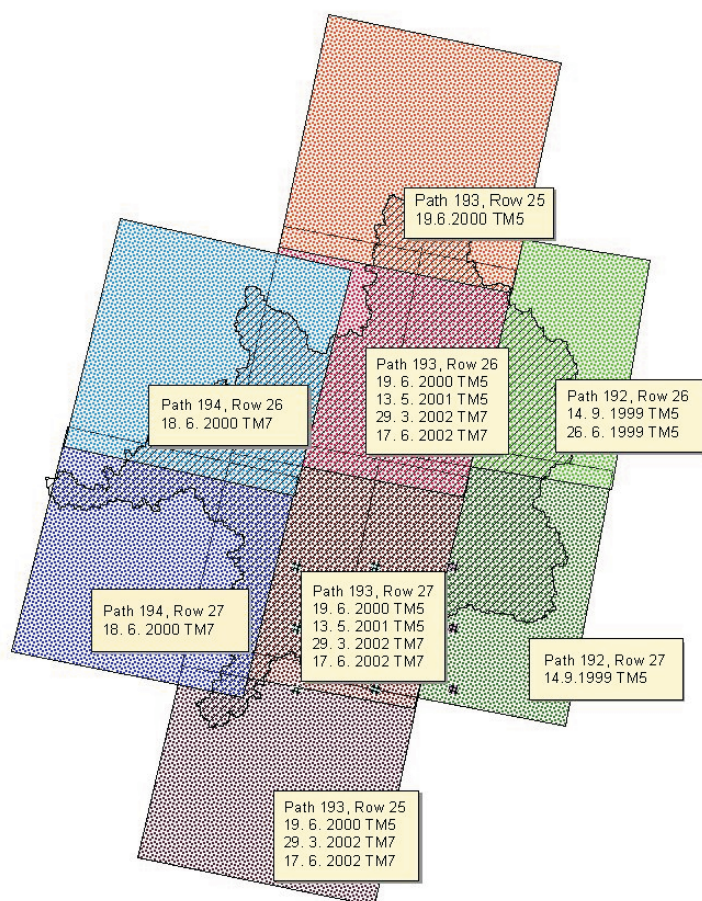


Abb. 17: Übersicht über die räumliche Abdeckung des Untersuchungsgebietes mit Landsat-Szenen.

Die Aufbereitung der Daten umfasst zwei Teilschritte. Zunächst wurden die Szenen geometrisch korrigiert. Unter Berücksichtigung des Einflusses des Reliefs auf die Geometrie wurde eine Passpunktkorrektur durchgeführt. Das verwendete Verfahren zur systematischen Beseitigung des reliefbedingten Lagefehlers beschreiben Itten and MEYER (1993). Die bei der Passpunktentzerrung erzielte mittlere quadratische Abweichung liegt bei 0.64 in Zeilenrichtung und 0.70 in Spaltenrichtung.

Der zweite Schritt beinhaltet die radiometrische Aufbereitung der Daten. Dabei werden die Strahlungsmessungen des Sensors in Reflexionswerte der Oberfläche überführt. Grundlage hierfür ist die Modellierung der Atmosphäre zum Aufnahmezeitpunkt. Die radiometrische Aufbereitung wird dabei ebenfalls unter Berücksichtigung des Reliefs durchgeführt. Aufgrund der heterogenen Eigenschaften des Untersuchungsgebietes wurden zwei Varianten der radiometrischen Aufbereitung eingesetzt. Die Szenen der Row 27 liegen im Bereich der Alpen und des Alpenvorlandes und bilden somit Gebiete mit ausgeprägtem Relief ab. Für diese Bilder wurde eine Atmosphärenkorrektur mit integrierter Beleuchtungskorrektur durchgeführt. Dieses Verfahren berücksichtigt den insbesondere in reliefiertem Gelände unterschiedlichen Strahlungsgewinn der Oberflächen. Für die Berechnung dieses variierenden Strahlungsgewinns wurde aus dem Geländemodell die Geometrie der einfallenden

Tab. 3: Liste der Landsat-Szenen für das Untersuchungsgebiet der oberen Donau (grau markiert: atmosphären- und relief-korrigiert, georeferenziert).

Path	Row	Datum	Sensor
192	26	26.06.1999	TM5
		14.09.1999	TM5
	27	14.09.1999	TM5
193	25	19.06.2000	TM5
	26	19.06.2000	TM5
		29.03.2001	ETM+
		13.05.2001	TM5
	27	17.06.2002	ETM+
		19.06.2000	TM5
		29.03.2001	ETM+
28	13.05.2001	TM5	
	17.06.2002	ETM+	
	17.06.2002	ETM+	
194	26	18.06.2000	ETM+
	27	18.06.2000	ETM+

Strahlung berechnet (nach BACH et. al. 2003). Die Szenen nördlich der Row 27 liegen im Bereich weniger ausgeprägten Reliefs. Hier wurde die radiometrische Aufbereitung unter Berücksichtigung der Überstrahlung aus umliegendem Gelände vorgenommen. Mit Hilfe einer Filtermatrix wurde dieser Strahlungseinfluss auf jedem Pixel modelliert (BACH 1995).

Die fertig aufbereiteten Einzelszenen eines Aufnahme-Paths wurden jeweils zusammenmosaikiert. Diese Teilstreifen des Untersuchungsgebietes bilden die Ausgangsdaten für die Klassifikation der Landnutzung.

ENPOC-Classifler

Zur Klassifikation der geometrisch und radiometrisch aufbereiteten Landsat-TM Szenen wurde der von STOLZ (1998) entwickelte ENPOC-Ansatz (ENvironmental POssibility Classifier) verwendet. Dieser Ansatz stellt eine methodische Weiterentwicklung des gängigen Maximum Likelihood-Klassifikators dar. Gegenüber diesem Standardverfahren zeichnet er sich durch die zusätzliche Einbindung von „Geofaktoren“ in Form von GIS-Layern, die das Verteilungsmuster der Landnutzungen entscheidend prägen, und entsprechendem geographischem Expertenwissen mit Hilfe der Fuzzy Logic aus. Der ENPOC-Ansatz orientiert sich am ökologischen Wirkungsgesetz, das unter anderem besagt, dass die relative Wirkung eines ökologischen Faktors (bzw. eines Geofaktors) desto stärker ist, je mehr sich dieser im Minimum befindet. Das bedeutet, dass für das Vorkommen einer Landnutzungs-klasse nur derjenige (Geo-) Faktor entscheidend ist, der den geringsten Zugehörigkeitswert aufweist (s. Abb. 18). Dieses Verfahren vermeidet viele Nachteile des auf rein spektraler Information basierenden Maximum Likelihood-Ansatzes. Beispielsweise können damit geographisch unsinnige (aber spektral mögliche) Zuordnungen, wie beispielsweise Siedlungen in 1800m Höhe oder Mais bei 20% Hangneigung, ausgeschlossen werden. Durch diese zusätzlichen Entscheidungskriterien erlaubt der Ansatz zusätzlich auch eine stärkere Differenzierung der zu klassifizierenden Landnutzungen.

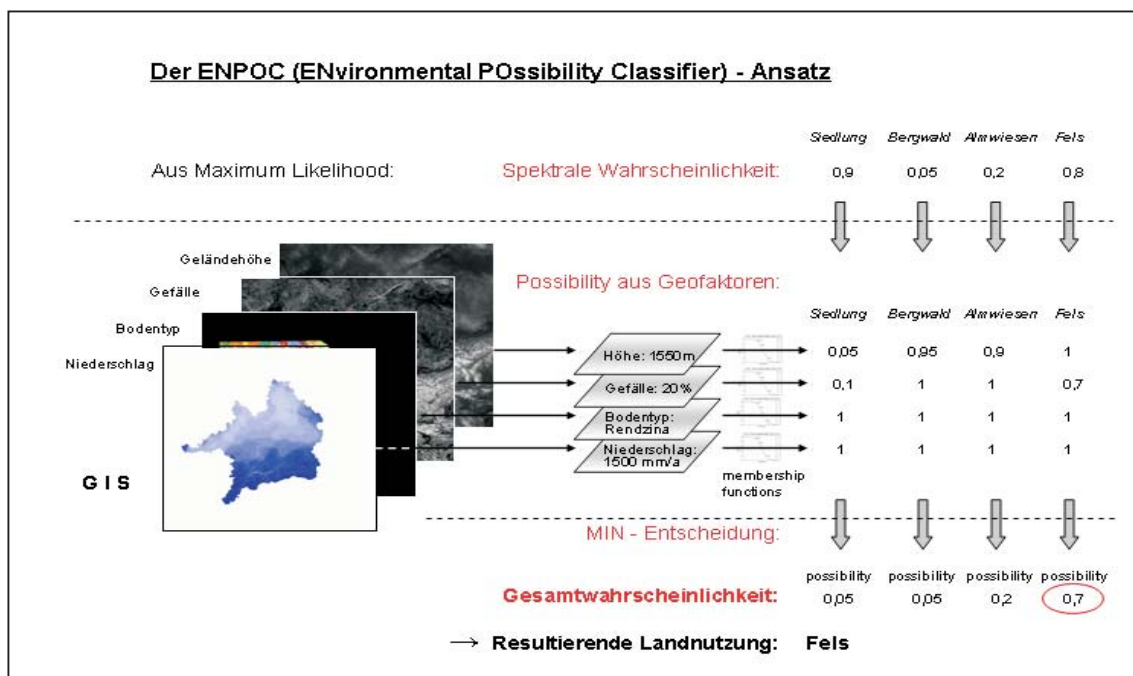


Abb. 18: Schematischer Ablauf der ENPOC-Klassifikation: Bestimmung der Landnutzung eines Pixels als Minimum aus spektraler Wahrscheinlichkeit und Possibilities aus Geofaktoren. Dargestellt ist ein Beispiel mit nur vier Landnutzungsklassen.

Verwendet wurden die flächenhaft vorliegenden Geofaktoren Höhe und Gefälle aus dem für das Projekt erstellten, zusammengesetzten 30m-DGM (vgl. Kap. 2.2.1.3), sowie eine digitale Bodentypenkarte und eine aus Stationsmessungen interpolierte, die Höhenabhängig-

keit berücksichtigende räumliche Verteilung der mittleren jährlichen Niederschlagssummen. Mit Hilfe von geographischem Expertenwissen, Literaturangaben und Karteninformationen wurden Zugehörigkeitsfunktionen, sogenannte „membership functions“ erstellt, die das Auftreten einzelner Landnutzungen in Bezug zu einem Geofaktor, z.B. der Höhe, beschreiben. Der Wertebereich liegt dabei zwischen 0 (keine Zugehörigkeit) und 1 (volle Zugehörigkeit). Solche Funktionen wurden für alle Landnutzungen und alle Geofaktoren erstellt, sofern eine tatsächliche Limitierung des Vorkommens durch die jeweiligen Geofaktoren vorhanden ist. Dabei wurde berücksichtigt, dass in der Natur keine scharfen Grenzen zwischen verschiedenen Naturräumen existieren, sondern meist fließende Übergänge. Dieser „Unschärfe“ wurde durch die Verwendung von Fuzzy Logic Rechnung getragen, mit der graduelle Übergangsbereiche definiert und mathematisch-logisch verarbeitet werden können. Abbildung 19 zeigt exemplarisch membership functions einiger ausgewählter Landnutzungen für den Geofaktor „Geländehöhe“.

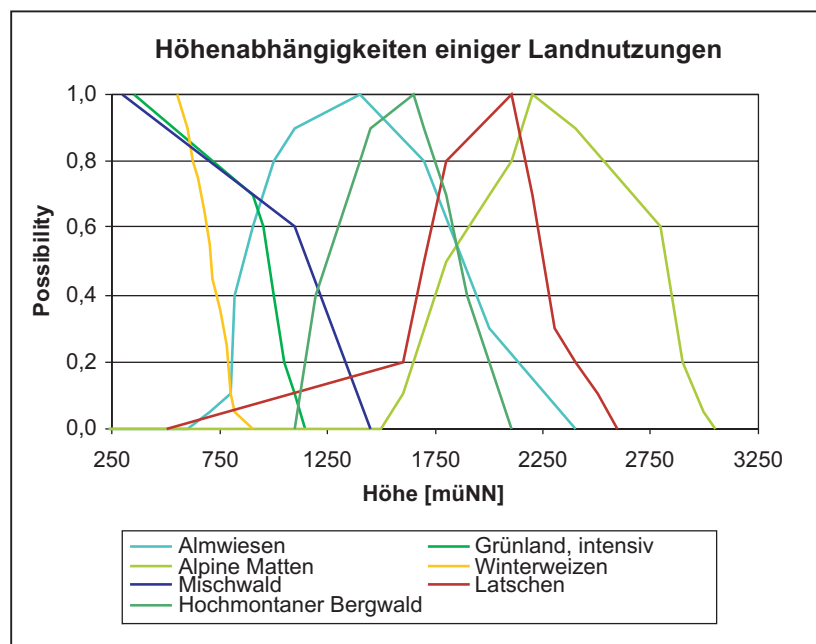


Abb. 19: Membership functions ausgewählter Landnutzungen für den Geofaktor „Geländehöhe“.

Durch den ENPOC-Klassifikator werden zunächst für jedes Pixel aus den entsprechenden membership functions die Zugehörigkeitsgrade („possibilities“) aller Landnutzungen für jeden Geofaktor abgegriffen. Zusammen mit der rein spektralen Wahrscheinlichkeit aus der vorgeschalteten Maximum Likelihood-Klassifikation ergeben sich somit in einem Pixel für jede Landnutzungsklasse fünf verschiedenen Zugehörigkeitsgrade. Entsprechend dem ökologischen Wirkungsgesetz wird daraufhin durch den ENPOC-Algorithmus für jede Landnutzungsklasse eine Minimum-Entscheidung getroffen, und somit jeweils der entscheidende kleinste Zugehörigkeitswert, die Gesamtwahrscheinlichkeit, bestimmt. Dabei sind spektrale Zugehörigkeit und Zugehörigkeit nach Geofaktoren gleich gewichtet. In einer abschließenden Maximum-Entscheidung wird schließlich diejenige Landnutzungsklasse mit der größten Gesamtwahrscheinlichkeit ausgewählt und dem Pixel zu 100% zugewiesen.

Zur Verdeutlichung ist dieser Vorgang in Abbildung 18 vereinfacht für vier Landnutzungsklassen (Siedlung, Bergwald, Almwiesen, Fels) dargestellt. Nach rein spektraler Wahrscheinlichkeit würde das in Abbildung 18 bearbeitete Pixel als „Siedlung“ klassifiziert werden. Durch die zusätzliche Berücksichtigung der Geofaktoren und der entsprechenden membership functions wird aber korrekterweise „Fels“ erkannt.

Durchführung der Landnutzungs-klassifikation für das GLOWA-Danube Gesamtgebiet

Aus dem zur Verfügung stehenden LANDSAT Datensatz wurden die Szenen ausgewählt, die

- innerhalb eines Jahres aufgenommen wurden
- aus einer günstigen Jahreszeit stammen, um eine möglichst hohe Anzahl von Feldfrüchten spektral differenzieren zu können.

Aus der Analyse des verfügbaren Datensatzes wurden die Szenen vom 18.6. und 19.6.2000 für den westlichen und mittleren Bereich des Gebietes gewählt. Mit nur einem Tag Unterschied in den Aufnahmen sind sie ideal. Leider gibt es für den östlichen Streifen keine wolkenfreien Daten aus dem Jahr 2000. Deshalb wurden dafür die Szenen vom 26.6.1999 (dieselbe Jahreszeit wie in den anderen Daten) für den nördlichen, landwirtschaftlich intensiven Bereich, und die Szene vom 14.9.1999 für den südlichen, randalpinen und alpinen Bereich gewählt. Insgesamt werden zur Abdeckung des gesamten GLOWA Gebietes 7 LANDSAT Szenen (179km x 179km) ganz oder teilweise benötigt (s. Abb. 17).

Der aus allen verwendete mosaikierte Datensatz umfasst schließlich 12300 Zeilen und 14500 Spalten. Kombiniert mit den Datensätzen aus dem DGM (Höhe, Gefälle), der Bodenkarte und der Niederschlagsverteilung, die für die ENPOC-Klassifikation notwendig sind, wäre der Datensatz ca. 12 GB groß. Damit ist er technisch mit den zur Verfügung stehenden Software Systemen nicht zu bearbeiten. Die maximale File-Größe kann nur 2 GB sein. Deshalb musste der Datensatz in mehrere Teildatensätze unterteilt werden. Die beiden östlichen Szenen wurden separat klassifiziert, da sie aus einem anderen Jahr stammen.

Die weitere Unterteilung erfolgte nicht geometrisch, sondern nach der phänologischen Entwicklung der landwirtschaftlichen Nutzpflanzen. Abbildung 20 zeigt die spektralen Unterschiede innerhalb der Landnutzungs-kategorie „Mais“ zwischen dem Alpenvorland (Mais-Süd) und dem Unteren Isartal bei Landau (Mais-Nord).

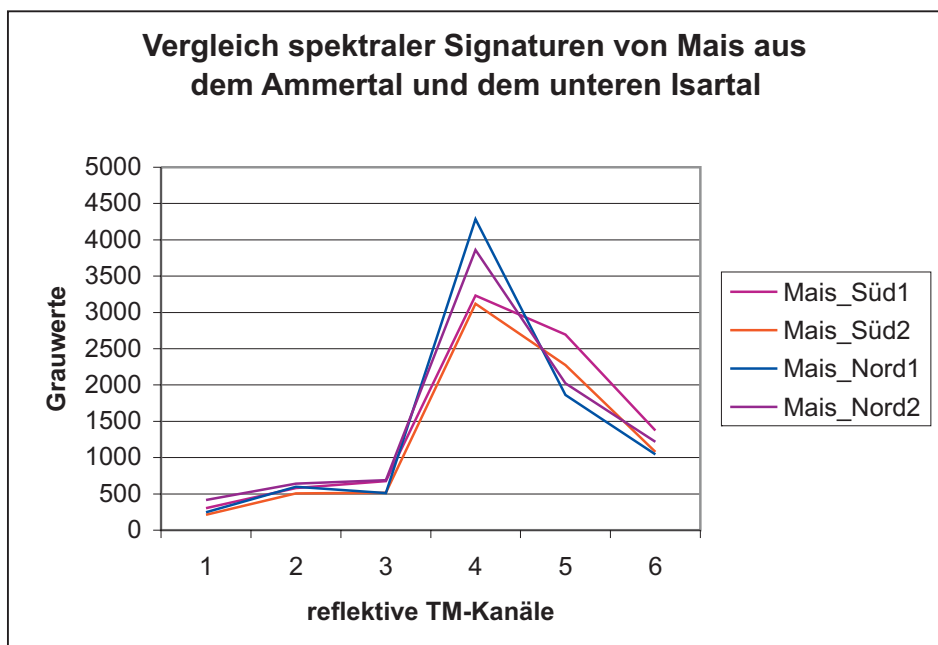


Abb. 20: Vergleich der spektralen Signaturen von Maisflächen aus verschiedenen naturräumlichen Einheiten.

Ein Vergleich der phänologischen Entwicklung der Ackerfrüchte Mais und Winterweizen nach dem Meteorologischen Jahrbuch von 2000 und einem Vergleich der spektralen Signaturen führte zu einer Teilung des restlichen Datensatzes in drei Bereiche einheitlicher Phänologie:

- Das Alpenvorland und die alpinen Gebiete
- Tertiärhügelland, Donautal, Fränkische und Schwäbischen Alb
- Nordteil mit dem Bayerischen und Oberpfälzer Wald und das Einzugsgebiet der Naab

Eine Segmentierung der Daten erfolgte deshalb in Anlehnung an die standortkundliche Landschaftsgliederung in Einheiten nach Wittmann (WITTMANN 1991). Regionen ähnlicher naturräumlicher Ausstattung und phänologischer Entwicklung wurden für die Klassifikation zusammengefasst. Da sich die spektralen Signaturen der Ackerfrüchte innerhalb der Teilbereiche deutlich unterscheiden, mussten dafür je ein eigener Trainingsgebiets-Satz erstellt werden. Für die Klassen „Wald“, „Dauergrünland“, „Feuchtgebiete“, „Kiesabbau/ Steinbrüche“ waren die Trainingsgebiete übertragbar. Der alpine Bereich umfasst zusätzliche Klassen.

Durch die unterschiedlichen naturräumlichen Bedingungen sind auch die für die ENPOC Klassifikation notwendigen membership functions nur bedingt übertragbar. Als Beispiel sei ein Vergleich zwischen dem Alpenvorland und den Gebieten des Bayerischen Waldes genannt. Im Alpenvorland ist Mais- und Getreideanbau temperatur- und strahlungsbedingt bis max. 800m möglich und wird insbesondere in den inneralpinen Tälern, wie dem oberen Inntal auch bis in diese Höhen betrieben. Im Bayerischen Wald ist Ackerbau bis max. ca. 700m Höhe möglich. Andererseits unterscheidet sich die Nutzung in Abhängigkeit von der Hangneigung im Gesamtgebiet sehr stark. In den Lössgebieten des Tertiärhügellandes wird auf Grund der Mächtigkeit der Böden Maisanbau auf wesentlich steileren Hänge betrieben als im Alpenvorland, auch wider den Empfehlungen zur guten landwirtschaftlichen Praxis, die der Definition der membership functions zugrunde liegt.

Auswahl der Trainingsgebiete:

Aufgrund der Größe des Gebietes liegen nur wenige Referenzdaten (ground truth) aus dem Jahr 2000 vor, aus denen Trainingsgebiete abgeleitet werden können. Diese stammen aus Kartierungen bzw. aus Befragung von Landwirten.

Ground truth Daten stehen aus folgenden Gebieten zur Verfügung:

- Gemeinde Sauerlach südlich von München
- Bereich des Rottals, Niederbayern
- Gemeinde Aschau im Inntal (Landkreis Mühldorf)
- Einzelne Gebiete im Gäuboden bei Straubing
- Gebiet um Gilching westlich von München
- Gemeinde Grünbach/ LK Erding östlich von München
- Gemeinde Wielenbach und Polling Weilheim-Schongau südlich von München
- Luftbilddauswertung und Ökotoptkartierung aus dem Bereich Kaunertal/Ötztal

Die spektralen Signaturen der Feldfrüchte wurden auf die übrigen Regionen übertragen und entsprechende Trainingsgebiete ausgewählt.

Die Klassifikation wurde mit dem wissensbasierten Klassifikationsalgorithmus ENPOC in einem multistage-Klassifikationsverfahren durchgeführt.

1. *Getrennte Klassifikation der einzelnen naturräumlichen Teilgebiete* ohne die Klassen „Wasser“, „Siedlung“, „Schnee und Eis“, „Wolken und Wolkenschatten“. Der Grund für die Erstellung von Masken liegt zum einen in der programmtechnischen Limitierung der Anzahl der Trainingsgebiete, zum anderen in der erschwerten Trennbarkeit bestimmter Klassen.

Die Klassen „Wasser“ und „Schnee/Eis“ können hochgenau mit Hilfe von Schwellenwerten definiert werden. Bei der Klasse „versiegelte Flächen“ hingegen liegt das Problem in der starken Überschneidung der Klasse „Siedlung“ mit anderen Klassen wie „offener Boden“, „Wintergerste“ und „Kiesflächen“ sowie in Bereichen, in denen Geofaktoren keine Limitierung bilden. Die Klasse „versiegelte Fläche“ wurde, wie unter 3. beschrieben, separat klassifiziert.

2. *Einbinden multitemporaler Information* zur Verbesserung der Klassifikation der Waldflächen: 1990 verursachten die Stürme „Wiebke“ und „Vivian“ in großen Bereichen des Untersuchungsgebietes erhebliche Schäden. Die Sturmschadensflächen sind immer noch deutlich sichtbar. Die Flächen wurden entweder mit Mischwald wieder aufgeforstet oder der Naturverjüngung überlassen. Sie zeigen jedoch immer noch eine deutlich von den Waldklassen unterschiedliche Signatur, die sich aber kaum von anderen spektralen Klassen trennen lässt (Abb. 21).

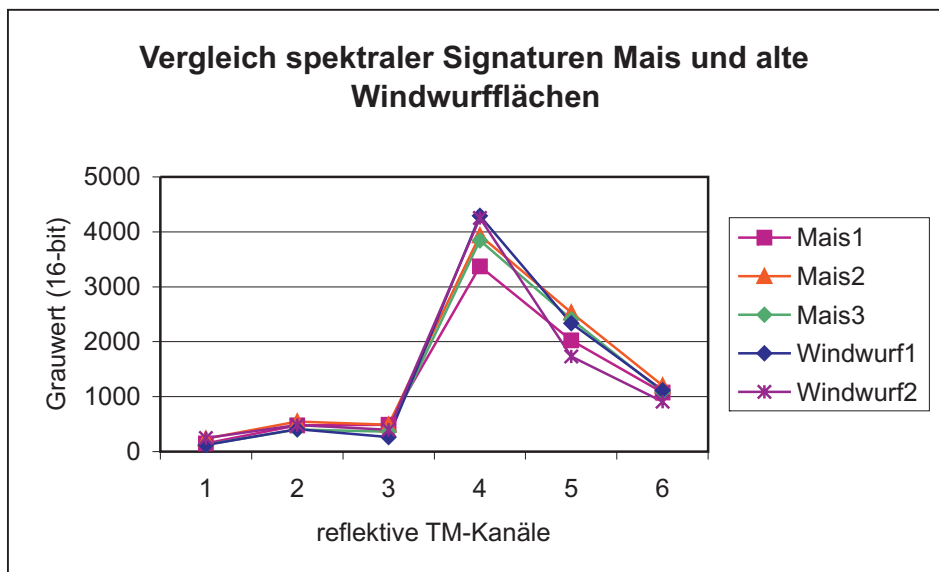


Abb. 21: Vergleich spektraler Signaturen von Mais und Windwurfflächen im Bereich des Hofoldinger Forstes und der angrenzenden Gebiete (südlich von München).

Es wurde deshalb unter Verwendung von Datensätzen, die vor 1990 aufgenommen wurden, eine Maske der Sturmschadensflächen erstellt, die aus einer multitemporalen Change-detection gewonnen wurde (Abb. 22).

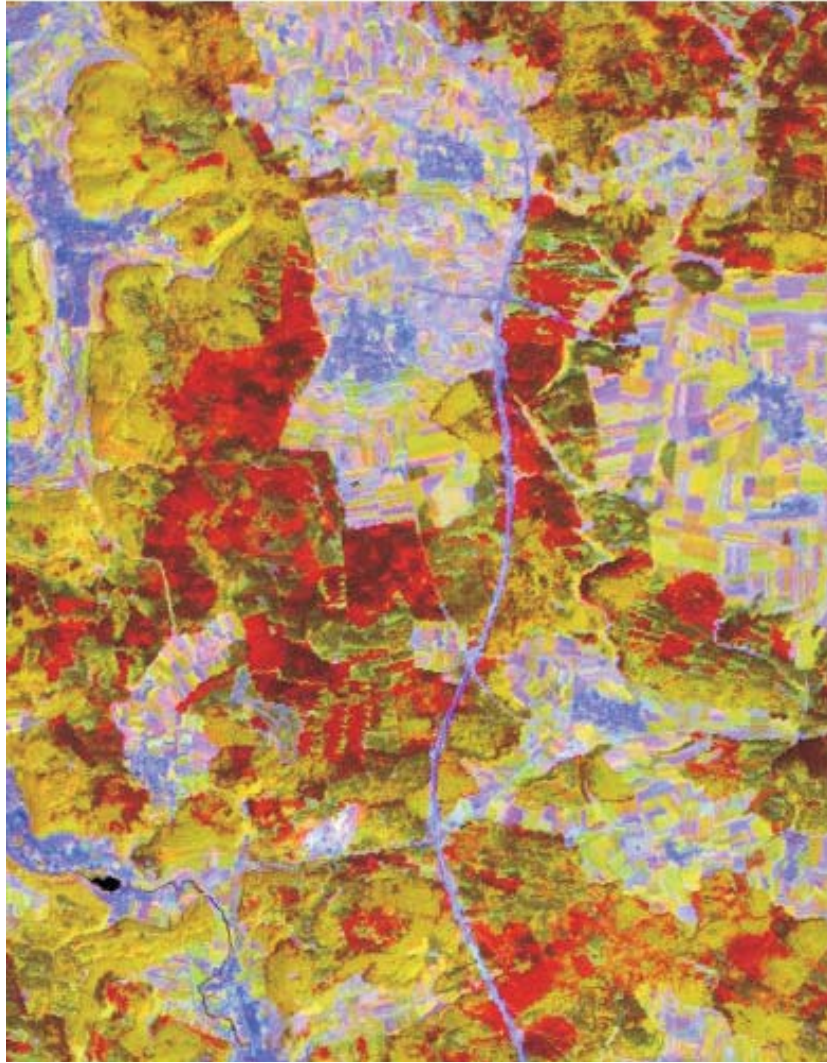


Abb. 22: Überlagerung der aus einem Datensatz vom 13.8.1988 generierten Waldmaske mit dem zu klassifizierenden Bild. Die roten Flächen zeigen die 1990 und danach entstandenen Windwurfflächen.

3. *Maskierung bebauter Flächen.* Offener Boden und unbewachsene Felder sowie einige Moorflächen verhalten sich in Landsat-TM-Bildern spektral teilweise sehr ähnlich wie Siedlungen bzw. bebauten Flächen. Eine zusätzliche Unterscheidung solcher Flächen mit Geofaktoren ist nur in Teilbereichen möglich. Das beschriebene Verfahren der EN-POC-Klassifikation ist daher zur hochgenauen Klassifikation von bebauten Flächen nur bedingt geeignet. Deshalb erfolgte die Bestimmung dieser Flächen als Maske in einem separaten Klassifikationsschritt.

Zu diesem Zweck wurde eine kombinierte Schwellwert-Klassifikation konzipiert und durchgeführt, wofür spektrale Daten (von Landsat-TM) sowie daraus abgeleitete Produkte, satellitengestützte Radardaten (von RADARSAT), sowie die Geofaktoren Höhe und Gefälle verwendet wurden (Abb. 23). Aus den TM-Daten wurde eine auf Siedlungsflächen optimierte Hauptkomponententransformation gerechnet, sowie der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) bestimmt. Zusammen mit dem TM- Kanal 4 (Nahes Infrarot) können daraus über eine Schwellwert-Klassifikation sämtliche Siedlungsflächen bestimmt werden.

Allerdings ist dabei der Anteil der fälschlicherweise mitklassifizierten nicht bebauten Flächen noch deutlich zu hoch und mit rein spektralen Kriterien auch nicht verringerbare oder gar vermeidbar. Durch zusätzliches Anlegen von Schwellenwerte an die Geofaktoren Höhe und Gefälle und vor allem durch die Einbindung satellitengestützter Radardaten konnte schließlich die gewünschte Qualität erzielt werden.

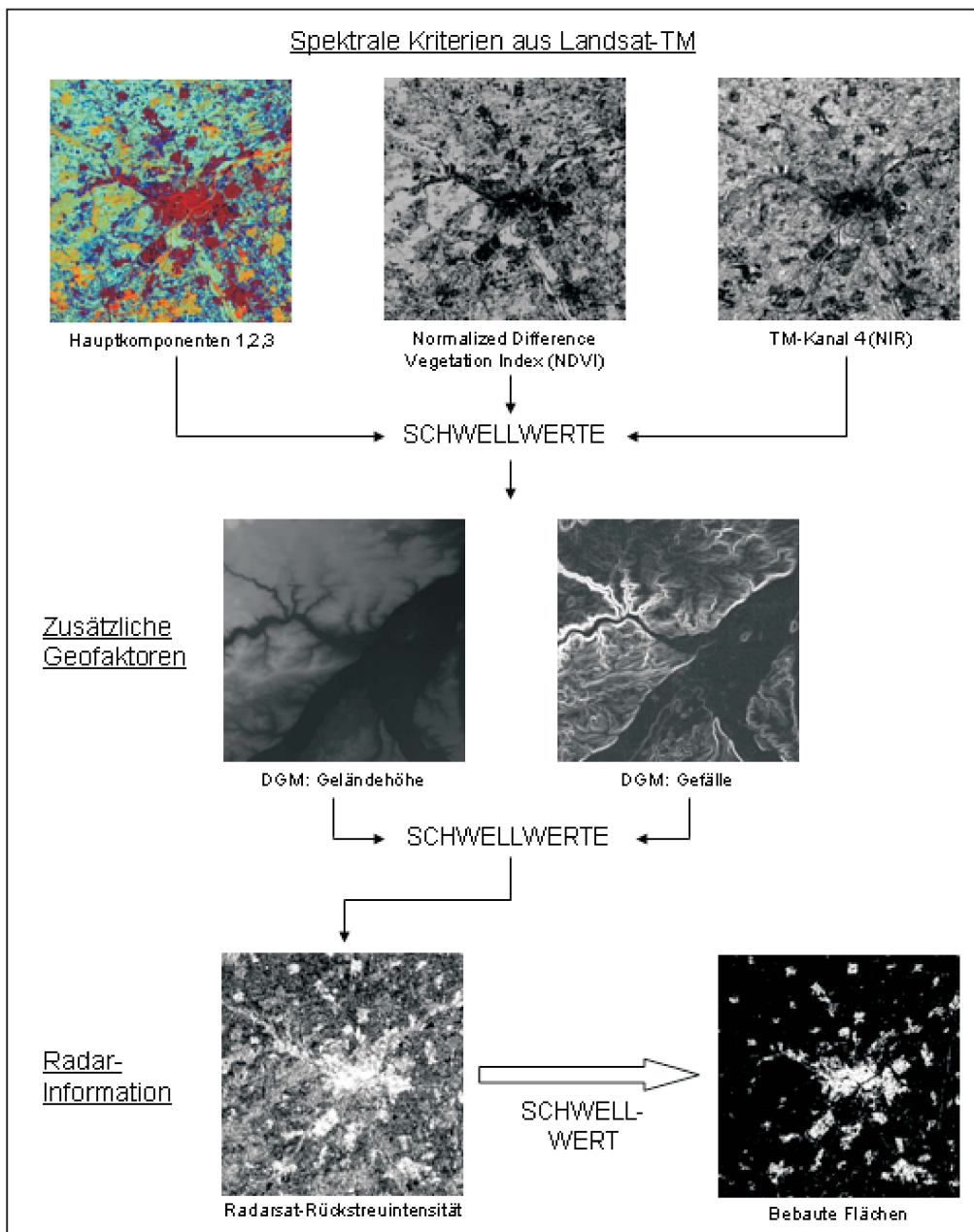


Abb. 23: Erstellung einer Maske bebauter Flächen aus spektralen Daten, Geofaktoren und Radar, schematisch dargestellt am Beispiel der Stadt Ulm mit Umland.

Das Schlüsselement dieser kombinierten Klassifikation stellen dabei die Radar-Daten dar, die die entscheidende Abgrenzung zwischen tatsächlichen Siedlungsflächen, die sich im Radar durch eine sehr hohe Rückstreuintensität klar abzeichnen, und (spektral ähnlichen) landwirtschaftlichen Flächen mit nur geringer Rückstreuintensität ermöglichen. Dabei wurde eine geometrisch und radiometrisch korrigierte und auf 30m x 30m Auflösung heruntergerechnete, schneefreie RADARSAT-Aufnahme vom 19.01.1997 verwendet, mit der das gesamte Untersuchungsgebiet nahezu vollständig abgedeckt wird. Wegen des enthaltenen starken Speckle-Effektes, sowie ähnlich hoher Rückstreuwerte an Siedlungsrandern und in Waldgebieten, wäre eine reine Klassifikation aus Radardaten zwar nicht möglich; als nachgeschaltetes Entscheidungskriterium eignen sie sich jedoch hervorragend. Durch eine Sensitivitätsanalyse konnten zunächst in Testausschnitten schrittweise Schwellenwerte bestimmt werden, die dann erfolgreich auf das Gesamtgebiet angewendet werden konnten.

4. *Verschneidung der Klassifikation mit den Masken.* Die Masken wurden in folgender Rangfolge in die Klassifikation integriert: Wolke/Schatten (niedrigste Priorität), Wasser, Schnee/Eis, Versiegelte Fläche.

5. *Postklassifikationsfilterung.* Die in pixelbasierten Klassifikationen immer auftretenden Einzelpixel einer Klasse in einer Fläche einer anderen Klasse wurden mit einem Postklassifikationsfilter eliminiert. Ein Postklassifikationsfilter ordnet diese Pixel der Majoritätsklasse in einer Filterbox zu. Dazu kann ein Ausschlusskriterium angegeben werden. Als Schwellwert wurde 6 gewählt, d.h., dass in einer 3 x 3 Pixel großen Filterbox einem Pixel dann der Wert einer anderen Klasse zugeordnet wird, wenn diese einen Anteil von mindestens 6 Pixeln hat. Auf diese Weise werden Einzelpixel eliminiert und unregelmäßige Ränder an Feldern (bedingt durch das Nearest Neighbor Resampling bei der geometrischen Korrektur) geglättet.
6. *Zusammenfügen der Teilklassifikationen.* Als letzter Schritt erfolgte die Mosaikierung der endgültigen und gefilterten Klassifikationsergebnisse der Teilbereiche. Die Qualität der Klassifikation kann daran ermessen werden, dass es an den Stoßkanten kaum zu Unterschieden in den Daten aus dem Jahr 2000 kommt, obwohl die Grenze zwischen zwei Gebieten Felder schneidet. Eine Vermischung gibt es nur zwischen den Klassen „Wintergerste/Winterroggen-Triticale“, „Mischwald/Laubwald“, „Winterweizen/Sommergetreide“ und „Raps/Futterpflanzen“. An der Grenze zum Datensatz von 1999 fällt ein dort häufigeres Vorkommen der Klasse „Mais“ auf. Zum Aufnahmezeitpunkt 1999 konnten Grünland und stillgelegte Flächen in einem bestimmten Wuchsstadium von Mais spektral kaum getrennt werden. In den Gebieten des Tertiärhügellandes, in dem das Relief keinen limitierenden Geofaktor darstellt und das eine hohe Bodenqualität aufweist, entschied sich der Klassifikator meist für die Klasse „Mais“, so dass es zu einer leichten Überklassifikation von Mais kommt.

Verifizierung und Validierung:

Eine Verifizierung kann aufgrund der durch die Größe des Gebietes bedingten fehlenden flächendeckenden Kartierungen nur für die Flächen vorgenommen werden, in denen durch Befragung bzw. Kartierung Flächennutzungen ermittelt wurden.

Für die übrigen Gebiete wird stichpunktartig die Klassifikation im Bereich einer Gemeinde mit den Angaben aus der Anbaustatistik für das Jahr 2000 verglichen. Da in diesen Statistiken zum einen aus Datenschutzgründen nicht alle Flächen erfasst werden bzw. auch Flächen die zwar in einer anderen Gemeinde liegen, aber von einer Hofstelle innerhalb der Testgemeinde aus bewirtschaftet werden, kann dieser Vergleich nur ein Anhaltspunkt zur prozentualen Verteilung sein.

2.2.2.3.3 Disaggregation der Einwohnerverteilung mit Fernerkundung

Die meisten für den deutschen und österreichischen Teil des Einzugsgebietes verfügbaren sozialwissenschaftlichen Datensätze beruhen auf Umfragen oder amtlichen statistischen Erhebungen und sind nur auf administrativer Ebene (Gemeinden oder Landkreise) räumlich aggregiert vorhanden. Im Sinne des Proxel-Konzeptes von DANUBIA war ein Downscaling dieser Modellinput-Daten erforderlich. Ein für Skalierungsfragen in GLOWA-Danube wichtiger Parameter ist die Einwohnerverteilung. Wegen der engen kausalen Verknüpfung vieler Parameter (z.B. Haushalte, Wasserverbrauch) mit der Einwohnerverteilung wurde eine Disaggregation der Einwohnerzahlen von Gemeinde- auf Proxelebene (1km²) durchgeführt.

Die Disaggregation erfolgte durch eine lineare Zuordnung der auf Gemeindeebene erhobenen Einwohnerstatistik zu den auf Proxel-Ebene subskalig bekannten Siedlungsflächen-Anteilen. Dieses Downscaling wurde sowohl mit den Daten der AVHRR-Klassifikation (PROBECK et al. 2003) als auch mit den Daten der auf Fernerkundung basierenden CORINE-Klassifikation (EUROPEAN COMMUNITIES-COMMISSION 1992) durchgeführt und mit geänderter Datenlage mehrmals angepasst. Durch zusätzliche Verwendung von GIS-Daten (Landnutzung, Höhe und Gefälle) und Entscheidungsregeln konnte sichergestellt werden, dass auch sehr kleinen Gemeinden ohne eigenes „Siedlungs“-Proxel aus der Landnutzungsklassifikation die statistischen Einwohner in einer geographisch sinnvollen Verteilung zugeordnet wurden.

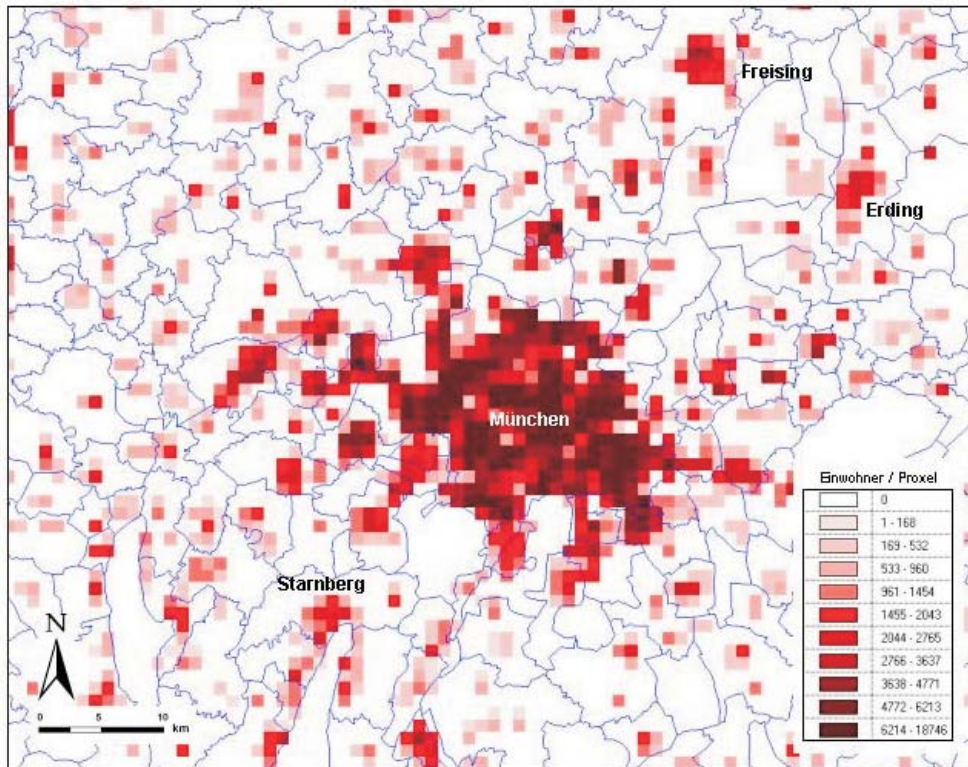


Abb. 24: Disaggregierte Einwohnerverteilung für den Großraum München, abgeleitet aus CORINE Landnutzungsdaten und statistischen Einwohnerdaten auf Gemeindeebene. Die Größe eines Proxels beträgt 1km^2 , die Gemeindegrenzen sind in blau hinterlegt. Die Zuordnung der Proxel zu Gemeinden ist dabei eindeutig.

So konnte ein für den deutschen und österreichischen Teil des Einzugsgebietes flächendeckender Datensatz der Einwohnerverteilung erstellt werden, der die statistischen Einwohner-Werte auf Gemeindeebene zu 100% reproduziert. Dieser Datensatz wurde über die zentrale Datenbank allen Teilprojekten zur Verfügung gestellt. Er wird derzeit vor allem von den Actors-Gruppen verwendet. Abbildung 24 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt der Region um München.

2.2.2.3 Fuzzy Logic gestützte wissensbasierte Entmischung

Für die Bereitstellung von Parametern aus Fernerkundungsdaten für das Decision Support System DANUBIA stellt sich die Frage, in welcher Form und auf welcher Skala diese generiert werden. Zunächst bietet es sich an, die räumliche Auflösung des Proxels als Basis zu wählen. Dies ließe die Ableitung von Parametern auf herkömmlichem Wege zu und würde pro Proxelgröße ($1 \times 1\text{km}^2$) einen Wert bereitstellen. Die Entwicklung des Systems zielt jedoch darauf ab, diese Fläche subskalig zu parametrisieren (vgl. *Geokomplexe*) um damit der in den meisten Fällen vorliegenden Heterogenität des Proxels durch eine subskalige Segmentierung gerecht zu werden. Diese Betrachtungsweise des Proxels als Komposit genesteter Teilflächen ist in der Repräsentation der Landnutzung bereits implementiert (vgl. Klasse `org.glowa.danube.datatypes.CollectionDataElement`) und wird mit der Entwicklung des Konzepts der Geokomplexe für andere, weitestgehend statische Parameter erweitert. Stellt man diesen Überlegungen die räumliche Auflösung der derzeit verfügbaren Sensoren gegenüber, wird deutlich, daß mit den verfügbaren Auflösungen keine optimale Anpassung an diese Repräsentation erreicht werden kann. Dies ist damit zu begründen, daß beispielsweise auf der Basis von MODIS und MERIS mit einer nominalen Pixelgröße von 250m, 300m, 500m und 1000m nur eine unbefriedigende subskalige Darstellung von Parametern erreicht werden kann. Im günstigsten Fall, den 250m-Daten von MODIS, wird eine Proxelgröße durch 16 MODIS-Messungen erfasst. Die Genauigkeit mit der sich aus diesen Daten abgeleitete subskalige Information darstellen lässt, beträgt $\pm 6.25\%$. Eine Einbindung von Fernerkundungsdaten auf diesem Weg bedeutete also die Akzeptanz eines nicht unbedeutenden skalenbedingten Fehlers.

Ein Schwerpunkt der Betrachtungen des Teilprojektes Fernerkundung ist der Parameter Blattflächenindex (leaf area index - LAI). Für die Ableitung dieser Größe aus Fernerkundungsdaten ist die Einbindung der Landnutzungsinformation von ausschlaggebender Bedeutung. Diese Art der Datenintegration zur Informationsgewinnung impliziert jedoch wiederum eine Skalierungsproblematik: Wird nämlich für die Parameterableitung aus einem Meßwert einer bestimmten Auflösung eine Zusatzinformation in Form von der Landnutzung herangezogen, so bezieht sich der erzeugte Parameter auch auf diese Landnutzung, die für das betrachtete Pixel homogen ist. Dies bedeutet aber auch, dass eine subskalige Betrachtung des so ermittelten Parameters nicht zulässig ist. Wird beispielsweise ein LAI-Wert für eine 1 x 1 km² messende Fläche angegeben, so kann dieser Wert durchaus die korrekte Blattfläche auch für eine bzgl. der Landnutzung heterogene Fläche angeben. Wird dieser Wert jedoch aus FE-Daten mit Hilfe von Landnutzungsinformation gewonnen, so muss für die Fläche eine homogene Landnutzung angenommen werden. Eine subsequente subskalige Unterteilung dieses Wertes, also beispielsweise die Zuordnung von Teilen der Blattfläche zu bestimmten Landnutzungen kann nicht legitim sein, wenn der Wert der Blattfläche unter der Annahme homogener Eigenschaften ermittelt wurde.

Aus diesen Überlegungen heraus wurde ein Verfahren entwickelt, das den Reflexionswert eines groben (mesoskaligen) Pixels eines beliebigen Sensors so zerlegt, daß den jeweils dem Pixel zugehörigen Landnutzungen ein eigener Reflexionswert zugewiesen werden kann. Existiert also ein Messwert eines Pixels, welcher auf der Mesoskala über eine Fläche der Landnutzungen LN₁, LN₂, ...LN_n integriert, so kann mit dem entwickelten Verfahren ermittelt werden, welche Reflexion von jeder Landnutzung zu diesem Integrationswert beiträgt. Die so ermittelten Reflexionseigenschaften der Landnutzungen einer mesoskaligen Fläche können wiederum herangezogen werden, um sie für die (landnutzungsabhängige) Ableitung von Parametern zu verwenden. Die für ein mesoskaliges Pixel erzeugten Parameter sind (im Sinne von subskaliger Parametrisierung in DANUBIA bzw. in Geokomplexen) für diese Fläche nicht verortet, sondern geben vielmehr einen Wert für genestete Teilflächen des mesoskaligen Pixels/Proxels an. Das Verfahren arbeitet jeweils für ein Wellenlängenintervall eines Sensors, muss also für jeden Kanal gesondert durchgeführt werden.

Für die Erprobung des Verfahrens wurde mit synthetischen Daten gearbeitet, die aus den Landsat-Daten der Szene Path 193 Row 27 vom 19.06.2000 (vgl. Abb. 17) erzeugt wurden. Dazu wurden die 30m-Daten per Mittelung auf 240m aggregiert. Diese Vorgehensweise bietet den Vorteil, daß die per Entmischung ermittelten Reflexionswerte mit den tatsächlich auf der Mikroskala gemessenen Werten verglichen werden können. Zudem vermeidet die Nutzung der aus der Mikroskala gewonnenen synthetischen Daten die Diskrepanzen der Messungen verschiedener Sensoren, welche aus der leichten Variation der Bandbreiten resultiert. Das Verfahren wurde jedoch im Hinblick auf die Anwendung auf MODIS-Daten entwickelt.

Für die Fraktionierung eines mesoskaligen Fernerkundungsmesswertes sind neben dem Messwert selbst die prozentualen Flächenanteile der dem Messwert zuzuordnenden Landnutzungen erforderlich. Diese werden aus einem möglichst hoch auflösenden Datensatz "Landnutzung" gewonnen. Für das Untersuchungsgebiet von GLOWA-Danube liegt mit der Landnutzungsklassifikation aus Landsat-Daten ein hervorragend geeigneter Datensatz vor (vgl. Kap. 2.2.2.3.2). Die 30m-Pixel wurden jeweils auf einer 8 x 8 Matrix zu prozentualen Flächenanteilen aggregiert. Diese Flächenanteile beziehen sich somit direkt auf die auf 240m aggregierten Landsat-Daten.

Der Kern des Verfahrens liegt in der unscharfen Beschreibung der zu erwartenden Werte. Diese beruht auf dem Wissen um die Reflexionseigenschaften von Oberflächen zu einem bestimmten Zeitpunkt. Dabei verändern sich insbesondere die Reflexionen vegetationsbestandener Flächen in Abhängigkeit der Zeit und der phänologischen Entwicklung. Eine Aussage über die Reflexion einer Landnutzung zu einem bestimmten Zeitpunkt kann daher nur innerhalb gewisser Grenzen und mit vager Bestimmtheit getroffen werden. Eine solche

Aussage ist somit in ihrem Wesen *fuzzy*. Mit Hilfe von *Fuzzy-Membership-Functions* (Zugehörigkeitsfunktionen) kann hier angegeben werden, wie wahrscheinlich sich eine Landnutzung in einem bestimmten Zustand der Reflexion befindet.

Für das eingesetzte Optimierungsverfahren nach Newton-Raphson ist es erforderlich daß diese Funktionen zumindest zweifach differenzierbar sind. Eine Funktion wurde ermittelt, welche diese Bedingung erfüllt und welche sich als flexibel genug erwiesen hat, um die Häufigkeitsverteilungen der Reflexionen der verschiedenen Landnutzungen in den Spektralbereichen K3 und K4 mit geringem Fehler zu erfassen (R^2 bei 0.97). Verschiedene Parametrisierungen der Funktion erlauben die Abbildung sowohl nahezu gleichverteilter Reflexionen ebenso wie rechts- und linksschiefer Verteilungen.

Die Funktion besitzt die Form

$$\psi_n = a \cdot e \left(-\frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2 \cdot (1 + b \cdot x + c \cdot x^2)} \right) \quad (1)$$

Die Parameter a , b und c steuern dabei die Amplitude der Kurve sowie die Breite und Schiefe. Über den Parameter μ wird die Lage des Maximums gesteuert. Dieser Wert dient auch als Startwert bei der Initialisierung des Newton-Raphson Algorithmus. Mit σ kann das rechts- und linksseitige Konvergieren gegen Null beeinflusst werden. Abbildung 25 zeigt eine Schar solcher Funktionen für den Landsat-Kanal 4.

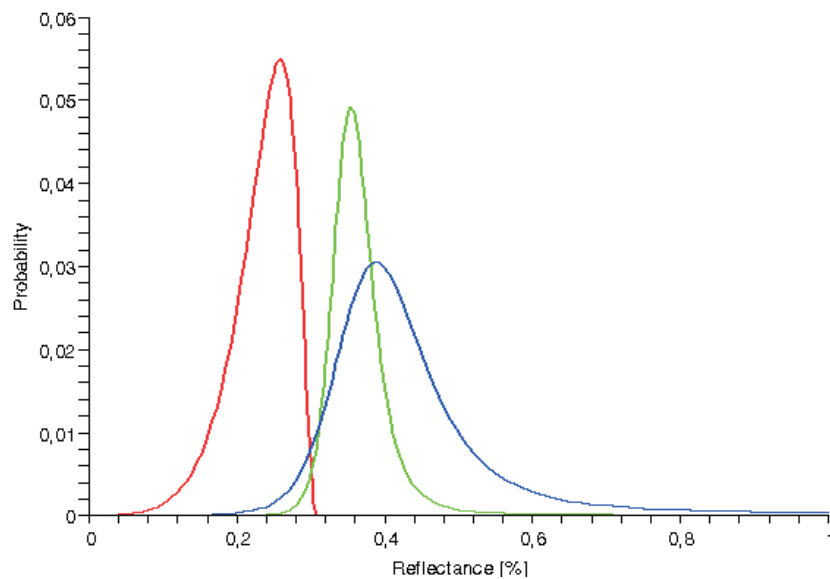


Abb. 25: Schar von mehrfach differenzierbaren Funktionen Ψ_n zur unscharfen Beschreibung der Wahrscheinlichkeit der Reflexion am 18. Juni für versiegelte Fläche (rot), Mais (grün) und Grünland (blau).

Für ein Pixel mit n Landnutzungen existieren also n Funktionen ψ_n , die die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines bestimmten Reflexionswertes zum Aufnahmezeitpunkt angeben können. Es wird nun angenommen, dass der wahrscheinlichste mögliche Reflexionswert einer Landnutzung der Reflexion dieser Landnutzung zum Aufnahmezeitpunkt entspricht. Die Bedingung, die die Reflexionswerte R_n der n Landnutzungen erfüllen müssen, ist, dass die flächengewichtete Summe der Reflexionen den Reflexionswert R_{ges} des mesoskaligen Pixels ergeben muss. Diese Bedingung ist ausgedrückt in der Gleichung

$$R_{ges} = R_1 \cdot a_1 + R_2 \cdot a_2 + R_3 \cdot a_3 + \dots + R_n \cdot a_n \quad (2)$$

wobei a_n den Flächenanteil der Landnutzung am mesoskaligen Pixel angibt. Die Gleichung kann umgeformt werden zu:

$$R_n = \frac{I}{a_n} \cdot \left(R_{ges} - R_1 \cdot a_1 - R_2 \cdot a_2 - R_3 \cdot a_3 - \dots - R_{n-1} \cdot a_{n-1} \right) \quad (3)$$

und liefert damit die Form, in der die Bedingung bei der Maximierung der Wahrscheinlichkeiten der Reflexionen einfließen kann. Unter dieser Bedingung ergeben sich die maximal möglichen Reflexionen der n Landnutzungen aus der Maximierung der Funktion

$$\Psi_{ges} = \Psi_1(R_1) \cdot \Psi_2(R_2) \cdot \dots \cdot \Psi_{n-1}(R_{n-1}) \cdot \Psi_n(R_n(R_1, R_2, \dots, R_{n-1})) \quad (4)$$

Die Maximierung erfolgt nach dem Newton-Raphson Algorithmus

$$\bar{\chi}_1 = \bar{\chi}_0 + \nabla \Psi_{ges}(\bar{\chi}_0) \cdot \left(H \Psi_{ges}(\bar{\chi}_0) \right)^{-1} \quad (5)$$

mit dem Gradienten $\nabla \Psi_{ges}$ und der Inversen der Hesse-Matrix $\left(H \Psi_{ges}(\bar{\chi}_0) \right)^{-1}$ an der Stelle $\bar{\chi}_0$. Das Verfahren konvergiert sehr rasch gegen den gesuchten Wert, so dass die Rechenzeit gering gehalten werden kann.

Erste Ergebnisse zeigen die grundsätzliche Tauglichkeit des Verfahrens. In Tabelle 4 sind Ergebnisse für die Entmischung von Reflexionswerten des Spektralbereichs Landsat Kanal 4 und Kanal 3 den tatsächlichen mikroskaligen Messungen gegenübergestellt. Die Angaben der Mikroskala (30m) beziehen sich auf den mittleren Reflexionsgrad der jeweiligen Landnutzung auf dem Gebiet des mesoskaligen Pixels.

Tab. 4: Gegeüberstellung von mikroskaligen Reflexionsmessungen mit Entmischten Reflexionen.

	Flächenanteil	Entmischung (K4/IR)	Mittelwert auf 30m (K4/IR)	Entmischung (K3/RED)	Mittelwert auf 30m (K3/RED)	NDVI aus Entmischung	NDVI aus Mittelwert	LAI aus Entmischung	LAI aus Mittelwert
Grünland	0.0781	0.3825	0.2745	0.0508	0.0442	0.8673	0.8391	1.0438	0.9454
Mais	0.0156	0.3536	0.3225	0.0461	0.0358	0.8695	0.8890	1.0518	1.1241
Siedlung	0.9063	0.2104	0.2202	0.0742	0.0749	0.6475	0.6598		
Reflexion (mesosk.)		0.2261 (K4/IR)		0.0719 (K3/RED)		NDVI der Majorität „Siedlung“: 0.6820		LAI der Majorität „Siedlung“: 0.0	

Die Arbeiten, die zu diesem Verfahren fortgeführt werden, umfassen die Analyse und Entwicklung hinsichtlich der Robustheit des Algorithmus sowie die Übertragung und Anwendung auf MODIS-Daten. Anhand der erfassten ground-truth wird die Tauglichkeit der Reflexions-Entmischung für die Ableitung des LAI überprüft. Da für den operationellen Einsatz eine breite Reflexions-Datenbank erforderlich ist, werden die Möglichkeiten der Erzeugung einer solchen Datenbank aus bestehenden spektralen Datenbanken und eigenen Fernerkundungsdatensätzen eruiert.

2.3 Integrative Arbeiten

Im Zentrum des Arbeitspaketes der ersten Projektphase stand die Entwicklung des Integrationskonzeptes und dessen Implementierung in DANUBIA. Die Komplexität des Integrationsansatzes für DANUBIA führte zu zahlreichen Diskussionen unter den Projektpartnern. Dabei wurden Probleme der direkten Kopplung aufgedeckt, auf deren Grundlage konzeptionelle Ansätze zur Ermittlung von Modellkompetenzen und zur Identifizierung möglicher Lösungswege geschaffen wurden. Die erarbeiteten Kopplungsansätze zu den benachbarten Projektgruppen *Groundwater*, *RiverNetwork*, *Atmosphere* und *Farming* sind im Jahresbericht 2002 ausführlich

dokumentiert. Die Organisation des *Landsurface*-Objects und die Konzeptionierung der Zuständigkeiten und Schnittstellen der aus dem Teilprojekt “Hydrologie/Fernerkundung” gelieferten Module (vgl. Kap. 2.2.1.1.) wird im Folgenden kurz dargelegt. Die Realisierung der Modellkomponenten in DANUBIA wird in UML-Notation aufgezeigt.

2.3.1 Entwicklung des integrativen Konzepts

Die erfolgreiche Entwicklung des DANUBIA-Systems erforderte die frühzeitige Bereitstellung funktionsfähiger Objekte. Das Betrachtungsobjekt des Teilprojektes Hydrologie/Fernerkundung ist der Energie-, Wasser- und Stoffhaushalt der Landoberfläche. Teilaspekte davon werden von den Projektpartnern Pflanzenökologie (Tenhunen) und Glaziologie (Kuhn) bearbeitet. In gemeinsamem Einverständnis dieser drei Gruppen wurde ein *Landsurface*-Object geschaffen, das die Modellinhalte dieser drei Gruppen in einem Objekt integriert. Dadurch ist für die Projektpartner nur ein Objekt als Ansprechpartner für Prozesse auf der Landoberfläche existent, das alle Kompetenzen in sich vereint. Zweitens konnte dadurch innerhalb des *Landsurface*-Objektes eine enge Kopplung der einzelnen Teilmodelle erfolgen, die durch die Kapselung nach außen unabhängig und modular weiterentwickelt wurde. Die gemeinsame Betrachtung der auf der Landoberfläche ablaufenden Prozesse und deren Beschreibung durch vorhandene Modelle der drei beteiligten Teildisziplinen ergab, dass eine neue Gesamtstruktur innerhalb des *Landsurface*-Objektes notwendig wurde. Die Festlegung des Modellablaufs und der Teilmodell-Synchronisierung innerhalb der Landoberfläche orientiert sich an der realen Abfolge der Prozesse in der Natur. Durch diese Neustrukturierung ist gewährleistet, dass jeder Teilprozess des Wasser-, Stoff- und Energieaustauschs nur an einer Stelle des *Landsurface*-Objektes beschrieben wird, wodurch Redundanzen und Inkonsistenzen bei der Prozessbeschreibung vermieden werden. Entsprechend ihrer jeweiligen Kompetenz übernehmen die einzelnen Projektpartner folgende neue Komponenten: Hydrologie/Fernerkundung ist federführend zuständig für „Radiation-Balance“, „Surface“ (in Zusammenarbeit mit der Glaziologie) und „Soil“, Glaziologie für „Snow“ und die Pflanzenökologie für „Biological“. Die Kommunikation mit den Nachbarobjekten *Atmosphere*, *Rivernetwork*, *Groundwater* und *Actors* erfolgt über den *LandsurfaceController*, der zu jedem vom DANUBIA-TimeController vorgegebenen Modellzeittakt Daten und Parameter über vereinbarte Schnittstellen austauscht (vgl. Abb. 27 des Klassendiagramms der *Landsurface*-Komponente). Innerhalb des *Landsurface*-Objektes musste eine aufeinander abgestimmte, kürzere Zeittaktung erfolgen, damit die gesamte innere Prozesskette innerhalb eines DANUBIA-Zeitschrittes auf die äußeren Vorgaben reagieren kann. Die objektorientierte Struktur innerhalb des *Landsurface*-Objektes erlaubt dabei die Parallelisierung nicht voneinander abhängiger Prozesse.

2.3.2 Realisierung in DANUBIA (UML)

2.3.2.1 Schnittstellen

Die *Landsurface*-Komponente tauscht Daten mit dem Danubia-Framework über spezialisierte Schnittstellen aus (DANUBIA-Interfaces). Abbildung 26 zeigt die Kommunikationsstruktur zwischen der DANUBIA-Komponente *Landsurface* und den Interfaces zu den Nachbarkomponenten. Der externe Import und Export von Daten erfolgt über den *LandsurfaceController* zur *Actor*-, *Atmosphere*-, *Groundwater*- und *RiverNetwork*-Komponente.

Der Dialog der Teilmodelle innerhalb der *Landsurface*-Komponente erfolgt unmittelbar, ohne Zwischenschaltung des *LandsurfaceControllers*, da dadurch sonst eine weitere Übertaktung innerhalb des Objekts erforderlich wäre. In Abbildung 27 ist die interne Kommunikation zwischen den Teilmodellen der *Landsurface*-Komponente schematisiert dargestellt.

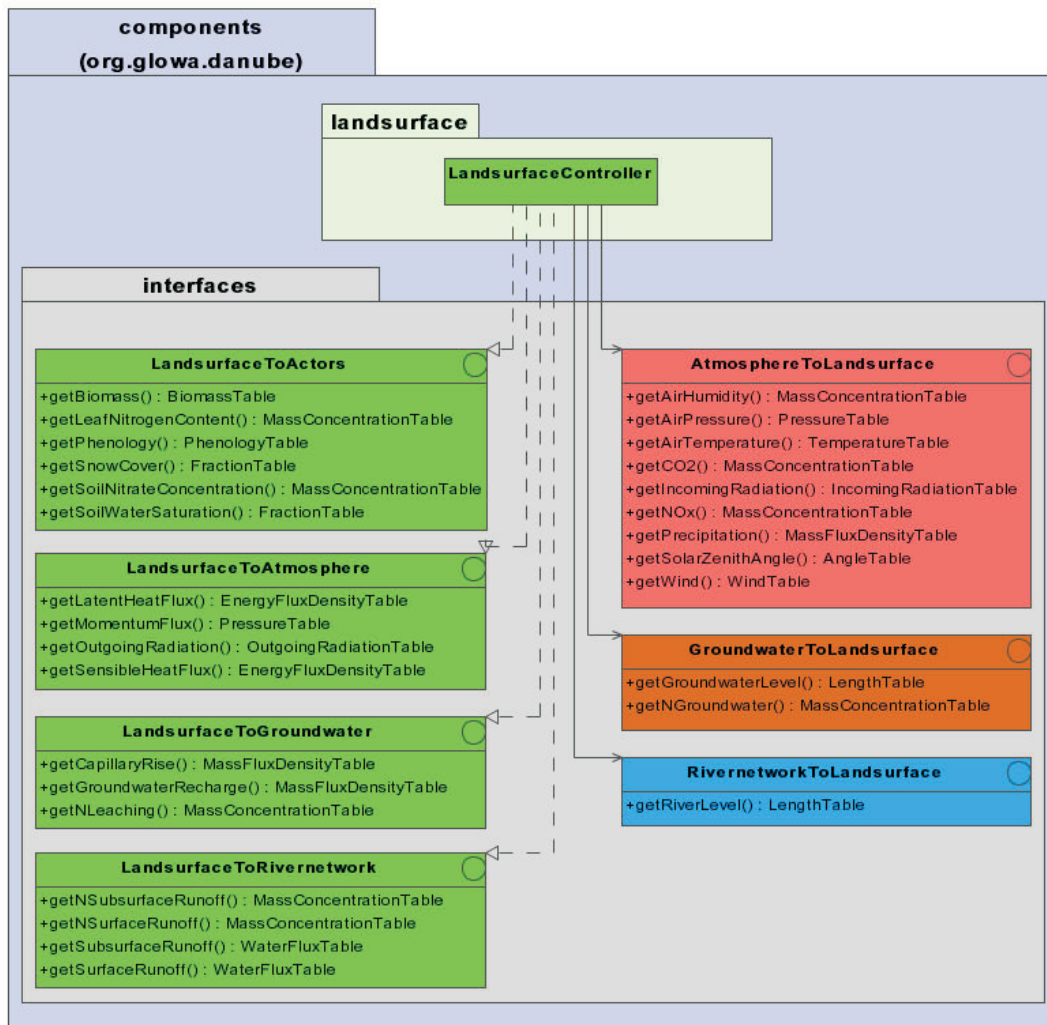


Abb. 26: Externe Schnittstellen der *Landsurface*-Komponente.

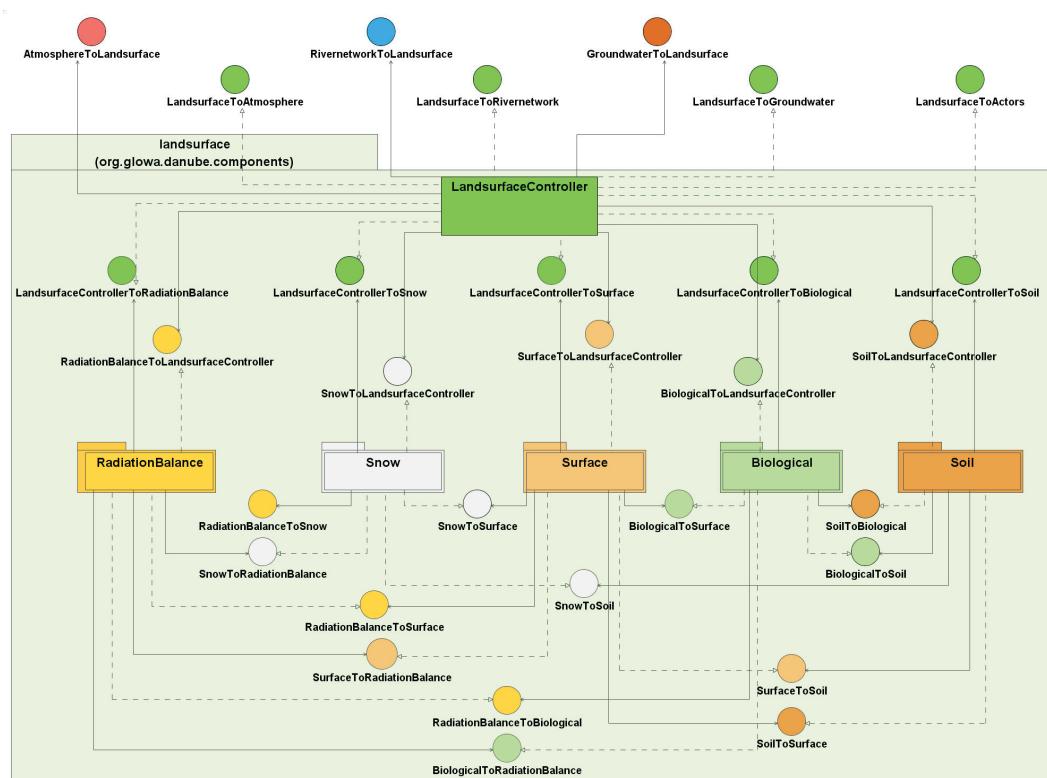


Abb. 27: Struktur des *Landsurface*-Objects im Modellverbund DANUBIA in schematisierter UML-Notation.

2.3.2.2 Implementierung des *Landsurface*-Objektes

Die *Landsurface*-Komponente ist im Paket *landsurface* implementiert. Abbildung 28 zeigt neben den DANUBIA-typischen Controller- und Proxelklassen die fünf selbstständigen Teilmodelle sowie die Repräsentation der zahlreichen Schnittstellen.

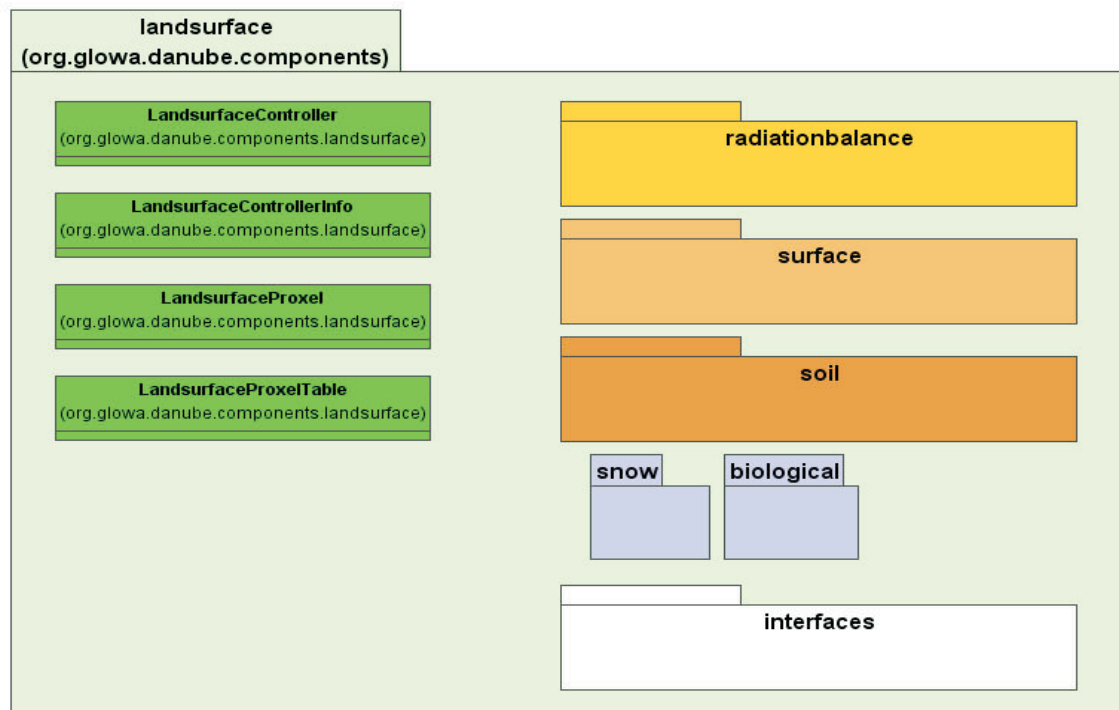


Abb. 28: Members und Pakete der *Landsurface*-Komponente.

Das Paket *radiationbalance* enthält alle Klassen, die für die Berechnung der Strahlungsbilanz an der Landoberfläche und im Bestand benötigt werden. Das Paket *surface* ist Entscheider, Schaltstelle und Übermittler von Wasser, Stoffen und Energie an der Landoberfläche, während das Paket *soil* für die Berechnung des Wasser- und Stoffhaushalts des Bodens zuständig ist. Der vollständige Aufbau mitsamt der internen Struktur, Arbeitsmethodik und Funktionalität ist in folgender Abbildung 29 am Beispiel des Teilmodells *Surface* dargestellt.

Ebenfalls am Beispiel der Modellkomponente Surface ist der funktionale zeitliche Ablauf der Berechnungen in Form eines UML-Aktivitäts-Diagramms dargestellt (vgl. Abb. 30). Es beschreibt die Arbeitsabläufe während des Zustandes des Teilmodells im Berechnungsmodus (processCompute). Die Arbeitsabläufe werden im Wesentlichen durch den Zustand der Landoberfläche (am jeweiligen Proxel) gesteuert. Maßgeblich ist dabei die Unterscheidung der Abläufe zwischen den Zuständen Schneebedeckung – Ja/Nein, Niederschlag – Ja/Nein und Effektivniederschlag – Ja/Nein.

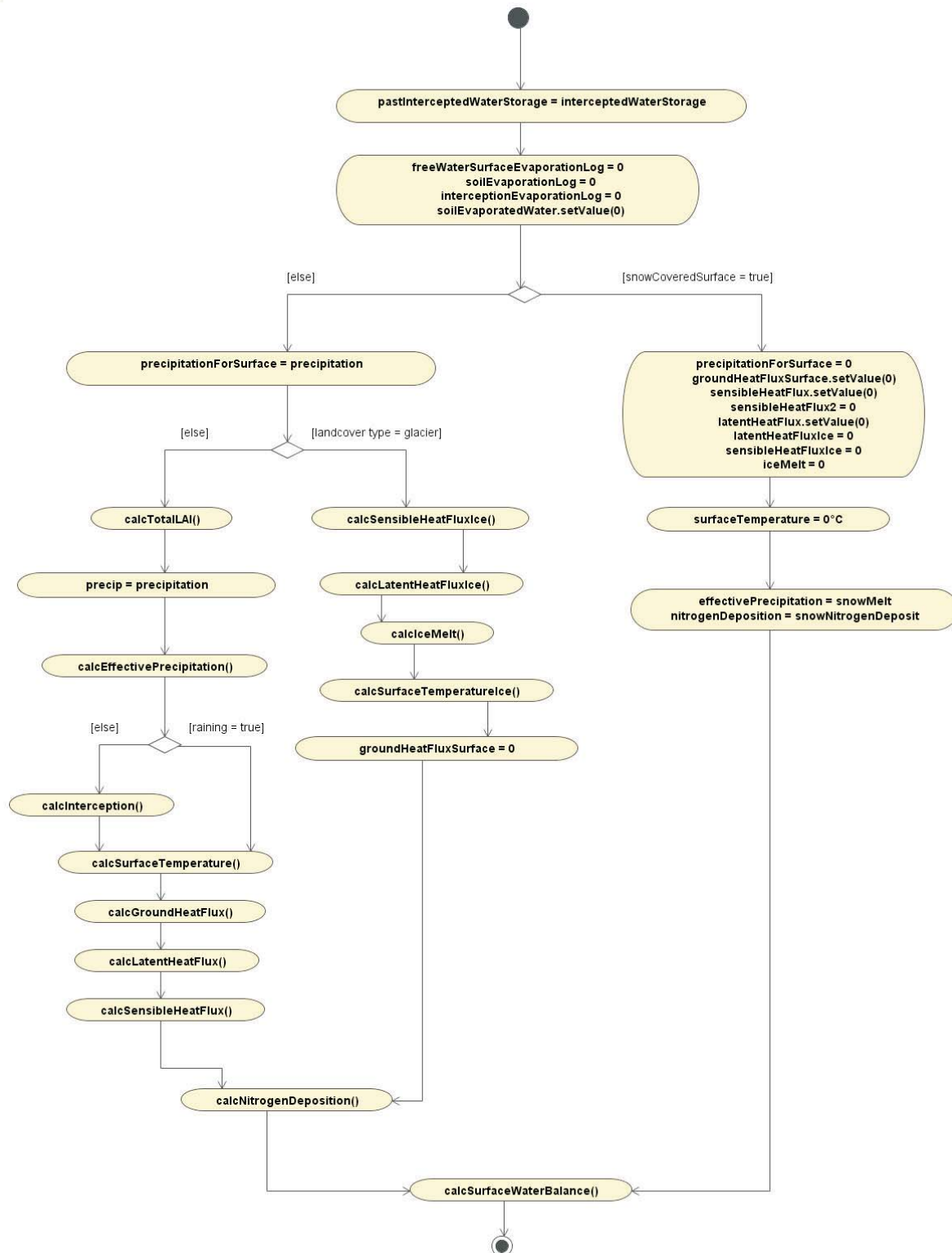


Abb. 30: UML Aktivitäts-Diagramm der Modellkomponente „Surface“.

2.3.2.3 Stand der Modellimplementierungen

Die Teilmodelle *RadiationBalance*, *Surface* und *Soil* wurden vollständig in JAVA programmiert und in ihrem Funktionsumfang getestet. Die Kriterien für den Einbau der Teilmodelle in DANUBIA wurden nach grundlegenden Analysen im Rahmen der jeweiligen Testumgebungen erfüllt. Jedes Teilmodell gewährleistet technisch die geregelte Zeittaktung innerhalb von *Landsurface* sowie den reibungslosen Parameteraustausch, verfügt über Plausibilitätskontrollen (im Bereich der Import- und Export-Schnittstellen), verfügt über die geforderte Recovery-Fähigkeit (d.h. die internen Zustände der Teilmodelle werden nach vorgegebener Zeittaktung archiviert, so dass ein eventuell unterbrochener Modelllauf zeitnah wieder aufgenommen werden kann) und liefert plausible Ergebnisse. Resultate der Teilmodelle aus den ersten Validierungsläufen des Gesamtsystems DANUBIA sind in Kap. 2.4 dargestellt.

2.3.3 Weitere integrative Arbeiten

Bereitstellung von Modelldaten für andere Teilprojekte

Auf Anfrage der Projektpartner Grundwasser (Braun) und Meteorologie (Wirth) wurden mit Hilfe des Wasserhaushaltsmodells PROMET (MAUSER 1989) langjährige Modellzeitreihen für das Einzugsgebiet der Oberen Donau erstellt. Dem Verbundobjekt *Groundwater* wurden damit für den Modellzeitraum 1991-2000 Tageswerte der mittleren Grundwasserneubildung, des Niederschlags, der Evapotranspiration und des Oberflächenabflusses zur Verfügung gestellt, die zur Bestimmung der Randbedingungen für das Grundwassermodell benötigt werden. Dem Teilprojekt der Projektgruppe Meteorologie (Wirth) wurden für den Modellzeitraum 1991-2000 Tageswerte der meteorologischen Parameter Niederschlag, Lufttemperatur, relative Feuchte, Windgeschwindigkeit und Strahlung zur Validierung der dort entwickelten Verfahren bereitgestellt. Darüber hinaus wurden Tageswerte der flächenverteilt modellierten Bodenfeuchte verfügbar gemacht, um Studien zur Interaktion an der Grenzschicht zwischen Atmosphäre und Landoberfläche durchführen zu können.

Einbau Framework Version 0.9.1 in die Objekte

Die Entwicklung sowie die im Folgenden nötigen Ergänzungen und Erweiterungen des Frameworks für DANUBIA wurden zusammen mit dem Teilprojekt Informatik (Hennicker) konzipiert und implementiert. Dabei handelte es sich im Wesentlichen um die Implementierung einer hierarchischen Landnutzung, die Erweiterung des *TimeControllers* um kalendarische Rechenintervalle (Monate) sowie verbesserte Test- und Protokollierungsmöglichkeiten.

GLOWA-Danube Utilities

Damit Berechnungen in verschiedenen Objekten nicht unterschiedlich oder mit unterschiedlich gerundeten Werten vorgenommen werden, entwickelte die Gruppe Hydrologie/Fernerkundung (Mauser) sogenannte „utility“-Klassen, die solche Funktionalitäten einmal definieren und implementieren, und auf die von allen Objekten innerhalb DANUBIAS zugegriffen werden kann.

- **Die utility-Klasse *GLOWAMath***

Die utility-Klasse *GLOWAMath* beinhaltet physikalische Konstanten, Methoden zur Umrechnung der im Projekt vereinbarten Einheiten der Übergabeparameter sowie Methoden zur Berechnung physikalischer Prozesse.

- **Die utility-Klasse *GLOWAProjector***

Die Klasse *GLOWAProjector* stellt die Funktionalität bereit, Transformationen zu anderen Projektionen vorzunehmen. Sie dient der Gewährleistung und Bereitstellung von einheitlichen Koordinatentransformationen zur Laufzeit von DANUBIA und steht innerhalb DANUBIAS als freistehendes Werkzeug allen Teilprojekten zur Verfügung. Die Projektion, auf der die Berechnungen des Modellverbundes DANUBIA durchgeführt werden, orientiert sich am „Hydrologischen Atlas von Deutschland“ (HAD, <http://had.bafg.de>). Diese Projektion ist eine Lambert Conformal Conical Projektion (LCC) und ist in der Proxel-Definition verankert.

Dokumentation aller Klassen von DANUBIA

Zur Dokumentation des Modell-Codes von DANUBIA wird das „Javadoc-Tool“ von Java/Sun genutzt. Die in den DANUBIA-Objekten bereits implementierten Klassen mit ihren Attributen und Methoden wurden von den jeweiligen Bearbeitern in den Teilprojekten mit vom Javadoc-Tool auswertbaren Kommentaren versehen und in der Gruppe Hydrologie/Fernerkundung zu einer Gesamt-GLOWA-Danube API verarbeitet.

2.4 Modellergebnisse

Am Ende der ersten Projektphase konnten die ersten vollständigen Validierungsläufe des Gesamtsystems DANUBIA durchgeführt werden. Der Modellzeitraum wurde auf 01.01.1995-31.12.1996 festgelegt. Für die Auswertung und Gegenüberstellung standen zwei vollständige Modellläufe zur Verfügung, die durch unterschiedlichen atmosphärischen Antrieb charakterisiert sind. Modelllauf 1 wurde durch die meteorologischen Größen angetrieben, die aus der räumlichen und zeitlichen Interpolation von Stationsdaten des Deutschen und des Österreichischen Wetterdienstes abgeleitet werden (*AtmoStations*). Modelllauf 2 bezieht die atmosphärische Information aus Modellergebnissen des MM5 (*AtmoMM5*, vgl. Bericht Meteorologie). Dabei handelt es sich um zeitlich auf Stundenwerte hochskalierte und räumlich von 45km auf 1km herunterskalierte Flächen-daten. Dargestellt werden flächenverteilte Momentzustände der Teilmodelle, Punkt- und Bilanzergebnisse einzelner Modellkomponenten und die gegenübergestellten Resultate aus den beiden Läufen.

2.4.1 Flächenverteilte Ausgaben

In Abbildung 31 ist der flächendifferenzierte Momentzustand für die Modellparameter Strahlungsbilanz (Teilmodell *RadiationBalance*), Effektivniederschlag (*Surface*) sowie Direktabfluss, Interflow, Perkolation und Wassergehalt der obersten Bodenschicht (20cm) dargestellt (*Soil*). Die flächenverteilten Ergebnisdaten dieser Parameter werden zu jedem Modellzeitschritt über das modellspezifische Result-Interface in die DANUBIA-Datenbank exportiert.

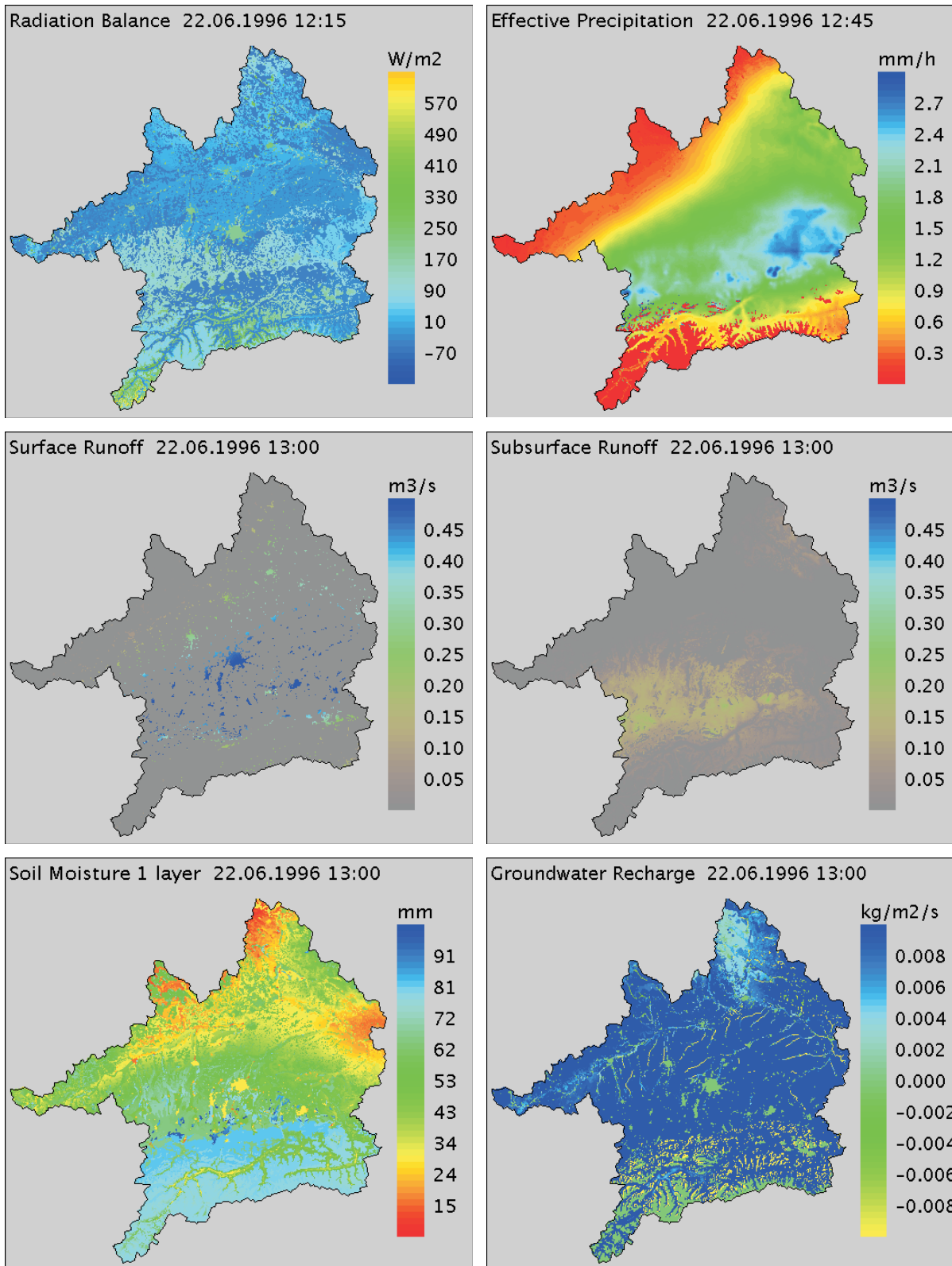


Abb. 31: Flächenverteilte Ausgaben der *Landsurface*-Komponenten RadiationBalance, Surface und Soil für den 22.06.1996, 13 Uhr.

2.4.2 Proxelbezogene Ausgaben

In der Entwicklungs- und Testphase wurde aus Gründen der Analysierbarkeit von Wechselwirkungen zwischen den Teilkomponenten eine Auswahl „repräsentativer“ Proxel im Einzugsgebiet der Oberen Donau getroffen. Die Zeitreihen einzelner Modellparameter für

diese Referenzpunkte werden von allen Teilmodellen in Form von ASCII-Dateien protokolliert. Im Folgenden sind Ergebnisse einzelner Parameter für die DANUBIA-Proxelnnummer (PID) 120930 (Laubwald, Lehm, 662m, 4.2° Gefälle, Ost-Exposition) aufgezeigt. Dargestellt wird jeweils der Zeitraum des hydrologischen Jahres 1996 (01.11.1995-31.10.1996). Durch die ausreichend lange Vorlaufzeit (Modellstart 01.01.1995) können Artefakte in den Wasserflüssen als Folge fehlerhafter Initialisierung weitgehend ausgeschlossen werden. Abbildung 32 zeigt die zeitliche Dynamik der wesentlichen Wasserflüsse (Total Runoff als Summe der von *Soil* berechneten Abflussterme, Effective Precipitation und Soil Evaporation von *Surface* und Root Water Uptake von *Biological*) für den Laubwaldstandort südwestlich von München. Die Verläufe der einzelnen Parameter können als plausibel beschrieben werden, die Funktionalität der Wechselwirkungen zwischen den beteiligten Teilmodellen ist anhand der dargestellten Parameter nachvollziehbar.

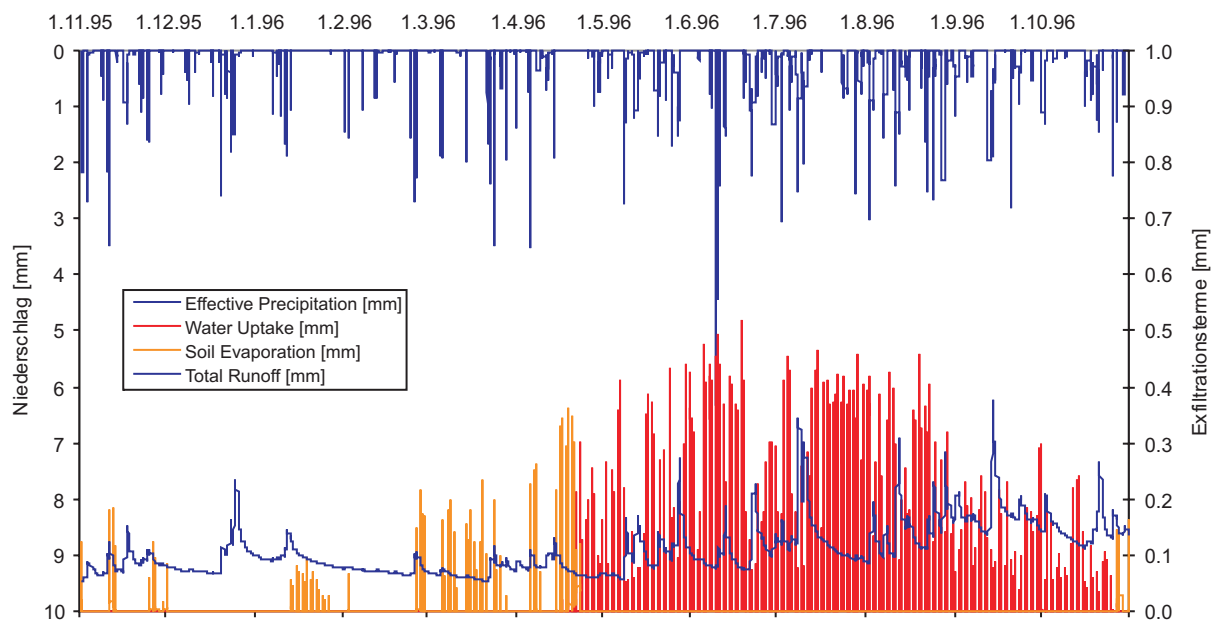


Abb. 32: Zeitliche Dynamik der wesentlichen Wasserflüsse [mm] an einem Laubwaldstandort südwestlich von München (DANUBIA-PID 120930), Ergebnis des Validierungslaufes auf Basis von *AtmoStations*.

Die Wasserbilanz der Landoberfläche und des Bodens ergibt zu jedem Zeitschritt den Wert Null. Die modellierte Wasserbilanz des Standortes geht auf mit:

Niederschlag = 1463mm, Gesamtabfluss = 963mm (davon 455mm Grundwasserneubildung), Evapotranspiration = 391mm (davon 342mm Transpiration) und einer Änderung des Bodenwasserspeichers von + 109mm.

In Abbildung 33 ist ein zehntägiger Ausschnitt aus der Modellperiode dargestellt, der die Kommunikation zwischen den *Landsurface*-Komponenten am Beispiel eines Grünlandstandortes (PID 104923) detaillierter veranschaulicht. Deutlich sichtbar wird die Abhängigkeit der Wasseraufnahme durch die Wurzeln von der Globalstrahlung, die Wirkungsweise des InterzeptionsSpeichers (vgl. Differenz *Precipitation (AtmoStations)* – *Effective Precipitation*), oder die Reaktion des Bodenwassergehalts und des Zwischenabflusses auf die Wechselwirkung von Effektivniederschlag und Verdunstungstermen.

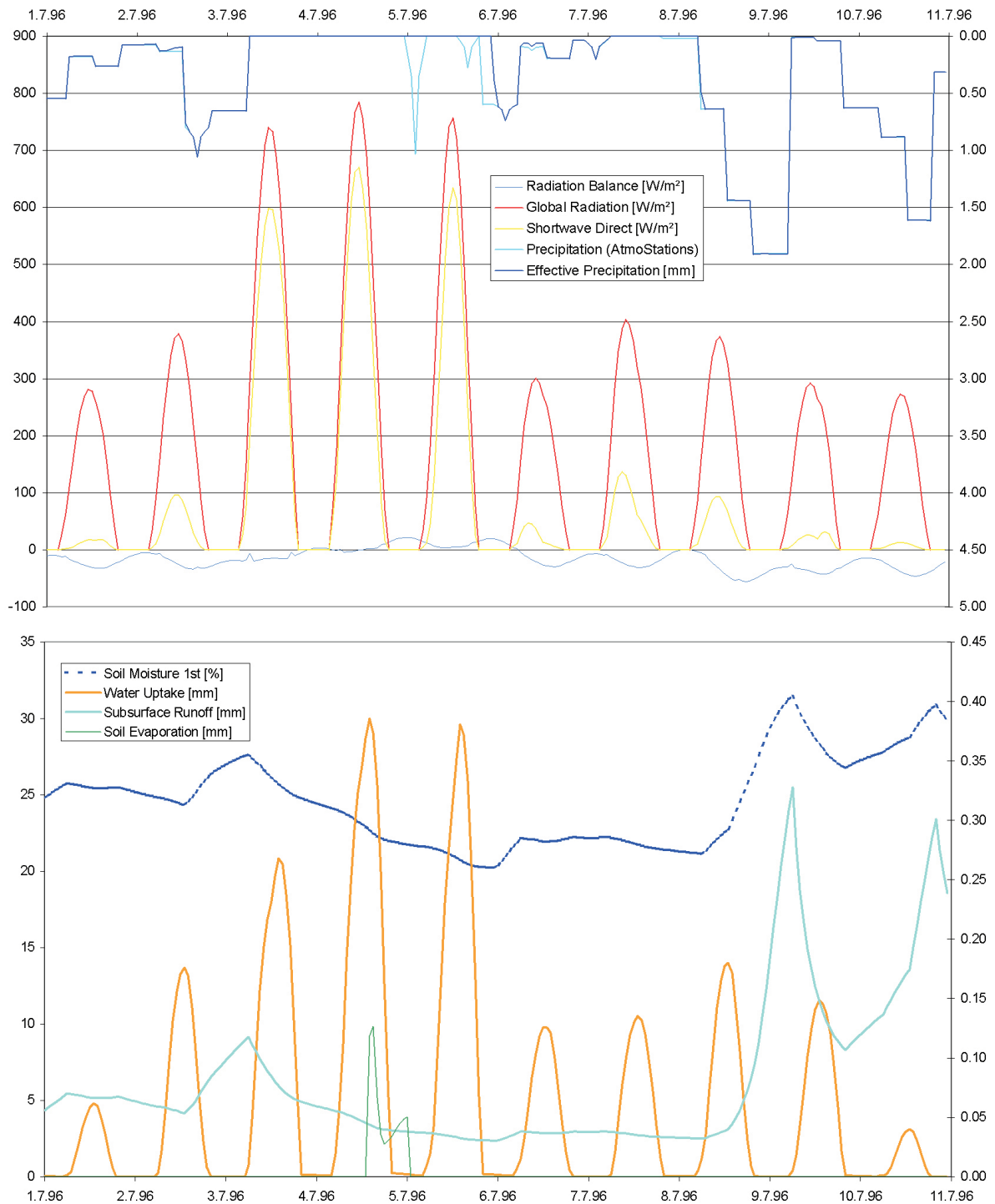


Abb. 33: Detaildarstellung der Kommunikation zwischen den Teilkomponenten *RadiationBalance*, *Surface*, *Soil* und *AtmoStations* für den Zeitraum vom 01.07.1996-10.07.1996.

2.4.3 Bilanzbezogene Ausgaben

Neben der Analyse der zeitlichen Dynamik für einzelne Proxel im Einzugsgebiet wurde auch die bilanzierte zeitliche Dynamik des Gesamtgebietes untersucht. Dargestellt wird wiederum das hydrologische Jahr 1996, hier aus der Sicht der *Landsurface*-Komponente *Soil*. Abbildung 34 zeigt Gebietsmittelwerte verschiedener Parameter in stündlicher Auflösung.

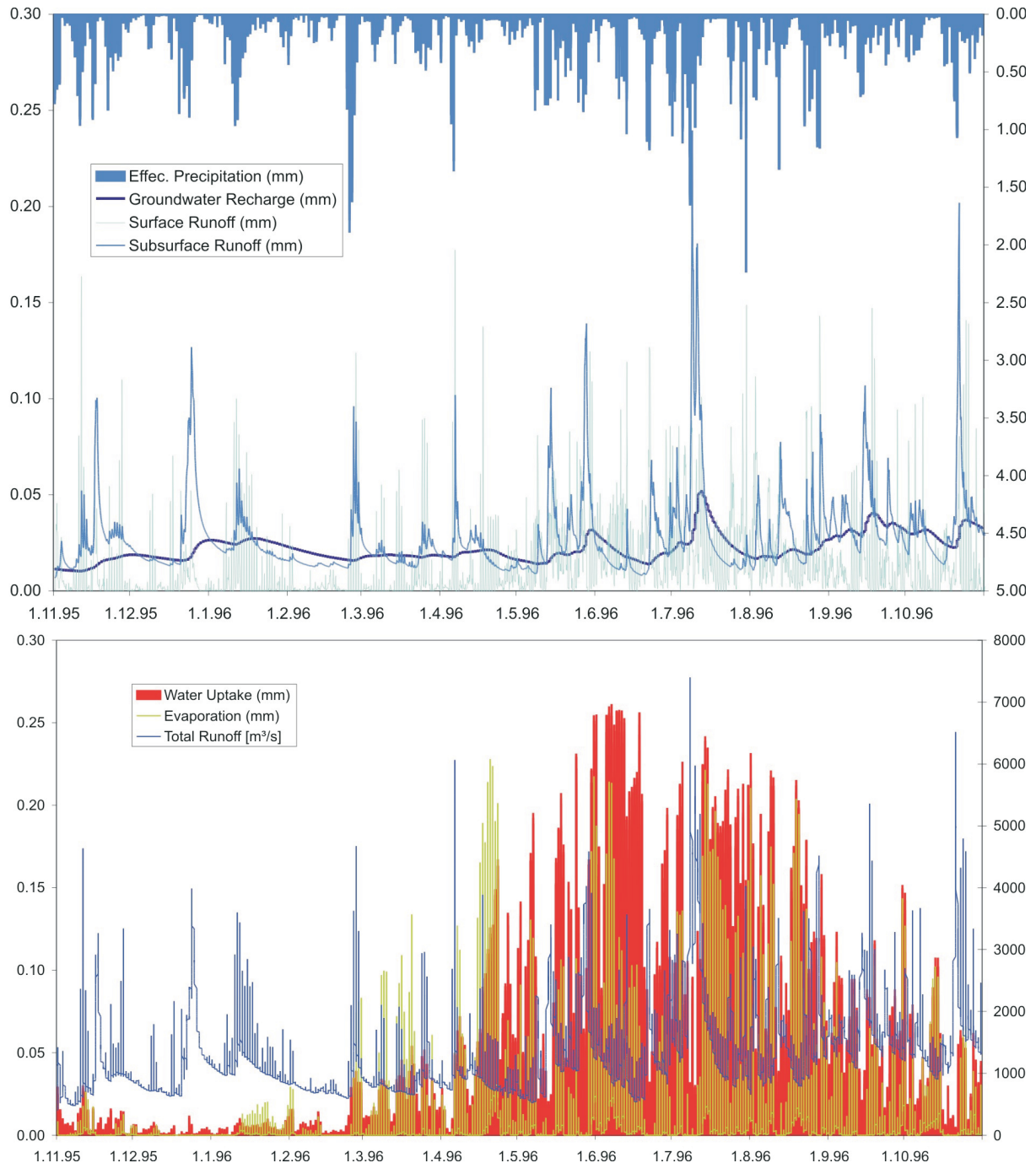


Abb. 34: Zeitliche Dynamik der Gebietsmittelwerte der Wasserhaushaltsterme für das hydrologische Jahr 1996.

Der Gesamtabfluss (Total Runoff) ergibt sich aus der Summe der *Soil*-Abflussterme (SurfaceRunoff, Subsurface Runoff und Groundwater Recharge). Auffallend ist hier der sehr hochfrequente Direktabflussanteil, der den ansonsten geglätteten Verlauf der Abflussgrößen überlagert. Er ist die Folge der bislang in DANUBIA verwendeten Majoritäts-Landnutzung, d.h. jedes Proxel ist entweder völlig oder gar nicht versiegelt. In ersterem Fall führt ein Effektivniederschlag demzufolge unmittelbar zu Direktabfluss. Mit Einführung der Geokomplexe (Kap. 2.2.1.2) als subskaliger Landnutzungsbeschreibung ist hier mit einer deutlich realitätsnäheren Abbildung der hochfrequenten Abflussdynamik zu rechnen.

2.4.4 Gegenüberstellung der Validierungsläufe unter Verwendung von *AtmoStations* und *AtmoMM5*

DANUBIA bietet die Möglichkeit, den meteorologischen Antrieb der Modellläufe aus verschiedenen Quellen zu beziehen. Die räumliche und zeitliche Niederschlagsverteilung kann aus der räumlich-zeitlichen Interpolation von Stationsmessungen (*AtmoStations*), dem Atmosphärenmodell MM5 (*AtmoMM5*) oder der Niederschlagsableitung aus METEOSAT-Bilddaten (*AtmoSat*) verfügbar gemacht werden. Für erste Gegenüberstellungen stehen zwei 2-Jahresläufe zur Verfügung (*AtmoStations* vs. *AtmoMM5*), deren Auswirkung auf die Teilmodelle der Landsurface-Komponente untersucht wurde. Primär soll dabei festgestellt werden, welche Genauigkeiten die bereitgestellte meteorologische Information aus dem Atmosphärenmodell erreicht und welche Sensitivitäten berücksichtigt werden müssen, um damit zu einer Aussage über die Verlässlichkeit der Daten aus dem Atmosphärenmodell für zukünftige Szenarielläufe zu kommen. Bei der Gegenüberstellung der zeitlich und räumlich differenzierten Meteorologie-Daten ist jedoch die sehr verschiedene Datengrundlage zu berücksichtigen.

Es ist davon auszugehen, dass sich die Läufe klimatisch gesehen nicht wesentlich unterscheiden. *AtmoMM5* ist jedoch ein Modell, das im Stundentakt auf der Basis mehrmals täglich aktualisierter Randbedingungen auf einem 45km-Raster rechnet (Projektgruppe Egger). Anschließend werden die Daten auf 1km herunterskaliert (Projektgruppe Wirth). *AtmoStations* (Projektgruppe Hydrologie/Fernerkundung) interpoliert räumlich und zeitlich die Daten der operationellen Wetterstationen, die ca. alle 7 Stunden aktualisiert werden.

Bei der Betrachtung der jeweiligen Niederschlagsverteilungen für das hydrologische Jahr 1996 (vgl. Abb. 35) können im groben Maßstab durchaus Parallelen erkannt werden. Jedoch treten infolge der Generierung der Datensätze bei *AtmoMM5* häufig höhere Regenintensitäten auf, die auch bei den nachgeschalteten Wasserhaushaltsberechnungen der Landoberfläche zu sichtbaren Abweichungen führen können. Auffallend sind insbesondere die deutlichen Unterschiede im Bereich der Grundwasserneubildung. Auch die Evaporation und Wasseraufnahme durch die Wurzeln verdeutlicht zum Einen das unterschiedliche Wasserdargebot im Boden, weist aber auch auf erhebliche Unterschiede in der in der Folge unterschiedlicher Meteorologie begründeten Schneedeckendauer hin. Die allgemein verminderte Temperatur im *AtmoMM5*-Lauf bewirkt eine verstärkte Schneedeckenakkumulation und eine damit einhergehende Verlängerung der Schneedeckendauer in weiten Teilen des Einzugsgebietes.

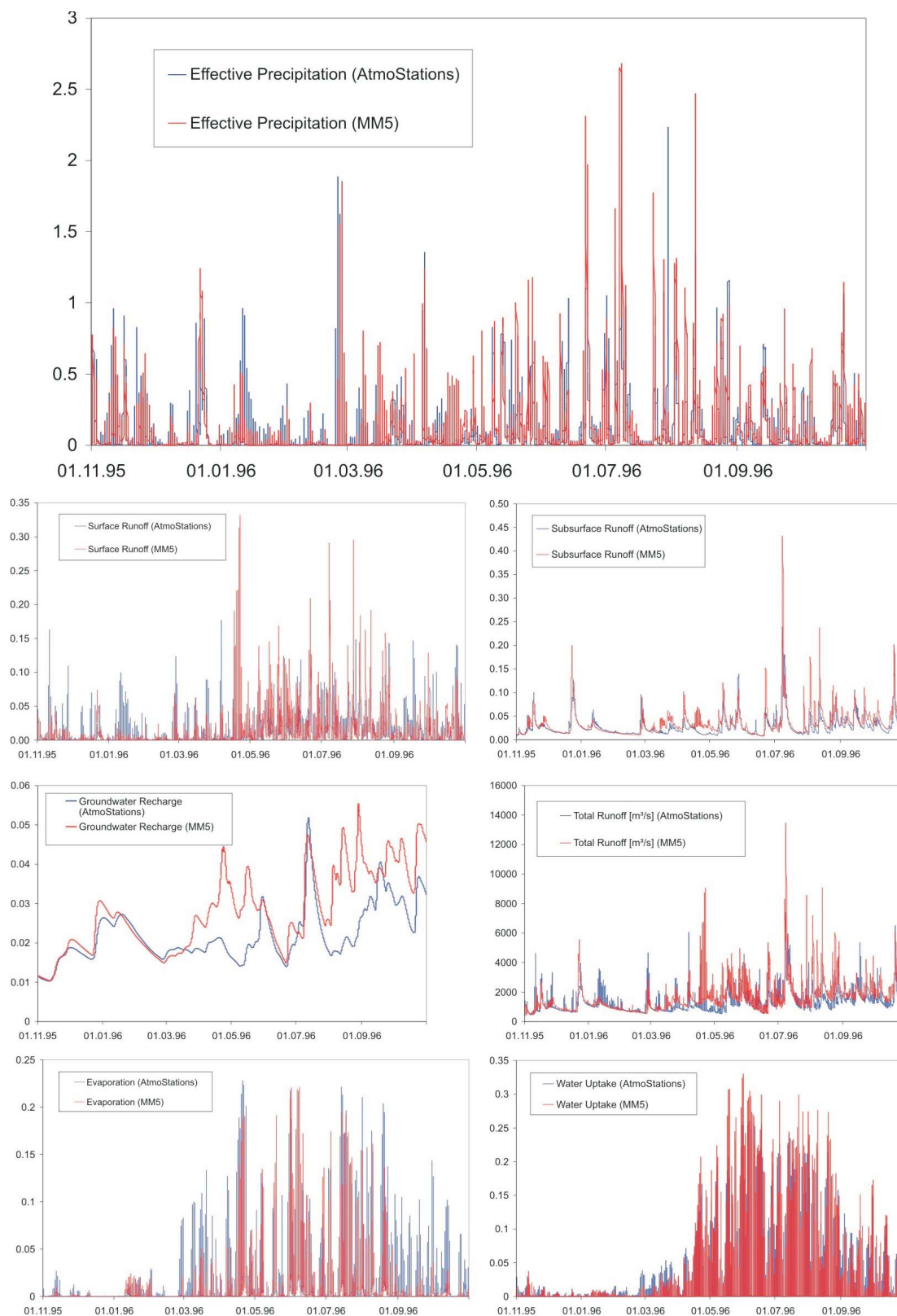


Abb. 35: Gegenüberstellung des zeitlichen Verlaufs der Niederschläge aus *AtmoStations* und *AtmoMM5* und ihre Wirkung auf die Wasserhaushaltskomponenten auf Einzugsgebietsebene.

Tab. 5: Wasserhaushaltsterme für das hydrologische Jahr 1996 aus *AtmoStations* und *AtmoMM5* (in mm).

Basisdaten	Effec. Precip.	Soil Evapo.	Water Uptake	Surface Runoff	Subsurf. Runoff	Ground. Recharge	Soil M. Change	Total Runoff	Runoff [m ³ /s]
<i>AtmoStations</i>	924	122	194	116	247	195	50	558	1343
<i>AtmoMM5</i>	1018	71	197	123	307	247	73	677	1631

Dieser Sachverhalt ist im Bericht des Teilprojektes *Snow* eingehend dargestellt. Kritisch wirkt sich dieses Phänomen vor allem auf die Flächen mit saisonaler Vegetationsentwicklung aus, da hier während des Frühjahres (vor Bestandesschluss) mit hoher Bodenverdunstung zu rechnen wäre. Augenscheinlich wird der Effekt der stark veränderten Modellierung der Schneedecke durch die gegenläufigen Ergebnisse im Januar 1996 und im April/Mai 1996. Während im Modellauf mit *AtmoStations* im Januar 1996 deutlich erhöhte Abflußwerte auftreten, nimmt der gebildete Abfluß unter Verwendung von *AtmoMM5* in den Monaten April/Mai 1996 sehr stark zu.

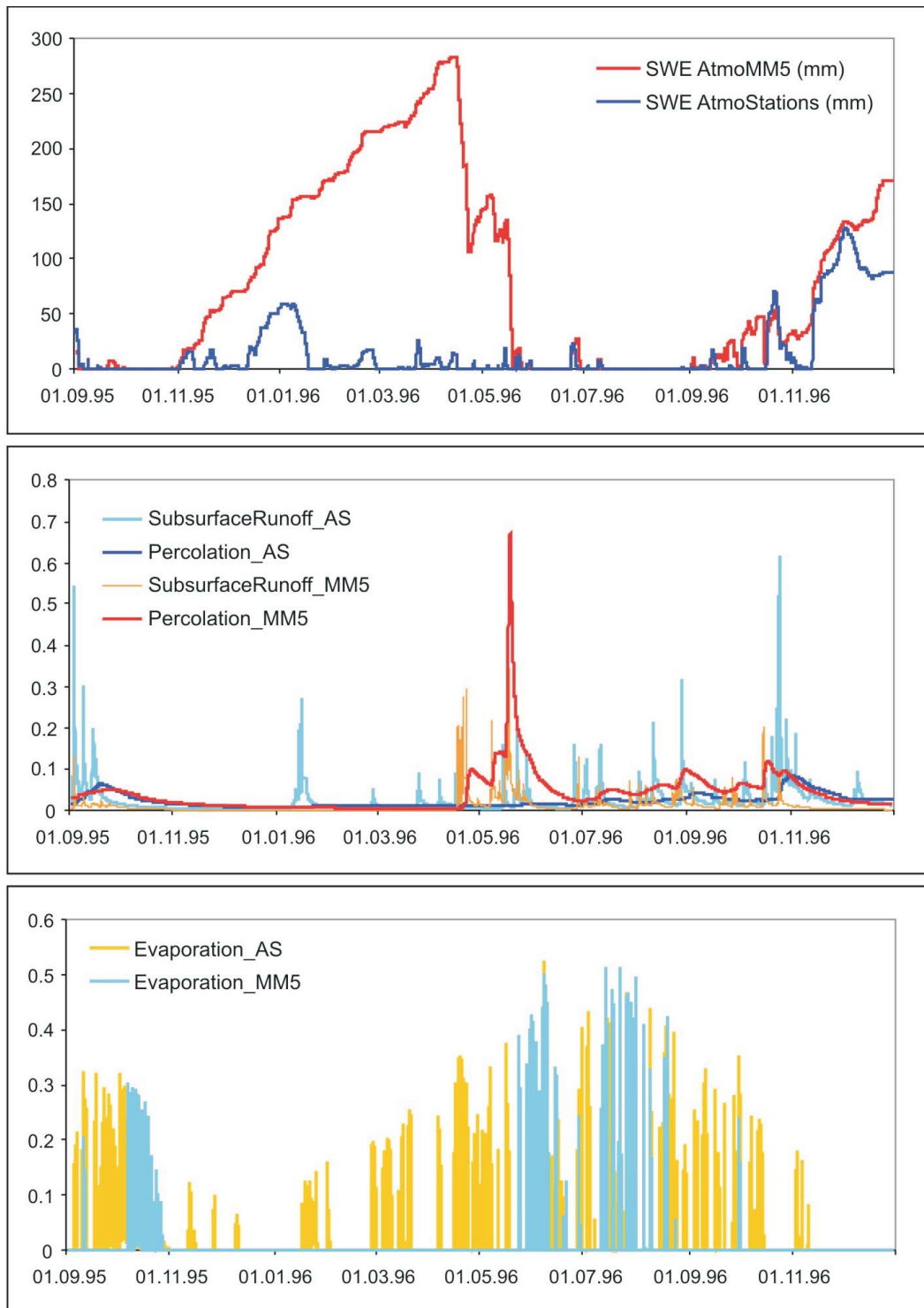


Abb. 36a-c: Integrative Betrachtung der veränderten hydrologischen Abläufe an einem Hochgebirgsstandort (PID 155758) unter Verwendung unterschiedlicher meteorologischer Eingaben: a) Schneewasseräquivalent, b) Zwischenabfluß und Perkolation, c) Bodenverdunstung.

Das winterliche relative Abflußmaximum in Abbildung 35 ist die Folge intensiver Schneeschmelze, die vor allem auf den versiegelten Felsflächen im Gebirge zur Direktabflußbildung führt. Die im *AtmoMM5*-Lauf während des Winters gebundene Wassermenge kommt erst im Frühjahr zum Abfluß und füllt somit flächenhaft den Bodenspeicher mit der Folge erhöhter Zwischenabfluß- und Grundwasserneubildungsraten. Verstärkt wird der Effekt durch die reduzierte Bodenverdunstung als Folge der verlängerten Schneebedeckung. Besonders offensichtlich werden die genannten Ursachen und Folgeerscheinungen am Beispiel der PID 155758 (Hochgebirgsstandort mit Alpinen Matten, 2263m ü NN) in Abbildung 36a-c.

Tabelle 5 stellt die Resultate der Wasserhaushaltsberechnungen für das hydrologische Jahr 1996 gegenüber und verdeutlicht die Diskrepanzen in der Niederschlagssumme sowie die großen Unterschiede z.B. bei der modellierten Bodenverdunstung und der Abflußbildung. Demnach ergeben sich für die beiden Vergleichsläufe im Betrachtungszeitraum deutlich unterschiedliche Abflußhöhen (558mm (*AtmoStations*) vs. 677mm (*AtmoMM5*)). Einer Differenz von 94mm Niederschlagshöhe von *AtmoMM5* – *AtmoStations* steht damit eine Diskrepanz im Abfluß von 119mm gegenüber. Im übertragenen Sinn steht dem um 10% erhöhten Niederschlag in *AtmoMM5* ein um 21% erhöhter Abflußwert gegenüber. Im Vergleich zum gemessenen Abfluß am Pegel Achleiten übersteigt der im *AtmoStations*-Lauf gebildete Abfluß den gemessenen Wert (1282m³/s) um 4.6% (1343m³/s), der Überschuß bei Verwendung der *AtmoMM5*-Meteorologie beträgt 27% (1631m³/s).

Zusammenfassend können für die Diskrepanzen zwischen den Vergleichsläufen folgende Gründe genannt werden:

- unterschiedliche Verteilung der Niederschläge
- unterschiedliche Niederschlagsintensitäten
- unterschiedliche Schneedeckendynamik mit erheblich erhöhten Schneedecken und zeitlich verschobener Schneeschmelze im Einzugsgebiet als Folge verminderter Temperaturen im *AtmoMM5*-Lauf (vgl. Bericht Teilprojekt *Snow*)
- verkürzte Zeiträume zur Bodenverdunstung als Folge verlängerter Schneebedeckung

Die genannten Faktoren führen zu teilweise starken Veränderungen im Speicherzustand des Bodens und beeinflussen die modellierte Abflußbildung damit entscheidend. Unter diesem Gesichtspunkt sollen die Folgen für das dem Teilmodell *Soil* „nachgeschalteten“ Teilmodell *GroundwaterFlow* skizziert werden, das durch die gesteigerte Perkolation (Zunahme im Vergleichszeitraum des hydrologischen Jahres 1996: 125m³/s bzw. 26,6%) Eine Gegenüberstellung der am Punkt gebildeten Abflüsse mit den Resultaten des Grundwassermodells bietet infolge der starken Abhängigkeit des Grundwasserstandes von den lateralen Fließprozessen im Untergrund nur bedingt sinnvolle Interpretationsmöglichkeiten, ist jedoch für das Verständnis der Wirkungsweise des Kopplungsansatzes von Bedeutung. Im Bericht des Teilprojektes *Groundwater* werden die Konsequenzen der Verwendung unterschiedlicher Meteorologien für den Grundwasserspeicher und die resultierenden Fließprozesse auf Teileinzugsgebietsebene abgebildet. Dazu wurde anhand der räumlichen Verteilung der Abflußpegel Teileinzugsgebiete extrahiert, für die im Sinne einer räumlichen Plausibilitätsprüfung der Modellergebnisse Bilanzen zwischen der von *Soil* gelieferten Perkolation, der Speicheränderung der gesättigten Zone sowie der InExfiltration mit den Gerinnen aufgestellt wurden. Abbildung 37 zeigt die Mechanismen der Kopplung zwischen *Soil* und *Groundwater* am Beispiel der PID 120930 (Laubwald). Dargestellt werden die unterschiedlichen Perkolationen [mm] sowie die Änderung des Grundwasserspiegels [m] und der davon abhängige kapillare Aufstieg [mm].

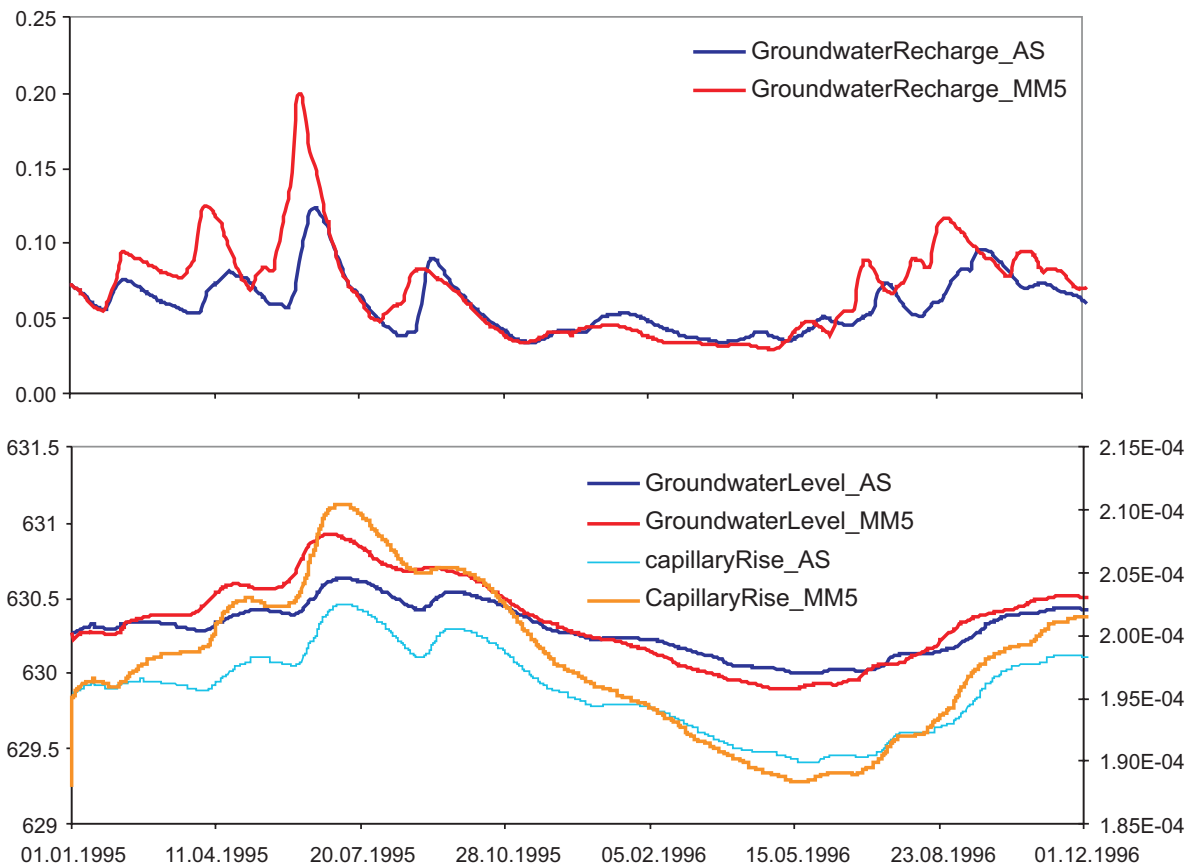


Abb. 37a-b: Betrachtung der Kopplung zwischen Soil und Groundwater an einem Laubwaldstandort (PID 155758) unter Verwendung unterschiedlicher meteorologischer Eingaben: a) Perkolation (Groundwater Recharge (mm), b) Grundwasserspiegel (m ü NN) und kapillarer Aufstieg (mm).

Aus den Zeitreihen der Abbildungen 37 a-b ist die deutlich gedämpfte und zeitverzögerte Reaktion des Grundwasserspiegels (und in der Folge auch die der InExfiltration in die Gerinne) auf die Perkolation aus der Bodenzone ersichtlich. Darüber hinaus kann die Abhängigkeit des kapillaren Aufstiegs vom Flurabstand nachvollzogen werden. Die absoluten Werte hierfür sind infolge des hohen Flurabstandes sehr klein.

3. Zusammenfassung

3.1 Stand der Entwicklungen

Das Verbundobjekt *Landsurface* ist nach Abschluss der ersten Antragsphase gemäß der Zielsetzung des Projektes vollständig in das DANUBIA-System integriert. Die einzelnen abgebildeten Prozesse werden in großer Detailliertheit beschrieben. Modellverbesserungen beinhalten auch die Neuimplementierungen von Algorithmen einzelner Parameter, die durch die neu formulierte Kopplung der Modellobjekte innerhalb des Verbundobjektes *Landsurface* erforderlich geworden sind. Die erweiterten Objekte *RadiationBalance*, *Surface* und *Soil* wurden erfolgreich getestet und auftretende Fehler vor und während der Kopplung im Modellverbund eliminiert. Die in den Validierungsläufen erzielten Ergebnisse können als gut bezeichnet werden. Noch nicht vollständig vollzogen ist die Kopplung zu den Actors-Modellen (v.a. Farming). Deshalb konnte die Modellierung der Stickstoffbilanz im Boden noch nicht abgeschlossen werden. Die Umsetzung der konzeptionellen Vereinbarungen wird derzeit bearbeitet, so daß noch in der ersten Jahreshälfte 2004 mit einer vollständigen und lauffähigen Implementierung der Schnittstelle in DANUBIA gerechnet wird.

Das Konzept der Geokomplexe wurde auf der Basis eines Regelwerk zur automatisierten Bestimmung hydrologisch sensibler („optimaler“) Datensätze voll entwickelt und in zwei Testgebieten (Ammer, Rott) erfolgreich getestet.

Zur Bereitstellung multiskaliger Daten zur Landnutzung wurden verschiedene Verfahren entwickelt. Die Einbeziehung der Landnutzungsklassifikation aus der Spektralen Entmischung von NOAA-AVHRR Daten (PROBECK et al. 2003) in das DANUBIA-System ist bereits vollzogen und steht damit jedem Modellobjekt als Basis für gemeinsame Modellläufe zur Verfügung. Mit hohem Aufwand wurde eine Fuzzy Logic-basierte Klassifikation der Landnutzung auf der Grundlage eines Bildmosaiks aus Landsat-TM Daten durchgeführt. Diese Datengrundlage ist sowohl für die Entwicklung des Geokomplex-Ansatzes, vor allem aber auch als Datenbasis für die Prozessbeschreibungen an der Schnittstelle zwischen *Landsurface* und den Actors-Modellen von grundlegender Bedeutung. In einem weiteren Schwerpunkt ist ein Verfahren zur wissensbasierten Entmischung von Reflexionsinformation aus digitalen Bilddaten entwickelt worden, das wesentliche Fortschritte bei der multiskaligen Beschreibung von Parametern der Landoberfläche ermöglicht.

In Zusammenarbeit mit dem Zentralprojekt konnte eine detailliertere Bestimmung der räumlichen Verteilung topographischer Information sowie versiegelter Flächen erreicht werden. Diese wurden den Nachbarprojekten, ebenso wie zahlreiche Modellläufe zur Bereitstellung von Initialisierungs- und Validierungsdaten, zur Verfügung gestellt. Das Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung hat darüber hinaus wesentlich zur Gesamtentwicklung und -umsetzung des integrativen Konzeptes von DANUBIA beigetragen.

3.2 Ausblick und weiteres Vorgehen

Ein integratives Ziel ist die verbesserte Kopplung sowohl innerhalb von *Landsurface* als auch mit anderen Objekten innerhalb von DANUBIA. Charakteristisch für die zweite Projektphase ist die subskalige Betrachtung des Proxels, die für alle Modelle des Verbundobjektes *Landsurface* durch die Implementierung der Geokomplexe realisiert wird. Die Erschließung externen Sachverstandes durch die Einbindung von Stakeholdern und die gemeinsam mit allen Projektpartnern definierten Szenarien bilden den Schwerpunkt der Integrationsarbeit. Sie stellen die Grundlage für praxisnahe Modellierungen mit DANUBIA und für die realitätsnahe Validierung der in DANUBIA abgebildeten gekoppelten Prozesse des Wasser-, Energie- und Stoffhaushaltes dar. Die Algorithmen zur Prozessbeschreibung an der Landoberfläche werden gemäß den Anforderungen der zu erstellenden Szenarien überprüft und in ihrer Funktionalität entsprechend erweitert. Dazu gehören u.a. der Austausch turbulenter Energie- und Stoffflüsse und deren Kopplung mit der wesentlich größeren Modellfläche von *Atmosphere* und das Verhalten lateraler Flüsse in den Alpen im Austausch mit *Groundwater* und *Rivernetwork*.

Das Konzept der Geokomplexe wird auf das gesamte Untersuchungsgebiet übertragen und im Verbundobjekt *Landsurface* implementiert. Dazu ist die Entwicklung eines *Landsurface Downscaling*-Objektes notwendig, das die von anderen Objekten in DANUBIA auf der Proxel-Ebene zur Verfügung gestellten Parameter auf die Geokomplexe skaliert. Ziel der Entwicklungen ist eine skalenübergreifende Prozessbeschreibung in den *Landsurface*-Objekten *RadiationBalance*, *Surface* und *Soil*, die die räumliche Übertragbarkeit der Teilobjekte sicherstellt. Die Skalierung hydrologischer Prozessparameter wird mit Hilfe von multiskaligen Datensätzen verschiedener Fernerkundungssensoren durchgeführt. Zur Anwendung von DANUBIA auf Testgebiete mit höherer räumlicher Auflösung sind neben geeigneten Eingangsdatensätzen Modell-Objekte notwendig, die auf unterschiedlichen räumlichen Skalen sinnvolle und weitgehend äquivalente Ergebnisse liefern.

Szenarioläufe sollen auf verschiedenen räumlichen Skalen in Teileinzugsgebieten und für das Gesamtgebiet durchgeführt werden. Die Auswertung und der systematische Vergleich dieser Läufe ermöglicht die Bewertung der Güte und Aussagekraft für gezielte, von Stakeholdern formulierte Fragestellungen.

Flächendatensätze aus der Fernerkundung werden aus einem erweiterten Spektrum von neuen Sensoren für DANUBIA bereit gestellt. Sie dienen der Initialisierung von Simulationen, der Parameternachführung zur Modelllaufzeit, der flächenhaften Validierung von

Eingaben und Modellergebnissen sowie der Untersuchung der Regionalisierbarkeit von Landoberflächenparametern. Die abgeleiteten Landoberflächenparameter werden innerhalb ihrer gesicherten Gültigkeit in DANUBIA assimiliert. Dazu werden Verfahren entwickelt, die sich in UML-Notation an den etablierten Schnittstellen orientieren und zu den bereits bestehenden DANUBIA-Objekten kompatibel sind.

Für die Fehlerabschätzung der bereitgestellten Modell-Objekte wird ein dreistufiges Validierungsschema eingesetzt: Validierung am Punkt über Geländemessungen, flächensummierte Validierung in Teileinzugsgebieten über integrierende Messungen (z.B. Abfluss) und flächendifferenzierte Validierung mit Fernerkundungsinformationen. Der Einfluss der verwendeten Eingangsdaten, der Parametrisierung der Prozessbeschreibung und deren Skalenabhängigkeit auf das Modellergebnis werden über intensive Sensitivitätsanalysen identifiziert und quantifiziert. Diese Ergebnisse gehen in die Auswahl von Eingangsgrößen und Parametrisierungen der betreffenden Modelle ein.

Literatur

- BACH, H. (1995): Bestimmung hydrologischer und landwirtschaftlicher Oberflächenparameter 7aus hyperspektralen Fernerkundungsdaten, *Münchener Geographische Abhandlungen*, Band B 21, München.
- BACH, H., BRAUN, M., LAMPART G. und MAUSER, W. (2003): Use of remote sensing for hydrological parameterization of alpine watersheds, HESS (in print).
- CAMPBELL, G.S. und NORMAN, J.M. (1998): An introduction to environmental biophysics. 2. Auflage, Springer-Verlag, New York, 286 S.
- EAGLESON, P.S. (1978): Climate, Soil and Vegetation 3: A simplified model of Soil Moisture Movement in the Liquid Phase. *Water Resources Research* 14 (5), S. 722-730.
- GARBRECHT, J. und MARTZ, L. (1995): TOPAZ – Version 1.1. National Agricultural Water Quality Laboratory, USDA, Agricultural Research Service. Durant (Oklahoma).
- GOUDRIAAN, J. (1977): Crop micrometeorology: a simulation study. Simulation Monographs, Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen.
- HOLZHAUSER, H. (2002): Möglichkeiten und Grenzen bei der Bestimmung des Blattflächenindex mit dem LI-COR LAI 2000 am Beispiel von Weizen und Mais. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Geographie und Geographische Fernerkundung der LMU München, unveröffentlicht.
- ITTEN, K.I. und MEYER, P. (1993): Geometric and radiometric correction of TM data of mountainous areas, *IEEE transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.31, No.4, 7/93.
- KONDO, J., SAIGUSA, N. und SATO, T. (1992): A model and experiment study of evaporation from bare soil surfaces. *J. Appl. Meteorol.* 31, S. 304-312.
- LUDWIG, R., BACH, H., GRÜNER, V. und MAUSER, W. (1998): The Use of Imaging Spectrometer Data to Determine Vegetation Parameters for SVAT-Modelling, Proceedings of the EARSel Workshop on Imaging Spectroscopy, Zürich, pp. 263-270.
- MAUSER, W. und SCHÄDLICH, S. (1998): Modelling the spatial distribution of evapotranspiration on different scales using remote sensing data. In: *J. of Hydrology*, S. 212-213, 250-267.
- MONTEITH, J.L. (1965): Evaporation and Environment. In: FOGG, G.E. (Hrsg.): *The State and Movement of Water in Living Organisms*. Sympos. Soc. Exper. Biol., Bd. 19, Academic Press, New York, S. 205-234.

- PENMAN, H.L. (1948): Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. Proc. Roy. Soc. London, A193, S.120-146.
- RITCHIE, J.T., SINGH, U., GODWIN, D.C. und BOWEN, W.T. (1998): Soil Water Balance and Plant Water Stress. In: TSUJI, Y., GORDON, Y, THORNTON, P.K. (Hrsg.): Understanding Options for Agricultural Production. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. S. 83-102.
- SCHNEIDER, K. (1999): Gekoppelte, flächenverteilte Modellierung von Pflanzenwachstum und Verdunstung im Ammereinzugsgebiet mit dem prozeßorientierten Evapotranspirations- und Vegetationsmodell PROMET-V. Habilitationsschrift, LMU München. 263 S.
- STOLZ, R. (1998): Die Verwendung der Fuzzy-Logic Theorie zur wissensbasierten klassifikation von Fernerkundungsdaten. Münchener Geographische Abhandlungen, Bd. B26. 177 S.
- WITTMANN, O. (1991): Standortkundliche Landschaftsgliederung von Bayern. GLA Fachberichte 5, Bayr. Geologisches Landesamt München.
- ZADEH, L.A. (1965): Fuzzy Sets. *Information Control* 8, S. 338-353

Einfluss der Vegetation auf die Wasser- und Stickstoffflüsse, die Kohlenstoffbilanz und die Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte auf der Ebene von Landschaften und Regionen

Teilprojekt: Pflanzenökologie
Leiter: Prof. Dr. John Tenhunen
Ausführende Stelle: Universität Bayreuth
Lehrstuhl für Pflanzenökologie (Arbeitsgruppe Ökosysteme)
Universitätsstr. 30, 95447 Bayreuth

1. Organisation

1.1 Arbeitsgruppe in der Zeitperiode Januar 2001 bis Ende Februar 2004

Modellierung des Gasaustausches von Ökosystemen

- Dr. Markus Reichstein *Biological*-Objekt; UML-, C-, Java-Programmierung, Koordination
- Prof. Dr. S. Adiku Modellierung des Wachstums von Nutzpflanzen und Grünland in DANUBIA
- Herr H.-J. Scharfenberg JAVA Programmierung des *Biological*-Objekts in DANUBIA
- Dr. Quan Wang Zeitskalierung, Strahlung und Skalierung in Bergregionen
- Dr. Eva Falge Parametrisierung von PROXEL_{NEE} und Übertragung auf das *Biological*-Objekt
- Frau Albena Bobeva Räumliche Änderungen des Blattflächen-index entlang von Höhengradienten
- Herr Dinh Nguyen “Radiation Use Efficiency“ und absorbierte Strahlung (APAR)
- Herr Ralf Geyer Programmierer des Lehrstuhls (UBT)

Sommernesskampagnen laut Antrag

- Frau Olimpia Kolcun Transpirationsmessungen entlang von Höhengradienten in Berchtesgaden
- Herr Markus Schmidt Transpirationsmessungen entlang von Höhengradienten in Berchtesgaden
- Dr. Matthias Drösler Gaswechselfmessungen entlang von Höhengradienten in Berchtesgaden
- Herr Marco Pecchiari Aufbau der Messstationen im Freiland
- Frau Margarete Wartinger Aufbau der Messstationen im Freiland

1.2 Publikationen

- ADIKU, S.G.K., REICHSTEIN, M., LOHILA, A., DINH, N.Q., AURELA, M., LAURILA, T., LUEERS, J. und TENHUNEN, J.D. (2004): PIXGRO: A model for simulating the ecosystem CO₂ exchange and growth of spring Barley. Ecological Modelling, submitted.
- ADIKU, S.G.K., TENHUNEN, J., REICHSTEIN, M., BAHN, M., LOHILA, A., AURELA, M., WOHLFAHRT, G., DROESLER, M., DINH, N.Q., GEYER, R., TAPPEINER, U., LAURILA, T. und CERNUSCA, A. (2004.): Simulation of gas exchange, plant growth and developing leaf area in temperate European grasslands. Ecological Modelling, submitted.
- ADIKU, S.G.K., TENHUNEN, J. und REICHSTEIN, M. (2004): Simulation of CO₂ Exchange and Plant Growth in Temperate European Grasslands: Some Lessons for Modeling Carbon Sequestration in Tropical Ecosystems. Proceedings of the Conference Carbon Sequestration in Grasslands, Bamako, Mali, February 2004, Manuscript submitted.
- BOBEVA, A. (2003): Quantifying the distribution of forest functional types and forest leaf area index in the Alps. Doctoral Thesis, University of Bayreuth.
- DINH, N.Q., REICHSTEIN, M., ADIKU, S. et al. (2004): LAI dynamics in a managed Alpine grassland: matching ground observations, ecosystem modeling and MODIS/TM remote sensing. In preparation for Remote Sensing of Environment.
- KOLCUN, O. (2004): Forest Transpiration Along an Elevation Gradient in the National Park, Berchtesgaden. Doctoral Thesis, University of Bayreuth, in preparation.
- LUDWIG, R., MAUSER, W., NIEMEYER, S., COLGAN, A., STOLZ, R., ESCHER-VETTER, H., KUHN, M., REICHSTEIN, M., TENHUNEN, J., KRAUS, A., LUDWIG, M., BARTH, M. und HENNICKER, R. (2003): Web-based modelling of energy, water and matter fluxes to support decision making in mesoscale catchments-the integrative perspective of GLOWA-DANUBE. Physics and Chemistry of the Earth 28: p. 621-634.
- TENHUNEN, J., GEYER, R., BAHN, M. et al. (2004): Spatial simulations of ecosystem gas exchange in complex mountainous terrain of Stubai Valley, Austria based on field studies and remote sensing. In preparation for Ecosystems.
- WANG, Q., TENHUNEN, J., FALGE, E., BERNHOFER, CH., GRANIER, A. und VESALA, T. (2003) Simulation and scaling of temporal variation in gross primary production for coniferous and deciduous temperate forests. Global Change Biology 10: p. 37-51.
- 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. Theoretical and Applied Climatology, in press.
- WANG, Q., TENHUNEN, J., NGUYEN, D., REICHSTEIN, M., VESALA, T. und KERONEN, 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, submitted.
- WANG, Q., TENHUNEN, J., SCHMIDT, M., KOLCUN, O. und DROESLER, M. (2004): A model to estimate global radiation in complex terrain. Boundary-Layer Meteorology, submitted.
- WANG, Q., TENHUNEN, J., SCHMIDT, M., OTIENO, D., KOLCUN, O., DROESLER, M. (2004): Diffuse PAR irradiance in complex terrain. Agricultural and Forest Meteorology, accepted - in revision.

1.3 Teilnahme an Tagungen und Forschungsaufenthalte

- 10.-13.07.2001: IGBP Science Conference, Amsterdam, Netherlands, Posterpräsentation (Reichstein)

- 03.-08.03.2002: 2nd CarboEurope Meeting in Budapest/Hungary; Vortrags- und Posterpräsentationen (Tenhunen, Reichstein, Wang).
- 15.-18.07.2002: MODIS Vegetation workshop in Missoula, MT, USA; Posterpräsentationen (Reichstein, Bobeva).
- Markus Reichstein war im Sommer 2002 für 9 Wochen in Missoula, Montana, in der Arbeitsgruppe von Dr. Steve Running.
- 06.-10.12.2002: American Geophysical Union Annual Meeting, Posterpräsentation (Reichstein)
- 05.-09.04.2003: European Geophysical Society Annual Meeting, Posterpräsentation (Reichstein, Tenhunen et al.)
- 10.-18.08.2003: FLUXNET workshop, Lake Tahoe, California, Posterpräsentation (Reichstein, Tenhunen et al.)

2. Entwicklung des Ökosystemmodells für DANUBIA

Generelles Ziel des Projektes ist die Erstellung von Vegetationsobjekten (*Biological-Objekt* in DANUBIA) inklusive Parametrisierungen für die im GLOWA-DANUBE Untersuchungsgebiet identifizierten Vegetationsklassen auf der Basis eines skalenübergreifenden Vegetationsmodells. Die Objekte werden so angelegt, dass sie in DANUBIA bei einer Auflösung von 1km^2 verwendet werden können, d.h. mit den Analysen der Fernerkundung, des Abflusses, der Grundwasserbildung, der Stickstoffauswaschung usw. auf regionaler Ebene integrierbar sind. Dafür müssen für ausgewählte GLOWA-DANUBE Testflächen die Kontrollfunktion der Vegetation auf die Wasser-, Kohlenstoff- und Stickstoffflüsse modelliert und analysiert, und Upscaling-Methoden überprüft werden, die eine akzeptable Modellierung der Ökosystemprozesse innerhalb heterogener Pixel auf der 1km^2 Skala und für unterschiedliche Teilgebiete (z.B. Alpenhänge gegen Voralpenland) erlauben. Die Fortschritte bei der Entwicklung des *Biological-Objekts* und der Parametrisierung sind hier zusammengefasst.

Modellintegration in DANUBIA

Die Modellintegration des *Biological-Objekts* erfolgt im komplexen Objekt „*Landsurface*“. In einer Reihe von Treffen mit den Gruppen Hydrologie, Glaziologie und Informatik ist das *Landsurface-Objekt* hinsichtlich der definierten Schnittstellen (UML-Klassendiagramm) und der Modellsteuerung entwickelt worden.

Schnittstellendefinition

In Zusammenarbeit mit den Gruppen Hydrologie/Fernerkundung und Glaziologie ist die Struktur des *Landsurface-Objekt* definiert worden. Fünf Teilkomponenten sind vorhanden (*Biological*, *RadiationBalance*, *Snow*, *Soil* und *Surface*). Die aktuelle Struktur ist aus Sicht des *Biological-Objektes* in Abbildung 1a bis c dargestellt. Wie die anderen Komponenten auch, kommuniziert das *Biological-Objekt* mit den anderen *Landsurface-Objekten* über Schnittstellen. *Biological* realisiert die *BiologicalToXXX* Schnittstellen (*BiologicalIMPLEMENTS-BiologicaltoXXX* im UML Diagramm), über die *Biological* dem Objekt *XXX* Methoden zur Abfrage von Modellzuständen zur Verfügung stellt. Umgekehrt greift *Biological* über die Schnittstellen der anderen *Landsurface-Objekte* auf deren öffentliche Methoden zu (*Biological-USESXXXtoBiological*). Die Kommunikation zu Objekten außerhalb von *Landsurface* erfolgt stets über den *LandsurfaceController*, der Werte unverändert durchreicht oder einfache Operationen durchführt, ohne sie zu speichern.

Abb. 1A:

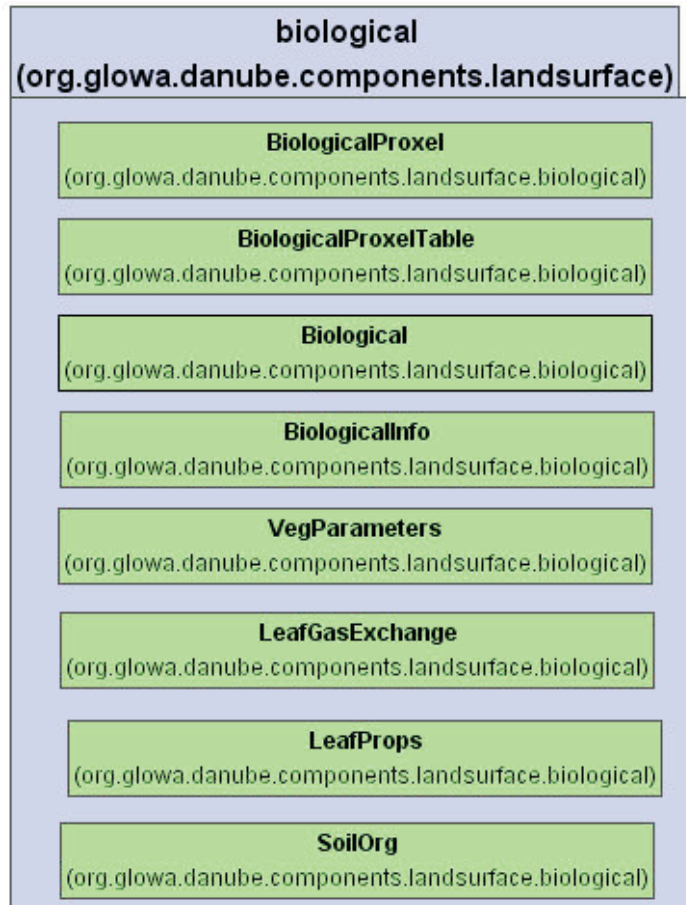


Abb. 1B:

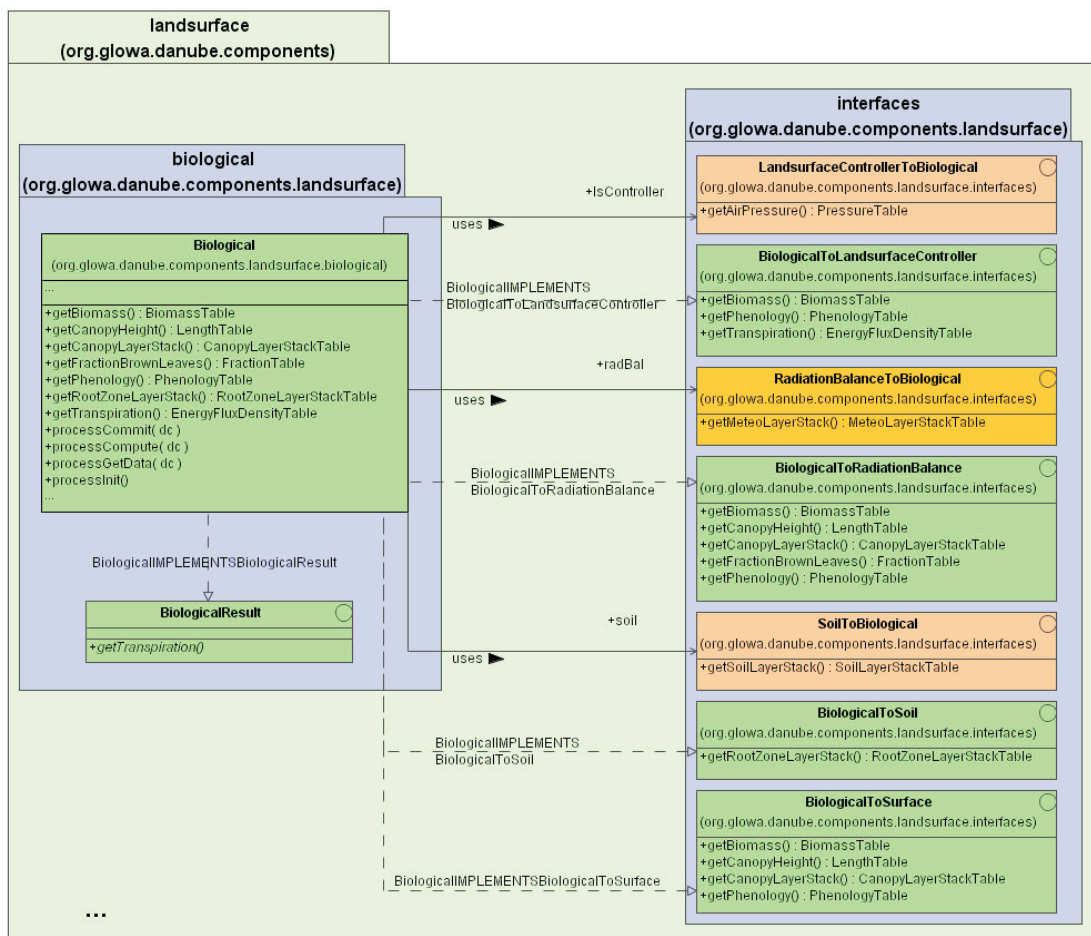


Abb. 1C:

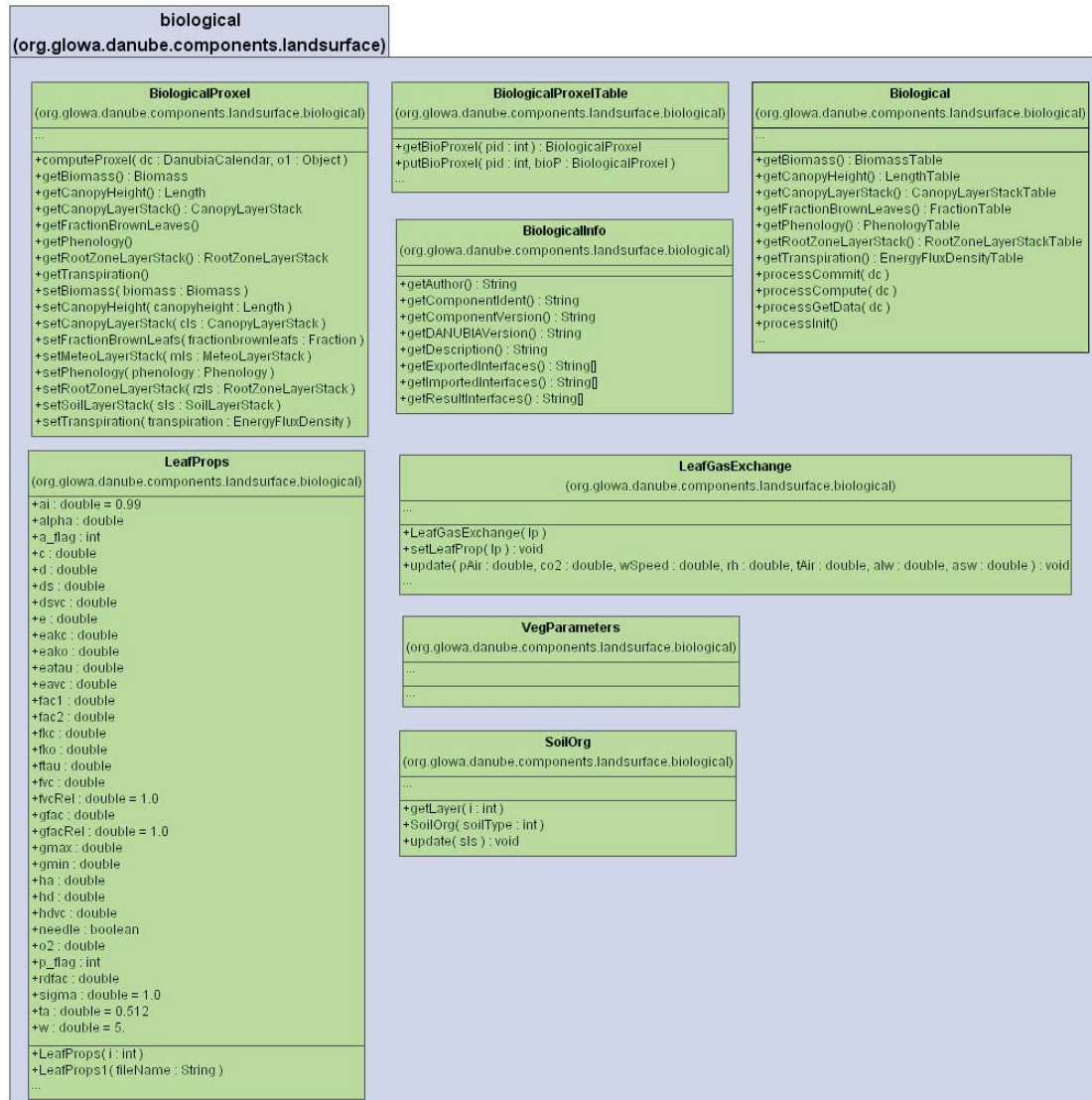


Abb. 1: UML-Diagramme des *Biological*-Objektkomplexes (A) Member: Zeigt den Inhalt des *biological*-Pakets, ohne weiterführende Details oder Unterstrukturen; B) External Interfaces: Zeigt die Schnittstellen zu Objekten außerhalb des *Biological*-Objekts und C) Structural details: Zeigt die Objekte mit ihren öffentlichen Methoden und ihren Beziehungen zueinander.

Im Einzelnen sind folgende Schnittstellen definiert:

1) Zu *LandsurfaceController*

Zum *LandsurfaceController* und damit in die Außenwelt der *Landsurface* (z.B. Agrarökonomie, Atmosphäre) werden aktuelle Biomasse, phänologische Entwicklung der Vegetation, Blattstickstoffgehalt und die Bestandstranspiration gegeben. Der *LandsurfaceController* addiert die Transpiration und Evaporation zur Gesamtverdunstung und gibt das Ergebnis zur Umgebung der *Landsurface*. Vom *LandsurfaceController* erhält *Biological* lediglich den Luftdruck, der als einzige relevante Größe nicht von der *Surface/RadiationBalance* modifiziert wird. Der Luftdruck ist wichtig für die Diffusivitäten von CO₂ und Wasserdampf.

2) Zu *RadiationBalance*

Vom *RadiationBalance*-Objekt erhält *Biological* die schichtweisen bestandes-meteorologischen Größen, die zur Berechnung der Photosynthese und der Transpiration nötig sind (Luftfeuchte, Lufttemperatur, [CO₂], Strahlung, Anteil beschatteter Fläche, Windgeschwindigkeit). Die zur Berechnung dieser Größen benötigten Bestandesparameter werden von

Biological zur Verfügung gestellt (Biomasse, Blattflächen, und -winkel, Bestandeshöhe, Blatttransmissivität). Eher für Fernerkundungszwecke werden die Chlorophyllgehalte zurückgegeben.

3) Zu *Soil*

Hier werden die Ergebnisse der biologischen Umsetzungsprozesse schichtweise an *Soil* gegeben, nämlich die Netto-Stickstoffmineralisation und die Wasser- und Stickstoffaufnahme durch die Pflanzen. Die zur Berechnung dieser biologischen Umsetzungsprozesse nötigen Faktoren (Bodenstickstoff und -wassergehalt, Bodentemperatur) bekommt *Biological* von *Soil*.

4) Zu *Surface*

Zur Berechnung der Interzeption erhält *Surface* von *Biological* Bestandesparameter (Biomasse, Bestandeshöhe, Blattflächenindex).

5) Zu *Timecontroller*

Die Anbindung an den *Timecontroller*, der den parallelen und verteilten Modelllauf steuert, geschieht über vier Schnittstellen. *Biological* implementiert die Methoden *compute* und *commit*, welche die Berechnung und die Freigabe von Modellwerten übernehmen.

Das gesamte Untersuchungsgebiet ist aus *Proxel*-Objekten zusammengesetzt, die zusammen in einem *Table*-Objekt organisiert sind. Das *Biological-Proxel* ist eine Spezialisierung eines allgemeinen *Proxels* aus dem *LandsurfaceProxel*. Ebenso erbt die *BiologicalProxel-Table* alle Eigenschaften von *ProxelTable* und *LandsurfaceProxelTable*. Die eigentliche Simulationsalgorithmik und die Kommunikation mit anderen Komponenten und dem *Timecontroller* findet im Objekt *Biological* statt.

Modellsteuerung

Durch die hohe Anzahl von Interaktionen zwischen den Komponenten kommt das Problem der Zeitschritttaktung zum Tragen, wodurch Prozesse, die eigentlich parallel laufen, hintereinander gerechnet werden. Nach einem Regenereignis zum Zeitpunkt t (als Input zur *Surface*) erhält der Boden das Wasser erst zum Zeitpunkt $t+1$, so dass die Vegetation erst zum Zeitpunkt $t+2$ dieses Wasser zur Transpiration nutzen kann, worauf z.B. die Meteorologie erst zum Zeitschritt $t+3$ den latenten Wärmestrom von der Landoberfläche erhält. Bei Einhaltung des verabredeten Zeitschritts von einer Stunde wäre dies eine inakzeptable Verzögerung von mindestens drei Stunden. Daher wurde sich innerhalb der *Landsurface* auf einen Zeitschritt von einer Viertelstunde geeinigt, der eine Gesamtverzögerung von mehr als einer Stunde verhindert.

Prozesse im *Biological*-Objekt

Das *Biological*-Objekt beschreibt den Gasaustausch und die damit verbundene ober- und unterirdischen Biomasse- bzw. Blattflächenindex-Zunahme von Pflanzenbeständen (Abb. 2). Die Bruttphotosynthese wird nach Farquhar and von CAEMMERER (1982) und HARLEY and TENHUNEN (1991) berechnet. Physiologische Parameter, die für jede Vegetationseinheit bestimmt werden müssen, sind die Carboxylierungs-, RuBP-Regenerations- und Atmungskapazitäten der Blätter, sowie auch die maximale stomatäre Leitfähigkeit. Diese Schlüsselparameter variieren in Abhängigkeit von den momentanen Klimabedingungen und der Wasserverfügbarkeit im Boden. Sie bestimmen zusammen mit Spektraleigenschaften der Blätter die absorbierte Strahlung im photosynthetisch aktiven Bereich, die Effizienz der Ausnutzung des APAR für die CO₂-Fixierung, die stomatäre Leitfähigkeit für H₂O und die Transpirationsrate, die Nettophotosyntheserate und die Bruttoprimärproduktion (gelber Kasten in Abb. 2; s. auch REICHSTEIN 2001; REICHSTEIN et al. 2002; ADIKU et al. 2003a, 2003b).

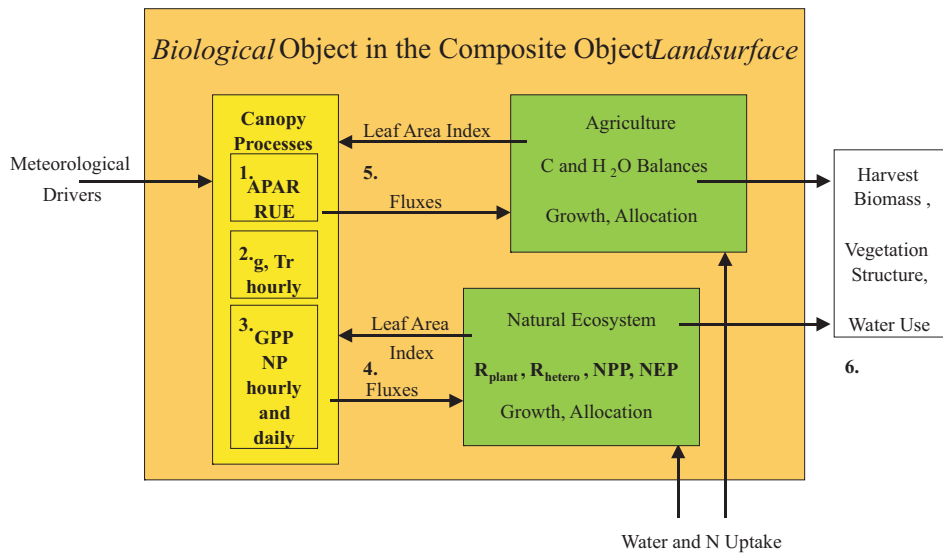


Abb. 2: Schematische Darstellung des *Biological*-Objekts (APAR=absorbierte Strahlung im photosynthetisch aktiven Bereich (PAR-Bereich); RUE=„Radiation Use Efficiency“, d.h. Effizienz der Ausnutzung des APAR für die CO₂-Fixierung; g=stomatäre Leitfähigkeit für H₂O; Tr=Transpirationsrate; GPP=Bruttoprimärproduktion; NP=Nettophotosyntheserate; R_{plant} und R_{hetero}=autotrophe und heterotrophe Atmung; NPP=Nettoprimärproduktion; NEP=Nettoökosystemproduktion).

Im nächsten Teil des Objekts wird die Umwandlung von fixiertem CO₂ in Trockenmasse, deren Verteilung an die verschiedenen Pflanzenorgane, als auch die phänologische Entwicklung der Pflanzen beschrieben. Die neu verfügbare Trockenmasse wird anhand von Atmungsschätzungen für Maintenance und die Umwandlung (Growth) nach dem Ansatz von JONES (1991) reduziert. Neue Trockenmasse von Blättern führt über das spezifische Blattgewicht zu einer Zunahme im Blattflächenindex.

Neue Trockenmasse von Wurzeln ändert das vertikale Profil der Wurzeldichte, d.h. die Kopplung zwischen *Biological*- und *Soil*-Objekt.

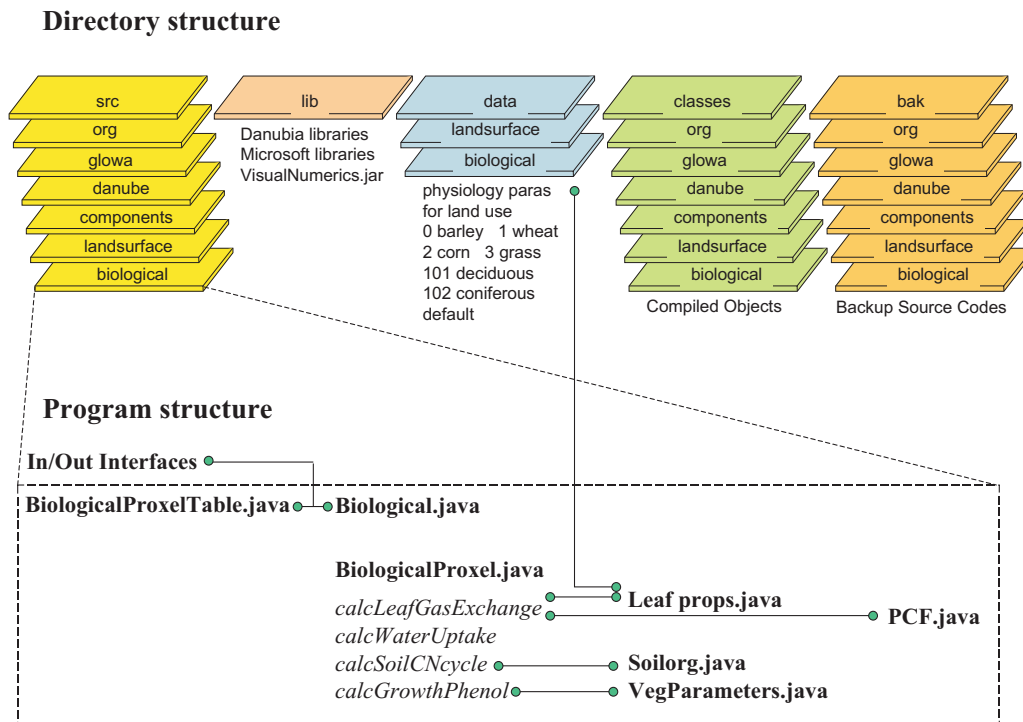


Abb. 3: Darstellung und Organisation der Hauptkomponente des *Biological*-Objekts (oben die Dateistruktur, die mit Erweiterungen ausgetauscht wird; unten die Einzel-"source-codes" für die Berechnung von Prozessen in verschiedenen Ökosystemtypen; Die Kommunikation zwischen Objekten ist durch die Linien mit grünen Pünktchen illustriert).

In der ersten Phase von GLOWA-DANUBE sind die Wachstumsroutinen für Nutzpflanzen und Grünland implementiert worden, wobei eine Anpassung für naturnahe Ökosystemtypen noch aussteht. Die Dateistruktur und Organisation der Hauptkomponente des *Biological*-Objekts ist schematisch in Abbildung 3 dargestellt. In dieser Form wurden für die Jahre 1995 und 1996 im Stunden-Zeitschritt Ergebnisse vom *Biological*-Objekt in den Referenzläufen mit DANUBIA gewonnen. Diese ersten Ergebnisse werden im nächsten Abschnitt evaluiert.

3. Parametrisierung des Ökosystemmodells für DANUBIA

Im Zusammenhang mit dem generellen Ziel des Projektes, nämlich der Erstellung von Vegetationsobjekten (*Biological*-Objekt in DANUBIA) für die im GLOWA-DANUBE Untersuchungsgebiet identifizierten Vegetationsklassen, sind spezifische Parametrisierungen für den Gasaustausch und das Wachstum von Nadelwald, sommergrünem Laubwald, Getreide, Wiesen, Feuchtgebiete usw. erforderlich. Die wichtigen Fortschritte bei der Parametrisierung und eine Überprüfung der Ergebnisse vom DANUBIA Referenzlauf mit dem *Biological*-Objekt sind hier zusammengefasst. Es handelt sich um einen Vergleich der ersten Modellberechnungen von Kronendachprozessen und Wachstum in DANUBIA mit den zu erwartenden Ergebnissen, d.h. mit Schätzungen der Transpiration, CO₂-Aufnahme und LAI-Änderungen von einzelnen Ökosystemtypen in Plotstudien an verschiedenen Standorten. Diese Übersicht ist auch eine Ergänzung der Parametrisierungsergebnisse, die im dritten Jahr des Projekts unternommen wurden und die im Jahresbericht 2003 berichtet worden sind.

Im 2003 Jahresbericht wurden die folgenden Themen ausführlich beschrieben und diskutiert:

1. Die Ergebnisse von Transpirationmessungen im Nationalpark Berchtesgaden entlang von Höhengradienten, die wichtige Begrenzungen der Bestandesleitfähigkeit und dabei den Wasserverbrauch und die Produktion von Wäldern in Abhängigkeit von der Höhe in den Alpen zeigen.
2. Ein Vergleich der langfristigen Aufzeichnungen mit der Eddy-Kovarianz-Methode über den Austausch von Kohlendioxid und Wasserdampf mit der Atmosphäre, als auch der gemessenen Biomasse-Akkumulation bei Mais, Gerste und Wiesen mit Modell-Output von den für DANUBIA entwickelten Simulationsroutinen.
3. Die Ergebnisse von Untersuchungen, um den Blattflächenindex (LAI) in Waldgebieten der Alpen zu schätzen. Es geht hier zuerst um eine Extrapolation der Information von Inventurstandorten auf die Fläche, und zweitens um die Überprüfung von Upscaling-Methoden, die uns erlauben, den LAI auf der 1km² Skala von DANUBIA auszuwerten.

Für ausgewählte GLOWA-DANUBE Testflächen muss die Kontrollfunktion der Vegetation auf die Wasser-, Kohlenstoff- und Stickstoffflüsse modelliert und analysiert werden. Des Weiteren müssen Upscaling-Methoden überprüft werden, die eine akzeptable Modellierung der Ökosystemprozesse innerhalb heterogener Pixel auf der 1km² Skala und für unterschiedliche Teilgebiete (z.B. Alpenhänge gegen Voralpenland) erlauben. Solche Untersuchungen zum Upscaling müssen in der zweiten Phase von GLOWA-DANUBE fortgesetzt werden.

Ergebnisse von den Referenzläufen mit DANUBIA

Das *Biological*-Objekt erlaubt räumlich verteilte Berechnungen der Transpiration und der Kohlenstoffbilanz auf dem 1km² Raster des Donau-Einzugsgebiets. Die Landnutzung, wofür die Gaswechsel- und Pflanzenwachstumsvorgänge simuliert werden, stellt eine Ver-

einfachung der in DANUBIA ausgearbeiteten Klassifizierung dar und beinhaltet Grünland; Gerste, Weizen, Mais, Nadel- und Laubwald. Die räumliche Differenzierung im Wasserverbrauch der Vegetation ergibt sich aus der Überlagerung von Klimagradierten und Gradienten in der Vegetationsstruktur. Letzteres vor allem bei der saisonalen Entwicklung im Blattflächenindex bei Nutzpflanzen, Grünland und Laubwald, obwohl auch die zeitliche Variation im LAI von Nadelwäldern simuliert wird.

Ein Vergleich des saisonalen Ablaufs (Zeitschritt = eine Stunde) der simulierten Transpiration mit dem *Biological*-Objekt in DANUBIA für A) Nadelwald, B) Laubwald und eine alpine Mähwiese (ausgewählte Einzelpixel zu Testzwecken) für die Jahre 1995 und 1996 ist in Abbildung 4 dargestellt. Die gleichen Ergebnisse sind in Abbildung 5 als Tageswerte präsentiert. Die saisonale Entwicklung der CO₂-Aufnahme (Bruttoproduktion oder GPP) und des Blattflächenindexes an den gleichen Standorten ist der Abbildung 6 zu entnehmen.

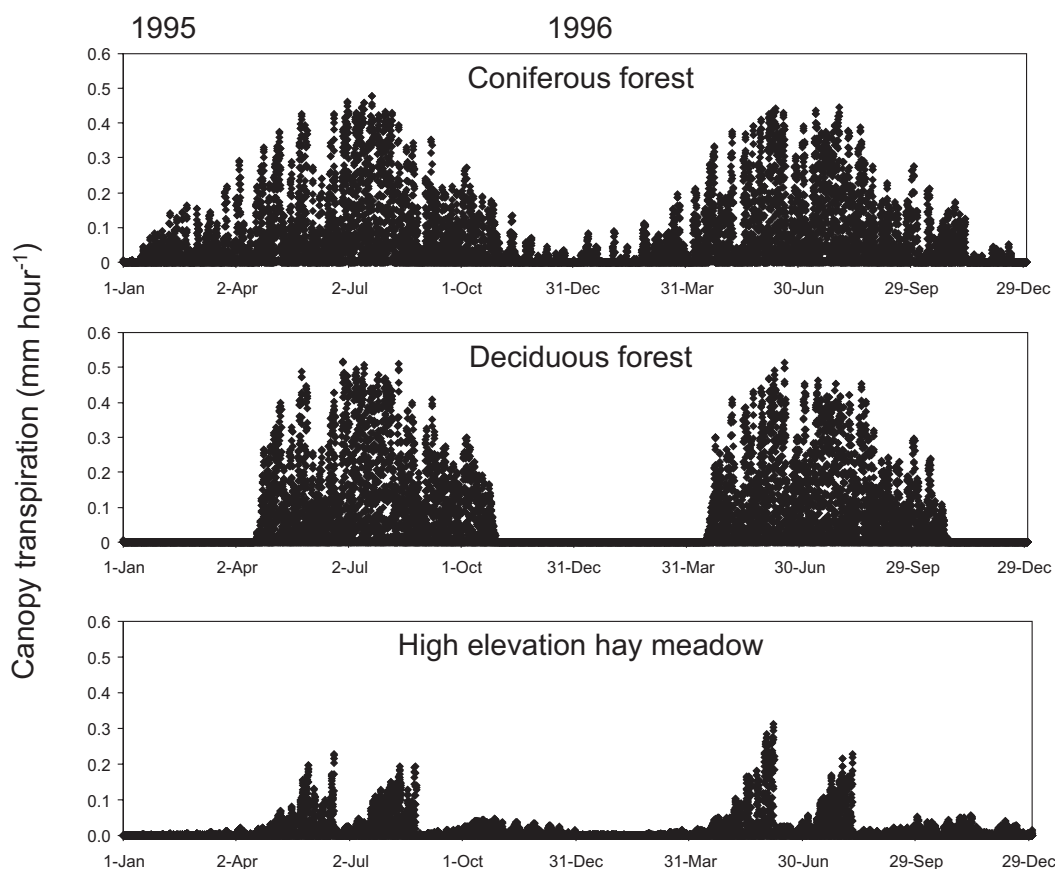


Abb. 4: Vergleich des saisonalen Ablaufs (Zeitschritt=eine Stunde) der Transpiration simuliert mit dem *Biological*-Objekt in DANUBIA für A) Nadelwald, B) Laubwald, und C) eine alpine Mähwiese in den Jahren 1995 und 1996.

Der simulierte Verlauf der Variablen ist für Grünland in Abbildung 7 dargestellt. Monatliche Summen der Transpiration für Koniferen- und Laubwälder sind in Abbildung 8 zusammengefasst.

Aus den Abbildungen 4, 5 und 7 kann man schließen, dass die ersten Schätzungen der Transpiration in DANUBIA in Abhängigkeit der saisonalen Änderungen in den Klimabedingungen und in Bezug auf die zu erwartenden phänologischen Stadien der Vegetationsentwicklung plausibel sind. Die erste Version des *Biological*-Objekts liefert wertvolle räumliche Schätzungen für die Transpiration auf regionaler Skala. Eine kritische Betrachtung der absoluten Werte und ein Vergleich mit verfügbaren Messungen deutet aber darauf hin, dass eine Verfeinerung der Parametrisierung notwendig ist.

Von den experimentell gemessenen Werten des Wasserverbrauchs in Koniferen- und Laubbeständen (Abb. 8C und 9A und B) erkennt man, dass das saisonale Muster der Transpiration simuliert mit DANUBIA gut mit den Messergebnissen übereinstimmt. Die maximale Transpirationsrate von ca. 4 mm Tag^{-1} bzw. $0,5\text{ mm Stunde}^{-1}$ ist möglicherweise zu hoch. Die Transpiration von Fichtenbeständen gemessen mit Saftfluss-Methoden liegt normalerweise unter 3 mm Tag^{-1} und maximale Stundenwerte liegen bei $0,2\text{ mm Stunde}^{-1}$ (s. auch die Messergebnisse vom Nationalpark Berchtesgaden im 3. Jahresbericht).

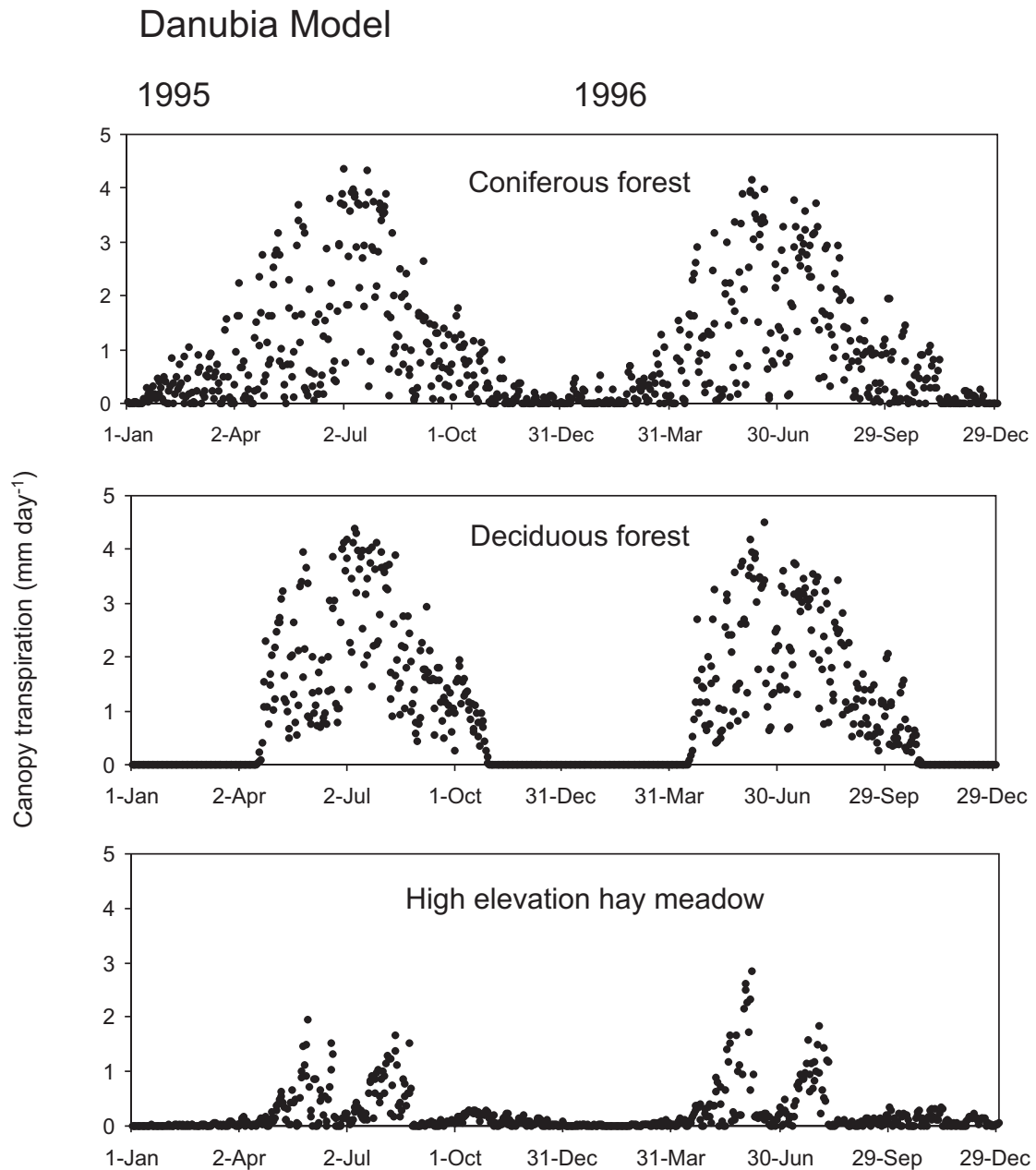


Abb. 5: Vergleich des saisonalen Ablaufs (Zeitschritt=ein Tag) der Transpiration simuliert mit dem *Biological*-Objekt in DANUBIA für A) Nadelwald, B) Laubwald und C) eine alpine Mähwiese in den Jahren 1995 und 1996.

Danubia model

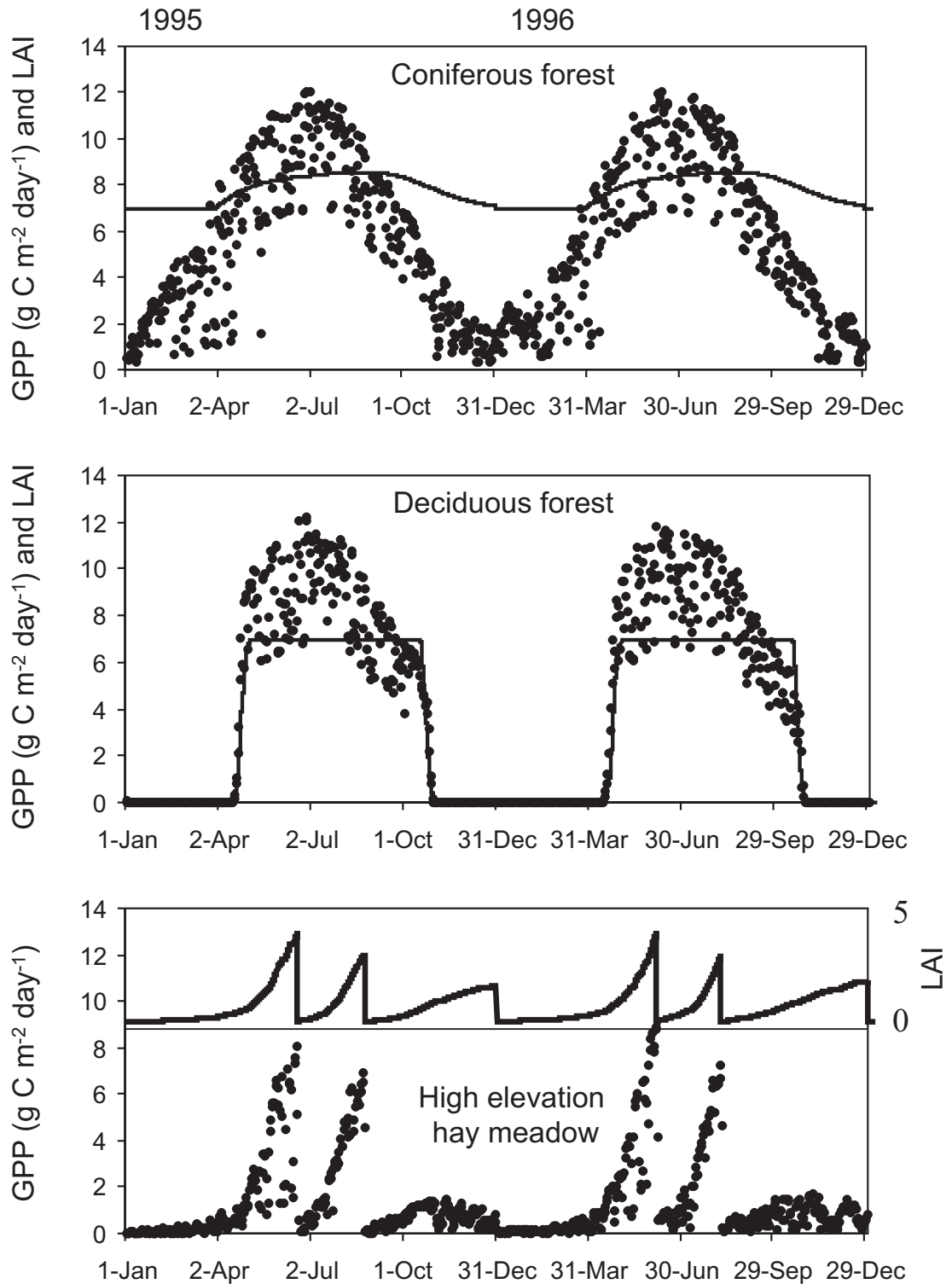


Abb. 6: Vergleich des saisonalen Ablaufs (Zeitschritt=ein Tag) der Bruttoproduktion (GPP) und der Blattflächenindex-Entwicklung simuliert mit dem *Biological*-Objekt in DANUBIA für A) Nadelwald, B) Laubwald, und C) eine alpine Mähwiese in den Jahren 1995 und 1996. Die Wiese wurde zweimal im Sommer geschnitten.

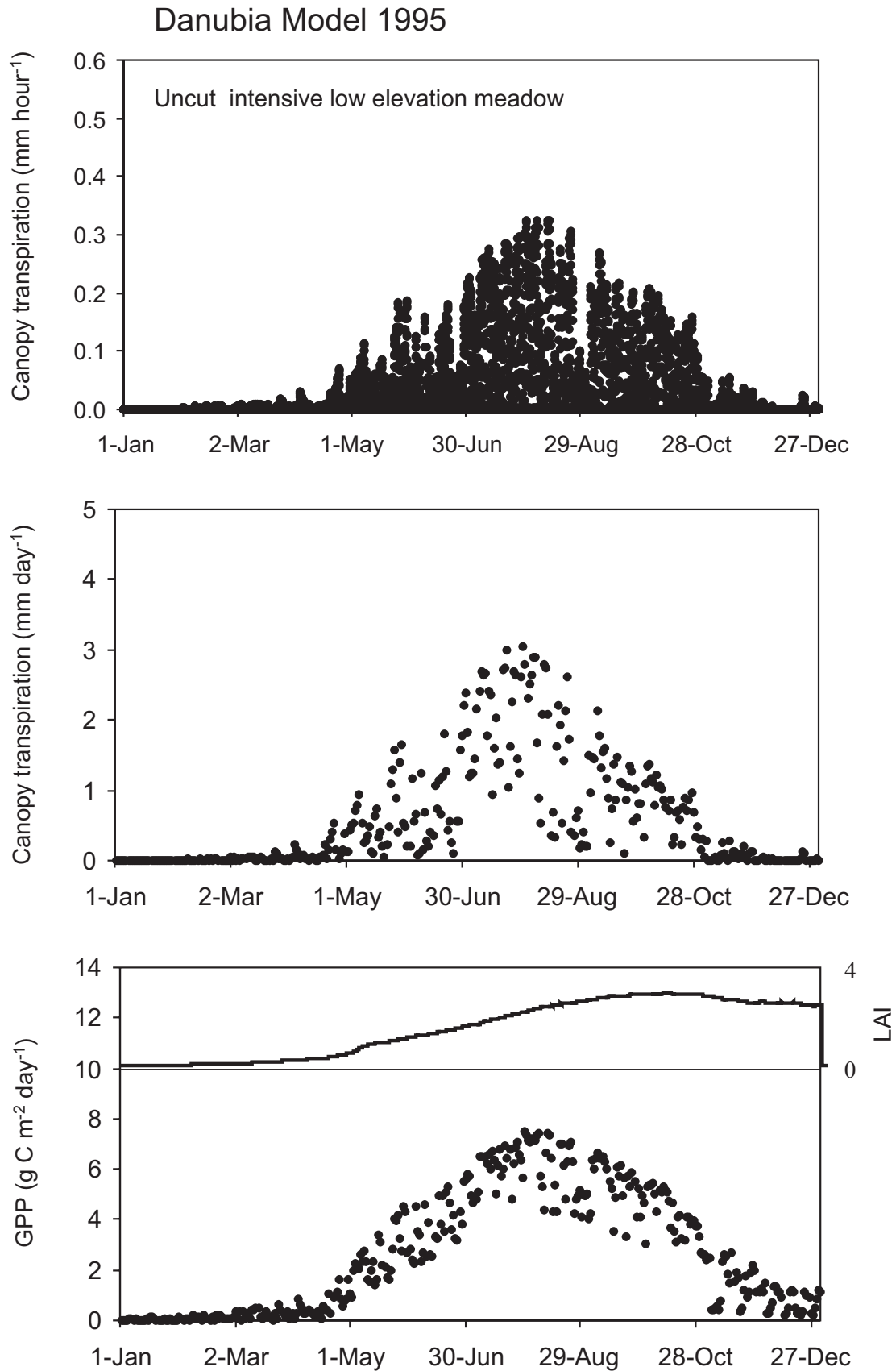


Abb. 7: Der saisonale Ablauf (Zeitschritt=eine Stunde oder ein Tag) der Transpiration, der Bruttoproduktion und der Blattflächenindex-Entwicklung simuliert mit dem *Biological*-Objekt in DANUBIA für Grünland in den Jahren 1995 und 1996.

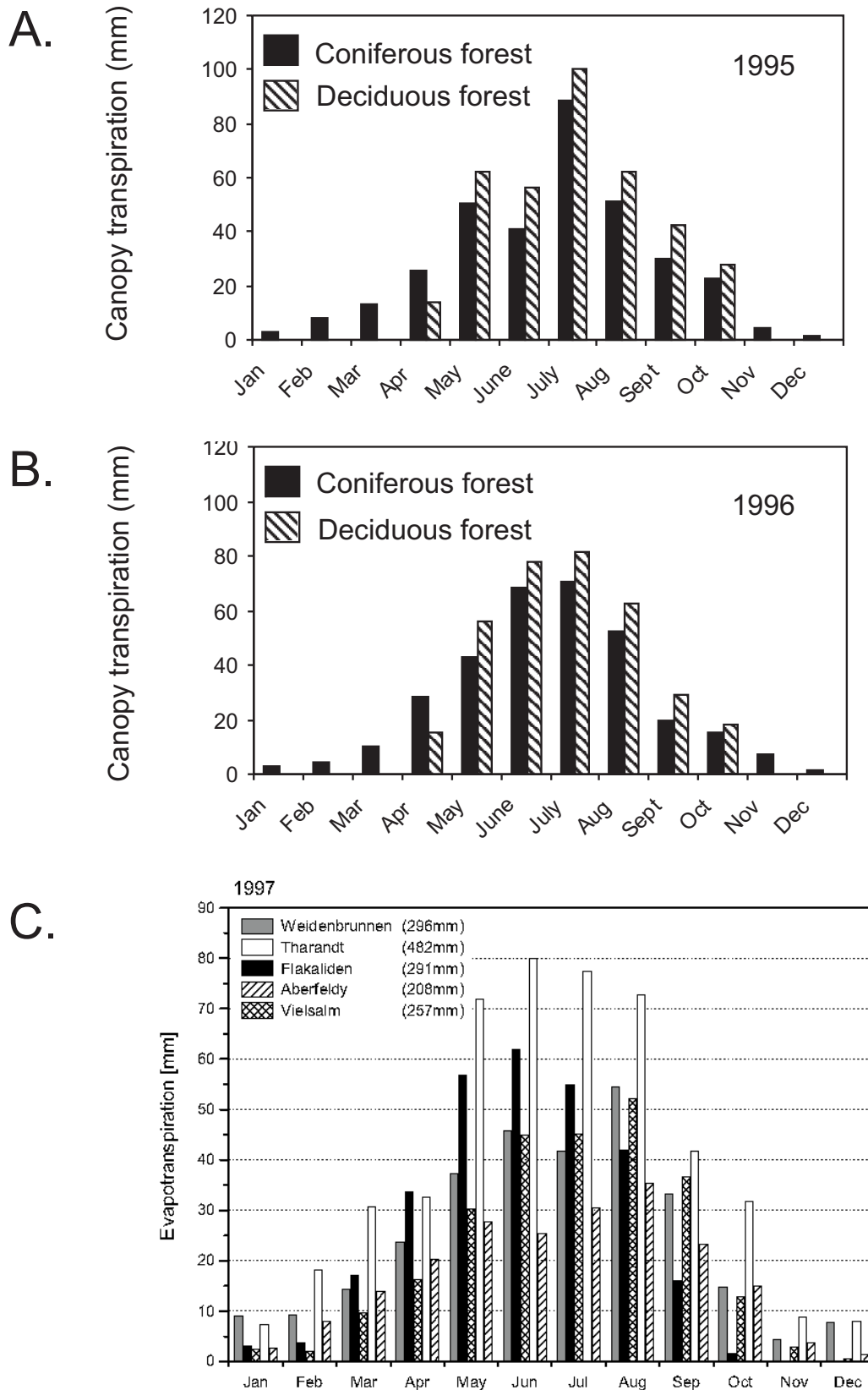
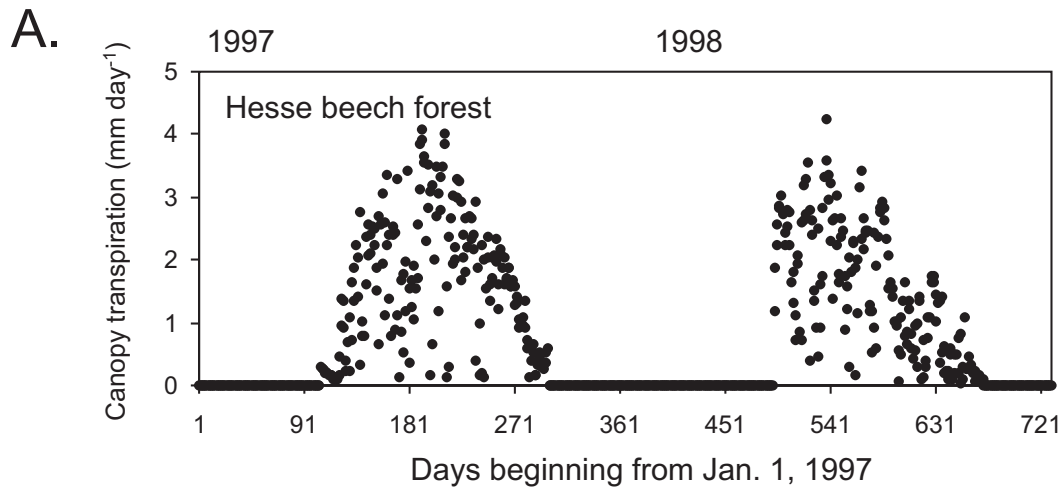


Abb. 8: Monatliche Summen der Transpiration simuliert mit dem *Biological*-Objekt in DANUBIA für Koniferen- und Laubwälder in den Jahren 1995 (A) und 1996 (B); C: Gemessene monatliche Evapotranspiration an fünf Koniferen-Standorten des Netzwerk-Projekts EUROFLUX (aus BERNHOFER et al. 2003).

Die Jahressumme der Transpiration von DANUBIA erreicht ca. 310mm. Nur in Vergleich mit dem Bestand in Tharandt (Abb. 8C) wäre dieser Wert möglich, besonders weil die Transpiration von DANUBIA ca. 70% von Et sein soll. Die zu hohe Schätzung der Transpiration von Koniferenbeständen ist wahrscheinlich von der Kopplung des *Biological-Objekts* mit dem Modul Radiation-Balance zu erklären und wird weiter untersucht.



B.

Table 4.3. Cumulated values of rainfall (R), net interception (In), transpiration (T), and total evapotranspiration (Et). T was computed from sap flow measurements; Et was measured over the stand by eddy correlation technique. Data are expressed in mm

Year	Site	R (annual)	R (season)	In (season)	T (season)	Et (season)	T/Et (season)
1996	Hesse	672	325	116	256	338	0.76
1997	Hesse	853	440	125	253	351	0.72
1998	Hesse	974	453	107	257	313	0.82
1999	Hesse	1073	490	122	333	384	0.86
1992	Kiel	756		98	421	575	0.73
1993	Kiel	838		127	326	515	0.63
1994	Kiel	977		108	389	517	0.75
1995	Kiel	687		108	419	577	0.73
1998	Karlsruhe	677	249		310	423	0.73
1995	Aubure	1255	436	102	218		

Note: data from Kiel are outputs of a model

C.

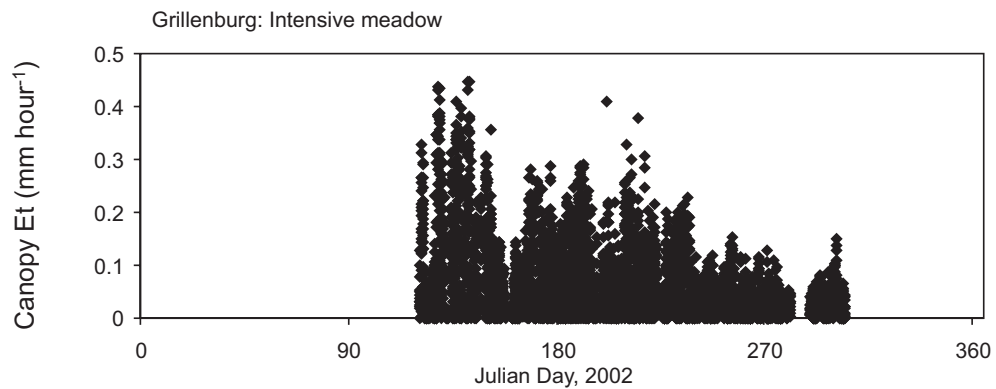


Abb. 9: A) Die mit Saftflussmethoden gemessene Kronendachtranspiration von einem Buchenwald in Hesse, Frankreich in den Jahren 1997 und 1998 (Daten von A. Granier), B) geschätzte jährliche Transpiration und Evapotranspiration von Buchenwäldern auf der Basis von Messungen des Netzwerk-Projekts EUROFLUX (aus GRANIER et al. 2003), C) Die mit der Eddy-Kovarianz-Methode gemessene Evapotranspiration von einer intensiv bewirtschafteten Wiese in Grillenburg (Sachsen) während 2002.

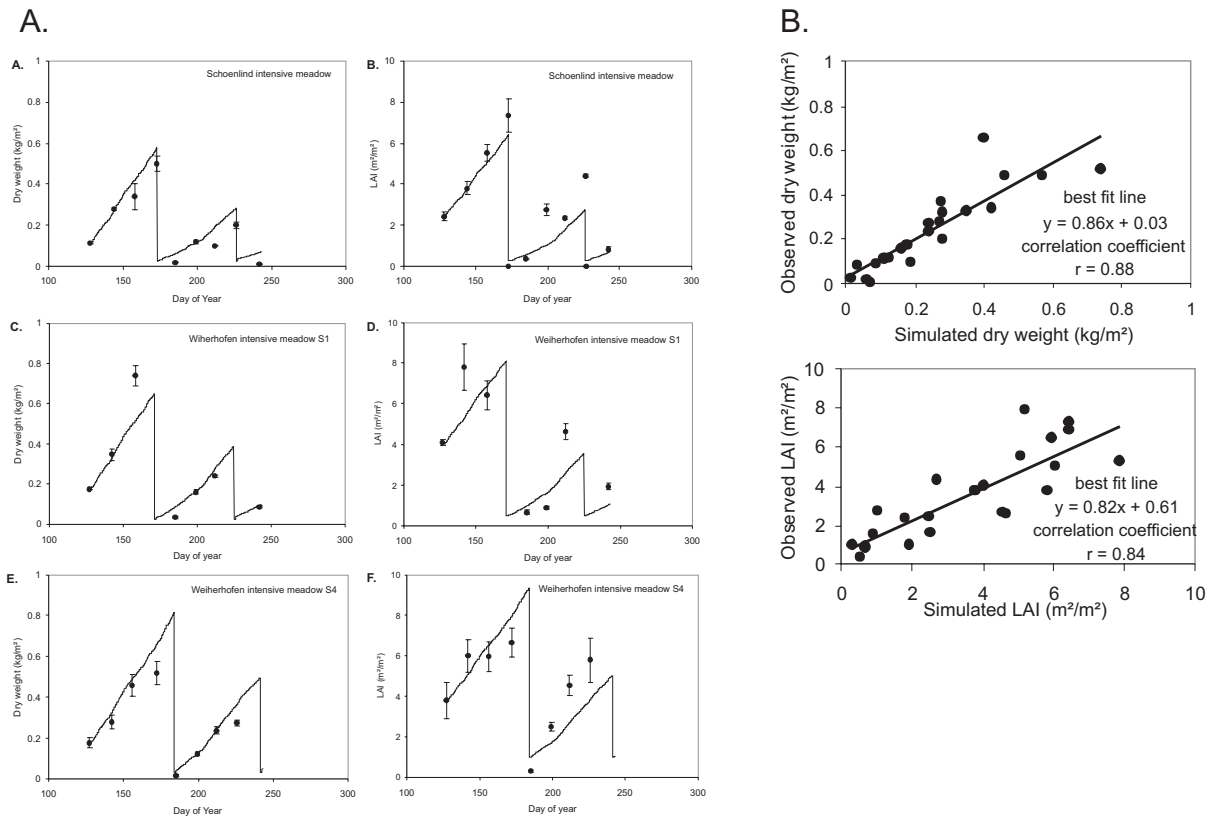


Abb. 10: A) Simulierter (durchgezogene Linie) und beobachteter (Symbole) Verlauf für die oberirdische Biomasse und die Entwicklung von LAI in Testplots im Fichtelgebirge während 2001. B) Verhältnisse zwischen simulierten und beobachteten Werten (die Simulationen für die Plotstudien wurden mit den in DANUBIA eingebauten Algorithmen durchgeführt).

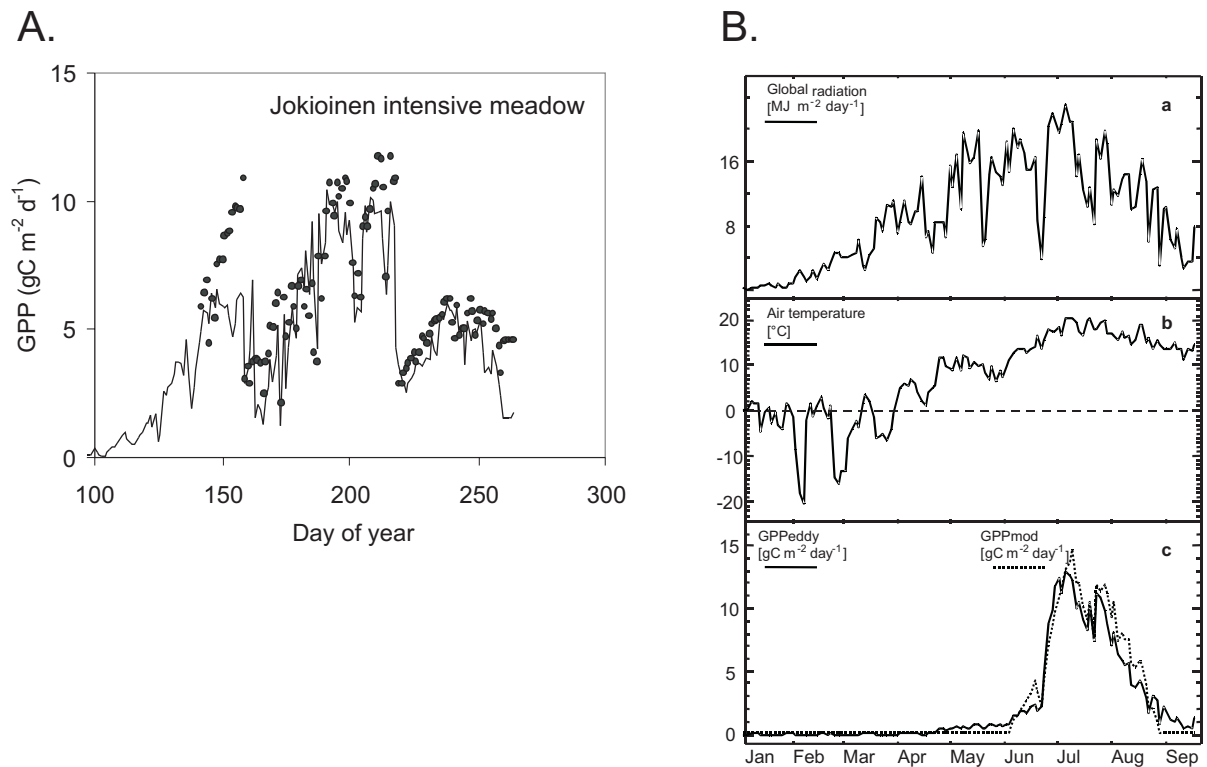


Abb. 11: Vergleich der mit den Algorithmen des *Biological*-Objekts simulierten und von Messungen abgeleiteten Bruttoprimärproduktion für A) eine intensive Wiese und B) ein Gerstenfeld.

Die simulierten maximalen Transpirationsraten für Laubwälder liegen wie auch die Messungen mit Saftfluss-Methoden bei ca. 4mm Tag^{-1} (Abb. 5 und 9). Beobachtete Werte für Buchenwälder sind in der Abbildung 9 dokumentiert. Der simulierte jährliche Wasserverbrauch in der Transpiration von ausgewählten Laubwaldpixeln im Donau-einzugsgebiet liegt bei ca. 350mm , ungefähr 35% über den Messwerten vom Hesse Forst in den Vogesen. Simulationen für einen Buchenwald in der Nähe von Kiel stimmen mit den simulierten Werten von DANUBIA überein. Insofern die tägliche Transpiration richtig erscheint, muss weiter untersucht werden, ob die Phänologie der Blattflächenentwicklung zur Zeit in DANUBIA richtig in Abhängigkeit der Standortbedingungen beschrieben ist. Im Vergleich zum Hesse Forst steigt der LAI bei dem ausgewählten Pixel ca. 10 Tage früher an und der langsame Abstieg im Herbst (Verminderung in der Transpiration nach dem 15. August in Hesse) findet später statt.

Die simulierte Transpiration von einer bewirtschafteten alpinen Mähwiese (Abb. 5), sowie die Transpiration im Grünland steigt auf ein Maximalwert von $0,3\text{mm Stunde}^{-1}$ (bzw. 3mm Tag^{-1}) und variiert in Abhängigkeit des Pflanzenwachstums. Die gemessene Evapotranspiration mit der Eddy-Kovarianz-Methode von einer intensiven Mähwiese in der Nähe von Tharandt ist in Abbildung 9C abgebildet. Die beobachteten Maximalwerte für die Evapotranspiration liegen auch bei $0,3\text{mm Stunde}^{-1}$, wobei die Verminderung in Et nach dem Schnitt am 16.6. (Julian Day 167) von der Bodenevaporation kompensiert wird. Da der Gesamtfluss bei einem LAI von 3 hauptsächlich von der Transpiration bestimmt wird, liefert das *Biological*-Objekt mit der jetzigen Parametrisierung sinnvolle Werte für den Wasserverbrauch.

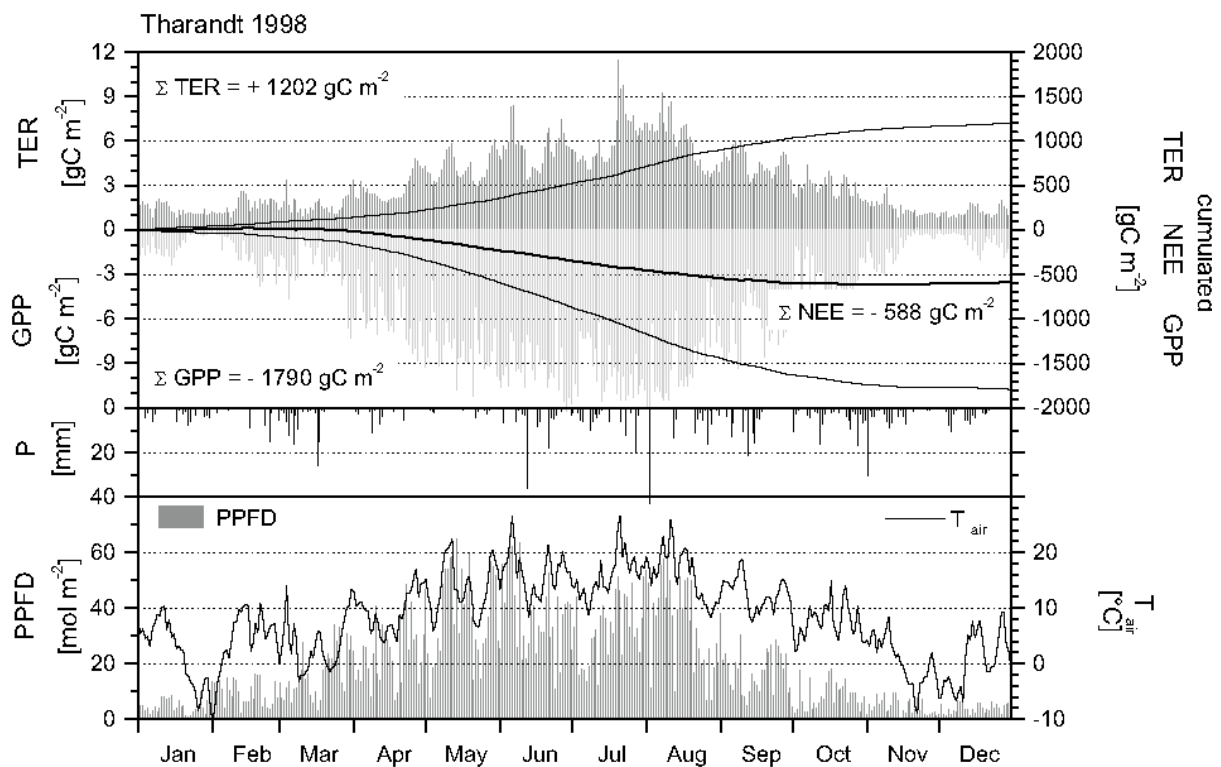


Abb. 12: CO₂-Austausch von einem Fichtenforst in Tharandt (aus BERNHOFER et al. 2003).

Bei Nutzpflanzen und im Grünland wurde zunächst das Wachstum modelliert, da 1) hier der größte Bedarf in DANUBIA besteht (Gruppe Agrarökonomie), und 2) eine landwirtschaftliche Kultur im Wachstum sehr dynamisch ist und daher Probleme bei Simulationsläufen innerhalb eines Jahres aufgedeckt werden können (während Waldwachstum deutlich langsamer ist). Die Algorithmen für gekoppelte Kronendach- und Wachstumsprozesse (siehe die Beschreibung des *Biological*-Objekts in Teil 2 und eine weitere detaillierte Beschreibung des Wachstumsmoduls im 3. Jahresbericht) wurden gegen Messdaten für die

Tab. 1: Jahressummen der Transpiration und der Bruttoproduktion in den Jahren 1995 und 1996, die in den Referenzläufen von DANUBIA berechnet wurden. Die Ergebnisse beziehen sich auf ausgewählte Pixel, die eine Überprüfung des allgemeinen Verhaltens im Gaswechsel von Nadelwald, Laubwald und Grünland erlauben. Die oberen Zahlen wurden mit Inputdaten von den meteorologischen Stationen berechnet; die Zahlen in Klammern mit Inputdaten vom MM5-Modell.

	Transpiration: Meteostationen (MM5 Modell)		GPP: Meteostationen (MM5 Modell)	
	1995	1996	1995	1996
Koniferenwald	340 (334)	320 (311)	2010 (1810)	2000 (1730)
Laubwald	365 340	(340) (308)	1510 1490	(1450) (1320)
Grünland	215 (163)		960 (773)	
Alpine Mähwiese	75 (30)	85 (35)	493 (397)	486 (321)

CO₂-Aufnahme (GPP) und Biomasseentwicklung von Gersten- und Wiesenbeständen auf Plotebene überprüft (s. 3. Jahresbericht und Abb. 10 und 11, bzw. ADIKU et al. 2004a und b). Wie in Abbildungen 10 und 11 dargestellt, sind die Algorithmen dafür geeignet, den CO₂-Austausch, die Biomasseakkumulation und die LAI-Entwicklung nachzubilden.

Im Vergleich zu den gemessenen Werten wird die Bruttoproduktion bei Nutzpflanzen in DANUBIA um ca. 25% unterschätzt. Dies führt dazu, dass die Biomasse- und LAI-Entwicklung vom Modell auch geringer als beobachtet ist. Eine endgültige Abstimmung des Gaswechsels mit dem Wachstum benötigt einen weiteren Vergleich mit Messdaten und eine genaue Analyse der Interaktionen zwischen dem *Biological*-Objekt und dem Modul Radiation-Balance im *Landsurface*-Objekt.

Der CO₂-Austausch im Jahresverlauf von einem Fichtenforst in Tharandt ist in Abbildung 12 dargestellt. Die maximale Bruttoproduktion liegt bei 12g C m⁻² day⁻¹ mit einer Streuung der täglichen Werte in Abhängigkeit der Wetterverhältnisse, die bei den simulierten Werten in Abbildung 6 auch zu sehen ist. Quantitativ betrachtet sind die Jahressummen von GPP (2000g C m⁻² für Koniferenwälder und 1500g C m⁻² für Laubwälder) um ca. 15% zu hoch (s. FALGE et al. 2003). Eine weitere Kalibration der Interaktion zwischen dem *Biological*-Objekt und dem Modul Radiation-Balance wird in der zweiten Phase von GLOWA-DANUBE noch notwendig sein.

Die Jahressummen der Transpiration und der Bruttoproduktion, die von DANUBIA in den Jahren 1995 und 1996 berechnet wurden, sind in Tabelle 1 eingetragen. Unter den Ergebnissen, die anhand der Inputdaten von den meteorologischen Stationen berechnet wurden; stehen zusätzlich in Klammern die Ergebnisse, die mit der Meteorologie des MM5-Modells simuliert wurden. Die mit den MM5-Daten berechneten niedrigeren Werte der Transpiration und Bruttosynthese sind im Allgemeinen durch niedrigere Kronendachtemperaturen zu erklären. Trotz niedrigerer GPP wurde mehr Wachstum im Grasland simuliert, was vermutlich auf eine verminderte Gesamatmung der Pflanzen zurückzuführen ist. Um die unterschiedlichen Temperatureinflüsse auf die Photosynthese, die Atmung und das Wachstum, besonders in verschiedenen Höhenlagen, zu analysieren und zu interpretieren, müssen in zukünftigen Modellläufen detailliertere Informationen von DANUBIA gespeichert werden. Wichtig sind nicht nur die täglichen Temperaturmittelwerte, sondern auch die Unterschiede zwischen den Temperaturmaxima und -minima, da während der Nacht und tagsüber unterschiedliche Ökosystemprozesse beeinflusst werden (s. auch nächsten Abschnitt).

Bedeutung der Integration in Danubia aus dem Blickwinkel des *Biological*-Objekts

Modellstruktur

Grundsätzlich ist die Modellstruktur des *Biological*-Objekts ausgelegt, um in einer koordinierten Abbildung der Prozesse auf der Landesoberfläche benutzt zu werden, die über den *Landsurface-Controller* von DANUBIA gesteuert werden. Das *Biological*-Objekt ist gemeinsam mit *RadiationBalance*, *Snow*, *Soil* und *Surface* in das *Landsurface*-Objekt integriert. Das Funktionieren von DANUBIA als Ganzes im Sinne von durchlaufenden Referenzläufen (1995/1996) kann als Ausdruck von gelungener Integration der einzelnen Objekte verstanden werden. Gerade aber auch für die Identifikation und Beseitigung von Schwierigkeiten z.B. bei der Parameterübergabe hat sich die integrative Einbeziehung der einzelnen Objekte als problemlösend erwiesen, wie beispielsweise das Zusammenspiel von *RadiationBalance* und *Biological* gezeigt hat.

Plausibilität der Modellergebnisse

Nach den Referenzläufen wurden die erzeugten Ergebnisse innerhalb der einzelnen Objekte auf Plausibilität geprüft und hinsichtlich der Parametrisierung der Modelle interpretiert. Die Prüfung der Plausibilität wurde im *Biological*-Objekt durch Vergleich mit selbst gemessenen oder publizierten Werten zu vergleichbaren Parametern und Nutzungstypen durchgeführt, was unmittelbar zu Objekt-übergreifenden Erkenntnissen führte, wie das folgende Beispiel illustrieren soll:

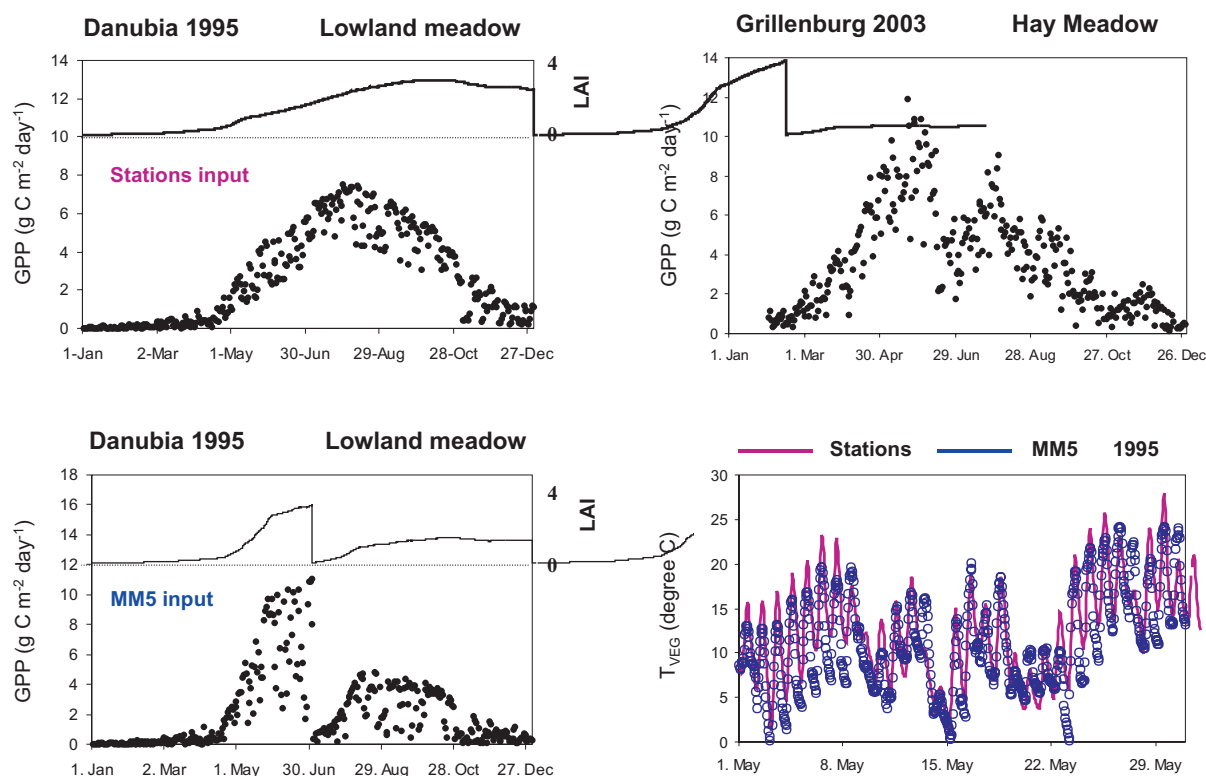


Abb. 13: Unterschiedliches GPP und Änderungen in LAI, die im *Biological*-Objekt in Abhängigkeit der Temperaturen von MM5 und *AtmoStations* berechnet wurden. Als Vergleich die GPP von Messungen mit der Eddy-Korrelations-Methode in Grillenburg. Die unterschiedlichen Temperaturen im Kronendach sind rechts unten illustriert (offene Kringel vom MM5, durchgezogene Linie vom *AtmoStations*).

Das *Biological*-Objekt gibt als einen Parameter die Zeitreihe für die LAI-Entwicklung aus. In Grünland, das als Wiese genutzt wird, ist derzeit ein LAI = 4 als Schwellenwert eingesetzt, bei dem geschnitten wird. D.h. der Schnittzeitpunkt im Jahr hängt davon ab, wann die Wiese unter den gegebenen klimatischen Bedingungen des jeweiligen (Modell-) Jahres diesen Schwellenwert erreicht. Die LAI-Entwicklung im Referenzlauf (1995/1996) wurde auf Basis des MM5 Klimas mit einem Schnitt ausgegeben, was durchaus plausibel für mäßig intensiv genutzte Schnittwiesen ist. Auf Basis von *AtmoStations* wurde dagegen ein

LAI von 4 über das gesamte Jahr nicht erreicht, d.h. die Wiese wurde nicht geschnitten, was erst mal unplausibel ist. Ein Vergleich der Temperaturen von MM5 und *AtmoStations* zeigte, dass MM5 insgesamt geringfügig niedrigere mittlere Tagestemperaturen aufweist und insbesondere die Nachttemperaturen unter denen von *AtmoStations* liegen. Höhere Temperaturen verringern aber den Biomassezuwachs über höhere Atmungsverluste. Die modellierte LAI-Zeitreihe hat also durch seine sensitive Reaktion auf geringe Temperaturunterschiede von MM5 und *AtmoStations* aufmerksam gemacht, was als integratives Ergebnis an Atmosphäre zurückgemeldet werden konnte.

Snow hat allerdings festgestellt, dass die Temperaturen von *AtmoStations* als plausibler und die von MM5 als tendenziell zu niedrig einzuschätzen sind, was insbesondere entlang von Höhengradienten offensichtlich wurde. Dies heißt für *Biological*, dass die Sensitivität des Modells bestätigt wurde, aber wie bereits erwartet die Parameterisierung verbessert werden muß, um unter dem realistischeren Klima von *AtmoStations* plausible LAI-Zeitreihen generieren zu können. Das Zusammenspiel von *Atmosphäre*, *Snow* und *Biological* hat nun ein integratives Ergebnis hervorgebracht, das in den einzelnen Objekten zu Prüfung und Veränderung führt und damit die Gesamt-Performance von DANUBIA verbessern hilft.

Parametrisierung von weiteren Landcover-types

Das *Biological*-Objekt wird in Phase II eine Parametrisierung für weitere Landschaftselemente (Ökosystemtypen) ausarbeiten. Als besonders kniffliges Beispiel, für dessen Lösung integrative Ansätze Voraussetzung sind, sollen die Feuchtgebiete kurz skizziert werden. Hinsichtlich der funktionalen Eigenschaften (EvapoTranspiration, Abfluß, Biomasseaufbau und Kohlenstoffbindung) sind im GLOWA-DANUBE Gebiet grundsätzlich verschiedene Typen von Feuchtgebieten zu unterscheiden (z.B. Regenmoore, Grundwassermoore, nicht-torfbildende flussbegleitende oder Stillwasser umschließende Feuchtgebiete, usw.). Diese sind nur zu geringem Teil noch in naturnahem Zustand, meist aber durch unterschiedliche Nutzungen überprägt worden (Dränage, Torfstich, Ackerbau, Grünland und Aufforstung). Für die Identifikation des jeweiligen Typus und seines Status sind neben der Interpretation der Landcover (Fernerkundung im Zentralprojekt) Zusatzinformationen über Soil und Topographie (Zentralprojekt) von Bedeutung.

Die tatsächlichen Parametereinstellungen des *Biological*-Objekts in der ersten Version von DANUBIA sind die bestmöglichen Schätzungen aus den in der Literatur und der internationalen Datenbank FLUXNET verfügbaren Daten sowie anderer Datensätze, die ähnliche Informationen enthalten. Die Ergebnisse von eigenen Untersuchungen, um diese Parameterschätzungen durch Freilandkampagnen und Modellanalysen im Rahmen von GLOWA-DANUBE zu verbessern, sind im Jahresbericht 2003 zusammengefasst. Es werden aber ständig neue Datensätze im Rahmen von Netzwerkprojekten produziert und analysiert. Z.B. wurden in den letzten Monaten in der Bayreuther Modellierungsgruppe über mindestens 50 Messjahre neue Ökosystem-Gasaustausch-Daten für verschiedene Landschaftselemente gesammelt. Die Daten werden im laufenden Projekt benutzt, um die Parametrisierung des *Biological*-Objekts auszubauen und zu verbessern. Die Forschungsarbeiten in der zweiten Phase von GLOWA-DANUBE werden dazu führen, dass eine Verfeinerung der Parametrisierung erreicht wird, z.B. um das Verhalten entlang von Klimagradienten in den Alpen zu reproduzieren, und dass die Reaktion von Pflanzenbeständen auf Stress auch in DANUBIA abgebildet werden können.

4. Literatur

ADIKU, S.G.K., REICHSTEIN, M., LOHILA, A., DINH, N.Q., AURELA, M., LAURILA, T., LUEERS, J. und TENHUNEN, J.D. (2004a): PIXGRO: A model for simulating the ecosystem CO₂ exchange and growth of spring Barley. *Ecological Modelling*, submitted.

- ADIKU, S.G.K., TENHUNEN, J., REICHSTEIN, M., BAHN, M., LOHILA, A., AURELA, M., WOHLFAHRT, G., DROESLER, M., DINH, N.Q., GEYER, R., TAPPEINER, U., LAURILA, T. und CERNUSCA, A. (2004b): Simulation of gas exchange, plant growth and developing leaf area in temperate European grasslands. *Global Change Biology*, submitted.
- BERNHOFER, C., AUBINET, M., CLEMENT, R., GRELE, A., GRÜNWARD, T., IBROM, A., JARVIS, P., REBMANN, C., SCHULZE, E.-D. und TENHUNEN, J.D. (2003): Spruce forests (Norway and Sitka spruce, including Douglas fir): Carbon and water fluxes and 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, pp. 99-123.
- FALGE, E., TENHUNEN, J.D., AUBINET, M., BERNHOFER, CH., CLEMENT, R., GRANIER, A., KOWALSKI, A., MOORS, E., PILEGAARD, K., RANNIK, U. und REBMANN, C. (2003): A model-based study of carbon fluxes at ten European forest sites. In: VALENTINI, R. (ed.): *Fluxes of Carbon, Water and Energy of European Forests*, *Ecol. Studies* Vol. 163, Springer Verlag, Heidelberg, pp. 151-177.
- FARQUHAR, G.D. und von CAEMMERER, S. (1982): Modeling photosynthetic response to environmental conditions. In: LANGE, O.L., NOBEL P.S., OSMOND C.B. und ZIEGLER, H. (eds.): *Encyclopedia of Plant Physiology, New Series*, Vol 12b; pp. 550-587. Springer Verlag, Berlin, Germany.
- 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, pp. 55-70.
- HARLEY, P.C. und TENHUNEN, J.D. (1992): Modeling the photosynthetic response of C₃ leaves to environmental factors. In: BOOTE, K.J. und LOOMIS, R.S. (eds.): *Modeling Crop Photosynthesis - from Biochemistry to Canopy*. ASA, Madison, Wisconsin, pp. 17-39.
- JONES, J.W. (1991): Crop growth, development and production modeling. Proc Symposium, Automated Agriculture for the Future. Am Soc Agric Eng, 1-17 December, Chicago, Illinois. pp 447-457.
- REICHSTEIN, M. (2001): Drought Effects on Carbon and Water Exchange in Three Mediterranean Ecosystems. *Bayreuther Forum Ökologie* 89, 150 S.
- REICHSTEIN, M., TENHUNEN, J.D., ROUPSARD, O., OURCIVAL, J.-M., RAMBAL, S., MIGLIETTA, F., PERESSOTTI, A., PECCHIARI, M., TIRONE, G. und VALENTINI, R. (2002): Severe drought effects on ecosystem CO₂ and H₂O fluxes at three Mediterranean evergreen sites: revision of current hypotheses. *Global Change Biol* 8: pp. 999-1017.

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

Teilprojekt:	Glaziologie
Leiter:	Prof. Dr. Michael Kuhn, Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck
Ausführende Stelle:	Institut f. Met. und Geoph. der Univ. Innsbruck und Kommission für Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, München
Berichtersteller:	M. Weber, M. Kuhn, H. Escher-Vetter

1. Organisation

1.1 Kurzbeschreibung des Teilprojektes

Die temporäre Speicherung des Niederschlages in Form von Schnee- und Eisbedeckung ist einer der wesentlichen Prozesse, welche den Wasserhaushalt innerhalb des DANUBIA-Modellgebietes bis Passau beeinflussen. Ein wesentlicher Anteil des Einzugsgebietes der Donau liegt in den alpinen Hochgebirgsregionen, in denen das Abflussregime durch einen nival-glazialen Charakter geprägt ist. Die maßgeblichen Prozesse der Abflussgenese überdecken dort sowohl räumlich als auch zeitlich eine große Skalenbreite. Im 1-km-Raster von DANUBIA handelt es sich um überwiegend subskalige Prozesse, welche in geeigneter Weise parametrisiert werden müssen.

Das Teilprojekt Glaziologie liefert anhand von sektoralen subskaligen Untersuchungen die speziellen Modellansätze für die flächendeckende Behandlung des Auf- und Abbau der Schneedecke und der Gletscher im Einzugsgebiet auf der Basis der von den weiteren GLOWA-Arbeitsgruppen auf dem DANUBE-Raster bereitgestellten Daten zu Meteorologie und Landnutzung. Die Validierung erfolgt über Beobachtungsdaten sowie durch Anwendung geeigneter konzeptioneller und integraler Modellansätze auf größere Teilbereiche.

1.2 Personal

1.2.1 Wissenschaftler

Von 1.1.2001 bis 30.6.2003: Dr. Heidi Escher Vetter BATIIa

Ab 1.7.2003 bis 30.11.2003, 1.1.2004 bis 29.2.2004: Dipl. Met. Markus Weber BATIIa

1.2.2 Wissenschaftliche Hilfskräfte

keine

1.3 Anschaffungen

keine

1.4 Veranstaltungen

1.4.1 Interne Projekttreffen

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

2001

- 10.11.2001 München, Kick-off-Treffen (Escher-Vetter, L.Braun)
- 19.01.2001 München, Geogr. Inst., Glowa-Gesamttreffen (Escher-Vetter)
- 12.03.-16.03.2001 Fraueninsel Chiemsee, Glowa-Gesamttreffen (Escher-Vetter)
- 02.07.2001 Bayreuth, Landsurface-Treffen (Escher-Vetter)
- 06.07.2001 München, Met. U. Geogr. Inst. (L.Braun, Escher-Vetter, Kuhn)
- 31.07.2001 München, Arbeitsgr. Informatik (Escher-Vetter)
- 28.08.2001 München, Geogr. Inst., Landsurface-Treffen (Escher-Vetter)
- 13.09.2001 München, Arbeitsgr. Informatik(Escher-Vetter)
- 18.10.2001 München, Geogr. Inst. (Escher-Vetter)
- 26.10.-28.10.2001 Kleinwalsertal, Söllerhaus, Glowa-Gesamttreffen (Escher-Vetter, Kuhn)
- 14.11-2001 München, Java-Workshop, Inst. f. Informatik (Escher-Vetter)
- 21.11.2001 München, Geogr.Inst. (Escher-Vetter)

2002

- 21.01.2002 München, Geogr. Inst. (Escher-Vetter)
- 01.02.2002 München, Geogr. Inst. (Escher-Vetter)
- 04.03.2002 München, Glowa-Gesamttreffen (Escher-Vetter)
- 14.03.-15.03.2002 München, Glowa-Gesamttreffen (Escher-Vetter)
- 06.05.-08.05.2002 München, BAdW, Glowa-Statusseminar (Escher-Vetter, Kuhn)
- 04.7. - 05.07.2002 München, Geogr. Inst., Glowa-Gesamttreffen (Escher-Vetter)
- 01.08.-02.08.2002 München, Geogr. Inst., Glowa-Gesamttreffen (Escher-Vetter, Kuhn)
- 28.08.-30.08.2002 Freiburg, Glowa-Gesamttreffen (Escher-Vetter, Kuhn)
- 19.09.-20.09.2002 Stuttgart, Glowa-Gesamttreffen (Escher-Vetter, Kuhn)
- 03.12.2002 München, Geogr. Inst., Landsurface-Treffen (Escher-Vetter)
- 11.12.2002 Stuttgart, Glowa-Skalierungsworkshop(Escher-Vetter)

2003

- 23.02.-27.02.2003 Maria-Waldrast, Glowa-Gesamttreffen (L.Braun, Escher-Vetter, Kuhn)
- 17.07.-18.07.2003 München, Validierungstreffen I (Kuhn, Weber)
- 16.09.-17.09.2003 München, Validierungstreffen II (Kuhn, Weber, Escher-Vetter, L. Braun)

1.4.2 Konferenzen

- *DACH 2001 Deutsch-Österreichisch-Schweizerische Meteorologen-Tagung*, 18.-21. September 2001, Wien (H.EV nur Teilnahme, kein Vortrag, aber Besprechungen wegen Datengrundlagen für Glowa)
- *IAMAS 2001: 8th Scientific Assembly of IAMAS*, 10-18 July 2001, Innsbruck, Austria
Vortrag: Escher-Vetter and Weber: Modelling the runoff for a nival-glacial regime by combining conceptual and energy balance approaches
- *EGS Nizza 2001*: Escher-Vetter Koautor bei Ludwig et al., Network-based modeling of mesoscale catchments – the hydrology perspective of GLOWA-DANUBE
- *Glacio-EuroLab Obergurgl*, 25.-27. August 2002: Exkursion zum Vernagtferner, inkl. Vorstellen der sektoralen und integrativen Glowa-Danube Arbeiten
- *Bay. Akad. d. Wissenschaften*, 18.-19. Oktober 2002: Jahr der Berge – Präsentation von GLOWA-Danube Postern
- *ICAM International Conference on Alpine Meteorology*, Brig, Schweiz, 19-23 Mai 2003: Vortrag H.Escher-Vetter, Veröffentlichung: H. Escher-Vetter, S. Niemeyer: The GLOWA-Danube approach to modelling snow and ice in the alpine part of the Danube catchment
- *IUGG 2003*, Sapporo, Japan, June 30-July 11 2003. Workshop JWH01: Snow Processes: Representation in Atmospheric and Hydrological Models. H. Escher-Vetter, M. Kuhn, W. Mauser, S. Niemeyer: The representation of snow in the upper Danube catchment area – a modelling approach. Vortrag, kein Paper.

1.5 Veröffentlichungen

- 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, 133S.
- ELLENRIEDER, T., BRAUN, L. and WEBER, M. (2004): Reconstruction of mass balance and runoff of Vernagtferner from 1895 to 1915. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 38(2) im Druck.
- ESCHER-VETTER, H. and WEBER, M. (2001): Modelling the runoff for a nival-glacial regime by combining conceptual and energy balance approaches. *Vortrag auf der 8th Scientific Assembly of the International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences (IAMAS)*, 10-18 Juli, Innsbruck. (Abstract).
- KUHN, M. (2003): Redistribution of snow and glacier mass balance from a hydrological model. *Journal of Hydrology*, 282, pp. 95-103.
- 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, 56Jg, S. 10-16.
- LUDWIG, R., MAUSER, W., NIEMEYER, S., COLGAN, A., STOLZ, R., ESCHER-VETTER, H., KUHN, M., REICHSTEIN, M., TENHUNEN, J., KRAUS, A., LUDWIG, M., BARTH, M., HENNIKER, R. (2003): Web-based modelling of energy, water and matter fluxes to support decision making in mesoscale catchments – the integrative perspective of GLOWA-Danube. *Physics and Chemistry of the Earth* 28(2003), p. 621-634.
- 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.

WÜRLÄNDER, und KUHN, M. (2000): Zur Erstellung und Anwendung der Produkte des neuen österreichischen Gletscherkatasters. *Salzburger Geographische Arbeiten*, 36: S. 57-67.

2. Ergebnisse

2.1 Formulierte Ziele der ersten Förderphase

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

Sektorale Arbeiten

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

2.1.1 Daten

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

- der von der Kommission für Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften im Vorfeld des Vernagtferners in den Ötztaler Alpen auf 2640m kontinuierlich betriebenen Klima- und Abflussmessstation Vernagtbach,
- 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,
- der Messungen an den vom dem Meteorologischen Institut der Universität München betriebenen Stationen Garching bei München und am MIM im Stadtzentrum von München.

Das Datenmaterial eignet sich sowohl für Prozessstudien, als auch zur lokalen Validierung der Modellergebnisse der *Snow*-Komponente bei Simulationen des Gesamtsystems, da es 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.

2.1.2 Modellentwicklung

Das *Snow*-Modul gründet auf dem für den Einsatz in vergletscherten Einzugsgebieten entwickelten auf der Berechnung der Oberflächenenergiebilanz basierten Schmelzwasserproduktionsmodell *PEV-SD* (ESCHER-VETTER 1980, 2000). Abbildung 1 zeigt das Flussdiagramm des ursprünglich rein für den Einsatz an Gletschern entwickelten Programms.

Neben den räumlich verteilten Eingabegrößen zur Topographie benötigt es an mindestens einer repräsentativen Station die unter ‚Punktmessung‘ aufgeführten Größen, die dort in Verbindung mit den Geländedaten regionalisiert werden.

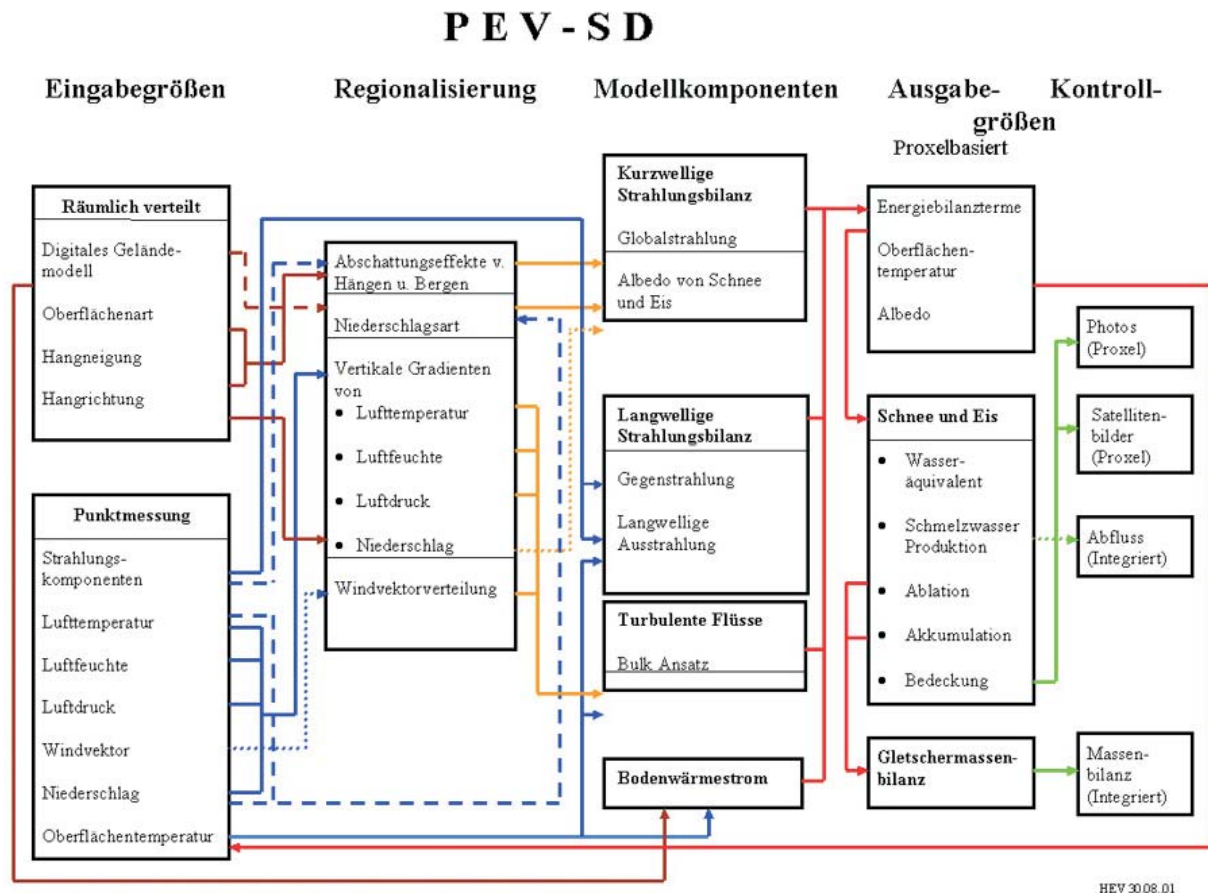


Abb. 1: Flussdiagramm des PEV-SD Modells.

Im DANUBIA-System werden diese Daten auf Proxelbasis von *AtmosStations* bzw. *AtmoMM5* und von *RadiationBalance* bereitgestellt. Die eigentliche Modellphysik ist in der dritten Spalte schlagwortartig angesprochen, hier werden für die Modellierung der Prozesse auf unvergletscherten Oberflächen alle Komponenten - mit Ausnahme der Strahlungsbilanz - mit verschiedenen Parametrisierungen für die verschiedenen Oberflächenarten behandelt. Ebenso sind die in Spalte 4 und 5 wiedergegebenen Ausgabe- bzw. Kontrollgrößen auf die veränderte Situation anzupassen, so können die Gletschermassenbilanzen nur mehr integral, d.h. pro Proxel, als Kontrollgrößen verwendet werden, dagegen gewinnt die Schneebedeckung und ihre Verifizierung durch Luftaufnahmen oder Satellitenbilder größere Bedeutung. Das Modell wird initialisiert mit der Verteilung des Wasseräquivalentes der Schneedecke im Einzugsgebiet. Für die Nutzung durch die Gruppe Tourismus wird das Wasseräquivalent der Schneedecke mit einfachen Annahmen zur Dichteverteilung in Schneehöhenangaben umgerechnet. Alle Ergebnisse werden im Stundenschritt aktualisiert, wie es für DANUBIA vereinbart wurde und im PEV-SD Modell von vornherein angelegt war.

Dieses Programm wurde verwendet, um für das Einzugsgebiet des Pegels Venter Ache (165km², 1890-3768m ü. NN, 38% Vergletscherung) im inneren Ötztal über einen zusammenhängenden Zeitraum von knapp drei Jahren die für GLOWA relevanten Variablen auf einem Geländemodell mit 100m Maschenweite zu modellieren (ESCHER-VETTER und WEBER 2001).

Da das *Snow*-Modul innerhalb des DANUBIA-Systems sich auf die Kernkompetenz Aufbau und Abbau der Schneedecke beschränkt, enthält es auch nur die dafür erforderlichen Komponenten der Modellphysik. Eingebettet in das *Landsurface*-Teilobjekt wird es nur aktiv, falls es entweder auf einem Proxel schneit oder dort bereits Schnee liegt.

Abbildung 2 zeigt eine schematische Darstellung des Ablaufs im Kern des eigentlichen Schneemodells in der Version von DANUBIA am Ende der Projektphase, der bei einer Iteration auf jedem Proxel im gesamten Einzugsgebiet abgearbeitet wird. Anhand der dort gültigen Werte der Temperatur und Feuchte wird zunächst die Phase eines eventuell fallenden Niederschlags beurteilt. Da der vertikale Temperaturverlauf in der Atmosphäre über dem Proxel unbekannt ist, muss der Aggregatzustand des Niederschlags über Erfahrungswerte ermittelt werden. Die beträchtliche Vertikalerstreckung im Modellgebiet von mehr als 3000m erfordert hierbei eine diffizilere Betrachtungsweise als in den durch das PEV-SD-Modell behandelten hochgelegenen Kopfeinzugsgebieten. Nach Untersuchungen von ROHRER (1992) treten Schneeniederschläge bis zu einer Lufttemperatur von 4°C in 2m Höhe auf, falls die an der Oberfläche der Schneeflocke freiwerdende Verdunstungskälte die Schmelzprozesse deutlich einschränkt. Ein guter Indikator dafür ist die Feuchttemperatur, die 2.0°C nicht überschreiten sollte. Ein weiteres Kriterium ist die Niederschlagsintensität. Bei hohen Temperaturen treten Schneefallereignisse in der Regel nur bei kleinen Intensitäten auf.

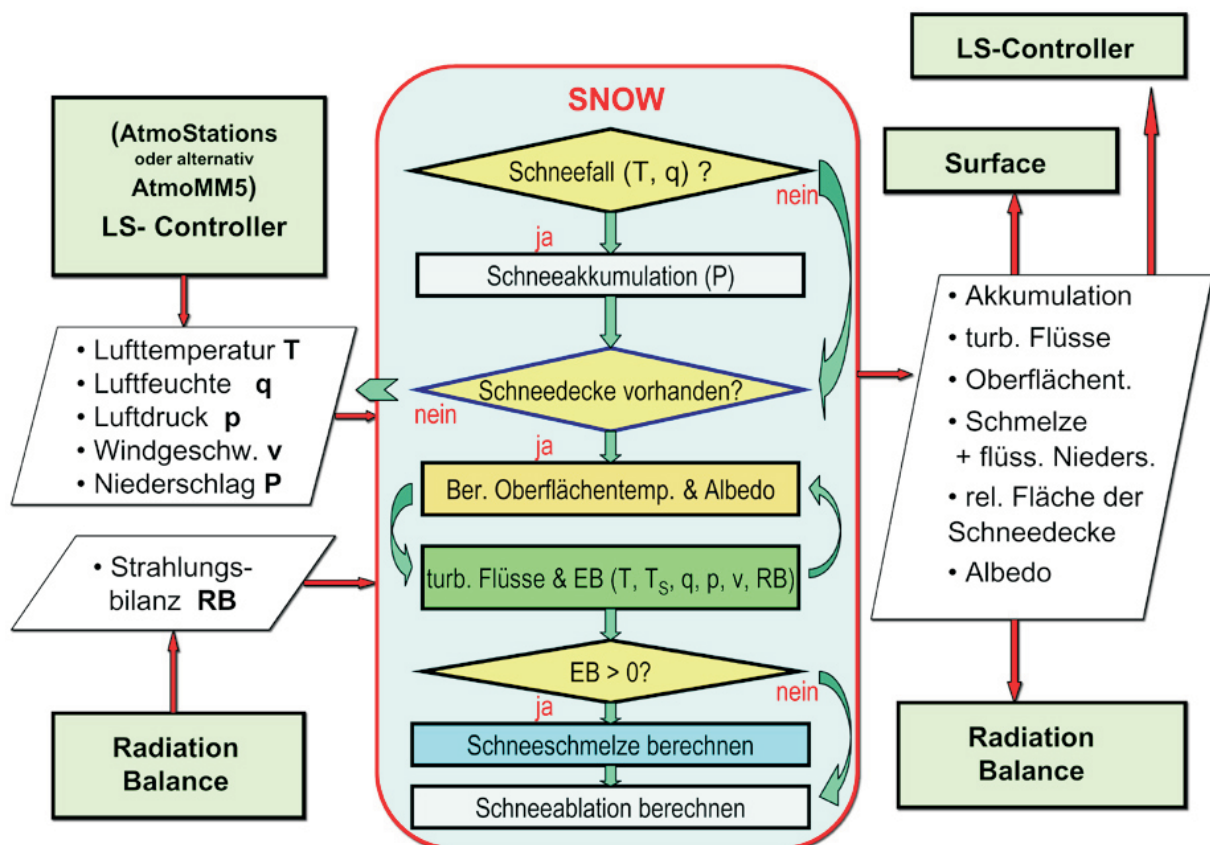


Abb. 2: Grobstruktur der *Snow*-Komponente in der Version DANUBIA 92.7.2.

Fällt der Niederschlag nach den Kriterien als Schnee, wird er in Form einer Schneedecke akkumuliert. Im nächsten Schritt wird geprüft, ob eine Schneedecke vorhanden ist. Falls nicht, gibt das Modul seine Zuständigkeit weiter an das nachgeordnete *Landsurface*-Objekt ab, welches seinerseits die Prozesse des Energie- und Stoffaustausches auf dem Proxel in Abhängigkeit von der jeweiligen Landnutzung berechnet.

Ist dagegen eine Schneeoberfläche vorhanden, behält das *Snow*-Objekt die Kontrolle bei und berechnet in Abhängigkeit der übergebenen meteorologischen Zustandsgrößen die Ablations-

vorgänge an der Schneedecke. Diese werden durch die Energiebilanz an der Oberfläche bestimmt, die sich als Summe der Nettostrahlungsbilanz, der turbulenten Flüsse der sensiblen und latenten Wärme aus der Atmosphäre und dem Wärmefluss in und aus der Schneedecke ergibt. Die Nettostrahlungsbilanz wird primär durch die Albedo an der Schneeoberfläche bestimmt. Diese ist mit einem empirischen Wert von 0.85 am höchsten über einer Neuschneedecke. Schneeschmelze und Staubdeposition reduziert mit der Zeit das Reflexionsvermögen, so dass die Albedo zu jedem Zeitschritt in Abhängigkeit der Niederschlags- bzw. Schmelzverhältnisse neu berechnet werden muss, und ihrerseits Einfluss auf den künftigen kurzweiligen Anteil der Nettostrahlungsbilanz nimmt.

Eine weitere die Energiebilanz bestimmende Größe ist die Oberflächentemperatur der Schneedecke. Sie ist zunächst nicht bekannt, muss daher zunächst anhand der weiteren meteorologischen Größen abgeleitet werden. Liegt die Lufttemperatur über dem Gefrierpunkt und verbucht die Oberfläche zusätzlich innerhalb der betrachteten Stunde Gewinne aus der Nettostrahlungsbilanz, dann herrschen eindeutige Schmelzbedingungen vor, unter denen die Oberflächentemperatur konstant den Wert 0°C annimmt. Kritischer sind dagegen die Zeiträume mit Lufttemperaturen unter dem Gefrierpunkt und/oder deutliche Verluste durch Verdunstung bzw. Sublimation oder die langwellige Strahlungsbilanz in der Nacht. In diesem Fall wird davon ausgegangen, dass keine Schmelze stattfindet, die Summe der Terme der Energiebilanz somit den Wert 0 annehmen muss. Die Oberflächentemperatur wird sich demnach so einstellen, dass diese Bedingung erfüllt ist. Anhand der verwendeten Parametrisierungen für die Berechnung der turbulenten Wärmeströme wird die dann die Oberflächentemperatur durch iterative Berechnung der Energiebilanz bestimmt, bis letztere geschlossen ist. Einen weiteren Sonderfall stellt die Situation mit Schneefall bei negativen Temperaturen dar. Unter diesen Bedingungen ist die Atmosphäre in der Regel neutral geschichtet, d.h. es treten keine Temperaturdifferenzen in der untersten Schicht auf.

In der Regel herrscht über einer Schnee- bzw. Eisoberfläche eine stabile Schichtung, in der die Berechnung der turbulenten Wärmeströme nach Profilmethoden schwierig ist. Da zudem keine detaillierte Information über den vertikalen Verlauf der Temperatur in der bodennahen Grenzschicht vorliegt, bietet sich zur Parametrisierung des turbulenten Wärmeübergangs ein einfacher sogenannter Bulk-Ansatz vom Typ

$$H = K \cdot f(u) \cdot (T - T_0)$$

mit einer empirischen Konstanten K , einer Funktion der Windgeschwindigkeit u und der Differenz der Lufttemperatur in 2m Höhe und der Oberflächentemperatur der Schneedecke T_0 an, welcher zudem den Vorteil einer hohen numerischen Stabilität besitzt. Über eine analoge Beziehung wird aus der Differenz des Dampfdruckes in 2m Höhe und dem Sättigungsdampfdruck an der Oberfläche der latente Wärmestrom berechnet.

In der ursprünglichen Version des PEV-SD-Modells wird für K eine universelle Konstante verwendet, welche anhand unterschiedlicher Messdaten über Schneeflächen an unterschiedlichen Orten bestimmt wurde. Anhand einer im Rahmen der sektoralen Arbeiten des Projektes Glaziologie durchgeführten Untersuchung auf der Basis von am Vernagtferner im Sommer 1998 und 2000 durchgeführten direkten Flussmessungen nach der Eddykorrelationsmethode konnte deren Wert dort mit zufriedenstellender Genauigkeit bestätigt werden (s. auch Abschnitt 2.1.4). K hängt von jedoch von weiteren individuellen Faktoren ab, welche die Turbulenzstruktur bestimmen. Einen primären Einfluss haben dabei die Oberflächenrauigkeit und die Meereshöhe, aber auch die Morphologie des Geländes trägt dazu bei. Diese wird durch die mit einer Rasterweite von 1km nur grob aufgelöst, so dass auf dieser Skala der Einfluss noch nicht direkt berücksichtigt werden kann.

Die große Heterogenität innerhalb des Modellgebietes von GLOWA-DANUBE erfordert bei der Parametrisierung des Wärmeübergangs eine Differenzierung bezüglich unterschiedlicher Landnutzungsklassen (Abb. 3). Um dieser Rechnung zu tragen, wird K in der *Snow*-Komponente variabel gehalten. Der konkrete Wert muss jedoch empirisch ermittelt werden. Soweit er anhand experimenteller Daten in der ersten Phase evaluiert werden konnte, wie

beispielsweise über Gletschern, weitgehend homogenen Schneeflächen und Freiflächen, wird er im Modell direkt verwendet. Für andere Bereiche, insbesondere Siedlungsareale und Flächen mit hohem Vegetationsbestand kann er nur nach gegenwärtigem Wissenstand abgeschätzt werden. Als vordringliche Aufgabe in der zweiten Phase ist daher eine weitere Konkretisierung anhand inzwischen gewonnener Messdaten geboten.

In analoger Weise wie die fühlbare Wärme wird auch der latente Wärmestrom parametrisiert, allerdings mit der Differenz der Dampfdrücke statt der Temperaturen. Diese Vorgehensweise ist über Schnee- und Eisflächen durchaus berechtigt, wie die jüngsten sektoralen Untersuchungsergebnisse zeigen. Der Transport von Enthalpie und Wasserdampf unterliegt über der relativ homogenen Quell- bzw. Senkenfläche der Schneedecke nachweislich dem identischen Mechanismus, ableitbar aus der Übereinstimmung der Turbulenzstrukturen (WEBER 2004). Über komplexeren Oberflächen mit aktivem Vegetationsbestand gilt dies dagegen nicht in gleichem Maße.

Die unterschiedliche Landnutzung hat nicht nur Einfluss auf die Ablation, sondern auch auf die Akkumulation der Schneedecke. Allerdings unterscheiden sich hier die Prozesse nicht in gleichem Maße wie beispielsweise bei der Strahlungsbilanz. Deshalb genügt zunächst eine grobe Einteilung in 5 Gruppen, wie sie in Abbildung 3 wiedergegeben sind. Bei Schneebedeckung im Winter haben brachliegende Felder die gleichen Eigenschaften wie eine Wiese, und auch Laubwald unterscheidet sich nicht wesentlich davon, da die Bäume während dieser Zeit keine Blätter tragen. Deshalb können alle diese Bereiche zu Freilandzonen zusammengefasst werden. In der Akkumulationsphase steigt die Albedo dort zunächst allmählich in Abhängigkeit von der Intensität des Niederschlags an, bis das gesamte Proxel eine einheitliche Schneedeckung und damit Albedo von maximal 0.85 aufweist. Über Freiland altert die Schneedecke weitgehend natürlich, Staubdeposition spielt dabei eine untergeordnete Rolle. Über einer Gletscherfläche ist dies ähnlich. Allerdings erreicht dort die Albedo bei Schneefall schon nach kürzester Zeit den Maximalwert. Die Gletscher erscheinen schon kurz nach dessen Einsatz völlig weiß. Liegt einmal eine Schneedecke, so reduziert sich deren kurzweiligen Reflexionseigenschaften wegen der Höhenlage und der relativ sauberen Luft im Hochgebirge in der Regel langsamer als im Freiland.

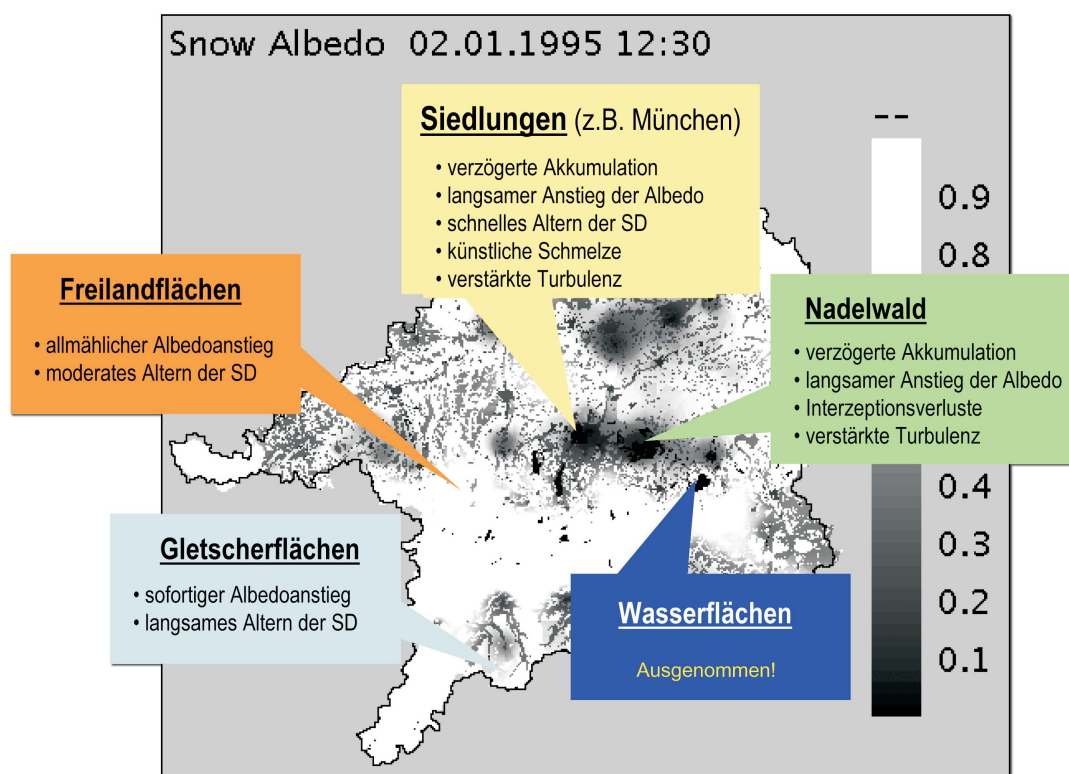


Abb. 3: Angepasste Behandlung der Prozesse auf unterschiedlichen Landnutzungsflächen in der Snow-Komponente der Version DANUBIA 92.7.2.

Immergrüner Nadelwald zeigt dagegen an der Oberfläche andere Eigenschaften sowohl in der Akkumulations- als auch in der Ablationsphase (DUROT 1999), und deswegen als eigene Klasse behandelt werden. Kennzeichnend ist eine zunächst langsamer als im Freiland ablaufende Akkumulationsphase und damit verbunden ein deutlich langsamerer Anstieg der Albedo. Weiterhin charakteristisch sind Interzeptionsverluste an den Ästen der Bäume und ein verstärkter turbulenter Wärmeübergang.

Noch komplexer verhält sich ein städtisches Siedlungsgebiet. Auf den künstlichen meist wärmeren Oberflächen der dichten Bebauung bleibt der Schnee nicht sofort liegen. Ein Teil schmilzt auf Grund der kontinuierlichen anthropogenen Wärmezufuhr sofort wieder. Durch Schneeräumen werden große Areale nach kurzer Zeit wieder von der Schneedecke befreit. Der hohe Ruß- und Staubgehalt der Luft reduziert die Albedo sehr viel schneller als im Freiland. Verkehr und Salzung der Verkehrswege führt zu künstlicher Schmelze. Nicht zuletzt ist durch verstärkte Turbulenz wegen der hohen Oberflächenrauigkeit der turbulente Austausch gegenüber dem Umland verstärkt. Durch alle Faktoren zusammen zeigen sich die städtischen Gebiete in der Regel bereits kurz nach einem Schneefall wieder weitgehend schneefrei.

Die aufgeführten Prozesse werden in Snow bei der Berechnung der Akkumulation und der Energiebilanz der Schneeoberfläche auf empirischer Basis berücksichtigt. Im letzten Schritt wird die Ablation der Schneedecke auf Grund der aus der Energiebilanz bestimmten für Schmelze bzw. Sublimation verfügbaren Energiemenge berechnet. Bei der Ablation und Akkumulation der Schneedecke hat der latente Wärmefluss nicht nur eine energetische Bedeutung, sondern trägt durch Phasenumwandlung und den anschließenden Massentransport direkt zur Änderung des Schneedeckenspeichers bei, welcher in der *Snow*-Komponente entsprechend Rechnung getragen wird.

Die Resultate der Berechnungen werden über definierte Schnittstellen dem DANUBE-Gesamtsystem übergeben (Abb. 2) und dort von den anderen Modulen weiterverarbeitet. Im Detail sind dies die akkumulierte Schneedecke in Form des Wasseräquivalentes, die turbulenten Flüsse zwischen Schneedecke und Atmosphäre, die Oberflächentemperatur des Schnees, die gebildete Schmelzwassermenge, eventuell ergänzt um den innerhalb der Stunde auf die Schneedecke gefallenen Niederschlag in flüssiger Form, weiterhin die aktuelle Albedo der Schneedecke, sowie der relative Anteil der Schneebedeckung an der Gesamtfläche des Proxels.

Zusätzlich zur eigenständigen Komponente *Snow* wurde noch eine entsprechende Methode zur Berechnung der Eisablation auf Gletschern in die übergeordnete *Landsurface*-Komponente integriert.

2.1.3 Modellierung der Wasserhaushaltsgrößen und Sensitivitätstests mittels unterschiedlicher Modelle zur Evaluierung und Validierung

Als Grundlage für die Validierung der Ergebnisse der Berechnungen mit dem DANUBIA-System sowie für als ergänzende Sensitivitätsstudien bezüglich der Reaktion des Einzugsgebietes auf Klimaänderungen wurden weitere Modellierungen der Wasserhaushaltsgrößen in ausgewählten Teileinzugsgebieten mit dem physikalischen PEV-SD-Modell mit einer Auflösung von 100m Maschenweite, sowie mit den konzeptionellen Modellen OEZ (Österreichische Einzugsgebiete) des Instituts für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck (KUHN 2003) und HBV3-ETH9 der Kommission für Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften durchgeführt.

Ein für das Einzugsgebiet der Rofenache im Hinteren Ötztal durchgeführter Vergleich zeigt eine gute Übereinstimmung zwischen den Modelergebnissen während der Ablationsphase Juni bis September. Anhand von Beobachtungen und Szenarienrechnungen wird gezeigt, dass die spezifische Massenbilanz der österreichischen Gletscher lokal unterschiedlich mit einer Empfindlichkeit -500 bis -1300mm pro Jahr pro Grad Erwärmung reagieren, wobei

Gletscher in niederschlagsreichen Gebieten stärker ansprechen (KUHNS und ESCHERVETTER 2004).

Da das HBV-ETH9-Modell neben den Abflüssen explizit die Höhenverteilung der spezifischen Massenbilanzen der im Einzugsgebiet enthaltenen Gletscher anhand von lediglich Tageswerten der Temperatur und des Niederschlags berechnet, konnte es erstmals zur Rekonstruktion des Verlaufs der jährlichen Massenbilanz für historische Zeiträume eingesetzt werden (ELLENRIEDER 2002). Die erforderlichen Temperatur- und Niederschlagsreihen wurden aus Daten der Klimastationen Vent und Marienberg extrapoliert. Die Kalibrierung des auf einer Index-Methode beruhenden Modells erfolgte über die nach der geodätischen Methode über einen längeren Zeitraum anhand der Karte des Vernagtferners von 1889 und weiteren Kartierungen 1912 und 1938 bestimmte Massenbilanz (ELLENRIEDER et al. 2004). Es konnte anhand der Rekonstruktion gezeigt werden, dass der um 1900 beobachtete spektakuläre Vorstoß des Vernagtferners nicht mit einer wesentlichen Änderung der klimatischen Bedingungen zusammenfiel, sondern primär auf eisdynamische Vorgänge zurückführbar ist. Inzwischen konnten mit dieser Methode unter Einbezug weiterer Daten von der Zugspitze noch weitere Zeiträume bis zum Beginn der direkten Messungen 1964 rekonstruiert werden.

2.1.4 Detailuntersuchung zur Parametrisierung der turbulenten Wärmeströme und zur Regionalisierung

Zur Evaluierung, Validierung und Verbesserung der in der DANUBIA-Komponente *Snow* verwendeten Parametrisierung der turbulenten Flüsse (Abschnitt 2.1.2) wurde eine detaillierte Untersuchung anhand von qualitativ hochwertigen Datensätzen vom August 1998 und August 2000 über dem Vernagtferner in den Ötztaler Alpen durchgeführt. Dieser umfasst neben zeitlich hochaufgelösten Messung des vertikalen Verlaufes der Temperatur, der Feuchte und der Windgeschwindigkeit bis in 9m Höhe über dem Eis auch einen kontinuierlichen Datensatz der Temperatur-, Wasserdampf- und Windfluktuation in drei Komponenten mit einer Abtastrate von 21Hz. Anhand letzterem wurden mit einer relativ hohen Genauigkeit die turbulenten Flüsse mittels der Eddykorrelationsmethode bestimmt. Spektrale Analysen der Zeitreihen lieferten zusätzliche Informationen zur turbulenten Struktur einer stabilen Grenzschicht.

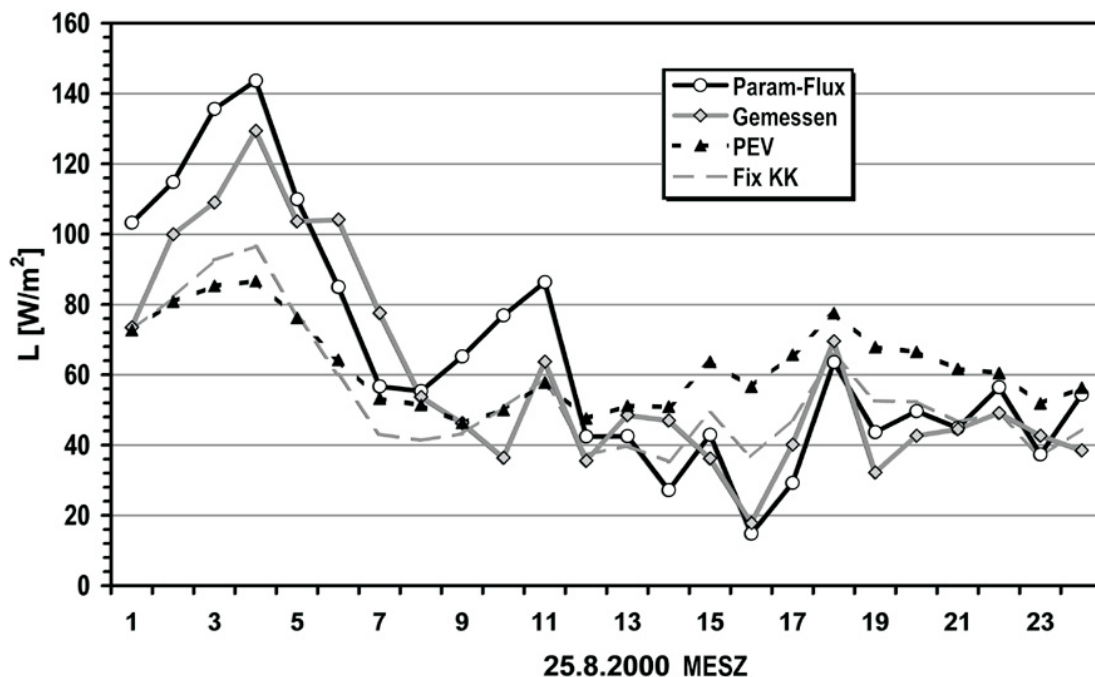


Abb. 4: Vergleich des nach unterschiedlichen Methoden anhand von Stundenmittelwerten der Temperatur, der Oberflächentemperatur und der Windgeschwindigkeit in 2m Höhe berechneten fühlbaren Wärmestroms mit dem nach der Eddykorrelationsmethode ermittelten Fluss über dem Vernagtferner.

Die Untersuchung erlaubte einerseits die Überprüfung bestehender Ansätze, andererseits auch die Entwicklung neuer Parametrisierungsschemata. Abbildung 4 zeigt ein Beispiel für den fühlbaren Wärmestrom aus Messungen vom 25.8.2000 über dem Vernagtferner anhand des Vergleichs des nach der Methode PEV-SD berechneten Flusses (PEV) mit zwei ähnlich strukturierten Berechnungsmethoden unterschiedlicher Komplexität auf der Basis der Fluss-Varianz-Beziehung (Param-Flux, Fix-KK) und der direkten Messung (WEBER 2004). Es zeigt sich, dass der in DANUBIA verwendete Ansatz durchaus den Erwartungen und Erfordernissen genügt, aber noch verbessert werden kann. Nach weiteren Validierungsschritten soll das verbesserte Verfahren innerhalb der zweiten Projektphase in das *Snow*-Objekt integriert werden.

In gleicher Weise konnte die Parametrisierung des latenten Wärmestroms untersucht werden. Auch hierbei zeigt sich zwar die generelle Tauglichkeit des Ansatzes, aber es deuten sich auch Möglichkeiten zur Optimierung an, die jedoch noch die weitere Analyse experimenteller Daten erfordern.

Untersucht wurde ferner die Problematik der Extrapolation der Messdaten in die Fläche, denn von der Qualität des verwendeten Regionalisierungsverfahrens ist die Güte der Modellierung in hohem Maße abhängig. Das Resultat ergab, dass beispielweise der Unterschied zwischen einer Temperaturmessung lokal vor Ort, welche als Grundlage für die Flussberechnung dient, und einer nahegelegenen Klimastation in der Regel meist die vollständige Information der Energiebilanz enthält. Folglich bestimmt das Regionalisierungsschema bereits weitestgehend das Resultat der Modellierung. Statistische Methoden der Interpolation, wie sie in DANUBIA angewandt werden, kommen dem Ideal schon relativ nahe, jedoch ist der Fehler von der Stationsdichte abhängig. Da diese im Hochgebirge mit zunehmender Seehöhe abnimmt, wird die Modellierung dort zunehmend ungenauer. Zukünftig ist daher dieser Fragestellung die verstärkte Aufmerksamkeit zu widmen.

2.2 Integrative Arbeiten

Im Mittelpunkt der Integrativen Arbeiten des Teilprojektes Glaziologie standen in der ersten Förderphase die Entwicklung der Komponenten *Surface* und *Snow* des *Landsurface*-Teilobjekts bis zur Reife für die Durchführung der Validierungsläufe. Sie gründeten auf der Addells in das DANUBIA-Gesamtsystem. Dazu mussten Teile des ursprünglich in der Programmiersprache PASCAL kodierten PEV-Programms in die innerhalb des GLOWA-aption des PEV-SD-Modells, intensiven Tests und der Integration des Schneemo Danube-Projektes verwendete plattformübergreifende Sprache JAVA portiert werden. Wegen der völlig andersartigen Organisation des für die Behandlung kleinere hochalpiner Einzugsgebiete mit hoher räumlicher Auflösung konzipierte PEV-Modells gegenüber dem großflächig im 1km-Raster angelegten gekoppelten DANUBE-System und der damit verbundenen Vorgehensweise konnte nur ein geringer Teil des Programmcodes direkt verwendet werden. Andererseits mussten wesentliche ursprünglich im Modell integrierte Teilaufgaben wie beispielsweise die Berechnung der Strahlungsbilanz und Regionalisierungsverfahren in den Kompetenzbereich anderer Arbeitsgruppen verlagert werden, was zusätzliche Flexibilität erforderte. Dies zusammen mit den unbedingt notwendigen Erweiterungen zur Anwendung des Algorithmus auf das GLOWA-Gesamteinzugsgebiet erforderte eine völlige Neustrukturierung der Software, die ausschließlich auf der JAVA-Plattform erfolgte.

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

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

2.2.1 Gletscherkataster Österreich

Im Einzugsbereich der alpinen Nebenflüsse der Donau (Lech, Isar, Inn mit Salzach) liegt ein Großteil der österreichischen Gletscher. Sie spielen für den Wasserhaushalt des Gebiets eine so wichtige Rolle, dass sie im DANUBIA Modell als Landnutzungsklasse ausgewiesen werden und daher allen Gruppen zur Verfügung gestellt werden müssen. Die grundlegenden Daten werden vom neuen österreichischen Gletscherkataster geliefert, das zur Zeit im Entstehen ist: alle österreichischen Gletscher wurden in den Jahren 199-2002 mit Luftbildern erfasst, die derzeit photogrammetrisch ausgewertet werden. Die für Glowa 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. Gegenwärtig sind die Auswertungen der Gletschergebiete der Ötztaler und Stubai Alpen, der Venediger- und der Granatspitzgruppe verfügbar, die der Zillertaler Alpen, der Silvretta und kleinerer Gebiet im Westen von Tirol werden bearbeitet.

Mit dem Abschluss der Glowa-relevanten Auswertungen kann mit Ende des Jahres 2004 gerechnet werden, die photogrammetrische Auswertung und Erstellung von Höhenmodellen der Ötztaler, Stubai und Zillertaler Alpen wurde 2003 abgeschlossen.

2.2.2 Schnittstellenentwicklung

Das *Snow*-Modell ist organisatorisch in das *Landsurface*-Teilprojekt eingebettet, das sämtliche Prozesse an der Landoberfläche behandelt und deren Berechnung verwaltet. Die Vernetzung und der Datenaustausch mit den anderen Teilmodulen (Atmosphäre, Rivernetzwerk, Groundwater und Actors) erfolgt über wohl definierte Import- und Exportschnittstellen. Auch für das *Snow*-Objekt wurden eine Anzahl dieser Schnittstellen für die Abwicklung des Informations- und Datenaustausch definiert und implementiert, die mit der übergeordneten Instanz, dem *LandsurfaceController* kommunizieren. Für jedes Modul, von dem das Schneemodell Daten empfängt oder ausgibt, wurde eine entsprechende Schnittstelle (Interface) für den Import (Datenübernahme) und den Export (Datenausgabe) eingerichtet. Zusätzlich wurde noch ein spezielles Exportinterface zur Ausgabe der Ergebnisse in die Datenbank entsprechend der Absprache bei dem Treffen in Maria Waldrast implementiert.

Die Entwicklung der Schnittstellen ist eine wesentliche Voraussetzung für den reibungslosen Ablauf des DANUBIA-Gesamtsystems. Da sowohl das Schneemodell als auch die anderen Komponenten unter Umständen äußerst sensibel auf fehlerhafte Eingabedaten reagiert, musste ein entsprechender Prüfalgorithmus nach einem Datenimport oder vor einem Datenexport vorgeschaltet werden, der nicht korrekt belegte Werte oder solche außerhalb der Toleranzgrenzen vor deren weiteren Verwendung abfängt und durch plausible Vorgaben ersetzt. Selbstverständlich wird eine derartige Manipulation protokolliert. Sie ist jedoch unentbehrlich, da ansonsten im ungünstigsten Fall der Programmablauf unterbrochen wird.

Im lokalen Testmodus übernehmen diese Schnittstellen ebenfalls die Aufgabe, das Modell mit Eingabedaten zu versorgen, bzw. die Resultate in Empfang zu nehmen. Sie müssen durch einen speziell dafür entwickelten Generator bedient werden, der anhand von vorgegebenen statischen Datendateien dynamische Testdaten erzeugt. Auf diese Weise kann nicht nur der Modellalgorithmus, sondern auch das Ein- und Ausgabeverfahren vor der Implementierung in das Gesamtsystem getestet werden.

2.2.3 Testläufe

Im Rahmen der Testumgebung und auch des DANUBIA-Gesamtsystems wurden zunächst bis zum Jahreswechsel 2004 unzählige Testläufe des *Snow*-Moduls durchgeführt, deren Ergebnisse anhand von Vergleichsdaten überprüft wurden. Diese Analyse erfolgte auf ausgewählten Proxeln in unterschiedlichen Bereichen des Einzugsgebietes, für die ausführliche Zeitreihen und auch Zwischenergebnisse in speziellen Ausgabe(-Log)-Dateien abgespeichert werden konnten. Auf diese Weise konnten sowohl die Eingabedaten als auch die damit durchgeführten Berechnungen überprüft und gegebenenfalls notwendige Anpassungen im Modellcode und bei den Modellparametern vorgenommen werden. Anhand dieser Testläufe wurde das *Snow*-Objekt bis Ende 2003 zur Referenzlaufreife geführt.

Als Grundlage für die Erstellung von individuellen Testdatensätzen für die anderen Arbeitsgruppen wurden für spezielle Zeitpunkte während der Testläufe exklusiv ermittelte Ergebnisse wie Schneeralbedo, Wasseräquivalent der Schneedecke und Oberflächentemperatur für alle Proxel des Einzugsgebietes in einem speziellen Format in separate ASCII-Dateien abgelegt.

Als dringend erforderlich hat sich erwiesen, dass der gesamte Status des Programms zu bestimmten Zeitpunkten gesichert wird, damit das System bei einem nicht unmittelbar mit dem Objekt selbst in Zusammenhang stehenden Fehlerabbruch nicht wieder zum Anfangszeitpunkt gestartet werden muss, sondern der Programmablauf zum Zeitpunkt der letzten Sicherung fortgesetzt werden kann. Dazu musste der Programmcode bestimmte Voraussetzungen erfüllen, die von der Gruppe Informatik spezifiziert wurden. Ob diese auch noch nach einer Änderung in der Programmierung erfüllt waren, konnte anhand der lokalen Testläufe in der sogenannten Testumgebung überprüft werden.

2.3 Realisierung in DANUBIA (UML)

In dem Gesamtsystem von DANUBIA wurde das Schneemodell als eigenständige Komponente als Erweiterung des *Landsurface*-Objekts integriert. Über eine Reihe von Schnittstellen ist es nach außen mit den restlichen Systemkomponenten verbunden. Deren Definition erfolgt über ein sogenanntes UML-(Unified Modeling Language)-Modell, das die Möglichkeit eröffnet, einen komplexen Systementwurf standardisiert zu formulieren. Komponenten, Methoden und Schnittstellen, sowie deren Interaktion sind in dem nachfolgenden Diagrammschema in der universellen UML-Darstellung von *Snow* wiedergegeben.

2.3.1 Schnittstellen

Die *Abbildung 5* zeigt die Struktur des Objektes *Snow* in der UML-Notation mit allen wesentlichen Methoden und Schnittstellen der zum Ende der ersten Projektphase gültigen Version von DANUBIA 0.92.7.2. Für die prinzipielle Erläuterung dieser Darstellungsweise sei auf die Ausführungen der Arbeitsgruppe Informatik verwiesen. Wie bereits im Abschnitt 2.2.2 angedeutet, übernimmt und übergibt das Modul Daten von und an andere Teilobjekte über spezielle Schnittstellen, die in dem UML-Diagramm gesondert ausgewiesen sind.

Die Kommunikation mit dem externen Teilobjekt *Atmosphere* erfolgt über die Schnittstelle zum *LandsurfaceController* (grün). Von dort übernimmt *Snow* die zu einem bestimmten Zeitpunkt auf einem bestimmten Proxel gültigen meteorologischen Daten zur Berechnung der Schneebedeckung auf einem Proxel. Über die weitere Schnittstelle *RadiationBalanceToSnow* (orange) erfolgt die Übernahme der aktuellen Nettostrahlungsbilanzwerte, die im ebenfalls innerhalb von *Landsurface* eingebetteten *RadiationBalance*-Objekt berechnet werden.

Als Resultate werden die turbulenten Flüsse und die relative Schneebedeckung über eine Exportschnittstelle wieder an den *LandsurfaceController* übergeben. Weitere gesonderte Exportinterfaces bedienen das Objekt *RadiationBalance*, welches zur weiteren Berechnung die in *Snow* ermittelte aktuelle Albedo und Temperatur der Schneedecke benötigt, ferner das Objekt *Surface*, das Schneebedeckung, Schmelzwassermenge und die Stickstoffdeposition weiterverarbeitet, sowie das Objekt *Soil*, welches den in der Regel vernachlässigbaren Wärmefluss aus der Schneedecke in den Boden übermittelt bekommt.

Außerdem wird eine besondere Schnittstelle *SnowResult* zur allgemeinen Datenbank eingerichtet, in der als Ergebnis die Mächtigkeit der Schneedecke in Form des Wasseräquivalents und die während einer Stunde auf einem Proxel produzierte Schmelzwassermenge abgelegt wird.

2.3.2 Implementierung des *Snow* – Objektes

Die *Snow*-Komponente wurde als eigenständiges Unterpaket in die *Landsurface*-Komponente integriert. Wie das UML-Diagramm Abbildung 5 veranschaulicht, besteht es primär aus dem Hauptobjekt *Snow*, welches die Kommunikation mit den übergeordneten und externen Instanzen verwaltet und *SnowProxel*, das die individuellen Berechnungen auf einem Proxel anhand der zugeordneten Eigenschaften (Daten) durchführt.

Die Ergebnisse werden einerseits über die bereits weiter oben beschriebenen Schnittstellen ausgegeben, andererseits werden nach jedem Zeitschritt für das Gesamtgebiet graphische Iso-Darstellungen ausgewählter Parameter erstellt, die abgespeichert werden. Diese können zu Filmen kombiniert werden, die im Zeitraffer dynamische Entwicklungen wie den Zuwachs der Schneedecke oder das Auftreten von Schmelzepisoden verdeutlichen.

2.4 Tests und Validierung

2.4.1 Validierung der Eingangsdaten

Die Realitätsnähe der Modellierung der Schneebedeckung hängt nicht allein von der Eignung der verwendeten Algorithmen innerhalb des Modells, sondern auch von der Repräsentativität der Eingangsdaten ab. Diese sind entweder das Produkt einer Inter- bzw. Extrapolation aus punktuell gewonnenen Messdaten oder selbst Modellergebnisse. Die in dem DANUBIA-System verwendeten Daten haben nur teilweise lokalen Charakter, sie geben vielmehr den Zustand auf einer synthetischen Fläche, dem Proxel wieder. Insbesondere im Hochgebirge, das durch extreme Gradienten charakterisiert wird, gibt dieses die Wirklichkeit nur näherungsweise wieder. Abbildung 6 demonstriert diesen Sachverhalt anhand einer Darstellung der Zugschneefurche auf einem Gitter unterschiedlicher Maschenweite in eindrucklicher Weise.

Aus diesem Grunde können die Modellresultate nur dann anhand von unabhängig gewonnenen Messdaten validiert werden, falls auch das Modellgelände entsprechend gut die Wirklichkeit repräsentiert. In der Regel ist dies bei der gewählten Maschenweite von einem Kilometer nur außerhalb des Hochgebirges der Fall.

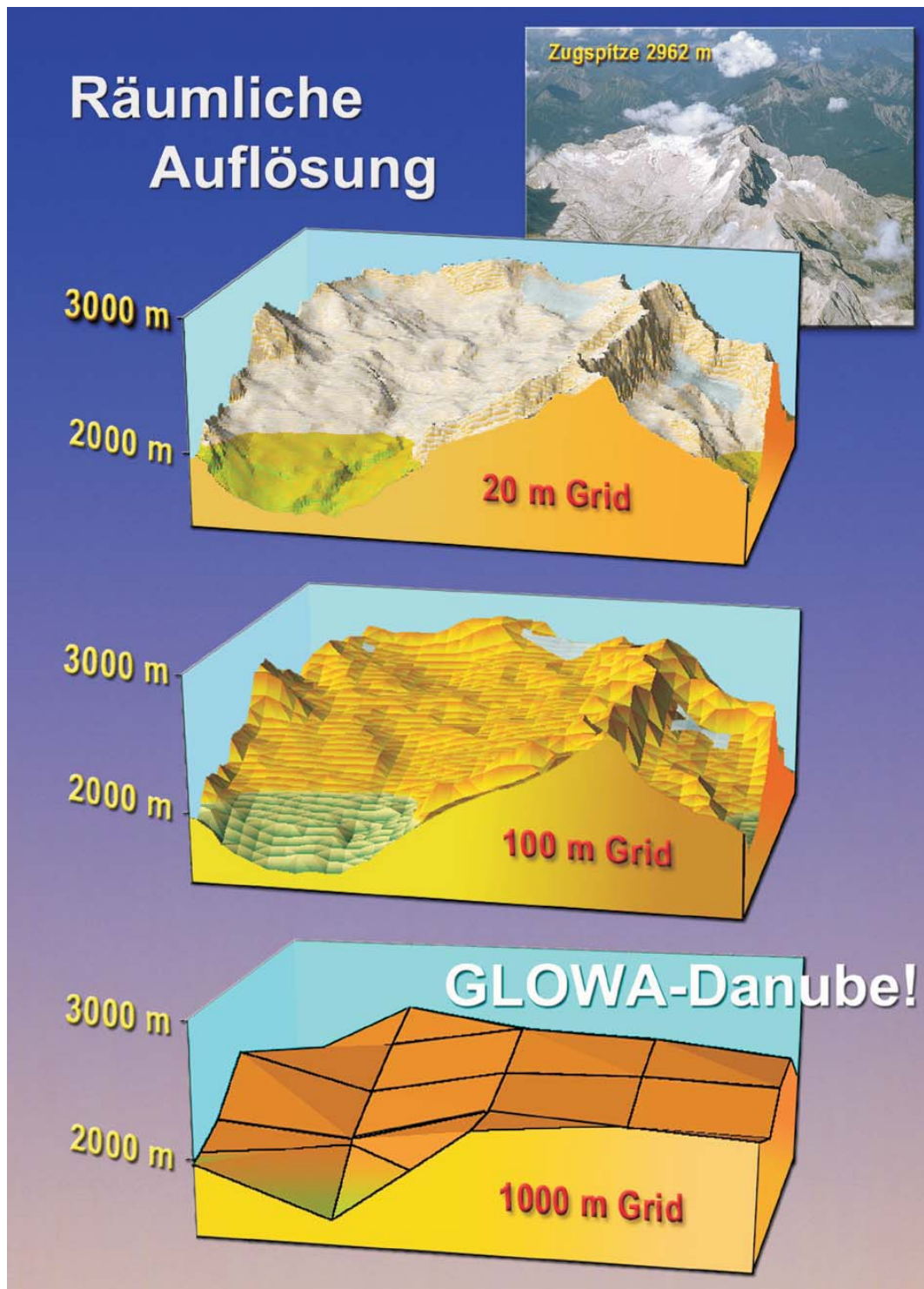
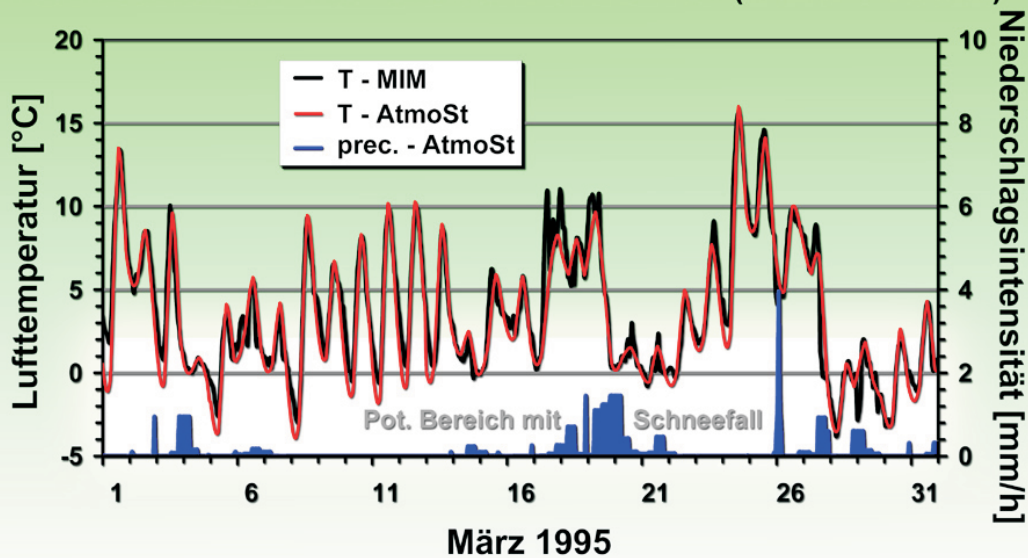


Abb. 6: Visuelle Demonstration des Einflusses der Maschenweite des Rechengitters auf die Wiedergabetreue des Geländes am Beispiel eines Ausschnittes der Zugspitze.

Entsprechend sind die Konsequenzen für die Qualität der Modellierung. Das Objekt Atmo-Stationen in DANUBIA liefert auf die Proxel disaggregierte Messdaten mit der Prämisse, dass die punktuellen Messungen reproduziert werden. Mit Hilfe von unabhängig gemessenen Datensätzen kann die Reproduktionstreue an anderen Punkten validiert werden. Abbildung 7 zeigt das Problem am Beispiel der für die Schneemodellierung essentiellen Parameter der Temperatur. Im Flachland entspricht ein Proxel weitgehend dem Gelände. Außerdem ist die räumliche Dichte der der Interpolation zugrunde liegenden Punktmessungen hoch. Deshalb gibt die extrapolierte Messreihe (rot) die unabhängig an einer Klimastation des meteorologischen Instituts der Universität München gemessene Temperaturreihe sehr gut wieder. Entsprechend kann auch die Phase des Niederschlags bestimmt werden.

Vergleich der Stundenmittel der Lufttemperatur (2m)

Met. Inst. Munich mit Danubia Proxel 94134 (München Stadt)



Vergleich der Stundenmittel der Lufttemperatur (2m)

KfG Pegelstation 2640 m mit Danubia Proxel 155755 (Ötztal)

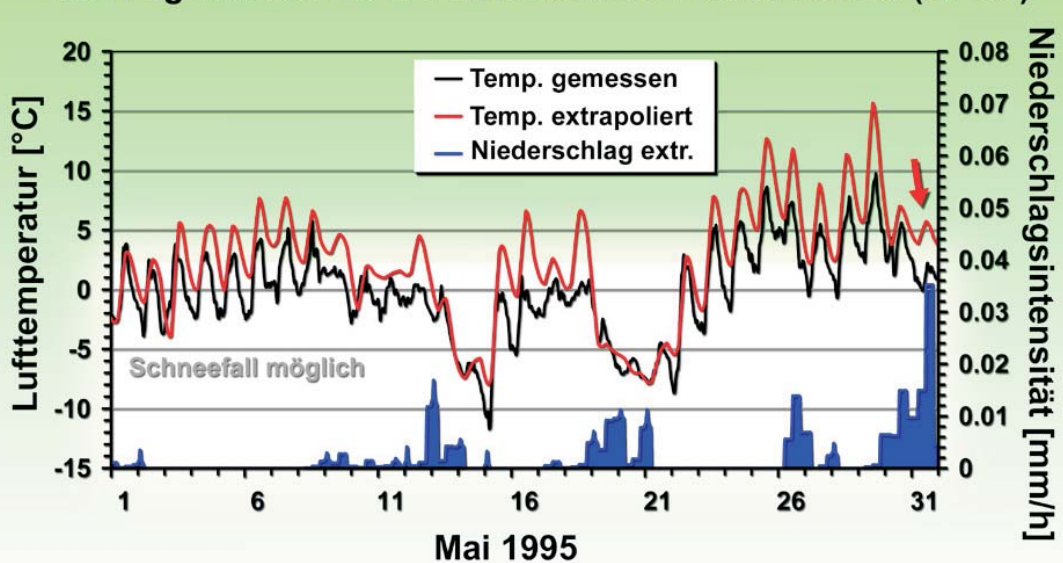


Abb. 7: Vergleich der durch Extrapolation gewonnenen Stundenmittel der Temperatur mit Messdaten (oben: Im Flachland bei hoher Stationsdichte, unten: im Hochgebirge mit wenig Stationen).

Bei dem Beispiel aus dem Hochgebirge im Hinteren Ötztal stimmt zwar die mittlere Höhenlage und die der Messstation Vernagtbach überein, es gibt jedoch keine weitere Klimastation in unmittelbarer Nähe und die besonderen Verhältnisse durch das Gelände können ebenfalls nicht berücksichtigt werden. Deshalb weichen extrapolierte und gemessene Temperaturen zeitweise mehr oder weniger deutlich ab, auch wenn der generelle Gang immer noch sehr gut wiedergegeben ist. Die Folge ist zwangsläufig eine zeitweise fehlerhafte Analyse der Niederschlagsphase, wie das Beispiel zeigt. Aber auch die Berechnung der turbulenten Flüsse ist ungenauer als im Flachland. In der Regel kommt es zu einer Überschätzung der Flüsse, die aber in Relation zur Strahlungsbilanz und Fehlern der Parametrisierungsansätze von untergeordneter Bedeutung ist. Die Terme der Strahlungsbilanz werden trotz der Probleme durch den Einfluss der Bewölkung durch das Modell gut wiedergegeben (Abb. 8).

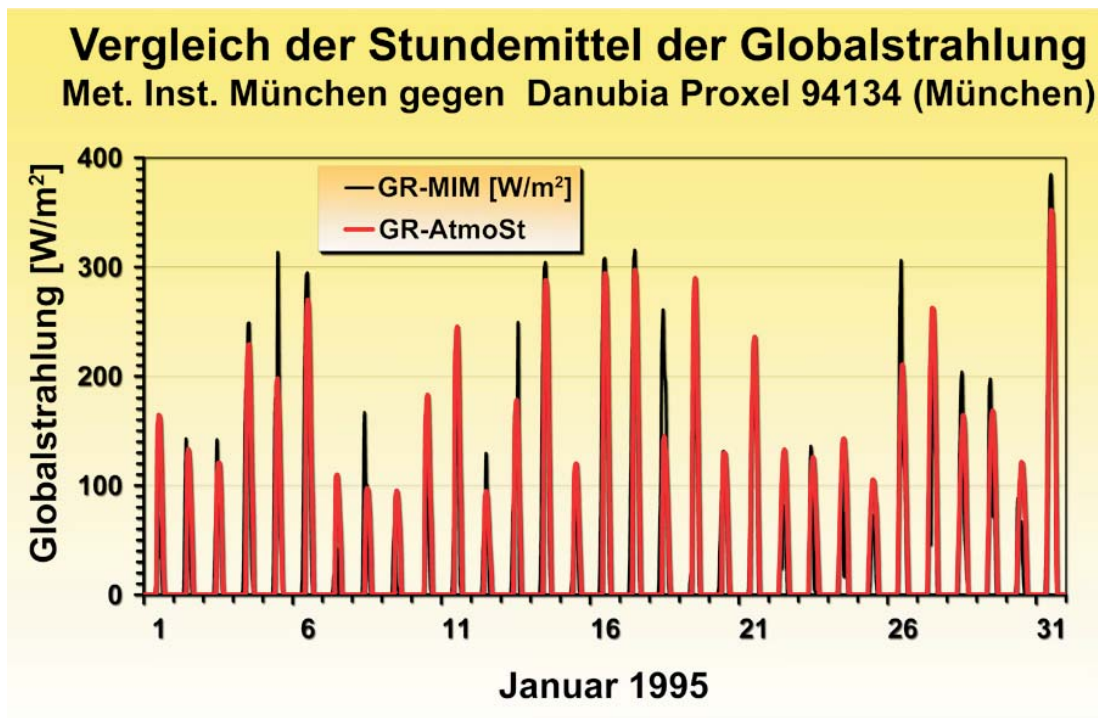


Abb. 8: Vergleich der der disaggregierten Globalstrahlung mit an einer unabhängigen Klimastationen gemessenen Daten im Zentrum von München.

2.4.2 Validierungsläufe

Anhand einer Reihe von sogenannten Validierungsläufen wurde die Tauglichkeit des Modells für die Modellierung der Schneedecke überprüft. Als Eingangsdaten dienten dabei die auf die Proxel verteilten Stationsdaten. Die Überprüfung der berechneten Schneehöhe anhand „echter“ Messdaten ist praktisch unmöglich, da die notwendige Information nicht in der entsprechenden Genauigkeit und zeitlichen Auflösung verfügbar ist. Hier liefert das Modell detailliertere Resultate als jede Messung im Einzugsgebiet, die wesentlich durch die Verhältnisse in der Mikro- und Mesoskala beeinflusst ist und daher nur an wenigen Orten für ein Areal von einem Quadratkilometer als repräsentativ betrachtet werden können. Im Jahre 2001 wurden derartige kontinuierliche Messungen im Bereich des Vernagtfeners aufgenommen, diese liegen jedoch erst ab dem Jahr 2002 vor.

Aus kontinuierlichen kurzweiligen Albedomessungen ist jedoch zumindest mit einiger Sicherheit die Aussage ableitbar, ob an einem Punkt eine Schneedecke vorhanden war oder nicht. Allerdings beschränkt sich diese Möglichkeit auf wenige Stunden im Laufe eines Tages, in denen die Globalstrahlung eine für die signifikante Bestimmung des Verhältnisses zur Reflexstrahlung genügend große Werte annimmt. In den Nachtstunden gibt es daher keine Information.

Die Abbildung 9 zeigt für den Dezember 1995 die den stündlichen Verlauf der vom Modell *Snow* auf der Basis der Eingabedaten von *AtmoStation* berechneten Modellgrößen auf einem Proxel im Zentrum von München. Im Einzelnen sind dies die Oberflächentemperatur und das Wasseräquivalent der Schneedecke (blaue Fläche), die turbulenten Flüsse, die aus der Energiebilanz berechneten stündlichen Schmelzraten, die Albedo und die relative Schneebedeckung. Anhand der Strahlungsmessungen an der vom Meteorologischen Institut der Universität München betriebenen Energiebilanzstation in Garching bei München werden durch schwarz umrandete Rechtecke der Zeitraum markiert, in dem an der Messstelle mit großer Sicherheit eine Schneedecke vorhanden war. Berücksichtigt man die Tatsache, dass sich die Station nur in derselben Region, nicht jedoch über der identischen Oberfläche, sondern im freieren Gelände befindet, so wird der zeitliche Verlauf des Auf- bzw. Abbaus der Schneedecke durchaus realistisch wiedergegeben.

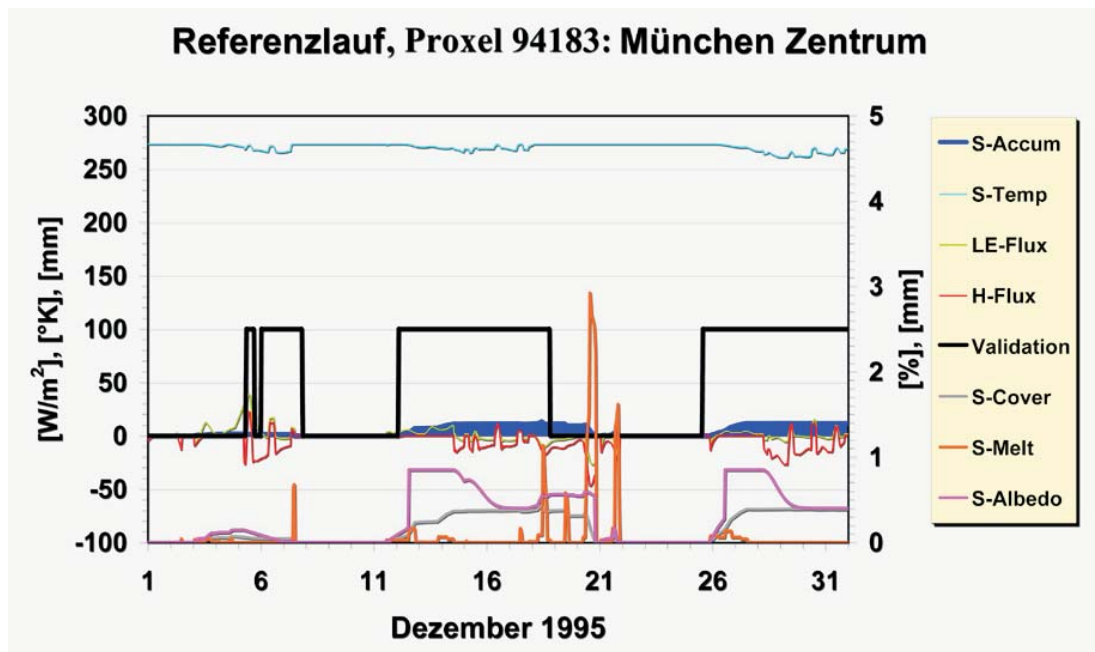


Abb. 9: Zeitlicher Verlauf der durch das Schneemodell berechneten Größen auf einem Proxel im Zentrum von München. Die akkumulierte Schneedecke wird durch die blaue Fläche dargestellt. Schwarz markiert sind die Zeiträume, in denen nach den Albedomessungen des MIM auf einer Wiese bei Garching mit hoher Sicherheit eine Schneebedeckung vorhanden war.

2.4.3 Referenzläufe

Als Grundlage für die Modellierung mit fiktiven Szenarien wurden am Ende der ersten Projektphase in sogenannten Referenzläufen alle Prozesse im DANUBIA-Einzugsgebiet über einen Zeitraum von jeweils zwei vollständigen Jahren mit dem Gesamtsystem modelliert. Als Treiberdaten dienten im ersten Lauf wiederum die mittels *AtmoStations* anhand von Messungen an Klimastationen mit statistischen Methoden auf die Proxel verteilten Werte. Die Ergebnisse dieses Laufs gelten als Referenz für die zukünftigen Modellrechnungen.

In einem zweiten Referenzlauf wurden mit dem unveränderten Modell die Rechnungen für den gleichen Zeitraum über die Jahre 1995 und 1996 wiederholt, jedoch wurden diesmal die Eingangsdaten durch das regionale Klimamodell MM5 bereitgestellt. Dieses berechnet im Stundentakt auf der Basis von mehrmals täglich aktualisierten Randbedingungen und entsprechenden Parametrisierungen der Prozesse die meteorologischen Parameter auf einem 45-km-Raster. Diese werden anschließend auf das 1-km-Raster von DANUBIA verfeinert. Im Gegensatz dazu basieren die Daten von *AtmoStations* auf Messdaten, die nur zu festen Terminen im Abstand von ca. 7 Stunden vorliegen. Dementsprechend dürfen von dem MM5-Datensatz eine ausgeprägtere Dynamik und mehr Kontinuität zu erwartet werden.

Prinzipiell sollten beide Datensätze das identische „Klima“ beschreiben, also die gleichen mittleren Kenngrößen aufweisen. Für den zeitlichen Ablauf der „Witterungselemente“ können sich jedoch sowohl zeitlich wie räumlich erhebliche Unterschiede ergeben. Die Qualität der Inter- bzw. Extrapolation der Stationsdaten wurde bereits im Abschnitt 2.4.1 beschrieben. Die Validierung der mit diesen Daten erhaltenen Ergebnisse zeigt eine durchaus realistische Abbildung der Prozesse des Schneedeckenauf- und -abbaus im Untersuchungsgebiet.

Eine möglichst gute Übereinstimmung der Prozessdarstellung unabhängig von der Treiberdatenquelle ist eine wesentliche Voraussetzung für die in der zweiten Phase vorgesehene Szenariorechnung, denn nur das Klimamodell kann durch die Manipulation der Randbedingungen verursachte Veränderung der Klimaparameter liefern.

Das Schneemodell reagiert jedoch wegen der darin enthaltenen Schwellenwerte für Phasenübergänge besonders sensitiv auf die meteorologischen Eingangsgrößen. Bereits kleine Abweichungen haben große Wirkung. Eine geringfügig niedrigere Lufttemperatur lässt bereits deutlich mehr Niederschlag in Form von Schnee fallen, wodurch sich eine mächtigere Schneedecke aufbaut, deren Abbau mit deutlicher Verzögerung erfolgt. Aber auch eine geringfügige Veränderung der räumlichen Verteilung des Vorkommens und der Intensität des Niederschlags zieht beachtliche Folgen für die Verteilung der Schneedecke nach sich. In ähnlicher Weise beeinflussen insbesondere Unterschiede in der Temperatur-, Wind und Feuchteverteilung den Abbau der Schneedecke und damit die auf den Proxeeln produzierten Schmelzwassermengen.

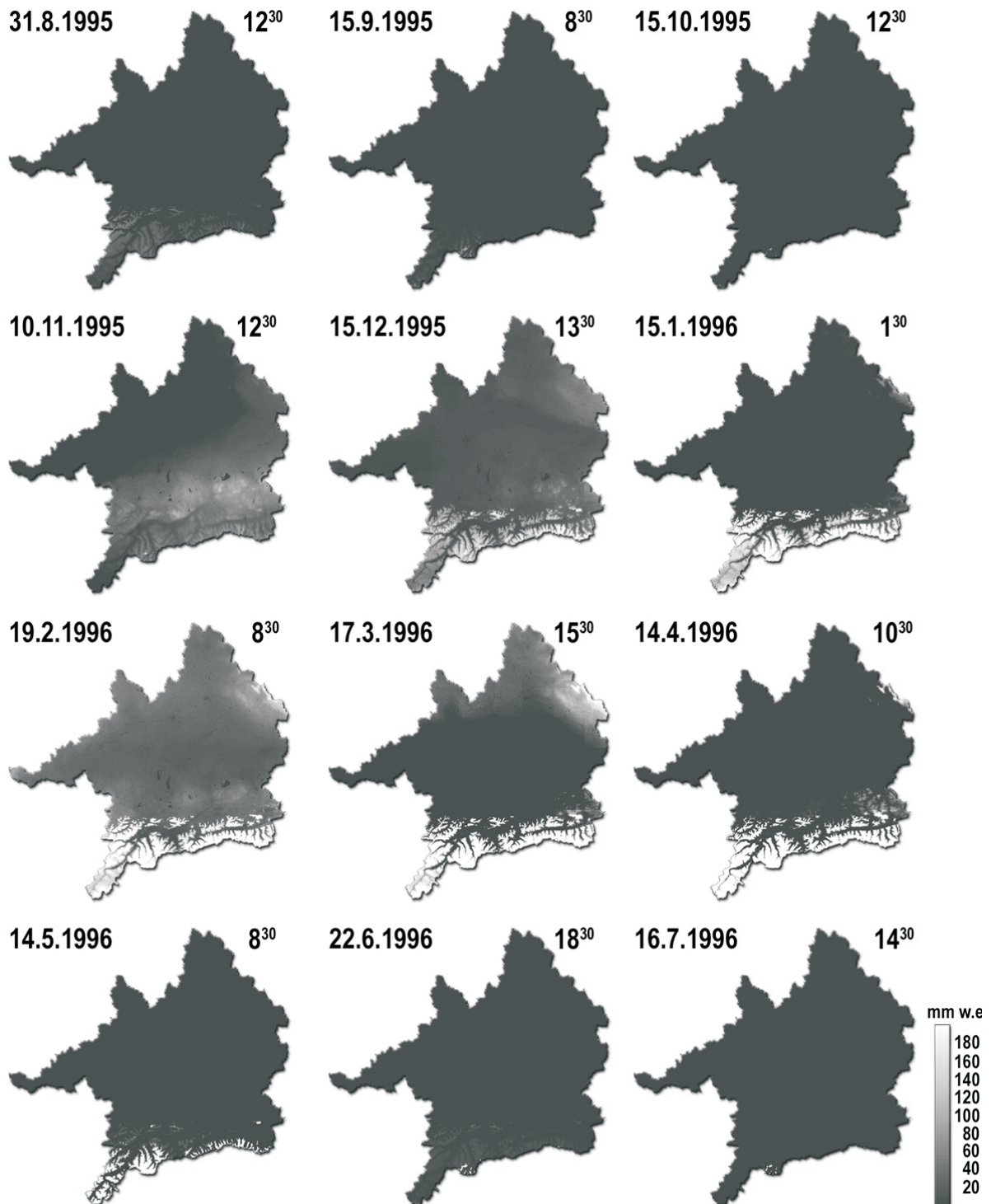


Abb. 10: Phasen der Akkumulation und Ablation der Schneedecke im Einzugsgebiet von DANUBIA über die Winterperiode 1995/96 anhand des Referenzlaufes mit Daten des Klimamodells MM5.

Die Abbildung 10 zeigt einzelne Momentaufnahmen der Schneeakkumulation im Gesamtgebiet im Zeitraum August 1995 bis Juli 1996. Die Ergebnisse entstammen dem Referenzlauf, der mit den vom Klimamodell MM5 bereitgestellten Daten gerechnet wurde. Der Lauf wurde am 1.1.1995 ohne Initialisierung der Schneedecke gestartet. Deren Auf- und Abbau wird auch durch das mit den Daten des Klimamodells betriebene Schneemodell realistisch wiedergegeben. Im August 1995 sind Schneereste nur noch in den höchsten Gipfellagen des Alpenhauptkamms vorhanden, der Rest des Einzugsgebietes ist schneefrei. Nach einem niederschlagsarmen Herbst kam es erstmals im November zu verbreiteten Schneefällen, die nicht nur im Alpenvorland, sondern auch den Bayerischen Wald bedeckten. Nach einigen weiteren Schneefällen bis in das Flachland im Januar und Februar wird die dünne Schneedecke in den tieferen Lagen im März wieder abgebaut, sie hält sich nur in den höheren Lagen der Alpen bis in den nächsten Sommer hinein.

Vergleicht man die jeweils aus den Resultaten der beiden Referenzläufe erhaltene Flächenverteilung der Schneedecke, so ergeben sich insbesondere im höher gelegenen Bergland zeitweise noch beachtliche Unterschiede. Ein Beispiel zeigt die Abbildung 11, in der neben der Verteilung der neben der Schneeakkumulation im Einzugsgebiet zum gleichen Simulationszeitpunkt Anfang Februar 1995 mit *AtmoStations* und MM5 auch deren Unterschiede visualisiert sind. Markante Differenzen ergeben sich im Bergland des Bayerischen Waldes sowie insbesondere in den nördlichen Regionen der Alpen. Hier zeigt die Schneedecke im MM5-Lauf eine heterogenere Struktur. In den Tälern fällt ihre Mächtigkeit geringer aus, dafür finden sich in den Gipfellagen höhere Schneehöhen als mit *AtmoStations*.

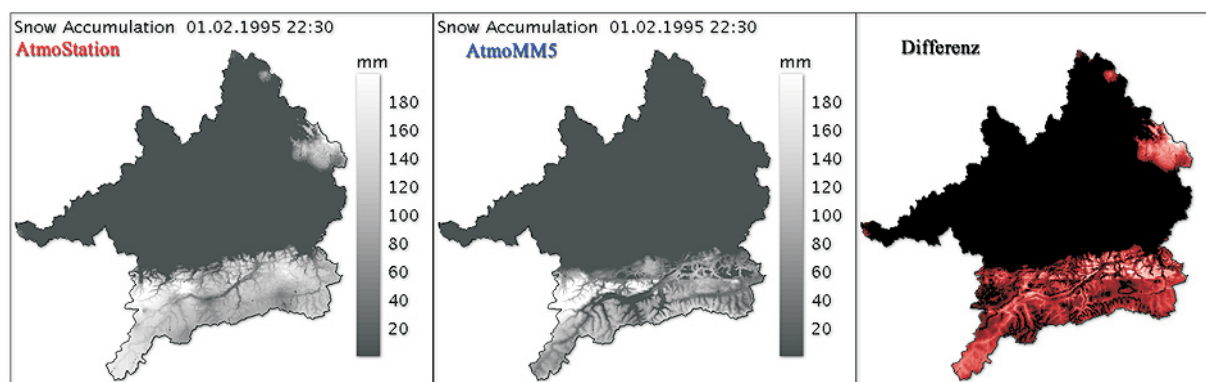


Abb. 11: Visueller Vergleich der Schneedeckenverteilung am 1.2.1995 mittels der Differenz (rechts) der mittels den Stationsdaten (links) und dem Klimamodell MM5 (mitte) während der Referenzläufe berechneten Schneeakkumulation.

Diesen Sachverhalt spiegelt auch die Tabelle 1 wieder, die eine klimatologisch statistische Auswertung des modellierten Verlaufs der Schneedeckenentwicklung auf ausgewählten *Proxeln* sowohl im Alpenvorland als auch im Hochgebirge enthält. Als Basisparameter dienen die Anzahl der Stunden mit einer Schneeauflage von über 0.1mm w.e. (entsprechend ca. 1cm Neuschnee), die Anzahl von Tagen, an denen Schneefall im Modell stattgefunden hat, sowie die maximal innerhalb des Kalender- bzw. Simulationsjahres aufgetretene Schneehöhe. In den tieferen Lagen, die den größten Flächenanteil des Einzugsgebietes einnehmen, ist die Übereinstimmung der Klimatologie aus den beiden Referenzläufen befriedigend, wobei der MM5-getriebene Lauf generell eine Tendenz zu größeren Schneemengen zeigt. Mit der Höhe nehmen die Unterschiede insbesondere der Mächtigkeit der Schneedecke allerdings beachtlich zu, was dringend einer weitergehenden Untersuchung bedarf. In den Gipfellagen werden mit dem MM5 teilweise unrealistische Schneehöhen berechnet. Dementsprechend ist auch die Andauer der Schneebedeckung von unterschiedlicher Länge. Eine Ausnahme bildet die Region des Berchtesgadener Landes, in der sich die Modellierungsergebnisse anhand der unterschiedlichen Datenquellen nur geringfügig unterscheiden.

Tab. 1: „Klimatologische“ Statistik über die Resultate der Schneedeckenentwicklung an ausgewählten Proxeln des Danubia-Einzugsgebietes zum Vergleich der mit unterschiedlichen meteorologischen Daten getriebenen Referenzläufe.

Proxel	Anz. Stunden mit Schneeeauflage >0.1 mm w.e.		Anzahl Tage mit Schneefall		Max. Schneehöhe [mm w.e.]		Jahr
	<i>AtmoSt.</i>	<i>MM5</i>	<i>AtmoSt.</i>	<i>MM5</i>	<i>AtmoSt.</i>	<i>MM5</i>	
82333 477m NN	1949	2134	108	110	19.2	41.4	1995
	2688	2749	124	130	29.1	26.1	1996
94183 520 m NN	1679	1591	101	91	20.8	39.6	1995
	1711	2057	88	101	17.2	27.0	1996
104923 580m NN	2460	2808	116	145	60.0	70.5	1995
	1711	2593	88	125	17.2	62.1	1996
120930 648m NN	2590	3113	134	154	71.1	81.6	1995
	2698	2465	125	123	89.7	57.9	1996
112837 818m NN	2586	2834	136	148	33.2	55.4	1995
	2562	2488	118	119	57.3	49.8	1996
125314 2153m NN	5354	4672	240	213	344.7	328.2	1995
	5242	4552	246	217	176.9	205.4	1996
155758 2263m NN	4476	5855	213	268	88.1	238.9	1995
	4435	6527	219	290	126.8	283.9	1996
155755 2616m NN	5140	6939	246	314	95.1	375.9	1995
	5370	7254	258	333	123.7	369.5	1996
153634 3287m NN	6319	8256	287	362	148.8	755.3	1995
	6638	8498	303	363	129.5	725.6	1996

Nach ersten Untersuchungen sind die Differenzen in den Ergebnissen der Referenzläufe auf die unterschiedliche Dynamik der meteorologischen Eingangsdaten zurückzuführen. Diese zeigt sich nicht im selben Maße in den klimatologischen Summen- und Mittelwerte wie in der Reaktion des Schneemodells. Bereits geringfügig niedrigere Temperaturwerte des MM5-Modells und teilweise höhere Niederschläge gegenüber den Stationsdaten führen zu beträchtlich mehr Schneefall im Winter. Im Sommer sind die Niederschläge bei der Klimamodellierung verfahrensbedingt in höheren Lagen intensiver (Erläuterungen dazu enthält der Bericht der Arbeitsgruppe Meteorologie), was dort die Tendenz zur längeren Andauer der Schneedecke fördert. Im Flachland dagegen erscheinen die Unterschiede geringer, hier wirken sich lediglich die gegenüber *AtmoStations* geringfügig tieferen Temperaturen im Winter aus, während in den Sommermonaten Schneefall dort überhaupt nicht auftritt.

Eine Übersicht über den Vergleich der Anzahl der Tage mit nennenswerter Schneedeckung während eines Monats nach den Modellresultaten der Referenzläufe mit *AtmoStations* und MM5 gibt die Tabelle 2. Auch hier zeigt sich die zunehmende Tendenz der Abweichungen mit wachsender Seehöhe. Es wird ferner deutlich, dass die Unterschiede besonders in den Sommermonaten zu finden sind. Auch hier erzeugt das Schneemodell mit den MM5-Daten deutlich mehr Schnee als mit den extrapolierten Stationsdaten, welche im Vergleich zu Beobachtungsdaten generell ein realistisches Ergebnis liefern.

Tab. 2: Anzahl der Tage mit nennenswerter Schneedecke an ausgewählten Proxeln des Danubia-Einzugsgebietes als Ergebnis der mit unterschiedlichen Eingangsdaten (*AtmoStations (AS)* und *MM5*) getriebenen Referenzläufe.

Proxel	Jan	Feb	Mr	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr	Lauf
82333 (Freiland) 477m NN	27	12	21	5	0	0	0	0	0	0	14	29	1995	<i>AS</i>
	27	12	17	7	0	0	0	0	0	0	20	27		<i>MM5</i>
	31	25	14	8	0	0	0	0	0	1	14	31	1996	<i>AS</i>
	29	29	23	10	0	0	0	0	0	0	10	29		<i>MM5</i>
94183 (München Z) 520m NN	28	13	19	4	0	0	0	0	0	0	12	25	1995	<i>AS</i>
	27	10	18	4	0	0	0	0	0	0	9	23		<i>MM5</i>
	16	18	13	8	0	0	0	0	0	0	15	18	1996	<i>AS</i>
	14	25	18	9	0	0	0	0	0	0	13	22		<i>MM5</i>
104923 (Ostbayern) 580m NN	31	11	19	7	0	0	0	0	0	0	19	29	1995	<i>AS</i>
	30	21	26	13	1	0	0	0	2	0	25	27		<i>MM5</i>
	16	18	13	8	0	0	0	0	0	0	15	18	1996	<i>AS</i>
	18	27	20	15	1	0	0	0	0	4	14	26		<i>MM5</i>
120930 (Garmisch) 648m NN	30	17	22	11	2	0	0	0	0	0	23	29	1995	<i>AS</i>
	31	24	28	14	2	0	0	0	3	0	25	27		<i>MM5</i>
	19	26	20	10	0	0	0	0	0	2	17	31	1996	<i>AS</i>
	18	27	19	11	1	0	0	0	0	5	16	26		<i>MM5</i>
112837 (Peißenberg) 818m NN	31	19	22	13	3	0	0	0	0	0	20	28	1995	<i>AS</i>
	30	23	28	14	2	0	0	0	2	0	22	27		<i>MM5</i>
	16	25	19	9	0	0	0	0	0	1	17	31	1996	<i>AS</i>
	15	26	21	12	1	0	0	0	0	2	14	28		<i>MM5</i>
125314 (Stein. Meer) 2153m NN	31	28	31	30	16	19	0	6	15	3	30	31	1995	<i>AS</i>
	31	28	31	27	14	5	0	4	8	4	30	31		<i>MM5</i>
	31	29	31	19	16	7	8	2	23	22	27	31	1996	<i>AS</i>
	22	29	31	25	8	7	3	0	18	19	25	30		<i>MM5</i>
155758 (Vent) 2263m	31	28	28	26	9	18	0	4	13	1	25	30	1995	<i>AS</i>
	31	28	31	30	25	17	0	5	24	16	30	31		<i>MM5</i>
	24	26	21	19	16	6	6	2	18	24	26	31	1996	<i>AS</i>
	31	29	31	30	26	11	7	4	29	31	30	31		<i>MM5</i>
155755 (Ötztal) 2616m	31	28	31	28	14	22	1	6	23	4	28	30	1995	<i>AS</i>
	31	28	31	30	31	29	5	13	30	25	30	31		<i>MM5</i>
	24	28	26	22	20	9	8	10	25	26	29	31	1996	<i>AS</i>
	31	29	31	30	31	24	20	15	30	31	30	31		<i>MM5</i>
153624 (Gletscher) 3287m	31	28	31	30	27	26	6	17	29	4	28	30	1995	<i>AS</i>
	31	28	31	30	31	30	29	30	30	31	30	31		<i>MM5</i>
	28	28	31	26	26	11	13	21	29	29	30	31	1996	<i>AS</i>
	31	29	31	30	31	30	30	29	30	31	30	31		<i>MM5</i>

Für die lokale Entwicklung der Schneedecke ist neben der auf ein Proxel niedergehenden Niederschlagsmenge hauptsächlich die für die Fläche repräsentative Lufttemperatur und deren Tagesgang maßgeblich. Zwar sind auch für die Niederschlagssummen durchaus lokale Abweichungen zwischen der MM5-Modellierung und den Stationsdaten feststellbar, diese bewegen sich jedoch angesichts der Schwierigkeiten bei der Erfassung des Flächenniederschlags auf der Basis von Punktmessungen im Bereich der methodisch erreichbaren Genauigkeit. Da die Dynamik des Niederschlags durch das Klimamodell realistischer wieder-

gegeben wird als durch die Interpolation der zeitlich weniger gut aufgelösten Messungen an den Klimastationen, entspricht die räumliche Verteilung der Schneedecke den wahren Verhältnissen auch im Gebirge qualitativ sogar besser.

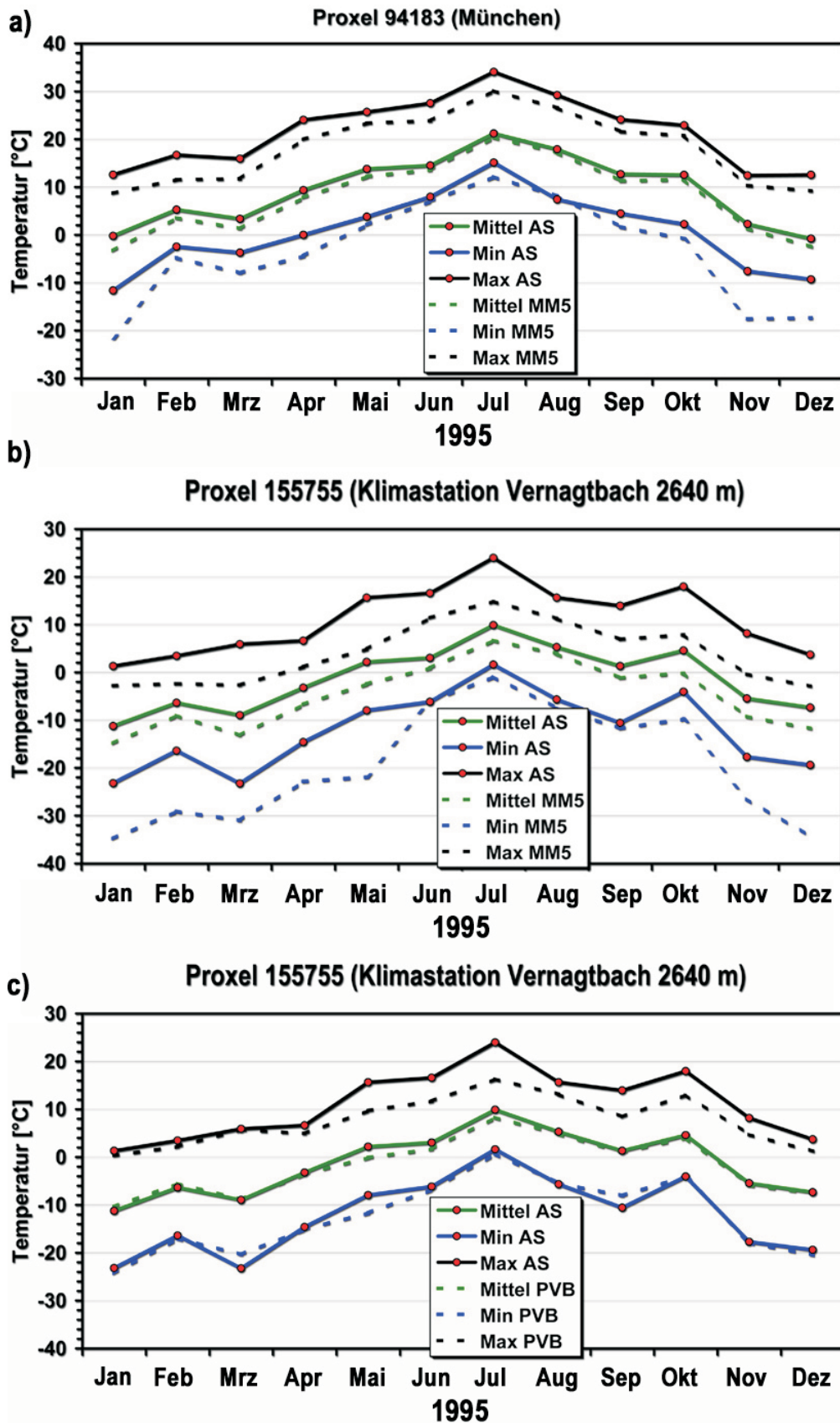


Abb. 12: Vergleich der Monatsmittelwerte der Temperatur und deren Extremwerte in stündlicher Auflösung für die Eingangsdaten aus *AtmoStations* und *MM5* für das Proxel München (a) und im Vorfeld des Vernagtbachs (b). Der Abbildungsteil (c) zeigt den Vergleich von *AtmoStations* mit unabhängigen Messdaten.

Ein Problem stellt für die Schneedeckenmodellierung mit dem Klimamodell gegenwärtig noch der Tagesgang der bodennahen Temperatur dar. Dieser wird durch die Arbeitsgruppe Meteorologie über ein spezielles *Downscaling*-Verfahren aus den auf einem wesentlich größeren Raster durchgeführten MM5-Modellierungen auf der 1-km Skala des Proxels bereitgestellt (siehe dazu den entsprechenden Bericht des Teilprojektes). Wie der Abbildung 12a entnommen werden kann, stimmen die Monatsmittel über die Stundenwerte der mittels *AtmoStations* aus den Stationsdaten extrapolierten Temperatur zumindest im Flachland (München) in zufriedenstellender Weise mit denen aus dem MM5-Modell überein. Die Tiefstwerte dagegen liegen insbesondere in den Wintermonaten um bis zu 10K tiefer. In geringerem Maße gilt dies auch für die Maximalwerte.

Im Hochgebirge ist die Abweichung sogar noch deutlich größer, wie die analoge Analyse im Abbildung 12b für das im Vorfeld des Vernagtferners gelegene Proxel 155755 zeigt. Während auf der Basis der extrapolierten Stationsdaten in der Simulation für das Jahr 1995 in dieser Höhenlage jeden Monat der Gefrierpunkt überschritten wurde, liegen die durch *AtmoMM5* gelieferten Maxima um einige Kelvin tiefer. Auch die Mittelwerte sind in diesem Fall tiefer. Mit Ausnahme der Sommermonate Juni, Juli und August gilt dies in noch stärkerem Maße auch für die Temperaturminima. Außerhalb dieses Zeitraums kommt es zu negativen Abweichungen, die im Extremfall deutlich mehr als 10K betragen.

Im Abbildungsteil 12 wird die Statistik für die extrapolierten Stundenwerte von *AtmoStations* mit dem an der Klimastation Vernagtbach in stündlicher Auflösung gemessenen Datensatz verglichen. Letzterer wird bei der Extrapolation aus den Stationsdaten nicht verwendet und stellt somit eine optimale Möglichkeit zu deren Validierung dar. Der Vergleich bestätigt, dass *AtmoStations* sowohl die Minima als auch die Mittelwerte mit hoher Genauigkeit reproduziert und lediglich die Maximalwerte gelegentlich um einige Kelvin überschätzt werden. Letzteres beeinflusst zwar in geringem Maße den Abbau der Schneedecke, die Akkumulation wird dagegen seltener fehlerhaft berechnet.

Die Übereinstimmung in der Wiedergabe des Tagesgangs der Temperatur zwischen *MM5* und *AtmoStations* ist demzufolge zunächst noch unbefriedigend. Dies bestätigt auch die in Tabelle 3 angeführte am Proxel 155755 über das Referenzjahr 1995 durchgeführte Klimastatistik. Mit den Daten von *AtmoMM5* ergeben sich deutlich mehr Tage mit Akkumulationsbedingungen als mit *AtmosStations*, das die tatsächlich gemessenen Temperaturverläufe im Hochgebirge wesentlich realitätsnäher beschreibt.

Tab. 3: An die Höhenlage des Hochgebirgsproxels 155755 angepasste Klassifizierung der Klimastatistik der bodennahen Lufttemperatur anhand lokal gewonnener Messdaten (PVB), der mit *AtmoStations* extrapolierten (AS) und mittels der Modellierung mit *MM5* erhaltenen Stundenmittelwerten.

Heisse Tage	Sommertage	Eistage	Frosttage	Tmit<0	Datenquelle
4	45	156	266	153	PVB
16	68	150	257	197	AS
0	24	217	299	253	MM5

Heiße Tage: $T_{\max} > 15^{\circ}\text{C}$, Sommertage: $T_{\max} > 10^{\circ}\text{C}$,
 Eistage: $T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$, Frosttage: $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$

Die Tabelle 3 zeigt weiter, dass die Unterschiede zwischen den mittels dem Klimamodell errechneten für die Schneebedeckung relevanten meteorologischen Größen und der Beobachtung noch zu groß sind, als dass sie den Anforderungen von Szenarienläufen entsprechen. Gegenwärtig erzeugt das Schneemodell auf der Basis der Eingangsdaten von *AtmoMM5* Schneeverhältnisse, unter denen beispielsweise die Gletscher im Hochgebirge in den Simulationsjahren 1995 und 1996 an Masse zunehmen, was nicht der im Rahmen der

sektoralen Arbeiten durchgeführten Beobachtung entspricht. Da der Lauf mit *AtmoStations* in dieser Hinsicht mit dem inhaltlich unveränderten Schneemodell wesentlich realistischere Ergebnisse erzeugt, dürften die Abweichungen allenfalls zu geringen Teilen in dessen Physik begründet sein.

In der gleichen Weise, wie in der ersten Phase der Downscaling-Algorithmus für den Niederschlag in *AtmoMM5* deutlich verbessert werden konnte, werden Verbesserungen im Skalierungsverfahren für die Temperatur (siehe Bericht der Arbeitsgruppe Meteorologie) in der Folgephase von DANUBIA in dieser Frage für Abhilfe schaffen.

2.4.4 Kooperation mit anderen Modellteilen

Die Schneedeckenentwicklung ist einer der sensibelsten Prozesse gegenüber dem Parameter Lufttemperatur, sie ist damit ein besonders guter Indikator zur Überprüfung von deren Modellierungsgüte im Gesamtmodell. Unter der Voraussetzung einer ausgereiften Modellphysik gilt dies auch für die anderen für den Energieumsatz an der Oberfläche beteiligten Modellgrößen. Deren Überprüfung erfordert eine verbesserte Validierung der Prozesse und der Modellresultate, die in enger Zusammenarbeit mit den Arbeitsgruppen Meteorologie und Fernerkundung erfolgt. Dies gilt insbesondere für bislang noch nicht erfolgte Kopplung von *Landsurface* und *AtmoMM5*. In der ersten Entwicklungsphase hat diese interdisziplinäre gegenseitige Überprüfung bereits mehrfach zu entscheidenden Verbesserungen in den Komponenten des DANUBIA-Systems geführt.

Die gegenseitige Validierung von Atmosphärendaten und der Physik des Schneemodells durch die korrekte Modellierung der Schneedecke ist aber nur ein Beispiel für die weitreichenden interdisziplinären Kopplungen innerhalb von DANUBIA. Die Schneebedeckung beeinflusst durch ihre gravierende Modifikation der Oberfläche auch die meisten anderen Modellkomponenten. Die Speicherung von Niederschlag in der Schneedecke und dessen verzögerte Abgabe in Form von Schmelzwasser haben über die Schnittstelle des *LandsurfaceControllers* erheblichen Einfluss auf die Modellkomponenten *Groundwater* und *Rivernetzwerk*. 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 sehr konkrete Informationen zur Schneebedeckung, weshalb eine direkte Schnittstelle installiert wird.

Das Gesamtmodell und jede Teilkomponente benötigte wiederum zur Realisierung des Systems die Unterstützung der Informatik, welche die notwendige „Infrastruktur“ und Testmöglichkeiten für die Komponenten schafft.

3. Zusammenfassung

3.1 Stand der Entwicklung

Mit Ablauf der Phase I des Projektes steht mit der Komponente Snow im DANUBIA-System im Rahmen des gegenwärtigen Entwicklungsstandes ein leistungsfähiges innovatives Werkzeug zur realistischen Simulation des natürlichen Schneedeckenauf- und -abbaus auf der Basis beliebiger meteorologischer Randbedingungen zur Verfügung. Das Modell ist in der Lage, die Variation des Schneespeichers in einer für die Dimension und Heterogenität des Untersuchungsgebietes außerordentlich hohen zeitlichen und räumlichen Dichte wiederzugeben. Es liefert ferner die Schmelzwasserspense für den lokalen Abfluss. Die ersten vorliegenden Analysen zur Validierung der Ergebnisse sind vielversprechend. Im interdisziplinären Verbund mit den anderen Arbeitsgruppen waren dank der gegenseitige Kontrollen in kurzer Zeit vielfältige Verbesserungen möglich. Die parallel zur Entwicklung durchgeführten sektoralen Arbeiten lieferten zusätzlich die Grundlagen für zahlreiche Ver-

besserungsmöglichkeiten und die Berücksichtigung zusätzlicher Prozesse, deren Realisierung in der folgenden Phase II vorgesehen ist. In letzterer stehen die praktische Anwendung des physikalischen Systems und die Wechselwirkung mit den unterschiedlichen von den anderen Arbeitsgruppen modellierten physikalischen, ökonomischen und ökologischen Prozessen im Vordergrund.

3.2 Ausblick auf die zweite Förderphase

In der 2. Phase des Teilprojekts Glaziologie wird die Schnee- und Eiskomponente von DANUBIA verifiziert, weiter optimiert und den Bedürfnissen der Partner angepasst, bevor sie dann in Zusammenarbeit mit den anderen Teilprojekten auf die beiden integrativen Fragestellungen

- Wie verhalten sich Schnee, Eis und Schmelzwasser in den Temperaturszenarien des IPCC?

und

- Welche Bedeutung haben Schneeschmelze, Wasserretention in der Schneedecke und in Speicherbecken sowie Starkniederschläge für die Entstehung von Hochwässern in alpinen Einzugsgebieten?

zur konkreten Anwendung kommt.

Durch eine thematische Umorientierung auf das Winterhalbjahr bei der Gruppe Tourismus wird die Zusammenarbeit mit der Gruppe Glaziologie verstärkt und ausgeweitet; insbesondere gewinnt die Modellierung der Schneedecke für den Wintertourismus an Bedeutung. Deshalb wurde das zentrale Ötztal zu einem der hochalpinen Testeinzugsgebiete erklärt, in dem ein Großteil der an GLOWA-Danube beteiligten Teilprojekte ihre sektoralen Fragestellungen bearbeiten werden. Speziell sind die Dies sind - neben den bereits angesprochenen - die Teilprojekte Naturnahe Ökosysteme, Oberirdische Gewässer, Hydrologie/Fernerkundung, Grundwasser und Umweltpsychologie.

Im sektoralen Bereich werden vor allem die folgenden Themen behandelt:

- Untersuchung der subskaligen Prozesse beim Schneedeckenauf- und Abbau,
- Vergleich verschiedener konzeptioneller Modelle für Validierungszwecke und operationelle Fragestellungen,
- die mittel- und längerfristige Entwicklung der Gletscher als Grundlage der Szenarienrechnung und
- die Anwendung der Schneekomponente von GLOWA-Danube in anderen Klimaregionen.

Wesentlich wird für die realistischere Modellierung der Prozesse im Hochgebirge die erweiterte Behandlung der subskaligen Prozesse auf der Basis der Geokomplexe. Dabei gilt es bei der Akkumulation die Berücksichtigung des Schneeeintrags durch Lawinen und Windverfrachtung über natürlichen Flächen zu untersuchen, in Siedlungsgebieten die Rolle der Retention und Perkolation von Wasser in der Schneedecke. Die subskalige Modellierung ist auch für die Beschreibung kleinräumiger anthropogen beeinflusster Prozesse wie die Kopplung zwischen natürlicher und künstlicher Schneedecke (Beschneigungsanlagen, Anlage von Wasserreservoirs dafür) ist eine wichtige Ergänzung des Objekts *Snow*.

4. Literatur

- BRAUN, L. und WEBER, M. (2002): Droht im nächsten Sommer Hochwasser vom Gletscher?, Rundgespräche der Komm. f. Ökologie der BAdW München, Band 24, „Katastrophe oder Chance? Hochwasser und Ökologie“, Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, S. 47-66.
- 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 forêt. 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, 133S.
- 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) im Druck.
- 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, pp. 119-150.
- ROHRER, M.B. (1992): Die Schneedecke im Schweizer Alpenraum und ihre Modellierung. *Zürcher Geographische Schriften, Heft 49, ETH Zürich*.
- WEBER, M. (2004): Mikrometeorologische Prozesse bei der Ablation eines Alpengletschers. Dissertation, eingereicht am Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck.

Wechselwirkung zwischen Niederschlag und Landoberfläche

Teilprojekt: Meteorologie
Leiter: Prof. Egger, Prof. Wirth
Ausführende Stelle: Lehrstuhl für Theoretische Meteorologie,
Ludwig-Maximilians-Universität München;
Institut für Physik der Atmosphäre,
Johannes Gutenberg Universität Mainz
Verfasser: A. Pfeiffer, B. Früh, J.W. Schipper, J. Egger, V. Wirth

1. Organisation

1.1 Kurzbeschreibung des Teilprojektes

Für den Wasserkreislauf ist der Niederschlag neben der Verdunstung die entscheidende atmosphärische Einflussgröße. Die regionale Klimaforschung weist jedoch gerade im Hinblick auf die Erfassung des Niederschlags noch erhebliche Defizite auf, und von einer quantitativ richtigen Modellierung oder gar Vorhersage kann zur Zeit nicht die Rede sein. Der Grund dafür liegt vor allem im mangelhaften Verständnis der Wechselwirkung zwischen Niederschlag und Landoberfläche. Daher werden im vorliegenden Projekt die Mechanismen und Prozesse der Wechselwirkungen im gekoppelten Boden-Atmosphäre-System untersucht. Dieses Verständnis ist zur Abschätzung möglicher zukünftiger Veränderungen im regionalen Niederschlag auf Grund menschlicher Eingriffe in das Klimasystem essenziell.

Das Schwergewicht der Untersuchung liegt dabei auf der Wechselwirkung zwischen Bodenfeuchte und konvektivem Niederschlag. Dazu wird zum einen ein mesoskaliges Atmosphären-Modell in unterschiedlichen Anwendungsarten eingesetzt und zum anderen Messdaten im Hinblick auf diesen Zusammenhang ausgewertet.

1.2 Personal

1.2.1 Wissenschaftler

Bewilligt sind für das Teilprojekt Meteorologie (Egger/Wirth) zwei ganze Wissenschaftler-Stellen (BAT IIa) und eine halbe Stelle für einen Doktoranden. Hierbei wird der Projektteil Datenanalyse mit einer Stelle in Mainz und alle modellbezogenen Arbeiten mit 1,5 Stellen in München bearbeitet.

1.2.2 Wissenschaftliche Hilfskräfte

Gruppe Wirth:

- 2001: 2 wissenschaftliche Hilfskräfte mit 5 Arbeitsstunden pro Woche für 4 Monate.
- 2002: 1 wissenschaftliche Hilfskraft mit 4-5 Arbeitsstunden pro Woche für 8 Monate.
- 2003: 1 wissenschaftliche Hilfskraft mit 4 Arbeitsstunden pro Woche für 5 Monate.

1.3 Anschaffungen

Gruppe Wirth:

- 2001: PC 6.051,28 DM
PC 4.944,72 DM
Hauptspeicher-Erweiterung 2.750,36 DM
Laser-Drucker 4.445,98 DM
- 2002: Software Magic Draw UML 4.51. Professional Version 480,26 €

Gruppe Egger:

- 2001: 1 Workstation 24.247,44 DM
Speicherplatz (350 GB) 13.632,32 DM

1.4 Veranstaltungen

1.4.1 GLOWA-Danube (intern)

2000

- 10.11.2000 Kick-off Treffen GLOWA-Danube, München

2001

- 12.-16.03.2001 Workshop GLOWA-Danube, Frauenchiemsee
- 05.07.2001 Atmosphäre-Treffen, München
- 06.07.2001 Projekttreffen GLOWA-Danube, München
- 14.08.2001 Atmosphäre-Treffen, München
- 26.-28.10.2001 Workshop GLOWA-Danube, Söllerhaus
- 15.11.2001 Workshop GLOWA, München
- 13.12.2001 Atmosphäre-Treffen, Mainz

2002

- 14.-15.02.2002 Projekttreffen GLOWA-Danube, München
- 06.-08.05.2002 Statuskonferenz GLOWA, München
- 04.-05.07.2002 Projekttreffen GLOWA-Danube, München, Doktorandenvorträge
- 16.-17.07.2002 Atmosphäre-Treffen, Mainz
- 01.-02.08.2002 GLOWA-Danube Treffen zum Folgeantrag I, München
- 29.-30.08.2002 GLOWA-Danube Treffen zum Folgeantrag II, Freiburg
- 19.-20.09.2002 GLOWA-Danube Treffen zum Folgeantrag III, Stuttgart
- 10.-11.12.2002 Scaling Workshop, Stuttgart, Doktorandenvorträge

2003

- 24.-27.02.2003 Workshop GLOWA-Danube, Maria Waldrast
- 17.-18.07.2003 Projekttreffen GLOWA-Danube, München, Validierungstreffen
- 01.08.2003 Atmosphäre-Treffen, München
- 27.-28.08.2003 Atmosphäre-Treffen, Marburg
- 16.-18.09.2003 Projekttreffen GLOWA-Danube, München, Validierungstreffen

2004

- 17.02.2004 Atmosphäre-Treffen, Mainz

Des Weiteren fand intensiver bilateraler Austausch mit einzelnen Teilprojekten (vorwiegend mit Niederschlag/Fernerkundung, Hydrologie / Fernerkundung, Informatik) statt.

1.4.2 Teilnahme an Konferenzen

Gruppe Wirth:

- European Geophysical Society Annual Meeting 22.-26.4.2002 in Nizza mit dem Posterbeitrag "Früh und Wirth, 2002: *The role of surface wet-bulb temperature for subsequent convective rainfall in midlatitudes.*"
- European Geophysical Society Annual Meeting 6.-11.4.2003 in Nizza mit dem Posterbeitrag "Früh, Schipper, Pfeiffer, Wirth und Egger, 2003: *Highly resolved fields of precipitation over complex terrain*".

Gruppe Egger:

- Forum Alpinum 23.-27.9.2002 in Alpbach mit dem Vortrag: *Using regional climate models for downscaling to the lake basins* (A. Pfeiffer).

1.5 Veröffentlichungen

FRÜH, B., SCHIPPER, J. W., PFEIFFER, A., WIRTH, V. und EGGER, J. (2004): Downscaling precipitation in complex terrain for use in detailed hydrological models, in Vorbereitung.

SCHIPPER, J.W. (2004): Sensitivity of MM5 precipitation to various configurations of physics parameterizations. Mon. Weather Rev., eingereicht.

PFEIFFER, A. (2004): A modified FDDA approach for improved rainfall simulations in MM5, in Vorbereitung.

2. Ergebnisse

2.1 Formulierte Ziele der ersten Förderphase

Es ist unser Ziel, die Mechanismen und Prozesse der Wechselwirkung zwischen Niederschlag und Landoberfläche besser zu verstehen und ihren Einfluss auf die Hydrologie des Donauraums im gegenwärtigen und einem möglicherweise veränderten zukünftigen Klimaregime abzuschätzen. Im Vordergrund steht dabei die Wechselwirkung zwischen Bodenfeuchte und konvektivem Niederschlag während der Sommermonate, welche derzeit noch

nicht gut verstanden ist. Dies ist vermutlich ein Hauptgrund dafür, dass regionale Klimamodelle erhebliche Defizite bei der Modellierung von Niederschlag aufweisen. Die Aufklärung der relevanten Mechanismen und Prozesse sollte zu einer Verbesserung der Niederschlagsmodellierung führen, was seinerseits eine unabdingbare Voraussetzung für eine quantitative Modellierung hydrologischer Größen in einem gekoppelten Boden-Atmosphäre-Modell ist.

Unsere Ergebnisse sollen speziell dazu genutzt werden, ein vertieftes Verständnis der natürlichen Variabilität des Wasserkreislaufs und der ihn kontrollierenden Parameter zu erlangen. Ferner sollen Aussagen dazu abgeleitet werden, wie sich eine mögliche Änderung des globalen Klimas auf das regionale Klima auswirkt. Meteorologische Szenarienrechnungen werden allen Gruppen als Grundlage dienen, die Auswirkungen eines möglichen Klimawandels abzuschätzen.

2.2 Sektorale Arbeiten

2.2.1 Daten

Über die *Atmosphäre*-Schnittstelle werden die meteorologischen Parameter (Lufttemperatur, Luftdruck, Windgeschwindigkeit, Bedeckungsgrad und Strahlung, Feuchte und Niederschlag) übergeben. Dazu wurden die Messungen aus dem Teil des Messnetzes des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach, (DWD) und der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, (ZAMG) bezogen, welche für das Donau-Einzugsgebiet relevant sind.

Im Donau-Einzugsbereich liegen 43 *synoptische Stationen* des DWD, an denen stündliche Messungen aller relevanten meteorologischen Parameter vorgenommen werden. Da die Messdaten dieser Stationen jedoch nicht qualitätsgesichert sind, bedarf es gründlicher Überarbeitung der Daten, bevor diese Verwendung finden können. 24 dieser Stationen wurden bereits 1981/1982 installiert, die übrigen erst in den 90er Jahren. Täglich 3 Messungen aller relevanten meteorologischen Parameter werden an den *Klimastationen* des DWD aufgezeichnet. Insgesamt liegen 352 solcher Klimastationen innerhalb des Donau-Einzugsgebietes. Davon decken 80 Stationen den Zeitraum zwischen 1949 und Februar 2001 und weitere 117 Klimastationen zumindest den Zeitraum zwischen 1991 und Februar 2001 ab. Zusätzlich verfügt der DWD über ein Messnetz von Niederschlagsstationen. An diesen Stationen wird lediglich der über 24 Stunden akkumulierte Niederschlag gemessen. Im Donau-Einzugsgebiet liegen etwa 1500 solcher Niederschlagsstationen.

Für Österreich wurden zum einen die 10-Minuten Messungen der 36 *TAWES-Stationen* innerhalb des Donau-Einzugsgebietes bezogen; außerdem 30 Stationen mit *stündlicher Aufzeichnung* der Messungen. Davon decken jedoch nur 4 Stationen den gesamten Zeitraum zwischen 1990/1991 und September 2001 ab. Des Weiteren stehen Messreihen von 82 Stationen mit *täglich 3 Messungen* zur Verfügung. Etwa 60 davon beinhalten den Zeitraum zwischen 1990 und 2000/2001. Die Messungen dieser Stationen sind jedoch so unvollständig vorhanden, dass kaum ein Monatswert des Niederschlags bestimmt werden kann. Alle 3 ZAMG Stationstypen zeichnen alle relevanten meteorologischen Parameter auf.

Außerdem wurden Radiosondenaufstiege für 5 Stationen des DWD und einer Station der ZAMG beschafft. Die Position der Radiosondenstationen und deren Messreihen sind in Tabelle 1 beschrieben.

Tab. 1: Beschreibung der Radiosondenstationen und deren Messreihe.

Ort	Messzeitraum	Messzeitpunkt, UTC	Geograph. Länge	Geograph. Breite
Meiningen	1971-2000	00, 06, 12, 18	50,6°N	10,4°O
Meiningen	1990-1995	06	49,5°N	8,6°O
Hohenpeißenberg	1981-1998	Sehr unregelmäßig	47,8°N	11,0°O
Innsbruck	1995-1999	00	47,3°N	11,4°O
Stuttgart	1989-1999	00, 12	48,8°N	9,2°O
Oberschleißheim	1989-1999	00, 12	48,3°N	11,6°O

2.2.2 Bestimmung von CAPE aus Messdaten

Zur Bestimmung der konvektiv verfügbaren Energie (CAPE: convective available energy) und der konvektiven Sperrung (CIN: convective inhibition) wurden Radiosondenprofile (s. Abschnitt 2.2.1) ausgewertet. CAPE und CIN werden aus dem Auftrieb, d.h. aus der Temperaturdifferenz zwischen der Umgebung und dem Luftpaket, bestimmt. Daher ist der verwendete Temperaturgradient, mit welchem das Luftpaket gehoben wird, von großer Bedeutung. Zur Abschätzung dieser Variabilität wurden die Temperaturgradienten folgender Prozesse bestimmt:

1. *Temp1*:reversibler Prozess mit Wasser oder Eis.
2. *Temp2*:reversibler Prozess mit Wasser und Eis.
3. *Temp3*:irreversibler Prozess mit Wasser oder Eis.
4. *Temp4*:reversibler Prozess mit Wasser.
5. *Temp5*:irreversibler Prozess mit Wasser.

Bei reversiblen Prozessen verbleibt der kondensierte (oder sublimierte) Wasserdampf vollständig in der Atmosphäre, so dass Wolken entstehen, die nicht regnen. Bei irreversiblen Prozessen verlässt die feste bzw. flüssige Phase das System instantan. Somit wird Niederschlag simuliert ohne Wolken. *Temp4* und *Temp5* sind zum Vergleich entsprechend den Prozessen aus WILLIAMS und RENNO (1993) gerechnet. Bei den Prozessen *Temp1* und *Temp3* wechselt unterhalb einer Temperatur von -5°C die Phase von Wasser nach Eis. Bei *Temp2* nimmt der Wasser- bzw. Eisgehalt innerhalb des Temperaturbereichs zwischen -5 und -25°C linear ab bzw. zu.

Abbildung 1 zeigt das Vertikalprofil des Auftriebs eines Luftpakets berechnet mit unterschiedlichen Temperaturgradienten für den 5.7.1996 16 UTC in Oberschleißheim. Bis zum Kondensationsniveau (LCL: lifting condensation level) ist B bei allen Prozessen identisch. Oberhalb des LCL entsteht der geringste Auftrieb bei *Temp5*: durch den irreversiblen Prozess verschwindet das Wasser instantan und dient nicht als Wärmespeicher. Etwas höherer Auftrieb oberhalb des Gefrierpunktes entsteht bei *Temp4*: die spezifische Wärme des flüssigen Wassers sorgt für höhere Temperaturen. Bei *Temp2* ist der Auftrieb wiederum etwas höher, da die latente Wärme, welche beim Gefrieren freigesetzt wird, höher ist, als die latente Wärme bei Kondensation. Diese Eigenschaft wurde auch von WILLIAMS und RENNO (1993) als verantwortlich für höheren Auftrieb bei Berücksichtigung von Eis identifiziert. Aus diesem Grund ist auch der Auftrieb bei *Temp1* und *Temp3* höher als bei *Temp4* und *Temp5*.

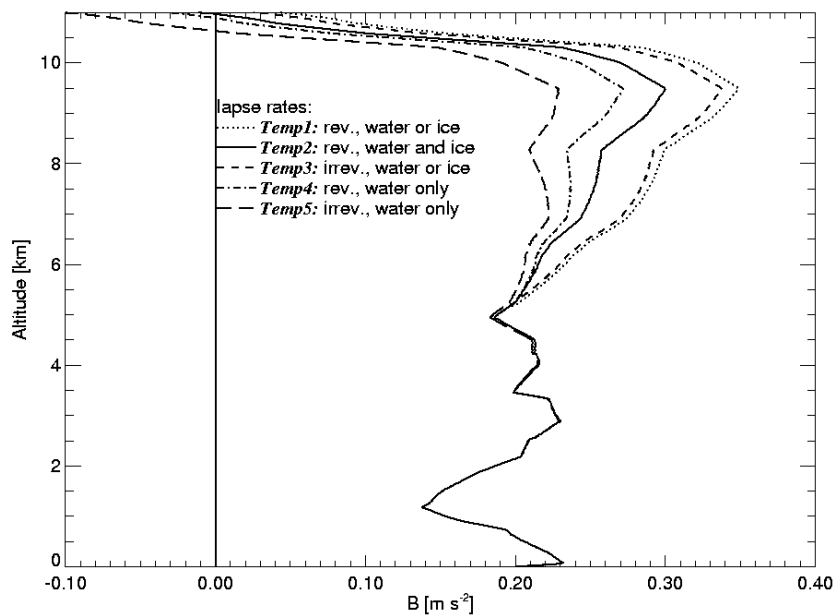


Abb. 1: Vertikalprofil des Auftriebs B eines Luftpakets berechnet für verschiedene Temperaturgradienten für den 5.7.1996 16 UTC in Oberschleißheim .

Durch die Veränderung des Auftriebs ergibt sich auch eine Veränderung von CAPE:

Tab. 2: Resultierendes CAPE für die beschriebenen Prozesse.

	CAPE, J kg^{-1}	Abweichung
<i>Temp1</i>	2591	9,09%
<i>Temp2</i>	2375	0,00%
<i>Temp3</i>	2540	6,95%
<i>Temp4</i>	2278	-4,08%
<i>Temp15</i>	2129	-10,36%

Tabelle 2 zeigt das resultierende CAPE für die verschiedenen Prozesse. Es wird deutlich, dass allein durch die Wahl des Hebungsprozesses die Variation von CAPE bei etwa 10% liegt.

2.2.3 Tagesgang von CAPE

Die Analyse des Tagesgangs verschiedener Grenzschichteigenschaften soll zu den Mechanismen führen, welche für die Entstehung und Entwicklung von konvektivem Niederschlag verantwortlich sind.

Abbildung 2 zeigt den Tagesgang verschiedener thermodynamischer Größen abgeleitet aus Messungen in Oberschleißheim. Die ausgefüllten Säulen beziehen sich Beobachtungen vom 5.7.1996, die nicht ausgefüllten auf den 19.8.1996. Am 5.7.1996 wurde für den Zeitraum 13:30 bis 20:30 UTC 18.6 mm Niederschlag gemessen, wogegen den 19.8.1996 niederschlagsfrei war. Teil (A) der Abbildung 2 zeigt den Tagesgang der bodennahen Temperatur. Diese ist an beiden Tagen nahezu identisch bis 17 UTC. Ab 18 UTC ist die Temperatur am 5.7.1996 mehr als 5°C niedriger als am 19.8.1996. Dies lässt die Vermutung zu, dass das Niederschlagsereignis am 5.7.1996 zwischen 17 und 18 UTC begonnen hat. Diese Vermutung wird gestützt durch den starken Anstieg der relativen Feuchte von 17 bis 18 UTC (Teil (B)). Es zeigt sich aber auch, dass bereits ab 13 UTC, d.h. mehrere Stunden vor dem eigentlichen Niederschlagsereignis, die relative Feuchte am 5.7.1996 deutlich höher

ist als am 19.8.1996. Diese höhere relative Feuchte verursacht wiederum eine geringere Höhe des Kondensationsniveaus (LCL, Teil (C)). Die Verringerung des LCL führt zu einem höheren Potenzial für konvektive Instabilität und könnte daher für das Auslösen von konvektivem Niederschlag verantwortlich sein (SCHÄR et al., 1999). Die Höhe des Niveaus neutralen Auftriebs (LNB: level of neutral buoyancy, höchstes Niveau, bei welchem der Auftrieb negativ wird, Teil (D)) ist am 5.7.1996 deutlich höher als am 19.8.1996. Wegen des höheren LNB ist auch CAPE (Integral von LCL bis LNB über die Differenz der Dichtetemperatur von Luftpaket und Umgebung, Teil (E)) am 5.7.1996 höher mit einem Maximum um 16 UTC von 2278 Jkg^{-1} . Für den Hebungsprozess wurde hier, wie im folgenden, *Temp4* verwendet.

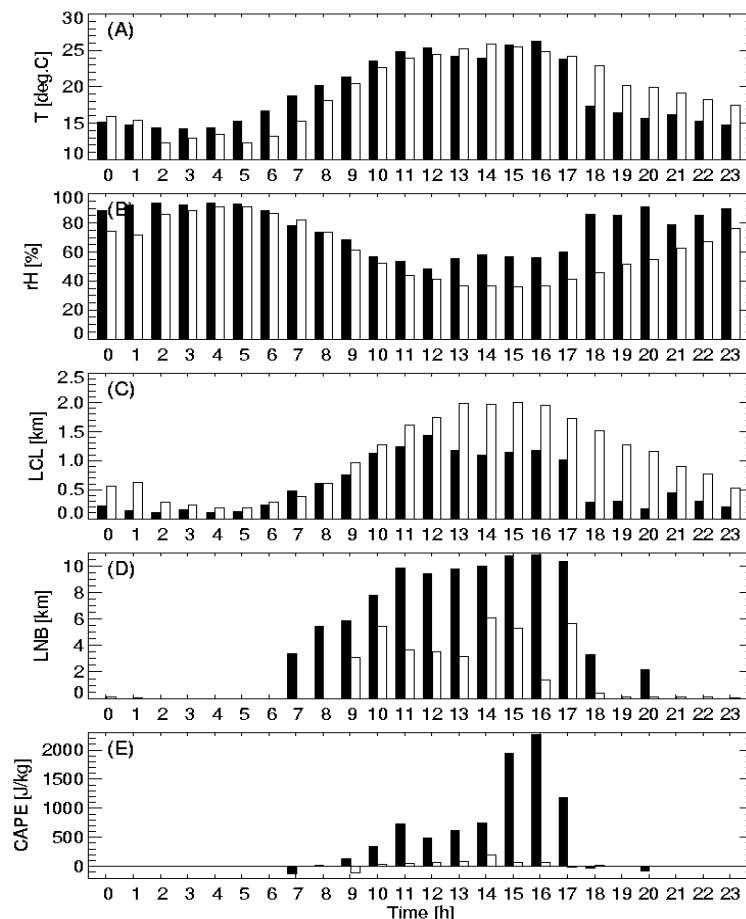


Abb. 2: Tagesgang der bodennahen Temperatur (A), der relativen Feuchte (B), der Höhe des Kondensationsniveaus (LCL) (C), des Niveaus neutralen Auftriebs (LNB) (D) und CAPE (E) am 5.7.1996 (ausgefüllt) und am 19.8.1996 (nicht ausgefüllt) in Oberschleißheim.

2.2.4 Wechselwirkung zwischen der bodennahen Feuchttemperatur und dem nachfolgenden konvektiven Niederschlag

Zur Untersuchung der Wechselwirkung zwischen der Landoberfläche und dem Niederschlag wurde zunächst die bodennahe Feuchttemperatur (jeweils eine Stunde vor dem Niederschlagsereignis) mit dem nachfolgenden konvektiven Niederschlag korreliert. Dazu wurden stündliche Messreihen des Luftdrucks, der relativen Feuchte und der Temperatur österreichischer Stationen in den Alpen verwendet und daraus die Feuchttemperatur bestimmt.

Zunächst musste ein Kriterium gefunden werden konvektiven und nicht-konvektiven Niederschlag zu unterscheiden. Das von ELTAHIR und PAL (1996) für die Tropen gefundene Kriterium, dass jeglicher Niederschlag mit einer Dauer von weniger als fünf Stunden

konvektiv sei, kann auf den alpinen Raum nicht angewendet werden, da die Niederschlagsdauer in dieser Region statistisch nicht von der Jahreszeit abhängig ist, das Auftreten konvektiven Niederschlags jedoch als Jahreszeiten abhängig angenommen wird. Aus diesem Grund wurde das Überschreiten einer Regenrate von 2 mmh^{-1} als Kriterium für konvektiven Niederschlag angenommen. Von den 55 vollständig vorhandenen Zeitreihen im Sommer (JJA: Juni, Juli und August) und den darin gemessenen 3922 Niederschlagsereignissen waren etwa 10% konvektiv und haben zu 30% des gesamten Niederschlags beigetragen. Im Frühjahr (MAM: März, April und Mai), Herbst (SON: September, Oktober und November) und Winter (DJF: Dezember, Januar und Februar) entsprachen nur 2%, 4% und 1% der Niederschlagsereignisse diesem Kriterium und trugen lediglich zu 7%, 14% und 7% des Niederschlags bei.

Die maximale Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer bestimmten Feuchttemperatur ist eine Stunde vor Auftreten eines konvektiven Niederschlagsereignisses zu deutlich höheren Feuchttemperaturen verschoben. Auch die mittlere Feuchttemperatur ist im Fall der konvektiven Niederschlagsereignisse mit $16,2^\circ\text{C}$ höher als die mittlere Feuchttemperatur bei Niederschlag im Allgemeinen ($14,2^\circ\text{C}$), jedoch auch noch deutlich vom notwendigen Schwellenwert der Feuchttemperatur für konvektive Niederschlagsereignisse in den Tropen (22°C) entfernt, welche von ELTAHIR und PAL (1996) und WILLIAMS und RENNO (1993) gefunden wurde.

Im Gegensatz zu den Untersuchungen von ELTAHIR und PAL (1996) in den Tropen, konnten die beiden Hypothesen, (1) der Niederschlag ist eine lineare Funktion der Feuchttemperatur und (2) die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von konvektivem Niederschlag steigt mit steigender Feuchttemperatur, für diese Gebirgsregion nicht bestätigt werden, da keine signifikante Beziehung zwischen den beiden Parametern gefunden wurde. Ursächlich könnte dafür die Schwierigkeit bei der Unterteilung der Niederschlagsereignisse in konvektiv und nicht- konvektiv verantwortlich sein, da sich aus Bodenmessungen nur schlecht ein eindeutiges Kriterium finden lässt.

2.2.5 Zusammenhang CAPE und bodennahe Feuchttemperatur

Die Feuchttemperatur ist ein gutes Maß für die feucht statische Energie und die bodennahe Entropie. Sie reagiert auf Änderungen des Wärmeflusses, sowohl in sensibler als latenter Form, da sie sowohl durch die bodennahe Temperatur als auch Feuchte bestimmt ist. Aus diesem Grund wird auch ein enger Zusammenhang mit CAPE erwartet.

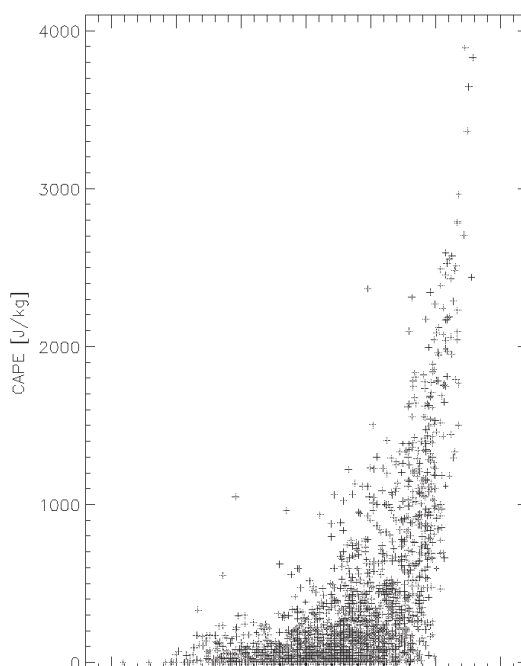


Abb. 3: Tagesmaximum von CAPE in Abhängigkeit von der bodennahen Feuchttemperatur zum Zeitpunkt des Auftretens des CAPE-Tagesmaximums für die Sommermonate in Oberschleißheim.

Abbildung 3 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Tagesmaximum von CAPE und der bodennahen Feuchttemperatur (zum Zeitpunkt des Auftretens des CAPE-Tagesmaximums) für die Sommermonate (April bis September) an der Station Oberschleißheim. Es wurden nur Messungen der Tage verwendet, an denen die stündlichen Messungen vollständig vorhanden sind.

Die Messungen zeigen, dass die bodennahe Feuchttemperatur, T_w , zwischen -5°C und $+25^\circ\text{C}$ liegt. Es wird deutlich, dass bei $T_w > 20^\circ\text{C}$ keine Messungen vorliegen, bei denen CAPE gering ($< 500 \text{ Jkg}^{-1}$) ist. Oberhalb dieser Temperatur ist eine starke Zunahme von CAPE mit steigendem T_w zu beobachten. Ebenfalls wird deutlich, dass bei geringem $T_w < 10^\circ\text{C}$ kaum CAPE Werte von mehr als 500 Jkg^{-1} realisiert sind.

Für die Tropen fanden WILLIAMS und RENNO (1993) einen linearen Zusammenhang zwischen CAPE und der potentiellen Feuchttemperatur. Durch die nahezu konstanten Radiosondenprofile in den Tropen sind vor allem die Grenzschichteigenschaften, welche durch T_w beschrieben werden, für die Bestimmung von CAPE ausschlaggebend. Die Radiosondenprofile der mittleren Breiten dagegen weisen starke Variabilität auf, auch im Abstand weniger Stunden. Aus diesem Grund ist der Zusammenhang in den mittleren Breiten nicht notwendig linear.

2.2.6 Zusammenhang zwischen CAPE und nachfolgendem Niederschlag

Abbildung 4 zeigt das Tagesmaximum von CAPE in Abhängigkeit vom Niederschlag um 20:30 UTC. Dargestellt sind alle Messungen aus Oberschleißheim der Sommermonate (April bis September) für die gesamte vorliegende Zeitreihe. Wiederum wurden nur Messungen der Tage verwendet, an denen die stündlichen Messungen vollständig vorhanden sind.

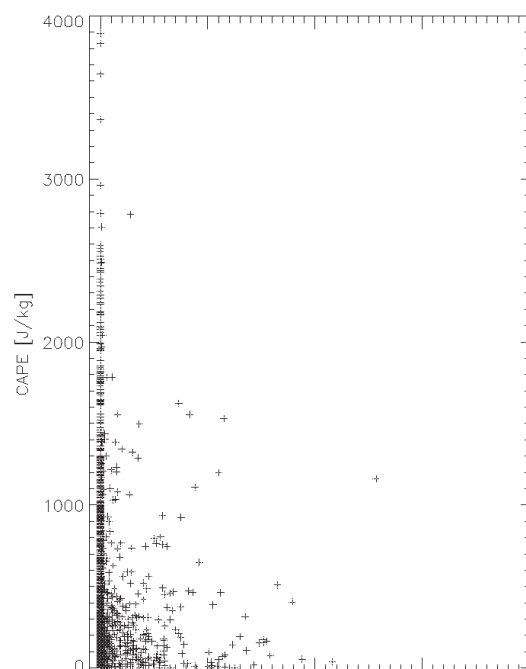


Abb. 4: Tagesmaximum von CAPE in Abhängigkeit vom Niederschlag um 20:30 UTC für die Sommermonate in Oberschleißheim.

Bei dieser Untersuchung wäre zu erwarten, dass bei hohen Werten von CAPE viel Niederschlag fällt. Abbildung 4 zeigt jedoch nicht dieses Verhalten. Eine mögliche Ursache dafür ist, dass die Niederschlagsereignisse nicht nach konvektiven und nicht konvektiven unterschieden worden sind. Daher würde auch ein Frontendurchgang trotz niedriger Werte von CAPE hohen Niederschlag erzeugen. Ein weiteres Problem ist die Ortsbezogenheit der Messungen. So ist denkbar, dass ein hoher Wert von CAPE an einer Radiosondenstation zu hohem Niederschlag einige Kilometer in Windrichtung liegend führt, welcher jedoch nicht in die Korrelation eingeht. Auch ist darüber nachzudenken, ob CAPE die geeignete Größe

für die Vorhersage von konvektivem Niederschlag in den mittleren Breiten ist. So fanden HUNTRIESER et al. (1997), dass CAPE wenig geeignet sei für die Gewitter-Vorhersage in der Umgebung von Payerne (Schweiz). Der „SWISS index“ sei dazu deutlich besser geeignet. HAKLANDER und van DELDE (2003) führten ähnliche Untersuchung in der Umgebung von De Bilt (Niederlande) durch. Auch sie fanden CAPE wenig geeignet. Für diese Region wurde jedoch ein anderer Parameter als der geeignetste gefunden. Diese starke räumliche Abhängigkeit zeigt, dass in diesem Gebiet große Forschungsanstrengungen notwendig sind.

2.2.7 Trockene und feuchte Sommer

Des Weiteren wurden die Messreihen im Hinblick auf besonders feuchte und trockene Sommer (JJA) untersucht: Die fünf trockensten und feuchtesten Sommer innerhalb des Zeitraumes zwischen 1949 und 2001 im Mittel über die vorhandenen Niederschlagsstationen (etwa 1000) im Einzugsgebiet der oberen Donau sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tab. 3: Feuchteste und trockenste Sommer im Mittel über die vorhandenen Niederschlagsstationen.

Trockene Jahre	Niederschlag pro Monat [mm]	Feuchte Jahre	Niederschlag pro Monat [mm]
1952	62	1966	146
1962	67	1954	139
1949	67	1956	136
1964	71	1957	130
1983	76	1993	127

Diese „extremen“ Sommer sollen intensiv für die weiteren Untersuchungen herangezogen werden, da in diesen Fällen die Wechselwirkung zwischen Niederschlag und Bodenfeuchte deutlicher hervortreten sollten.

Eine weitere Untersuchung verfolgt die Hypothese, dass auf ein feuchtes Frühjahr ein feuchter Sommer folgt bzw. auf ein trockenes Frühjahr ein trockener Sommer. Aus diesem Grund wurde zunächst in Abbildung 5 die Summe der Niederschläge in April und Mai der Summe der Niederschläge in Juli und August gegenüber gestellt. Dabei wurde wiederum auf alle vorhandenen Jahre (1949-2001) zurückgegriffen.

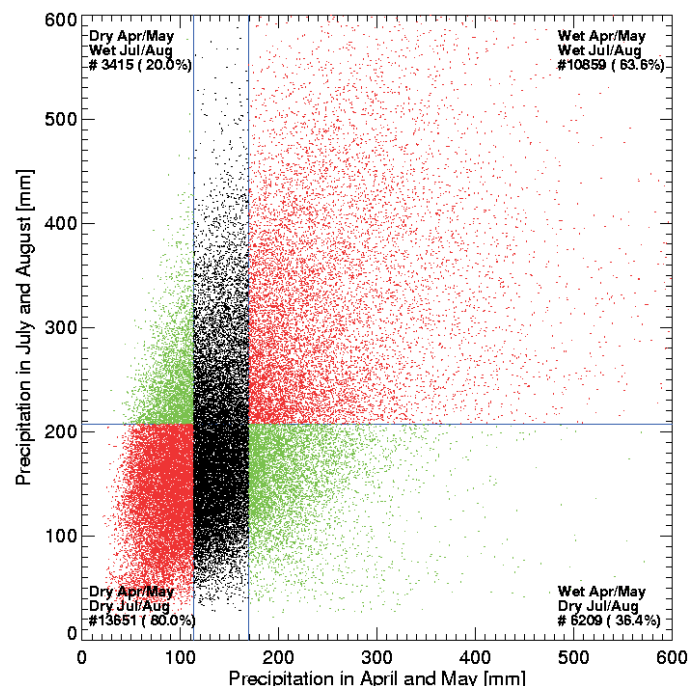


Abb. 5: Niederschlag im April und Mai im Vergleich zum Niederschlag in Juli und August.

Jeder Punkt in Abbildung 5 stellt dieses Verhältnis für eine Station und ein Jahr dar (bei etwa 1000 Stationen und 52 Jahren führt das zu etwa 52000 Punkten). Die vertikalen Balken zeigen die Position des 33 und 66 Perzentil des Niederschlags von April und Mai. Damit stellen die Punkte links der linken Vertikalen trockene und rechts der rechten Vertikalen feuchte Frühjahre dar. Der horizontale Balken zeigt die Position des über alle Stationen und Jahre gemittelten Niederschlags im Juli und August. Somit bedeuten die Punkte unterhalb der Horizontalen trockene Sommer. Es zeigt sich dass nach trockenen Frühjahren in 80% der Messungen auch ein trockener Sommer folgt. Nach einem feuchten Frühjahr folgt in 64% der Messungen ein feuchter Sommer.

2.2.8 Korrelation zwischen Bodenfeuchte und nachfolgendem Niederschlag

In diesem Abschnitt soll die von FINDELL und ELTAHIR (1997) formulierte Hypothese, dass die Bodenfeuchte positiv mit dem nachfolgenden Niederschlag korreliert ist, mit der simulierten Bodenfeuchte der Gruppe Hydrologie/ Fernerkundung im Einzugsgebiet der oberen Donau überprüft werden. Besonders in den Sommermonaten fanden FINDELL und ELTAHIR (1997) eine signifikante lineare Korrelation zwischen der 14-jährigen Messreihe der Bodenfeuchte und nachfolgendem Niederschlag in Illinois.

Abbildung 6 zeigt den Spearman Rang-Korrelationskoeffizienten zwischen der Bodenfeuchte in der obersten 1m Schicht und dem Niederschlag des folgenden 20 Tage Fensters. Die Bodenfeuchte stammt aus PROMET Simulationen (LUDWIG 2004, pers. Mitteilung) und der Niederschlag aus den täglichen Niederschlagsfeldern (s. Kap. 2.3.7). Beide Größen wurden zunächst über das Gebiet gemittelt. Anschließend wurde die Bodenfeuchte mit dem Niederschlag der folgenden 20 Tage korreliert. Zum Vergleich ist die Autokorrelation des Niederschlags (gepunktete Linie) aufgetragen. Dabei wurde der letzte Tag des ersten Zeitfensters mit dem Niederschlag der folgenden 20 Tage korreliert. Außerdem sind die beiden Signifikanzniveaus (5% und 10%) eingetragen (von STORCH und ZWIERS 2000). Wegen der geringen Dauer der Zeitreihe (10 Jahre) sind diese Signifikanzniveaus relativ hoch.

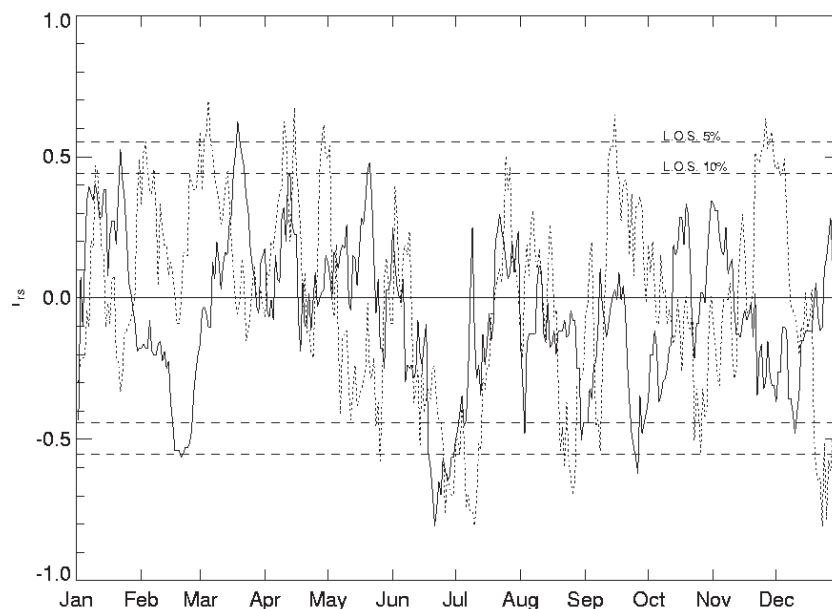


Abb. 6: Spearman Rang-Korrelation zwischen der Bodenfeuchte und dem Niederschlag des folgenden 20 Tage Fensters. Zum Vergleich ist die Autokorrelation des Niederschlags (gepunktete Linie) aufgetragen.

Diese Untersuchung wurde in Anlehnung an die Untersuchungen von FINDELL und ELTAHIR (1997) durchgeführt. Es zeigt sich, dass sowohl positive, als auch negative Korrelationen auftreten können. Die positive Korrelation bestätigt die allgemeine Vermutung,

dass der Niederschlag durch feuchteren Boden verstärkt ist. Die negative Korrelation bedeutet, dass auf trockenen Boden mehr Niederschlag fällt. Diese Bedingung ist Ende Juni signifikant. Ursache dafür ist die höhere sensible Wärme im Fall des trockenen Bodens, welche den Auftrieb erleichtert und dadurch die Konvektion erhöht (GIORGI et al. 1996).

2.3 Integrative Arbeiten

2.3.1 Modell

Das für die Simulationen verwendete Modell basiert auf dem bewährten und vielseitigen mesoskaligen Atmosphärenmodell MM5 (DUDHIA 1993; GRELL et al. 1994). Durch seine Fähigkeit zur mehrfachen Nestung ist es prädestiniert für den Einsatz in GLOWA, da hier Methoden und Modelle der unterschiedlichen Disziplinen, die auf sehr unterschiedlichen Skalen arbeiten, zusammengeführt werden sollen. Sein weltweiter Einsatz in den unterschiedlichsten Gruppen zusammen mit der kontinuierlichen Pflege, Dokumentation und Weiterentwicklung machen es zu einem vielfach überprüften und gut handhabbaren Werkzeug der meteorologischen Forschung. Insbesondere zur Untersuchung und realitätsnahen Simulation von sommerlichen, konvektiven Niederschlägen bietet MM5 eine ganze Reihe von ausgefeilten Niederschlagsparametrisierungen bzw. expliziten Feuchteschemata. Da im Rahmen von GLOWA gerade auch das Zusammenspiel von Landoberfläche und Atmosphäre im Vordergrund steht, kommt der im meteorologischen Modell angesiedelten Parametrisierung der atmosphärischen Grenzschicht eine zentrale Bedeutung zu, über die die Verhältnisse am Boden in die freie Atmosphäre vermittelt werden; auch hierfür bietet MM5 mehrere Optionen. MM5 wurde zusammen mit mehreren unverzichtbaren Präprozessoren, welche die Eingangsdaten für die Simulationen aufbereiten, auf einer Workstation erfolgreich installiert.

2.3.2 Modifikationen der MM5-Ausgabedaten

Die Standardausgabe von MM5 enthält eine sehr hohe Anzahl meteorologischer Parameter in allen drei räumlichen Dimensionen. Davon werden jedoch nur die bodennahen Werte ausgewählter Parameter für den Datenaustausch innerhalb GLOWA verwendet. Somit lässt sich die Ausgabe von MM5 auf die für GLOWA wesentlichen Parameter reduzieren, was die Speicherplatzanforderungen drastisch verringert. Auf modell-interne Berechnungen hat diese Änderung selbstverständlich keine Auswirkungen. Zur Erreichung dieser Reduktion wurde die Ausgabe von MM5 in der Art geändert, dass nur die Parameter ausgegeben werden, welche von anderen Modellen innerhalb GLOWA gebraucht werden. Die relevanten Parameter wurden dem Schnittstellen-Diagramm der Meteorologie entnommen. Die Veränderung ist jedoch flexibel: Sollen beispielsweise in zukünftigen Versionen von GLOWA neue Schnittstellen hinzugefügt oder weggelassen werden, so besteht weiterhin die Möglichkeit, die MM5-Ausgabe an die neuen Anforderungen anzupassen.

Nicht nur die große Menge an Parametern verursacht bei der MM5-Ausgabe einen hohen Speicherplatzbedarf, sondern auch die hohe Anzahl vertikaler Schichten innerhalb des Modells, die in der bisherigen Standardausgabe ebenfalls ausgegeben wurden. Diese Schichten sind zwar notwendig für die Berechnungen innerhalb von MM5, werden aber für den Datenaustausch innerhalb von GLOWA nicht gebraucht. Aus diesem Grund wurde die Ausgabe der Parameter zunächst auf die Werte der Parameter der unteren beiden Schichten reduziert. Lediglich für zweidimensionale Parameter wird nur eine Schicht ausgegeben. Bei den vorgegebenen 23 Schichten in MM5 und einem Bodendruck von 1000 hPa erstreckt sich die erste Schicht bis in eine Höhe von ungefähr 16 m und die zweite Schicht ungefähr bis 60m oberhalb der Landoberfläche. Die Schichten sind also relativ zur Landoberfläche definiert und folgen demnach der Orographie. Je nach Bedarf besteht aber auch die Möglichkeit, die Höhen der einzelnen Schichten zu verändern, wobei jedoch aus numerischen Gründen die unterste Schicht nicht beliebig nahe an die Landoberfläche herangebracht werden kann. In Abhängigkeit vom speziellen Parameter, ist dieser repräsentativ

entweder für den Zustand in Höhe der Schichtmitte (d.h. ca. 8 m für die erste Schicht und 30m für die zweite Schicht) oder auf der Höhe der Schichtgrenze (d.h. 16 m für die erste Schicht und 60m für die zweite Schicht).

Inzwischen wurden die meteorologischen Übergabeparameter genauer spezifiziert, d.h. dass jetzt insbesondere die Temperatur in 2m und der Wind in 10m über Grund weitergegeben werden; die Ausgabe der Grenzschichtparameterisierung von MM5 wurde entsprechend erweitert. Im Rahmen der interaktiven Kopplung von MM5 an das *Landsurface*-Objekt von DANUBIA sind durchaus noch weitere Modifikationen der Übergabeparameter denkbar.

2.3.3 Konfiguration des MM5

Das mesoskalige Modell MM5 ist weniger ein einzelnes Programm, sondern muss vielmehr als ein mächtiges Programmpaket angesehen werden. So lassen sich für die verschiedenen in der Atmosphäre ablaufenden Prozesse die entsprechenden Modellroutinen aus einem jeweils entsprechenden Modulbaukasten auswählen; so werden z.B. für die Behandlung der subskaligen feuchten Konvektion mittlerweile sieben verschiedene Optionen angeboten. Dies erfordert eine entsprechende Konfiguration des MM5 für die zu bearbeitende Aufgabe. Neben dem Ziel möglichst realistischer Simulationsergebnisse müssen hierbei durchaus auch die unterschiedlichen Anforderungen der Modellbausteine an die Rechenzeit mit ins Kalkül gezogen werden (GRELL et al. 1994).

MM5 verfügt über die - vor dem Hintergrund der in diesem Projekt allgegenwärtigen Skalenproblematik - unabdingliche Nestungsfähigkeit. Hierzu muss eine Kette von Präprozessoren des MM5 durchlaufen werden, die die Eingangsdaten (z.B. meteorologische Reanalysen des ECMWF) zunächst für eine MM5-Simulation aufbereiten. Diese einzelnen 'Hilfsprozessoren' des MM5-Systems werden normalerweise in einzelnen interaktiven Sitzungen am Computer abgearbeitet. Dieses Verfahren ist innerhalb des DANUBIA-Modells natürlich nicht praktikabel, weshalb das Durchlaufen dieser Prozessorenkette für das vorliegende Projekt vollständig automatisiert wurde.

Für die Auswahl der Konfiguration des MM5 für DANUBIA wurden verschiedene Testsimulationen durchgeführt. Dabei stand die Realitätsnähe des simulierten Niederschlags im Vordergrund, da dies zweifelsohne eine ganz wesentliche Größe in einem Projekt zur Untersuchung des Wasserhaushalts darstellt.

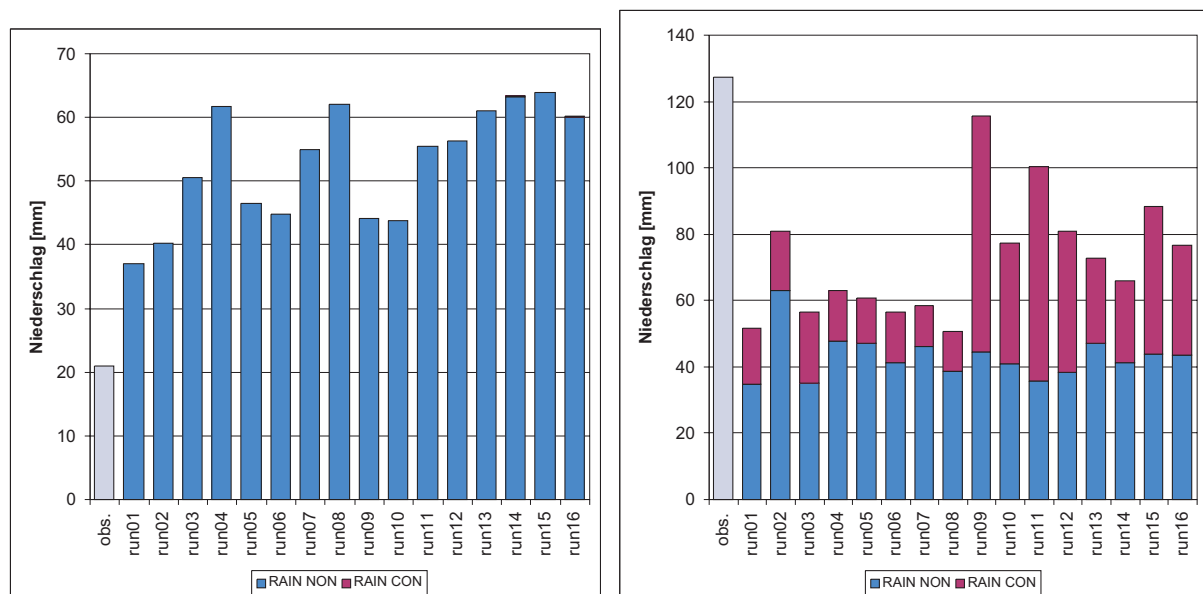


Abb. 7: Februar 1998 (links), Mai 2000 (rechts), Aufteilung des Niederschlags in expliziten (~synoptisch-skaligen, 'RAIN NON') und parametrisierten (~konvektiven, 'RAIN CON') Anteil. Dargestellt sind die simulierten Monatssummen für 16 verschiedene Modellkonfigurationen ('run01' bis 'run16') im Vergleich zu den beobachteten Werten ('Obs.').

Für die Testsimulationen wurde ein Sommermonat mit starker Gewittertätigkeit und ein Wintermonat mit naturgemäß eher geringer Konvektion ausgewählt; diese zwei stark unterschiedlichen synoptischen Situationen wurden herangezogen, da das MM5 mit der einmal festgelegten Konfiguration in dem Modell DANUBIA integriert wird und sich ohne eine Änderung in der Modulauswahl auch über Langzeitsimulationen hinweg bewähren muss.

In einem mesoskaligen Modell wie MM5 wird der großskalige oder synoptische Niederschlag primär von dem so genannten expliziten Feuchteschema berechnet, während die eher kleinräumigen, subskaligen Gewitter von der Konvektionsparametrisierung behandelt werden. Abbildung 7 belegt, dass das MM5 grundsätzlich diese zwei verschiedenen Prozesse der Niederschlagsgenerierung realistisch zu trennen vermag (BELJAARS et al. 1996).

Nach einer gewissen Vorauswahl der in Frage kommenden MM5-Module wurden dann Simulationen der beiden Monate mit jeweils 16 verschiedenen MM5-Konfigurationen (kombiniert aus unterschiedlichen Parametrisierungen für feuchte Konvektion, turbulente Grenzschicht, explizite Feuchteprozesse und Strahlung) durchgeführt und mit Beobachtungen verglichen. Es zeigt sich durchaus eine deutliche Streuung der simulierten Niederschlagsmengen (Abb. 8) mit einer Tendenz zur Überschätzung des Niederschlags im Februar 1998 und einer Unterschätzung im mehr konvektiv geprägten Mai 2000. Auf den ersten Blick scheint 'run09' der Realität am nächsten zu kommen; da in 'run11' aber ein ausgeklügelteres Feuchteschema eingesetzt wurde, das seinerseits realitätsnähere Simulationen der Wolkenstrukturen ermöglicht und hier auch noch mehr Möglichkeiten zu Anpassung relevanter Parameter bietet, fiel die Entscheidung zu Gunsten der hier für 'run11' gewählten Konfiguration. In Abbildung 9 sind die simulierten täglichen Niederschlagsmengen im Raum München für diese zwei Konfigurationen zusammen mit den Beobachtungen (Daten von 5 Stationen des DWD) aufgetragen, woraus eine weitgehend gute Erfassung des zeitlichen Verlaufs der Niederschlagsereignisse durch das Modell hervorgeht.

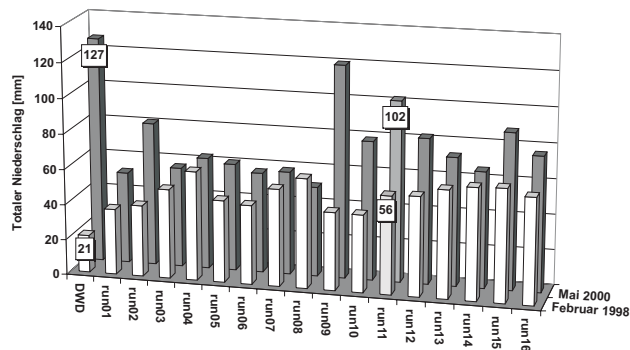


Abb. 8: Gesamter simulierter Niederschlag für Februar 1998 und Mai 2000 für verschiedene Modellkonfigurationen (run01 bis run16); zum Vergleich gemessene Daten des DWD.

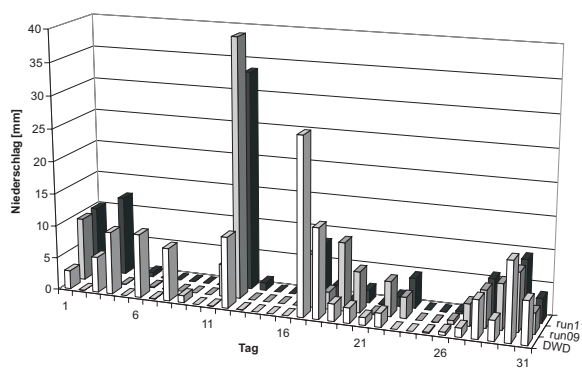
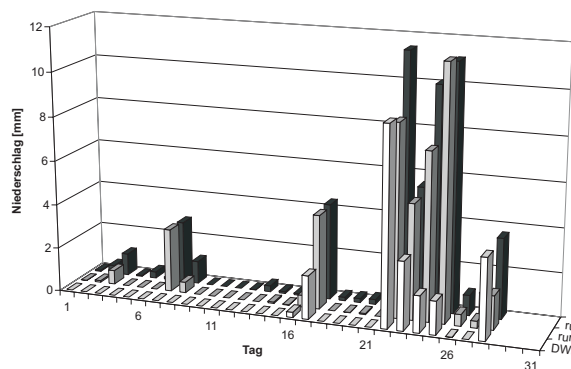


Abb. 9: Täglicher Niederschlag wie beobachtet und für zwei verschiedene Modellkonfigurationen (links Februar 1998, rechts Mai 2000).

2.3.4 Kopplung von MM5 mit Landsurface

Das MM5 verfügt über eine eigene Behandlung der Landoberflächenprozesse, die im Rahmen von GLOWA-Danube durch die ausgefeilteren Prozessbeschreibungen des *Landsurface*-Verbundobjektes ersetzt werden sollen.

Die Strategie bei der Kopplung des MM5 an das *Landsurface*-Verbundobjekt besteht darin, zunächst die MM5-eigenen Landoberflächen-Routinen vom atmosphärischen Teil sauber zu entkoppeln, um sie in einem nächsten Schritt über ein praktisch komplett separates Programmpaket wieder interaktiv an die MM5-Atmosphäre anzuschließen. Diese Entkopplung ist keine triviale Aufgabe, da die betreffenden Routinen in dem 'historisch gewachsenen' MM5 relativ eng ineinander verwoben sind. Der Clou an der anschließenden Wiederkopplung besteht darin, dass nun für den interaktiven Austausch von Landoberfläche und Atmosphäre gerade die Variablen verwendet werden, die auch für die Ankopplung des *Landsurface*-Verbundobjektes ausgewählt wurden. Dies sollte nach der erfolgten technischen Kopplung von Atmosphäre und Landoberfläche innerhalb des Modells DANUBIA äußerst hilfreich sein bei der physikalischen Anpassung der beiden Modell-Objekte, indem so eine optimale Vergleichbarkeit des Verhaltens der 'Standard'-MM5-Landoberfläche mit dem *Landsurface*-Verbundobjekt hergestellt wird. Für die Strahlungsvariablen wurde diese Entkopplung bereits erfolgreich implementiert. Die von *Landsurface* benötigte Aufspaltung der solaren Einstrahlung am Boden in den diffusen und direkten Anteil wurde im Modell MM5 ergänzend parametrisiert und steht jetzt ebenfalls zur Verfügung. Im Laufe verschiedener Testsimulation mit DANUBIA hat es sich herausgestellt, dass für eine konsistente Behandlung der solaren Strahlung in DANUBIA auch der solare Zenitwinkel von MM5 an *Landsurface* übergeben werden sollte. Hierfür wurde der Zenitwinkel im MM5 isoliert und mit in die Ausgabeparameter des MM5 aufgenommen. Im Objekt *AtmoMM5* wurde entsprechend die Übergabe dieses zusätzlichen Parameters implementiert, der jetzt an der Schnittstelle zu *Landsurface* bereitsteht.

Da das Simulationsgebiet des MM5 für eine meteorologisch sinnvolle Simulation weit über die Grenzen des DANUBIA-Gebiets hinausgehen muss, werden die Daten der MM5-eigenen Landoberflächen-Routinen außerhalb des gemeinsamen DANUBIA-Gebiets zunächst - bis zu einer entsprechenden räumlichen Ausdehnung von *Landsurface* - weiterhin benötigt.

Die interaktive Kopplung zwischen *AtmoMM5* und *Landsurface* wurde weiter vorangetrieben, jedoch mussten die Arbeiten hieran immer wieder zugunsten der Verbesserung der Niederschlagssimulation (siehe auch unten, 'MM5-Klimatologie') unterbrochen und zurückgestellt werden. Nachdem nun die sehr aufwändigen Arbeiten zur Erstellung und Verbesserung der Klimatologien abgeschlossen sein sollten, soll im Bereich der Modellierung wieder die interaktive Kopplung in den Mittelpunkt der Arbeit rücken

2.3.5 MM5 Klimatologie

Wie schon im Bericht des Jahres 2002 dargestellt, ist für das innerhalb des Atmosphäre-Objektes eingesetzte Skalierungsverfahren eine vorab zu erstellende MM5-Klimatologie notwendig. Hierzu wurde bereits im Jahr 2002 eine Langzeit-Simulation (1991-2000) mit dem MM5 durchgeführt, für die jedoch zum damaligen Zeitpunkt nur die operationellen Daten des ECMWF zur Verfügung standen. Die Ergebnisse dieser Klimatologie wurden dann zur Berechnung der Skalierungsfunktionen des Niederschlags verwendet. Im Laufe des Jahres 2003 wurden vom ECMWF die Ergebnisse des Reanalyseprojektes zur Verfügung gestellt. Da dieser Datensatz den operationellen Analysen zweifelsohne überlegen ist, wurden die damals noch anstehenden operationellen MM5-Simulationen, die direkt in das Gesamtmodell DANUBIA Eingang finden, mit diesen so genannten 'ERA'-Daten angetrieben.

Erwähnt werden soll an dieser Stelle noch, dass derartige Klimaläufe einen hohen Bedarf an Rechenzeit und Speicherkapazität mit sich bringen. So benötigt die Simulation eines

einzelnen Monats auf der im Rahmen von GLOWA beschafften Workstation bei einer horizontalen Auflösung von 45km eine reine CPU-Zeit von ca. 20 Stunden. Da die Workstation noch für weitere Entwicklungsaufgaben für GLOWA im Einsatz ist, muss effektiv von einer deutlich längeren Simulationsdauer ausgegangen werden, ganz abgesehen natürlich von gelegentlichen Systemabstürzen oder ähnlichem. Die Auswertung der produzierten Daten verschlingt dann natürlich noch weitere Ressourcen. Die Größe eines vollständigen MM5-Ausgabedatensatzes beläuft sich auf ca. 7 Gbyte für einen Monat; da diese Langzeitsimulation wertvolles Material für weitergehende Analysen darstellt, wurde beschlossen, diese Daten in vollem Umfang abzuspeichern.

Die operationellen MM5-Niederschläge werden innerhalb des *AtmoMM5*-Objektes mit den Skalierungsfunktionen auf die mit 1 km aufgelöste Proxelstruktur von DANUBIA skaliert. Wie ein Vergleich mit Daten der Gruppe Niederschlag/Fernerkundung ergab, wurde die Dynamik der Niederschlagsereignisse von den MM5-Simulationen sehr gut erfasst. Es zeigte sich jedoch, dass diese auf diese Weise erstellten Niederschlagsdaten unrealistisch hoch ausfielen und entsprechende Probleme in den anderen Modellteilen von DANUBIA mit sich brachten. Eine genauere Analyse dieser Problematik ergab, dass erhebliche Abweichungen im Niederschlag zwischen den verschiedenen MM5-Simulationen auftraten, je nachdem ob sie auf den operationellen Daten oder den ERA-Daten des ECMWF beruhten. Diese systematischen Unterschiede treten offenbar nicht nur bei Langzeitsimulationen auf; vielmehr deckten sich diese Ergebnisse auch mit den Resultaten, die eine an unserem Institut durchgeführte Studie zum Elbehochwasser erbrachte, die u.a. den Einfluss der unterschiedlichen Datenquellen auf den simulierten Niederschlag untersuchte. Dies alles führte zu dem Schluss, dass die systematischen Abweichungen zwischen der auf operationellen ECMWF-Daten beruhenden MM5-Klimatologie und den von ERA-Daten getriebenen Simulationen - insbesondere vor dem Hintergrund der hohen Anforderungen des DANUBIA an die Qualität der simulierten Niederschläge - nicht tolerabel waren. Es wurde demgemäß beschlossen eine neue Klimatologie auf Basis der ERA-Daten zu rechnen, deren Ergebnisse in die Erstellung neuer Skalierungsfunktionen eingehen sollten. Da eine einzelne kontinuierliche Simulation der 10 Jahres-Klimatologie bei weitem zu zeitaufwändig gewesen wäre, wurde der Gesamtzeitraum in 10 getrennte Simulationen aufgespalten, von denen jede einzelne am 1. November des betreffenden Vorjahres initialisiert wurde, um dem Modell eine großzügig bemessene Zeitspanne zum 'Einschwingen' insbesondere auch seines internen Wasserkreislaufs zu geben. Der sich aus dieser Einschwingphase ergebende zeitliche Überlapp von jeweils 2 Monaten pro simuliertem Jahr fand in den weiteren Berechnungen keine weitere Verwendung.

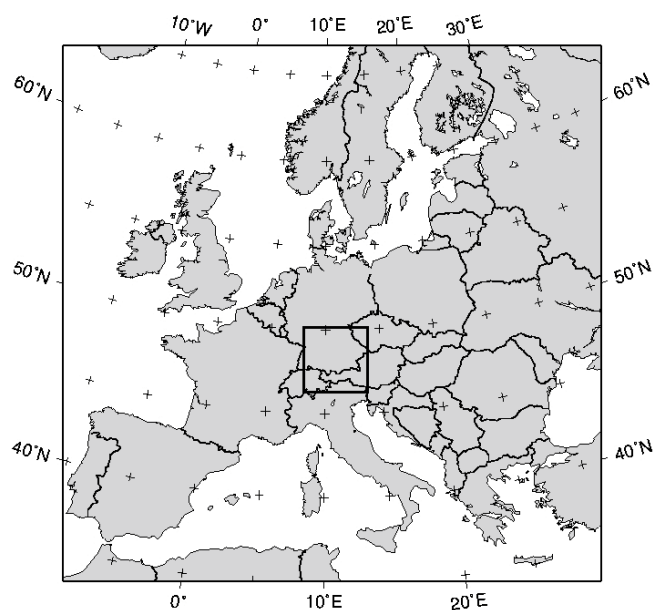


Abb. 10: Simulationsgebiet des MM5 und Untersuchungsgebiet von DANUBIA.

Ein Problem bei der möglichst realitätsnahen Niederschlagssimulation für DANUBIA besteht in dem markanten Größenunterschied zwischen dem MM5-Simulationsgebiet und dem eigentlichen Untersuchungsgebiet (s. Abb. 10 äußeres bzw. inneres Rechteck). So muss das Simulationsgebiet für MM5 groß genug gewählt werden, dass die relevanten synoptischen Systeme gut erfasst werden können. Andererseits kann es durchaus vorkommen, dass z.B. die Zugbahnen von Niederschlagsfronten in Bezug auf das DANUBIA-Gebiet, das ja bereits relativ weit von den Rändern des MM5-Gebiets entfernt ist, nicht exakt genug simuliert werden. Dies soll durch Abbildung 11 veranschaulicht werden; hier ist jeweils der Niederschlag am 24. Juni 1995 dar-

gestellt für vier jeweils etwas variierte MM5-Simulationen. Im Zentrum des Gebiets ist wieder das DANUBIA-Gebiet gekennzeichnet, während die unregelmäßige Linie die jeweilige, jeweils leicht verschobene Position eines Niederschlagsfeldes markiert. So kann es vorkommen, dass das DANUBIA-Gebiet vollständig, nur teilweise oder überhaupt nicht von dem simulierten Niederschlag erfasst wird.

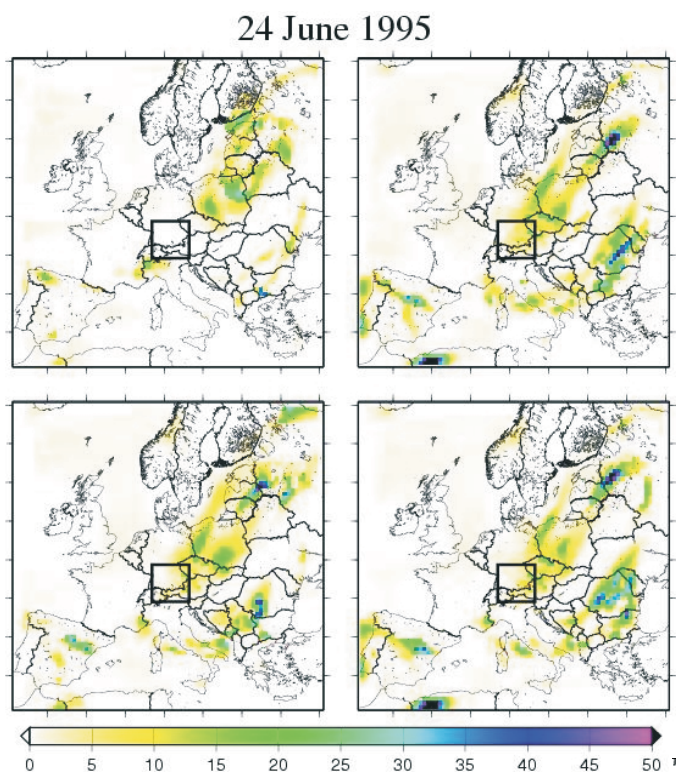


Abb. 11: Niederschlagsmuster des 24. Juni 1995 für vier etwas variierte MM5-Simulationen. Die Box in der Mitte zeigt das DANUBIA-Gebiet. Die unregelmäßige Linie kennzeichnet die jeweilige Position eines markanten Niederschlagsgebietes.

Diese Beobachtung inspirierte die Anwendung des im MM5 implementierten Datenassimilationsschemas (Four dimensional data assimilation, FDDA) innerhalb unserer Simulationen. FDDA wird gewöhnlich zur dynamischen Initialisierung oder auch zur dynamischen Analyse eingesetzt (GRELL 1995); für 'echte' Simulationen wird FDDA jedoch in der Regel abgeschaltet, da die zusätzlich in die Simulationsgleichungen eingeführten Terme einen 'nicht-physikalischen' Einfluss auf die Berechnungen ausüben würden. Aus diesem Grund wurde das FDDA-Schema des MM5 für unsere Zwecke modifiziert und zwar dergestalt, dass das FDDA nur im äußeren Bereich des Simulationsgebietes aktiv wird, während in einem großzügig bemessenen inneren Bereich, in den das DANUBIA-Gebiet eingebettet ist, das MM5 'frei' von zusätzlichen Zwangstermen laufen kann ('masked FDDA', 'MFDDA', Abb. 12). Oberhalb der Grenzschicht wurde auch im äußeren Gebiet jegliches FDDA abgeschaltet, da aufgrund der verschiedenen horizontalen Auflösungen der Unterschied in den Orographien des ECMWF-Modells und des MM5 hier zu Inkonsistenzen führen könnte.

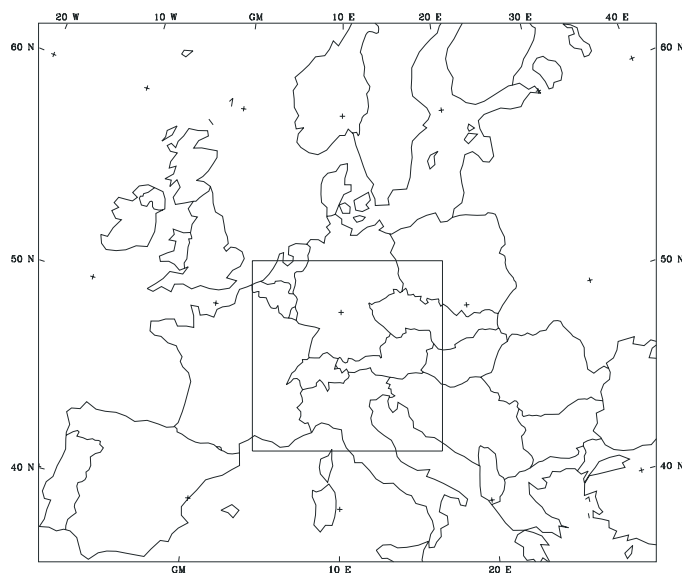


Abb. :12 MM5-Simulationsgebiet, im äußeren Bereich wird das MFDDA-Verfahren eingesetzt, während im inneren Bereich kein FDDA stattfindet.

Mittlerweile wurde mit diesem Verfahren eine weitere Klimatologie (aufgespalten in 10 Einzelläufe, siehe oben) gerechnet. Die Ergebnisse dieser Modifikation sind durchaus erfreulich.

So zeigt Abbildung 13 den mittleren Jahresgang (für die Bereiche des DANUBIA-Gebiets mit optimaler Datenlage in Bezug auf Beobachtungen); ‘EraMfd’ steht hier für die MM5-Klimatologie unter Verwendung des modifizierten FDDA-Verfahrens, ‘EraNoF’ für die Klimatologie ohne MFDDA. Die grundsätzliche Überschätzung des winterlichen Niederschlags bleibt jedoch erhalten, wobei hier auch die Problematik von Niederschlagsmessungen bei Schneefall zum Tragen kommen könnte.

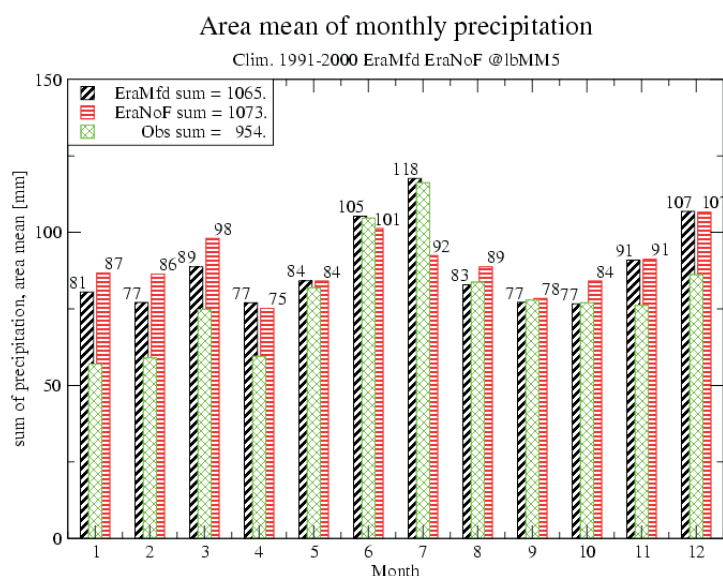


Abb. 13: Mittlerer monatlicher Niederschlag der Jahre 1991-2000. ‘EraMfd’: Einsatz des MFDDA-Verfahrens, ‘EraNoF’: keinerlei FDDA, ‘Obs’ Beobachtungen.

Abbildung 14 veranschaulicht die Einordnung des Gesamtniederschlags jedes einzelnen Jahres in Bezug auf das jeweilige Klimamittel des betreffenden Datensatzes; hieraus geht hervor, wie gut die jeweilige Simulation ein Jahr als relativ ‘trocken’ bzw. ‘feucht’ einordnen kann. Auch hier erweist sich die Simulation mit dem von uns eingesetzten MFDDA als überlegen.

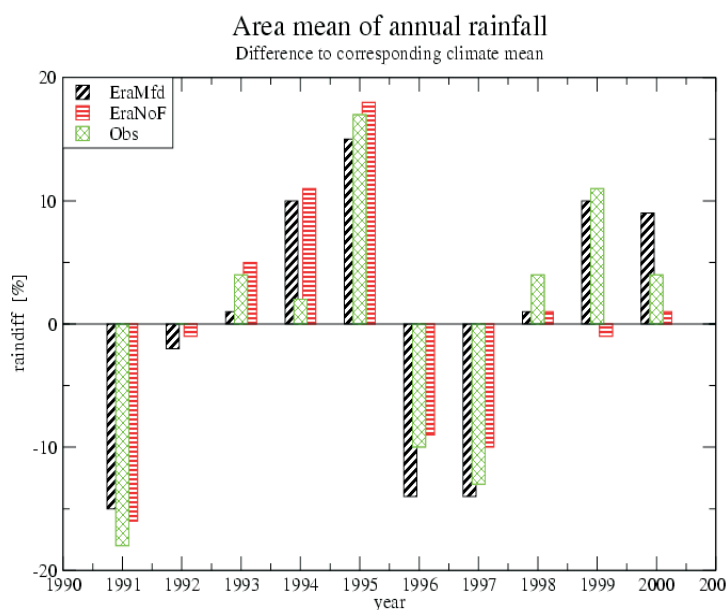


Abb. 14: Abweichung des jährlichen Niederschlags in den Klimatologien mit bzw. ohne MFDDA und in Beobachtungen vom jeweiligen Klimamittel. Klassifizierung der einzelnen Jahre als ‘relativ trocken’ bzw. ‘relativ feucht’.

Abbildung 15 schließlich stellt die Korrelation der täglichen Niederschlagssummen des simulierten Niederschlags mit den Beobachtungen dar; der Einsatz des MFDDA-Verfahrens führt auch hier zu sichtbaren Verbesserungen. Eine Veröffentlichung die dieses Verfahren

weiter erläutert ist in Vorbereitung (PFEIFFER 2004) und steht kurz vor der Einreichung. Die mit Hilfe von MFDDA erzeugte MM5-Klimatologie stellt mittlerweile die Grundlage für alle Aspekte von *AtmoMM5* dar. Vor kurzem wurde zum Vergleich noch eine kontinuierlich gerechnete MM5-Klimatologie fertig gestellt; die genauere Analyse hiervon steht noch aus. Aufgrund der großzügig bemessenen Einschwingzeit von 2 Monaten für die entsprechenden Jahressimulationen (s. oben) und dem Einsatz von MFDDA erwarten wir allerdings keine großen Abweichungen von der nicht-kontinuierlichen Simulation.

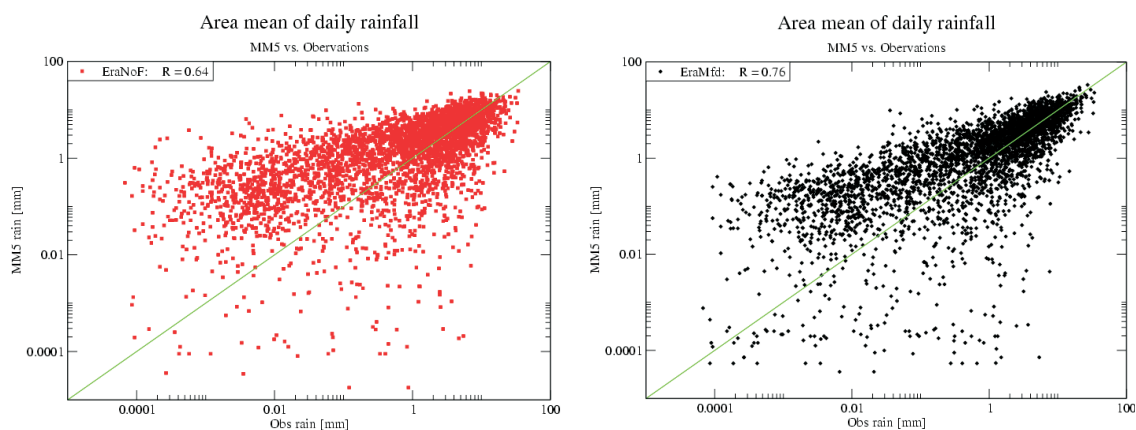


Abb. 15: Korrelation der täglichen Niederschlagssummen zwischen Simulation und Beobachtung (links ohne MFDDA, rechts mit MFDDA).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die Anstrengungen zur Verbesserung der Niederschlagssimulationen und der Skalierungsfunktionen gelohnt haben, und somit in den Referenzlauf des DANUBIA qualitativ hochwertige, realitätsnahe simulierte Niederschlagsdaten eingehen.

2.3.6 Skalierung der *AtmoMM5* Simulationen

Als meteorologische Eingabeparameter werden von DANUBIA der Niederschlag, die Temperatur, der Luftdruck, die relative Feuchte, die Windgeschwindigkeit und die Strahlung (lang- und kurzwellig und diese unterteilt in direkt und diffus) benötigt und über die externe *Atmosphere* Schnittstelle an die Verbundobjekte *Landsurface* und *Rivernetzwerk* übergeben. Da die Strahlung sehr stark von der Bewölkungssituation abhängt, ist der Bedeckungsgrad ein in der Strahlung implizit enthaltener Parameter. Der Niederschlag umfasst dabei sowohl die flüssige als auch die feste Phase - die Einzelheiten dieser Unterscheidung sind im Verbundobjekt *Landsurface* implementiert. Zur Bereitstellung dieser Parameter kann das mesoskalige Atmosphärenmodell MM5 des Objektes *AtmoMM5* verwendet werden.

Aus Gründen der Rechenzeiterparnis berechnet MM5 die meteorologischen Parameter bisher noch nicht auf dem gewünschten Proxel-Gitter von 1km. Zur Übertragung der Daten auf das feinere Gitter wurde ein hochentwickelter Skalierungsalgorithmus konzipiert und realisiert.

Die Notwendigkeit der Skalierung wird durch den Vergleich der Orographie (s. Abb. 16) bei 1km bzw 45km deutlich. Die detaillierten Strukturen im Gebirge sind in der Orographie des Modells nicht enthalten.

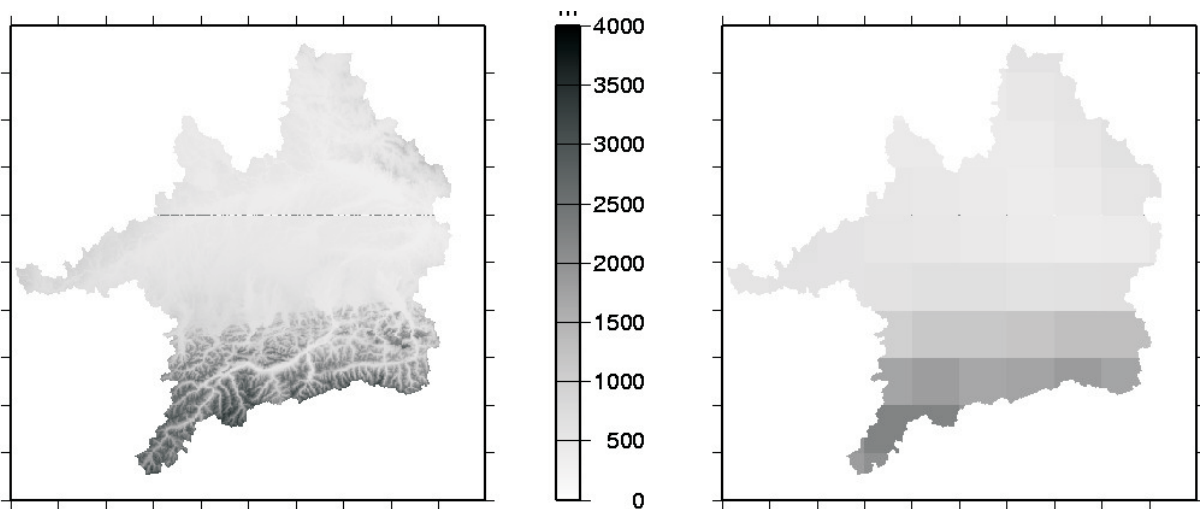


Abb. 16: Orographie, Auflösung 1km (links) und 45km (rechts).

Zur Bestimmung der gesuchten Skalierungsfunktionen wurde zunächst aus den Messreihen der Stationen eine Klimatologie über die Jahre 1991-2000 erzeugt. Abbildung 17 zeigt beispielhaft den Jahresgang des klimatologischen Niederschlags gemittelt über das Einzugsgebiet. Die rote Linie zeigt die Tagesklimatologie. Auf Grund der geringen Statistik (10 Werte) ist die tägliche Variation des Niederschlags sehr groß. Eine Methode zur Verbesserung der Statistik wurde durch Bildung von gleitenden Mittelwerten erreicht. In der Abbildung sind dazu der Jahresgang des gleitenden Mittels über 11 (grüne Linie) bzw. 31 Tagen (blaue Linie) dargestellt. Auch hier ergeben sich relativ starke Schwankungen, deren Signifikanz nicht nachgewiesen ist. Deutlich glatter wird der Jahresgang unter Verwendung der monatlichen Niederschlagsklimatologie (magenta Linie), welche anschließend mittels einer kubischen Spline Interpolation auf klimatologische Tageswerte gebracht werden. Nicht signifikante Variationen im Verlauf des klimatologischen Jahres können dadurch vermieden werden. Der entwickelte Skalierungsalgorithmus basiert daher für alle Parameter auf Monatswerten. Die Übertragung der klimatologischen Stationsdaten auf 1 km Auflösung erfolgt unter Berücksichtigung der jeweiligen Höhenabhängigkeit des Parameters und lokal-klimatischer Besonderheiten.

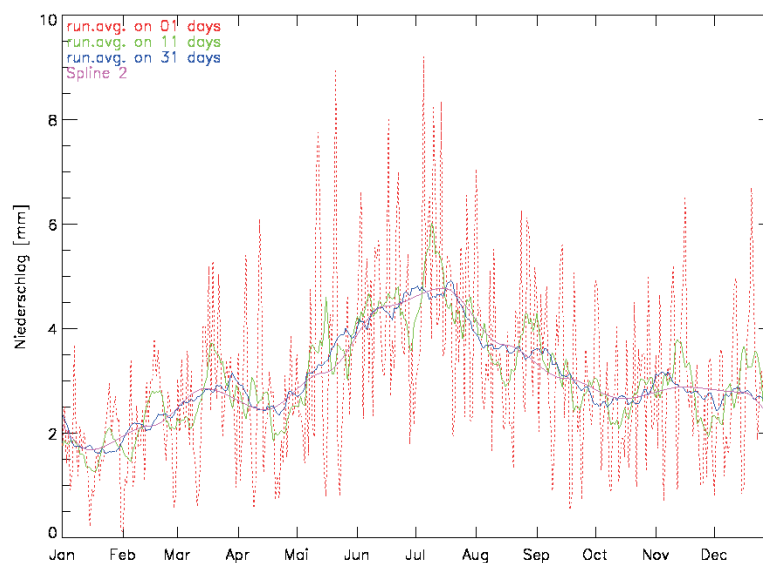


Abb. 17: Jahresgang des klimatologischen Niederschlags gemittelt über das Einzugsgebiet integriert über verschiedene Zeiträume.

Für den Niederschlag, der besonders sensitiv von der Orographie abhängt, wurde dazu der PRISM- Algorithmus (DALY et al. 1994) genutzt. Dieser berücksichtigt nicht nur die horizontalen Entfernungen und Höhenunterschiede zwischen der entsprechenden Gitterzelle und den umliegenden Stationen, sondern zusätzlich die Effekte möglicher Anhäufungen von Stationen, unterschiedlicher Gradienten in unterschiedlichen Höhenschichten, der Grad an Ähnlichkeit der topographischen Orientierung und die Nähe der Stationen zu bestimmten orographischen Besonderheiten, wie beispielsweise einer Gebirgskette. Außerdem wird die überproportional hohe Dichte von Stationen im Vorland und den Tälern im Vergleich zum Hochgebirge ausgeglichen. SCHWARB et al. (2001) wandte PRISM bereits zur Erstellung einer mittleren monatlichen Niederschlagsklimatologie basierend auf der Referenzperiode 1971-1990 auf den alpinen Raum (42,75°N-49°N, 2°O-18°O) an. Dabei konnte die ursprüngliche PRISM Auflösung von etwa 8 km durch eine sorgfältige Justierung der Parameter auf etwa 2km verfeinert werden (SCHWARB et al. 2001). Der für diese Niederschlagsklimatologie verwendete Datensatz umfasst 9546 Stationen mit täglichen Niederschlagsmessungen. Eine ausführlichere Beschreibung der Messreihen kann FREI und SCHÄR (1998) entnommen werden.

Um die Niederschlagsklimatologie der Referenzperiode 1991-2000, welche für DANUBIA benötigt wird, mit der PRISM-Klimatologie der Referenzperiode 1971-1990 zu verknüpfen, wurden zunächst die über den Zeitraum 1991-2000 gemittelten, monatlichen Stationswerte des Niederschlags mit den über den Zeitraum 1971-1990 gemittelten, monatlichen Stationswerten des Niederschlags normalisiert. Eine ausführliche Diskussion über die Vorteile der Gitterung von normalisierten Werten im Vergleich zu der additiven Abweichung des klimatologischen Wertes kann WIDMANN und BRETHERTON (2000) entnommen werden. Anschließend werden die normalisierten Werte mit Hilfe des Shepard-Algorithmus (SHEPARD 1968; RUDOLF et al. 1992) auf das reguläre 1km interpoliert. Dieser Algorithmus wichtet die Koeffizienten entsprechend der Richtung und Entfernung zum jeweiligen Gitterpunkt, berücksichtigt jedoch nicht den vertikalen Gradienten. Im Anschluss daran wird das normalisierte Feld mit der PRISM-Klimatologie, welche die Effekte der Orographie berücksichtigt, multipliziert. Dadurch erhält man für jeden Tag des Jahres ein klimatologisches Niederschlagsfeld auf dem Proxel (1km).

Für die meteorologischen Parameter Lufttemperatur, Luftdruck, Windgeschwindigkeit und relative Feuchte wird für jeden Monat des Jahres eine räumlich differenzierte Höhenfunktion bestimmt. Dazu wird für jede Station zusammen mit ihren 5 bis 10 nächsten Nachbarstationen eine Regressionsgerade bestimmt, welche die Höhenabhängigkeit des entsprechenden Parameters beschreibt. Dabei wird zunächst mit den fünf nächsten Nachbarstationen begonnen und die Güte der Regression bestimmt. Ist diese größer 0,01, so wird eine weitere Station hinzugenommen. Dieses Verfahren wird bis maximal zehn Stationen wiederholt. Ist die Güte der Regression immer noch größer 0,01, so wird für diese Station kein lokaler Vertikalgradient bestimmt. Die separate Bestimmung der Höhenfunktion pro Station bewirkt die Berücksichtigung der räumlichen Variabilität des vertikalen Gradienten. Die Parameter der Höhenregression werden gemeinsam mit dem Residuum der Station unter Verwendung des Shepard-Algorithmus gegittert. Somit ergibt sich für jede Gitterzelle eine Regressionsgerade und ein Residuum, welche zusammen den Wert der Gitterzelle bestimmen.

Aus der Interpolation der klimatologischen Stationsdaten resultieren die Felder auf dem Proxel-Gitter (1km): X^1_{obs} . Zur Bestimmung der Skalierungsfunktion werden diese Felder zusätzlich auf das von MM5 verwendete gröbere Gitter gemittelt. Zur Vermeidung räumlich zu starker Gradienten werden die auf 45 km gemittelten Werte bilinear auf 1 km Gitterweite interpoliert:

X^{45}_{obs} . Aus dem Verhältnis der Werte des feineren zum gröberen Gitter ergibt sich die Skalierungsfunktion f^1_{dist} , welche die Verteilung des simulierten Niederschlags auf die 1km Gitterzelle bewirkt:

$$f^1_{dist} := X^1_{obs} / X^{45}_{obs} \quad (\text{Gl. 1})$$

Das Subskript “*obs*” beschreibt die Felder der meteorologischen Parameter X (Niederschlag, Temperatur, Luftdruck, relative Feuchte oder Windgeschwindigkeit) aus den Beobachtungsdaten. Das Superskript „1“ und „45“ beziehen sich auf das 1km und 45km Gitter. f^1_{dist} bildet die detailliertere Struktur und höher aufgelöste Orographie auf das gröber aufgelöste Feld ab.

Im Falle des Niederschlags wird zusätzlich eine Bias-Korrektur durchgeführt, welche den simulierten auf den beobachteten Niederschlag skaliert:

$$f^1_{bias}(X = P) := P^{45}_{obs} / P^{45}_{sim} \quad (\text{Gl. 2})$$

Für alle anderen Parameter ist

$$f^1_{bias}(X \neq P) := 1 \quad (\text{Gl. 3})$$

Damit lautet die Skalierungsfunktion f^1 :

$$f^1 := f^1_{dist} * f^1_{bias} \quad (\text{Gl. 4})$$

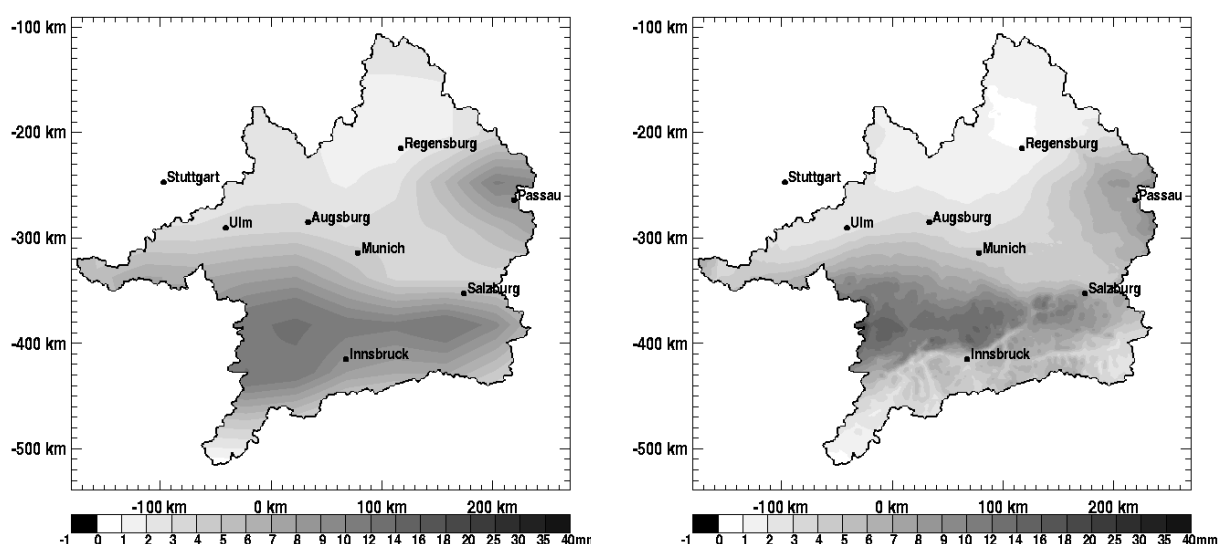


Abb. 18: Niederschlag am 30. April 1997 (links: Original MM5 Simulation (Min: 0.4mm, Max: 12.6 mm, Mittel: 5.5 mm)); (rechts: MM5 Simulation nach Anwendung der Skalierungsfunktion f (Min: 0.3 mm, Max: 19.6 mm, Mittel: 4.9 mm)).

Der linke Teil von Abbildung 18 zeigt den original MM5 Niederschlag bilinear auf das Proxelgitter interpoliert. Für diesen Tag berechnet MM5 zwei Niederschlagsmaxima. Eins davon liegt nord-westlich von Innsbruck und das andere in der Nähe von Passau. Nach Anwendung der Skalierungsfunktion ergibt sich das Niederschlagsfeld dargestellt auf dem rechten Teil der Abbildung 18. Die Folgen der Skalierung am 30.4.1997 sind folgende:

- (1) Detaillierte Strukturen als Folge der hoch aufgelösten Orographie sind im Niederschlagsfeld enthalten.
- (2) Die Position der relativen Niederschlagsmaxima und des -minimums sind erhalten.
- (3) Die Stärke dieser Maxima und des Minimums sind verstärkt.
- (4) Der mittlere Niederschlag im Einzugsgebiet ist verringert als Folge der Bias-Korrektur, da der beobachtete Niederschlag klimatologisch am 30. April höher ist als der simulierte.

Eine detaillierte Beschreibung des Skalierungsalgorithmus und die Interpretation der resultierenden Felder für den Niederschlag kann FRÜH et al. (2002) entnommen werden.

Die Korrelation zwischen den beobachteten und skalierten, simulierten Niederschlagsfeldern auf Proxel-basis ist in Abbildung 19 dargestellt. Diese Korrelation ist deutlich besser, als die Korrelation zwischen den beobachteten und nicht-skalierten, simulierten, Niederschlagsfeldern.

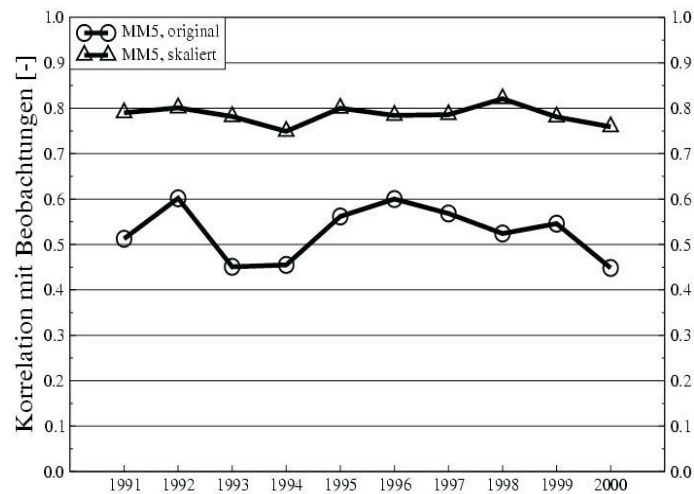


Abb. 19: Korrelation zwischen original MM5, bzw. skaliertem MM5 und beobachteten Niederschlagsfeldern auf Proxel-basis.

Bisher diente die Niederschlagsklimatologie als Grundlage zur Bestimmung der Skalierungsfunktion. Im vergangenen Jahr wurde begonnen eine Skalierungsfunktion abhängig von der herrschenden Windrichtung zu definieren. Dafür werden statt der klimatologischen Niederschlagsfelder die täglichen Felder (s. Kap. 2.3.7) verwendet. Das Ziel dieser Untersuchung ist die Bestimmung von Skalierungsfunktionen, die ein evtl. verändertes Windregime in Zukunftsszenarien berücksichtigen. Eine gründliche Prüfung dieser angepassten Skalierungsmethode steht unmittelbar bevor.

2.3.7 Tägliche Niederschlagsfelder

In Vorbereitung auf die Verbesserung des *AtmoObs* Objektes bzgl. der Niederschlagsfelder wurden bereits tägliche Niederschlagsfelder erzeugt. Die Verbesserung gegenüber dem bisher verwendeten System liegt hauptsächlich in der Verwendung zusätzlicher Messstationen. Wurden bisher in *AtmoObs* lediglich die Klima-Stationen des DWD verwendet, so sollen zukünftig auch die deutlich häufiger vorhandenen Niederschlag-Stationen des DWD verwendet werden, die jedoch nur eine Messung pro Tag aufzeichnen.

Bei der Erstellung dieser Niederschlagsfelder wurde deutlich, dass im Süden (in Österreich) des Einzugsgebietes keine Stationsmessungen verwendet werden konnten. Verursacht ist dies dadurch, dass für Österreich im Wesentlichen nur klimatologische Stationsmessungen in einer belastbaren Qualität vorhanden sind. Um dennoch Niederschlagswerte in diesen Regionen zur Verfügung stellen zu können, wurde angenommen, dass dort zu jedem Zeitpunkt klimatologische Zustände herrschen. Dazu wurden virtuelle Stationen eingeführt, welche die Klimatologie wiedergeben. Zur Bestimmung des Einflusses einzelner Niederschlagsereignisse auf den Wasserkreislauf ist dies zwar eine ungünstige Annahme, der Vorteil ist jedoch, dass langfristig der notwendige Niederschlag erhalten ist.

Abbildung 20 zeigt den Niederschlag aus den Beobachtungen vom 30. April 1997. Die Farben beschreiben die Niederschlagshöhe. Das Einzugsgebiet wird durch die schwarze Linie eingefasst. Die schwarzen Punkte beschreiben die Position der verwendeten Messstationen und die roten Punkte die Position der virtuellen Stationen. Alle Proxel, welche weiter als 25 km von der nächsten Messstation entfernt liegen, sind grau schattiert. Diese können als belastbare Proxel-Werte angesehen werden. Die täglichen Niederschlagsfelder liegen für den gesamten Zeitraum 1.1.1981-31.12.2000 vor.

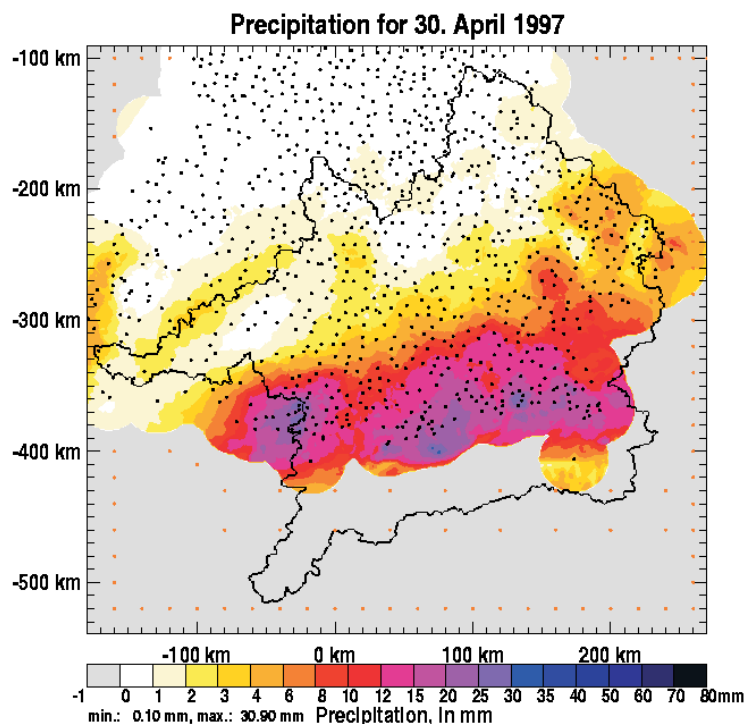


Abb. 20: Niederschlag aus Stationsmessungen vom 30. April 1997, wobei alle Proxel, welche weiter als 25km von der nächsten Messstation entfernt sind, grau schattiert sind.

Tab. 4: Täglicher Niederschlag gemittelt über das Einzugsgebiet und integriert auf Monatssummen, diese wiederum gemittelt über den 10 Jahres-Referenzzeitraum, im Vergleich zu den klimatologischen Werten und die entsprechende Differenz.

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
1991	45,37	29,60	54,71	49,59	111,31	174,70	141,44	93,47	69,83	34,89	84,24	102,25	991,39
1992	24,06	64,13	122,62	80,99	27,06	125,23	128,96	107,81	76,06	112,60	150,04	66,90	1086,45
1993	69,70	38,61	53,56	59,19	83,53	150,05	218,43	133,38	94,38	85,60	44,37	128,46	1159,27
1994	75,41	41,51	94,43	129,69	100,56	99,80	103,13	124,80	90,66	58,79	78,84	96,26	1093,87
1995	99,22	65,21	110,77	83,47	112,69	178,17	104,88	165,19	94,10	31,33	96,91	86,25	1228,18
1996	20,41	43,55	50,95	50,62	127,40	112,60	146,45	140,47	90,67	100,30	100,59	51,35	1035,35
1997	10,39	73,25	85,88	83,01	55,52	132,18	193,23	83,76	45,63	93,31	42,20	100,37	998,75
1998	49,22	25,61	90,42	59,56	66,27	140,91	133,35	77,79	150,88	160,84	111,44	56,67	1122,96
1999	67,02	126,34	68,37	87,38	165,37	126,12	128,05	92,07	84,79	51,78	90,13	120,66	1208,08
2000	62,05	87,21	147,06	46,92	123,72	86,33	176,23	120,48	116,33	91,68	61,50	51,97	1171,47
Mittelwert	52,29	59,50	87,88	73,04	97,34	132,61	147,42	113,92	91,33	82,11	86,03	86,11	1109,58
KLIMA	56,29	60,10	84,51	76,30	100,09	130,57	143,02	114,61	91,57	83,91	85,14	82,50	1108,63
Differenz	-4,01	-0,6	3,37	-3,26	-2,75	2,04	4,39	-0,69	-0,24	-1,8	0,89	3,61	0,95

Eine Möglichkeit zur Überprüfung dieser Niederschlagsfelder ergibt sich durch den Vergleich mit den klimatologischen Werten auf Basis der Monatsklimatologie. Tabelle 4 enthält den täglichen Niederschlag gemittelt über das Einzugsgebiet und integriert auf Monatssummen für den Zeitraum 1991-2000 (Zeile 2-11), sowie deren 10-Jahres-Mittelwerte (Zeile 12), im Vergleich zu den klimatologischen Monatswerten (Zeile 13). Die letzte Zeile enthält die Differenz (Zeile 13-12). Es ergibt sich eine sehr gute Übereinstimmung. Die vorhandenen Unterschiede entstehen dadurch, dass in der Klimatologie fehlende Messungen z.T. geschätzt werden können und damit auch mehr Station zur Verfügung stehen, die in die Interpolation eingehen. Damit ist sicher gestellt, dass langfristig die Niederschlagsmenge, die innerhalb von *AtmoObs* weitergegeben wird, korrekt ist.

2.3.8 Szenarien

1. Das Jahr 2003

Das Jahr 2003 zeigte auffällige Abweichungen vom langjährigen Klimamittel, wie es z.B. aus dem betreffenden Thermoplviogramm des DWD hervorgeht (Abb. 21). Folglich bietet

es sich an, dieses Jahr als meteorologisches Szenario in das DANUBIA einzuspeisen. Die mit einem Lauf des DANUBIA-Systems zu untersuchende Fragestellung wäre dann z.B.: ‘Wie reagiert der regionale Wasserkreislauf im Bereich der oberen Donau mit seinen verschiedenen Aspekten, wenn die meteorologischen Verhältnisse eines außergewöhnlichen Jahres wie 2003 fünfmal in Folge auftreten würden’. Von Seiten des *AtmoMM5* kann ein derartiger Lauf des DANUBIA jederzeit durchgeführt werden, da die entsprechende Simulation mittels des MM5 bereits durchgeführt wurde und die betreffenden Daten jederzeit in das DANUBIA eingespeist werden können.

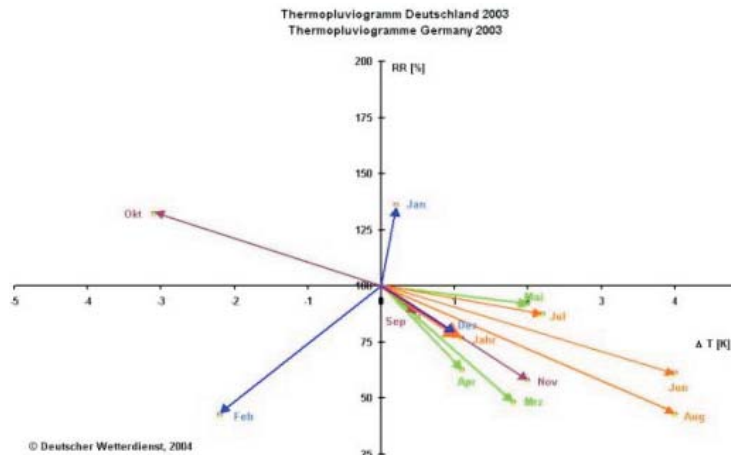


Abb. 21: Thermopluviogramm des DWD für Deutschland im Jahr 2003.

2. ECHAM 2xCO₂-Szenario

Innerhalb des Projektes wurde beschlossen, Szenarielläufe des DANUBIA durchzuführen, die auf einer Simulation eines globalen meteorologischen Modells für einen verdoppelten atmosphärischen Gehalt an CO₂ beruhen.

Aufgabe der Gruppe Meteorologie war es, einen entsprechenden Datensatz zu beschaffen. Hierfür wurde Kontakt zur Gruppe ‘Modelle & Daten’ am DKRZ hergestellt. Von vielen globalen Simulationen sind teilweise nur Monatsmittelwerte verschiedener bodennaher meteorologischer Parameter zugänglich; dies ist für die Verwendung in MM5 unbrauchbar, da MM5 auf komplette drei-dimensionale Datensätze in einer nicht zu groben zeitlichen Auflösung angewiesen ist. Es ließ sich aber ein geeignetes, mit dem Modell ECHAM4 gerechnetes Szenario (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, Szenario IS92a, 2xCO₂) identifizieren, für das grundsätzlich geeignete Datensätze am DKRZ vorliegen. Der Datensatz umfasst 10 Jahre, die laut Szenarienvorgabe etwa in der Dekade 2041-2050 angesiedelt sind.

Ein wesentliches Problem ergab sich daraus, dass in dem am DKRZ abgespeicherten Datensatz nicht der ‘Mean Sea Level Pressure’ mit abgespeichert wurde, der jedoch für das MM5 unbedingt benötigt wird. Grundsätzlich lässt sich zwar auch der zur Verfügung stehende Bodendruck nachträglich auf Meeressniveau reduzieren. Umfangreiche Studien hierzu mit den uns zugänglichen, auf Druckniveaus vorliegenden Daten zeigten jedoch keine zufriedenstellenden Ergebnisse; der nachträglich erstellte Druck auf Meeressniveau zeigte nicht tolerable Defizite. Es zeigte sich, dass es nur anhand der originalen ECHAM-Ausgabedateien und den hier auf den ECHAM-Modellleveln vorliegenden Druck- und Temperaturfeldern möglich ist, ein brauchbares Druckfeld auf Meereshöhe zu ermitteln. Nach Klärung dieses Sachverhalts erklärte sich die Gruppe ‘M&D’ dankenswerterweise bereit, die entsprechenden Originaldaten für uns aufzubereiten. Bedauerlicherweise wurde hierbei eine zehn Tage umfassende, nicht zu rekonstruierende Datenlücke in den Originaldateien offenbar. Da die entsprechende DANUBIA-Simulation aber nur 5 Jahre umfassen soll, sollte das Projekt GLOWA-Danube hiervon nicht tangiert sein.

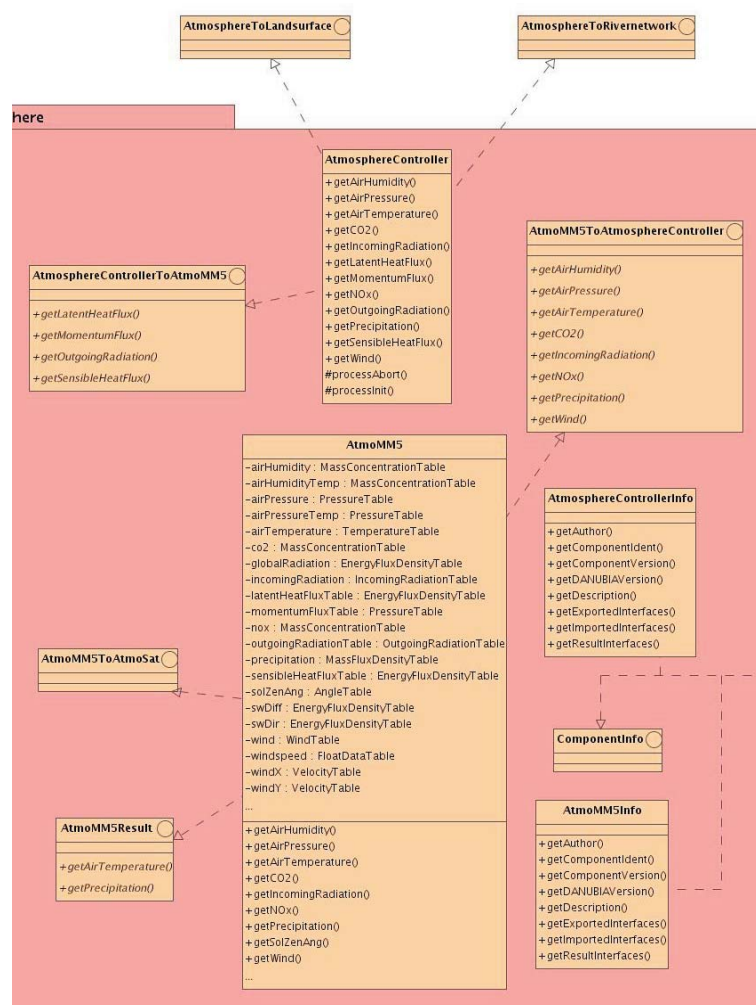


Abb. 22: *AtmoMM5* als Teil des Verbundobjektes *Atmosphäre* in UML-Notation.

Nachdem die vom MM5 benötigten ECHAM-Daten im Prinzip vollständig vorhanden waren, musste noch eine für mehrere globale Klimamodelle spezifische Eigenheit berücksichtigt werden: ECHAM basiert nicht auf dem gewohnten Gregorianischen Kalender, sondern teilt das Jahr in 12 Monate a 30 Tage ein. MM5 musste hierfür von uns erst vorbereitet werden, was den Eingriff in mehrere Routinen des Modells erforderte. Inzwischen wurden 5 Jahre des 2xCO₂-Szenarios mit MM5 gerechnet. Die Dateien sind im Prinzip abrufbereit, müssen jedoch noch analysiert werden. Bevor ein entsprechender Lauf des DANUBIA durchgeführt werden kann, ist insbesondere die Frage des speziellen Kalenders noch mit den anderen Gruppen zu klären.

2.4 Realisierung in DANUBIA (UML)

2.4.1 Schnittstellen

Während der ersten Projektphase wurden gemeinsam mit der Gruppe Niederschlag/Fernerkundung und in Absprache mit den Gruppen Hydrologie/Fernerkundung und Oberirdisches Gewässer die Schnittstellen des *Atmosphäre* Verbundobjektes mit Hilfe von UML diskutiert und implementiert (s. Abb. 22, bzw. Bericht Niederschlag/Fernerkundung). Für eine prinzipielle Beschreibung der UML Notation sei auf die Gruppe Informatik verwiesen. Die drei Objekte des *Atmosphäre* Verbundobjektes (*AtmoSat*, *AtmoMM5* und *AtmoObs*) sind über die internen Schnittstellen verknüpft. Die Ansteuerung der Teilobjekte und die Kommunikation mit den weiteren Paketen des Gesamtmodells DANUBIA wird über den *AtmosphäreController* gesteuert. Die externen Schnittstellen beschreiben den Datentransfer zu den

Verbundobjekten *Landsurface* und *Rivernetwork*. Die gesamte Architektur soll soweit offen gehalten werden, dass auch weitere Datenanforderungen leicht implementiert werden können. So zeichnet sich z.B. auch Bedarf an speziellen meteorologischen Daten seitens der Touristik und der Agrarökonomie ab. Die Verknüpfungen zu den anderen Disziplinen wurden mit Hilfe der UML Software in mehreren interdisziplinären Arbeitsschritten weiter konkretisiert. Die Einbettung des *AtmoMM5* in das Atmosphere-Objekt, dargestellt in UML-Notation, ist dem Bericht des Teilprojekts Niederschlag/Fernerkundung zu entnehmen.

2.4.2 Implementierung des *AtmoMM5* – Objektes

Eine MM5-Simulation muss im voll gekoppelten Modus in den Zeittakt des Gesamt-Systems DANUBIA eingefügt werden und regelmäßig Daten mit anderen Teilmodellen (Objekten) austauschen. Hierzu wurden SteuerCodes definiert, die über die Java-Struktur mit der zentralen Fortran-Routine des MM5 kommunizieren und so den Ablauf des MM5-Programms und den Datenaustausch mittels neu geschaffener I/O-Routinen mit dem Gesamtmodell synchronisieren.

2.4.3 Tests und Validierung von *AtmoMM5*

Da *AtmoMM5* noch nicht im interaktiv gekoppelten Modus in DANUBIA mit läuft, konnte MM5 vorab gerechnet werden. Dadurch konnte die Rechenzeit von DANUBIA erheblich verringert werden. Das Downscaling der MM5-Simulationsdaten findet jedoch innerhalb des Gesamtmodells DANUBIA im Objekt *AtmoMM5* statt.

Die Validierung und Qualitätskontrolle der MM5-’roh’-Daten ist den Kapiteln 2.3.3 und 2.3.5 zu entnehmen; die entsprechende Bewertung der letztlich in das DANUBIA-System eingespeisten *AtmoMM5*-Daten wurde bereits im Kapitel 2.3.6 angesprochen.

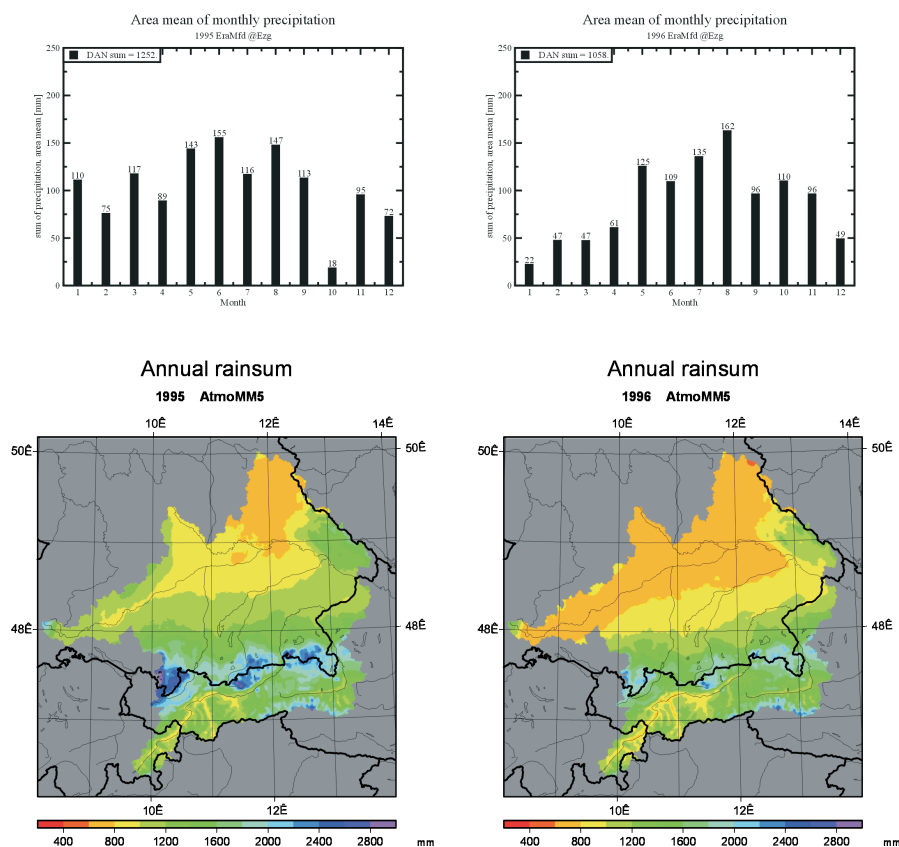


Abb. 23: Niederschläge in 1995 und 1996, oben: monatliche Niederschlags-summen im Einzugsgebiet; unten: Muster des Jahresgesamtniederschlags des jeweiligen Jahres.

In Abbildung 23 sind die monatlichen Niederschlagssummen und die über das Jahr 1995 bzw. 1996 aufsummierten Niederschlagsmuster dargestellt, wie sie von *AtmoMM5* in das DANUBIA für das Einzugsgebiet eingespeist werden; schon hier ist eine beträchtliche interannuelle Variabilität zu erkennen.

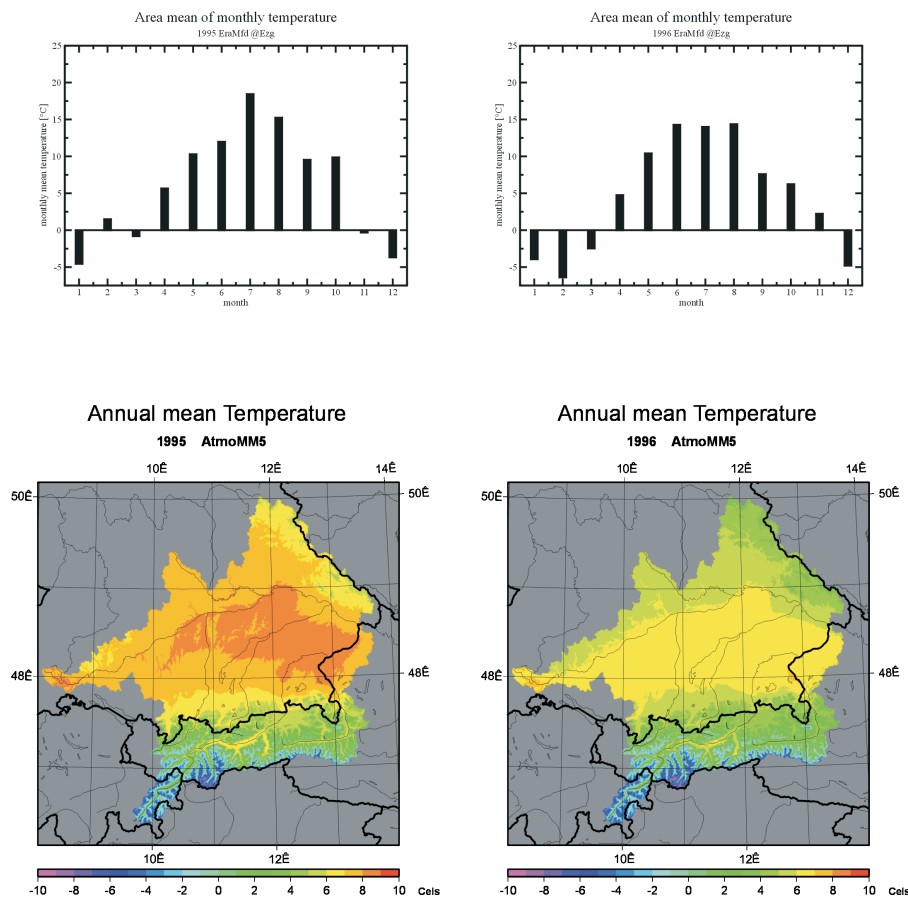


Abb. 24: Bodennahe Temperatur in 1995 und 1996, oben: monatliche Flächenmittel im Einzugsgebiet; unten: Muster der Jahresmitteltemperatur des jeweiligen Jahres.

Abbildung 24 gibt dementsprechend die Monatsmittelwerte der bodennahen Temperatur wieder.

Weitergehende Untersuchungen insbesondere zum Niederschlag in DANUBIA werden im folgenden Abschnitt behandelt.

2.4.4 Vergleich des Niederschlags von *AtmoMM5*, *AtmoStations*, *AtmoSat* und *AtmoObs*

1. Vergleich der monatlichen Niederschlagssummen gemittelt über das Einzugsgebiet

Für die Referenzläufe des DANUBIA wurden die Jahre 1995 und 1996 herangezogen. Der grundsätzliche Unterschied in beiden Läufen besteht in der Quelle der meteorologischen Daten; während der erste Lauf von den räumlich und zeitlich interpolierten Beobachtungsdaten des *AtmoStations*-Objektes angetrieben wurde, wurden im zweiten Lauf für den identischen Zeitraum die Simulationsergebnisse des *AtmoMM5* in das DANUBIA eingespeist (zum Vergleich von *AtmoMM5*, *AtmoSat* und *AtmoStations* siehe auch den Bericht des Projekts Niederschlag/Fernerkundung).

Abbildung 25 zeigt die Monatssummen des Niederschlags der Jahre 1995 und 1996 generiert mit den unterschiedlichen Methoden *AtmoMM5* (blau), *AtmoStations* (rot), *AtmoSat*

(grün) und *AtmoObs* (schwarz) und zusätzlich die original MM5 Werte (blaue, gepunktete Linie). Auf Basis dieser gemittelten Monatssummen wird deutlich, dass alle Methoden einen ähnlichen Verlauf während dieser zwei Jahre zeigen. Es wird deutlich, besonders im Frühjahr 1995, dass die systematisch etwas zu hohen winterlichen Niederschläge des original MM5 durch das innerhalb *AtmoMM5* eingesetzte Skalierungsverfahren erfolgreich korrigiert ist. Dennoch müssen durchaus grundsätzliche Unterschiede in den Datensätzen konstatiert werden. Diese beruhen im wesentlichen darauf, dass in *AtmoStations* und *AtmoObs* Daten operationeller Wetterstationen, deren zeitliche Auflösung im Bereich mehrerer Stunden liegt, räumlich auf Proxel und zeitlich auf Stundenwerte interpoliert werden. Dies kann je nach Situation zu einer übermäßigen zeitlichen Glättung von Niederschlagsereignissen oder auch zu etwas abrupten Sprüngen der Niederschlagsraten führen. Demgegenüber stammen die Daten von *AtmoMM5* aus einer kontinuierlichen Simulation, was sich in einer deutlich realistischeren Dynamik in den meteorologischen Feldern niederschlägt.

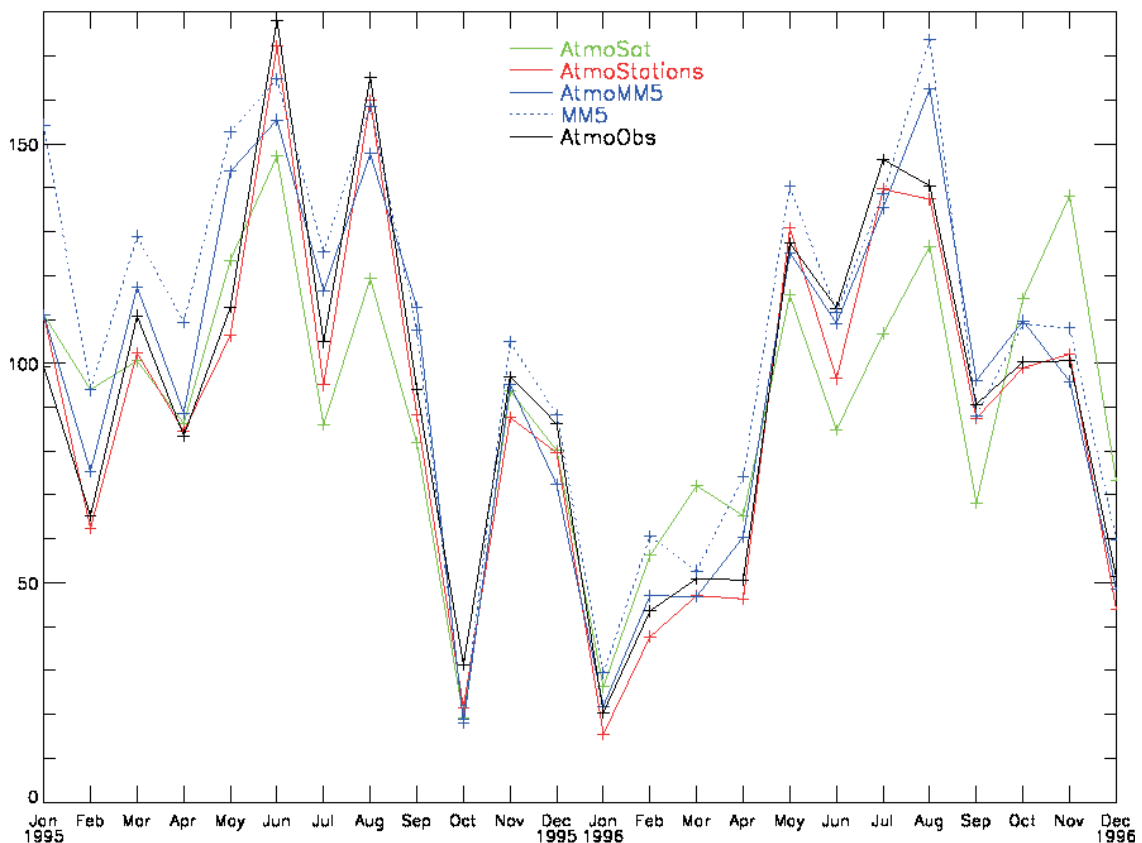


Abb. 25: Monatssummen des Niederschlags der Jahre 1995 und 1996 generiert mit den unterschiedlichen Methoden *AtmoMM5*, *AtmoStations*, *AtmoSat* und *AtmoObs*. Zusätzlich sind die original MM5 Werte aufgetragen.

2. Vergleich der räumlichen Niederschlagsverteilung

Abbildung 26 zeigt einen Vergleich der räumlichen Verteilung des Niederschlags am Beispiel der Monate Februar und Juli 1999. In der obersten Reihe ist der Niederschlag des *AtmoMM5* aufgetragen. In beiden Monaten fällt das Maximum des Niederschlags im Alpenvorland (im Westen mehr als im Osten). Die Alpentäler und der nördliche Teil des Gebiets sind deutlich trockener.

Die zweite Zeile zeigt den Niederschlag nach *AtmoStations*. Auffällig sind die radialen Niederschlagsmuster, welche häufig in *AtmoStations* auftreten. Diese sind durch einzelne, übermäßig akzentuierte Stationen in der räumlichen Interpolation hervorgerufen. Das Maximum des Niederschlags im Juli 1999 fiel im Süd-Osten des Gebietes. Diese Unterschiede der zwei verschiedenen 'Meteorologien' in Mustern und Dynamik können durchaus für Un-

terschiede der beiden Referenzläufe verantwortlich gemacht werden - selbst wenn die für das Untersuchungsgebiet akkumulierten Niederschlagssummen nicht sonderlich voneinander abweichen.

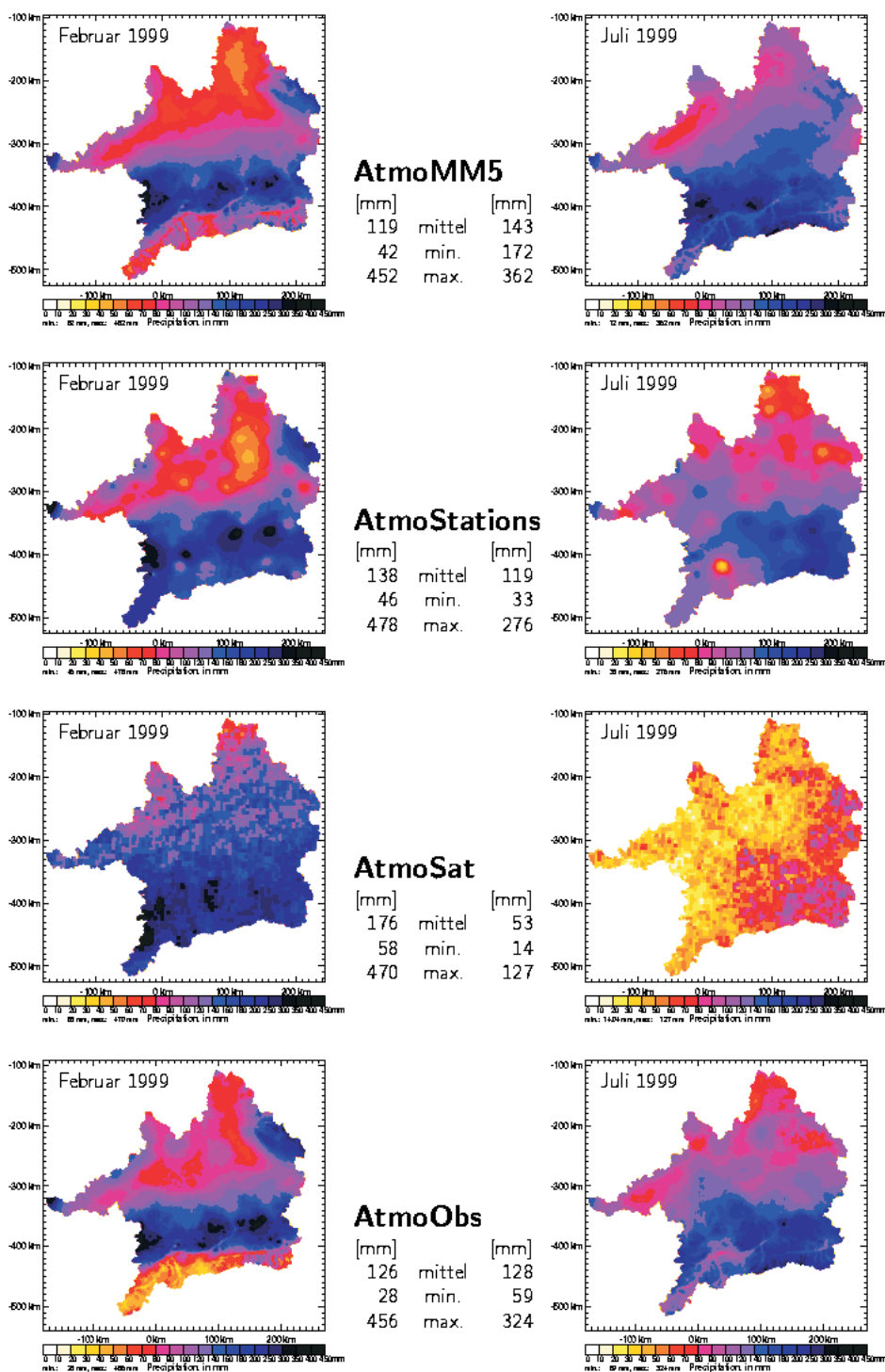


Abb. 26: Vergleich verschiedener Methoden zur Generierung der Niederschlagsfelder am Beispiel der Monate Februar und Juli des Jahres 1999.

Die dritte Zeile zeigt den Niederschlag aus *AtmoSat*. Die räumliche Verteilung ist hierbei ähnlich der beiden vorher diskutierten Methoden, wobei jedoch die Niederschlagsmenge im Februar höher und im Juli geringer ist als bei *AtmoMM5* und *AtmoStations*. Auch fällt das Maximum des Niederschlags aus *AtmoSat* auf dem Alpenkamm.

In der letzten Zeile von Abbildung 26 sind die Niederschlagsfelder aus dem neu entwickelten *AtmoObs* dargestellt, welches bereits in Kapitel 2.3.7 vorgestellt wurde. Die räumliche Verteilung ist ähnlich wie bei den vorher diskutierten Methode. Das Maximum des Niederschlags fiel im Vorland der Alpen. Wie bei *AtmoStations* und *AtmoSat* ist auch bei *AtmoObs* im Juli das Maximum im Süd-Osten des Gebietes. Die innere Bergregion ist deutlich trockener als das Vorland. Der äußerst geringe Niederschlag im Süden des Gebiets (besonders im Februar) ist jedoch vermutlich ein Artefakt: da in dieser Region nicht ausreichend Messungen vorhanden sind, werden klimatologische Werte zu Hilfe genommen (s. [Kap. 2.3.3](#)). Der Vergleich von *AtmoStations* und *AtmoObs* zeigt, dass die radialen Niederschlagsmuster durch die Verwendung der PRISM Klimatologie nicht mehr hervortreten. Die Verwendung der Niederschlagsstationen im Fall von *AtmoObs* führt zusätzlich zu detaillierteren Niederschlagsmustern im Vergleich zu *AtmoStations*.

2.4.5 Analyse der Ergebnisse in Kooperation mit anderen Teilprojekten

Die Analyse der Ergebnisse der Referenzläufe in Kooperation mit der Gruppe Glaziologie (siehe den entsprechenden Teilbericht) hat ergeben, dass die simulierten Niederschläge nach den genannten Verbesserungen mittlerweile auch im Alpenbereich sehr realitätsnah ausfallen. Insgesamt ergibt sich mit *AtmoMM5* in der Schneeakkumulation eine bessere flächenhafte Verteilung als mit den Niederschlägen aus *AtmoStations*. Jedoch treten bei *AtmoMM5* deutlich zu stark ausgeprägte Tagesgänge der Temperatur auf, insbesondere mit zunehmender Höhe. Der Mittelwert der Temperatur dagegen bewegt sich in realistischen Bereichen. Die sehr niedrigen Nachttemperaturen führen dann zu einer unrealistisch starken Akkumulation der Schneedecke. Die Ursache könnte in dem Skalierungsverfahren für die Temperatur liegen. Ansätze zur Verfeinerung der betreffenden Verfahren werden zur Zeit in der Gruppe Meteorologie diskutiert und ausgearbeitet.

Des weiteren ergaben sich bei Analysen der Gruppe Hydrologie/Fernerkundung markante Unterschiede in der Evapotranspiration je nach Verwendung von *AtmoStations* oder *AtmoMM5*. Inwieweit ebenfalls der Tagesgang der Temperatur hierfür verantwortlich ist, oder ob noch andere meteorologische Eingangsgrößen eine Rolle spielen ist Gegenstand weiterer Untersuchungen.

Ein interessanter Effekt war in den Ergebnissen der Gruppe Biological zu beobachten; so ergeben sich mittels eigener Energiebilanzen des Biological-Objektes höhere Temperaturmaxima im Bestand einer Wiese mit Daten aus *AtmoStations* als dies im Falle von *AtmoMM5* zu verzeichnen war; außerdem führen die Daten des *AtmoMM5* zu einem schnelleren Pflanzenwachstum, was sich letztlich im Erreichen des gesetzten Grenzwertes für den Wiesenschnitt äußert.

3. Zusammenfassung

3.1 Stand der Entwicklung

Bei der Entwicklung und Anpassung von *AtmoMM5* an die vom Projekt gestellten Anforderungen konnten große Fortschritte gemacht werden, so dass jetzt qualitativ hochwertige, realitätsnahe simulierte Niederschlagsdaten an DANUBIA weitergegeben werden. Insbesondere der Übergang zu den ERA-Daten hat sich als sehr wertvoll erwiesen, was den erheblichen zusätzlichen Aufwand rechtfertigt. Des weiteren zeigte das für unsere Zwecke speziell modifizierte FDDA-Verfahren sehr erfreuliche Resultate. Das Downscaling-Verfahren hat mittlerweile einen sehr hohen Entwicklungsstand erreicht und ermöglicht eine äußerst realitätsnahe Verteilung der MM5-Resultate auf die hoch aufgelöste Proxel-Struktur von DANUBIA.

Die Untersuchung der Korrelation zwischen simulierter Bodenfeuchte und beobachtetem Niederschlag zeigte überraschende Ergebnisse, die detaillierter und im Zusammenhang mit

Messungen der Bodenfeuchte näher beleuchtet werden sollen. Auch versprechen die Untersuchung hinsichtlich des Tagesgangs thermodynamischer Grenzschichteigenschaften und von CAPE interessante Ergebnisse im Bezug auf die Auslösung konvektiven Niederschlags.

3.2 Ausblick auf die zweite Förderphase

1. Die Skalierungsfunktion für die meteorologischen Parameter wird weiterhin überprüft und, soweit notwendig, verbessert werden (s. Kap. 2.3.6). Insbesondere bezüglich der bodennahen Temperatur sind Inkonsistenzen zwischen *AtmoMM5* und *AtmoStations* bei den Gruppe Glaziologie und Pflanzenökologie aufgetreten (s. Kap. 2.4.5).
2. Fortsetzung der statistischen Untersuchung zur Korrelation zwischen der simulierten Bodenfeuchte und dem beobachteten Niederschlag (s. Kap. 2.2.5). In der zweite Förderphase soll auch von Messungen der Bodenfeuchte Gebrauch gemacht werden.
3. Fortsetzung der Untersuchung zum Tagesgang thermodynamischer Eigenschaften in der Grenzschicht (s. Kap. 2.2.2).
4. Weitere Kopplungsarbeiten *MM5-Landsurface*:
Nachdem in der ersten Phase die Analyse und Verbesserung des von *AtmoMM5* simulierten Niederschlags im Vordergrund stand, werden in der zweiten Phase auch die übrigen innerhalb des DANUBIA verwendeten meteorologischen Variablen stärker in den Mittelpunkt der Untersuchungen rücken. Auch die von *Landsurface* an *AtmoMM5* gelieferten Variablen werden kritisch beleuchtet werden. Dies wird insbesondere auch im Rahmen der interaktiven Kopplung von *AtmoMM5* an *Landsurface* (Stichwort 'Fehlerfortpflanzung') eine zentrale Rolle spielen.
5. Im Rahmen der Qualitätssicherung sollen die vom MM5 berechneten und anschließend auf Proxel skalierten Niederschlagsfelder, mit den Daten der Gruppen *Niederschlag/Fernerkundung* (Bendix) und den täglichen Niederschlagsfeldern (s. Kap. 2.3.7) verglichen werden.
6. Idealisierte MM5-Modellierung
7. Übergang von täglichen auf stündliche Niederschlagsfelder und Einbindung von *AtmoObs* in DANUBIA. Die täglichen Niederschlagsfelder sollen auf stündliche Werte skaliert werden. Dazu werden die wenigen Messstationen, welche stündlich aufzeichnen, den Tagesgang liefern, welcher auf das gesamte Einzugsgebiet interpoliert wird. Außerdem wird versucht zusätzliche Messdaten aus Österreich zu bekommen, um das Gebiet mit belastbaren Proxel-Werten zu vergrößern.
8. Datenassimilation innerhalb des MM5 mit Satellitendaten
9. Einbau einer zusätzlichen Schnittstelle von *AtmoMM5* zu Tourismus und Agrarökonomie, um zusätzlich angemeldeten Bedarf an meteorologischen Daten (Sonnenscheindauer, Tagesextrema der Temperatur, etc.) abzudecken.
10. Weitere Szenarienrechnungen unter Einbezug des *AtmoMM5* (z.B. künstliches 'Extremklima').
11. Untersuchungen zum optimalen DANUBIA-Kopplungszeitschritt insbesondere im interaktiv gekoppelten Modus.

4. Literatur

- BELJAARS, A.C.M., VITERBO, P., MILLER, M.J. und BETTS, A.K. (1996): The anomalous rainfall over the United States during July 1993: sensitivity to land surface parameterization and soil moisture anomalies, *Monthly Weather Review*, 124, p. 362-383.
- COSMA, S., RICHARD, E. und MINISCLOUX, F. (2002): The role of small-scale orographic features in the spatial distribution of precipitation, *Quart. J. of the Meteor. Society*, 128, p. 75-92.
- DALY, C., NEILSON, R.P. und PHILLIPS, D.L. (1994): A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain, *J. Appl. Met.*, 33, p. 140-158.
- 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, p. 1493-1513.
- ELTAHIR, E.A.B. und PAL, J.S. (1996): Relationship between surface conditions and subsequent rainfall in convective storms, *J. Geophys. Res.*, 101, p. 26237-26245.
- FINDELL, K.L. und ELTAHIR, E.A.B. (1997): An analysis of the soil moisture – rainfall feedback, based on direct observations from Illinois, *Water Resour. Res.*, 33, p. 725 -735.
- FREI C. und SCHÄR, C. (1998): A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain-gauge observations, *Int. J. Climatol.*, 18, p. 873-900.
- GIORGI, F., MEARNS, L.O., SHIELDS, C. und MAYER L. (1996): A regional model study of the importance of local versus remote controls of the 1988 drought and the 1993 flood over the Central United States. *J. Climate*, 9, p. 1150 - 1162.
- 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 pp.
- HAKLANDER, A.J. und van DELDEN, A. (2003): Thunderstorm predictors and their forecast skill for the Netherlands. *Atmos. Res.*, 67-68, p. 273-299.
- HUNTRIESER, H., SCHIESSER, H.H., SCHMID, W. und WALDVOGEL, A. (1997): Comparison of traditional and newly developed thunderstorm indices for Switzerland, *Weather and Forecasting*, 12, p. 108-125.
- 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.
- SCHÄR, CH., LÜTHI, D., BEYERLE, U. und HEISE, E. (1999): The soil-precipitation feedback: A process study with a regional climate model. *J. Climate*, 12, p. 722-741.
- 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 1.
- SHEPARD, D. (1968): A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data, Proc. 23rd ACM Nat. Conf., *Brandon/Systems Press, Princeton NJ*, p. 517-524.
- von STORCH, H. und ZWIERS, F.W. (2000): Statistical analysis in climate research. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

- WIDMANN, M. und BRETHERTON, C.S. (2000): Validation of mesoscale precipitation in the NCEP reanalysis using a new grid-cell data set for the northwestern United States, *J. Climate*, 13, p. 1936-1950.
- WIDMANN, M., BRETHERTON, C.S. und SALATHÉ, E.P. Jr. (2003): Statistical precipitation downscaling over the Northwestern United States using numerically simulated precipitation as a predictor, *J. Climate*, 16, p. 799-815.
- WILLIAMS, E. und RENNO, N. (1993): An analysis of the conditional instability of the tropical atmosphere, *Mon. Weather Rev.*, 121, p. 21-36.

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

Teilprojekt: Niederschlag/Fernerkundung
Leiter: Prof. Dr. Jörg Bendix
Ausführende Stelle: Philipps-Universität Marburg, Lehrstuhl für Geoökologie,
Klimatologie und Fernerkundung, Fachbereich Geographie
Biegenstr. 10 & 12, 35032 Marburg

Organisation

Kurzbeschreibung des Teilprojektes

Die integrative Zielsetzung des Teilprojektes Niederschlag/Fernerkundung ist die Bereitstellung raum-zeitlich hoch aufgelöster und flächendeckender Niederschlagsinformationen. Die Niederschlagsdaten dienen zum einen dem Betrieb von DANUBIA, zum anderen der Validierung der im Mesoskalamodell MM5 (Gruppe Meteorologie/MM5) simulierten Niederschläge. Die sektorale Zielsetzung ist die Qualitätsverbesserung von satellitenbasierten Niederschlagsretrievalverfahren in den mittleren Breiten durch die Berücksichtigung mikrophysikalischer Wolkeneigenschaften, deren Ableitung mit der spektral erweiterten Auflösung der neuesten Satellitensysteme möglich ist.

Personal

Bewilligt wurden dem Teilprojekt Niederschlag eine Doktorandenstelle (BAT IIa/2, Pos. 0812).

Wissenschaftler

Für die Durchführung der Arbeiten wurde die Projektstelle (BAT IIa/2, Pos. 0812) zum 01.02.2001 zunächst mit Herrn Dipl. Geograph Markus Schneider besetzt, der krankheitsbedingt ab Mai 2001 nicht mehr zur Verfügung stand und zum 30.09.2001 kündigte. Zum 01. Januar 2002 konnte die vakante Doktorandenstelle mit Herrn Dipl. Geograph Thomas Nauß neu besetzt werden. Aus der Grundausrüstung war am Projekt neben dem Antragsteller Herr Dr. Christoph Reudenbach beteiligt. Zudem konnte ab 15. September 2002 eine neu zur Grundausrüstung gehörende Technikerstelle mit Herrn Dipl. Informatiker (FH) Maik Dobbermann besetzt werden, dessen Arbeitskraft ebenfalls teilweise dem Projekt zur Verfügung stand und steht.

Wissenschaftliche Hilfskräfte

Mittel für wissenschaftliche Hilfskräfte wurden aus der Grundausrüstung aufgebracht. Die Gelder erlaubten jedoch nur jeweils sehr kurz befristete Verträge für 1 Hilfskraft.

Anschaffungen

Im folgenden eine Übersicht über die Ausgaben gemäß der Antragspositionen der Jahre 2001 bis 2004. Der Kontostand zu zum Ende der 1. Projektphase ist ausgeglichen.

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

	2001 DM	2001 €	2002 €	2003 €	2004 €	gesamt €
Personal*)	30,678.88	15,685.86	28,877.83	25,812.30	4,086.10	74,462.09
Geräte	32,078.46	16,401.46	5,754.00	0.00	-743.82	21,411.64
Verbrauchsmaterial	0.00	0.00	807.78	277.08		1,084.86
Geschäftsbedarf	56.91	29.10	0.00	247.55	-247.55	29.10
Dienstreisen/Inland	1,965.46	1,004.92	2,183.60	0.00		3,188.52
Dienstreisen/Ausland	0.00	0.00	786.55	0.00		786.55
Summe	64,779.71	33,121.34	38,409.76	26,336.93	3,094.73	100,962.76

Veranstaltungen

Im Rahmen des GLOWA-Danube Projekts beteiligte sich die Gruppe Niederschlag/Fernerkundung an mehreren anderen Projekten. Insbesondere das aus Grundmitteln finanzierte und im Ammertestgebiet eingesetzte Niederschlagsvertikalradar konnte im Rahmen einer Messkampagne in Cabauw (BBC2) umfangreich validiert werden. Im Hinblick auf das weiterentwickelte Niederschlagsretrieval fanden regelmäßige Treffen der International Precipitation Group (OPWG/WMO) 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 Projektes fanden verschiedene Treffen/Workshops aller Projektpartner statt. Darüber hinaus trafen sich die meteorologischen Teilprojekte (Meteorologie/MM5 - Egger, Meteorologie/Stationsdaten - Wirth, Niederschlag/Fernerkundung - Bendix) regelmäßig. Zudem nahm die Projektgruppe an den Treffen zur Skalierung und Modellentwicklung teil. Ein Großteil der anfallenden Reisekosten musste dabei privat bzw. aus der Grundausrüstung bereitgestellt werden. Im Einzelnen wurden die folgenden Treffen durchgeführt:

2000

- 10.11.2000 Kick-off Meeting GLOWA-Danube, München

2001

- 12.-16.03.2001 Workshop GLOWA-Danube, Frauenchiemsee
- 05.07.2001 Atmosphäre-Treffen, München
- 06.07.2001 Projekttreffen GLOWA-Danube
- 26.-28.10.2001 Workshop GLOWA-Danube, Söllerhaus
- 15.11.2001 Workshop GLOWA, München

2002

- 14.-15.03.2002 Projekttreffen GLOWA-Danube, München
- 06.-08.05.2002 Statuskonferenz GLOWA, München
- 04.-05.07.2002 Projekttreffen GLOWA-Danube, München
- 16.-17.07.2002 Atmosphäre-Treffen, Mainz
- 01.-02.08.2002 GLOWA-Danube Treffen zum Folgeantrag I, München
- 29.-30.08.2002 GLOWA-Danube Treffen zum Folgeantrag II, Freiburg
- 19.-20.09.2002 GLOWA-Danube Treffen zum Folgeantrag III, Stuttgart

- 10.-11.12.2002 Scaling Workshop, Stuttgart

2003

- 24.-27.02.2003 Workshop GLOWA-Danube, Maria Waldrast
- 17.-18.07.2003 Projekttreffen GLOWA-Danube, München
- 27.-28.08.2003 Atmosphäre-Treffen, Marburg
- 16.-18.09.2003 Projekttreffen GLOWA-Danube, München

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 Delemont (2001), in Berlin (2002) und in Marburg (2003), die Eumetsat Meteorological Satellite Data User's Convergence in Dublin (2002) und in Weimar (2003) sowie das Jahrestreffen der European Geophysical Union (EGU) 2004 in Nizza. Ferner wurde das Projekt beim Rainclouds Kick-Off Meeting in Bologna 2003 als auch beim IPWG Treffen 2002 in Madrid vorgestellt. Im einzelnen wurden die folgenden Vorträge/Präsentationen gehalten:

- Bendix, J., Nauss, Th., Reudenbach, Ch., Egger, J., Pfeiffer, A., Schipper, J.W., Früh, B. und Wirth, V. 2002: The concept of the Atmosphere-Object. Posterpresentation. GLOWA-Danube Status-Seminar, May 6 to 8, 2002, Munich.
- Nauss, T. und Bendix, J. 2003: Operationelles Retrieval von Wolkenwachstumsprozessen mittels MODIS /MSG Daten. Jahrestreffen des Arbeitskreis Klima 2003, Marburg.
- Nauss, T., Traeger, Ch. und Bendix, J. 2002: An operational cloud classification by means of microphysical Properties derived from tri-spectral Satellite data. Posterpresentation. 2002 Eumetsat Meteorological Satellite Conference, Dublin.
- Nauss, T., Traeger, Ch., Wagner, M. und Bendix, J. 2002: Ableitung mikrophysikalischer Wolkeneigenschaften aus multispektralen Satellitendaten - ein Baustein zum satellitengestützten Niederschlagsretrieval. Jahrestreffen des Arbeitskreis Klima 2002, Berlin.
- Nauss, T., Wagner, M. and Bendix, J. 2003: Operational retrieval of microphysical properties from day- and night-time MSG data. Posterpresentation. 2003 Eumetsat Meteorological Satellite Conference, Weimar.
- Nauss, T., Traeger, Ch. and Bendix, J. 2004: Precipitation retrieval for the severe European Summer Flooding 2002 using Meteosat Rapid Scan and Terra-MODIS data. Posterpresentation. 2004 EGU Conference, Nizza.
- Reudenbach, Ch. und Bendix, J. 2001: Retrieval konvektiver Niederschläge aus Meteosat Second Generation (MSG) Daten im Rahmen des BMBF-Projekts GLOWA-Danube. Jahrestreffen des Arbeitskreis Klima 2001, Delemont.
- Reudenbach, Ch. and Bendix, J. 2002: Satellite Based Rainfall Retrieval with Meteosat, GOES, and MSG in the Mid-Latitudes and the tropics. Workshop IPWG/WMO, Madrid.
- Reudenbach, Ch. 2001: Niederschlags- und Konvektionsmuster Mitteleuropas aus mehrjährigen Meteosatdaten. Jahrestreffen des Arbeitskreis Klima 2001, Delemont.

- Reudenbach, Ch (2002): Das Problem der Integration interdisziplinärer Forschung - Warum jetzt auch noch UML? Arbeitskreis Modellierung des GLOWA-Impetus, Bonn.
- Reudenbach, Ch. (2003): Integration von Fernerkundung, Modellierung und GIS in der angewandten Klimageographie. Geographisches Kolloquium, Regensburg.
- Reudenbach, Ch., Nauss, T., Cermak, J., Dobbermann, M., Bendix, J., Theissen, W., Scheidgen, P. and Harmann, O. (2003): An integrated receiving and processing unit for MSG NOAA and Terra/Aqua data. Poster presentation. 2003 Eumetsat Meteorological Satellite Conference, Weimar.

Veröffentlichungen

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

- BENDIX, J., REUDENBACH, Ch., TASCHNER, S., LUDWIG, R. und MAUSER, W. (2001): Retrieval konvektiver Niederschläge in Mitteleuropa mit Fernerkundungsdaten und Modellen. DLR Mitteilungen 2001-02; S. 69-78.
- KOKHANOVSKY, A.A., ROZANOV, V.V., NAUSS, T., REUDENBACH, Ch. und BURROWS, J.P. (2004): The semianalytical cloud retrieval algorithm for SCIAMACHY. I. The validation. Atmos. Chem. Phys., submitted.
- NAUSS, T., REUDENBACH, Ch. und BENDIX, J. (2002): Retrieval of convective precipitation in the Danube collection area by means of Meteosat Second Generation (MSG) and Meteosat. GLOWA-Status Report 2002; 46.
- NAUSS, T., TRAEGER, Ch. und BENDIX, J. (2002): An operational Cloud Classification by means of microphysical Properties derived from tri-spectral Satellite Data. 2002 Eumetsat Meteorological Satellite Conference.
- NAUSS, T., TRAEGER, Ch., WAGNER, M. und BENDIX, J. (2002): Ableitung mikrophysikalischer Wolkeneigenschaften aus multispektralen Satellitendaten - ein Baustein zum satellitengestützten Niederschlagsretrieval. Jahrestreffen des Arbeitskreis Klima 2002.
- NAUSS, T., WAGNER, M. und BENDIX, J. (2003): Operational Retrieval of Microphysical Properties from day- and night-time MSG Data. 2003 Eumetsat Meteorological Satellite Conference.
- NAUSS, T. und BENDIX, J. (2004): An Operational MODIS Processing Scheme (MOPS) for PC. Computers and Geosciences, submitted.
- REUDENBACH, Ch., BENDIX, J. und WINIGER, M. (2001): Retrieval of summer convective rainfall in the mid latitudes by means of remote sensed data and numerical models. SFB350 Report No. 97; S. 37-44.
- REUDENBACH, Ch. und BENDIX, J. (2003): Satellite Based Rainfall Retrieval with Meteosat, GOES, and MSG in the Mid-Latitudes and the tropics, Proceedings - International Precipitation Working Group Workshop Madrid 2002. EUM P34.
- REUDENBACH, Ch., NAUSS, T., CERMAK, J., DOBBERMANN, M. BENDIX, J., THEISSEN, W., SCHEIDGEN, P. und HARMANN, O. (2003): An Integrated Receiving and Processing Unit for MSG NOAA and Terra/Aqua data. Proceedings of the 2003 Eumetsat Meteorological Satellite Data Users' Conference, Weimar.

REUDENBACH, Ch., NAUSS, T. und BENDIX, J. (2004): 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. In press.

Ergebnisse

Formulierte Ziele der ersten Förderphase

Das Oberziel der meteorologischen Teilprojekte, welche in DANUBIA im Atmosphäre-Objekt 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 für DANUBIA und für die Validierung der Modelle *AtmoStations*, *AtmoSat* und *AtmoMM5* untereinander zu liefern. Das flächendeckende Niederschlags-Retrieval soll dabei auf der Basis von Fernerkundungsdaten des 2001 noch aktuellen Meteosat-Systems (Meteosat-7) und des ursprünglich für August 2001 geplanten Meteosat-8 (Meteosat Second Generation) erfolgen.

Das sektorale Teilziel des Projekts ist die Qualitätsverbesserung des verwendeten Algorithmus zum Niederschlags-Retrieval. Die bereits bestehende Enhanced Convective Stratiform Technique (ECST, Reudenbach 2003) soll hierfür mit Hilfe der verbesserten räumlichen und v. a. spektralen Auflösung von Meteosat-8 zu einem deutlich genaueren Verfahren erweitert werden. Eine wichtige Rolle spielt dabei die Ableitung mikrophysikalischer Wolkenparameter.

Zusammengefasst lassen sie die Teilziele wie folgt formulieren:

1. Einbindung der bestehenden Niederschlagsretrievaltechnik (ECST) sowie aller Verbesserungen auf der Basis von Meteosat-7 in DANUBIA
2. Weiterentwicklung der ECST-Retrievaltechnik unter Berücksichtigung mikrophysikalischer Wolkenparameter auf Basis von Meteosat-8 Daten
3. Realisierung der Modellimplementierung mit UML und JAVA im Rahmen des Atmosphäre-Objekts

Alle im Antrag aufgeführten Ziele sind erfüllt. Die Arbeitsmethoden wurden entsprechend umgesetzt bzw. ergänzt. Aufgrund des verzögerten Starttermins von Meteosat-8 um 20 Monate konnte die Auswertung einer längeren Zeitreihe des Sensors jedoch nicht erfolgen. Alternativ wurde das Niederschlagsretrieval zunächst auf Meteosat-7 und den Polarorbitern Terra und Aqua entwickelt, welche an der teilprojekteigenen Satellitenempfangsanlage in Marburg ebenfalls empfangen werden. Mit Verfügbarkeit von Meteosat-8 wurde das Niederschlagsretrieval auf diesen übertragen.

Sektorale Arbeiten

Die sektoralen Arbeiten dienen der Weiterentwicklung der ECST. In einem ersten Schritt wurde die vorwiegend für konvektive Niederschläge konzipierte ECST zur Advective-Convective-Technique (ACT) weiterentwickelt. Da hierfür zunächst nur die spektralen Informationen im Wasserdampf- und thermalen Infrarotband notwendig sind, konnte die Entwicklung auf Basis von Meteosat-7 Daten erfolgen. Die hierdurch bereits deutlich verbesserten Niederschlagsableitungen konnten durch die Zunahme von Informationen über mikrophysikalische Wolkeneigenschaften und den sich daraus ergebenden Tropfenwachstumsprozessen weiter verfeinert werden. Für die Ableitung der mikrophysikalischen Parameter in der sogenannten ACT-MP (ACT-Microphysical Properties) sind jedoch spektrale Daten notwendig, die erst mit Meteosat-8 auf einer europäischen, geostationären Plattform zur Verfügung stehen. Um den Startverzögerung von Meteosat-8 von 20 Monaten zumindest teilwei-

se zu kompensieren, wurde die ACT-MP auf Basis des MODIS Sensors an Bord der Polarorbiter Terra und Aqua entwickelt. Die ähnlichen Spektralkanäle von MODIS und Meteosat-8 SEVIRI erlauben dabei eine fast unmittelbare Übertragbarkeit der Technik von einem auf den anderen Sensor.

Daten

Satellitengestützte Fernerkundungsdaten

Zur Niederschlagsableitung wurden folgende satellitengestützten Daten verwendet:

1. Meteosat-7 VISSR
2. Meteosat-8 SEVIR
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 Zeitreihe auf Basis der Eumetsat Daten zwischen 1998 und 2003 geschlossen sind. Die MODIS Daten dienen der Substitution der noch nicht verfügbaren Meteosat-8 Daten zur Entwicklung der ACT-MP.

Bodengestützte Fernerkundungsdaten

Im Ammer-Testgebiet wurde das zur Grundausstattung gehörende vertikale Niederschlagsradar (Metek MRR) auf dem Gelände des bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft in Wielenbach seit Frühjahr 2001 betrieben. Die Daten sollten ursprünglich zur Validierung der aus den Satellitendaten abgeleiteten Niederschläge dienen. Aufgrund von signifikanten Abweichungen der gemessenen Niederschläge im Bezug zu mehreren Vergleichsstationen wurde das Radar im Frühsommer 2003 zur BBC 2 Messkampagne nach Cabauw gebracht. Im Vergleich zu mehreren anderen dort betriebenen MRR Radars stellte sich heraus, dass die Firmware einiger Geräte fehlerhaft ist, so dass die gemessenen Daten zunächst nicht verwendet werden können. Das MRR wurde mittlerweile beim Hersteller überholt und es ist durch Rückrechnungen möglich, die Fehler auch in den schon bestehenden Datensätzen zu korrigieren, so dass die Messreihe zumindest in der 2. Projektphase verwendet werden kann.

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. Auf Grund 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 Prozessierungsketten für Terra/Aqua MODIS und Meteosat-8 SEVIRI

Die zur Grundausrüstung gehörende Terra-/Aqua MODIS Empfangsanlage konnte seit Februar 2002 in den operationellen Datenempfang am LCRS eingebunden werden. Die MODIS Daten werden vollautomatisiert mittels der durch Projektmittel angeschafften CD-Jukebox archiviert und bildeten durch die Startverzögerung von Meteosat-8 die Grundlage für die Entwicklung des auf mikrophysikalischen Wolkeneigenschaften basierenden Niederschlagsretrievals. Zur operationellen Datenprozessierung wurde eine Programmkette ausgehend vom Empfangsformat bis zur Ableitung der effektiven Radien und der optischen Dicke implementiert (NAUSS und BENDIX 2004). Eine Vergleichbare Prozesskette ist seit Ende 2003 auch für Meteosat-8 Daten in Betrieb.

Entwicklung operationeller Niederschlagsretrieval

Auf Basis der von REUDENBACH (2003) entwickelten ECST wurde zunächst die Advective-Convective-Technique (ACT) entwickelt. Sie stellt eine Erweiterung der speziell für konvektive Ereignisse optimierten ECST dar, welche stratiforme Niederschläge in weitem Maße berücksichtigt. Schließlich wurde die ACT um die Berücksichtigung mikrophysikalischer Parameter zur ACT-MP erweitert. Da sowohl das Retrievalschema für konvektive Niederschläge als auch das für stratiforme Niederschläge lediglich Daten des Wasserdampf- (T_{WV}) und thermalen Infrarotbandes (T_{IR}) benötigen, ist die ACT zur Berechnung langer Zeitreihen auf Basis von z. B. Meteosat-7 geeignet. Die Berücksichtigung der mikrophysikalischen Parameter erfordert zusätzliche Informationen im 0,6, 1,6 und 3,9 μm Band und kann daher nur auf Daten neuerer Satellitensystemen eingesetzt werden. Deshalb wurde die Erweiterung modular implementiert, so dass je nach Anwendungsgebiet bzw. verwendetem Sensor einzelne Module an- bzw. ausgeschaltet werden können. Abbildung 1 gibt einen Überblick über die ACT Module.

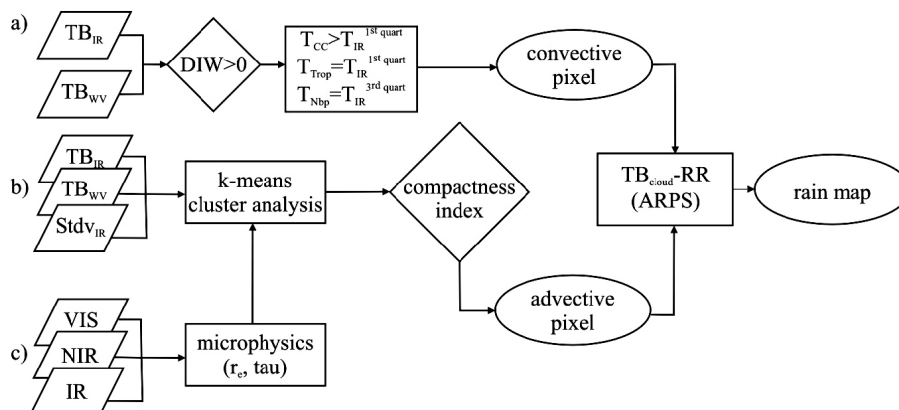


Abb. 1: Überblick über die konvektiven, advektiv-stratiformen und mikrophysikalischen Module der ACT.

Das konvektive Modul beruht auf der ECST (REUDENBACH et al. 2001; REUDENBACH 2003) welches positive T_{WV} - T_{IR} Differenzen (DWI) zur Unterscheidung von hochkonvektiven, optisch dicken Kernen und nicht regnenden Cirrenschirmen verwendet (TJEMKES et al. 1997). Mit Hilfe einer Häufigkeitsverteilungsanalyse der T_{IR} werden anschließend die positiven DWI Pixel in verschiedenen Klassen unterteilt. Pixel mit einer T_{IR} kleiner als das erste Quartil der Häufigkeitsverteilung werden als hochkonvektive Kerne klassifiziert, solche deren T_{IR} dem Wert des ersten Quartils entspricht, repräsentieren niederschlagswirksame Bereiche im Tropopausenniveau und Pixel mit einer T_{IR} größer als das erste Quartil, aber kleiner als das dritte Quartil können als vertikal mächtige, niederschlagswirksame

Wolkenbereiche angesehen werden. Somit können konvektive Kerne von unmittelbar daran angrenzenden stratiform regnenden Wolkenbereichen abgegrenzt werden.

Das zweite Modul dient der Ableitung von advektiven Niederschlägen speziell in Warmfrontsystemen. Die Methode basiert auf einer iterativen k-means Clusteranalyse (BRADLEY und FAYYAD 1998) welche auf die TB_{IR} , TB_{WV} und eine drei mal drei Standardabweichung des TB_{IR} Kanals ($Std_{V_{IR}}$) angewendet wird. Zudem werden die bereits vom konvektiven Modul identifizierten konvektiven Kerne mit einbezogen. Die Cluster repräsentieren potentiell niederschlagswirksame advektiv-stratiforme Wolken wenn die maximale TB_{IR} und $Std_{V_{IR}}$ des Clusters unterhalb bzw. oberhalb eines Schwellenwertes liegt. Im Anschluss an die Analyse werden die Cluster wieder in einzelne Wolkenbereichen disaggregiert und mehrere Kompaktheitsmaße berechnet. Schließlich werden die Wolkensysteme mittels einer Diskriminanzfunktion in regnende und nicht regnende Regionen unter Berücksichtigung der Temperatur des Clusterzentroiden, der Kompaktheit der Wolkenentität und der Anzahl eingebundener konvektiver Kerne unterteilt.

Nach der Identifizierung niederschlagswirksamer Wolkenbereiche wird jedem Pixel eine spezifische Niederschlagsrate zugewiesen. Die Niederschlagsrate beruht auf idealisierten 3D Wolkenmodellrechnungen mit dem mesoskaligen Advanced Regional Prediction System (ARPS, XUE et al. 2003). Hierfür wurden Radiosondendaten über Mitteleuropa aus einem Zeitraum von 10 Jahren mittels eines 1D Wolkenmodells (ZOCK et al. 1995; BENDIX und BENDIX 1998) im Hinblick auf ihr Konvektivitätspotential klassifiziert und ein Satz aus repräsentativen, niederschlagswirksamen Profilen ausgewählt und zur Initialisierung von ARPS verwendet. Die raum-zeitliche Zuordnung der Niederschlagsrate in Abhängigkeit der TB_{IR} des Pixels geschieht durch Aggregation der simulierten Wolkenoberflächentemperaturen und Niederschlagsraten unter Berücksichtigung der Aufnahmegeometrie und Repetitionsrate des verwendeten Sensors.

Aufgrund der verbesserten spektralen Auflösung von Meteosat-8 wurde ein weiteres Modul implementiert, das die Genauigkeit der Abgrenzung von regnenden und nicht-regnenden Wolkenbereichen sowie eine differenziertere Niederschlagszuweisung auf Basis mikrophysikalischer Wolkenparameter erlaubt. Die Erweiterung beruht auf dem Konzeptmodell, dass niederschlagswirksame Wolkenbereiche sowohl ausreichend große effektive Wolkentropfenradien, als auch ausreichend große optische Dicken benötigen (LENSKY et al. 2003). Beide Parameter können gleichzeitig mit einer verbesserten Version des GTR Algorithmus von Nakajima (NAKAJIMA und NAKAJIMA 1995; KAWAMOTO et al. 2001; BENDIX 2002) aus den Daten des 0,6 und 3,9 μm Bands abgeleitet werden. Dies geschieht durch einen iterativen Abgleich der gemessenen Daten mit tabellierten Ergebnissen von Strahlungstransfersimulationen, die mittels des SSCR Strahlungstransfercodes für Meteosat-8 SEVIR und Terra/Aqua MODIS durchgeführt wurden.

Abbildung 2 zeigt die Unterschiede der mittels der ACT bzw. ACT-MP identifizierten Niederschlagsfläche im Vergleich zu DWD-Radardaten. Abbildungen 2b zeigt die Niederschlagsfläche wie sie durch den ACT Algorithmus abgegrenzt wird, 2c die korrespondierende Fläche der ACT-MP. Beiden Abbildungen wurden Niederschlagsflächen überlagert, die auf den C-Band Daten des DWD Radarnetzwerks beruhen. Es ist deutlich zu erkennen, dass die advektiv-stratiformen Bereiche im Norden und Nordwesten durch die Berücksichtigung der mikrophysikalischen Parameter besser erfasst werden. Zudem nimmt die Fläche der fälschlich als Niederschlag klassifizierten Wolkenbereiche ab. In DANUBIA ist für Zeiträume vor dem 01. Januar 2004 das ACT, ab dem 01. Januar das ACT und ACT-MP Retrieval verfügbar.

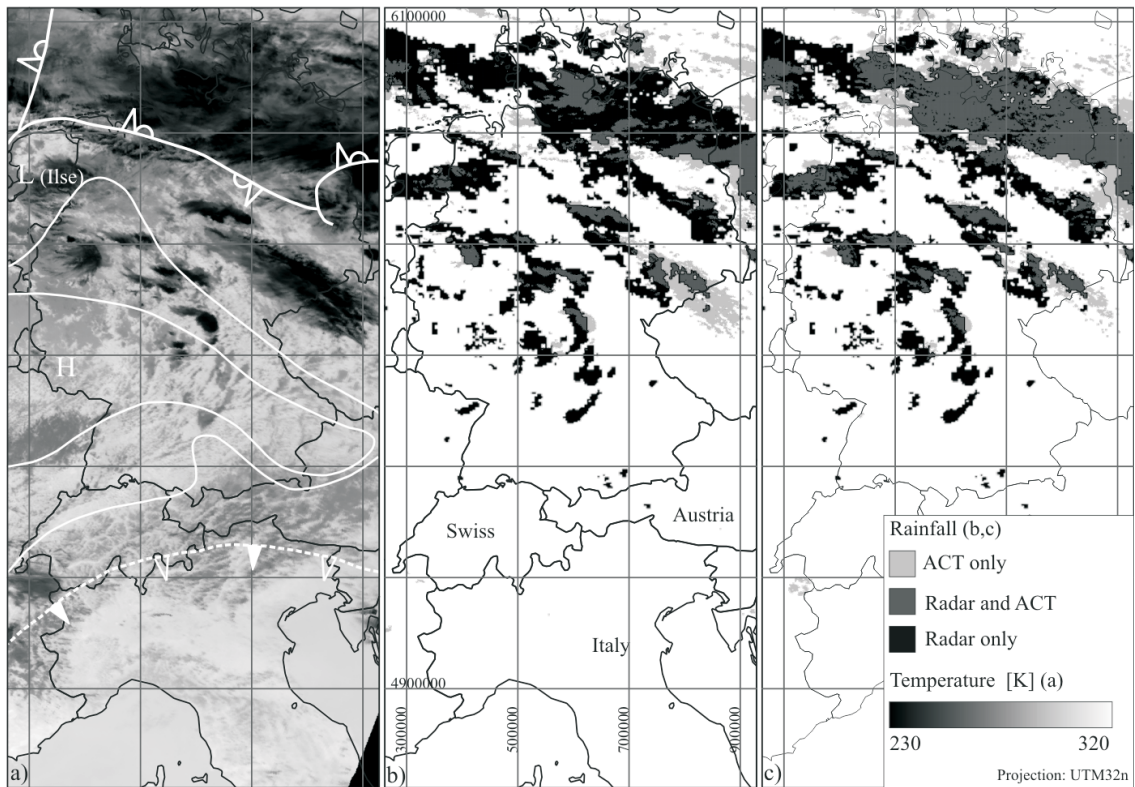


Abb. 2: Terra-MODIS Aufnahme während des Elbe Hochwasser am 5. August 2002, 11:05 UTC (Abb. a) zeigt eine die Synoptische Situation, b) das Resultat der ACT überlagert mit C-Band Daten des DWD Radarnetzwerks und c) die gleiche Überlagerung, aber diesmal mit dem ACT-MP Retrieval).

Integrative Arbeiten

Die integrative Zielsetzung des Teilprojekts Niederschlag/Fernerkundung ist die Bereitstellung von Niederschlagsdaten für die Verwendung in DANUBIA und die Validierung der modellierten Niederschläge von *AtmoMM5* (siehe Meteorologie/MM5) und *AtmoStations* (siehe Hydrologie/Fernerkundung). Hierzu wurde die oben beschriebenen ACT bzw. ACT-MP in das Atmosphäre Objekt von DANUBIA implementiert. Zudem wurde die Koordination und Implementierung des AtmosphäreObjekts übernommen.

Realisierung in DANUBIA Atmosphäre Paket

In DANUBIA werden alle benötigten meteorologischen Parameter wahlweise von dem *AtmoMM5* Objekt (Meteorologie/MM5) oder dem *AtmoStations* Objekt (Hydrologie/Fernerkundung) bereitgestellt. Niederschlagsdaten können zudem durch das *AtmoSat* Objekt zur Verfügung gestellt werden. Für Szenarien unter realen Rahmenbedingungen in der Zeit zwischen 1990 und 2003 können alle drei Modelle verwendet werden, für Szenarien in der Zukunft bzw. unter veränderten Rahmenbedingungen nur das Objekt.

Die Koordination und Implementierung der Framework Struktur des Atmosphere Pakets liegt beim Teilprojekt Niederschlag/Fernerkundung. Die drei genannten Modelle sind im Atmosphere Paket zusammengefasst und werden über den AtmosphereController mit den anderen DANUBIA Modellen verbunden. Der AtmosphereController entscheidet über die Weiterleitung von Datenanforderungen an das jeweilige Modell in Abhängigkeit des jeweiligen Szenarios bzw. benutzerdefinierter Einstellungen. Abbildung 3 zeigt die UML Übersicht über das Atmosphere Paket. Die Atmosphere Proxelstruktur ist in Abbildung 4 dargestellt.

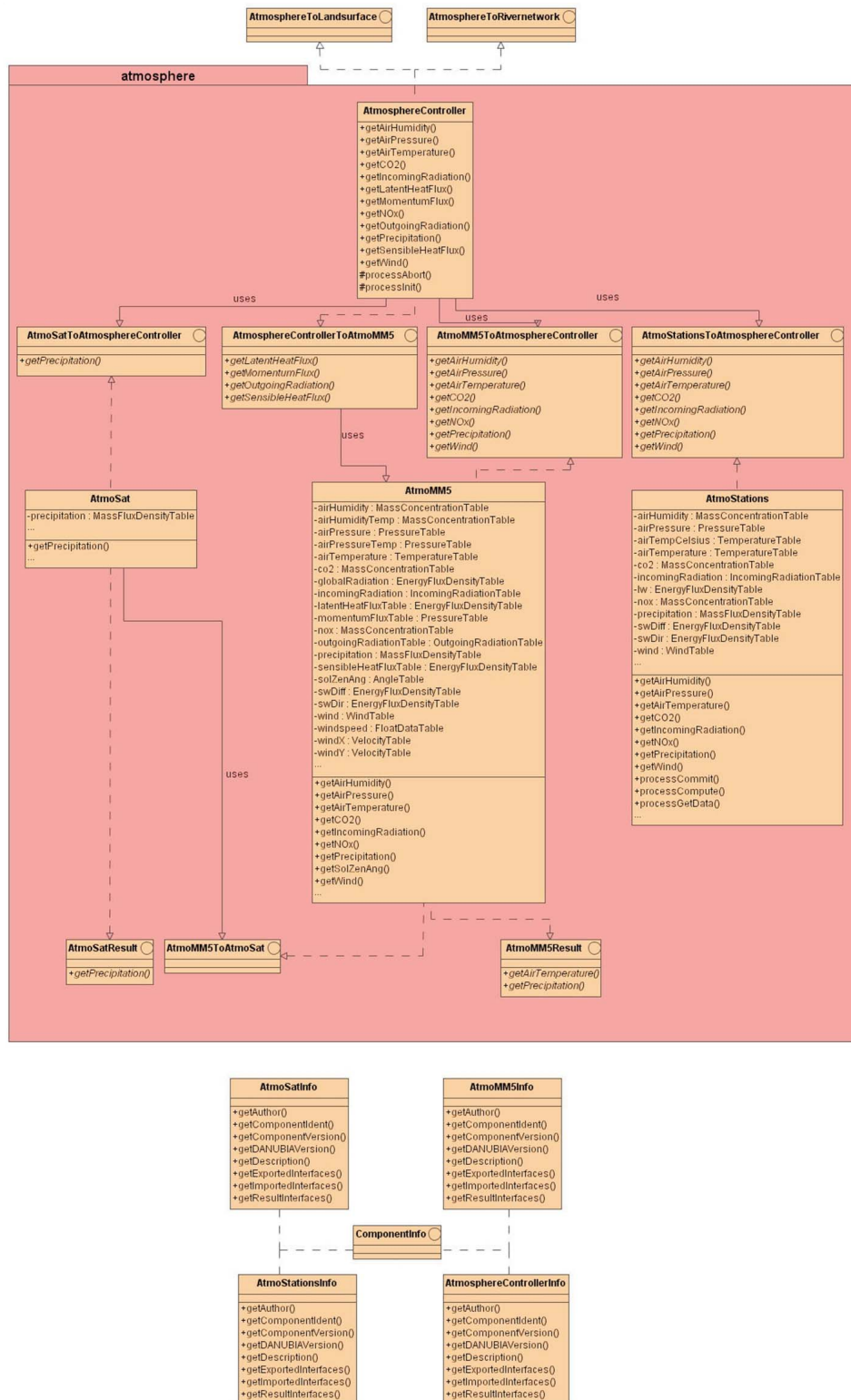


Abb. 3: DANUBIA Atmosphere Paket.

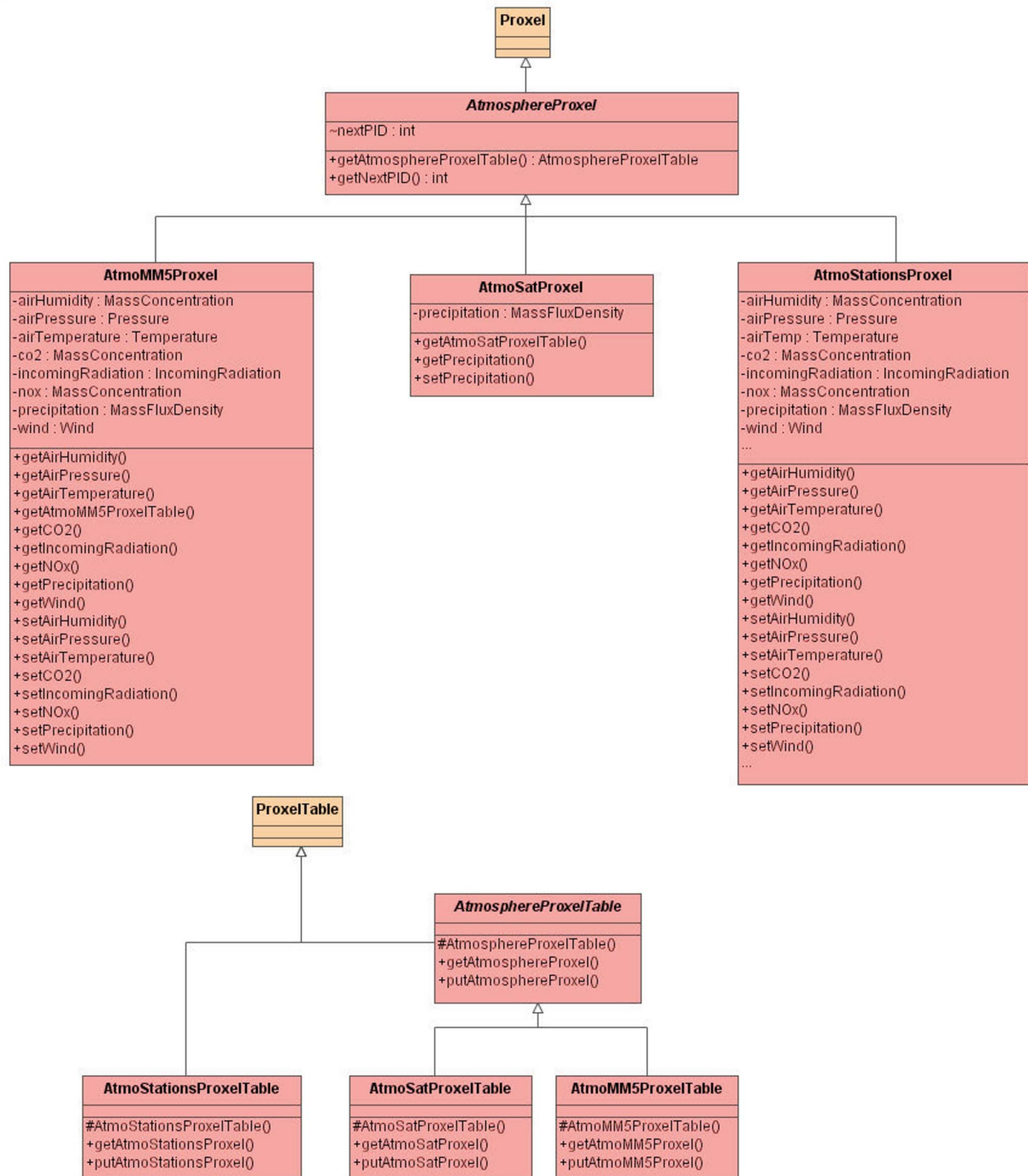


Abb. 4: Proxel des DANUBIA *Atmosphere* Pakets sowie der einzelnen Objekte.

AtmoSat Objekt

Das ACT bzw. ACT-MP Niederschlagsretrieval ist komplett in Fortran 90 implementiert. Die Anbindung an DANUBIA erfolgt über das in Java implementierte *AtmoSat* Objekt, welches das Retrieval steuert und die Ergebnisdaten in den DANUBIA Austausch Tabellen speichert. Abbildung 5 zeigt die UML Darstellung des *AtmoSat* Objekts.

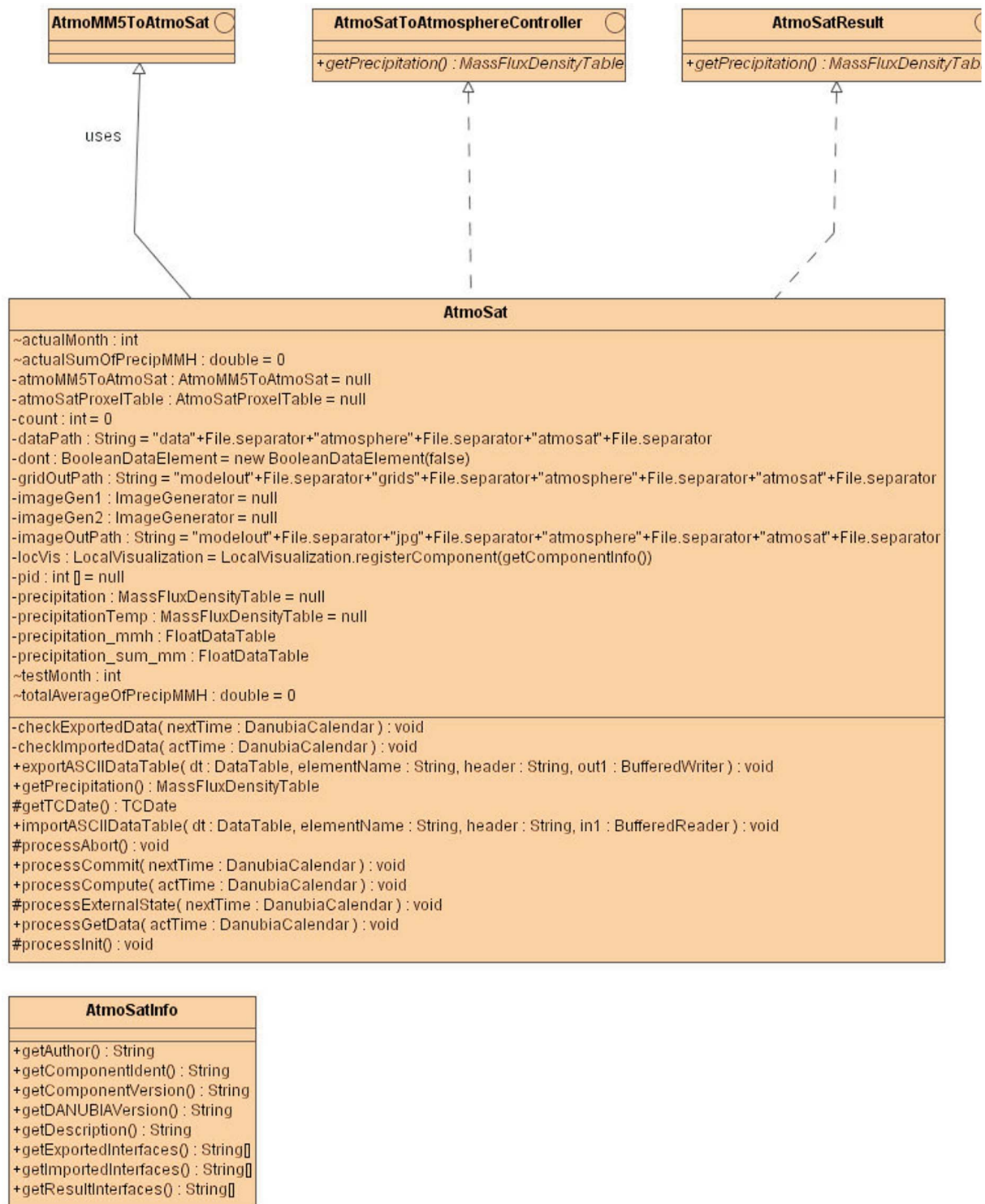


Abb. 5: DANUBIA *AtmoSat* Objekte.

Niederschlag in DANUBIA

Über die ersten Langzeitläufen DANUBIAS über den Zeitraum 1995-1999 hat vor wenigen Monaten eine Diplomarbeit begonnen, die die Niederschläge der drei im Atmosphere Paket integrierten Modelle vergleichen soll. Ergebnisse dieser Arbeit sind im Herbst zu erwarten. Abbildung 6 zeigt die monatlichen Niederschlagssummen der Modelle für Februar und Juli 1999. Für Februar weisen alle drei Modelle ähnliche Muster der maximalen Niederschlagsintensität am Alpennordrand auf und variieren um $\pm 5\%$ um den mittleren Monatsniederschlag von 127mm. Im Juli zeigen jedoch nur *AtmoSat* und *AtmoStations* die niederschlagsreichen Regionen im Südosten, was hauptsächlich auf Unsicherheiten in der Kon-

vektionsparametrisierung des MM5 zurückzuführen sein dürfte. Die Niederschläge aus hoch variablen Gewitterzellen können nur in AtmoSat erfasst werden, da die raum-zeitliche Auflösung der in AtmoStations verwendeten Messnetzdaten diese glättet.

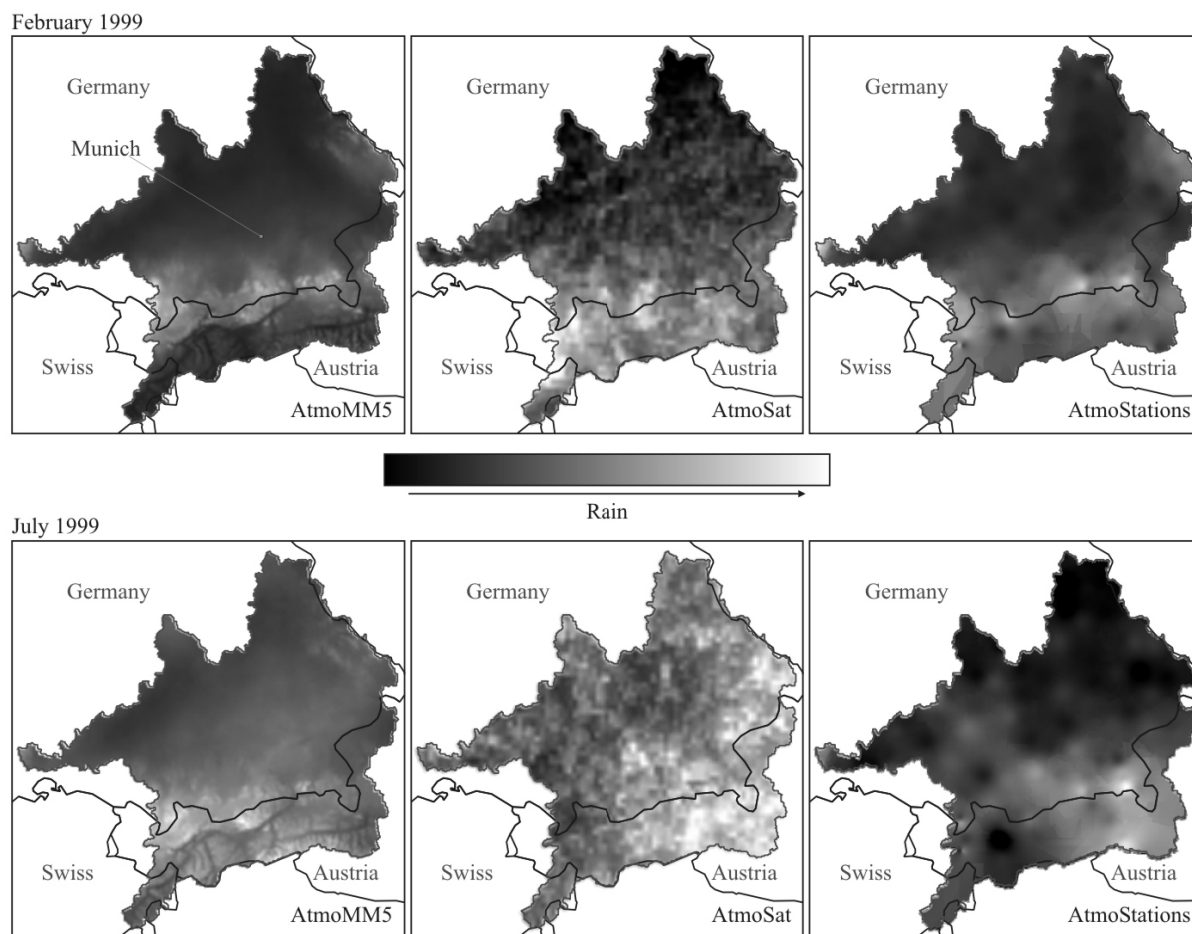


Abb. 6: Monatssumme der Niederschläge von *AtmoMM5*, *AtmoSat* and *AtmoStations* in DANUBIA für Februar und Juli 1999.

In Abbildung 7 ist der Jahresniederschlag von 1999 dargestellt. In den Herbst bis Frühjahrsmonaten, in denen advektiv-stratiforme Niederschläge vorherrschen, zeigen alle drei Modelle ähnliche Ergebnisse. In den überwiegend konvektiven Niederschlagsmonaten des Sommers zeigt sich allerdings eine deutliche Diskrepanz zwischen *AtmoSat* und *AtmoStations/AtmoMM5*. Die Gründe hierfür liegen in der bereits erwähnten Konvektionsparametrisierung in bzw. der Glättung der Niederschläge durch die Datenerfassung der Wetterstationen (vgl. Bericht Meteorologie).

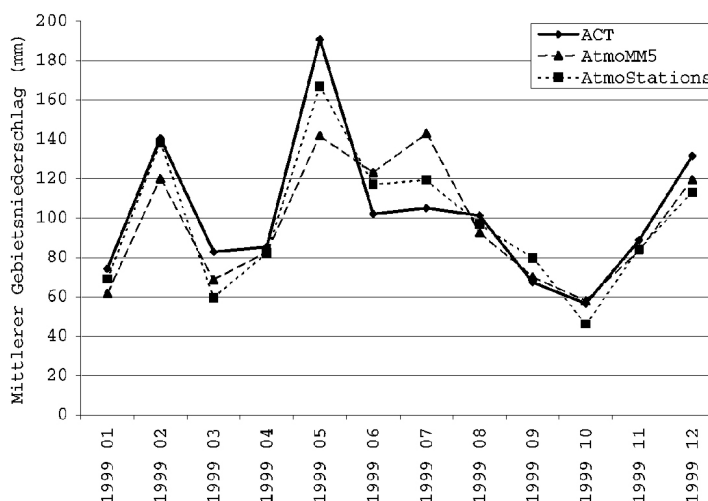


Abb. 7: Jahresgang des Monatsmittels der Niederschläge von *AtmoMM5*, *AtmoSat* and *AtmoStations* in DANUBIA für 1999

Ein ähnlicher Verlauf zeigt sich auch in den aktuellen DANUBIA Referenzläufen der Jahre 1995/1996, die in Abbildung 8 dargestellt sind. Die gemittelten Monatssummen aller Modelle zeigen einen ähnlichen Verlauf (vgl. Bericht Meteorologie).

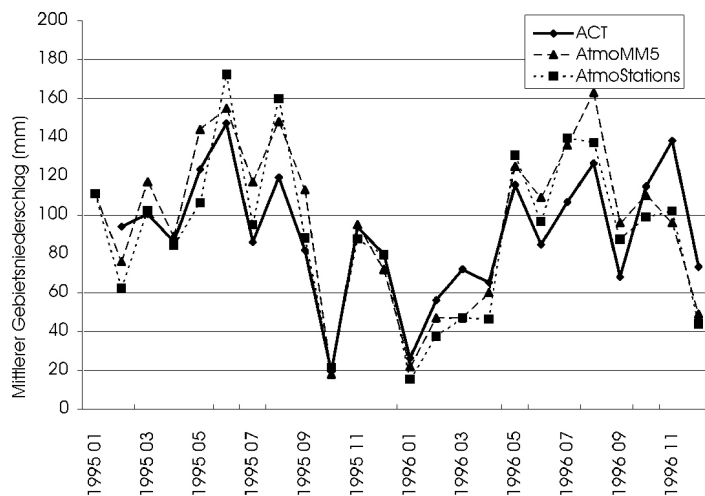


Abb. 8: Jahresgang des Monatsmittels der Niederschläge von *AtmoMM5*, *AtmoSat* and *AtmoStations* in DANUBIA für 1995/1996.

Zusammenfassung

Die im Antrag zur ersten Projektphase angestrebten Ziele konnten erfüllt werden. Die Erweiterung des damals bereits bestehenden Niederschlagsretrievals (ECST) um die Erfassung advektiv-stratiforme Niederschlagsbereiche (ACT) und die Einbeziehung mikrophysikalischer Wolkenparameter (ACT-MP) zeigen die gewünschten Verbesserungen. Aufgrund der modularen Architektur des in DANUBIA implementierten *AtmoSat* Objekts können neben den spektral gut aufgelösten *Meteosat-8* Daten (ACT-MP) auch *Meteosat-7* Daten (ACT) ausgewertet werden, so dass lange Messzeitreihen prinzipiell zur Verfügung stehen. Aktuell sind Daten der Jahre 1995 bis 2003 vorhanden. Mit den seit Mitte 2003 stattfindenden periodischen Datenlieferungen der *Eumetsat* wird der Datenbestand in absehbarer Zeit auf den Zeitraum 1990 bis 2003 ausgedehnt sein. Sowohl das *AtmoSat* Objekt, als auch das *Atmosphäre* Paket dessen Koordination beim Teilprojekt liegt ist erfolgreich in DANUBIA integriert.

Das entwickelte Niederschlagsretrieval stellt die Grundlage für die sektoralen Ziele in der zweite Projektphase dar, in der die ACT-MP unter Verwendung der Mikrowellenfernerkundung zu einer operationellen Hybridtechnik ausgebaut werden soll. Mit Hilfe von hochauflösenden Polarorbiterdaten soll darüber hinaus ein realistischeres Downscaling der Ergebnisse auf die DANUBIA Proxel erreicht werden.

Der Einbezug eines Mikrowellensensors bietet im Rahmen der interdisziplinären Zielsetzung zudem die Möglichkeit, die bisher im *Atmosphäre* Verbundobjekt abgeleiteten Niederschlagsfelder flächendeckend zu validieren. Als weiteres interdisziplinäres Teilziel ist in Zusammenarbeit mit der Gruppe *Meteorologie/MM5* eine satellitengestützte Datenassimilation im Mesoskalenmodell *MM5* vorgesehen. Die integrative Zielsetzung sieht die Untersuchung der Niederschlagsverteilung im DANUBIA Gebiet auf der Basis langer Zeitreihen des *Meteosat-7/8* Systems vor. Diese dienen sowohl der Analyse von Rückkopplungsfehlern im Hinblick auf die Qualitätssicherung des DANUBIA Systems als auch der Bereitstellung realistischer Rahmenbedingungen für Szenarienberechnung der unmittelbaren Zukunft durch eine Identifikation von räumlich hoch aufgelösten Trends.

Literatur

- BENDIX, J. (2002): A satellite-based climatology of fog and low-level stratus in Germany and adjacent areas. *Atmosph. Res.* 64; p. 3-18.
- BENDIX, J. und BENDIX, A. (1998): Climatological Aspects of the 1991/92 El Niño in Ecuador. *Bulletin de L'Institut Francaise d'Etudes Andines.* 27; p. 655-666.
- BENDIX, J., REUDENBACH, Ch., TASCHNER, S., LUDWIG, R. und MAUSER, W. (2001): Retrieval konvektiver Niederschläge in Mitteleuropa mit Fernerkundungsdaten und Modellen. *DLR Mitteilungen 2001-02*; S. 69-78.
- BRADLEY, P.S. und FAYYAD, U.M. (1998): Refining Initial Points for K-Means Clustering. In: SHAVLIK, J. (edt.): *Proc. of the 15th International Conf. on Machine Learning*; p. 91-99.
- LENSKY, I.M. und ROSENFELD, D. (2003): A night-rain delineation algorithm for infrared satellite data based on microphysical considerations. *J. Appl. Meteor.*, 42, p. 1218-1226.
- LENSKY, I.M. und ROSENFELD, D. (2003): Satellite-based insights into precipitation formation processes in continental and maritime convective clouds at nighttime. *J. Appl. Meteor.*, 42, p. 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. *J. Atmos. Sci.* 52; p. 4043-4059.
- NAUSS, T., TRAEGER, Ch. und BENDIX, J. (2002): An operational Cloud Classification by means of microphysical Properties derived from tri-spectral Satellite Data. 2002 Eumetsat Meteorological Satellite Conference.
- NAUSS, Th., REUDENBACH, Ch. und BENDIX, J. (2002): Retrieval of convective precipitation in the Danube collection area by means of Meteosat Second Generation (MSG) and Meteosat. *GLOWA-Status Report 2002*; 46.
- NAUSS, T., TRAEGER, Ch., WAGNER, M. und BENDIX, J. (2002): Ableitung mikrophysikalischer Wolkeneigenschaften aus multispektralen Satellitendaten - ein Baustein zum satellitengestützten Niederschlagsretrieval. *Jahrestreffen des Arbeitskreis Klima 2002*.
- NAUSS, T., WAGNER, M. und BENDIX, J. (2003): Operational Retrieval of Microphysical Properties from day- and night-time MSG Data. 2003 Eumetsat Meteorological Satellite Conference.
- NAUSS, T. und BENDIX, J. (2004): An Operational MODIS Processing Scheme (MOPS) for PC. *Computers and Geosciences*, submitted.
- REUDENBACH, Ch. (2003): Konvektive Sommerniederschläge in Mitteleuropa - Eine Kombination aus Satellitenfernerkundung und numerischer Modellierung zur automatischen Erfassung mesoskaliger Niederschlagsfelder, *Bonner Geogr. Abh.*
- REUDENBACH, Ch., BENDIX, J. und WINIGER, M. (2001): Retrieval of summer convective rainfall in the mid latitudes by means of remote sensed data and numerical models. *SFB350 Report No. 97*; p. 37-44.
- REUDENBACH, Ch. und BENDIX, J. (2003): Satellite Based Rainfall Retrieval with Meteosat, GOES, and MSG in the Mid-Latitudes and the tropics, *Proceedings - International Precipitation Working Group Workshop Madrid 2002*. EUM P34.
- REUDENBACH, Ch., NAUSS, T., CERMAK, J., DOBBERMANN, M., BENDIX, J., THEISSEN, W., SCHEIDGEN, P. und HARMANN, O. (2003): An Integrated Receiving and Processing Unit for MSG NOAA and Terra/Aqua data. *Proceedings of the 2003 Eumetsat Meteorological Satellite Data Users' Conference*, Weimar.

- REUDENBACH, Ch., NAUSS, T. und BENDIX, J. (2004): 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. In press.
- TJEMKES, S.A., van de BERG, L. und SCHMETZ, J. (1997): Warm water vapour pixels over high clouds as observed by METEOSAT. *Contr. Atmos. Phys.*, 70, p. 15-21.
- XUE, M., WANG, D.-H., GAO, J.-D., BREWSTER, K. und DROEGEMEIER, K.K. (2003): The Advanced Regional Prediction System (ARPS), storm-scale numerical weather prediction and data assimilation. *Meteor. Atmos. Physics*, 82; 139-170.
- ZOCK, A., MENZ, G. und WINGER, M. (1995): Regionalisation of rainfall models in Eastern Africa using Meteosat Real-Time-Window data. *Proceedings of the International Geo- science and Remote Sensing Symposium (IGARSS'95)*, Florence, Italy (New York: I.E.E.E.); p. 250-252.

Modellierung von Abfluss und Gewässerbeschafftheits-Parametern in der Oberen Donau

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

1. Organisation

1.1 Kurzbeschreibung des Teilprojektes

Im Teilprojekt „Modellierung von Abfluss und Gewässerbeschafftheitsparametern in der Oberen Donau“ werden räumlich und zeitlich hochaufgelöste Daten zum Wasserdargebot und der Wasserbeschafftheit der oberirdischen Gewässer für das Donau-Einzugsgebiet bis zum Pegel Achleiten bereitgestellt. Sowohl bei der Modellierung der Wassermenge als auch bei der Modellierung der Wasserbeschafftheit liegt dabei ein einfacherer Modellierungsansatz für die kleineren und ein komplexerer, näher an den Prozessen liegender Modellierungsansatz für die größeren Gewässer zugrunde. Zielgrößen der Wassermengenmodellierung sind Abfluss, Wassertiefe, Flussbreite und Fließgeschwindigkeit. Bei der Wasserbeschafftheitsmodellierung werden die Wassertemperatur, gelöster Sauerstoff, C-BSB₅, organischer Stickstoff, Nitrat, Nitrit sowie Ammonium nachgebildet.

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

Ausgabegrößen der Komponente „Rivernetzwerk“ sind Zeitreihen von Abflüssen, Wasserständen, Fließgeschwindigkeiten, Wassertemperaturen sowie von Wasserinhaltsstoffen für die Proxel des Gewässernetzes der Oberen Donau. Die Teilmodelle werden sektoral und integrativ validiert. Die Validierungen belegen die Eignung der implementierten Verfahren.

1.2 Personal

1.2.1 Wissenschaftler

An dem Projekt waren im Berichtszeitraum die folgenden Wissenschaftler beteiligt:

- Dr. Winfried Willems seit Projektbeginn
- Dipl.-Ing. Konstantin Stricker seit Projektbeginn
- Dipl.-Math. Dipl.-Phys. Sergio Mendez-Rueda vom 1.4.2001 bis 31.5.2002
- Dipl.-Math. Georg Kasper seit 1.7.2002

Darüber hinaus wurden Arbeiten in Form eines Werkvertrages an die Universität der Bundeswehr München vergeben.

1.2.2 Wissenschaftliche Hilfskräfte

Herr Jürgen Schuol, Student des Diplom-Studiengangs „Umweltschutztechnik“ und des Master-of-Science-Studiengangs „Water Resources Engineering and Management“ an der Universität Stuttgart, absolvierte sein Fachpraktikum am IAWG im Zeitraum vom 01.09.2002 bis zum 31.10.2002 und arbeitete dabei im Rahmen von GLOWA-Danube.

1.3 Anschaffungen

Folgende Software-Produkte wurden im Rahmen von GLOWA beschafft:

- Magic Draw
- ATV-Gütemodell

Darüber hinaus wurden die am IAWG verfügbaren Software-Ressourcen und die vorhandene Hardware genutzt.

1.4 Veranstaltungen

1.4.1 Interne Projekttreffen

Die internen Projekttreffen mit Beteiligung des IAWG zeigt die folgende Tabelle:

Tab. 1: Interne Projekttreffen mit Beteiligung des IAWG.

Treffen	Ort	Beginn	Dauer Tage	Teilnehmer IAWG
Kick-off	München	10.11.2000	1	Willems
Workshop	Frauenchiemsee	12.03.2001	5	Willems/Mendez
Statuskonferenz	München	06.05.2002	2	Willems/Mendez/Stricker
München, Begutachtung	München	04.07.2002	2	Willems/Kasper
Folgeantrag	München	01.08.2002	2	Willems
Akteure und Entscheider	Freiburg	29.08.2002	2	Willems
Skalierungsworkshop	Stuttgart	10.12.2002	1	Willems/Schuol
Workshop	Maria Waldrast	24.02.2003	5	Willems/Kasper
Valisierungstreffen1	München	17.07.2003	2	Willems/Kasper
Valisierungstreffen2	München	16.09.2003	2	Willems/Kasper
Entwicklertreffen	München	17.03.2004	2	Kasper/Stricker

1.4.2 Konferenzen

Auf der Statuskonferenz in München am 6.5.2002 hielten Jürgen Braun und Winfried Willems den Vortrag „Rivers and Groundwater in GLOWA-Danube“ und im Dezember 2002 hielt Winfried Willems an der Universität der Bundeswehr München im Rahmen des Wasserwirtschaftlichen Kolloquiums den Vortrag „Wassermengen- und Wasserqualitätsmodellierung im Rahmen von GLOWA-Danube“.

1.5 Veröffentlichungen

Folgende Veröffentlichung wurde mit Beteiligung von IAWG-Mitarbeitern publiziert:

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”. Geophysical Research Abstracts, Vol. 6, 03795, 2004, European Geosciences Union 2004.

2. Ergebnisse

2.1 Formulierte Ziele der ersten Förderphase

Die Ziele der ersten Förderphase waren

1. die Bereitstellung, Kalibrierung und sektorale Validierung eines Modells zur eindimensionalen, instationären Simulation der Wasserbewegung im Gewässernetz Obere Donau,
2. die Bereitstellung, Kalibrierung und sektorale Validierung eines Modells zur Beschreibung des Transportes und der physikalischen, chemischen und biologischen Umsetzung ausgewählter, gelöster Stoffe im Gewässernetz Obere Donau,
3. die Implementierung der Modelle als Komponente *Rivernetwork* im GLOWA-Danube-Framework,
4. die integrative Validierung der Komponente im Zuge der Anwendung des GLOWA-Danube-Gesamtsystems für den Istzustand sowie
5. die Interpretation der Ergebnisse aus der Anwendung der Komponente im Zuge von Szenario-Berechnungen mit dem GLOWA-Danube-Gesamtsystem.

Im Zuge der Projektbearbeitung wurden die Ziele 1. bis 4. realisiert. Die Ziele 1. und 2. wurden in einer gegenüber den ursprünglichen Vorstellungen deutlich erweiterten Form umgesetzt (s. Abschnitt 2.2). Das Ziel 5. musste auf die nächste Projektphase verschoben werden, da die Anwendung des Gesamtmodells für Szenario-Zustände erst nach vollständiger integrativer Validierung möglich ist.

2.2 Sektorale Arbeiten

2.2.1 Übersicht

Die zentrale räumliche Bezugsbasis für sämtliche Modellierungen des *Rivernetwork*-Objektes ist das aus dem Höhenmodell abgeleitete Gewässernetz (Abb. 1).

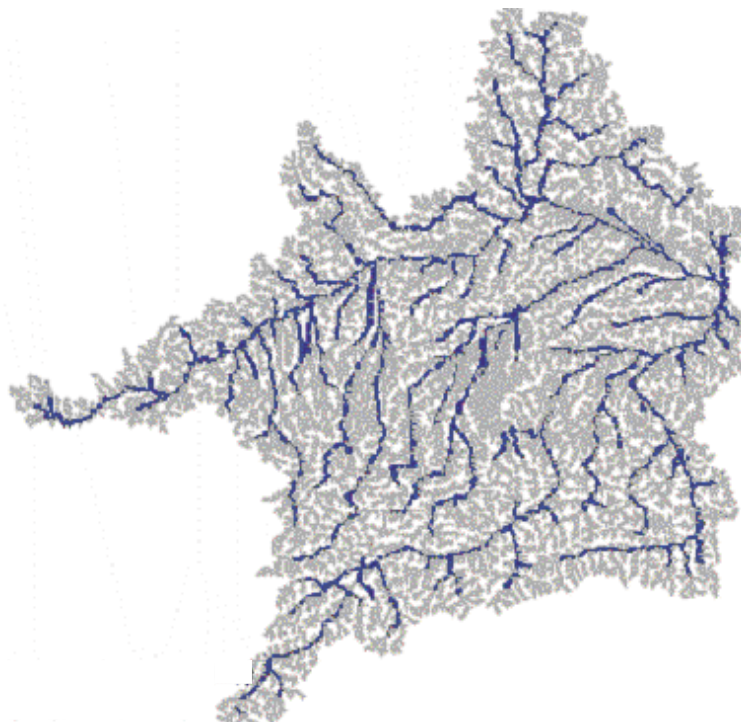


Abb. 1: Gewässernetz, extrahiert aus dem Höhenmodell.

Trotz einer für Gewässernetz-Extraktionen recht groben Höhenmodell-Auflösung (Kantenlänge 1 km) besteht eine hinreichend gute Übereinstimmung zwischen dem realen und dem aus dem Höhenmodell extrahierten Gewässernetz (vgl. Jahresbericht 2002).

Innerhalb des GLOWA-Danube-Modellierungskonzeptes erfolgen sämtliche Wasser- und Stoffströme zwischen den benachbarten Proxeln oberhalb der gesättigten Zone lediglich über das Gewässernetz. Die vom *Rivernetwork*-Objekt bereitgestellten Module zur Wassermengen- und Wasserbeschaffenheitsmodellierung müssen demnach vom Skalenbereich kleiner Quellbäche bis zum Skalenbereich der Donau (bis Achleiten) in sinnvoller Weise arbeiten. Zudem wird der sonst in der klassischen System-Hydrologie in der Regel durch Abflusskonzentrationsmodelle behandelte Prozess des Oberflächenabflusstransportes zwischen benachbarten Proxeln durch die *Rivernetwork*-Komponente behandelt. Die laterale Wasserbewegung innerhalb der Proxel wird von der *Landsurface*-Komponente modelliert. Um diese Modellierungsaufgaben zu bewältigen, werden innerhalb des *Rivernetwork*-Objektes unterschiedliche Modelle für unterschiedliche Skalenbereiche verwendet (Tab. 2).

Tab. 2: Teilmodule innerhalb des *Rivernetwork*-Objektes.

Teilmodell	Skala	Kopfgebiete und kleine Flüsse	mittlere und große Flüsse
Wassermenge		Muskingum mit Cunge-Parametrisierung	DAFLOW
Wasserbeschaffenheit		Statistisch „quasidynamisch“	BLTM

Die einzelnen Teilmodelle werden im Folgenden knapp beschrieben. Auf ausführlichere Beschreibungen in früheren Berichten wird jeweils hingewiesen.

2.2.2 Modellierung der Wasserflüsse

DAFLOW

Zur Abbildung der Wasserflüsse in den mittleren und großen Gewässern wird der Modellansatz der Diffusionsanalogie in einer vom US Geological Survey entwickelten Implementierung zugrunde gelegt (JOBSON 1989). Als Ausgabegrößen stellt dieses Modell neben dem Abfluss auch sämtliche hydraulischen Parameter, insbesondere Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten, zur Verfügung, die für nachgeschaltete Wasserbeschaffenheitsmodellierungen erforderlich sind. Eine detaillierte Modellbeschreibung findet sich in der technischen Dokumentation (WILLEMS 2004). Für die Integration in das GLOWA-Danube Framework war es erforderlich, das FORTRAN-Modell in JAVA umzukodieren und dabei auf einen proxelbasierten Berechnungsmodus umzustellen. Ferner musste der Algorithmus zur Abarbeitung der Netzstruktur neu implementiert werden, da das originäre Modell bei komplexen Flussnetzstrukturen unter bestimmten Bedingungen fehlerhaft arbeitete.

Für eine möglichst realitätsnahe Modellierung bedarf es einer möglichst zutreffenden Parametrisierung von DAFLOW. Dazu wurde eine komplexe, auf der sogenannten Regimetheorie aufsetzende Prozedur entwickelt, die knapp im Jahresbericht 2002 und vollständig in der Programmdokumentation beschrieben ist. Zentral ist dabei die Verwendung detaillierter Informationen über Gewässerbreiten bei bordvollem Abfluss, die für den bayerischen Teil des Donau-Einzugsgebietes aus dem hochaufgelösten ATKIS-Gewässernetz übernommen und auf das extrahierte Gewässernetz übertragen wurden.

Muskingum

Das Muskingum-Modell ist ein sogenannter hydrologischer Ansatz zur Berechnung des Wellenablaufes in Gewässern. Hierbei ergibt sich der Abfluss QA zum Zeitpunkt $t + \Delta t$ rekursiv aus dem Abfluss zum vorangegangenen Zeitpunkt t und dem Abfluss QZ an einem oberhalb im Gewässernetz gelegenen Punkt (vgl. z.B. MANIAK 1997).

$$QA_{t+\Delta t} = C1 * QZ_{t+\Delta t} + C2 * QZ_t + C3 * QA_t$$

mit

$$C1 = \frac{-KX + 0,5\Delta t}{K(1-X) + 0,5\Delta t}, C2 = \frac{KX + 0,5\Delta t}{K(1-X) + 0,5\Delta t}, C3 = \frac{K(1-X) - 0,5\Delta t}{K(1-X) + 0,5\Delta t}, C1 + C2 + C3 = 1$$

Die beiden Modellparameter X und K können dabei unter Zugrundelegung der Arbeiten von Cunge aus hydraulischen Parametern abgeleitet werden (ANDERSON and BURT 1995, s. auch Jahresbericht 2003).

Der Muskingum-Modellansatz geht bei bestimmten Parameter-Konstellationen in einen Linienspeicher-Ansatz über, der wiederum eine zentrale Komponente bei der systemhydrologischen Beschreibung des Abflusskonzentrationsprozesses darstellt.

Innerhalb des *Rivernetzwerk*-Objektes wird das Muskingum-Modell verwendet, um die Wasserflüsse in Kopfgebieten und kleinen Gewässern zu modellieren. Jedes Proxel stellt dabei eine Routingstrecke dar. Die Parametrisierung erfolgt über einen hier entwickelten Präprozessing-Ansatz, bei dem die Überlegungen von Cunge umgesetzt werden (JAHRESBERICHT 2003). 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 einer hier vorgenommenen Implementierung des sogenannten „topologischen Sortierens“.

2.2.3 Modellierung der Wasserqualität

BLTM

In den mittleren und großen Gewässern des Einzugsgebietes der Oberen Donau erfolgt eine Wasserbeschaffenheitsmodellierung mit dem Modell BLTM (JOBSON 1985; JOBSON and SCHOELLHAMER 1987). Dieses 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 2004) entnommen werden.

Die von DAFLOW für alle modellierten Proxel bereitgestellten hydraulischen Parameter werden von BLTM als Eingangsgrößen benötigt. Folgende sieben Wasserbeschaffenheitsparameter werden modelliert: Wassertemperatur, gelöster Sauerstoff, C-BSB₅, organischer Stickstoff, Nitrat, Nitrit sowie Ammonium.

Die Kalibrierungsstrategien für die Wasserflussmodelle DAFLOW und Muskingum basieren auf der Anwendung von Algorithmen, die eine physikalisch begründete Ableitung der Parameter erlauben. Dies ist bei dem Wasserbeschaffenheitsmodell nicht möglich. Daher wurden bei der Kalibrierung, also der Festlegung der Änderungsraten für die genannten Wasserinhaltsstoffe, die Parameter zunächst anhand von Literaturwerten vorbesetzt und im zweiten Schritt dann mittels eines Optimierungsverfahrens justiert.

Als Optimierungsverfahren wurde das auf der Evolutionsstrategie basierende Verfahren „Shuffled Complex Evolution“ der University of Arizona (SCE-UA) eingesetzt, das von der Arbeitsgruppe um Professor Sooroshian zur automatisierten Kalibrierung hydrologischer Modelle entwickelt wurde (DUAN et al. 1992). Der Quellcode des SCE-UA-Ansatzes wurde dem IAWG von den Autoren zur Verfügung gestellt, so dass die Anwendung im Rahmen der hier vorliegenden Fragestellung durch Aufbau eines entsprechenden Präprozessing-Ansatzes möglich war. Details zum Verfahren und zur Durchführung der Optimierung sind im Jahresbericht 2003 beschrieben. Die Abbildung 2 zeigt das Ergebnis der Optimierungsrechnung für den Pegel Passau-Kachlet. Im Ergebnis konnte dabei durch die Optimierung eine Verringe-

zung des verwendeten Gütekriteriums (Fehlerquadratsumme) bezogen auf die Abweichung zwischen gemessenen und modellierten Nitratkonzentrationen um 20% erzielt werden. Der Simulationszeitraum erstreckte sich von Januar bis Dezember 1995. Eingangsdaten waren die Ganglinien (Terminwerte, entlang der Zeitachse interpoliert) der Wassertemperatur, des organischen Stickstoffs, Ammoniums, Nitrits, Nitrats, BSB und des gelösten Sauerstoffs an insgesamt drei Oberlieger-Gütemessstellen. Hierbei wurden die Abbauraten aller sechs Inhaltsstoffe gleichzeitig optimiert (vgl. JAHRESBERICHT 2003).

Gütemodellierung mit Bltm: Nitrat bei Passau-Kachlet

Verbesserung der Anpassung um 20% durch Minimierung der Quadratfehlersumme

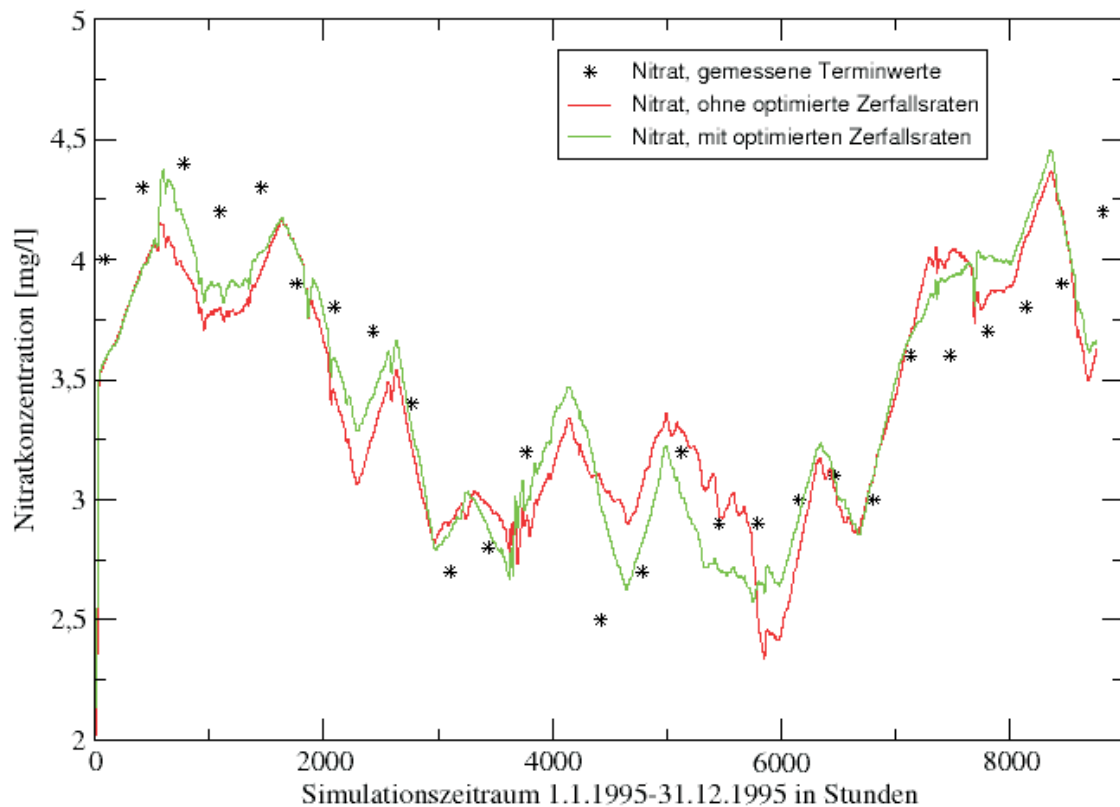


Abb. 2: Ergebnisse der Optimierung der Abbauraten, hier: Nitrat.

Abbildung 3 zeigt die modellierte Wassertemperatur im Vergleich zu gemessenen Terminwerten. Der Algorithmus zur Temperaturberechnung enthält keine Kalibrierungsgrößen. Das erzielte Ergebnis für die Wassertemperatur ist somit unabhängig von der durchgeführten Optimierung.

Gütemodellierung mit BLTM: Wassertemperatur

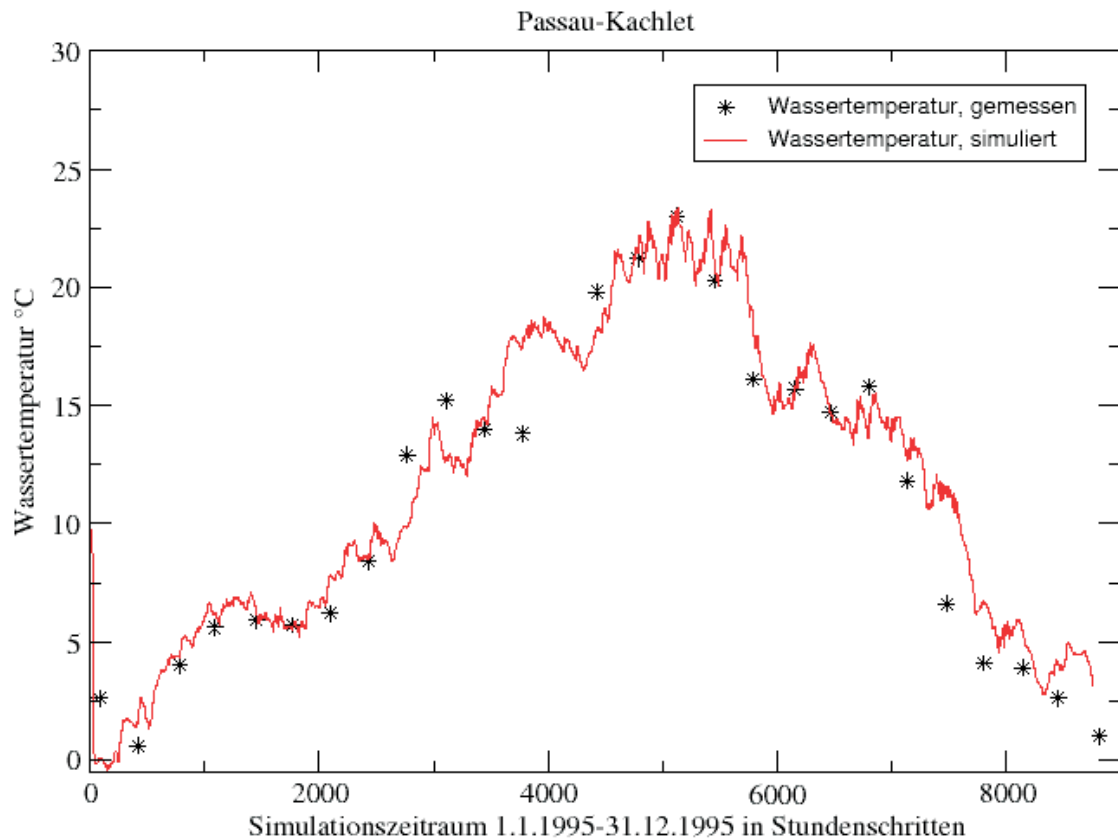


Abb. 3: Simulierte und gemessene Wassertemperatur, Pegel Kachlet/Donau.

Statistisches Gewässerbeschaffenheitsmodell

Die Randbedingungen für die deterministische Gewässerbeschaffenheitsmodellierung, also die Ganglinien der Gewässerbeschaffenheitsparameter an den „Anfangsknoten“ des mit BLTM modellierten Gewässernetzes, werden zur Zeit noch nicht und später auch nur zum Teil durch die Objekte *Landsurface* und *Groundwater* bereitgestellt. Zum einen wird innerhalb der genannten Objekte zwar Nitrat aber nicht die anderen sechs hier modellierten Parameter behandelt und zum zweiten werden die entsprechenden Algorithmen erst im Laufe der Folgeprojekt-Phase zur Verfügung stehen. Da die Wasserbeschaffenheitskomponente im *Rivernetzwerk*-Objekt aber bereits jetzt anwendbar ist, werden die Randbedingungen vorläufig mittels eines hier entwickelten statistischen Ansatzes zur Verfügung gestellt.

Dieser statistische Ansatz basiert auf der zeitvarianten (quasidynamischen) Erweiterung eines von KISHI (2000) vorgeschlagenen und auf dem sogenannten Group Method Data Handling-Verfahren (GMDH, s. z.B. IVACHNENKO and IVACHNENKO 1995) aufsetzenden, multivariaten statistischen Regionalisierungsmodells. Dabei wurden die Wasserbeschaffenheitsparameter (Zielvariablen) als Linearkombination von Gebietsmerkmalen (erklärende Variablen) vorhergesagt. Der GMDH-Algorithmus dient hierbei der möglichst geeigneten Auswahl der erklärenden Variablen (Modellidentifikation).

KISHI (2000) ermittelt mittlere Nitratkonzentrationen für beliebige Stellen im Einzugsgebiet des Neckars ($A_E = 13960\text{km}^2$) anhand multipler Regressionsmodelle. Diese Modellstrategie wird hier wie folgt erweitert: Neben Nitrat werden auch die anderen vom Objekt *Rivernetzwerk* zu modellierenden Wasserinhaltsstoffe regionalisiert und neben dem Mittelwert χ_p der jeweiligen Variable p wird auch deren Standardabweichung regionalisiert. Ferner wird im Falle eines signifikanten Jahrgangs dieser durch eine Harmonische Analyse in der Form

$$z_p(t) = \sum_{i=1}^n \left(bs_p \sin\left(\frac{2\pi \cdot t}{365}\right) + bc_p \cos\left(\frac{2\pi \cdot t}{365}\right) \right)$$

beschrieben und die beiden Koeffizienten für den Sinus- (bs_p) und Cosinus-Anteil (bc_p) ebenfalls mit Hilfe einer multiplen Regression auf Gebietsmerkmale rückgeführt. Dabei ergibt sich z durch die sogenannte z -Transformation, also Division des mittelwertbereinigten Wertes der Variablen durch deren Standardabweichung. Die Anwendung der entstehenden Gleichungen erlaubt die Abschätzung der Variable p für jeden beliebigen Punkt im Einzugsgebiet und jeden beliebigen Zeitpunkt t im Jahr ($t=1, \dots, 365$). Weitere Erläuterungen zum statistischen Verfahren enthält der Jahresbericht 2002.

2.2.4 Datenbedarf für die Modellierung

In der folgenden Tabelle 3 sind die für die Modellierungen innerhalb des *Rivernetwork*-Objektes erforderlichen raum- und zeitbezogenen Daten aufgeführt. Die zeitbezogenen Daten dienen dabei der Modellvalidierung.

Tab. 3: Datenbedarf der Teilmodelle des *Rivernetwork*-Objektes.

Teilmodell	Wassermenge		Wasserbeschaffenheit	
	Muskingum	DAFLOW	Statistisches Modell	BLTM
Raumbezogene Daten				
Höhenmodell -> Gefälle	✓	✓	✓	✓
Höhenmodell -> Flussnetz	✓	✓		✓
Höhenmodell -> Teilgebietsgrenzen	✓		✓	✓
Proxel-Rechtswert			✓	
Vektoriellles Gewässernetz		✓		
Landnutzung	✓	✓	✓	
Bevölkerungsdichte			✓	
Jahresniederschlag			✓	
Zeitbezogene Daten				
Abflussdaten, Tagesmittel	✓	✓	✓	✓
Abflussdaten, Stundenmittel	✓	✓	✓	✓
Daten zur Wasserbeschaffenheit, Terminwerte			✓	✓

2.3 Realisierung in DANUBIA (UML)

2.3.1 Schnittstellen

Der Datenaustausch zwischen der *Rivernetwork*-Komponente und dem Danubia-Framework erfolgt über die Danubia - Interfaces. Wie in Abbildung 4 zu erkennen ist, exportiert die *Rivernetwork*-Komponente Daten zur *Actor*-, *Groundwater*- und *Landsurface*-Komponente und importiert Daten von der *Actor*-, *Atmosphere*-, *Groundwater*- und *Landsurface*-Komponente.

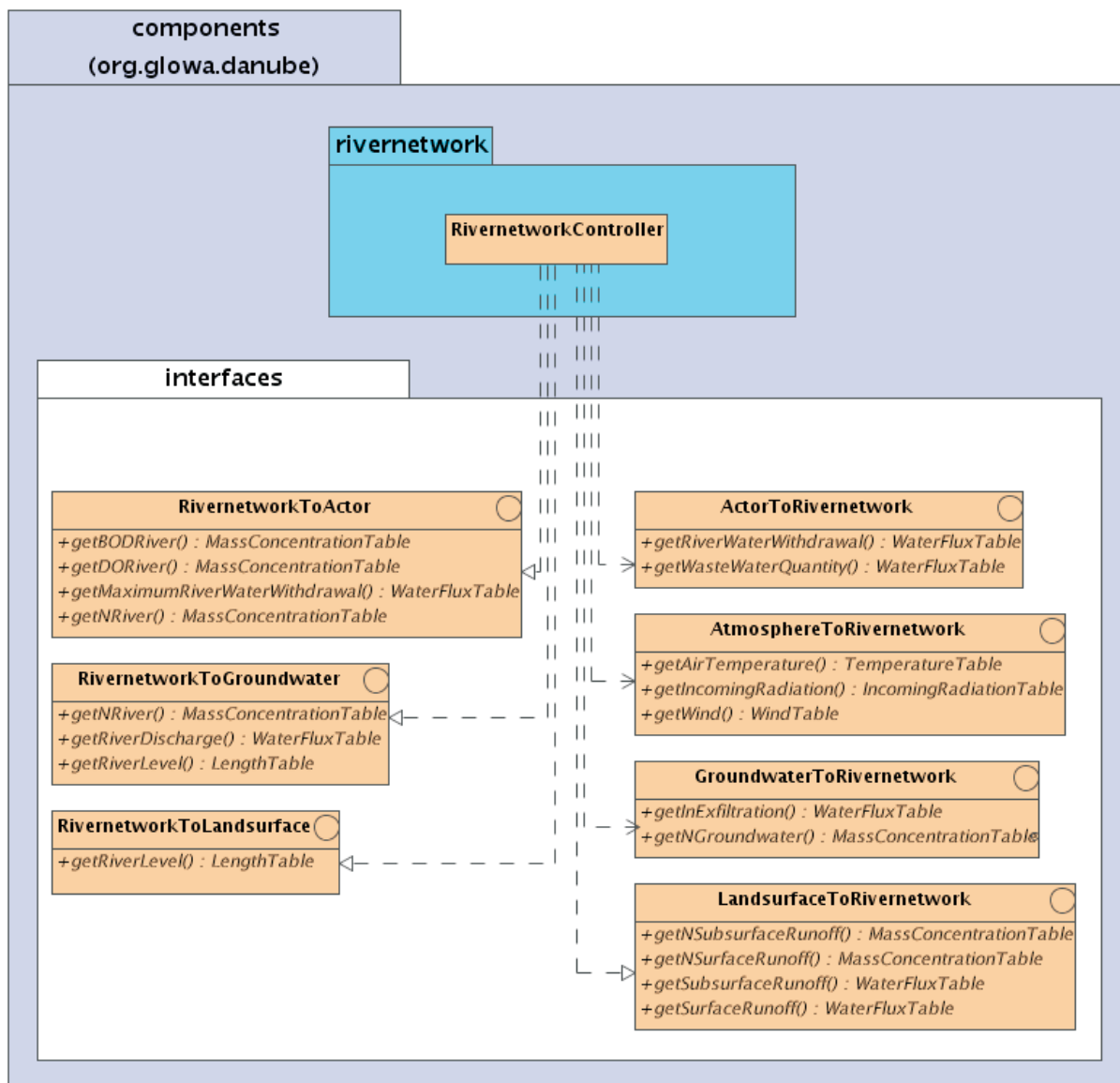


Abb. 4: Externe Schnittstellen.

2.3.2 Implementierung des Rivernetwork – Objektes

Die *Rivernetwork*-Komponente ist in dem Paket „rivernetwork“ implementiert. Die gesamte Funktionalität ist vollständig in JAVA kodiert. Wie in Abbildung 5 zu sehen ist, sind in diesem Paket neben den Danubia - typischen Controllerklassen vier weitere Pakete enthalten.

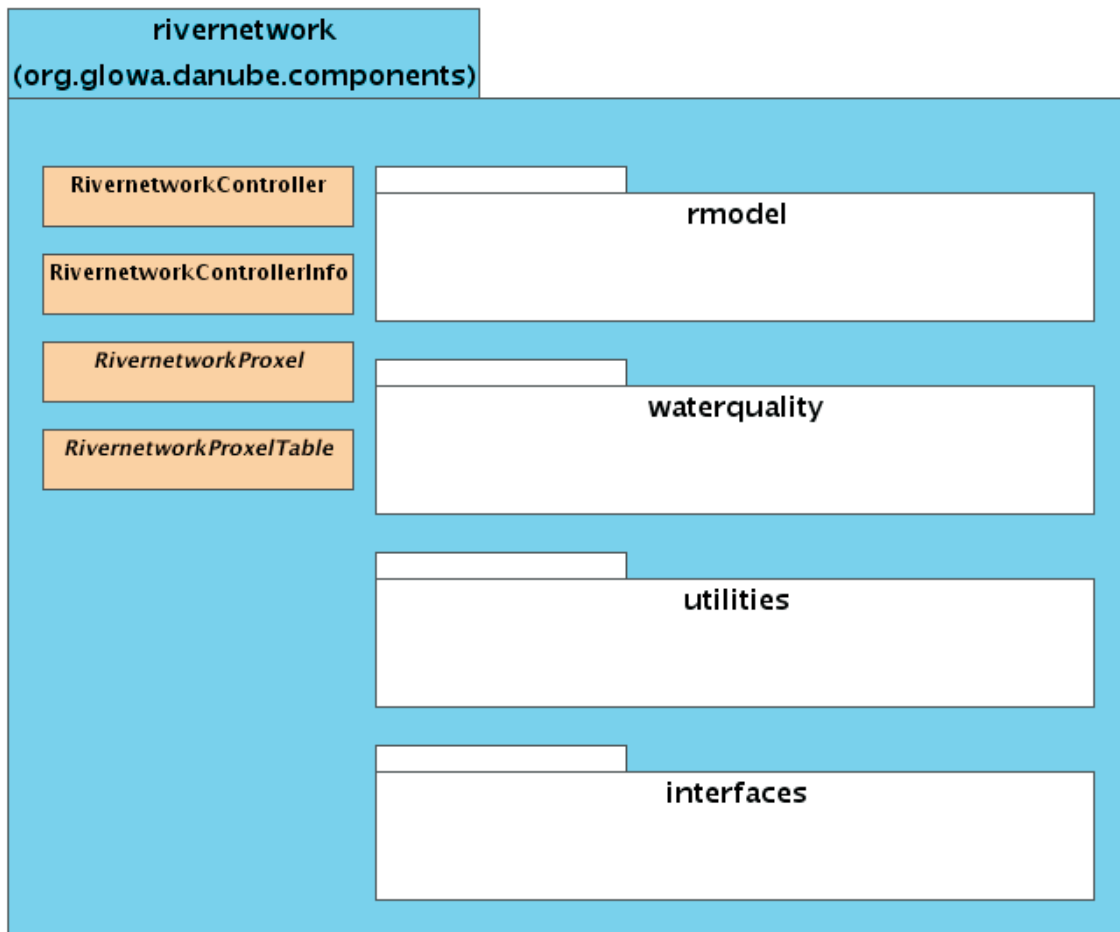


Abb. 5: Members und Pakete der *Rivernetwork*-Komponente.

Das Paket „rmodel“ enthält alle Klassen, die für die Wasserflussberechnung erforderlich sind. Das Paket „waterquality“ enthält das gesamte Wasserbeschaffenheitsmodell. Das Paket „utilities“ beherbergt Klassen zur Dateneingabe und -ausgabe in Textdateien und von ganzen Proxel-Tabellen im Arcinfo-Format.

Eine detaillierte Sichtweise zeigt die Abbildung 6. Hier sind alle in der *Rivernetwork*-Komponente vorhandenen Klassen aufgenommen und es werden die wichtigsten strukturellen Beziehungen gezeigt. Zentral ist die Klasse *RModel*, die über die Danubia-Schnittstellen Daten einliest und in der Proxel-Tabelle ablegt. Hierbei werden auch die Wasserflussberechnungen im Muskingum-Flussnetz und im DAFLOW-Flussnetz durchgeführt. Das DAFLOW-Flussnetz wird durch Flussabschnitte (Branch) und Sections beschrieben, wobei eine Section genau einem Danubia Proxel entspricht. Zudem wird durch diese Klasse in jedem Zeitschritt nach der Wasserflussberechnung die Wasserbeschaffenheit unter Verwendung der Klasse „Bltm“ bestimmt. Die Klasse „Bltm“ enthält im wesentlichen die Algorithmen zur Wasserbeschaffenheitsberechnung. Die Kinetik wird in der Klasse „JobsonKinetik“ festgelegt. Die Abbildung der Danubia Proxel in die Flussstruktur, auf der die Güteberechnung erfolgt, wird über die Klasse „GlowaBltmIoIF“ durchgeführt. Diese Klasse kann zudem auf die zentrale Proxel-Tabelle zugreifen, aus der alle erforderlichen proxelbezogenen Daten eingelesen und in der die Ergebnisse abgespeichert werden können. Nach dem Beenden aller Berechnungen werden über die *RModel*-Klasse alle Schnittstellendaten aus der Proxel-Tabelle an das Danubia-Framework weitergegeben.

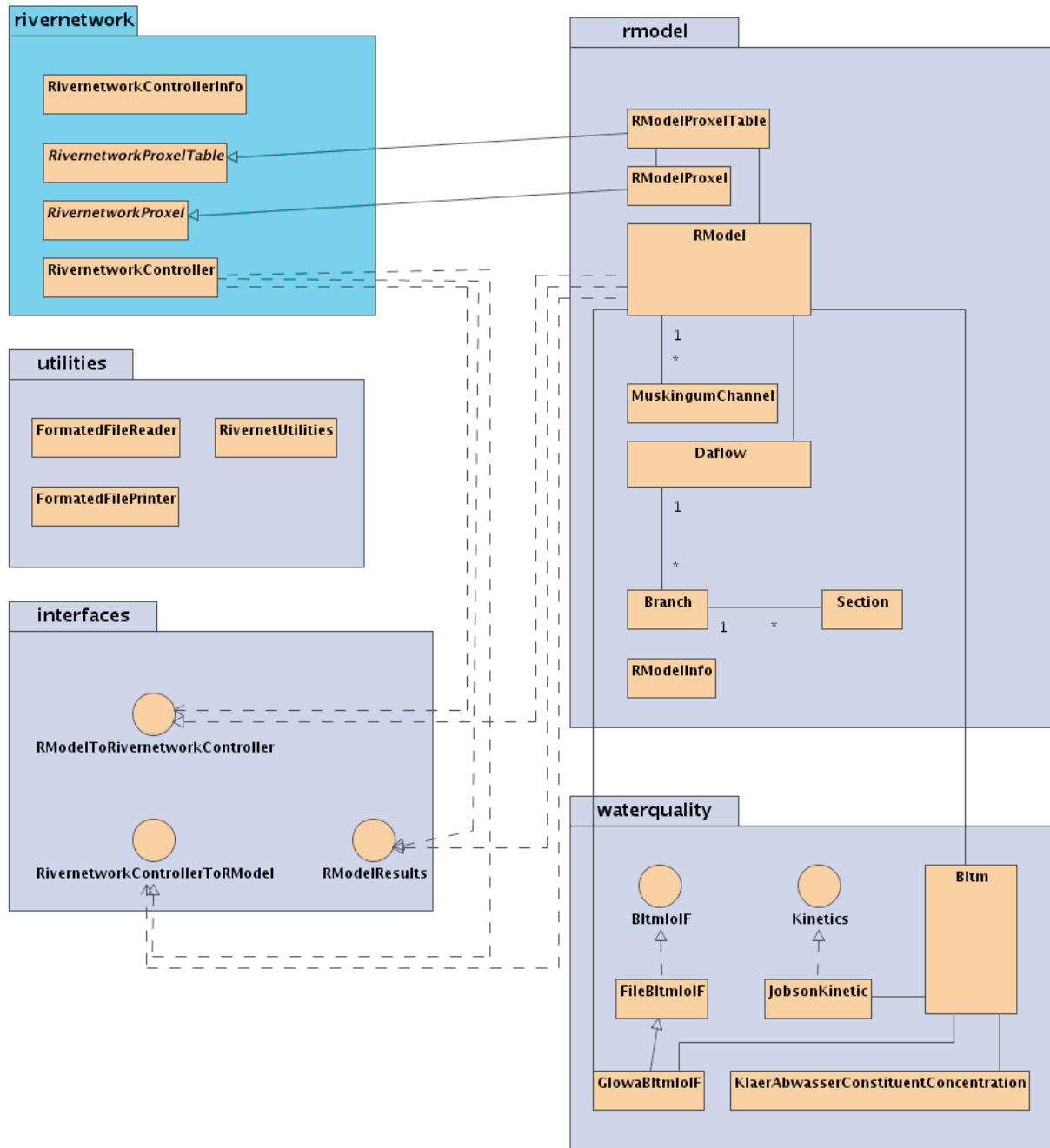


Abb. 6: Klassen und wichtigste strukturelle Beziehungen.

2.3.3 Herstellung der Recovery-Fähigkeit

Das GLOWA-Danube-Framework zeichnet sich durch sogenannte Recovery-Fähigkeit aus. Das bedeutet, dass ein zu einem beliebigen Zeitpunkt unterbrochener Rechenlauf wieder aufgenommen werden kann, weil alle internen Zustände in bestimmten Zeitabständen gesichert werden. Zur Herstellung der Recovery-Fähigkeit des Frameworks ist es erforderlich, dass jede einzelne Komponente Recovery-fähig ist. Bezogen auf das *Rivernetwork*-Objekt wurde dies durch Implementierung des Interface *Serializable* erreicht.

2.4 Tests und Validierung

2.4.1 Sektorale Validierung

Die folgende Abbildung 7 zeigt das Ergebnis der Anwendung des kalibrierten DAFLOW-Wasserflussmodells auf den unteren Abschnitt der Donau mit dem Zielpegel Achleiten. Geroutet werden dabei die Abflussganglinien (2400 Stundenmittelwerte) von insgesamt acht Oberliegerpegeln. Bedenkt man, dass nach Anwendung der Kalibrierungsprozedur keine „Nacheichung“ von Parametern stattgefunden hat, also insbesondere Abweichungen zwischen Messung und Berechnung in keiner Weise bei der Parameterbestimmung eingeflossen sind, dann ist die hohe Übereinstimmung zwischen Messung und Berechnung sehr zufriedenstellend. Dies spiegelt sich auch in einem sehr hohen Nash-Sutcliff-Koeffizienten von 0.99 wieder.

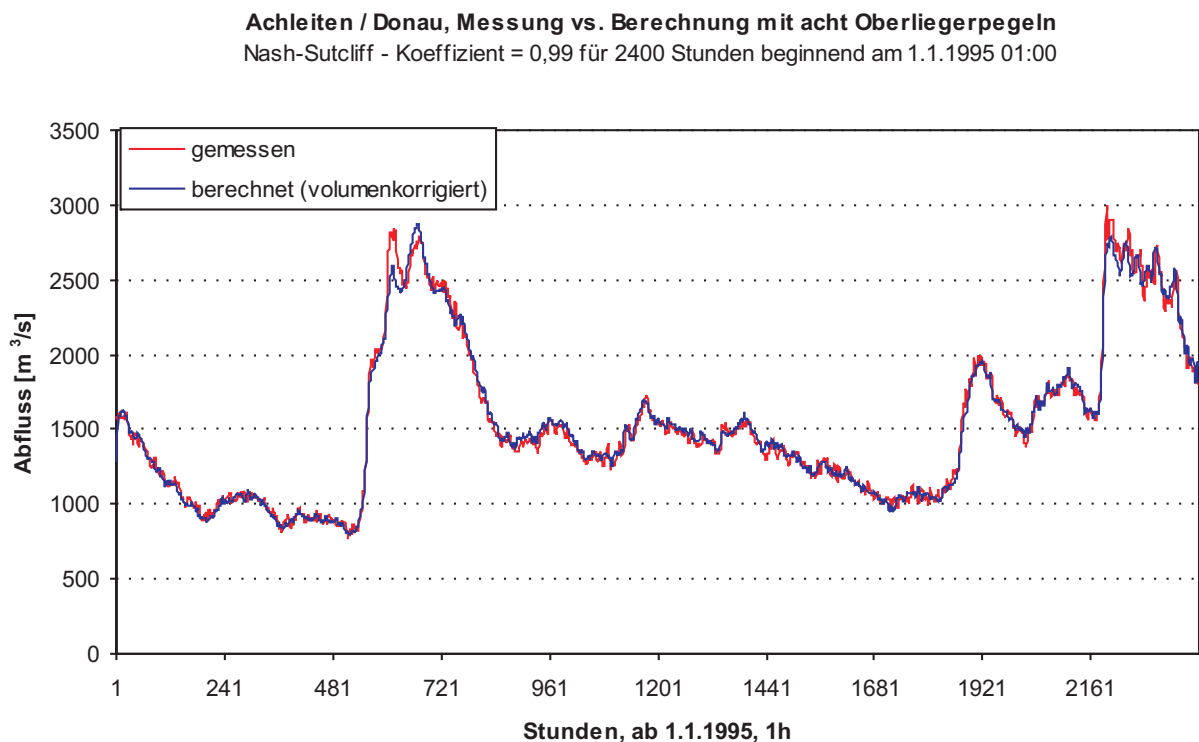


Abb. 7: Validierung der Wasserflussmodells DAFLOW.

Für das gesamte Donau-Einzugsgebiet ist das Ergebnis der Validierung in den Abbildungen 8 und 9 in Form von Nash-Sutcliff-Koeffizienten dargestellt. Dabei wurde eine Simulation des Jahres 1995 in Stundenschritten (Abb. 8) sowie in Tagesschritten (Abb. 9) vorgenommen und jeweils alle, bei entsprechendem Zeitschritt verfügbaren Pegel einbezogen. Wie zu erkennen ist, werden überwiegend hohe bis sehr hohe Nash-Sutcliff-Koeffizienten erreicht. Schlechte Anpassungen findet man in der Regel innerhalb von Teilstrecken, die von Talsperren, (aktuell sehr einfach abgebildeten) Seen, Wehren oder Überleitungen stark beeinflusst sind (Abb. 8). Diese werden im Folgeprojekt adäquat behandelt. Weitergehende Ergebnisse der sektoralen Validierung können den Jahresberichten 2002 und 2003 entnommen werden.

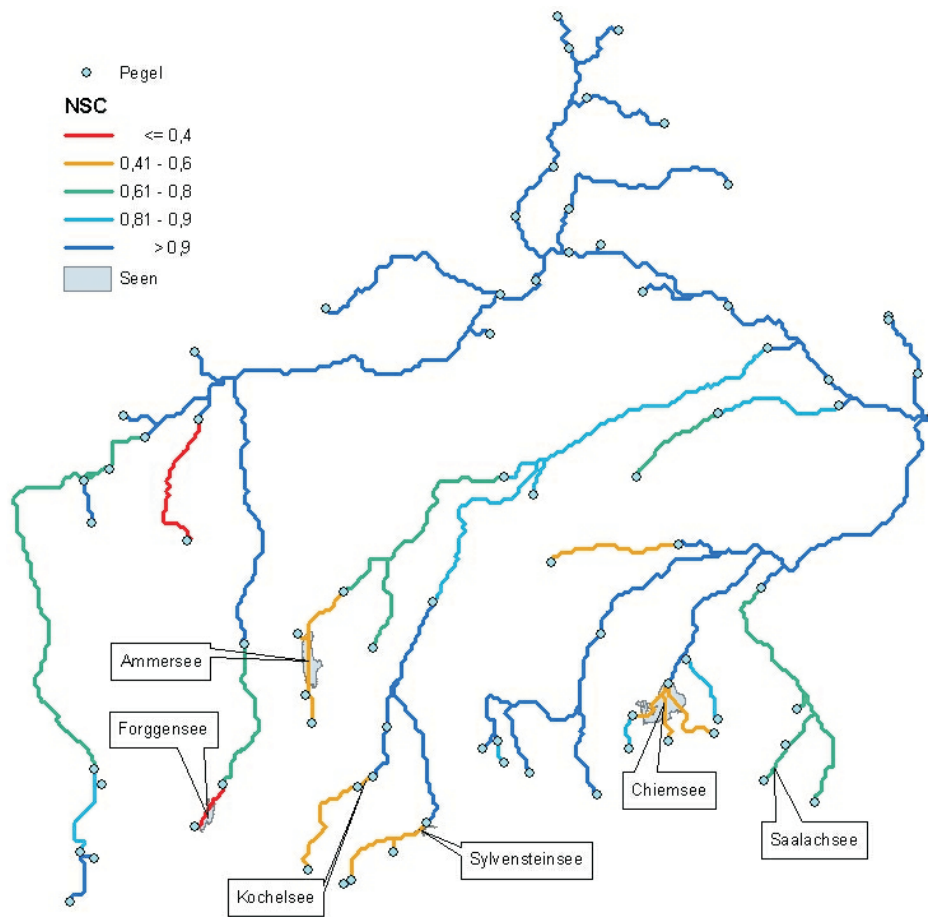


Abb. 8: Nash-Sutcliff-Koeffizienten (NSC), Berechnung des Jahres 1995 in Stundenschritten.

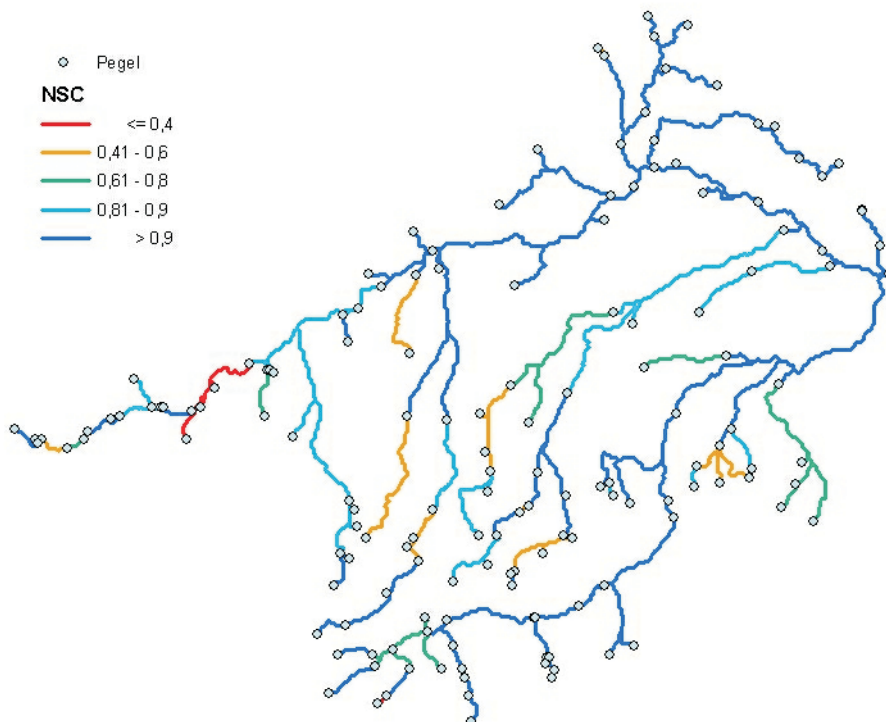


Abb. 9: Nash-Sutcliff-Koeffizienten (NSC), Berechnung des Jahres 1995 in Tagesschritten.

2.4.2 Integrative Validierung

Im Februar 2004 startete der erste und im April 2004 der zweite Referenzlauf des GLOWA-Danube-Frameworks, jeweils über den Simulationszeitraum vom 1.1.1995 bis 31.12.1996. Die beiden Läufe unterscheiden sich dabei hinsichtlich des verwendeten Niederschlags. Beim ersten Referenzlauf entstammt der Niederschlag aus der räumlichen Interpolation von Stationswerten (*AtmoStations*), im zweiten Lauf liefert das Modell MM5 die Niederschläge (*AtmoMM5*).

Auswertungen zum ersten Referenzlauf (*AtmoStations*)

In den Abbildungen 10 bis 12 ist dargestellt, inwieweit die am Pegel gemessenen Abflüsse und Nitratkonzentrationen durch das GLOWA-Danube-Framework bei Modellantrieb aus *AtmoStations* nachgebildet werden können. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt interpretieren:

Abfluss: Der berechnete Abfluss am Pegel Achleiten (Abb. 10) liegt um etwa 15% höher als der gemessene. Die volumenkorigierte Abflussganglinie (d.h. die auf das Volumen der gemessenen Ganglinie abgeglichenen) korreliert eng mit der gemessenen und ist somit recht plausibel, wie die Abbildung 10 zeigt.

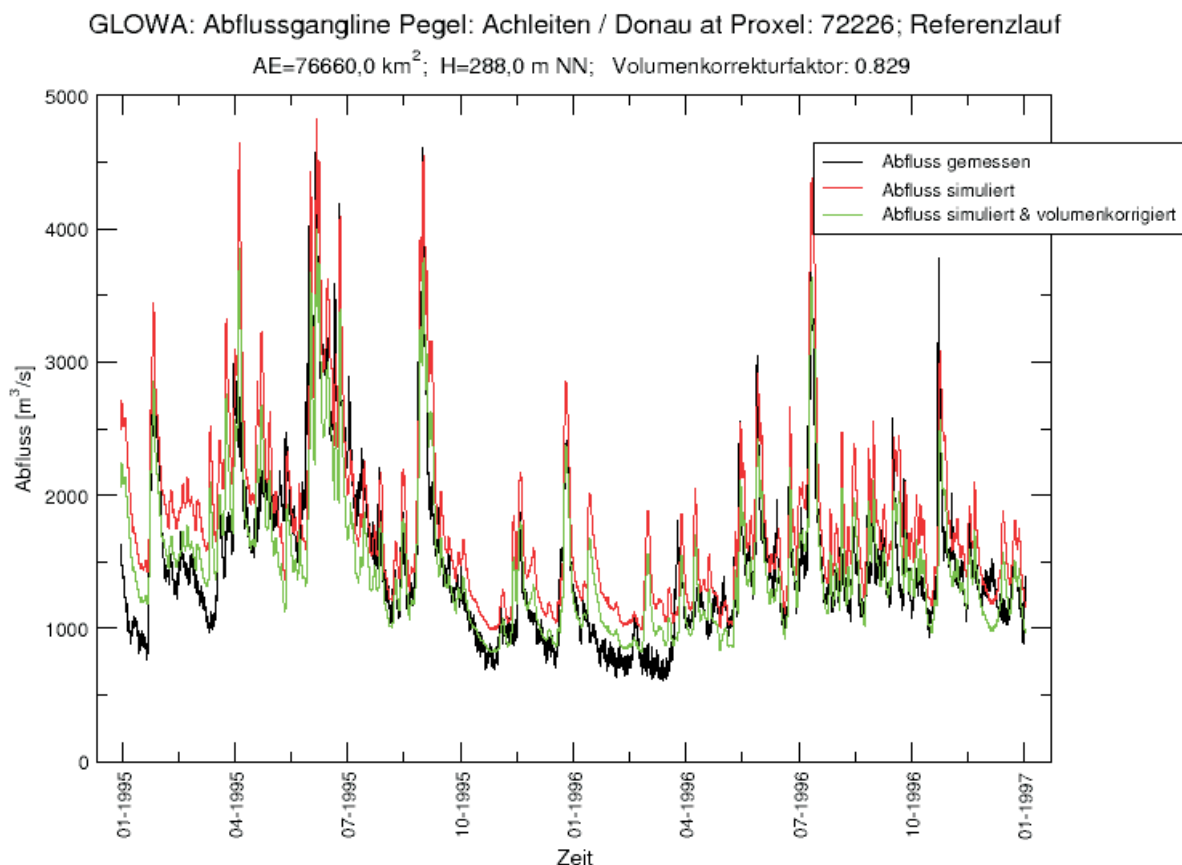


Abb. 10: Ergebnisse des ersten Referenzlaufes, Abfluss bei Achleiten/Donau.

Ansteigende und abfallende Äste der Ganglinien werden in der Regel relativ gut getroffen, ebenso die Zeitpunkte des Auftretens der Abflussspitzen. Nach der Volumenkorrektur liegt der Nash-Sutcliffe Wert für Achleiten bei 0.67 und erreicht damit einen für „ungefittete“ hydrologische Modelle akzeptablen Wert. Gleiches gilt auch für viele weitere Pegel nach Volumenkorrektur. Insgesamt kann man feststellen, dass die Translations- und Retentionsvorgänge in den Gerinnenetzen des Einzugsgebietes recht zutreffend abgebildet werden. Dies gilt nicht nur für die mit DAFLOW sondern auch für die mittels Muskingum beschriebenen Gewässerabschnitte, wie Abbildung 11 für den Pegel Brodhausen/Sur ($A_E=124\text{km}^2$)

belegt. Allerdings lassen sich bei den kleineren Gewässern teilweise zu stark ausgeprägte hochfrequente Anteile in der Ganglinie erkennen.

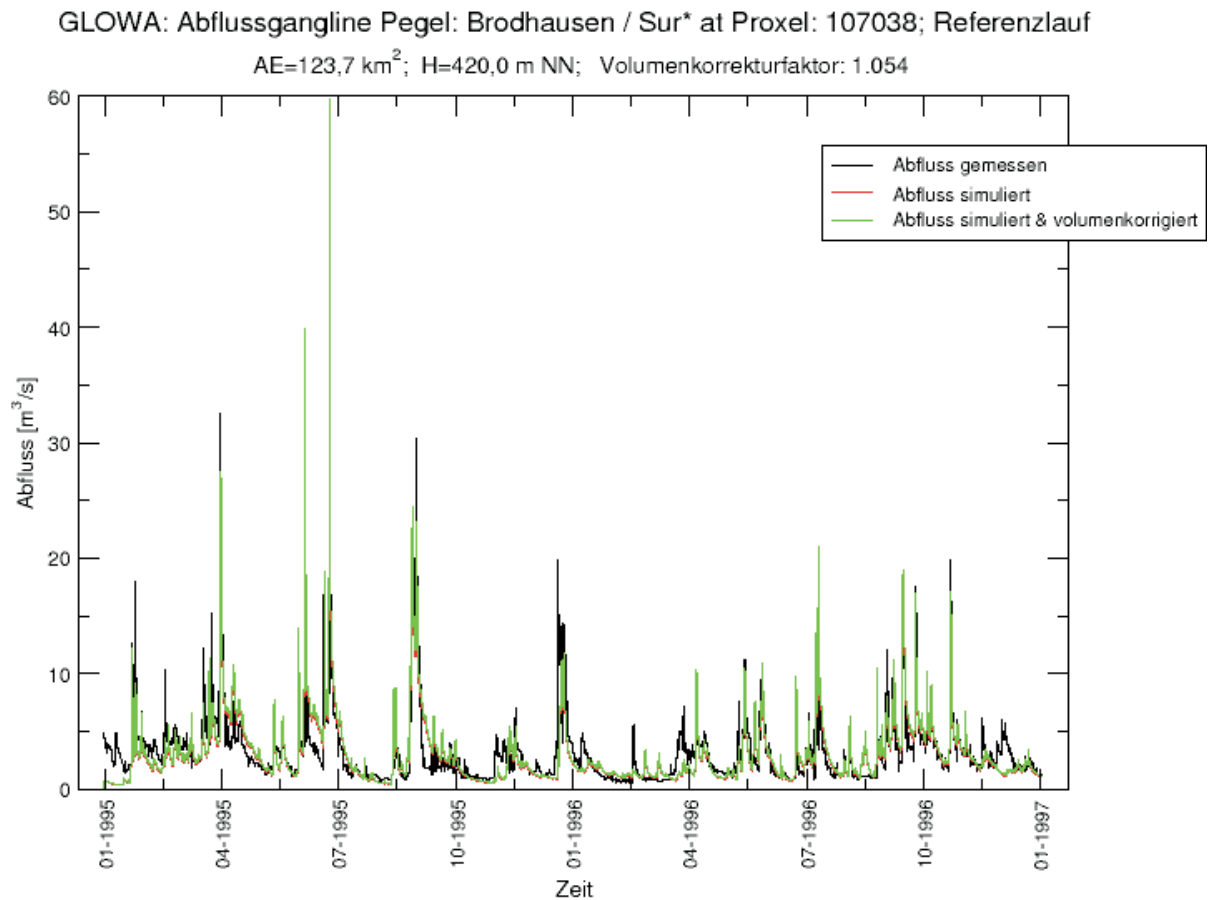


Abb. 11: Ergebnisse des ersten Referenzlaufes, Abfluss bei Brodhhausen/Sur.

Wassertemperatur: Die Modellierung der Wassertemperatur innerhalb von BLTM hat keinerlei kalibrierbare Parameter. Basierend auf den von *Atmosphäre* proxeldifferenziert übernommenen Lufttemperaturwerten erfolgt die Ermittlung der Wassertemperatur auf der Grundlage des Prinzips der Gleichgewichtstemperatur (vgl. technische Dokumentation, WILLEMS 2004).

Nitrat: Bei der Modellierung der Wasserinhaltsstoffe besteht das Problem, dass diese derzeit nur innerhalb des Objektes *Rivernetwork* berechnet werden. Daher müssen die Randbedingungen über den im Jahresbericht 2002 beschriebenen statistischen Ansatz bereitgestellt werden. Dessen Ausgaben sind räumlich differenziert und weisen eine zeitliche Dynamik auf. Allerdings stellt sich die Dynamik lediglich als harmonische Schwingung dar, deren Amplitude und Phase die mittleren Bedingungen an einem Punkt im Gebiet repräsentieren. Dies führt dazu, dass die mittels des Wasserbeschaffenheitsmodells ermittelten Ergebnisse von diesen Randbedingungen überprägt werden. So lässt sich der in Abbildung 12 dargestellte Verlauf der berechneten Nitratkonzentration am Pegel Passau erklären. Dabei wird deutlich, dass Phase und Wellenlänge der Schwingung der gemessenen Daten recht gut getroffen werden, während das mittlere Niveau der Nitratkonzentration vom Modell um etwa 1mg/l unterschätzt wird. Es bleibt abzuwarten, wie zuverlässig die Nachbildung der Wasserinhaltsstoffe möglich sein wird, wenn diese auch innerhalb der Objekte *Groundwater* und *Landsurface* berechnet und dann an das *Rivernetwork*-Objekt weitergereicht werden.

Gütemodellierung mit Bltm

Nitratmodellierung bei Achleiten

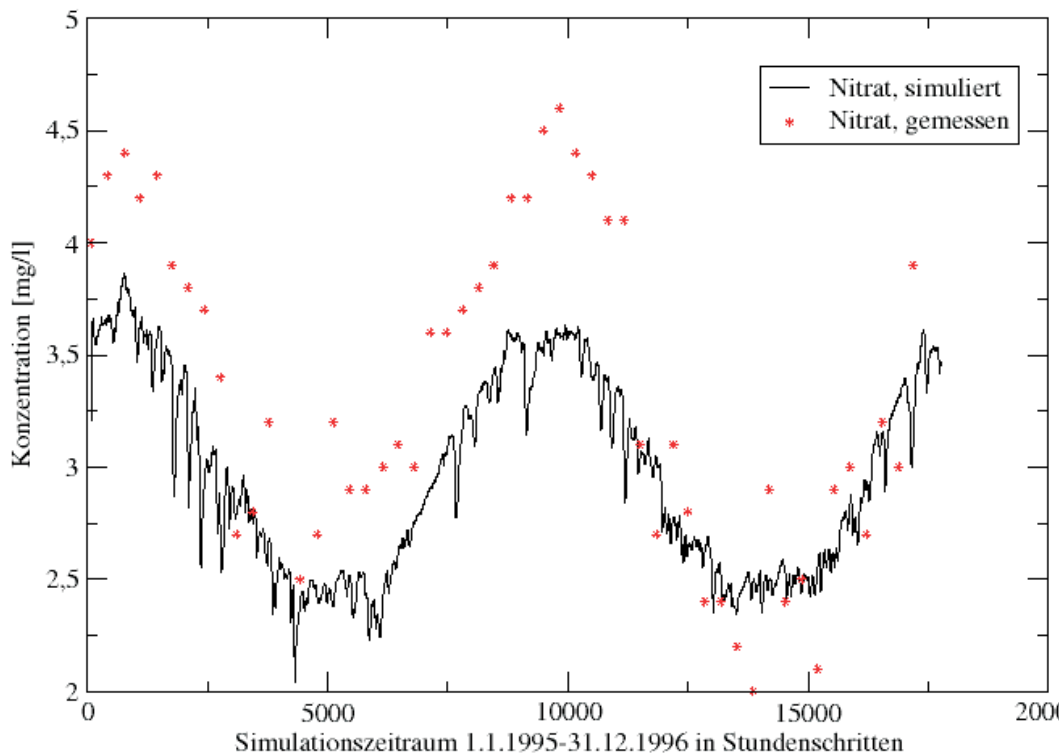


Abb. 12: Ergebnisse des ersten Referenzlaufes, Nitrat bei Passau-Kachlet.

Auswertungen zum zweiten Referenzlauf (*AtmoMM5*) und Vergleich

Die folgende Abbildung 13 zeigt den simulierten Abfluss, der sich am Pegel Achleiten ergibt, wenn die mittels MM5 berechneten Niederschläge den Modellantrieb bilden. Der berechnete Abfluss am Pegel Achleiten liegt dabei um etwa 25% höher als der gemessene. Der Nash-Sutcliff-Gütwert beträgt nach der Volumenkorrektur 0.591.

Ein Vergleich mit Abbildung 10 zeigt, dass bei dem MM5-Lauf insbesondere in den Sommermonaten zu viele Niederschlagsereignisse generiert wurden, was sich in den dann vermehrt auftretenden Abflusswellen manifestiert.

Insgesamt stehen zur Validierung der Referenzläufe 79 Abflusspegel zur Verfügung. Die folgende Tabelle zeigt eine primärstatistische Auswertung des Volumenkorrekturfaktors VK und des Nash-Sutcliff-Koeffizienten NSC (nach Volumenkorrektur) für die beiden Referenzläufe. Der Volumenkorrekturfaktor VK ergibt sich dabei als Quotient aus gemessenem zu simuliertem Abflussvolumen.

Die Volumenkorrektur-Faktoren machen deutlich, dass - anders als am Zielpegel Achleiten - bei vielen Pegeln im Gebiet das gemessene Abflussvolumen unterschätzt wird. Dabei ist natürlich zu beachten, dass die Pegel in einer Fließkette nicht unabhängig voneinander sind. Volumenprobleme im Oberlauf setzen sich damit in Fließrichtung fort. Die Tabelle 4 lässt unter Vernachlässigung spezieller räumlicher Unterschiede folgende Schlussfolgerungen zu: Zu geringe oberirdische Abflüsse in den Oberläufen werden zunächst durch zu hohe Abflüsse entlang der Fließstrecke kompensiert, anschließend jedoch überkompensiert, so dass das Volumen am Zielpegel überschätzt wird. Bei der Klärung der Ursache muss das Zusammenspiel der in das oberirdische Gewässernetz strömenden Flüsse aus dem Grundwasser, dem Interflow, sowie über die Landflächen gemeinsam betrachtet werden. Im Vergleich zwischen dem ersten und zweiten Referenzlauf wird deutlich, dass durch die raumzeitliche Verteilung der von *AtmoMM5* generierten meteorologischen Variablen insgesamt eine größere Abflussmenge durch das Gewässernetz transportiert wird.

GLOWA: Abflussgangline Pegel: Achleiten / Donau at Proxel: 72226; Referenzlauf mit MM5

AE=76660,0 km²; H=288,0 m NN; Volumenkorrekturfaktor: 0.758

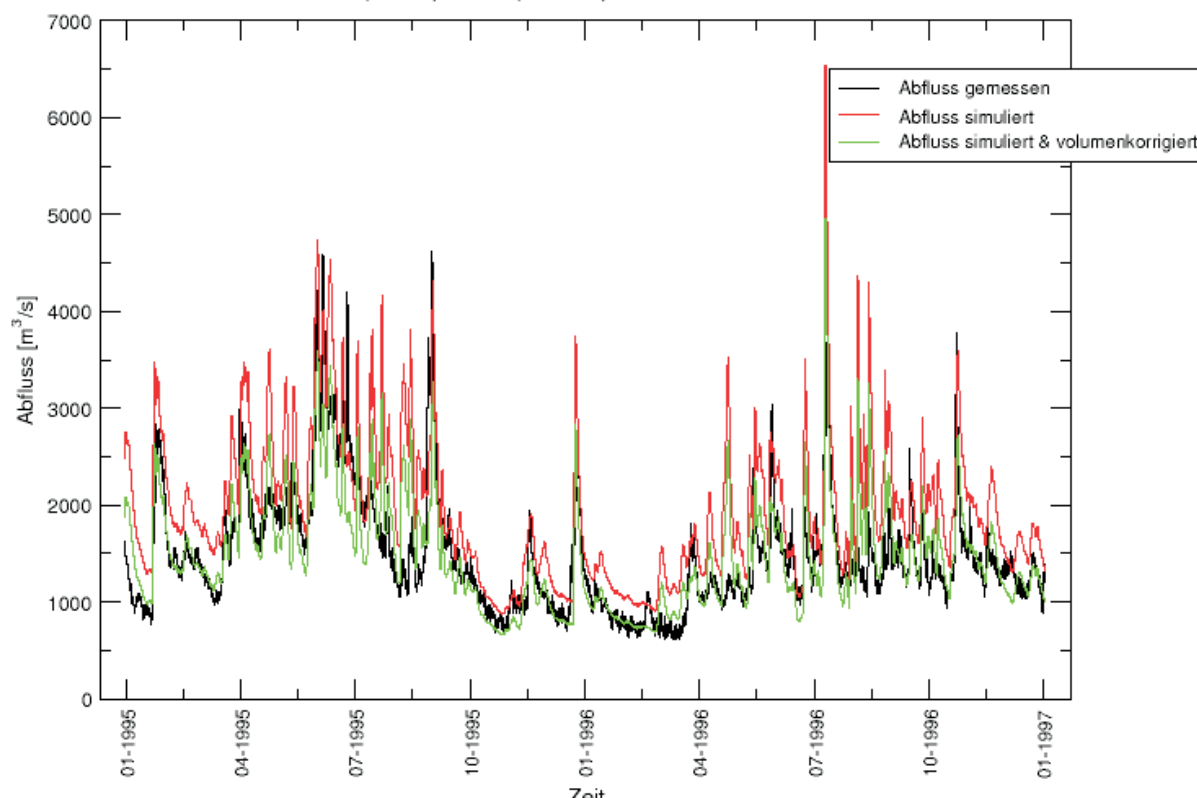


Abb. 13: Ergebnisse des zweiten Referenzlaufs, Abfluss Pegel Achleiten/Donau.

Tab. 4: Zusammengefasste Ergebnisse der Referenzläufe für 79 Pegel.

Primärstatistik	Referenzlauf <i>AtmoStations</i>		Referenzlauf <i>AtmoMM5</i>	
	VK	NSC	VK	NSC
Minimum	0.378	-3.647	0.343	-7.870
Maximum	16.133	0.858	13.267	0.685
Mittelwert	1.364	0.247	1.164	-0.368
Achleiten/Donau	0.830	0.7265	0.758	0.5917

Bei der Interpretation der in der Tabelle 4 angegebenen Nash-Sutcliff-Werte muss beachtet werden, dass einige Gewässerabschnitte derzeit vom Wasserflussmodell nicht befriedigend gerechnet werden können. Ursache hierfür ist die bisherige Vernachlässigung der Auswirkungen technischer Eingriffe (Talsperren, Überleitungen u.a.) (s. dazu Abschnitt 3.2). Der auf Achleiten bezogene, volumenkorrigierte Nash-Sutcliff-Wert ist bei beiden Referenzläufen zufriedenstellend, wenn man berücksichtigt, dass die simulierten Abflüsse in keiner Weise an die gemessenen Abflüsse „angefittet“ wurden.

Die auf das Gesamtvolumen am Pegel Achleiten bezogenen Volumenanteile der einzelnen, mit *Rivernetzwerk* austauschenden Komponenten sind in der Tabelle 5 zusammengefasst. Der Anteil des Oberflächen- und Zwischenabflusses hat sich bei dem MM5-Lauf erhöht, der Grundwasseranteil etwas verringert. Die Anteile der Entnahme an Oberflächenwasser und der Abwasserzuführung durch die Haushalte sind nahezu unverändert. Die Summe der Anteile ergibt 100%, die Abweichung hiervon ist durch die Speicherwirkung des gesamten Gewässernetzes zu erklären.

Tab. 5: Volumenanteile des Abflusses am Pegel Achleiten in Prozent des Gesamtabflusses.

Komponente	Referenzlauf <i>AtmoStations</i>	Referenzlauf <i>AtmoMM5</i>
Surface Runoff	16.4	18.4
Subsurface Runoff	38.8	41.4
Groundwater InExfiltration	44.7	40.1
River Water Withdrawal	-0.9	-0.8
Waste Water Quantity	0.8	0.7
Σ	99.8	99.8

3. Zusammenfassung

3.1 Stand der Entwicklung

Sieht man von dem bisher ausstehenden Szenario-Lauf ab, so lässt sich sagen, dass alle in der Antragsstellung der Arbeitsgruppe „Oberirdische Gewässer“ formulierten Ziele erreicht werden konnten, wenngleich die Lösungswege zum Teil in einer etwas anderen Weise beschritten werden mussten, als ursprünglich angedacht. Speziell im Bereich der Wasserflussmodellierung wurden weitergehende Methoden implementiert, die zum Zeitpunkt der Antragstellung nicht vorgesehen waren. Die sektoral erzielten Ergebnisse sind sowohl im Bereich der Wasserflussmodellierung als auch im Bereich der Wasserbeschaffenheitsmodellierung durchweg zufriedenstellend.

3.2 Ausblick auf die zweite Förderphase

In der zweiten Förderphase verfolgt die AG „Oberirdische Gewässer“ folgende Ziele:

1. eine weitergehende Verbesserung der bestehenden Wasserfluss- und Wasserbeschaffenheitsmodelle,
2. die Implementierung wassermengen- und/oder wasserqualitätsrelevanter technischer Strukturen sowie
3. die Detektion von Überlastungen der Teilkompartimente des Objektes *Rivernetzwerk*.

Das Wasserflussmodell wird hinsichtlich der Behandlung von Seen und der lateralen Flüsse in den Kopfgebieten weiter verbessert. Das Wasserbeschaffenheitsmodell wird bezüglich der behandelten Wasserinhaltsstoffe insbesondere um Phosphat erweitert. Hinsichtlich der modellierten Stoffumsätze erfolgt damit auch eine Umstellung von dem bisher eingesetzten Jobson-Schema auf eine QUAL2E-äquivalente Kinetik (BROWN and BARNWELL 1987), wobei diese - anders als das „Original“ - in einer für instationäre Fließverhältnisse angepassten Form implementiert wird. Dabei werden die weitreichenden Überlegungen von REICHERT et al. (2001) in geeigneter Weise berücksichtigt, die dort im Zuge der Konzeption eines neuen, auch den Anforderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie gerecht werden den Gütemodells (RWQM1) gegeben werden.

Das Kernziel der zweiten Phase ist die Implementierung von Algorithmen zur Berücksichtigung technischer Strukturen im Gewässernetz, denn diese sind wesentlich für eine realitätsnahe Abbildung der Wasser- und Stoffströme in den anthropogen stark beeinflussten Bereichen des Einzugsgebietes der oberen Donau. Um dies zu erreichen, werden in der zweiten Projektphase folgende Strukturen mit skalenkonformen (also vereinfachenden) Modellierungsansätzen integriert: Wehre, Deiche, Hochwasserrückhaltebecken, Talsperren und Überleitungen, Entwässerungsnetze der größeren Siedlungen sowie Kläranlagen. Die Vereinfachungen ergeben sich dabei insbesondere unter Zugrundelegung der Annahme, dass

die maßgeblichen „allgemein anerkannten Regeln der Technik“ bei der Planung und Konstruktion der Strukturen eingehalten wurden.

Ferner werden für alle vom Teilprojekt „Oberirdische Gewässer“ behandelten Teilkompartimente Indizes eingeführt, die dem Monitoring der Modellausgaben und der Detektion von Systemüberlastungen dienen.

Das Teilprojekt führt - eingebunden in das GLOWA-Framework - zu sektoralen wie integrativen Anwendungsmöglichkeiten, die bisher in dieser Form kaum möglich waren. 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. Dies stellt einen erheblichen Fortschritt gegenüber den zur Zeit für große Gebiete angewandten Modellen dar, denn die auch seitens der Wasserrahmenrichtlinie geforderte und zur Durchführung von Maßnahmen unumgängliche Klärung der Herkunftswege wird in der Regel derzeit nicht erfüllt (s. z.B. SCHEER et al. 2004).

4. Literatur

- ANDERSON, M.G. und BURT, T.P. (ed.)(1985): Hydrological Forecasting.
- BROWN, L.C. und BARNWELL, T.O. (1987): The enhanced stream water quality models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS. Documentation and User Manual. Report EPA/600/3-85/040, US EPA.
- DUAN, Q. SOOROSHIAN, S. und GUPTA, V. (1992): Effective and Efficient Global Optimization for Conceptual Rainfall-Runoff-Models. Water Resources Research, Vol. 28, p. 1015-1031.
- IVACHNENKO, A.G. und IVACHNENKO, G.A. (1995): The review of problems solvable by algorithms of the Group Method Data Handling (GMDH). Pattern Recognition and Image Analysis, 5, p. 527-535.
- 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 p.
- 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 p.
- 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 p.
- KISHI, R.T. (2000): Modellierung stofflicher Parameter mit Hilfe raumbezogener Daten. Schriftenreihe des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe, Bd. 9.
- MANIAK, U. (1997): Hydrologie und Wasserwirtschaft.
- REICHERT, P., BORCHARDT, D., HENZE, M., RAUCH, W., SHANAHAN, P., SOMLYODY, L. und VANROLLEGHEM, P.A. (2001): River Water Quality Modelling. IWA Publishing. Scientific and Technical Report No. 12.

SCHEER, C., PANCKOW, N. und KUNST, S. (2004): Signifikante Nährstoffeinträge aus der Fläche. *Wasserwirtschaft*, H. 5, S. 42-45.

WILLEMS, W. (2004): DANUBIA Software-Dokumentation, GLOWA-Danube Papers Technical Release No. 12: Modeling water flow and constituents in the River network of the Upper Danube, May 2004.

Grundwasserhaushalt, Grundwasserwirtschaft, Wasserversorgung

Teilprojekt: Grundwasserwirtschaft/Wasserversorgung
Leiter: Jürgen Braun, Ph.D.
Ausführende Stelle: Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau,
Jungwissenschaftlergruppe Grundwasserhydraulik und
Grundwasserbewirtschaftung

1. Organisation

1.1 Kurzbeschreibung des Teilprojekts

Die Arbeitsgruppe "Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung und Wasserversorgung" am Institut für Wasserbau der Universität Stuttgart (IWS) ist innerhalb der Forschungskoooperation GLOWA-Danube für die Bereiche „Grundwasser“ und „Wasserversorgung“ zuständig und steuert zum Gesamtmodell DANUBIA die Teilmodelle für die Beschreibung der Grundwasserströmung und den Transport von Stickstoff im Grundwasser (Objekt *Groundwater*) sowie für die Wasserversorgung (Objekt *Watersupply*) bei. Während im Antrag zur Förderphase 1 sowie im ersten Jahr der Bearbeitung noch eine sehr enge Kopplung der beiden Objekte angedacht war, wurden im Verlauf des zweiten Projektjahres die Bereiche Grundwasser und Wasserversorgung konzeptionell getrennt. Während *Groundwater* als eigenständige Komponente weiterentwickelt wurde, wurde das Objekt *Watersupply* in die Komponente *Actors* integriert. Damit wurde dem Akteurscharakter des Objekts *Watersupply* und seiner inhaltlichen und methodischen Verwandtschaft mit den anderen sozio-ökonomischen Teilmodellen Rechnung getragen.

In der ersten Projektphase wurden für die beiden Objekte *Groundwater* und *Watersupply* Daten beschafft, bearbeitet und ausgewertet, die Modellkonzeption entwickelt und umgesetzt. Dabei ist anzumerken, dass die wissenschaftlichen Erkenntnisse in beiden Teilbereichen sehr unterschiedlich sind. Während die Grundwassermodellierung ein seit Jahrzehnten in Theorie und Praxis umfangreich bearbeitetes Themengebiet darstellt, kann im Bereich der Modellierung von Wasserversorgungsstrukturen und -entscheidungen kaum auf bestehende Erkenntnisse zurückgegriffen werden. So wurde im Grundwasserbereich das seit Jahren etablierte Modell MODFLOW herangezogen, während das Wasserversorgungsmodell zwangsläufig eine vollständige konzeptionelle Neu- und Eigenentwicklung darstellt. Insofern sind die Arbeiten an den beiden Teilbereichen sowohl methodisch als auch konzeptionell sehr unterschiedlich und werden im vorliegenden Bericht weitgehend getrennt beschrieben.

Bis zum Ende der ersten Projektphase konnten zwei funktionsfähige Modelle bereitgestellt werden. Weiterhin wurde die Integration der DANUBIA-Objekte in das DANUBIA-Framework vorangetrieben. Die Ergebnisse dieser Modelle können, bezogen auf die in der Projektphase 1 angestrebten Ziele, als korrekt, plausibel und befriedigend charakterisiert werden. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über die zum Februar 2004 erreichten Ergebnisse gegeben.

Im Projektbereich *Groundwater* wurde eine bis auf kleine Randbereiche vollständige hydrogeologisch-hydrochemische Datenbasis (Nitrat u.a.) für das gesamte Einzugsgebiet der Oberen Donau erstellt. Daraus konnte bis Ende des Jahres 2003 ein innerhalb DANUBIA funktionsfähiges dreidimensionales Grundwasserströmungsmodell fertig gestellt werden. Dieses Modell, obwohl nicht durch automatische Kalibrierung verfeinert, liefert vor allem in den für den kurz- und mittelfristigen Grundwasserumsatz bedeutsamen quartären Grundwasserleitern plausible Ergebnisse. Erwartungsgemäß sind die Ergebnisse im Bereich der tieferen tertiären Aquifere, im Malmkarst und in den Alpen noch diskussions- und verbes-

serungsbedürftig. Dies sind zentrale Forschungsgegenstände der zweiten Projektphase. Im Bereich der Transportmodellierung wurden mit zwei Detailstudien die Grundlagen für die detaillierte Bearbeitung in der Projektphase 2 geschaffen. Zum einen wurde in einer umfangreichen theoretischen Betrachtung die Frage nach dem Einfluss der numerischen Dispersion auf dem Grobraster (1km²) untersucht. Zum anderen wurden durch eine räumlich-zeitliche Analyse aller vorliegenden Nitratmesswerte im Grundwasser und deren Beziehung zu den bekannten Geofaktoren die maßgeblichen Einflussgrößen und die Dynamik der Nitratkonzentrationen betrachtet. Aus der Auswertung der Ergebnisse ergibt sich, dass bereichsweise der Nitrattransport im Grundwasser mit anderen als den ursprünglich vorgesehenen Methoden (MT3D, Finite Differenzen) erfolgen muss. Eine Untersuchung zum Vergleich der in Frage kommenden Methoden ist derzeit in Arbeit.

Die Datenbasis im Bereich Wasserversorgung wurde für den deutschen Teil des Einzugsgebiets mit Ende der ersten Projektphase fertig gestellt. Das Objekt *Watersupply* wurde, wie vorgesehen, als flaches Modell in JAVA implementiert. Somit ist die Anforderung, in DANUBIA die Vermittlung zwischen den Verbrauchern (*Actors*) und den Ressourcen (*Groundwater*, *RiverNetwork*) zu gewährleisten, erfüllt. Das Modell ist geeignet, den Ist-Zustand der Wasserversorgung unter gleich bleibenden infrastrukturellen Randbedingungen zufriedenstellend abzubilden. Parallel zur Implementierung des flachen Modells wurde intensiv an der konzeptionellen Weiterentwicklung des tiefen Akteursmodells gearbeitet. Dieses wird derzeit implementiert und soll nach Abschluss der gegenwärtig durchgeführten Validierungsläufe in das neue DANUBIA-Framework integriert werden.

Zusatzförderung durch Land und Universität

In der Ausschreibung für die GLOWA-Forschungsvorhaben wurde vom BMBF im Falle der Bewilligung eine finanzielle Beteiligung der jeweiligen Bundesländer erwartet. Vom Teilprojekt „Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung, Wasserversorgung“ (GGW) wurde deshalb beim Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst des Landes Baden-Württemberg und bei der Universität Stuttgart ein Antrag auf Zusatzfinanzierung gestellt, der bewilligt wurde (Laufzeit 3 Jahre). Somit standen dem Teilprojekt zusätzliche Personal-, Sach- und Reisemittel zur Verfügung.

1.2 Personal

1.2.1 Wissenschaftler

Für das Teilprojekt wurden eine ganze (BAT Ib) und drei halbe Stellen (BAT IIa) bewilligt. Die kurzfristige Besetzung der Stellen mit qualifizierten Mitarbeitern gestaltete sich zunächst schwierig. Zwei der Doktorandenstellen wurden zum 01.01.2001 mit Herrn Dipl.-Ing. (Bauingenieurwesen) Christoph Schmid und mit Herrn Dipl.-Geol. Jens Wolf besetzt. Zum 15.08.2001 wurde Frau Dipl.-Ing. (Umweltschutztechnik) Darla Nickel eingestellt. Erst am 01.09.2001 konnte die Stelle des wissenschaftlichen Leiters (BAT Ib) mit Herrn Dipl.-Geol. Dr. rer. nat. Roland Barthel besetzt werden. Am 07.01.2002 wurde Ing. Vlad Rojanski, M.Sc., der bereits im Rahmen seiner Master's Thesis im GLOWA-Danube-Projekt mitwirkte, eingestellt. Zum 31.03.2003 verließ Herr Dipl.-Ing. Christoph Schmid, M.Sc. die Arbeitsgruppe. Die Arbeiten am Wasserversorgungsmodell wurden seitdem von Dr. Barthel und Frau Dipl.-Ing. Nickel weitergeführt. Seit Oktober 2003 verstärkt Herr Dipl.-Ing. Aleksandar Trifkovic, M.Sc., als Stipendiat des BMBF-Programms IPSWAT die wissenschaftliche Arbeit der Projektgruppe. Als Doktorand mit projektunabhängiger Finanzierung ist es ihm freigestellt, sich im wesentlichen auf sein Promotionsvorhaben zu konzentrieren, wobei in beiderseitigem Einvernehmen der Wunsch besteht, dabei eine weitgehende Übereinstimmung mit den Zielen von GLOWA-Danube zu erreichen. Damit bestand die Arbeitsgruppe zum Ende des Berichtszeitraums aus dem Projektleiter (Dr. Braun, Grundausrüstung) dem wissenschaftlichen Leiter (Dr. Barthel) drei wissenschaftlichen Mitarbeitern (Nickel, Rojanski, Wolf) und einem freien Stipendiaten (Trifkovic). Die Auf-

gaben der wissenschaftlichen Mitarbeiter in den Teilbereichen ist wie folgt: Grundwasserströmungs- und Transportmodellierung: Rojanschi, Wolf, Barthel; Wasserversorgungsmodell: Nickel, Barthel, (Trifkovic).

1.2.2 Studentische und wissenschaftliche Hilfskräfte

Die wissenschaftlichen Mitarbeiter wurden im Berichtszeitraum von Hilfskräften unterstützt. Deren Aufgaben lagen insbesondere im Bereich der Dateneingabe und -aufbereitung. Die Auswahl der Hilfskräfte berücksichtigte neben der fachlichen Qualifikation auch die Herkunftsländer sowie eine inhaltliche Nähe zum GLOWA-Projekt. So konnten beispielsweise Studenten aus Ghana beschäftigt werden, die am Partner-Projekt GLOWA-Volta Interesse fanden und drei Studenten aus Donau-Anrainerstaaten (u.a. Serbien-Montenegro). Mehrere Hilfskräfte haben ihre Master's Theses bzw. Diplomarbeiten im Rahmen von GLOWA-Danube angefertigt. Die Arbeiten werden grundsätzlich so angelegt, dass ein Wissenszugewinn entsteht, der den Studiengang WAREM ergänzt.

1.3 Investitionen

Zu Projektbeginn konnten die Mitarbeiter noch bestehende Rechner aus der Grundausstattung verwenden. Ein Dual-Prozessor-Rechner aus der Grundausstattung konnte von Beginn an für das Projekt eingesetzt werden. Wegen der zunehmend rechenintensiven Modellierungs- und GIS-Arbeiten wurde im Verlauf des Projekts ein weiterer leistungsstarker Rechner mit zwei Prozessoren und großem Arbeitsspeicher notwendig.

Rechner	Leistungsmerkmale	Preis
PC, Dual Prozessor Intel Xeon	2 * 1.8 GHz, 2GB RAM	3069,36 €
PC, Single Prozessor	1.7 GHz, 1 GB RAM	1218,59 €
Fujitsu Siemens Lifebook	Pentium 4, 2 GHz, 512 MB RAM	1900,29 €

Zusätzlich stehen zwei PCs aus der Grundausstattung für die Arbeiten der Hilfskräfte und der Diplomanden bzw. Master's Thesis Studenten zur Verfügung.

1.4 Veranstaltungen

1.4.1 Interne Projekttreffen

1.4.1.1 Informationsveranstaltungen für Externe Partner des Teilprojekts

Um die Arbeiten der externen Partner näher kennen zu lernen und Übereinstimmungen zu ermitteln, wurde im Februar 2001 durch die Projektgruppe eine Informationsveranstaltung durchgeführt. Ein Folgetreffen fand im Frühjahr 2002 statt. Zu diesem Treffen wurden auch Vertreter der Teilprojekte Agrarökonomie und Umweltpsychologie eingeladen. Die eintägige Veranstaltung diente dazu, die bis dahin vorliegenden Arbeiten der Arbeitsgruppen vorzustellen und Meinungen und Kommentare zu diesen Ergebnissen einzuholen. Im Frühjahr 2003 wurde erneut ein Treffen mit erweitertem Teilnehmerkreis veranstaltet. So nahmen z.B. auch Vertreter der „bayerischen Teilprojekte“ unter Leitung von Prof. Mauser, bayerische Behördenvertreter und Prof. Sprenger vom Ifo-Institut teil.

1.4.1.2 Skalierungsworkshop 2002

Fragen der Skalierung bilden einen Schwerpunkt der sektoralen und integrativen Arbeiten aller beteiligten Gruppen in GLOWA-Danube. Aus diesem Grund wurde der Beschluss gefasst, die Anstrengungen auf diesem Gebiet, die bis dahin nur sektoral unternommen wurden, zu koordinieren und zu bündeln. Deshalb führte die Projektgruppe GGW im Dezember 2002 einen Skalierungsworkshop in Stuttgart durch. Dieser Workshop stand Studenten der

Programme WAREM und ENWAT der Universität Stuttgart offen und ist damit im Zusammenhang mit dem Teilprojekt Human Capacity Building zu sehen. Weitere Erläuterungen sind im Jahresbericht dieses Teilprojektes zu finden.

1.4.1.3 Weitere interne Projekttreffen

Im Herbst 2001 wurde von der Projektgruppe ein eintägiges Treffen der Akteursgruppe in Stuttgart ausgerichtet.

1.4.2 Konferenzen

Die Mitglieder der Arbeitsgruppe waren im Jahr 2002 mit sechs Tagungsbeiträgen zum Thema GLOWA auf drei nationalen und zwei internationalen Kongressen vertreten. Im Jahr 2003 trat die Projektgruppe mit insgesamt sechs Tagungsbeiträgen zum Thema GLOWA auf zwei nationalen und einem internationalen Kongress auf. Für das Jahr 2004 wurden bislang neun Tagungsbeiträge für drei internationale und eine nationale Tagung eingereicht und akzeptiert. Die entsprechenden Tagungen sind im Kapitel 4.1.4 aufgelistet.

1.4.3 Konferenzteilnahmen der Projektgruppe in der Förderphase 1

- *Tag des Wassers*, 22. März 2002, Freiburg, BRD:
Ein Vortrag
- *Tag der Hydrologie 2002*, Suderburg:
Ein Vortrag, ein Poster, veröffentlicht in Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 1
- *XXIst Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management*, 2.-6. September, Bucharest, Romania: Ein Vortrag
- 5th International Conference on Hydrosience and -Engineering (ICHE-2002), 18.-21. September, Warsaw, Poland:
Ein Vortrag
- *GEO 2002*, Würzburg Planet Erde:
Vergangenheit, Entwicklung, Zukunft, 1.-5. October, Hannover, Germany: Ein Vortrag
- *Tag der Hydrologie 2003*, Freiburg:
Ein Vortrag, ein Poster, veröffentlicht in Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 04.03
- *EGS-AGU-EUG Joint Assembly Nice*, France, 06-11 April 2003:
2 Beiträge eingereicht zur Veröffentlichung in Physics and Chemistry of the Earth (s. oben).
- *XXX IAHR Congress 24.-29.08.2003*, Thessaloniki, Greece:
Ein Vortrag
- *7. Workshop zur großskaligen Modellierung in der Hydrologie*, 27./28. November 2003, München: Ein Vortrag

1.4.4 Für 2004 eingereichte und akzeptierte Tagungsbeiträge

- *European Geosciences Union 1st General Assembly Nice*, France, 25-30 April 2004:
Drei Vorträge, drei Poster (bereits stattgefunden, ein Beitrag im Review-Prozess für Physics and Chemistry of the Earth)¹⁾

¹⁾ bereits stattgefunden.

- *FH-DGG Darmstadt, Hydrogeologie regionaler Aquifersysteme*, 19-23.05.2004: Zwei Vorträge, zwei Poster^{f)}
- *International Conference on Hydrology of Mountain Environments* Berchtesgaden, 27 September -1 October 2004, zwei Poster
- *33. Jahrestagung der International Association of Hydrogeologists, Congress XXXIII IAH - 7° ALHSUD Groundwater Flow Understanding from Local to Regional Scales*, Zacatecas City, Mexico. 11th to 15th October, 2004: Zwei Vorträge, ein Poster

1.5 Veröffentlichungen

Aus vier Tagungsbeiträgen ging jeweils eine Veröffentlichung (reviewed) in einer deutschsprachigen Fachzeitschrift hervor. Zwei Beiträge wurden in 2003 an „Physics and Chemistry of the Earth“ eingereicht und befinden sich derzeit im Review-Prozess. Zwei Veröffentlichungen zur Einreichung in einer deutschsprachigen und einer internationalen Fachzeitschrift sind für Mitte 2004 vorgesehen.

BARTHEL, R., BRAUN, J., ROJANSCHI, V., SCHMID, C. und WOLF, J., (2002): Erstellung eines mesoskaligen Grundwasserströmungs- und Transportmodells für das Einzugsgebiet der oberen Donau im Rahmen der Forschungskooperation GLOWA-Danube, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Nr. 1, pp. 89-94, Hennef, BRD.

NICKEL, D., SCHMID, C., BARTHEL, R. und BRAUN, J. (2003): Ein agenten-basiertes Wasserversorgungsmodell für das Obere Donaueinzugsgebiet. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 04.03, Bd. 1, S. 251-258, München (ISBN 3-924063-59-1).

BARTHEL, R., ROJANSCHI, V., WOLF, J. und BRAUN, J. (2003): Grundwassermodellierung im Einzugsgebiet der oberen Donau: Fortschritte und Probleme im Bereich des Teilprojekts „GLOWA-Danube Grundwasser“. - Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 04.03, Bd. 2, S. 155-158, München (ISBN 3-924063-59-1).

WOLF, J., ROJANSCHI, V., BARTHEL, R. und BRAUN, J. (2003): Konzeption eines regionalen Grundwassermodells für das Einzugsgebiet der Oberen Donau im Rahmen des Forschungs-Projektes GLOWA-Danube. - Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 04.03, Bd. 2, S. 159-162, München (ISBN 3-924063-59-1).

BARTHEL, R., ROJANSCHI, V., WOLF, J. und BRAUN, J. (2004): Large-Scale Water Resources Management within the Framework of GLOWA-Danube - Part A: The Groundwater Model (Physics and Chemistry of the Earth, in review process).

NICKEL, D., BARTHEL, R., SCHMID, C. und BRAUN, J.(2004): Large-Scale Water Resources Management within the Framework of GLOWA-Danube - Part B: The Water Supply Model (Physics and Chemistry of the Earth, reviewed).

MAUSER, W. und BARTHEL R. (2004): Integrative Hydrologic Modeling Techniques for Sustainable Water Management regarding Global Environmental Changes in the Upper Danube River Basin A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, The Netherlands, Brookfield, USA, 2004

1.5.1 Diplomarbeiten, Master Theses und Independent Studies

ROJANSCHI, V. (2001): Effects of Upscaling for a Finite-Difference Flow Model. – Master's Thesis, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart. Supervisors: Prof. Dr. Kobus, Jürgen Braun, Ph.D.

- DAANAA, R. (2003): Development of a large scale two-dimensional groundwater model of the Upper Danube Basin with special regard to boundary conditions. - Master's Thesis, University of Stuttgart, 75 pp., unpublished. Supervisors: Prof. Dr. A. Bardossy, Dr. Roland Barthel, Ing. Vlad Rojanschi, M.Sc..
- GURMESSA, T. (2003): Scaling effects on Groundwater Flow Models in the Donauried Region, Germany, Independent Study Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart. Supervisors: Dr. Roland Barthel, Dipl.-Geol. Jens Wolf.
- MELEG, A., (2004): A Prototyp Object-Oriented Water Supply Model for the Upper Danube Basin, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart. Supervisors: Prof. Dr.-Ing. Rainhard Hinkelman, Dr. Roland Barthel, Dipl.-Ing. Darla Nickel.
- SCHUOL, J. (2003): Vergleich verschiedener Ganglinienseparationsverfahren angewendet in Teileinzugsgebieten der Oberen Donau. - Diplomarbeit, Uni Stuttgart 2003, 121 S., Stuttgart (unveröff.). Betreuer: Prof. Dr. A. Bardossy, Dr. Roland Barthel, Dr. Winfried Willems (IAWG).
- STOJCIC, M. (2004): Effects of Grid Size and Upscaling for Finite-Difference Flow and Transport Model, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart. Supervisors: PD Dr.-Ing. Olaf Cirpka, Dr. Roland Barthel.

1.5.2 Sonstige Schriften

- ROJANSCHI, V., WOLF, J., BARTHEL, R. (2003): DANUBIA Software Documentation. GLOWA-Danube Papers, Technical Release NO. 13 (Groundwater), unpublished.
- NICKEL, D., BARTHEL, R., ROJANSCHI, V., TRIFKOVIC, A. (2003): DANUBIA Software-Dokumentation GLOWA-Danube Papers Technical Release No. 014 (Water-Supply) Document No.: DANUBIA.TR_014, Release: 0.92 Date: December 2003.

2. Ergebnisse

2.1 Ziele der ersten Förderphase

Gegenstand des Teilprojekts ist die Erforschung des Grundwasserhaushalts, der Grundwasserbewirtschaftung und der Wasserversorgung im Einzugsgebiet der Oberen Donau einschließlich des Inns bis zum Pegel Passau. Die im Antrag zur ersten Förderphase formulierten thematischen Ziele des Teilprojekts werden hier wiederholt:

- Entwicklung eines Modellobjektes „Grundwasser“ als Teil des Entscheidungs-Unterstützungssystems DANUBIA zur großräumigen Bilanzierung der Wasser- und Stickstoffflüsse im Grundwasser und zur räumlich aufgelösten Quantifizierung der nutzbaren Grundwasservorräte unter Berücksichtigung des ökologischen Wasserbedarfs,
- Analyse der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet durch räumlich differenzierte Erfassung der Wasserversorgungs- und -bedarfsstrukturen, in Gegenüberstellung zum verfügbaren Wasserdargebot, durch Entwicklung des Objektes „Wassernutzer“ und „Wasserversorgungsunternehmen“,
- Beurteilung und Weiterentwicklung der bestehenden Wasserschutzkonzepte unter dem Gesichtspunkt einer langfristigen nachhaltigen Nutzung der Wasservorräte,
- Analyse der Auswirkungen von klimatischen und sozio-ökonomischen Global-Change-Effekten auf die Quantität und Qualität der unterirdischen Wasservorkommen,
- Untersuchung der Möglichkeiten der Anpassung und der Veränderungen im Bereich der Grundwasserbewirtschaftung und Wasserversorgung an geänderte Wasserbedarfsstrukturen unter Berücksichtigung ökonomischer Effizienz und des Schutzes der Ökosysteme.

Ziel und Aufgabe der Arbeitsgruppe war damit die Erstellung des DANUBIA-Objekts „Grundwasser“ (jetzt Objekt *Groundwater*) und des Objekts „Wassernutzer und Wasserversorgungsunternehmen“ (jetzt Objekt *Watersupply*). Die intensive Diskussion zwischen den Partnern im ersten Projektjahr führte zu einer Umstrukturierung der Aufgaben und Ziele. So obliegt die Beschreibung und Modellierung der Wassernutzer nun deutlich mehr den anderen Partnern in der Akteursgruppe. Die Beurteilung von Wasserschutzkonzepten, die Nachhaltigkeits- und ökonomische Betrachtungen sowie die Analyse von Global Change Effekten wird nun als integrative Aufgabe aller Teilprojekte denn als sektorales Ziel des Teilprojekts aufgefasst.

2.2 Sektorale Arbeiten

2.2.1 Sektorale Arbeiten: DANUBIA-Objekt *Groundwater*

2.2.1.1 Datenbeschaffung und -aufbereitung

Die Erstellung des konzeptionellen (hydrogeologischen) und des daraus resultierenden numerischen Modells erforderte die Beschaffung und Aufbereitung einer enormen Menge an Basisdaten. Grund dafür sind vor allem die vorherrschenden kleinräumig-heterogenen hydrogeologischen Strukturen (quartäre Talaquifere, tertiäre Rinnensysteme, Karst). Die Datenbeschaffung und Auswertung bildete deshalb einen wesentlichen Bestandteil der Arbeiten im Bereich Grundwasser in den ersten beiden Projektjahren, trat dann aber Ende 2002 zusehends gegenüber den Arbeiten am numerischen Modell in den Hintergrund. Daten wurden aus zahlreichen Quellen recherchiert, beschafft, eingegeben, organisiert, ausgewertet und interpretiert. Als bedeutende Datengeber sind die relevanten Landesbehörden und Ministerien in Bayern und Baden-Württemberg zu nennen. Dazu kommen Behörden des Bundes, Behörden auf Landkreisebene, private Firmen, Universitäten und Forschungseinrichtungen. Ein großer Anteil von Daten musste aus der Literatur entnommen und dann meist aufwendig digitalisiert, georeferenziert und homogenisiert werden. Die Datenlage am Ende der ersten Förderphase kann als befriedigend bezeichnet werden, wobei allerdings regionale Unterschiede festzustellen sind.

Die vorgezogene Erweiterung des Modellgebietes auf Österreich und die Schweiz erforderte die Beschaffung entsprechender Daten und deren Auswertung. Dies konnte 2003 fast vollständig abgeschlossen werden. Es fehlen lediglich die Grundwasserentnahmen für Österreich und die Schweiz. Diese sollen gegen Ende 2004 zur Verfügung stehen.

2.2.1.2 Modellentwicklung

Hydrogeologisches Konzeptmodell

Ein Grundwassermodell erfordert die Erfassung des dreidimensionalen hydrogeologischen Aufbaus des Modellgebiets. Gleichzeitig verlangt die Einbindung des Grundwassermodells in die Gesamtstruktur von DANUBIA einen möglichst einfachen Ansatz, da ansonsten die Rechenzeit des Grundwassermodells gegenüber den anderen Teilmodellen zu lang wäre. Das entwickelte hydrogeologische Konzeptmodell mit vier Schichten („Malmkarst“, „Unteres Tertiär“, „Oberes Tertiär“ und „Quartär“; s. Abb. 1 und Abb. 2) stellt in dieser Hinsicht einen Kompromiss dar. Besondere Aufmerksamkeit wurde dabei den quartären Grundwasserleitern gewidmet, die für die kurz- und mittelfristigen Grundwasserbewegungen von hoher Bedeutung sind. Das Quartär ist im Wesentlichen horizontal durch das Auftreten lokaler, gut wasserwegsamere Strukturen (Talaquifere, Schotterebenen) gekennzeichnet, die wie „Arterien“ das Einzugsgebiet durchziehen. Der obere tertiäre Anteil umfasst ein etwa 100m mächtiges Schichtpaket, in dem regional bedeutsame Aquifere liegen. Ein großer Teil dieser Schicht ist aber andererseits als Grundwasserhemmer anzusehen. Die untere tertiäre Einheit zeigt eine starke Mächtigkeitzunahme nach Süden (Abb. 2). Sie ist der bedeutendste Grundwasserstauer im Modell und trennt in weitesten Teilen des Einzugsgebietes die beiden bedeutenden Grundwasserleiter Quartär und Malmkarst. Die hydrostratigraphi-

schen Einheiten im Liegenden des Malm werden nicht betrachtet. Als Modellbasis wurde die Basis des verkarsteten Jura-Aquifers festgelegt, wobei lokale und regionale Besonderheiten nicht berücksichtigt wurden. Der nicht quartäre alpine Anteil des Modellgebietes und das paläozoische Grundgebirge in Nordostbayern werden derzeit noch nicht explizit modelliert, sondern werden mit hydrologischen Ansätzen an das Grundwassermodell angeschlossen.

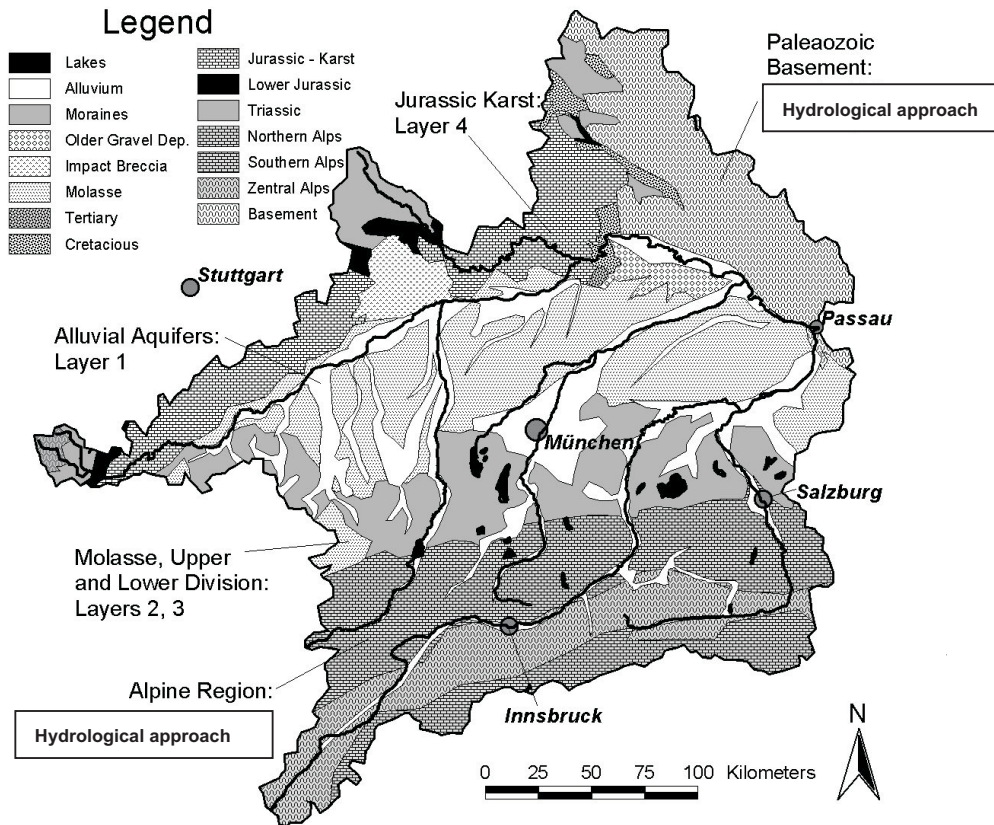


Abb. 1: Grob schematisierte geologische Karte des Einzugsgebiets und die entsprechenden gewählten hydrostratigraphischen Einheiten.

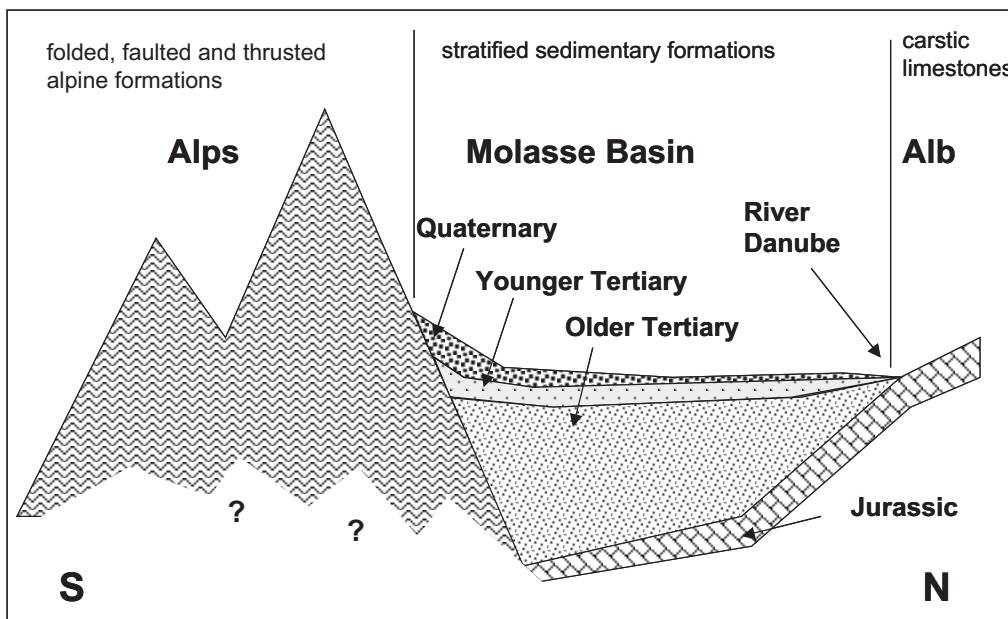


Abb. 2: Schematischer Süd-Nord-Schnitt durch das Einzugsgebiet der Donau, nicht maßstäblich. Explizit modelliert werden derzeit die geschichteten Bereiche im Molassebecken und der Karst (s. Abb. 1).

2.2.1.3 Entwicklung des numerischen Grundwasserströmungsmodells

Die Entwicklung des numerischen aus dem hydrogeologischen Modell erfordert, dass jeder Zelle im Finite-Differenzen-Modell geometrische Werte (Zellober- und -unterkante), Parameter (Durchlässigkeit, Speicherkoeffizient) und Randbedingungen (z.B. Entnahmen, Grundwasserneubildung) zugewiesen werden. Die Belegung der Randbedingungen mit Zahlenwerten erfolgt dabei in DANUBIA dynamisch mit den von anderen Modellen berechneten Werten (z.B. Grundwasserrecharge von *Soil*).

Die Diskretisierung der Modellparameter und Randbedingungen auf Basis des 1km²-Pixels stellt dabei eine besondere Herausforderung dar. Verschiedene Detailfragen in diesem Zusammenhang wurden und werden in kleineren sektoralen Untersuchungsgebieten bearbeitet. Entsprechende Untersuchungen wurden im Sommer 2002 im Testgebiet Donauried durchgeführt. Seit 2003 werden schwerpunktmäßig Konzepte für das Einzugsgebiet der Ammer erarbeitet und getestet. In diesem Testgebiet werden auch Verbesserungen für die Kopplung der hydrologischen Modelle mit dem Grundwassermodell entwickelt.

Ab 2003 stand die numerische Umsetzung des hydrogeologischen Konzeptmodells im Mittelpunkt der sektoralen Arbeiten am DANUBIA-Objekt *Groundwater*. Bei der numerischen Umsetzung wurde sehr schnell deutlich, dass die Parametrisierung des Modells, in der Regel einer der kritischen Punkte bei der Grundwassermodellierung, bei Modellen der Größe und Auflösung des Grundwassermodells in DANUBIA weniger entscheidend als die Beschreibung der Aquifergeometrien ist. Um ein funktionsfähiges und plausibles Modell zu erhalten, musste deshalb in der ersten Projektphase deutlich mehr Arbeit in die Anpassung der Modellgeometrie investiert werden, als in die Zuweisung der Parameter (z.B. Durchlässigkeit).

Als Beispiel sei die in Abbildung 3 gezeigte Situation genannt. In den typischerweise sehr schmalen, oft diagonal zum Modell-Grid ausgerichteten quartären Aquiferen im Alpenvorland, muss der Aquifer im Modell grundsätzlich zwei Zellen breit ausgelegt werden, da der Grundwasserfluss zwischen zwei Zellen im Finite-Differenzen-Modell nicht diagonal erfolgen kann. Auf dem Quadratkilometerraster führt dies selbst bei Talquerschnitten mit relativ kleinen Hangneigungen dazu, dass der Gradient der Grundwasseroberfläche in den Zellen, die nicht unmittelbare Flusszellen darstellen (Zelle 2), so groß ist, dass die Zelle austrocknen kann. Des Weiteren können bei zu großen Sprüngen in der Aquiferbasis (von Zelle 1 nach 2) unüberwindliche Barrieren entstehen. In der Konsequenz existiert kein Grundwasser-Fluss zwischen den Zellen 1 und 2 und alle unterstromig liegenden Zellen fallen trocken bzw. die oberstromig gelegenen Bereiche werden überflutet. Beides führt zu numerischen Instabilitäten oder zu unsinnigen Modellergebnissen.

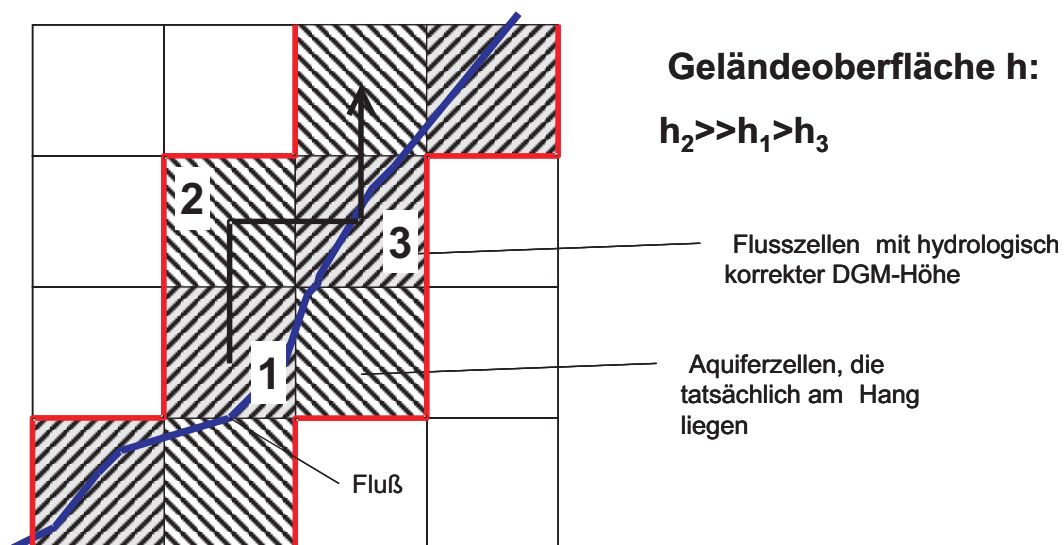


Abb. 3: Grundwasser-Fließpfade in schmalen Talaquiferen, schematisch.

Es konnte ein Algorithmus entwickelt werden, der im Wesentlichen darauf basiert, die Aquiferbasis horizontal und vertikal so anzupassen, dass jede Zelle des Aquifers einen eindeutig definierten Nachbarn hat, dem das Wasser aus dieser Zelle mit einem moderaten Gradienten zufließen kann. Mit diesem Ansatz konnten die Schwierigkeiten behoben und eine Modellierung der quartären Aquifere durchgeführt werden.

Neben einer numerisch stabilen Implementierung der Aquifergeometrien wurde 2003 die Einbindung der alpinen Bereiche vorangetrieben. Aufgrund der Datenlage war es zu Beginn des Projektes nicht möglich, das österreichische Gebiet und damit den größten Teil des Alpenraums im Modell mit zu berücksichtigen. Es zeigte sich aber, dass die zunächst verwendete Lösung mit einer „politisch“ definierten Südgrenze des Modells (Landesgrenze Deutschland ~ Nordrand Alpen), an der die Randbedingung über Zuflüsse definiert werden, sich als nicht validierbar erwies. Deshalb wurde im Vorgriff auf die zweite Projektphase das Modell auf das gesamte Einzugsgebiet ausgedehnt, um vernünftige Randbedingungen zu erhalten. Insgesamt wurden bei den Arbeiten am Objekt *Groundwater* somit mehrere Punkte, die erst für die Projektphase 2 vorgesehen waren, vorgezogen.

Die Ausweitung auf den Alpenraum erfordert die bereits erwähnte Kopplung eines hydrologischen Modells für den alpinen Bereich mit dem Grundwassermodell. Die Konzeption und Implementierung eines solchen Ansatzes ist eine zentrale Aufgabe in der zweiten Projektphase. Erste Arbeiten dazu werden derzeit im Ammertestgebiet durchgeführt. Parallel dazu musste in der ersten Projektphase ein vereinfachter Ansatz gefunden werden (s. Jahresbericht 2003), um das primäre Ziel, die Entwicklung eines Grundwassermodells als funktionsfähige Komponente im DANUBIA-Verbund, zufriedenstellend abschließen zu können (Kap. 2.5.1).

2.2.1.4 Nitrattransport

Für die Transportmodellierung wurde ab 2002 eine umfangreiche Aufarbeitung der Daten aus Bayern, Baden-Württemberg und Österreich durchgeführt. Eine statistische Analyse bekannter Einflüsse auf die Nitratbelastung wie Landnutzung, Grundwasserneubildung oder Bodenart ergab für das Quadratkilometer-Raster eine überraschend undeutliche Differenzierung der Nitratbelastung hinsichtlich dieser Faktoren. Ein Transportmodell basierend auf diesen Ergebnissen würde - verstärkt durch die numerische Dispersion - wenig aussagekräftige, kaum voneinander abweichende Nitratwerte für das Gesamtgebiet liefern. Zur Lösung dieses Problems müssen bis in die zweite Phase hinein weitere detaillierte Untersuchungen stattfinden. Weiterhin wurde in einer umfangreichen theoretischen Betrachtung die Frage nach dem Einfluss der numerischen Dispersion auf dem Grobraster (1km²) untersucht. Es zeigt sich, dass auch der Einfluss der numerischen Dispersion auf dem Grobraster nicht zu vernachlässigen ist. Die Erstellung eines aussagekräftigen Transportmodells von Stickstoff im Grundwasser auf der Mesoskala bleibt somit ein kritischer Punkt in der Arbeit an *Groundwater*.

2.2.2 Sektorale Arbeiten DANUBIA-Objekt *Watersupply*

Das Objekt *Watersupply* vermittelt zwischen der Nachfrage und dem Angebot an verfügbarem Trink- und Brauchwasser aus Grund- und Oberflächenwasser. Es verbindet innerhalb DANUBIA die anderen Objekte des Verbundobjekts *Actors* (Nachfrage) mit den auf naturwissenschaftlichen Kausalitäten gegründeten Objekten *Groundwater* und *RiverNetwork* (Angebot). Die Bedarfswerte der anderen Objekte des Verbundobjekts *Actors* (*HouseholdActor*, *Tourism*, *Farming* und *Economy*) werden im Objekt *Watersupply* prozelweise zu einem Gesamtwasserbedarf aggregiert. Von den Objekten *Groundwater* und *RiverNetwork* werden Daten zur Qualität und Quantität der Wasserressourcen geliefert.

Zur erfolgreichen Erstellung des Objekts *Watersupply* sollten bis zum Ende der ersten Projektphase drei wesentliche Ziele erreicht sein: Erstens soll eine Datenbank erstellt werden, welche die bestehende, technische Infrastruktur zur Wasserversorgung (Wasser-

gewinnungsanlagen, -aufbereitungsanlagen, -versorgungsnetze) sowie die zugehörigen kaufmännischen Aspekte im deutschen Teil der oberen Donaueinzugsgebiet auf Basis der Wasserversorgungsunternehmen zusammenfasst. Zweitens müssen diese Informationen modellhaft so umgesetzt werden, dass zunächst der Status Quo der Wasserentnahme und -verteilung wiedergegeben wird. Drittens sollen erste einfache Modellansätze entwickelt werden, um bei Änderungen in Wassernachfrage, -angebot oder -qualität neue Strategien der Wasserversorgung zu ermöglichen, z. B. den Anschluss an einen Gruppen- oder Fernwasserversorger oder den Bau einer Wasseraufbereitung. Der Ausbau und die Verfeinerung dieser Strategien oder „Entwicklungsmöglichkeiten“, die u.a. auf ökonomischen Ansätzen berühren sollen, ist Schwerpunkt der zweiten Projektphase.

2.2.2.1 Datenbeschaffung und -aufbereitung

Die Beschaffung und Aufbereitung folgender Daten stellte in der ersten Projektphase einen der Schwerpunkte der Arbeiten am Objekt *Watersupply* dar:

- wasserfassungsbezogene Daten (Entnahmemengen, -qualität, -art, etc.),
- wasserwerksbezogene Daten (Aufbereitung, Infrastruktur, etc.),
- versorgungsunternehmensbezogene Daten (Rechtsform und Unternehmensstruktur, Investitionen, Versorgungsgebiet, Exporte, etc.),
- wasserrechtsbezogene Daten (Schutzgebiete, Entnahmerechte).

Bis zum Ende des Jahres 2002 war es lediglich möglich, von den Statistischen Landesämtern flächendeckende Daten zu Wasserentnahmen, -aufbereitung, -qualität und -abgabe zu erhalten. Diese sind jedoch räumlich auf Gemeindeebene und zeitlich als Jahreswerte aggregiert und enthalten keine Angaben zur technischen Infrastruktur oder den Kostenschlüssel für die Wasserbereitstellung, welcher für ein auf den Wasserversorgungsunternehmen basiertes Modell notwendig wären (vgl. Jahresbericht 2002). Hier ist anzumerken, dass die vor einigen Jahren begonnenen Arbeiten zur überregionalen und digitalen Erfassung von Daten bei den für die Wasserwirtschaft zuständigen Behörden in den meisten Bereichen noch nicht abgeschlossen sind.

Ein Großteil der von der Arbeitsgruppe benötigten Daten liegt daher nur bei den einzelnen Wasserversorgungsunternehmen vor. Aus diesem Grund wurde im Februar 2003 eine Auswahl an notwendigen Daten durch einen Fragebogen, der an alle Wasserversorgungsunternehmen im Einzugsgebiet verschickt wurde, erhoben. Der Fragebogen enthielt ca. 20 Fragen zu kaufmännischen Themen (allgemeine Angaben zur Unternehmensstruktur, Umsatz und Investitionen, Bereitstellungskosten, Verträge mit Zweckverbänden, Fernversorgern oder anderen Kommunen) und ca. 30 technische Fragen (Förderung, Aufbereitung, Qualität, Verteilung und geplante Maßnahmen). Dank der durch verschiedene Interessensverbände gewährten Unterstützung (insbesondere durch den Verband der Wasserwerksnachbarschaften in Bayern) war der Rücklauf des umfangreichen Fragebogens recht gut. Bei 1657 verschickten Fragebögen betrug der Rücklauf ca. 10%. Die Abbildung 4 zeigt die gute räumliche Verteilung der Rückläufe.

Abbildung 5 zeigt einerseits die Verteilung der bayerischen WVU nach Betriebsgrößen, andererseits den Fragebogenrücklauf ebenfalls nach Betriebsgröße aufgelistet. Abbildung 4 und Abbildung 5 zeigen, dass die Rückläufe sowohl geografisch als auch bezüglich der Betriebsgrößen repräsentativ waren.

Gegen Ende des Jahres 2003 konnten durch die zuständigen Ämter in Bayern (Landesamt für Wasserwirtschaft) und Baden-Württemberg (sämtliche Landratsämter) weitere Daten zu Wasserentnahmen und -entnahmerechten bezogen auf die einzelnen Wassergewinnungsanlagen (Quellen, Brunnen, Oberflächenwasserentnahmestellen) bereitgestellt werden. Während Bayern lückenlose Datensätze zur Verfügung stellen konnte, variiert die Qualität der Datensätze aus Baden-Württemberg je nach zuständigem Landratsamt.

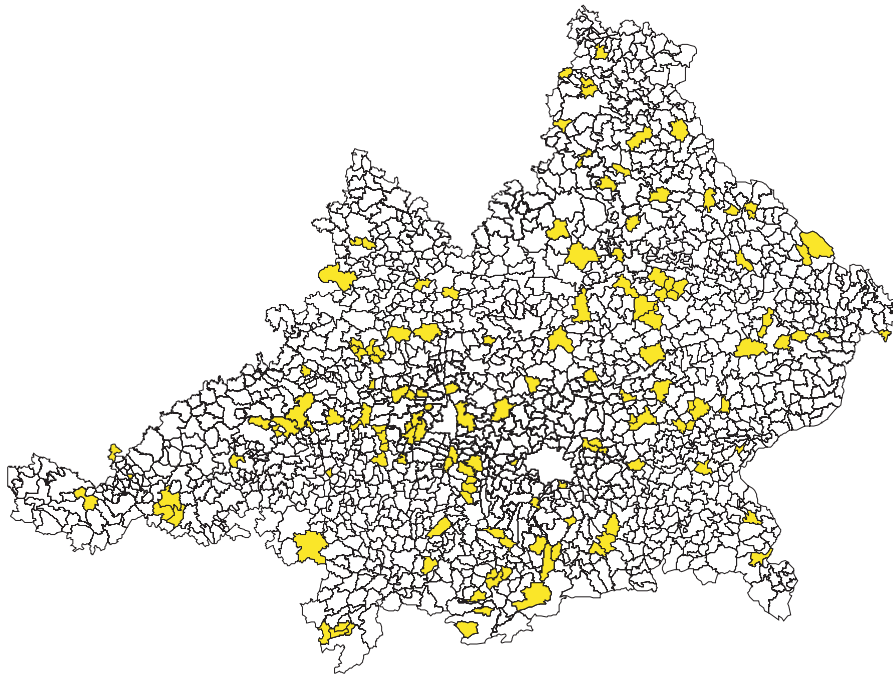


Abb. 4: Räumliche Verteilung der Fragebogenrückläufe. Zu beachten: die gelben Polygone stellen die Gemeindeflächen dar, in denen das Unternehmen sitzt. Das zugehörige Versorgungsgebiet kann andere Ausmaße haben.

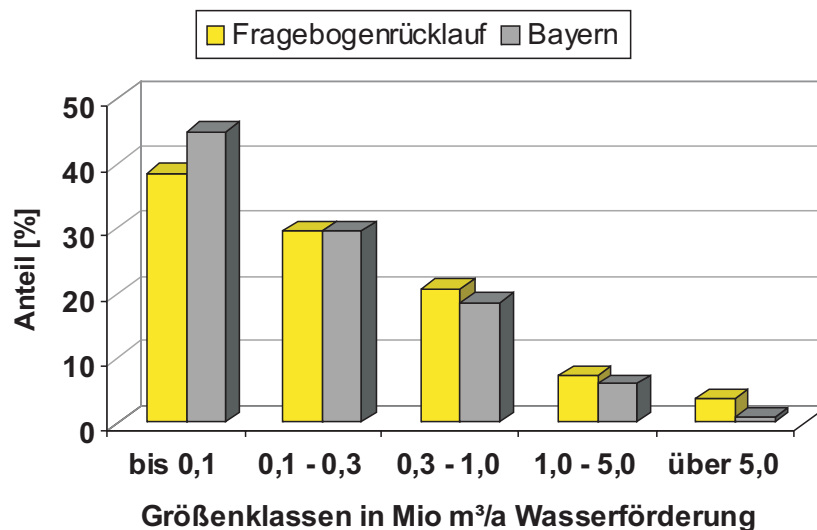


Abb. 5: Verteilung der Unternehmensgrößenklassen der WVU 1995 in Bayern verglichen mit den Fragebogenrückläufen.

Detaillierte Angaben zur Kostenaufschlüsselung für die Wasserbereitstellung, zur Wasseraufbereitung sowie der Wasserabnahme- oder -abgabeverträge zwischen Unternehmen liegen dennoch nur für die Unternehmen vor, die sich an der Befragung beteiligt haben. Um die WVU-Datenbank zu vervollständigen, werden diese Lücken derzeit mit sinnvollen Annahmen unter Berücksichtigung der Gemeindedaten und Sekundärdaten schrittweise geschlossen. Die geplante Vorgehensweise ist in Abbildung 6 schematisch wiedergegeben.

Im oberen Bereich der Abbildung 6 stehen die so genannten „Primärdaten“. Diese Daten beziehen sich unmittelbar auf ein spezifisches Wasserversorgungsunternehmen und wurden aus den angegebenen Datenquellen bzw. dem Fragebogen gewonnen. Zu den Sekundärdaten im unteren Bereich gehören in erster Linie regionsspezifische Daten, die flächendeckend vorliegen, wie z.B. Grundwasserbeschaffenheit, geologische Situation, Landnutzung, Größe der anliegenden Wasserversorgungsunternehmen etc.. Diese Sekundärdaten erlauben Rückschlüsse auf die Notwendigkeit einer Wasseraufbereitung oder Möglichkeit einer Vertragsvereinbarung.

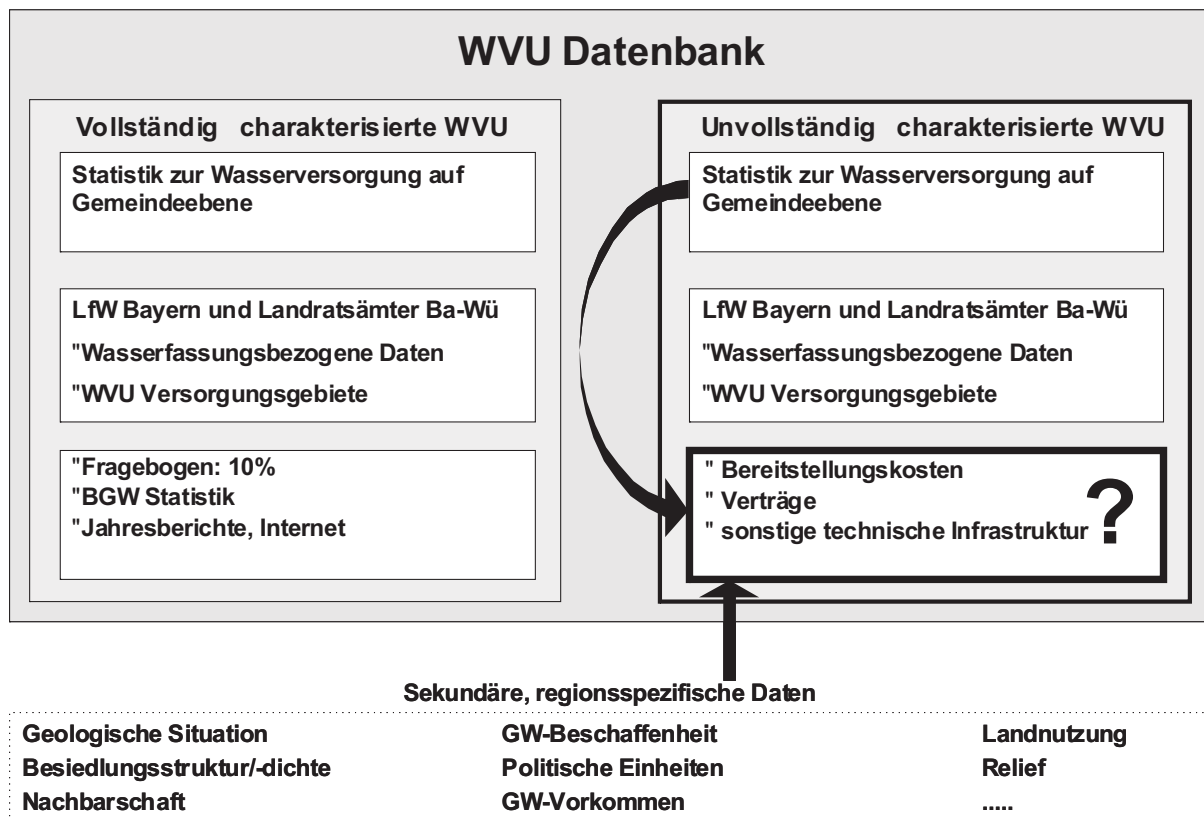


Abb. 6: Vorgehensweise zur Vervollständigung der WVU Datenbank mit Gemeinde- und Sekundärdaten.

Aufgrund der aufwendigen Akquisition von geeigneten Daten wird sich die Fertigstellung der WVU Datenbank für den deutschen Teil des oberen Donaeinzugsgebiets bis in die ersten Monate der zweiten Projektphase hineinziehen (voraussichtlich bis Ende Mai 2004). Parallel dazu ist die Ausweitung der Datenrecherche auf den nicht-deutschen Anteil des oberen Donaeinzugsgebiets vorgesehen. Diesbezüglich wurde bereits eine Datenbank zu Wasserversorgungsunternehmen in Österreich vom Österreichischen Verband der Gas- und Wasserwirtschaft (ÖVGW) erworben. Diese Datenbank enthält umfangreiche Parameter zu technischen und kaufmännischen Aspekten sowie zur Wasserentnahme, -aufbereitung und -verteilung für den Großteil der österreichischen Wasserversorgungsunternehmen. Das österreichische Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft beabsichtigt, bis Ende 2004 einen flächendeckenden Datensatz der einzelnen Wassergewinnungsanlagen zusammen zu stellen. Dadurch beschränkt sich die Datenakquisition der zweiten Phase auf den verhältnismäßig kleinen schweizerischen Flächenanteil.

2.2.2.2 Modellentwicklung

Entwicklung der Modellkonzeption für das Objekt *Watersupply*

Abbildung 7 zeigt die hierarchische Struktur und Verknüpfung der Komponenten im Modell *Watersupply*. Dabei ist das Wasserversorgungsunternehmen die „zentrale Klasse“ der Modellkonzeption. Jedes Versorgungsunternehmen soll im Modell durch ein eigenständiges Objekt repräsentiert werden, welches durch die Daten in der WVU-Datenbank definiert wird. Die Gemeinden als gesetzliche Träger der Wasserversorgungspflicht werden ebenfalls als Objekte modelliert. Abbildung 7 zeigt die hierarchische Struktur und Verknüpfung der Komponenten im Wasserversorgungsmodell.

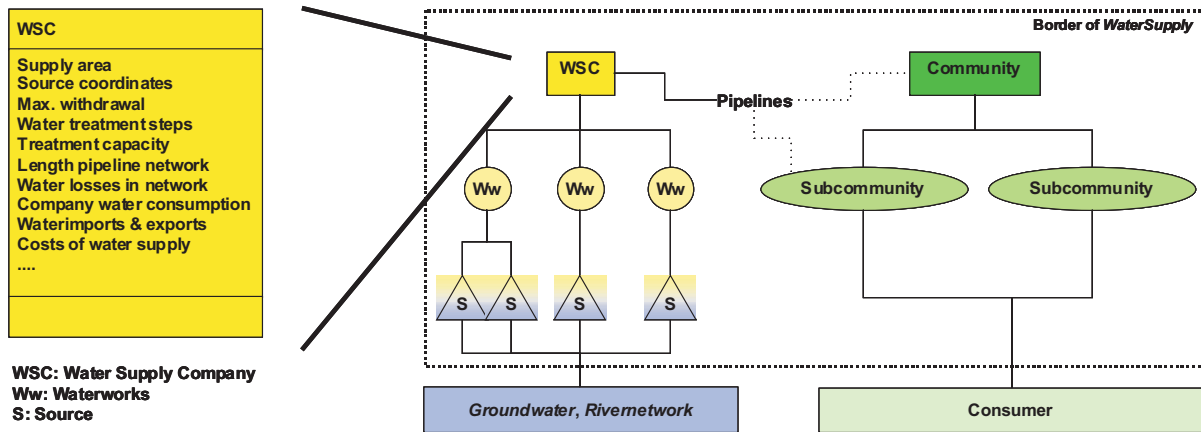


Abb. 7: Hierarchische Struktur und Verknüpfung der Komponenten im Wasserver-sorgungsmodell (links: Angebots-, rechts: Verbraucherseite; S: Source; WW: Waterworks; WSC: Watersupply Comp.).

Die grundsätzliche Konzeption des Modells beinhaltet drei Schritte (vereinfacht):

1. Aggregation des von anderen Actors-Objekten berechneten Bedarfs an Trink- und Brauchwasser auf Basis der Wasserversorgungsunternehmen.
2. Ermittlung einer Strategie zur Deckung des Bedarfs dieser Unternehmen unter Einhaltung der vorgegebenen Randbedingungen (Kosten, Qualität, Prioritäten, etc.) (Kernmodul des Modells).
3. Weitergabe der ermittelten Entnahmen pro Proxel an die Objekte *Groundwater* und *RiverNetwork*.

In den Schritten 1 und 3 vermittelt das Objekt *Watersupply* zwischen den sozioökonomischen Objekten, die den Bedarf festlegen, und den naturwissenschaftlichen Objekten, die das Wasserangebot und dessen Qualität ermitteln. In Schritt 2 (Kernmodul) werden die im Folgenden beschriebenen Algorithmen zur Fallunterscheidung und zur Ermittlung von Handlungsalternativen, die eine Anpassung des Wasserversorgungssystems auf gravierende Änderungen im Wasservorkommen, Wasserqualität oder Wasserbedarf ermöglichen, aufgerufen.

- Zunächst wird ermittelt, ob die eingangs (bzw. zum letzten Modellzeitschritt) festgelegte Versorgungsstruktur in der Lage ist, den Bedarf zu bedienen bzw. die Qualitätsanforderungen zu erfüllen. Wenn ja, so wird die Nachfrage gedeckt. Die Nachfrage- und Wasserqualitätswerte werden über mehrere Zeitschritte gespeichert, um eine Trendanalyse durchführen zu können.
- Ergibt die Trendanalyse, dass der Bedarf durch die bestehende Struktur zukünftig nicht gedeckt werden kann (Wasserknappheit) bzw. dass die Qualitätsanforderungen nicht mehr eingehalten werden können, müssen rechtzeitig Maßnahmen zur Erweiterung der Struktur ermittelt und umgesetzt werden. Folgende Maßnahmen sind vorstellbar: a) Erschließung neuer Ressourcen, b) Anschluss an Fernwasserversorger, c) Zusammenschluss mit benachbarten Versorgungsstrukturen, d) Erweiterung der Wasseraufbereitung oder e) Mischen von Wässern unterschiedlicher Herkunft, um die nötige Qualität zu erzielen. Die mögliche Dynamik dieser Prozesse und insbesondere die Auswahl, Planung und zeitliche Umsetzung solcher Maßnahmen wird in der zweiten Projektphase detailliert untersucht.
- Für den Fall, dass der Bedarf kurzfristig oder auch langfristig durch eine Erweiterung der Struktur nicht gedeckt werden kann, kommen Prioritätsregeln zum Tragen. In Abhängigkeit solcher Regeln wird nicht jeder Nutzer seinen Wünschen entsprechend bedient. Die Implementierung solcher Regeln im Objekt *Watersupply* in der Projektphase 1 wird in der Projektphase 2 aufgrund des Stakeholderinputs erweitert und verbessert.

Die einzuhaltenden Kriterien (z.B. Qualität, Grad der Ausnutzung eines Aquifers), die Entscheidungsalternativen und Entscheidungsfindung sowie die Prioritätsregeln müssen durch ein Regelwerk festgeschrieben werden. Diese Regeln werden in Übereinkunft mit den Actors und nach Abstimmung mit den Stakeholdern festgelegt und in der Entscheidungsunterstützungskomponente implementiert. Dies ist für die zweite Projektphase vorgesehen.

Implementierung der Modellkonzeption von *Watersupply*

Ein vorrangiges Ziel der ersten Projektphase war die Entwicklung der technischen Strukturen des Entscheidersystems DANUBIA. Um die gemeinsame Entwicklung des ersten Prototyps voranzutreiben, wurde ein stabiles, statisches Wasserversorgungsmodell erstellt, welches eine einfache Zuordnung von Verbraucher und Brunnen/Quellen vornimmt. Dieses in DANUBIA integrierte Modell baut notwendigerweise noch auf der unvollständigen Datenbasis aus Mitte 2003 (Kap. 2.2.2.1) auf. Kern dieser Modellversion ist eine Zuordnungstabelle, die die Beziehung zwischen Verbraucher- und Versorgerproxel (Brunnen, Oberflächenwasser-Entnahmenstellen) über einen manuell angepassten „nearest neighbor“-Ansatz festlegt. Dabei ist jedem Proxel mindestens ein Versorgerproxel zugeordnet, so dass ein eventueller „Demand“ für jeden Fall zumindest teilweise befriedigt werden kann. Gesondert behandelt werden größere Siedlungen mit insgesamt hohem Wasserbedarf. Hier werden die Verbindungen zu den Versorgerproxeln so gewählt, dass der Bedarf einer solchen Siedlung gedeckt werden kann. Dazu sind bis zu 16 Versorgerproxel pro Einheit und deren Proxel vonnöten. Zu jedem Zeitschritt werden die „Demands“ der Actors-Objekte nach Grund- und Oberflächenwasser aufgeschlüsselt, je Versorgerproxel aggregiert und mit der „*maximumRiverwaterWithdrawal*“ bzw. „*maximumGroundwaterWithdrawal*“ verglichen. Der jeweilige Demand wird bis zu diesem Maximalwert mit einem „*Supply*“ beantwortet und als „*RiverwaterWithdrawal*“ oder „*GroundwaterWithdrawal*“ an die Komponenten *RiverNetwork* und *Groundwater* weitergegeben. Wasser für Trinkwasserzwecke wird ausschließlich aus dem Grundwasser entnommen, während Brauchwasser für Industrie sowohl durch Grund- als auch durch Oberflächenwasser gedeckt wird.

Als reines Input-Output Modell stellt *Watersupply* somit derzeit noch ein flaches Modell dar, erfüllt jedoch alle Anforderungen von DANUBIA (Parameterraustausch, Plausibilitätskontrollen, Rechenzeitschritte, Recoveryfähigkeit, etc.) und hat in den ersten Referenz- und Validierungsläufen Anfang 2004 vernünftige Ergebnisse produziert (s. auch Kap. 2.5).

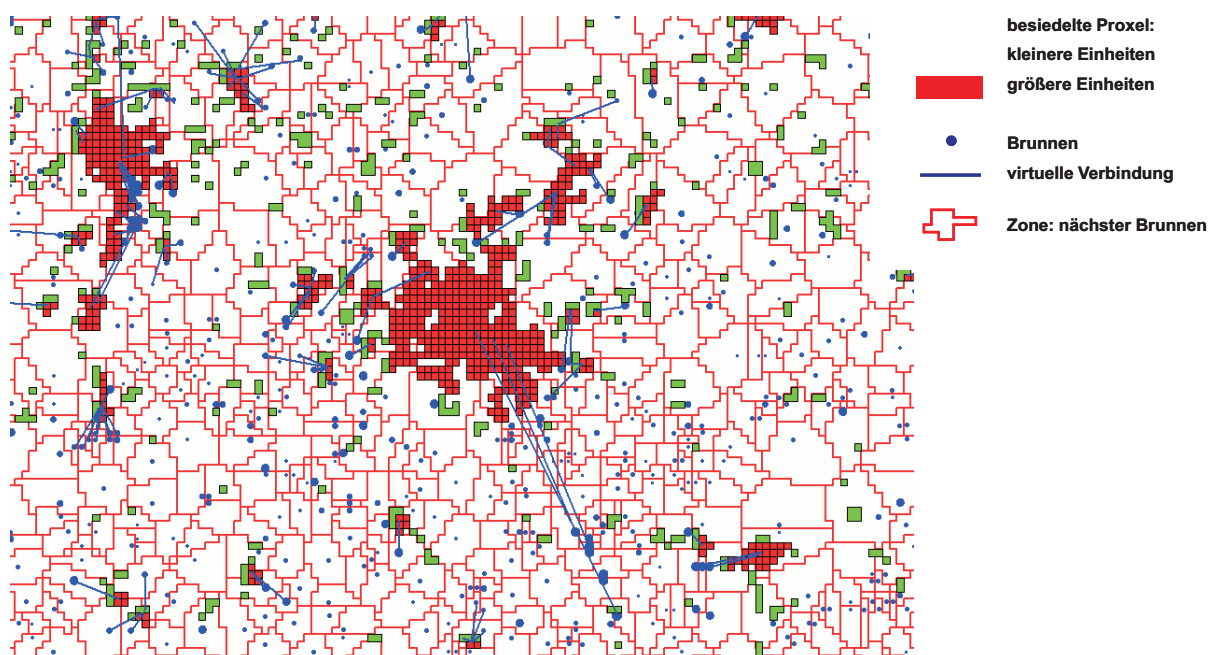


Abb. 8: Zuordnungsschema zwischen Verbraucher- und Versorgerproxel in *Watersupply*.

Die weitergehende objekt-orientierte Modellkonzeption für *Watersupply*, die am Kapitelanfang detailliert erläutert wurde, wurde mit Hilfe von UML entworfen, in JAVA umgesetzt und in einem kleinen Testgebiet, für das ausreichende Daten vorlagen, als alleinstehendes Modell getestet. In diesem Modell werden die Wasserversorgungsstrukturen und -versorgungsgebiete mit einer Fokussierung auf die Wasserversorgungsunternehmen abgebildet (Abb. 9). Abbildung 10 zeigt in Form eines zugehörigen Aktivitätsdiagramms die Rechenschritte, die von einer Instanz „Wasserversorgungsunternehmen“ in einem Zeitschritt durchgeführt werden.

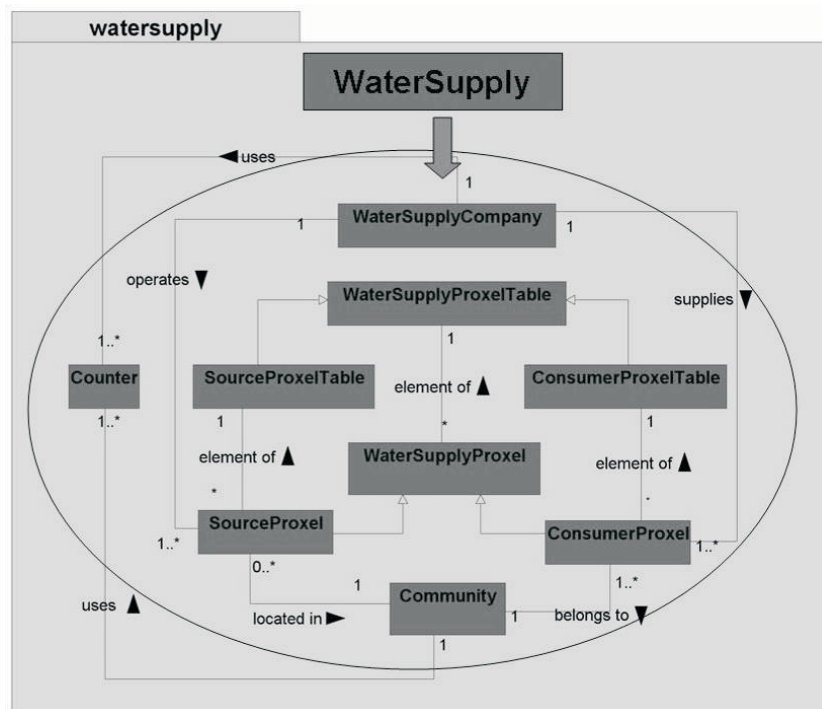


Abb. 9: UML-Klassendiagramm für das Wasserversorgungsmodell.

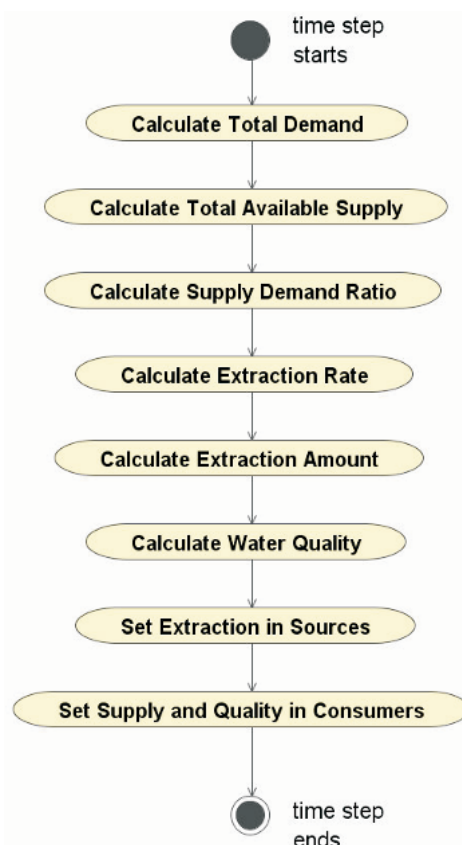


Abb. 10: Aktivitätsdiagramm einer Instanz „Wasserversorgungsunternehmen“ für einen Zeitschritt.

Das Testgebiet, welches insgesamt 24 Wasserversorgungsunternehmen und 22 Gemeinden verschiedenster Größenordnung und Unternehmenstypen (Gemeinde-Eigenwasserversorgung, Zweckverbände, Stadtwerke) umfasst, spiegelt die komplexe Struktur der Wasserversorgung im süddeutschen Raum wieder.

Ein Vergleich der vom Modell berechneten Grundwasserentnahmen, aufsummiert über die Gemeinden, mit den Grundwasserentnahmen aus der Gemeindestatistik (Abb. 11) zeigt, dass das Modell den Status Quo der Wasserversorgung sehr gut abzubilden vermag.

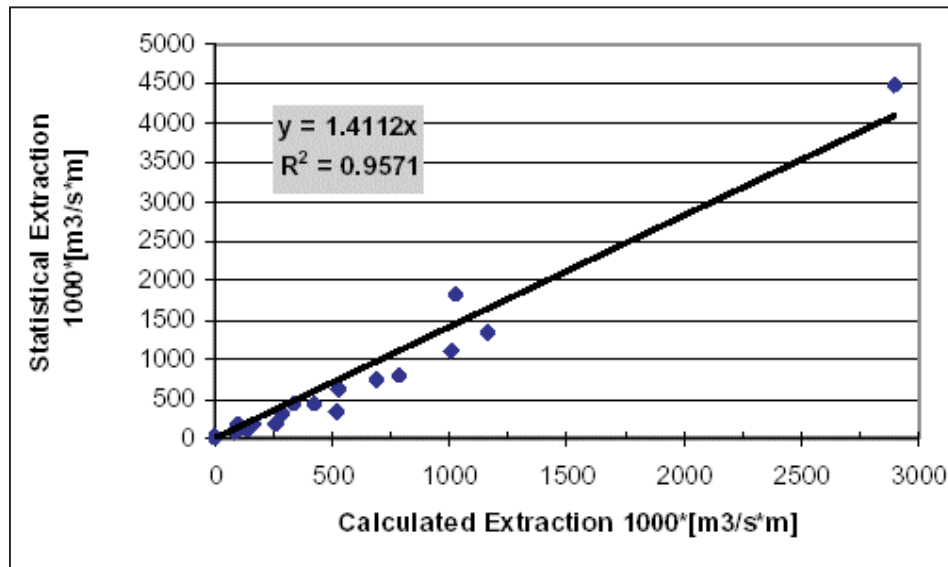


Abb. 11: Vergleich der vom Modell berechneten Grundwasserentnahmen, aufsummiert über die Gemeinden, mit den Grundwasserentnahmen aus der Gemeindestatistik (Bay. LA. für Statistik und Datenverarbeitung).

Parallel zur Fertigstellung der WVU Datenbank (Kap. 2.2.2.1) wird das auf einem Testgebiet erfolgreich getestete Modell auf das Gesamtgebiet ausgeweitet. Derzeit wird ein erster Monetarisierungsansatz entwickelt und im Modell implementiert. Als Grundlage dienen die Rückläufe der Fragebögen sowie Literaturangaben zur Kostenverteilung in der Wasserversorgung. In der zweiten Projektphase wird dieser Ansatz mit Stakeholdern diskutiert und entsprechend den Diskussionsergebnissen verfeinert.

2.3 Ergebnisse integrativer Arbeiten (Groundwater and Water Supply)

2.3.1 Übersicht

Die Integrationsarbeiten konzentrierten sich zu Beginn der ersten Projektphase auf die Diskussion und Implementierung der Schnittstellen zwischen den Partnermodellen. Hierbei erwies sich UML als unverzichtbares Hilfsmittel zur Klärung von entscheidenden Fragen wie der der Kernkompetenzen, der Schnittstellen- und Datenformate und der Zeitschritte.

Im Rahmen der Schnittstellen-Diskussion im Entscheidermodell DANUBIA wurden die Teilbereiche Wasserversorger und Grundwasser getrennt. Der Teilbereich „Wasserversorger“ (jetzt Objekt *Watersupply*) wurde mit den sozioökonomischen Gruppen im Objektverbund *Actors* zusammengefasst. Dadurch wird der Tatsache Rechnung getragen, dass das Informationssystem Wasserversorger thematisch sehr viel stärker mit den sozioökonomischen Fragestellungen zusammenhängt. Während zwischen den sozioökonomischen Gruppen vielfältige Verknüpfungen bestehen, lassen sich die Verbindungen zu den natur- und ingenieurwissenschaftlichen Objekten auf wenige Parameter reduzieren. Durch weitere Umstrukturierungen haben sich die zu übergebenden Parameter zwischen den Gruppen gegenüber dem Stand des Jahres 2001 teilweise geändert (s. Kap. 2.4.1).

Die Integration und die interne Vernetzung wurden in beiden Bereichen, dem Objekt *Groundwater* und dem Objekt *Watersupply*, während der gesamten ersten Projektphase intensiv unter Einsatz der bewährten Methoden und Hilfsmittel (UML, JAVA) weitergeführt. Als Ergebnis sind beide Objekte Ende der Förderphase in der Lage, sinnvolle Modellierungsergebnisse zu den DANUBIA-Validierungsläufen Anfang 2004 beizusteuern. Die Bearbeitung von Testgebieten, die bisher nur sektoral vorangetrieben wurde, wurde in Zusammenarbeit mit anderen Arbeitsgruppen intensiviert. Einen Schwerpunkt stellt dabei weiterhin die Bearbeitung des Donaurieds sowie jetzt auch verstärkt die Bearbeitung des Ammergebiets dar. Das Ammergebiet wurde zum wesentlichen Testgebiet für die Forschungsarbeiten der Doktoranden Jens Wolf und Vlad Rojanski gewählt. Nachdem festgestellt wurde, dass es im Bereich der Kopplung der Objekte *RiverNetwork*, *Landsurface*, *Groundwater* erhebliche Defizite im Bereich der Grundlagenforschung gibt, wurde das Ammergebiet für eine Vertiefung der Forschung in diesem Bereich ausgewählt.

Da es nicht möglich ist, hier die dynamischen und iterativen Prozesse, die zum letztendlichen Erscheinungsbild der Integration führten, im Detail wiederzugeben, beschränkt sich die folgende Darstellung auf die Beschreibung der Endprodukte der Integration.

2.4 Realisierung in DANUBIA

2.4.1 Schnittstellenentwicklung

2.4.1.1 Schnittstellen: Objekt *Groundwater*

Groundwater stellt in DANUBIA eine Komponente mit den Objekten *GroundwaterFlow* und *GroundwaterTransport* dar. Die wesentlichen Schnittstellen bestehen zum *Landsurface* Objekt *Soil* (*GroundwaterRecharge*, *N(itrogen)Leaching*) zur Komponente *RiverNetwork* (*In- und Exfiltration* sowie *Qualitätsparameter*) und zur *Actors*-Komponente (Objekt *Watersupply*, *GroundwaterWithdrawal*, *maximumGroundwaterWithdrawal*).

In Abbildung 12 bis Abbildung 14 wird der Aufbau und die Integration der Komponente *Groundwater* in UML-Notation erläutert. Abbildung 12 zeigt die Schnittstellen zwischen der Komponente *Groundwater* und den anderen DANUBIA-Verbundobjekten. Abbildung 13 verdeutlicht die innere Struktur des „*GroundwaterFlow*-Packages“, Abbildung 14 gibt eine Beschreibung des Objektes *GroundwaterFlow*. Das Objekt *GroundwaterTransport*, das zweite Modul innerhalb der Komponente *Groundwater*, ist noch nicht implementiert und wird deshalb hier nicht dargestellt.

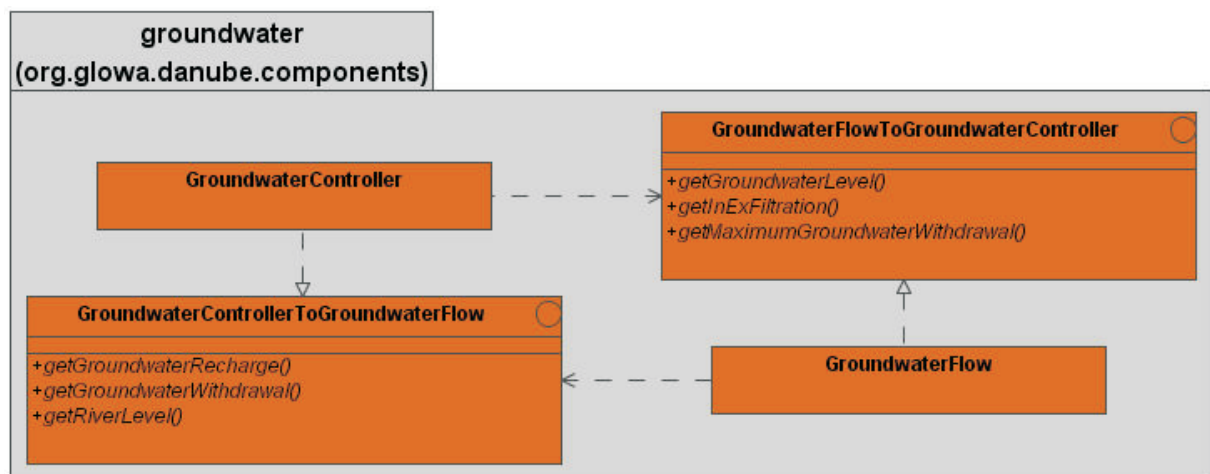


Abb. 12: UML-Schnittstellendiagramm der Komponente *Groundwater*.

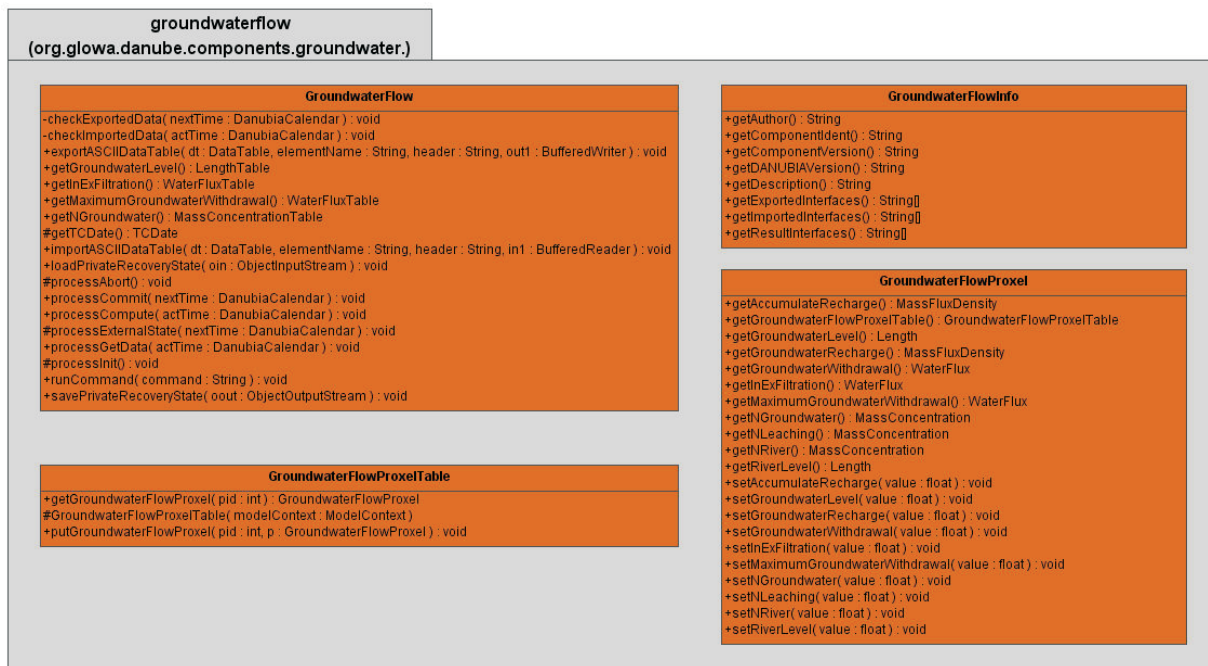


Abb. 13: UML Klassen-Diagramm des Objektes *GroundwaterFlow*.

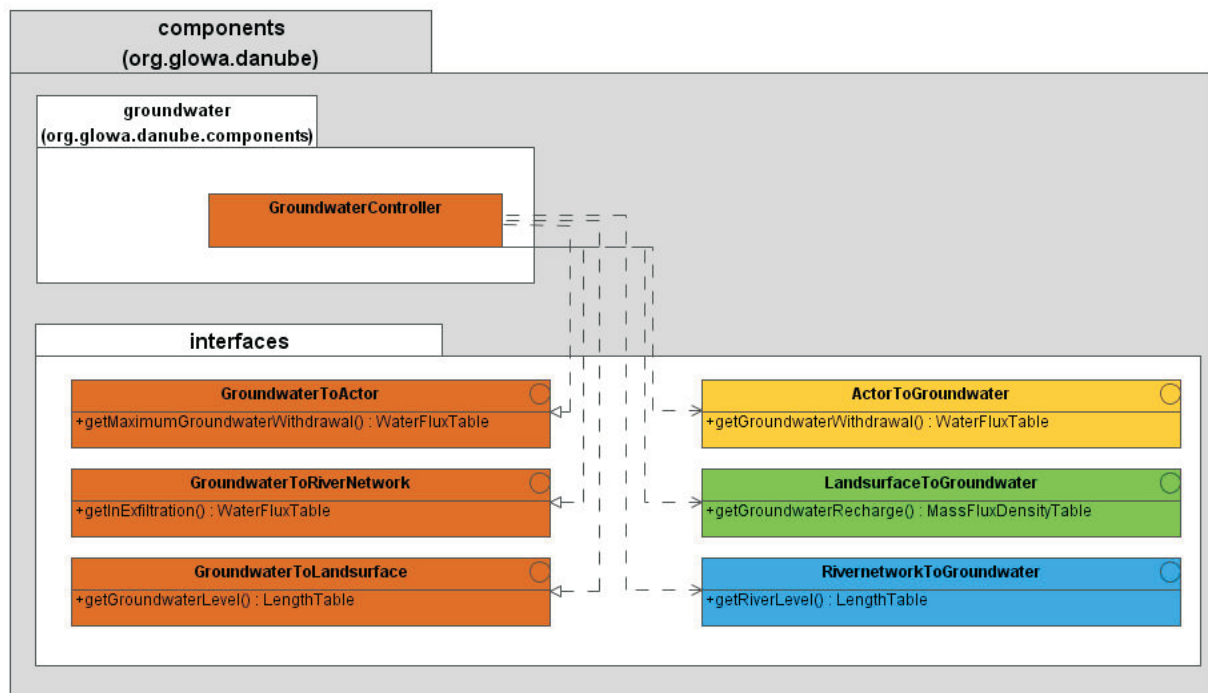


Abb. 14: Übersicht der Stellung der Komponente *Groundwater* innerhalb DANUBIA.

2.4.1.2 Schnittstellen: Objekt *Watersupply*

Das Objekt *Watersupply* ist Bestandteil der *Actors*-Komponente, die in Abbildung 15 in UML Notation dargestellt ist. Der Parameterraustausch zwischen *Watersupply* und anderen Objekten innerhalb und außerhalb der *Actors*-Komponente wird durch den *ActorController* reguliert. Die Schnittstellen zwischen *Watersupply* und dem *ActorController*, die bereits seit Ende 2002 implementiert sind, zeigt die Abbildung 16. Von den anderen Objekten der *Actors*-Komponente erhält *Watersupply* jeweils „Demands“, aufgeschlüsselt nach Grund- und Oberflächenwasser (*domesticDrinkingWaterDemand*, *TourismDrinkingWaterDemand*,

agriculturalDrinkingWaterDemand, industrialGroundwaterDemand, IndustrialRiverwaterDemand). Watersupply antwortet mit „Supplies“ (domesticDrinkingWatersupply, TourismDrinkingWatersupply, agriculturalDrinkingWatersupply, industrialGroundwatersupply, industrialRiverWatersupply). Der „Supply“ wird auf die modellierten Entnahmestellen verteilt und als „RiverwaterWithdrawal“ oder „GroundwaterWithdrawal“ an die Komponenten RiverNetwork und Groundwater weitergegeben. Diese beschränken die Entnahme durch Festlegung einer „maximumRiverwaterWithdrawal“ oder einer „maximumGroundwaterWithdrawal“. Der Parameter „WaterProvisionCosts“ sowie alle Parameter, die die Qualität von Grund- und Oberflächenwasser beschreiben, sind implementiert aber noch nicht in Gebrauch.

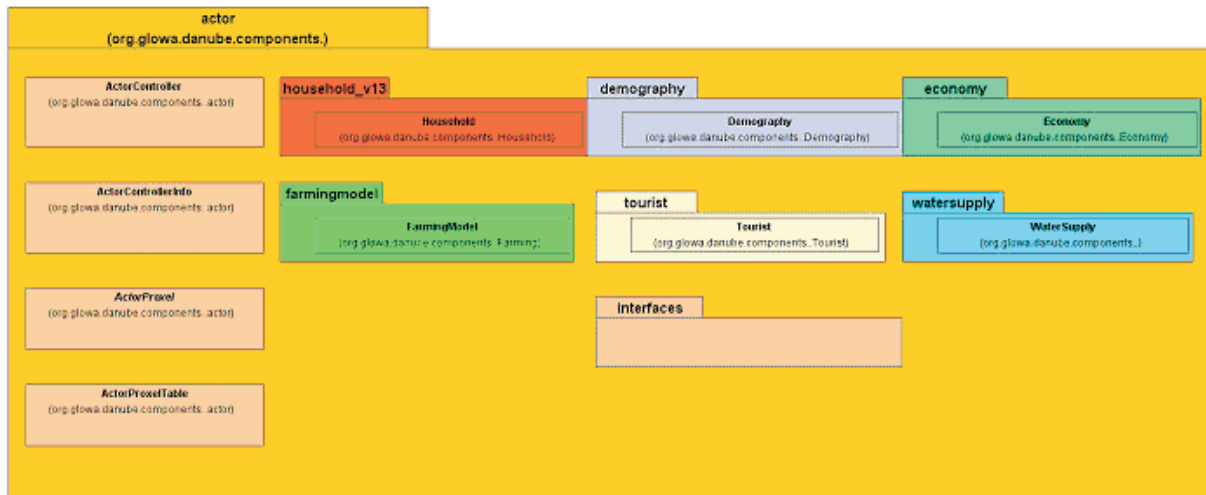


Abb. 15: UML-Übersicht der Actors-Komponente und Stellung des Objekts *Watersupply*.

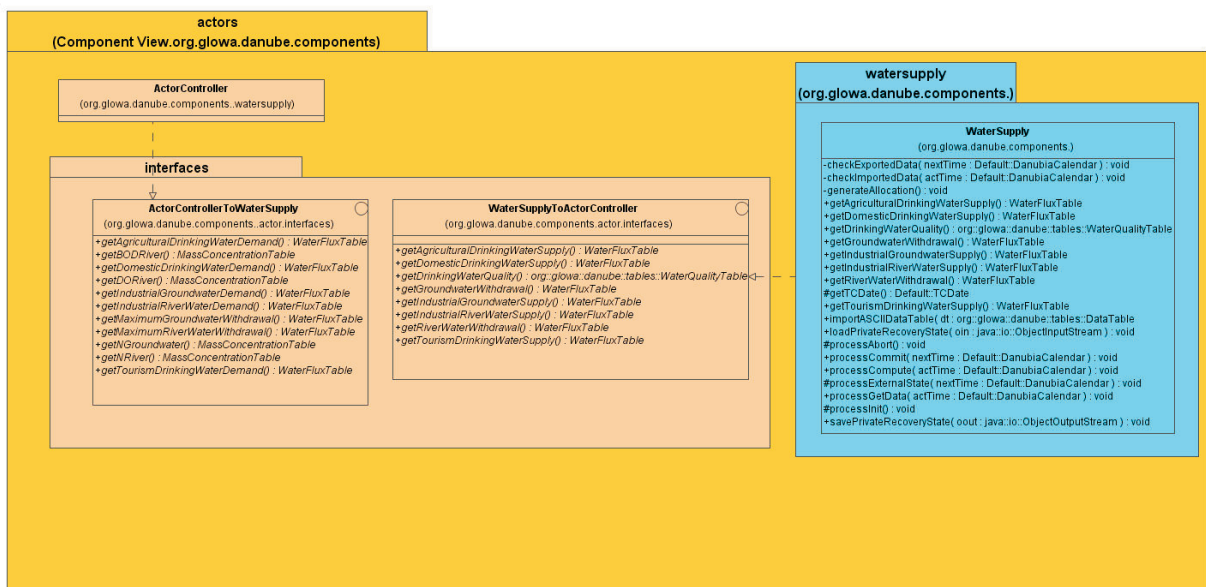


Abb. 16: Schnittstellendiagramm des Objekts *Watersupply*.

Abbildung 17 gibt eine Übersicht über die innere Struktur des Objekts *Watersupply*.

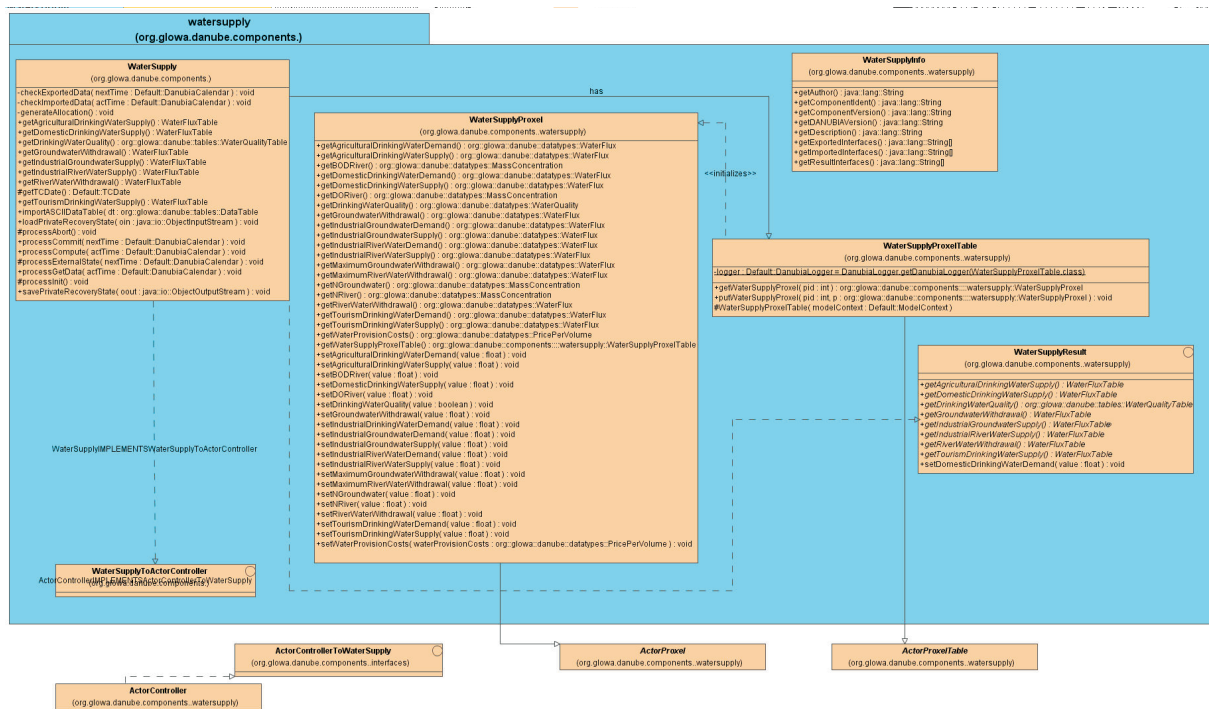


Abb. 17: UML Klassen-Diagramm des Objekts *Watersupply*.

2.4.2 Implementierung der Objekte *Groundwater* und *Watersupply*

2.4.2.1 Implementierung des Objekts *Groundwater*

Nachdem vom Vorhaben, das Programmpaket MODFLOW nach JAVA zu konvertieren bzw. einen JAVA-Wrapper zu erzeugen, Abstand genommen wurde, gestaltete sich die Implementierung des Objekts *Groundwater* vergleichsweise einfach. MODFLOW und die Pre- und Postprocessing Programme werden in einer strikten Sequenz von JAVA gestartet und gesteuert. Das hat den Vorteil, dass eine ausführliche Fehlerbehandlung möglich ist. Die Pre- und Postprocessing-Programme dienen dazu, die Daten zwischen *Groundwater* und MODFLOW auszutauschen, d.h. sie in das jeweilige Datenformat, in die erforderliche Einheit und Struktur zu konvertieren.

Eine Schwierigkeit bei der Implementierung ist der unterschiedliche Zeitschritt zwischen *Landsurface* (eine Stunde) und *Groundwater* (ein Tag) gewesen. Gelöst wurde das Problem dadurch, dass *Groundwater* auch die Sequenz processGetData-processCompute-processCommit einmal pro Stunde startet, wobei allerdings in 23 Zeitschritten nur die Perkolations von *Landsurface* akkumuliert wird. Im letzten Zeitschritt wird dann auch MODFLOW gestartet. Am Ende des MODFLOW-Rechenschrittes werden die Anfangsbedingungen für den nächsten Zeitschritt neu gesetzt.

2.4.2.2 Implementierung des Objekts *Watersupply*

Die aktuell in DANUBIA implementierte Version des Objekts *Watersupply* ist für den gesamten deutschen Teil des Einzugsgebiets parametrisiert und innerhalb DANUBIA mit plausiblen Ergebnissen lauffähig. Sie repräsentiert jedoch noch nicht den Stand der in Kapitel 2.2.2.2 beschriebenen konzeptionellen Entwicklung. Letztere ist lediglich für ein repräsentatives Testgebiet mit guter Datenlage erfolgreich implementiert. Für das Gesamtgebiet musste wegen der Datenlage zur Jahresmitte 2003 eine vereinfachte Modellversion erstellt werden. Beide Modellversionen wurden in Kapitel 2.2.2.2 eingehend erläutert.

2.5 Tests und Validierung

2.5.1 Modellierungsergebnisse des DANUBIA-Objektes *Groundwater*

Im Folgenden wird zunächst auf die Ergebnisse lokaler, das heisst nicht in DANUBIA gekoppelter Testläufe des Grundwassermodells eingegangen. Die weiterhin vorgestellten Ergebnisse aus DANUBIA-Testläufen beziehen sich ausschließlich auf die zwei letzten DANUBIA-Gesamtläufe, die jeweils für die Jahre 1995 und 1996 durchgeführt wurden. Dabei lieferte der erste dieser beiden Läufe („*Atmostations*-Lauf“, vgl. dazu 2.5.1.3) die im Vergleich zu gemessenen Daten besseren Ergebnisse. Weiterhin waren die Ergebnisse früher verfügbar und konnten deshalb intensiver ausgewertet werden.

2.5.1.1 Ergebnisse nicht-gekoppelter Testläufe

Das Grundwassermodell wurde sowohl als Stand-Alone-Modell stationär als auch instationär in DANUBIA getestet. Die Ergebnisse des stationären Laufes (Abb. 18 und Abb. 19) sind zufrieden stellend, insbesondere wenn man berücksichtigt, dass keine automatische Kalibrierung des Modells vorgenommen wurde (Kap. 2.2.1.2). Die Ergebnisse des stationären Laufes in den vier modellierten Schichten zeigen die erwartete Potenzialverteilung, d.h. eine geringe Abweichung gegenüber den Startbedingungen des stationären Modells. Grundlage dieser Startbedingungen sind zahlreiche Grundwassergleichenpläne, die in der ersten Projekthälfte gesammelt, digitalisiert und auf das Koordinatensystem von DANUBIA transformiert wurden. Abbildung 19 zeigt vor allem in den höheren Lagen des Einzugsgebietes einige Ausreißer bei einer sonst guten Übereinstimmung zwischen den gemessenen und den berechneten Ergebnissen. In den stark reliefierten Gebieten können kleine Abweichungen durch Koordinatentransformation auf dem groben Raster des digitalen Geländemodells zu großen Diskrepanzen zwischen Geländehöhe im Modell und dem in dieser Zelle gemessenen Grundwasserspiegel führen, so dass eine Anpassung des Grundwassermodells an alle Messdaten nicht gelingen kann.

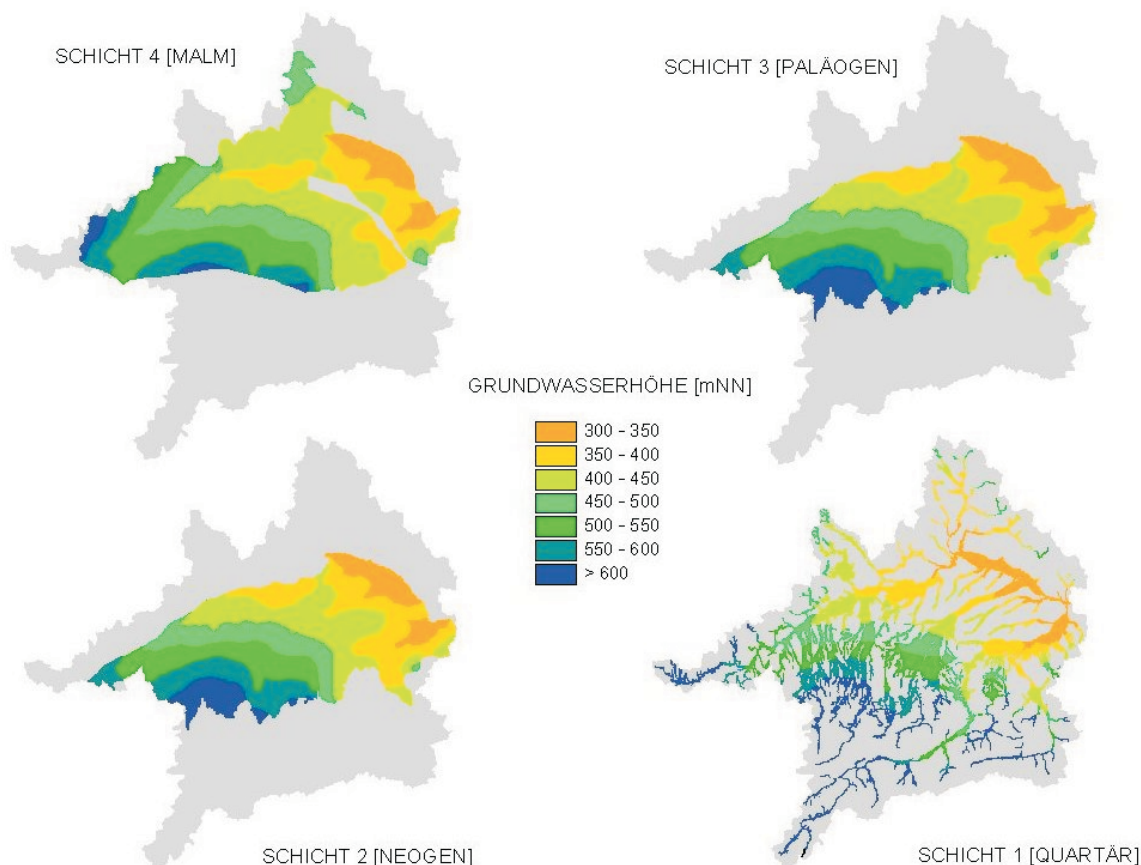
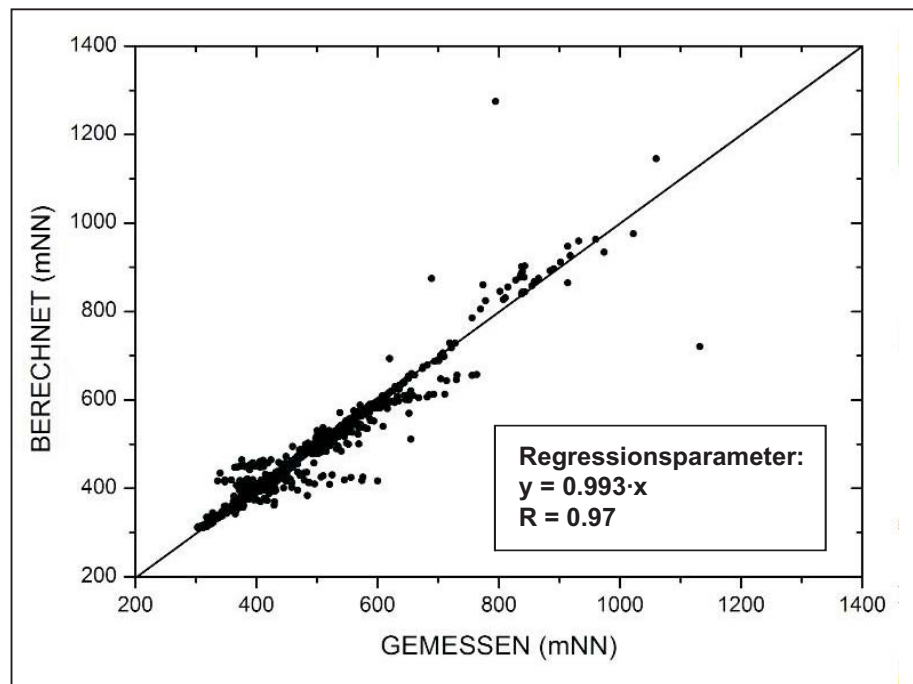


Abb. 18: Die resultierende Verteilung der Piezometerhöhen des stationären Laufes des Ende 2003 in DANUBIA implementierten Grundwassermodells für alle vier Schichten.

Abb. 19: Vergleich von Mittelwerten langjähriger Aufzeichnungen von Grundwasserständen mit den von *Groundwater* berechneten Ergebnissen (WOLF et al. 2004).



2.5.1.2 Ergebnisse aus dem Referenzlauf *Atmostations*

Bei den Ergebnissen aus den instationären Läufen in DANUBIA (Startbedingung sind die Ergebnisse aus dem stationären Lauf) ist neben dem Verhalten der Grundwasserstände vor allem der Austausch zwischen den einzelnen Schichten und *RiverNetwork* von Interesse.

Abbildung 20 zeigt die über die Versuchsdauer gemittelte Bilanz von *Groundwater* im ersten Referenzlauf (DANUBIA-Lauf „*Atmostations*“: interpolierte Niederschlagsdaten von Wetterstationen): Die Perkolations (*groundwaterRecharge*) wird von *Landsurface* übernommen und wie in 2.2.1.2 beschrieben vor der Übergabe an MODFLOW aufgeteilt: Von den 604m³/s Perkolations werden 517 m³/s an das Grundwassermodell übergeben, der Rest geht an *RiverNetwork*. Da die Perkolations in diesem Testlauf deutlich geringer war als die Perkolations für den stationären Lauf (730m³/s), führt das ähnlich wie im Testlauf, der im Jahresbericht 2003 beschrieben wurde, konsequenterweise über den Zeitraum von drei Jahren (-225m³/s) zu einer Entwässerung. Die Abgabe an *RiverNetwork* (797m³/s) liegt demnach höher als die Perkolations von *Landsurface*.

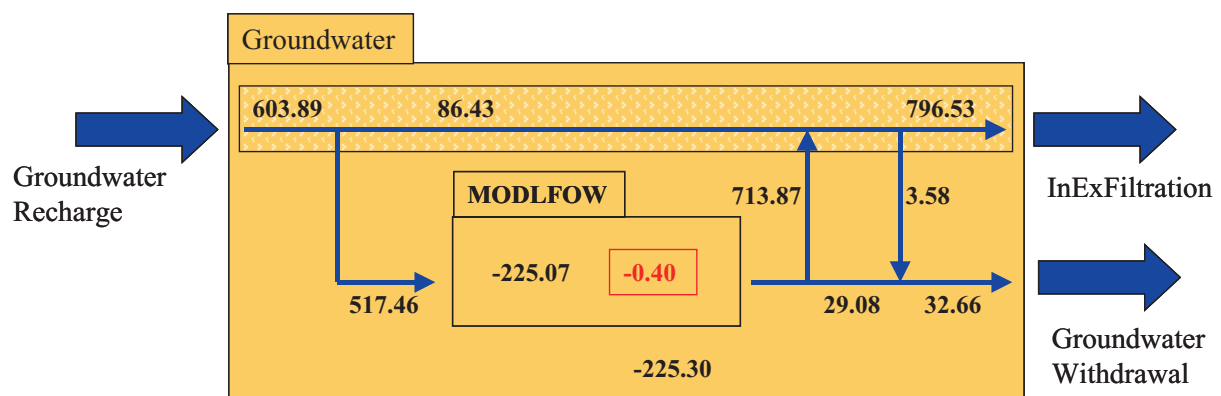


Abb. 20: Bilanz des DANUBIA-Objektes *Groundwater* (DANUBIA-Referenzlauf „*Atmostations*“): Über die Versuchsdauer gemittelte Werte der Wasserflüsse [m³/s].

Die langsame Entwässerung wird auch in den Zeitreihen der mittleren Grundwasserstände in jeder Schicht des Modells deutlich (Abb. 21a-c): Der Grundwasserspeicher gibt über den Zeitraum von zwei Jahren kontinuierlich Wasser aus allen vier Schichten ab.

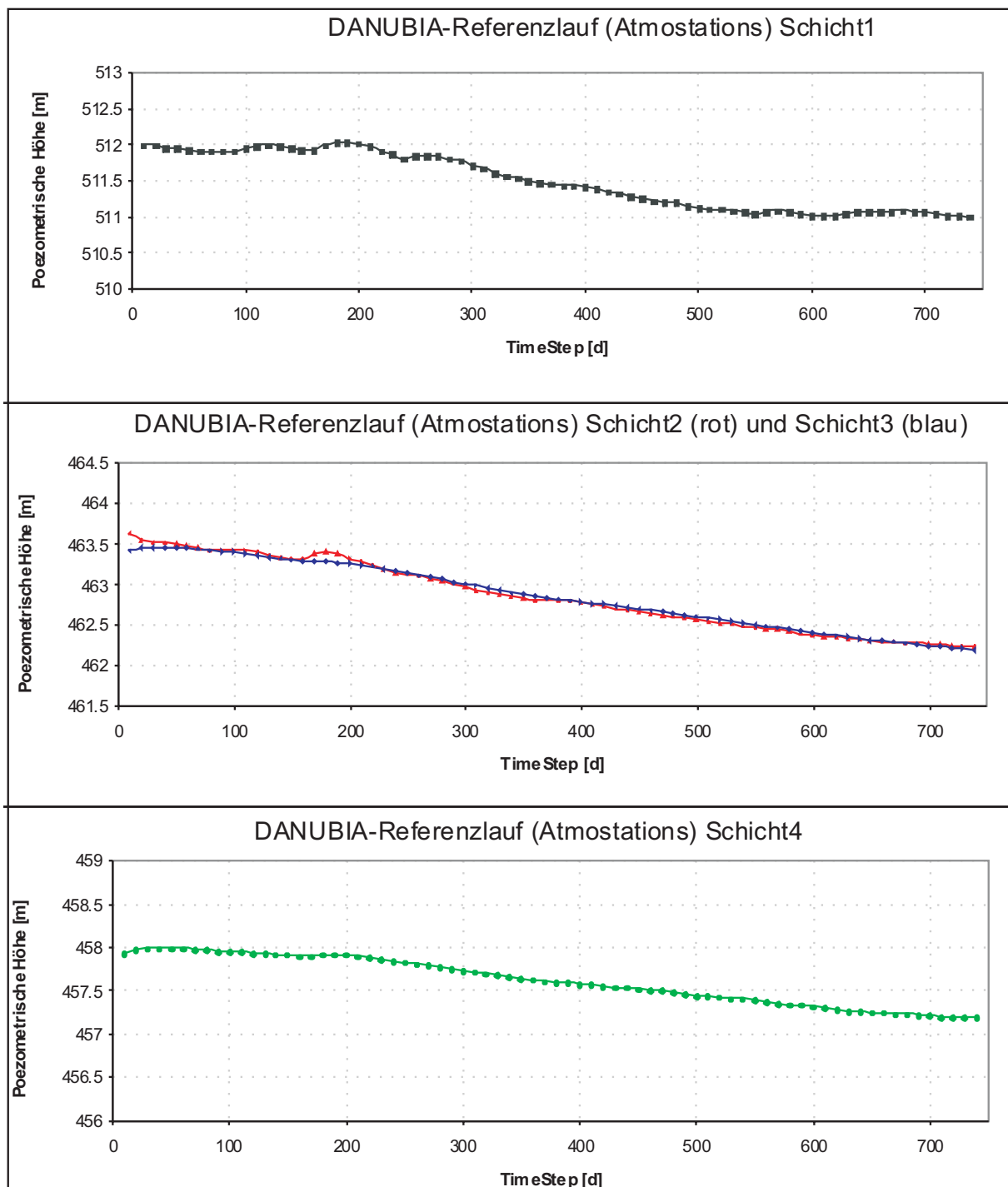


Abb. 21: Der zeitliche Verlauf der gemittelten Grundwasserstände aller vier Schichten im ersten DANUBIA-Referenzlauf (Niederschläge berechnet durch *Atmostations*).

2.5.1.3 Groundwater: Vergleich der Modellläufe mit *Atmostations* und *AtmoMM5*

Um zu evaluieren, wie sich die Verwendung unterschiedlicher Modelle zur Simulation von Niederschlag und Temperatur auf das DANUBIA Gesamtsystem und die einzelnen Modelle auswirken, wurden gegen Ende des Berichtszeitraums die bereits erwähnten Referenzläufe durchgeführt. Während im ersten Lauf die geproxelten stündlichen klimatischen Daten mit dem Modell *Atmostations* aus gemessenen Stationsdaten interpoliert wurden, wurde im zweiten Lauf Niederschlag und Temperatur aus dem klimatischen Modell *AtmoMM5* herangezogen. Der Vergleich beider Läufe ist insbesondere deshalb von Interesse, weil die zukünftigen Szenarienläufe ausschließlich auf den Berechnungen des Modells *AtmoMM5* beruhen werden.

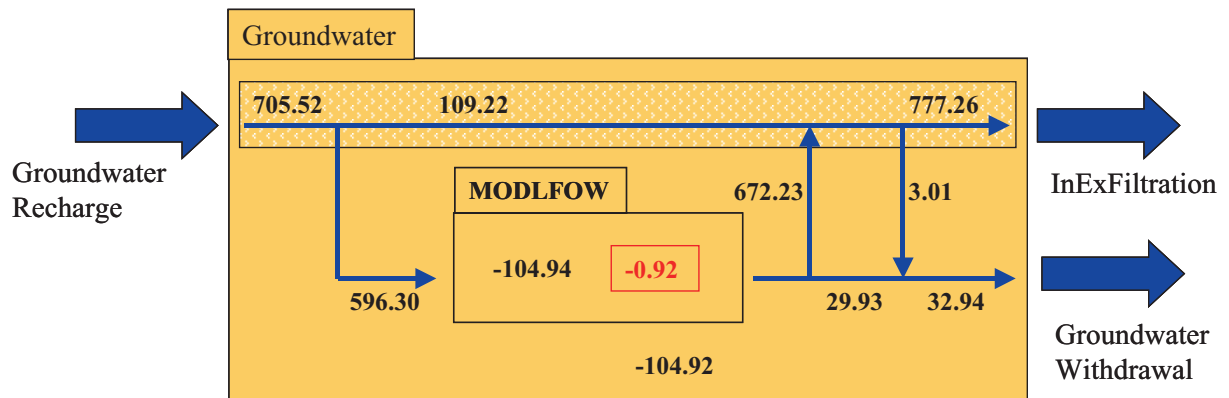
Es zeigt sich, dass die Verwendung der unterschiedlichen Modelle zwar in der Summe über den gesamten Zeitraum und das gesamte Gebiet kaum abweichende Niederschlagsmengen und mittlere Temperaturen zur Folge hatten, dass aber, aufgrund der unterschiedlichen Datengrundlagen und unterschiedlicher Berechnungs- und Interpolationsmethoden, die räumlich-zeitliche Verteilung von Niederschlag und Temperatur auf den einzelnen Proxeln z.B. eine unterschiedliche Niederschlagsdauer und -intensität zur Folge hatten. Dies führt in der Konsequenz zu entsprechend variierenden Ergebnissen der Modelle, die für die Landoberflächenprozesse (*Landsurface*-Komponente) und die Prozesse im Boden verantwortlich sind (*Soil*-Objekt). Die gemeinsam von den betroffenen Gruppen durchgeführte Analyse der Ergebnisse legt nahe, dass die wesentlichen Abweichungen zwischen den einzelnen Läufen auf das unterschiedliche Verhalten des Objekts *Snow* zurückzuführen sind, das naturgemäß besonders sensibel auf die räumlich-zeitliche Variation von Niederschlag und Temperatur reagiert.

Für das Grundwassermodell sind allerdings im Wesentlichen die Ausgabewerte des Objekts *Soil* von Bedeutung. Dort führt die unterschiedliche mengenmäßige Verteilung der Niederschläge auf verschiedenen Proxeln mit unterschiedlicher Bodencharakteristik, sowie die aus der unterschiedlichen Verteilung der Effektiv-Niederschläge resultierenden Niederschlagsintensität zu letztlich variierenden Sättigungszuständen und Abflussmengen. Letztendlich war die Grundwasserneubildung, die das Objekt *Groundwater* vom Objekt *Soil* erhält, im Lauf mit *AtmoMM5* um etwa $100\text{m}^3/\text{s}$ größer als bei der Verwendung von *Atmostations*. Die Abbildung 20 und Abbildung 22 zeigen alle Bilanzgrößen des Grundwassermodells für beide Läufe in der Übersicht.

Die Hintergründe der Verwendung der beiden Atmo-Modelle, die Unterschiede in den Ergebnissen und deren Ursachen sowie die daraus resultierenden unterschiedlichen Ergebnisse der Objekte der Komponente *Landsurface* und vor allem der Objekte *Soil* und *Snow* werden in den betreffenden Teilberichten, sowie in der Zusammenfassung zu Beginn des Gesamtberichts geklärt. Hier werden nur die Konsequenzen für das Objekt *Groundwater* erläutert. Für das Objekt *Groundwater* konnten aus den Ergebnissen der beiden Läufe sehr interessante und bedeutsame Schlüsse gezogen werden. Einige davon betreffen Schwachpunkte des Modells, die bereits bekannt, aber bislang nicht quantifizierbar waren.

Im Folgenden wird die vergleichende Analyse kurz beschrieben. Es ist dabei nicht möglich auf alle Details einzugehen, obwohl diese im Einzelfall sehr interessant und aufschlussreich sind. Durch die Verwendung von vier Modellschichten vertikal, einer horizontalen Zonierung der Modellschichten (unterschiedliche Parameterisierung) und unterschiedlicher Initial- und Randbedingungen für jede Zelle bzw. der variierenden Nähe zu bestimmten Randbedingungen (z.B. Abstand von Fluss) für jede einzelne Zelle ergibt sich eine hohe Zahl sehr stark abweichender Konfigurationen, die individuell analysiert und bewertet werden muss. Da dies den Rahmen dieses Berichts sprengen würde, wurde versucht in drei hierarchischen Ebenen (Gesamtgebiet, Teileinzugsgebiet und Einzelproxel) das generelle Verhalten abzuleiten.

Wie bereits für den ersten Referenzlauf beschrieben (Abb. 20) wurden auch für den zweiten Lauf die Summen über die Jahre 1995 und 1996 im ganzen Gebiet betrachtet. Hier ergab der zweite Referenzlauf, in dem die Niederschläge mit *AtmoMM5* modelliert wurden, eine deutlich höhere Perkolation, die mit $706\text{m}^3/\text{s}$ (Abb. 22) noch immer unter der für den stationären Lauf angenommenen Neubildung lag (ca. $750\text{m}^3/\text{s}$). Die Abgabe von MODFLOW ist deshalb geringer ($105\text{m}^3/\text{s}$) und erfolgt hauptsächlich am Anfang des Testlaufes, wie aus dem Verlauf der gemittelten Grundwasserstände in den vier Modellschichten zu entnehmen ist (Abb. 23).



-0.92 - durchschnittlicher Konvergenzfehler

Abb. 22: Bilanz des DANUBIA-Objektes *Groundwater* (DANUBIA-Referenzlauf „AtmoMM5“): Über

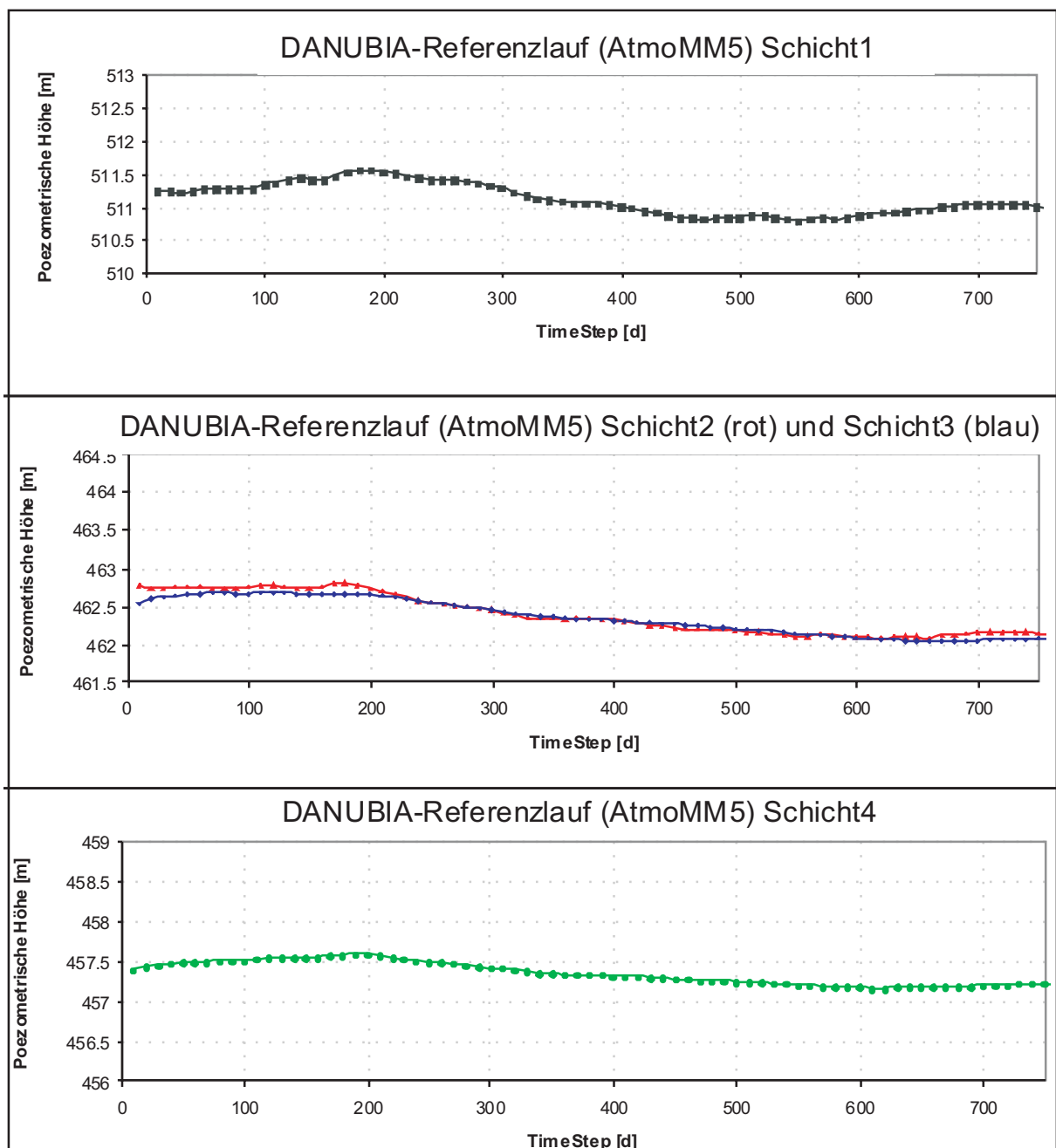


Abb. 23: Der zeitliche Verlauf der gemittelten Grundwasserstände aller vier Schichten im zweiten DANUBIA-Referenzlauf.

Am Ende des zweiten Jahres ist eine Konsolidierung der Grundwasserstände zu erkennen. Eine längere Zeitreihe würde allerdings eine bessere Aussage darüber ermöglichen, inwieweit das Grundwassermodell schon einen Gleichgewichtszustand erreicht hat. Die Unterschiede zwischen den beiden Läufen kommen in Abbildung 24 zum Ausdruck. In den hellen Farben sind die zeitlichen Verläufe der Komponenten des Wasserkreislaufes des MM5-Referenzlaufes dargestellt, in den entsprechenden dunklen Farben die des ersten Laufes. Es zeigt sich, dass die Speicherkomponente des MM5-Laufes (hellgrün) sich zum Ende um Null bewegt, d.h. eine ausgeglichene Wasserbilanz über ein hydrologisches Jahr aufweist, während im ersten Referenzlauf diese Phase noch nicht erreicht werden konnte.

Die Zeitreihen in Abbildung 24 geben einen guten Eindruck davon, wie der Grundwasserkörper deutlich gedämpft und leicht zeitverzögert auf das Eingangssignal, die Grundwasserneubildung, reagiert und ein sehr konstantes Signal an die Flüsse abgibt.

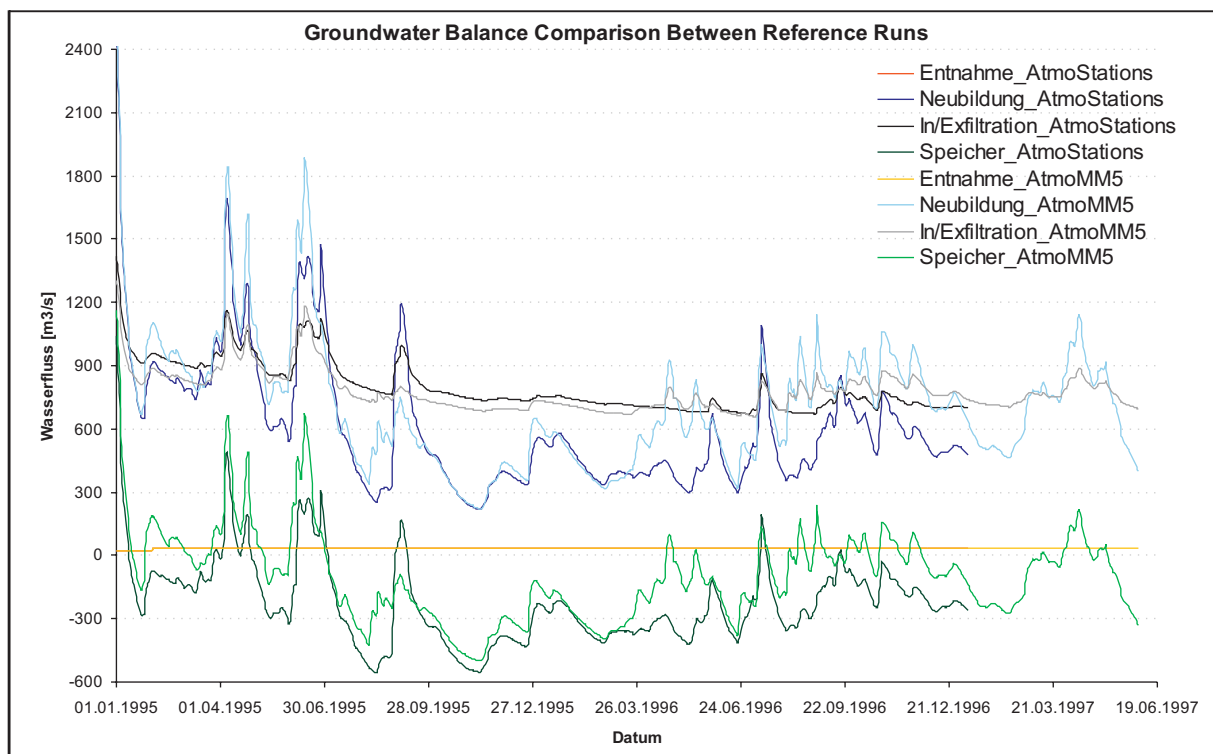


Abb. 24: Der zeitliche Verlauf des In- und Outputs der DANUBIA-Komponente *Groundwater*: Vergleich der beiden Referenzläufe *AtmoMM5* and *Atmostations*.

In einem weiteren Schritt wurde nun das Gesamtgebiet in 230 durch Pegel definierte Teileinzugsgebiete zerlegt und Zeitreihen der wesentlichen Bilanzparameter für beide Läufe gegenübergestellt. Abbildung 25 und Abbildung 26 demonstrieren das unterschiedliche Verhalten der beiden Läufe auf der Ebene kleinerer Einzugsgebiete: Dargestellt sind die Differenzen zwischen den beiden Referenzläufen für den wichtigsten Inputparameter, die Grundwasserneubildung, und den wichtigsten Outputparameter des Grundwassermodells, die Exfiltration zu den Flüssen. Die größere Neubildung ist im zweiten Lauf an das Modell übergeben worden. Dennoch ist die Exfiltration in Abbildung 25 negativ und erst nach fast zwei Jahren zeigt das Modell das erwartete Verhalten, dass mit einer größeren Neubildung auch größere Exfiltrationsraten zu erwarten sind. Das hängt ebenfalls mit dem langen „Gedächtnis“ des Modells zusammen (s.o.). Sie sind zu wenig an die Neubildungen, die während der Referenzläufe an das Modell übergeben wurden, angepasst. Wie lange das Gedächtnis eines Modells anhält, hängt sehr stark von der Diffusivität, dem Verhältnis der Transmissivität zum Speicherkoeffizienten ab. Ist dieses Verhältnis groß (Abb. 26, ein alpines Einzugsgebiet), ist der Effekt kaum zu bemerken; ist die Diffusivität klein (Abb. 25, ein Einzugsgebiet mit hohem Anteil an tertiären Einheiten) hält das Gedächtnis lange an.

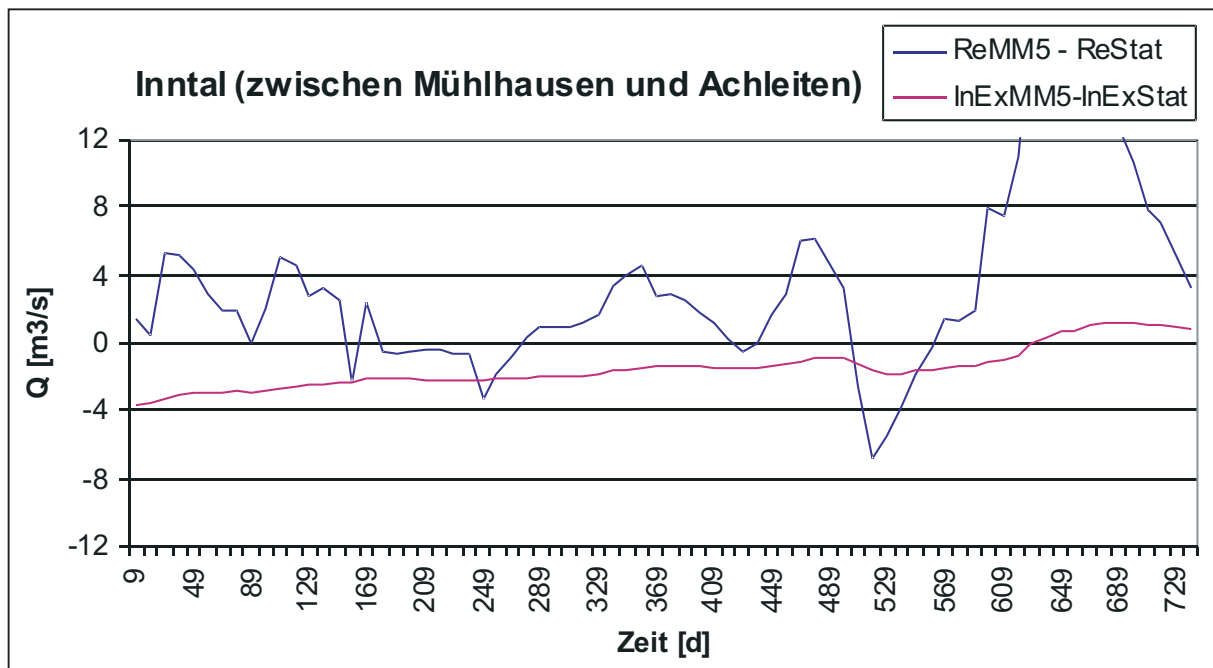


Abb. 25: Der zeitliche Verlauf der Differenzen zwischen den beiden Referenzläufen in der Grundwasserneubildung (Re_...) und der In- bzw. Exfiltration (InEx_...) für ein Einzugsgebiet im Inntal (Tertiär und Quartär).

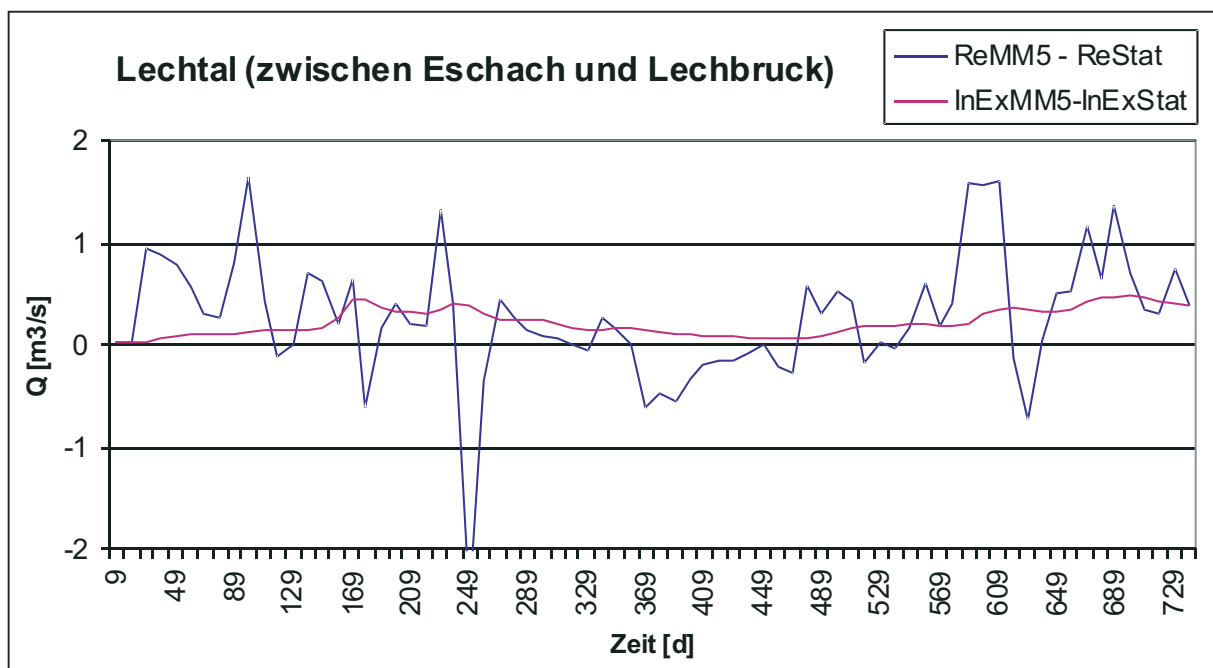


Abb. 26: Der zeitliche Verlauf der Differenzen zwischen den beiden Referenzläufen in der Grundwasserneubildung (Re_...) und der In- bzw. Exfiltration (InEx_...) für ein Einzugsgebiet im Lechtal (nur Quartär).

Zuletzt wurde eine vergleichende Analyse einzelner Proxel durchgeführt. Hier zeigt sich, dass es je nach Lage des betrachteten Proxels bzw. der Modellzelle sehr unterschiedliche Ergebnisse und Unterschiede zwischen den einzelnen Läufen gibt. Es ist nicht möglich hier alle entsprechenden Ergebnisse graphisch wiederzugeben. Es werden die Ergebnisse für zwei Proxel gezeigt.

Abbildung 27 zeigt die Unterschiede in den berechneten Grundwasserspiegeln aus dem *Atmostations*- und dem *AtmoMM5*-Lauf gemeinsam mit den jeweiligen Grundwasserneubildungen, die von *Soil* berechnet wurden und dem gemessenen Grundwasserspiegel einer Messstelle des Landesamts für Wasserwirtschaft exemplarisch für einen Proxel in der Nähe der Salzach. Der oberste aktive Grundwasserleiter für Proxel 104062 im Modell ist das

obere Tertiär, die Grundwasseroberfläche an der Messtelle liegt im langjährigen Mittel ca. 9m unter GOK. Die berechneten Grundwasserspiegel für diesen Proxel zeigen eine vergleichsweise sehr gute Übereinstimmung mit den gemessenen Werten (Abb. 27), was im Modell typisch für ungespannte oberflächennahe Aquifere in Nähe zu Flüssen ist. Da Geländehöhe der Messtelle und mittlere Geländehöhe des verwendeten DGM für den Quadratkilometer um etwa 4m auseinanderliegen, wurde zur Verdeutlichung neben den Originalwerten eine mit 4 m addierte Messreihe dargestellt. Schlechtere Anpassungen resultieren, wie oben beschrieben, in den tieferen Aquiferen, im Karst und in den Alpen.

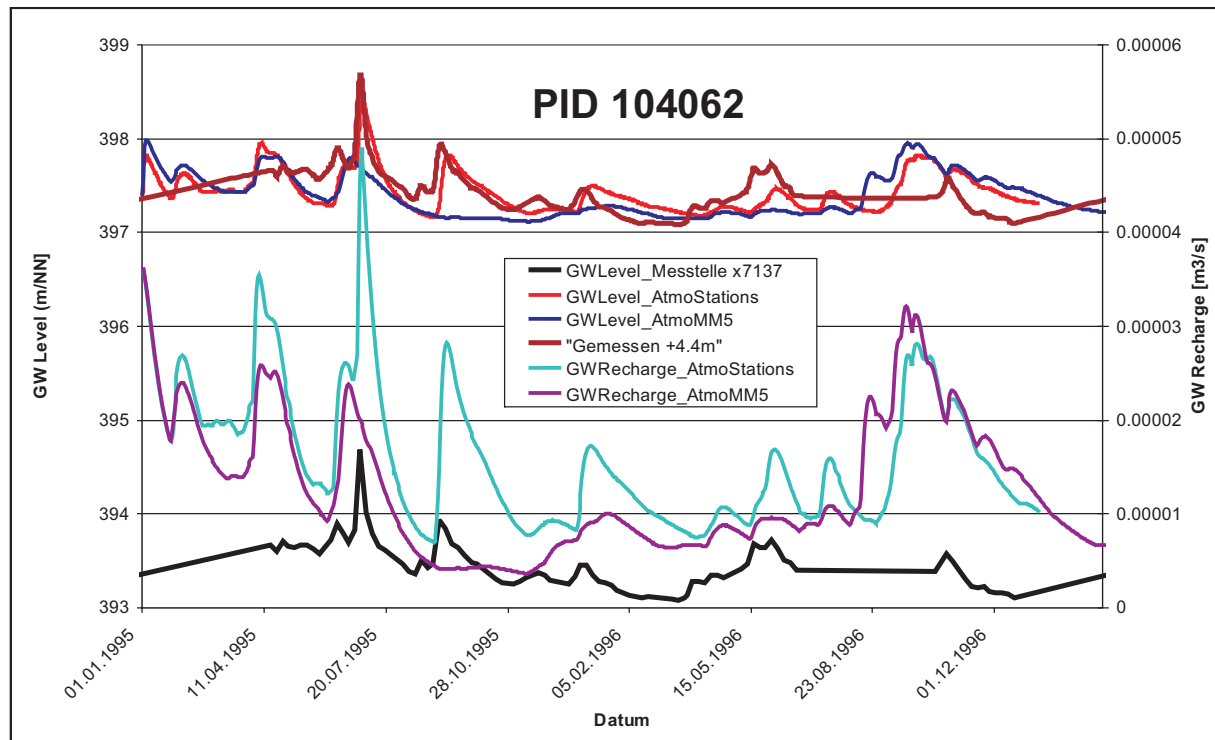


Abb. 27: Vergleich der Ergebnisse aus den beiden Läufen für Proxel 104062 mit den jeweiligen Modellergebnissen für den *GroundwaterRecharge (Soil)* und einer auf diesem Proxel befindlichen Grundwassermesstelle.

Am Beispiel dieses Proxels lässt sich allerdings besonders gut das Zusammenwirken der Objekte *Groundwater* und *Soil* und letztlich der angeschlossenen Modelle der *Landsurface* und *RiverNetwork* Komponente demonstrieren, da, aufgrund der Oberflächennähe, das Grundwassersystem systematisch schnell und deutlich auf die Änderungen des Bodenwasserhaushalts reagiert. Es ist augenfällig, dass der im *AtmoMM5* berechnete Recharge in einer deutlich schlechteren Anpassung der gemessenen an die gerechneten Grundwasserhöhen resultiert. Die Unterschiede in den Berechnungsergebnissen des Bodenwassermodells *Soil* sind letztlich wiederum auf abweichende Ergebnisse in der Berechnung der Schneedeckendauer und Schneehöhen im Objekt *Snow* zurückzuführen. *Snow* reagiert offensichtlich besonders sensibel auf Änderungen in der räumlich zeitlichen Verteilung der Parameter Niederschlag und Temperatur, die wiederum, wie eingangs dieses Kapitels erwähnt, aus der unterschiedlichen Berechnungsgrundlage und der Behandlung von räumlichen und zeitlichen Aspekten in den verwendeten meteorologischen Modellen hervorgehen. Die Ursachendiskussion wird in den betreffenden Teilbereichen der Meteorologie und *Landsurface*gruppen ausführlich diskutiert.

Zusammenfassung

Im Einzelnen konnten aus der vergleichenden Analyse folgende Erkenntnisse abgeleitet werden:

- die Startbedingungen, also die piezometrischen Höhen für jede Zelle zur Beginn eines Laufs, sind von sehr hoher Bedeutung, da sie lange im „Gedächtnis“ des Modells verbleiben und auch nach zwei Jahren noch Auswirkungen auf die berechneten Werte haben. Das Modell reagiert sehr träge, so dass zu hoch oder zu niedrig angesetzte Startbedingungen großen Einfluss auf die Resultate der Berechnungen haben. Hier macht sich negativ bemerkbar, dass auch die vorgeschalteten Modelle Startbedingungen verwenden, die nicht optimal sind (sein können) und deshalb eine Einschwingphase von einigen Wochen haben. Diese Einschwingphase bleibt, ebenso wie die Startbedingungen, lange im Gedächtnis des Grundwassermodells.
- Das Grundwassermodell ist grundsätzlich in der Lage Wasser von außerhalb aufzunehmen (Recharge, Infiltration, Withdrawal ...) und nach außen abzugeben (Exfiltration, Evaporation ...). Bei Beibehaltung der Bilanz können Aufnahme und Abgabe auch über lange Zeiträume unterschiedlich sein, da im Modell intern Wasser gespeichert oder aus dem Speicher abgegeben werden kann, in gleicher Weise wie dies in der Natur geschieht. Für das Modell hat das zur Folge, dass sowohl die Abgabe (InExfiltration nach *RiverNetwork*) als auch die Speicherung (Storage) über entsprechende Parametrisierungen (Storage Coefficient, Conductivity) an einen ungefähr definierten Recharge angepasst sein müssen. Im Fall der für die Referenzläufe implementierten Parametrisierung lag der Erwartungswert für den Recharge bei $900\text{m}^3/\text{s}$. Auf stärkere Abweichungen von diesem Erwartungswert reagiert das Modell, ebenfalls wie in der Natur, mit einer verstärkten Speicherung oder Entleerung des Speichers. Eingrenzbare ist dieses Problem nur bei gemeinsamer Anpassung aller beteiligter Modellkomponenten (*Groundwater, Soil, RiverNetwork*) über eine längere, mit Messwerten belegbaren Zeitreihe (mindestens 10 Jahre). Ein Zwei-Jahreslauf lässt im Falle des Grundwassermodells keine verlässliche Aussage über das Systemverhalten zu.

Der Vergleich der beiden Modellläufe zeigt letztlich, dass im gekoppelten Modellsystem eine sehr gute Abstimmung der einzelnen Modellkomponenten zueinander stattfinden muss. Auf die Notwendigkeit einer konsistenten gemeinsamen Abstimmung der Modellkomponenten wurde bereits mehrfach hingewiesen. Insbesondere für das Grundwassermodell, das sehr träge reagiert und deshalb ein vergleichsweise langes Gedächtnis für Einschwingvorgänge und Diskrepanzen zu Beginn des Modelllaufs hat, müssen Maßnahmen getroffen werden, die die daraus resultierenden Fehler minimieren. Überlegungen hierzu werden angestellt, werden aber erst im Verlauf der zweiten Projektphase umgesetzt und getestet werden können.

2.5.2 Modellierungsergebnisse des DANUBIA-Objektes *Watersupply*

Einen Überblick der Modellierungsergebnisse von *Watersupply* aus dem DANUBIA-Referenzlauf für den Zeitraum 1995-1996, der Anfang 2004 durchgeführt wurde (Modelllauf unter Verwendung von *Atmostations*), geben die folgenden Abbildungen. Das in DANUBIA implementierte statische Wasserversorgungsmodell basiert auf einer einfachen Zuordnung von Verbraucher- und Versorgerprozel (Kap. 2.2.2.2). Im Referenzlauf soll überprüft werden, ob *Watersupply* in der Lage ist, die errechneten „Demands“ ausreichend zu versorgen. Abbildung 28 zeigt die „Supply“ und „Demand“ Wertepaare für DrinkingWater, Industrial-Riverwater und IndustrialGroundwater, während Abbildung 29 die Quotienten dieser Wertepaare zeigt.

In beiden Abbildungen ist ersichtlich, dass die Nachfrage an „DrinkingWater“ nahezu vollständig gedeckt werden kann während die Industrie nicht zu 100% versorgt wird. Dies lässt sich auf einen Modellfehler bei *Economy* zurückführen, der eine unrealistisch hohe industrielle Nachfrage an Brauch- und Eigenwasserförderung zur Folge hatte. Dagegen erklärt sich die sehr kleine Abweichung zwischen „*DrinkingWaterDemand*“ und „*DrinkingWatersupply*“ von ca. 1% durch die in *WaterSupply* zugrunde liegende Allokationsmethode (s. Kap. 2.2.2.2). Diese berücksichtigt zwar auf besondere Weise die Größe der Siedlungsgebiete, nicht jedoch regionale Unterschiede der landwirtschaftlichen Aktivität. Eine getrennte

Analyse der „DrinkingWater“-Bedarfwerte von *Household*, *Tourism* und *Farming* hat gezeigt, dass regionale Unterversorgung durch hohe Wasserbedarfwerte seitens *Farming* ausgelöst wird.

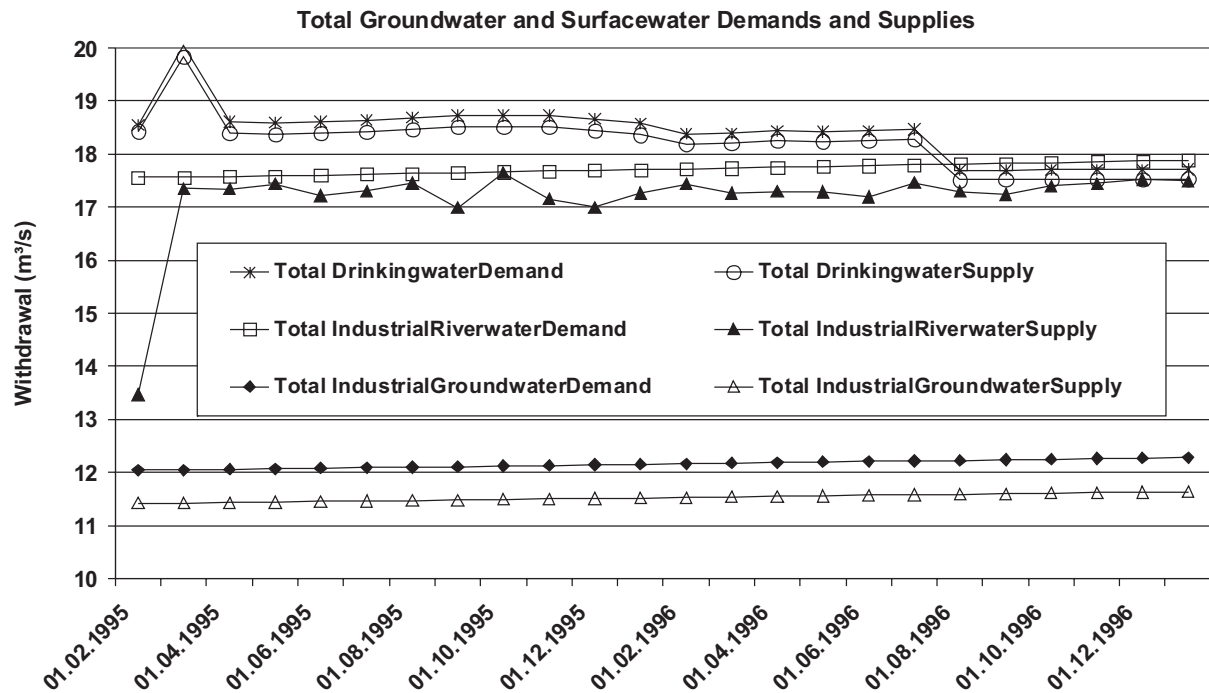


Abb. 28: Zeitreihen der „Demands“ und „Supplies“ aus dem Grund- und Oberflächen-wasser an den anderen Objekte des Verbundobjekts Actors aus dem DANUBIA-Referenzlauf Anfang 2004.

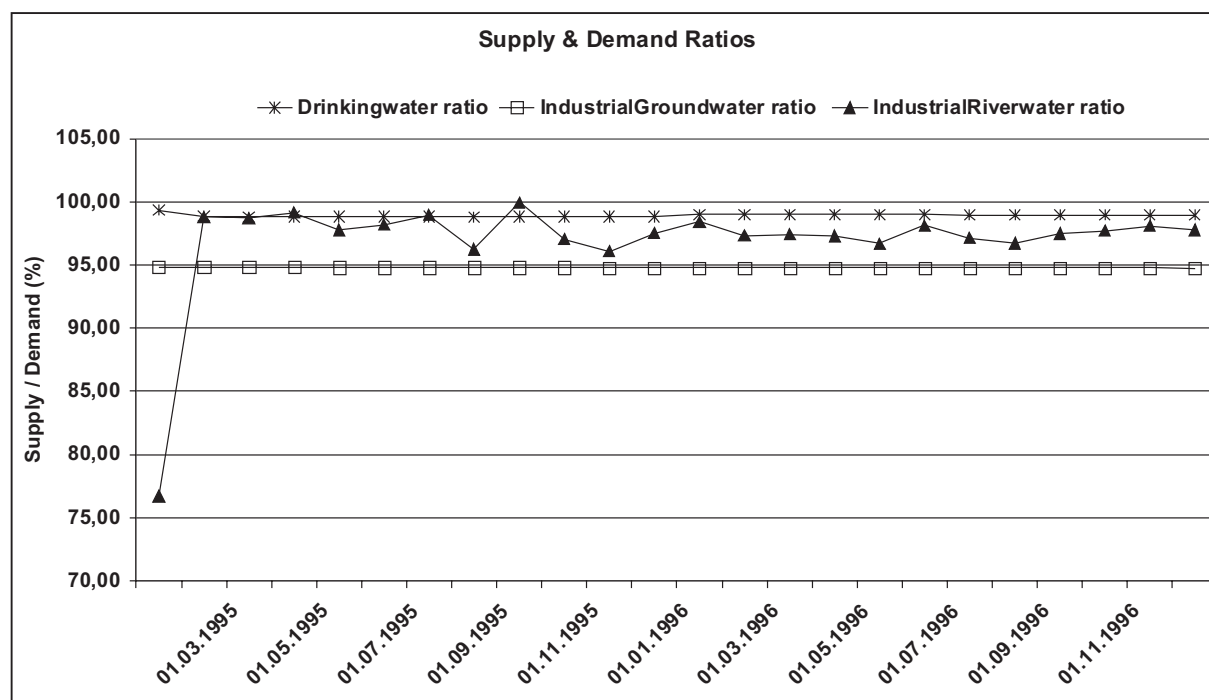


Abb. 29: Zeitreihen der Quotienten aus „Demands“ und „Supplies“ aus dem DANUBIA-Referenzlauf Anfang 2004.

Die Güte der Allokation wurde bewertet, indem die pro Entnahmestelle über ein Jahr aggregierten Grundwasserentnahmen mit den Jahresentnahmen aus der Gemeindestatistik verglichen wurden. Der Korrelationskoeffizient über das gesamte Modellgebiet beträgt 0,86 (Abb. 30), was aber ohne eingehende und hier nicht mögliche Diskussion der Zu-

sammenhänge anhand von zahlreichen Einzelfällen nicht aussagekräftig ist. Die Abbildung 31 zeigt die räumliche Darstellung der Differenz zwischen echten und modellierten jährlichen Grundwasserentnahmen (negative Werte entsprechen berechneten Grundwasserentnahmen, die niedriger als die Werte der Statistik sind). Hellgrüne sowie rosa Flächen zeigen die Gemeinden, in denen die Unterschiede zur Statistik auffallend groß sind ($< -0,05\text{m}^3/\text{s}$ oder $> 0,05\text{m}^3/\text{s}$, entspricht 1,57 Mio. m^3/a). Generell kann gesagt werden, dass der "nearest-neighbor"-Ansatz gut dazu geeignet ist, die lokalen Systeme der Wasserversorgung abzubilden, jedoch nicht geeignet ist für die Modellierung großer Gruppenwasser- und Fernwasserversorger sowie landwirtschaftlich intensiv genutzter Flächen. Aus diesem Grund wird in der zweiten Projektphase die Allokation angepasst, so dass die Gruppen- und Fernwasserversorgung im Modell entsprechend berücksichtigt wird.

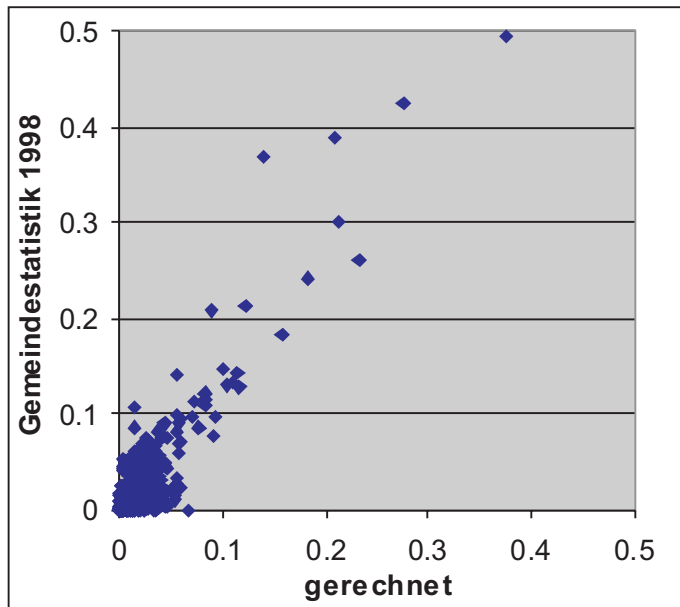


Abb. 30: Vergleich zwischen berechneten jährlichen Grundwasserentnahmen mit Jahresentnahmen aus der Gemeindestatistik für den deutschen Teil der Donaeinzugsgebiet.

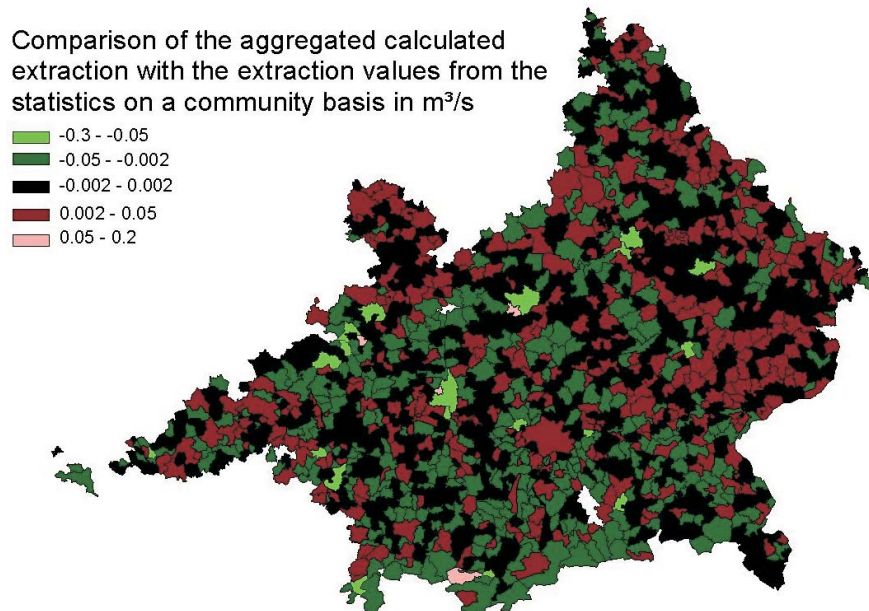


Abb. 31: Räumliche Darstellung der Differenz zwischen berechneten jährlichen Grundwasserentnahmen und Jahresentnahmewerten aus der Gemeindestatistik. Negative Werte weisen auf berechnete Werte hin, die niedriger als die Werte aus der Gemeindestatistik ausfallen.

2.5.2.1 Vergleich der Modellläufe mit *Atmostations* und *AtmoMM5*

Die Verwendung unterschiedlicher Niederschlagseingangsdaten für die Referenzläufe (*Atmostations*, 01.01.1995-07.01.97; *AtmoMM5*, 01.01.95-04.06.97) hat in einem Zweijahreszeitraum erwartungsgemäß kaum erkennbare Einflüsse auf die Ergebnisse von *Watersupply*. Die berechneten Werte weichen nur unwesentlich voneinander ab (vgl. Abb. 32). Unterschiede ergeben sich ausschließlich für die berechneten Supply-Werte, während die Demand-Werte aller Modelle für alle Zeitschritte in beiden Modellläufen identisch sind. Die Unterschiede in den Supply-Werten (vgl. Abb. 32) lassen sich wie folgt erklären: Durch eine geringfügige Änderung des von *RiverNetwork* berechneten *maximumRiverWaterWithdrawal*, können die Demands von Economy (*industrialRiverWaterDemand*) nicht mehr auf allen Proxeln in gleicher Weise wie im *Atmostations*-Lauf gedeckt werden. Die Differenz zwischen beiden Läufen liegt bei weniger als 1%o des Gesamt-Demands. Alle weiteren Unterschiede ergeben sich aus der Tatsache, dass *Tourism*-Modell im *Atmostations*-Lauf ab Juli 1997 keine Demands mehr berechnet hat. Somit stand für die anderen Actors geringfügig mehr Wasser zur Verfügung. Die Differenzen sind auch hier minimal.

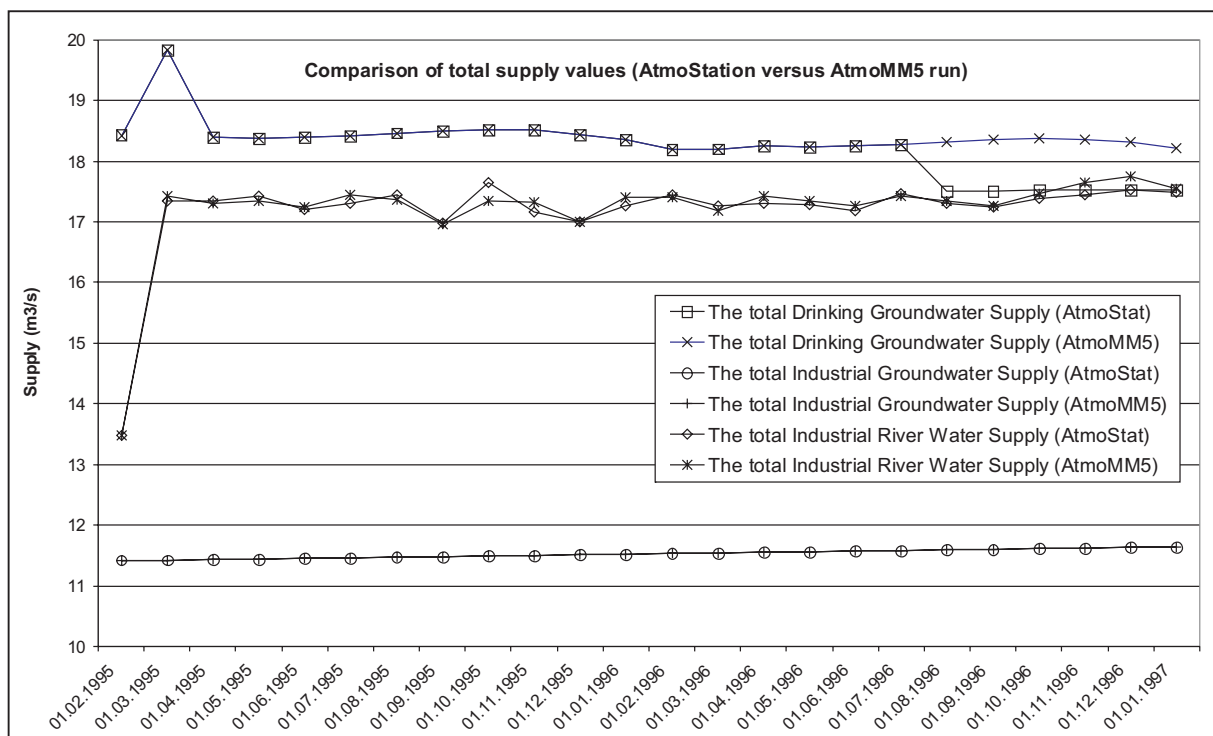


Abb. 32: Vergleich der Ergebnisse der in den beiden Referenzläufen vom Modell *Watersupply* berechneten Werte für den Supply (ausgewählte Summenparameter).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass unterschiedliche klimatische Bedingungen, in einem Umfang, wie sie durch die Verwendung von zwei unterschiedlichen meteorologischen Modellen hervorgerufen werden, in einem Zweijahreszeitraum bei ansonsten gleich bleibenden Randbedingungen keine signifikanten Unterschiede bei den Wasserbedarfsberechnungen der Akteursmodelle hervorrufen. Offensichtlich entstehen, von geringfügigen Ausnahmen abgesehen, auch keine Deckungsdefizite auf Seiten der Ressourcen (*RiverNetwork*, *Groundwater*). Insofern bleiben auch die Versorgungen („Supplies“) des Wasserversorgungsmodells gleich. Signifikante Abweichungen der Demands bzw. der maximalen Entnahmemengen werden wohl erst über längere Zeiträume bei drastischeren Veränderungen erreicht.

3. Zusammenfassung

3.1 Stand der Entwicklung

Vor dem Hintergrund der im Antrag zur Projektphase 1 formulierten Ziele, der enormen Gebietsgröße, der Datenlage und vor allem der großen Herausforderungen, die das Ziel der gemeinsamen Erstellung des integrierten Modellsystems DANUBIA stellte, werden die vom Teilprojekt Grundwasser und Grundwasserwirtschaft erzielten Ergebnisse aus Sicht der Bearbeiter als überaus positiv eingestuft. Dies gilt sowohl für die gemeinsam mit den anderen Projektpartnern entwickelten Konzepte als auch für die disziplinär entwickelten Modelle. Die Ergebnisse des Grundwasserströmungsmodells sind bereichsweise von einer überraschend hohen Qualität. Abstriche müssen vor allem noch in denjenigen Bereichen gemacht werden, die durch komplexe geologische oder morphologische Verhältnisse den Einsatz eines schichtenbezogenen Strömungsmodells erschweren. Hier sollen die bisher stark vereinfachenden und deshalb teilweise unbefriedigenden Ergebnisse in der zweiten Projektphase durch angemessene Methoden ersetzt werden. 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 komplexen und schwer zu erfassenden Umwandlungs- und Abbauprozesse sollen in der zweiten Projektphase intensiv behandelt werden.

Das Wasserversorgungsmodell „Objekt *Watersupply*“ stellt, da vergleichbare Vorhaben auf der verwendeten Skala nach Wissen der Bearbeiter noch nicht durchgeführt wurden, sowohl konzeptionell als auch methodisch eine völlige Neuentwicklung dar. Insofern ist es verständlich, dass das Modell nicht die Qualität und Robustheit eines seit Jahren etablierten Grundwassermodells erreichen konnte. Große Anstrengungen waren weiterhin für die Beschaffung und Aufbereitung der erforderlichen Daten erforderlich. Dennoch konnten mit der Erstellung eines im Modellverbund DANUBIA stabil und plausibel arbeitenden Objekts *Watersupply* sowie mit der Konzeption und Implementierung eines Wasserversorgungsmodells für ein Testgebiet, die Zielsetzungen für die erste Projektphase erfüllt werden und wesentliche Schritte in Richtung der für die zweite Projektphase geplanten tiefen Akteursmodellierung eingeleitet werden.

Die Integrationsarbeiten und Vernetzung mit den Partnergruppen verliefen erfolgreich. Naturgemäß haben sich besondere Schwerpunkte im Bereich der Kopplung mit der Komponente *RiverNetwork* und dem Objekt *Soil* ergeben, da diese direkt und intensiv mit *Groundwater* kommunizieren. Aus der Zusammenarbeit ergaben sich neue Ansätze, aber auch neue interessante Forschungsfragestellungen. Im Bereich des Objekts *Watersupply* ergab sich nach der Eingliederung in die *Actors* Komponente ein intensiver Austausch mit den Partnern, die die Modelle in dieser Gruppe erstellen. Die gemeinsame Erstellung des tiefen Akteursmodells lässt hier in Zukunft eine weitere Vertiefung der Integration erwarten.

3.2 Ausblick und weitere Vorgehensweise

3.2.1 Objekt *Groundwater*

Die Ergebnisse der am Ende des Berichtszeitraums durchgeführten Modellläufe (Kap. 2.5.1) zeigen, dass einige Berechnungen noch deutliche Abweichungen von den Messwerten zeigen. Ein so heterogener Aquifer wie der Karst mit stark variablen Transmissivitäten und Speicherkoeffizienten kann im Gegensatz zu einem homogenen Porenquifer nicht mit wenigen konstanten Parametern beschrieben werden. Eine erweiterte Kalibrierung wird dieses Problem lösen. Hier soll die Einführung weiterer Parameter mit Hilfe eines Doppelporositätsansatzes geprüft werden. Die verbesserte Behandlung des alpinen Raums der Gebiete im nordostbayerischen Kristallin und im Tertiärhügelland sowie eine anschließende gemeinsame Kalibrierung der Modelle *RiverNetwork*, *Soil* und *Groundwater* werden den Schwerpunkt der Arbeiten im ersten Jahr der zweiten Projektphase bilden.

3.2.2 Objekt *Watersupply*

Bis Mitte des Jahres 2004 werden sich die Arbeiten bezüglich der Datenbasis einerseits auf die Fertigstellung der WVU Datenbank für den deutschen Teil des Donaeinzugsgebietes und andererseits auf die Auswertung der noch fehlenden Daten für das restliche Einzugsgebiet (Österreich, die Schweiz) konzentrieren. Eine Verbesserung des Modells kann durch die Berücksichtigung von Wasserverlusten, Wasserwerkseigenverbrauch sowie Wasserimporten und -exporten erzielt werden. Ein Ansatz zur Kostenberechnung wird eingebaut. Nach Fertigstellung der Datenbank wird das Modell auf das gesamte Einzugsgebiet ausgeweitet. Die Entwicklung eines tiefen Akteurmodells wird vorangetrieben.

3.2.3 Ausblick zu den integrativen Arbeiten

Planungen für die sektoralen und integrativen Arbeiten an den beiden Objekten *Groundwater* und *Watersupply* wurden in den betreffenden Kapiteln ausführlich beschrieben. Weiterhin wird auf den Antrag zur Phase 2 verwiesen. Im bevorstehenden Projektjahr 2004 werden die folgenden Arbeiten den Schwerpunkt des Teilprojekts bilden:

- Ausdehnung der Modellierung auf Österreich und die Schweiz in allen Bereichen des Projekts.
- Intensives Testen und Weiterentwickeln der Modellkomponenten in Gesamt-DANUBIA sowie in kleineren Modellverbänden. Hier werden große Erwartungen in die durch die Informatikgruppe neu entwickelte Testumgebung gesetzt, die das Testen von mehreren Komponenten gleichzeitig erlaubt.
- Gemeinsame Kalibrierung der *Groundwater*-Komponente zusammen mit *RiverNetwork*, *Landsurface* und *Soil*.
- Umsetzung der im Antrag für die Projektphase 2 formulierten Zielsetzungen

4. Literatur

- BARTHEL, R., BRAUN, J., ROJANSCHI, V., SCHMID, C. und WOLF, J. (2002): Erstellung eines mesoskaligen Grundwasserströmungs- und Transportmodells für das Einzugsgebiet der oberen Donau im Rahmen der Forschungskoooperation GLOWA-Danube - In: Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 1.2002, Band 1, Hennef, GfA, S. 89-94.
- GARBRECHT, J. und MARTZ, L.W. (1995): TOPAZ: An automated digital landscape analysis tool for topographic evaluation, drainage identification, watershed segmentation and subcatchment parametrization. – TOPAZ User Manual, USDA-ARS Publication No. NAWQL 95-3, USDA-ARS, Durant, Oklahoma.
- McDONALD, M.G. and 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 p.
- WOLF, J., ROJANSCHI, V., BARTHEL, R. und BRAUN, J. (2003): Konzeption eines Grundwassermodells für das Einzugsgebiet der Oberen Donau im Rahmen des Forschungsprojektes GLOWA-Danube. – In: Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 4.2003, Band 2, Hennef, GfA, S. 159-162.
- 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 2003, 209 S.

5. Danksagungen

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

- Bayerische Vermessungsverwaltung
- Bayerisches 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 Fragenbogens „Wasserversorgung“ oder anderweitig wertvolle und unverzichtbare Informationen zur Verfügung gestellt haben.

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

Modellierung typischer Wassernutzer im Einzugsgebiet der Donau

Teilprojekt: Umweltpsychologie
Leiter: Prof. Dr. Andreas Ernst
Ausführende Stelle: Institut für Psychologie der Universität Freiburg, 79085 Freiburg,
Ab 2003: Wissenschaftliches Zentrum für Umweltsystemforschung
der Universität Kassel, 34109 Kassel

1. Organisation

1.1 Kurzbeschreibung des Teilprojektes

Aufgabe des Teilprojektes Umweltpsychologie innerhalb des GLOWA-Danube-Projekts war es,

1. die Trinkwassernutzung durch die Haushalte im deutschen Donaueinzugsgebiet flächendeckend in bezug auf Nutzungsentscheidungen und ihre subjektive Bewertung von Wasserqualitätsrisiken und die Akzeptanz des politischen und wasserbezogenen status quo lauffähig zu modellieren (Ziel 1).
2. und daraus sozialwissenschaftliche Szenarien unter Bedingungen globalen Klimawandels zu erstellen, um Konfliktpotentiale und Akzeptanzrisiken abzuschätzen (Ziel 2).

Das Modell ist konzeptuell wie programmtechnisch integraler Bestandteil des DANUBIA-Modellverbunds. Es ist akteurbasiert und berücksichtigt neben ökonomischen Rahmenbedingungen objektive Variablen der Haushaltssituation. Für die Modellierung wurde eine räumlich explizite Datenbasis aus retrospektiven Datenquellen und aus eigenen umfangreichen Erhebungen (Verhaltensbefragung bei Haushalten im deutschen Donaueinzugsgebiet) geschaffen.

Für die ersten 1½ Projektjahre wurden von dem Ministerium für Wissenschaft und Kunst Baden-Württemberg und der Universität Freiburg jeweils hälftig substantielle Zusatzmittel in Höhe von etwa 20% der BMBF-Mittel eingeworben und unterstützend eingesetzt. Eine entsprechende Zusatzfinanzierung in Hessen erscheint derzeit leider nicht möglich.

Aufgrund des bald nach Projektbeginn abzusehenden und im Herbst 2002 vollzogenen Umzugs des Projekts durch den Ruf des Teilprojektnehmers auf eine Professur in Kassel ergaben sich unvermeidliche Personallücken und eine mangelnde Personalkontinuität. Es kann jedoch hier trotz des deutlich verringerten Personaleinsatzes ein in den meisten und den vordringlichen Punkten vollständig erfülltes Arbeitsprogramm vorgelegt werden. In diesem Zeitraum wurden auch insgesamt fünf Unteraufträge (einer an die an der Universität Freiburg verbliebene Restgruppe sowie vier weitere an Teilprojekte von GLOWA-Danube) vergeben. Die Arbeiten werden in Abschnitt 2.2.5 skizziert. Die jeweiligen Abschlussberichte liegen als Anlagen bei.

1.2 Personal

1.2.1 Wissenschaftler

In den drei Jahren der ersten Förderphase waren am Institut für Psychologie der Universität Freiburg bzw. am Wissenschaftlichen Zentrum für Umweltsystemforschung der Universität Kassel folgende wissenschaftlichen Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen beschäftigt (Tab. 1):

Tab. 1: Im Projekt beschäftigte wissenschaftliche Mitarbeiter/innen, geordnet nach Vertragsort. Der Eintrag „Zusatzmittel“ bezieht sich auf die vom Land Baden-Württemberg und der Universität Freiburg geleistete Drittmittelhonorierung.

Name	Vergütungsgruppe	Vertragszeitraum	Dauer in Monaten	Vertragsort	Finanzierung
Dr. Renate Eisentraut	BAT IIa	01.07.2001-31.12.2003	30 Monate	Freiburg	BMBF
Dipl.-Psych. Susanne Frings	BAT IIa/2	01.03.2001-31.05.2001	3 Monate	Freiburg	BMBF
Dipl.-Psych. Julia Kneer	BAT IIa/2	15.10.2001-31.12.2002	14,5 Monate	Freiburg	BMBF
Dipl.-Psych. Matthias Mauerer	BAT IIa/2	22.04.2002-13.10.2002	5,75 Monate	Freiburg	Zusatzmittel
Dipl.-Psych. Anke Raschke	BAT IIa/2	15.01.2002-31.03.2002	2,5 Monate	Freiburg	Zusatzmittel
Dipl.-Geogr. Monika Nethe	BAT IIa/2	01.12.2001-31.12.2003	25 Monate	Freiburg	bis 30.6.03: Zusatzmittel ab 1.7.03: BMBF
Dipl.-Umweltwiss. Nina Schwarz	BAT IIa/2	01.08.2003-29.02.2004	7 Monate	Kassel	BMBF
Dipl.-Psych. Barbara Degenhardt	BAT IIa/2	01.10.2003-29.02.2004	5 Monate	Kassel	BMBF

1.2.2 Wissenschaftliche Hilfskräfte

Darüber hinaus waren in der ersten Förderphase folgende wissenschaftlichen Hilfskräfte im psychologischen Teilprojekt beschäftigt (Tab. 2):

Tab. 2: Im Projekt beschäftigte studentische und wissenschaftliche Hilfskräfte, geordnet nach Vertragsort. Der Eintrag „Zusatzmittel“ bezieht sich auf die vom Land Baden-Württemberg und der Universität Freiburg geleistete Drittmittelhonorierung.

Name	Vergütungsgruppe	Vertragszeitraum	Dauer in Monateng	Vertragsort	Finanzierung
Dipl.-Arch. Christiane Böhme	Gepr. Hilfskraft	01.10.2003-29.02.2004	5 Monate	Freiburg	BMBF
and. psych. Ophelia Fricker	Ungepr. Hilfskraft	01.05.2001-31.07.2001	3 Monate à 25 Std./M.	Freiburg	BMBF
and. psych. Tobias Pabst	Ungepr. Hilfskraft	01.02.2001-30.06.2001	5 Monate à 36 Std./M.	Freiburg	BMBF
and. psych. Juliane Wilcke	Ungepr. Hilfskraft	01.08.2002-30.09.2002	2 Monate à 25 Std./M.	Freiburg	BMBF
and. psych. Anne Klein	Ungepr. Hilfskraft	15.11.2001-30.09.2002; 01.11.2002-31.12.2002	9,5 Monate à 30 Std./M.; 3 Monate à 20 Std./M.	Freiburg	BMBF
and. inf. Thomas Keller	Ungepr. Hilfskraft	15.12.2001-30.09.2002; 01.04.2003-30.06.2003	9,5 Monate à 30 Std./M.; 3 Monate à 20 Std./M.	Freiburg	BMBF
and. inf. Benjamin Lempp	Ungepr. Hilfskraft	15.07.2002-30.06.2003	8,5 Monate à 30 Std./M.; 3 Monate à 20 Std./M.	Freiburg	BMBF
Dipl.-Inf. Daniel Gunkel	Werkvertrag	01.12.2001-31.05.2002	6 Monate	Freiburg	Zusatzmittel
and. oekon. Olga Vinoukourova	Ungepr. Hilfskraft	01.08.2003 -29.2.2004	7 Monate	Kassel	BMBF
Maîtrise Jura Déborah Léon-Sarduy	Werkvertrag	01.01.2004-31.03.2004	3 Monate	Kassel	BMBF

1.3 Anschaffungen

In der ersten Förderphase wurden folgende Geräte angeschafft: 4 PCs, 1 19-Zoll-Monitor, 3 TFT-Monitore, 1 Notebook incl. Notebook Case, 1 CD-Brenner. Weiterhin wurde folgende Software angeschafft: ArcView 3.2a, Project 2000 SR 1, 1 Update zu MagicDraw UML, Upgrade zu STELLA.

1.4 Veranstaltungen

1.4.1 Interne Projekttreffen

Mitglieder des umweltpsychologischen Teilprojekts nahmen insbesondere an folgenden bilateralen Treffen und Treffen des Gesamtprojektes teil (Tab. 3):

Tab. 3: Teilnahme von Mitgliedern des umweltpsychologischen Teilprojekts an internen Projekttreffen.

2000

- 05.11.2000 Kick-Off Treffen (München)

2001

- 18.01.2001 Treffen der Arbeitsgruppe Sozio-Ökonomie (München)
- 19.01.2001 Treffen der AG Informatik (München)
- 23.02.2001 Treffen der Arbeitsgruppe Actors (Stuttgart)
- 12.-16.03.2001 GLOWA-Danube Workshop (Frauenchiemsee)
- 05.-06.07.2001 Arbeitstreffen (München)
- 13.07.2001 Treffen der Arbeitsgruppe Stakeholder (Stuttgart)
- 26.-28.10.2001 GLOWA-Danube Workshop (Söllerhaus)
- 14.11.2001 Integrationsworkshop (München)

2002

- 28.02.2002 Treffen der Arbeitsgruppe Actors (Freiburg)
- 04.03.2002 Treffen der Arbeitsgruppe Informatik (München)
- 19.03.2002 Treffen der Arbeitsgruppe Grundwasserhaushalt (Stuttgart)
- 05.-08.05.2002 Statuskonferenz (München)
- 04.-05.06.2002 Treffen der Arbeitsgruppe Actors (Stuttgart)
- 04.-05.07.2002 Abstimmungstreffen (München)
- 10.07.2002 Disaggregierungsworkshop (Freiburg)
- 31.07.-02.08.2002 Arbeitstreffen (München)
- 11.11.2002 Skalierungsworkshop (Stuttgart)

2003

- 24.02.2003 GLOWA-Danube Workshop (Maria Waldrast)
- 13.05.2003 Upscaling Treffen (Stuttgart)
- 17.-18.07.2003 Validierungstreffen 1 (München)
- 09.09.2003 Treffen der Arbeitsgruppe Actors (Kassel)
- 15.09.2003 Treffen der Arbeitsgruppe Deep Actors (München)
- 16.-17.09.2003 Validierungstreffen 2 (München)
- 20.11.2003 Treffen der Arbeitsgruppe Deep Actors (München)

Das Disaggregationstreffen in Freiburg (10.7.2002) sowie die Actorstreffen in Freiburg (28.2.2003) und Kassel (9.9.2003) wurden von der Gruppe Umweltpsychologie ausgerichtet und geleitet. Darüber hinaus fanden eine kleinere Zahl von Abstimmungstreffen innerhalb des Teilprojekts statt, die aufgrund des gestaffelten Umzugs des Projektes von Freiburg nach Kassel während der ersten Projektphase notwendig waren.

1.4.2 Konferenzen

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

- Ernst, A. (1999, November): *Environmental Research in Germany – the Social Sciences. Experiences and Perspectives*. Workshop „Freshwater – Challenges for Research and Policies“ des Nationalkomitees für Global Change Forschung, Bonn.
- Ernst, A. (2001, September): *Modellierung typischer Wassernutzer im Einzugsgebiet der Donau – erste Schritte*. 4. Tagung der Fachgruppe Umweltpsychologie der DGPs, Kassel.
- Ernst, A. (2001, September): *Drei Themen sozialwissenschaftlicher Wasserforschung als Integration und Schnittstelle zur Naturwissenschaft: Kostenallokation, Risiko und Akzeptanz*. 6. Nationale Tagung zur Alpenforschung ICAS/IHDP, Luzern.
- Ernst, A. (2001, November): Sozialwissenschaftliche Integration in GLOWA-Danube. Workshop Integrationsmethoden in GLOWA, München.
- Ernst, A. (2002, April): *Kooperation in Allmenden: Anreiz, Wissen und Akzeptanz*. Tagung „Allmende – in alle Hände? Eigentumsformen für eine nachhaltige Entwicklung“, Evangelische Akademie Tutzing/Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege, Laufen.
- Ernst, A. (2002, Mai): *Social Science Simulation Using Actors Within GLOWA-Danube*. GLOWA-Statuskonferenz, München.
- Eisentraut, R., Klein, A., Mauerer, M. und Ernst, A. (2002, September): *Erfassung von Determinanten der Wassernutzung durch private Haushalte*. 43. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie, Berlin.
- Ernst, A., Kneer, J., Eisentraut, R. und Nethe, M. (2002, September): *DUNE - Eine computersimulierte psychologische Theorie der Wassernutzung im Donaauraum*. 43. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie, Berlin.
- Eisentraut, R. und Ernst, A. (2003, Juni): *Assessing and modelling determinants of domestic water use in an interdisciplinary context*. 3rd Conference of the Environmental Psychology in the UK network, Aberdeen.
- Eisentraut, R. und Ernst, A. (2003, September): *The impact of household characteristics on domestic water use*. 5th Biennial Conference on Environmental Psychology, Eindhoven.
- Ernst, A., Kneer, J. und Eisentraut, R. (2003, September): *Building a dynamic and spatially explicit model of drinking water use: An interdisciplinary approach*. 5th Biennial Conference on Environmental Psychology, Eindhoven.

1.4.3 Gastvorträge

Darüber hinaus wurde das psychologische Teilprojekt in folgenden Gastvorträgen vorgestellt:

- Ernst, A. (2001, März): *Drei Themen zwischen Wasserforschung und „Sozio-Ökonomie“: Kostenallokation, Risiko und Akzeptanz*. Senatskommission für Wasserforschung der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Bonn.
- Ernst, A. (2002, Januar): *Wassernutzung im Einzugsgebiet der Donau: Eine Computermodellierung*. Institut für Psychologie der Universität Magdeburg.
- Ernst, A. (2002, März): *Akteurmodelle: Ein Verbundmodell für sozioökonomische Forschungsprojekte*. Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart.
- Ernst, A. (2002, Juni): *Psychologische Struktur und Wahrnehmung von Umweltrisiken*. Ludwigs-Maximilians-Universität München, Ringvorlesung „Erde - Umwelt des Menschen“.
- Ernst, A. (2002, November): *Die Psychologie des Umweltverhaltens: Von Fallen und ihrer Bewältigung*. Umwelttreffen der Max-Planck-Gesellschaft, Hohenroda.
- Ernst, A. (2003, November): *Simulation von Akteuren als Teil eines integrierten interdisziplinären Modellverbunds*. Systemwissenschaftliches Kolloquium des Instituts für Umweltsystemforschung, Universität Osnabrück.
- Ernst, A. (2003, November): *Umweltpsychologie: Von Umweltwahrnehmung und Umweltverhalten*. Landauer Geo-Umwelttag, Universität Landau.

1.5 Veröffentlichungen

In der ersten Förderphase entstanden im psychologischen Teilprojekt die folgenden Veröffentlichungen:

- EISENTRAUT, R. und ERNST, A. (2003): Assessing and modelling determinants of domestic water use in an interdisciplinary context. Crossing boundaries - the value of interdisciplinary research. *Proceedings of the Environmental Psychology in the UK (EPUK) Conference, Aberdeen, 23rd to 25th June 2003*. Aberdeen: The Robert Gordon University.
- ERNST, A. (2003): Agentenbasierte Modellierung des Handelns in Gemeingutdilemmata. *Jahrbuch Ökologische Ökonomik*, 3, S. 139-170.
- ERNST, A. (2002): Modellierung der Trinkwassernutzung bei globalen Umweltveränderungen – erste Schritte. *Umweltpsychologie*, 6, 1, 62-76.
- ERNST, A., MAUSER, W. und KEMPE, S. (2001): Interdisciplinary perspectives on freshwater: Availability, quality, and allocation. In: EHLERS, E. and KRAFFT, T. (Eds.), *Understanding the earth system: Compartments, processes, and interactions* (pp. 265-274). Berlin: Springer.
- KNEER, J., ERNST, A., EISENTRAUT, R., NETHE, M. und MAUSER, W. (2003): Interdisziplinäre Modellbildung: Das Beispiel GLOWA-Danube. *Umweltpsychologie*, 7, 2, 54-70.
- ERNST, A. (in Vorber.): Wasser. Psychologische Aspekte seiner Nutzung. In: LANTERMANN E.D. und LINNEWEBER, V. (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie, Umweltpsychologie*, Bd. II. Göttingen: Hogrefe.

2. Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse gliedert sich in die Beschreibung der sektoralen Arbeiten der Modellentwicklung (insbesondere Arbeiten zur Datenerhebung, -auswertung und Modellbildung) und der integrativen Arbeiten aus dem Teilprojekt Umweltpsychologie heraus (Koordination der Actors-Arbeitsgruppe u.a.), sowie die Beschreibung der Modell-Imple-

mentation und die Darstellung der Ergebnisse des im DANUBIA-Verbund laufenden Modells aus den sog. Referenzläufen im Frühjahr 2004.

2.1 Formulierte Ziele der ersten Förderphase

Aus dem Arbeitsprogramm des Antrags zur ersten Förderphase lassen sich die folgenden Arbeitsziele entnehmen:

- Erhebung durch ein Meinungsforschungsinstitut sowie eigene Befragungen,
- Implementation eines flächig expliziten sog. flachen Akteurmodells aufgrund theoretisch-umweltspsychologischer Überlegungen und den Ergebnissen der Erhebungen, seine Integration in DANUBIA und seine Kalibrierung und Validierung an einem Referenzzeitraum der Vergangenheit,
- Exemplarische Konzeptualisierung und Implementation eines ersten sog. tiefen Modells, d.h. eines Modells unter Einschluss explizit repräsentierter individueller Entscheidungsmechanismen.

Die ersten beiden Punkte konnten zur Gänze innerhalb der Projektlaufzeit bearbeitet werden. Die Entwicklung des tiefen Modells kam aufgrund der durch den Projektumzug bedingten Personalsituation nicht über eine erste Konzeptualisierung heraus. Sie wird mit Vorrang als eine der integrativen Arbeiten des zweiten Förderzeitraums betrieben.

2.2 Sektorale Arbeiten

In dem folgenden Abschnitt werden die konzeptionellen und empirischen Grundlagen des Modells der Trinkwassernutzung und trinkwasserbezogenen Zufriedenheit, des sog. *Household*-Modells, erläutert. Zunächst werden der Erwerb und die Aufbereitung der statistischen Datengrundlage beschrieben (Abschnitt 2.2.1). In Abschnitt 2.2.2 werden die theoretisch-konzeptionelle Basis des Modells und unter 2.2.3 die eigenen empirischen Untersuchungen und deren Ergebnisse dargestellt. Zum Schluss wird erläutert, welche Folgen die empirischen Befunde für das *Household*-Modell haben (2.2.4).

2.2.1 Beschaffung und Aufbereitung statistisch-demographischer Daten

Eine der Datengrundlagen für das *Household*-Modell sind statistisch-demographische Daten, und zwar insbesondere zum Wasserverbrauch und der Bevölkerungsverteilung. Sie dienen als einer der Anhaltspunkte zur Bestimmung der durchschnittlichen Trinkwasserverbräuche in den verschiedenen Haushaltstypen.

Es wurden zu Beginn der ersten Förderphase bereits die statistisch-demographischen Daten zu Bevölkerung, Wasserverbrauch, Wohnen sowie deren Trends seit 1990 beschafft, um schon frühzeitig bei der Erstellung und Prüfung des *Household*-Modells über erste Näherungen der zur Laufzeit aus anderen Teilmodellen importierten Daten zu verfügen. Hierfür wurden im Wesentlichen das Bayerische Statistische Landesamt und das Statistische Landesamt Baden-Württemberg kontaktiert. Alle vorhandenen Daten wurden mit Hilfe eines Java-Programms von der Gemeindeebene auf Proxel als räumliche Grundeinheit der Modellläufe umgerechnet bzw. disaggregiert. Dieses Vorgehen wird in Abschnitt 2.3.2 detailliert beschrieben. Diese Daten dienen auch als Grundlage für die Berechnungen von Haushaltsgröße und Haushaltseinkommen, die zur Laufzeit von dem Modell *Demography* zur Verfügung gestellt werden.

Mit der Beschaffung vergleichbarer statistisch-demographischer Daten aus Österreich (Bundesländer Oberösterreich, Salzburg und Tirol) wurde zur Vorbereitung der zweiten Projektphase ebenfalls begonnen. Die demographischen Daten wurden bereits teilweise in das Modell eingebaut sowie dem Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung zur Disaggregation zur Verfügung gestellt. Die Beschaffung von wasserbezogenen Daten gestaltet sich in Ös-

terreich jedoch vergleichsweise schwierig. Ein Grundproblem bei der Suche nach dem durchschnittlichen Pro-Kopf-Verbrauch je Gemeinde (wie er für die deutschen Teile des Einzugsgebiets vorliegt) liegt darin, dass solche Daten in Österreich nicht gemeindebezogen erhoben und auch generell nicht verlässlich erfasst werden. Nach Aussagen der zuständigen Stellen gibt es lediglich einen angenommenen durchschnittlichen täglichen Verbrauchswert von 135-140 Liter pro Kopf in Österreich sowie teilweise Schätzungen der Wasserversorger über die Wasserabgabe an private Haushalte in den jeweiligen Versorgungsgebieten. Aus diesem Grund wird derzeit versucht in Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt Wasserversorgung der Universität Stuttgart über einen detaillierten Fragebogen für das gesamte Einzugsgebiet bessere Daten in Österreich zu erhalten.

2.2.2 Das *Household*-Modell

Die Entwicklung des *Household*-Modells basierte auf in der Literatur zu Umwelt- und Sozialpsychologie dokumentierten und anerkannten theoretischen Annahmen, auf deren substantieller Anpassung an den Gegenstandsbereich der Haushaltswassernutzung sowie auf eigenen, theoretische geleiteten umfangreichen Datenerhebungen. Nachfolgend werden wichtige Bausteine dieses Prozesses skizziert und das vorläufige Endergebnis, das *Household*-Modell, dargestellt.

Das umweltpsychologische Akteurmodell wurde in der Frühphase des Projekts als dreiteiliges Modell namens *FUSE* (*Freshwater Use*) konzipiert. Es beinhaltete drei Module: Das Modul *HoUse* (*Household Use*) beschrieb den Wasserverbrauch der Haushalte. Das Modul *WARN/RISK* (*Water Related Needs/Risk Perception*) sollte die Befriedigung wasserbezogener Bedürfnisse der Akteure einbeziehen. Das Modul *AGRO* (*Agricultural Land Use*) sollte die Anbauentscheidungen der Landwirte im Untersuchungsgebiet auf der Grundlage von Landnutzungsdaten, Gewohnheiten, ordnungspolitischen Rahmenbedingungen sowie der aus den bisherigen Entscheidungen resultierenden Ertragsmenge (Biomasse) berechnen. Dieser Entwurf des Modells ist in der ersten Projektphase entscheidend überarbeitet worden. Zunächst wurde der Teil *AGRO* aus dem dreiteiligen Modell herausgenommen; dieser Teil des *DANUBIA*-Gesamtmodells wird mittlerweile von der Fachgruppe Produktionstheorie und Ressourcenökonomik im Agrarbereich der Universität Hohenheim bearbeitet, die seit Anfang 2002 zu *GLOWA*-Danube gehört. Weiterhin wurden die Module *HoUse* und *WARN/RISK* zusammengelegt. Dieses neue Modell wird seitdem *Household* genannt.

2.2.2.1 Theoretische Grundlagen des *Household*-Modells

Eine der allgemeinen theoretischen Grundlagen des *Household*-Modells bildet die Theorie des überlegten Handelns von *AJZEN* und *FISHBEIN* (1980) und ihre Weiterentwicklung von *AJZEN* (1985) bzw. *AJZEN* und *MADDEN* (1986) zur Theorie des geplanten Verhaltens. Diese Theorie stellt derzeit das wichtigste sozialpsychologische Grundmodell zur Wirkung von Einstellung auf Verhalten dar und wird folgend kurz vorgestellt. Nach *AJZEN* und *FISHBEIN* (1980) wirken zwei Faktoren auf Verhalten: (1) die Einstellung gegenüber einem Verhalten und (2) die sogenannte subjektive Norm. Die Einstellung gegenüber einem Verhalten wird dabei durch die Bewertung der Konsequenzen dieses Verhaltens und die Auftretenswahrscheinlichkeiten der Konsequenzen durch den Handelnden selbst determiniert. Die subjektive Norm bezieht sich auf die individuelle Wahrnehmung des sozialen Umgebungsdrucks, ein bestimmtes Verhalten auszuführen oder zu unterlassen. *AJZEN* (1985) sowie *AJZEN* und *MADDEN* (1986) entwickelten diese Theorie weiter: Tatsächliches Verhalten unterliegt auch spezifischen situativen Einflüssen, die das Verhalten erleichtern, erschweren oder verhindern können (vgl. Abb. 1).

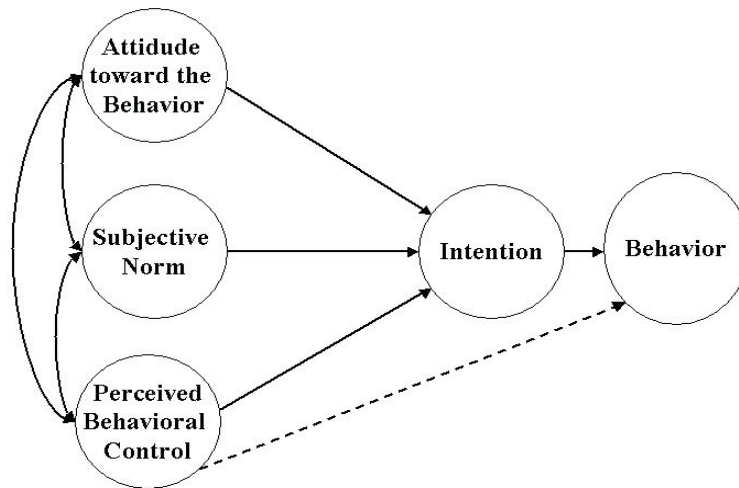


Abb. 1: Die Theorie des geplanten Verhaltens (AJZEN and MADDEN 1985, p. 458).

Auch umweltbezogenes Verhalten unterliegt diesen situativen Einflüssen: Beispielsweise wird eine Person, die beim Duschen gerne das Wasser zum Einseifen abdrehen würde, dies eventuell unterlassen, wenn ihre Dusche keinen Einhandhebelmischer besitzt und das Ab- und Wiederanstellen des Wassers deshalb einige Zeit des Temperaturregulierens nach sich ziehen würde. Die Theorie des geplanten Verhaltens bietet somit für umweltbezogenes Verhalten eine gute Grundlage, um Einflussgrößen für Verhalten zu identifizieren. Kritisch ist, dass sie sehr allgemein und bereichsunspezifisch gehalten ist. Daher wurde das *Household*-Modell basierend auf diesen theoretischen Annahmen für den Bereich der Trinkwassernutzung in mehrere Richtungen erweitert und spezifiziert. Im Verlauf der ersten Projektphase wurde auch klar, dass das alleinige Anwenden dieser Theorie nicht dem starken Gewohnheitsanteil bei der Trinkwassernutzung gerecht wird. Es erscheint aussichtsreicher, Konstrukte der Theorie des geplanten Verhaltens bei den in der zweiten Phase als einer der Schwerpunkte behandelten Investition in Wasserspartechnologie als Prädiktor heranzuziehen.

2.2.2.2 Konzeptueller Aufbau des *Household*-Modells

Die Konzeption des *Household*-Modells basiert auf zwei Grundideen. Die erste Grundidee bezieht sich auf den Berechnungsprozess der Wasserverbräuche. Es wird angenommen, dass der Prozess der Trinkwasserverbrauchsberechnung in 3 Stufen abläuft: (1) aufgrund objektiver Variablen, (2) aufgrund objektiver und ökonomischer Variablen, (3) aufgrund objektiver, ökonomischer und psychologischer Variablen. Der dritte Berechnungsschritt, bei dem die psychologischen Variablen in das Modell integriert werden, stützt sich teilweise auf die oben bereits angesprochene Theorie des geplanten Verhaltens (AJZEN 1985; AJZEN and MADDEN 1986). Entsprechend stehen im Kern des psychologischen Berechnungsschritts folgende zwei Intentionen: (1) die Intention zu Wasser sparendem Verhalten und (2) die Intention zur Anschaffung von wassersparenden Technologien. Diese Intentionen hängen gemäß der genannten Theorie u.a. von der subjektiven Norm des Wassersparens und der Einstellung zum Wassersparen ab.

Über die Annahmen der Theorie hinaus wurde das *Household*-Modell um das Wissen und verschiedene Facetten der wasserbezogenen Risikowahrnehmung als weitere Determinanten der Einstellung sowie objektive Variablen (situative Einflüsse) als weitere Determinanten der Intentionen erweitert. Die Begründung für die Aufnahme von Wissen und Risikowahrnehmung ist, dass sie sich in verschiedenen Untersuchungen immer wieder als vorhersagekräftig für umweltbezogenes Handeln erwiesen haben. Zudem wurde die Zufriedenheit mit der Wasserqualität als eine weitere Variable eingeführt, von der angenommen wird, dass sie den Wasserverbrauch ebenfalls beeinflusst. Im Modell ist sie auf der gleichen Ebene wie die Intentionen angesiedelt.

Abbildung 2 zeigt das vollständige theoretische Modell *vor* der Durchführung der Datenerhebung. Die Ergebnisse der Datenerhebung zwangen dazu, das Modell wesentlich zu vereinfachen, da viele der theoretisch für wichtig erachteten Variablen sich in dieser Form nicht als praktisch vorhersagekräftig erwiesen. Die aktuell implementierte Version des *Household*-Modells spiegelt dieser Vereinfachung wider. In der zweiten Projektphase wird diese Arbeit jedoch aus dem Blickwinkel der sog. tiefen Akteure, d.h. unter Berücksichtigung der Entscheidungsprozesse, wieder aufgenommen.

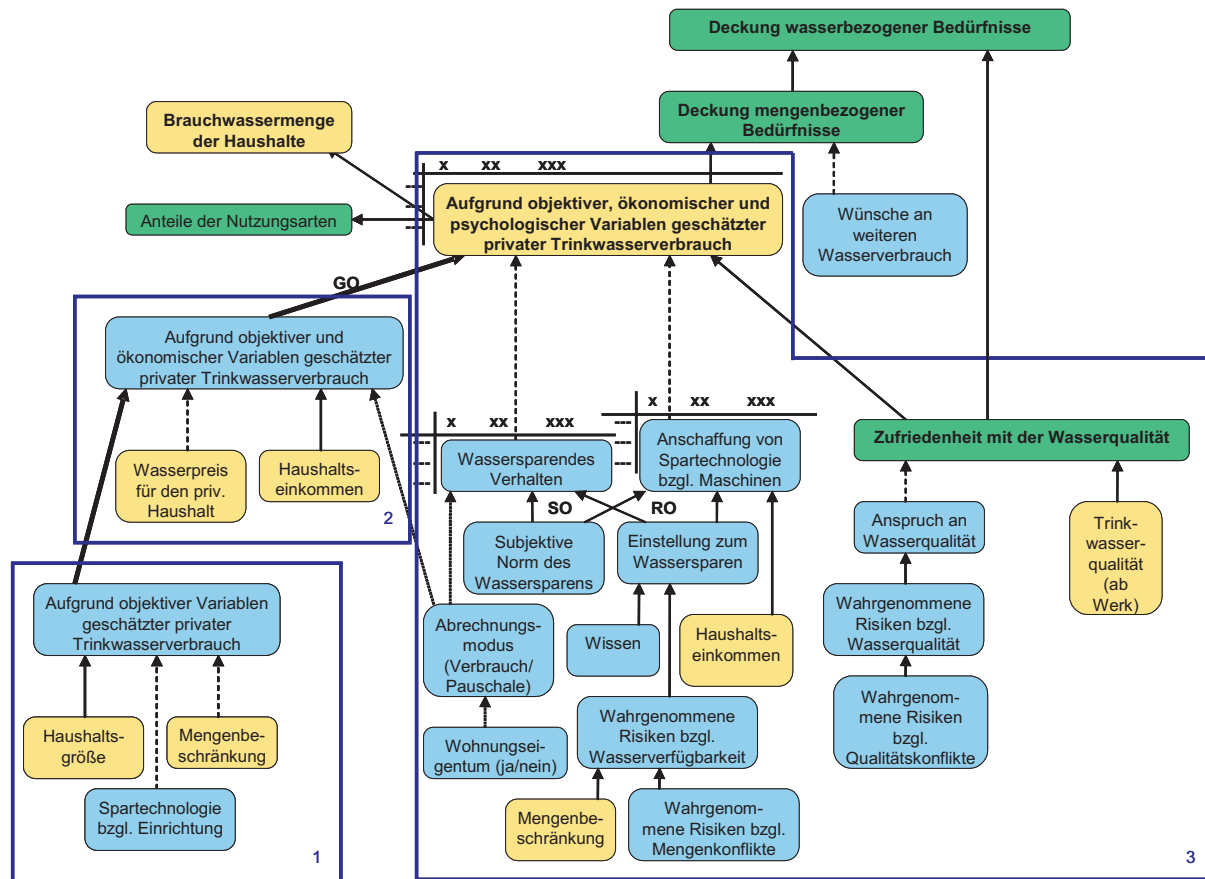


Abb. 2: Die Elemente des *Household*-Modells vor der Durchführung der Datenerhebung. Die Rahmen gliedern das Modell in das Teilmodell der objektiven Variablen (1), der ökonomischen (2) und der psychologischen Variablen (3).

Die zweite (und sich uneingeschränkt als tragfähig erweisende) Grundidee des *Household*-Modells ist, dass die zu modellierenden Haushalte zu Haushaltstypen zusammengefasst werden, die sich voneinander in verschiedenen, den Trinkwasserverbrauch beeinflussenden Variablen und nachfolgend in ihrem Trinkwasserverbrauch unterscheiden. Es werden 25 Haushaltstypen differenziert, die sich aus der Kombination von jeweils fünffach abgestuftem Haushaltseinkommen und Haushaltsgröße ergeben. Die Differenzierung der Haushaltstypen erfolgt entsprechend der Vereinbarung der durch das Teilmodell *Demography* zu liefernden Variablen. Milieu- oder Lebensstilansätze, bei denen versucht wird, mit nicht-linearen Analysekonzepten der Pluralität moderner Gesellschaften gerecht zu werden (z.B. de HAAN, LANTERMANN, LINNEWEBER und REUSSWIG 2001) werden in der zweiten Phase aufgrund der Verfügbarkeit solcher Daten in das Modell aufgenommen werden. In den eigenen Befragungen haben sich zudem die Variablen Haushaltseinkommen und Haushaltsgröße als die stärksten Prädiktoren des Wasserverbrauchs pro Haushalt erwiesen (s.u.).

2.2.3 Eigene Erhebung und Auswertung empirischer Daten

Zur Erhebung detaillierter Daten über Verbrauchsgewohnheiten und individuelle Determinanten der Wassernutzung (z.B. Verhaltensabsichten, Wissen, Einstellungen) wurde der sog. Freiburger Wasserfragebogen entwickelt, der Fragen zu allen Variablen des *Household*-Modells sowie zu weiteren demographischen Merkmalen der befragten Haushalte enthält. Eine Besonderheit des Fragebogens besteht darin, dass die Befragungspersonen gebeten werden, den in der letzten Wasserrechnung ausgewiesenen Trinkwasserverbrauch ihres Haushaltes anzugeben, und somit ein objektives, nicht auf Selbstbeobachtung beruhendes Verhaltensmaß vorliegt. Dieser Frage wurde sowohl in der brieflichen als auch in der telefonischen Befragung besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

Im Sommer 2001 wurde eine erste Pilotstudie durchgeführt, bei der der Fragebogen an 200 zufällig ausgewählte Freiburger Haushalte versandt wurde. Der Rücklauf zum Zeitpunkt der Auswertung betrug 51 ausgefüllte Fragebögen (25,5%). Sowohl die deskriptive Analyse der Antworthäufigkeiten als auch die qualitative Analyse der offenen Antworten wurden genutzt, um den Fragebogen zu überarbeiten. Eine multivariat-statistische Prüfung des psychologischen Akteurmodells war aufgrund der zu geringen Rücklaufzahl hingegen noch nicht möglich. Im Anschluss an diese erste Pilotstudie wurde der Fragebogen umfassend revidiert. Zum einen hatten sich einzelne Items als missverständlich oder zu wenig informativ erwiesen und mussten daher entweder präzisiert oder aus dem Fragebogen entfernt werden. Zum anderen wurde das psychologische Akteurmodell in dieser Projektphase grundlegend überarbeitet. Um dieses Modell statistisch überprüfen zu können, waren somit weitere Modifikationen des Fragebogens erforderlich, damit in seiner zweiten Version Items zu allen Modellvariablen enthalten waren. Zu Beginn des Jahres 2002 wurde eine zweite Pilotstudie in vier unterschiedlich großen Gemeinden außerhalb des Donaeinzugsgebiets durchgeführt, bei der der revidierte Fragebogen an 300 zufällig ausgewählte Haushalte verschickt wurde. Der Rücklauf betrug 89 ausgefüllte Fragebögen (29,7%). Aufgrund der Ergebnisse dieser Pilotstudie wurde anschließend die endgültige Fragebogenversion für die Hauptuntersuchung erstellt.

Im Mai 2002 wurde im Testgebiet Ulm/Donauried eine schriftliche Befragung durchgeführt, bei der 1.000 Fragebögen an zufällig ausgewählte Haushalte verschickt wurden. Ca. eine Woche nach der Fragebogenversendung wurde zudem ein Follow-Up-Schreiben versandt, in dem den Befragungspersonen entweder für ihre Mitarbeit gedankt wurde oder sie noch einmal gebeten wurden, den Fragebogen auszufüllen und zurückzusenden. Mit diesem Vorgehen konnte ein Rücklauf von 291 auswertbaren Fragebögen erreicht werden (29,1%).

Weiterhin wurde das Rhein-Ruhr-Institut für Sozialforschung und Politikberatung (RISP, Duisburg; mittlerweile umbenannt in Sozialwissenschaftliches Umfragezentrum, SUZ) mit der Durchführung einer repräsentativen Telefonumfrage im gesamten deutschen Donaeinzugsgebiet beauftragt, bei der 1.026 zufällig ausgewählte Haushalte befragt wurden. Grundlage dieser im Juni 2002 durchgeführten Befragung war ebenfalls der Freiburger Wasserfragebogen, der in Zusammenarbeit mit dem befragenden Institut geringfügig gekürzt und an einzelnen Stellen umformuliert wurde, um die Interviewdauer zu begrenzen und die Verständlichkeit der Fragen auch am Telefon zu gewährleisten. Auch in der Telefonumfrage wurden die Befragungspersonen gebeten, den in der letzten Wasserrechnung ausgewiesenen Trinkwasserverbrauch ihres Haushaltes anzugeben. Gegebenenfalls wurde ein Termin für einen zweiten Anruf vereinbart, um den Befragten die nötige Zeit zum Heraussuchen der Wasserrechnung zu geben.

Die angenommenen Zusammenhänge zwischen den erhobenen Variablen und dem Wasserverbrauch pro Haushalt wurden mit Hilfe von schrittweisen linearen Regressionen und Strukturgleichungsmodellen überprüft. Das zunächst gewählte schrittweise lineare Regressionsmodell spiegelt die im *Household*-Modell angenommenen drei Schritte zur Berechnung des Trinkwasserverbrauchs insofern wider, als die objektive Variable Haushaltsgröße (1. Berechnungsschritt), die ökonomischen Variablen Haushaltseinkommen und Wasser-

preis (2. Berechnungsschritt) sowie die psychologischen Variablen Intention zu Wasser sparendem Verhalten, Intention zur Anschaffung von Spartechnologie bezüglich Maschinen und Zufriedenheit mit der Wasserqualität (3. Berechnungsschritt) als unabhängige Variablen eingehen. Abhängige Variable des Modells ist der Wasserverbrauch pro Haushalt. Dieses Regressionsmodell wurde nachfolgend zu einem Strukturgleichungsmodell erweitert, in dem die Verhaltensintentionen als vier latente Variablen konzipiert sind (s. unten Abb. 3). Konfirmatorische Faktorenanalysen hatten hier gezeigt, dass dies den erhobenen Daten eher entspricht als die ursprünglich im *Household*-Modell gemachte Annahme zweier Intensionsvariablen. Die Ergebnisse beider Auswertungsverfahren weisen darauf hin, dass vor allem die Haushaltsgröße und das Haushaltseinkommen – also eine objektive und eine ökonomische Variable – bedeutsam für die Höhe des Trinkwasserverbrauchs privater Haushalte sind. Die sog. psychologischen Variablen des *Household*-Modells (Verhaltensintentionen, wasserbezogenes Wissen, Risikowahrnehmung, Zufriedenheit mit der Wasserqualität) scheinen demgegenüber von geringerer Bedeutung zu sein.

Abbildung 3 zeigt das beschriebene Strukturgleichungsmodell der Wassernutzung. Das R^2 dieses Modells liegt bei .162; signifikante Einflüsse auf die Wassernutzung privater Haushalte üben nach diesem Modell nur die Haushaltsgröße ($\beta = 0.263$; $p = .000$) und das Haushaltseinkommen ($\beta = 0.189$; $p = .001$) aus. Die β -Gewichte der weiteren unabhängigen Variablen sind ebenfalls der Abbildung zu entnehmen (p jeweils $> .05$).

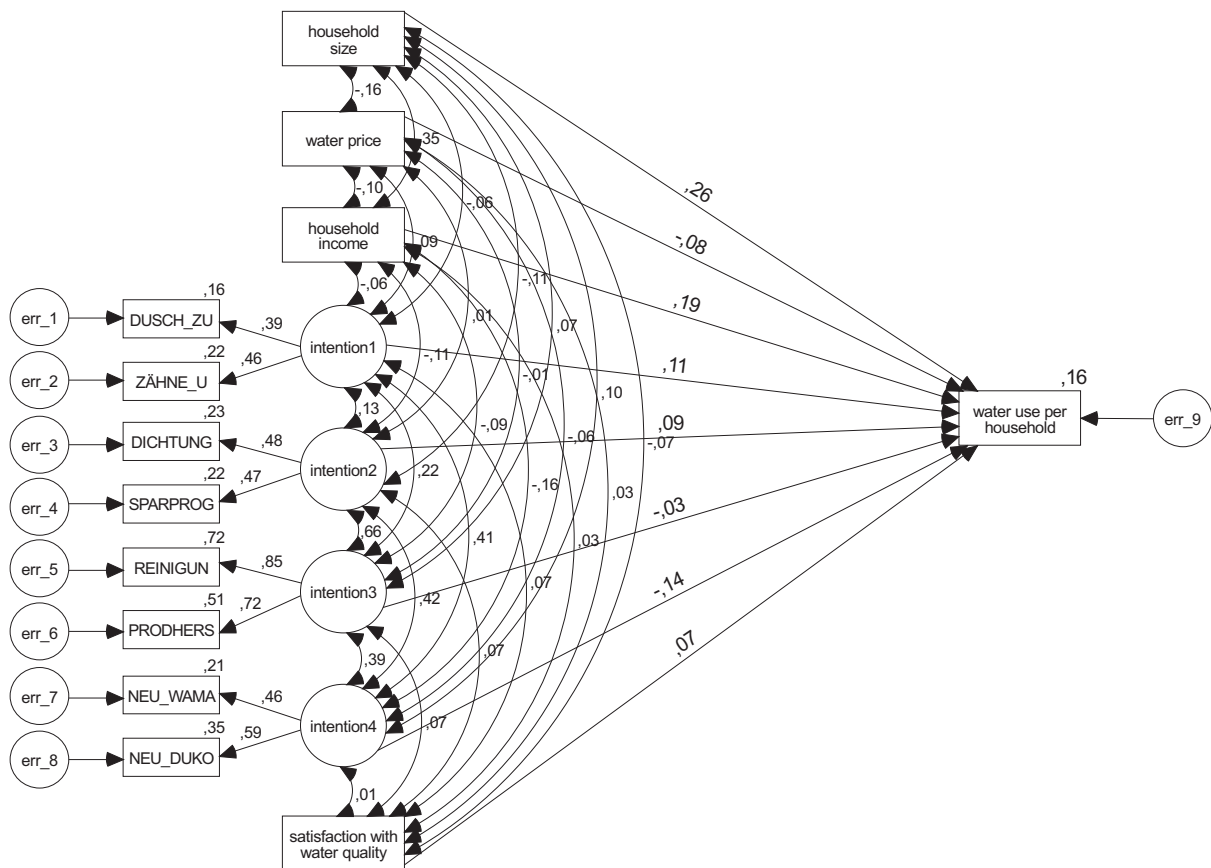


Abb. 3: Strukturgleichungsmodell der Wassernutzung. Die Abbildung zeigt den Einfluss von Haushaltsgröße, Wasserpreis, Haushaltseinkommen, wasserbezogene Zufriedenheit und wasserbezogene Einstellungen auf die Wassernutzung pro Haushalt. Die vier Einstellungen werden von insgesamt acht Variablen indiziert (z.B. Duschhahn schließen während des Einseifens).

An dieser Stelle wird deutlich, dass ein erheblicher Anteil der Wassernutzung durch das zugrunde liegende Modell empirisch noch nicht befriedigend erklärt werden kann. Dies könnte etwa darauf zurückzuführen sein, dass die Wassernutzung durch private Haushalte das Resultat einer Vielzahl von konkurrierenden Werten, Einstellungen und Intentionen,

auch der verschiedenen nicht immer sich gleich verhaltenen Haushaltsmitglieder, sein kann und das *Household*-Modell nur einen Teil dieser Einflussgrößen abdecken kann. Dieser Vermutung soll in der zweiten Projektphase weiter nachgegangen werden. Weiterhin könnte aber auch bedeutsam sein, dass die Datenerhebung in einem äußerst wasserreichen Gebiet mit gleichzeitig niedrigen Wasserpreisen durchgeführt wurde, in dem keine offensichtliche Notwendigkeit zum Wassersparen besteht. Dieser Umstand könnte es möglicherweise erschwert haben, die relevanten psychologischen Variablen in angemessener Weise zu erheben. Für die zweite Untersuchungsphase ist daher u.a. geplant, weitere Datenerhebungen mit szenariogestütztem Material durchzuführen, das den Befragten den realistischen Eindruck einer bedrohten Trinkwasserversorgung vermittelt, um die psychologischen Einflussfaktoren - hier insbesondere die Risikowahrnehmung - besser abzubilden.

Neben der eigentlichen statistischen Auswertung wurden die von den Befragten gemachten Angaben zu ihren Wassernutzungsgewohnheiten (z.B. Häufigkeit der Waschmaschinennutzung pro Haushalt, Angaben zur Körperpflege) und zur technischen Ausstattung ihrer Haushalte (z.B. Alter der Waschmaschine; Vorhandensein von Wasser sparenden Einrichtungen an Dusche, Wasserhahn und Toilette) genutzt, um die Wassermengen zu bestimmen, die durchschnittlich für unterschiedliche Nutzungsarten (z.B. Wäsche waschen, Körperpflege) verwendet werden. Die so bestimmten Mengenangaben wurden mittlerweile in das Computermodell *Household* implementiert und dienen dort als eine Grundlage zur Berechnung des privaten Trinkwasserverbrauchs auf Haushaltsebene. Das genaue Vorgehen bei der Berechnung des privaten Trinkwasserverbrauchs auf Haushaltsebene wird im übernächsten Abschnitt unter Kalibrierung des Wasserverbrauchs der Haushalte näher erläutert. Eine genaue Beschreibung der implementierten Haushaltstypen erfolgt in Abschnitt 2.2.4.1.

2.2.4 Folgerungen für das *Household*-Modell aus den empirischen Ergebnissen

Im folgenden Abschnitt werden die implementierten Haushaltstypen dargestellt (2.2.4.1) und die Berechnung haushaltsspezifischer Wasserverbrauchswerte auf Grundlage der empirischen Daten erläutert (2.2.4.2). In Abschnitt 2.2.4.3 wird beschrieben, wie der Zusammenhang zwischen Wasserpreis und Wasserbedarf in *Household* modelliert wird.

2.2.4.1 Haushaltstypen

Ursprünglich war vorgesehen, anhand der im Projekt erhobenen Daten zusätzliche Haushaltstypen über eine soziodemographische Klassifizierung hinaus zu identifizieren. Aufgrund der in dieser Hinsicht nicht ausreichend aussagekräftigen Ergebnisse der Datenerhebung und wegen der engen Kopplung mit dem Modell *Demography* wurde jedoch entschieden, die vom Modell *Demography* zur Verfügung gestellte, auf den Variablen Haushaltsgröße und -einkommen beruhende Haushaltstypologie unmittelbar zu übernehmen. Die Idee der zusätzlichen Klassifikation wird in der kommenden Projektphase durch die Einarbeitung von Milieus in das Modell wieder aufgegriffen.

Das Modell *Demography* berechnet die Bevölkerung des Untersuchungsgebiets aufgeschlüsselt in insgesamt 25 Haushaltstypen. Diese 25 Haushaltstypen beruhen auf einer 5x5-Matrix aus Haushaltsgröße und Haushaltseinkommen, wie in Tabelle 4 dargestellt.

Tab. 4: 5x5-Matrix der Haushaltstypen.

Personen	Einkommen < 1100 €	1.100 < 2.000 €	2.000 < 2.900 €	2.900 < 5.000 €	≥ 5.000 €
1 Person	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4	Typ 5
2 Personen	Typ 6	Typ 7	Typ 8	Typ 9	Typ 10
3 Personen	Typ 11	Typ 12	Typ 13	Typ 14	Typ 15
4 Personen	Typ 16	Typ 17	Typ 18	Typ 19	Typ 20
5 und mehr Personen	Typ 21	Typ 22	Typ 23	Typ 24	Typ 25

In der folgenden Tabelle 5 ist für jeden Haushaltstyp der Gesamtwasserverbrauch angegeben, wie er der empirischen Erhebung entnommen worden ist (näheres dazu s. Abschnitt 2.2.3).

Tab. 5: Wasserverbrauch in Liter pro Person und Tag nach Haushaltstypen.

Haushaltstyp	Anzahl der Personen im Haushalt	Einkommensklasse	Verbrauch in Liter pro Person und Tag
Typ 1	1	< 1100 €	165,4064
Typ 2	1	1.100 < 2.000 €	191,7174
Typ 3	1	2.000 < 2.900 €	174,6421
Typ 4	1	2.900 < 5.000 €	163,6986
Typ 5	1	≥ 5.000 €	229,5475
Typ 6	2	< 1100 €	158,8244
Typ 7	2	1.100 < 2.000 €	148,1229
Typ 8	2	2.000 < 2.900 €	144,9
Typ 9	2	2.900 < 5.000 €	157,7801
Typ 10	2	≥ 5.000 €	162,4828
Typ 11	3	< 1100 €	98,6301
Typ 12	3	1.100 < 2.000 €	122,4881
Typ 13	3	2.000 < 2.900 €	116,2369
Typ 14	3	2.900 < 5.000 €	138,7999
Typ 15	3	≥ 5.000 €	132,1918
Typ 16	4	< 1100 €	89,5674
Typ 17	4	1.100 < 2.000 €	106,2197
Typ 18	4	2.000 < 2.900 €	109,9901
Typ 19	4	2.900 < 5.000 €	113,7589
Typ 20	4	≥ 5.000 €	113,2420
Typ 21	5 und mehr	< 1100 €	154,0838
Typ 22	5 und mehr	1.100 < 2.000 €	63,1963
Typ 23	5 und mehr	2.000 < 2.900 €	92,1392
Typ 24	5 und mehr	2.900 < 5.000 €	85,8458
Typ 25	5 und mehr	≥ 5.000 €	107,0780

Die in der Tabelle aufgelisteten Werte sind in der folgenden Abbildung 4 dargestellt:

Wasserverbrauch der einzelnen Haushaltstypen

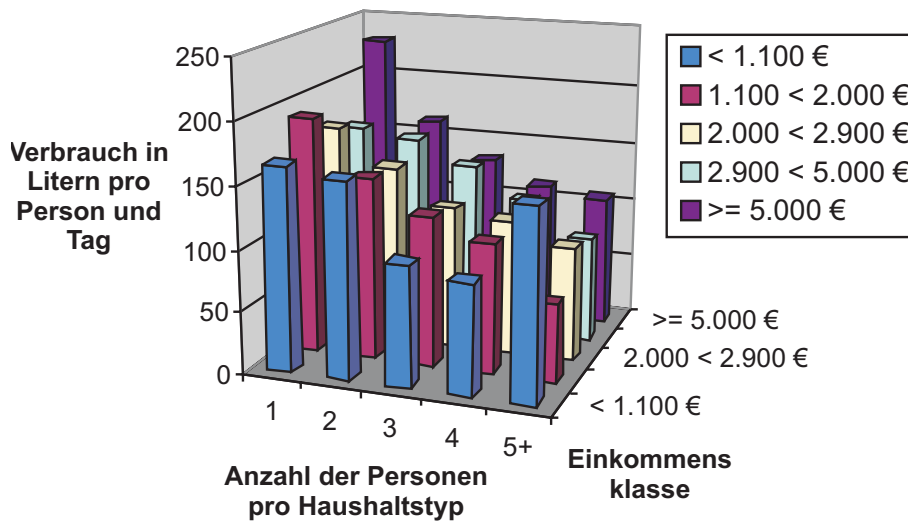


Abb. 4: Wasserverbrauch der Haushaltstypen in Litern pro Person und Tag.

Es ist deutlich zu erkennen, dass der Pro-Kopf-Verbrauch an Wasser in den Einkommensklassen jeweils mit steigender Personenzahl im Haushalt abnimmt. Dies ist vermutlich größtenteils auf Synergie-Effekte bei Nutzungen wie Waschmaschine, Putzen etc. zurück zu führen. Weiterhin steigt mit höherem Einkommen der Wasserverbrauch in Haushalten mit gleicher Personenzahl. Dies deutet darauf hin, dass Personen mit höherem Einkommen mehr Wasser verbrauchen als Personen mit geringem Einkommen. Dieser Effekt wird in der Literatur auch als Einkommenselastizität bezeichnet und ist im Modell *Household* mit der Zuordnung von Haushaltstypen und dem Wasserverbrauch abgebildet.

2.2.4.2 Aufgliederung des Wasserverbrauchs auf verschiedene Nutzungsarten

Um in der kommenden Projektphase eine Bestimmung der Verunreinigung der Haushaltsabwässer zu ermöglichen, wurden im *Household*-Modell sind die Wasserverbräuche der einzelnen Haushaltstypen zusätzlich auf verschiedene Nutzungsarten disaggregiert. Die Disaggregationsklassifikation umfasst dabei folgende Nutzungsarten: Waschmaschine, Spülmaschine, Handspülen, Dusche, Badewanne, Zähneputzen, Händewaschen, Toilette, Putzen und eine Restkategorie. Dabei wurde der Wasserverbrauch aus den Angaben der Befragten aus den empirischen Erhebungen sowie statistischen Wasserverbräuchen dieser Handlungen miteinander verschnitten.

Hierfür wurden zunächst Angaben über Nutzungshäufigkeiten (Häufigkeit des Geschirrspülens, der Toilettenbenutzung, u.ä.), Verbrauchsgewohnheiten (z.B. Art des Geschirrspülens) und technischer Ausstattung mittels des Fragebogens - Fragen 4 („Haben Sie eine Waschmaschine?“) bis 12 („Wie oft werden in Ihrem Haushalt die Hände gewaschen?“) - ermittelt. Des Weiteren wurden bezüglich der statistischen Verbrauchsangaben aus Recherchen über die Wasserverbrauchsmengen pro technischem Gerät bzw. Nutzungsart in der Literatur, im Internet (z.B. bei Wasserversorgern) und per Telefonanruf bei Herstellern von Haushaltsgeräten, Installateurbetrieben usw. detaillierte Information über die Verbrauchswerte pro Nutzungsart zusammengetragen. Aufgrund der so erhaltenen Informationen wurden Mittelwerte pro Nutzungsart festgelegt, wobei gegebenenfalls nach Alter des Geräts (z.B. Waschmaschine) oder nach technischer Ausstattung (z.B. Sparduschkopf) unterschieden wurde. Diese Mittelwerte dienten für die Ermittlung einer Gesamt-Wasserverbrauchsmenge für jeden Fall der Datenerhebung. Da der berechnete Gesamtverbrauch auf Grundlage der statistischen Daten noch z.T. deutlich von dem von den Personen in der Befragung angegebenen Gesamtverbrauch abwich, wurden verschiedene Kalibrierungsverfahren

ren getestet und dasjenige ausgewählt, bei dem die Abweichung von den angegebenen Verbrauchsmengen am geringsten war.

Im Folgenden werden zwei Vorgehensweisen der Wasserkalibrierung gegenübergestellt und die Auswahl der zweiten Vorgehensweise begründet. Bei *Vorgehensweise 1* wurden die Verbräuche einzelner Nutzungsarten kalibriert, nachdem berechnet worden war, inwieweit die Mittelwerte einzelner Nutzungsarten mit den statistischen Daten über den Anteil dieser Nutzungsarten am Gesamtverbrauch übereinstimmten. Bei *Vorgehensweise 2* wurde über alle Nutzungsarten hinweg nach einer Kalibrierung gesucht. Grundlage der Kalibrierung war bei beiden Vorgehensweisen die Gesamtstichprobe der schriftlichen und telefonischen Befragungen.

Vorgehensweise 1 - Kalibrierung einzelner Nutzungsarten

Bei dieser Vorgehensweise wurden die Verbrauchswerte für zwei der 10 Nutzungsarten - Handspülen und Duschen - kalibriert, da hier die Verbrauchswerte unter den in verschiedenen Quellenangaben gefundenen Werten liegen. Die Verbrauchswerte waren aufgrund von Berechnungen mit den in der Literatur gefundenen Werten (die unplausibel hohe Ergebnisse erbrachten) und von Selbstversuchen festgelegt worden. Zur Kalibrierung wurden die für alle Befragten (N = 1.309) berechneten Verbrauchsmengen mit den tatsächlich angegebenen Verbrauchsmengen von N = 674 Befragten verglichen und ein Korrekturfaktor von 0,6743 für Handspülen und von 0,8021 für Duschen verwendet. Dieses Vorgehen führt dazu, dass die mittlere berechnete Verbrauchsmenge aller Befragten mit der mittleren angegebenen Verbrauchsmenge übereinstimmt (136 l pro Person und Tag). Kritisch an dieser Vorgehensweise ist, dass trotz der erzielten Übereinstimmung der Mittelwerte des angegebenen und berechneten Wasserverbrauchs für die Gesamtstichprobe die mittleren Verbräuche für die einzelnen Haushaltstypen nicht übereinstimmten. Hier waren z.T. deutliche Abweichungen sichtbar. Zudem schwankten für alle Nutzungsarten die prozentualen Anteile und entsprechend die berechneten Verbrauchsmengen der jeweiligen Nutzungsart am täglichen Pro-Kopf-Verbrauch zwischen den Haushaltstypen erheblich. Aus diesen Gründen lieferte die Vorgehensweise 1 kein befriedigendes Ergebnis. Es wurde entschieden, die Kalibrierung über alle Nutzungsarten durchzuführen.

Vorgehensweise 2 - Kalibrierung aller Nutzungsarten

Bei dieser Vorgehensweise wurden Korrekturfaktoren für *alle* Nutzungsarten berechnet. Es wurden mehrere Kalibrierungsschritte durchgeführt. Für alle Nutzungsarten wurde zunächst der Bereich ermittelt, in den der Erwartungswert für den berechneten Wasserverbrauch laut Statistik fallen müsste. Dem mittleren Erwartungswert dieser Spanne wurden die mittleren Verbrauchsangaben in der jeweiligen Nutzungsart gegenüber gestellt, die sich aus den Angaben der Befragten der Gesamtstichprobe ergaben. Beispielsweise liegt für die Nutzungsart Waschmaschine der mittlere statistische Erwartungswert des Wasserverbrauchs bei 18,5%. Die Spanne des Erwartungswertes liegt bei 16,45-20,56. Der Erwartungswert für den berechneten Wasserverbrauch laut Statistik liegt hingegen bei 8,22% und damit wesentlich niedriger. Der Korrekturfaktor, um diese und alle anderen Differenzen auszugleichen, ergibt sich aus der Multiplikation des berechneten Wasserverbrauchs der betreffenden Nutzungsart mit folgendem Faktor:

$$\frac{\text{(mittlerer Erwartungswert laut Statistik/ mittleren Verbrauch aus Angaben der Gesamtstichprobe)}}{1}$$

Der kalibrierte Mittelwert jeder Nutzungsart liegt damit etwa in der Mitte des Intervalls für den statistischen Erwartungswert dieser Nutzungsart. Für die Nutzungsart Waschmaschine wird beispielsweise der Korrekturfaktor (18.5 l/13.3040 l) verwendet, so dass der kalibrierte Wasserverbrauch dieser Nutzungsart über die Gesamtstichprobe von 13,3 l auf 18,5 l nach oben korrigiert wird. Die Betrachtung der Differenzen zwischen den kalibrierten berechneten und angegebenen Gesamtverbrauchswerten über alle Nutzungsarten und dem Haushaltstypen in der Gesamtstichprobe ergab, dass dieses Vorgehen der Kalibrierung zu

vergleichbaren berechneten und angegebenen Verbräuchen führt. Im Vergleich zu den statistischen Daten sind sie zusätzlich auf verschiedene Haushaltstypen disaggregiert.

Bei dieser Vorgehensweise der Kalibrierung wurde zudem berücksichtigt, dass in statistischen Angaben immer die Kategorie „Sonstiges“ aufgeführt wird, die eine Größenordnung von 6-10% hat. Entsprechend orientierte sich die Beurteilung der Differenz zwischen angegebenen und berechneten Werten daran, wie weit die bestehenden Differenzen des angegebenen Gesamtverbrauchs von der Größenordnung der Kategorie „Sonstiges“ abweichen. Geringe Abweichungen von ca. 1% über dieses Intervall wurden als unproblematisch erachtet. Bei der Mehrheit der Haushaltstypen lagen jedoch Abweichungen vor, die auf eine Überschätzung oder Unterschätzung des Wasserverbrauchs für die abgefragten Nutzungsarten hindeuteten. Entsprechend musste der kalibrierte Wasserverbrauch so korrigiert werden, dass er dem von den Befragten angegebenen Wasserverbrauch entsprach. Hierfür wurde nun eine weitere Kategorie „Sonstige“ als Nutzungsart eingeführt. In den Fällen, in denen die Befragten einen höheren Gesamtverbrauch angegeben hatten als die Summe der von ihnen angegebenen Nutzungen, wurde die Differenz in der Kategorie „Sonstige“ angegeben. Dies betrifft die Haushaltstypen 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 17, 18, 19, 20. War der Gesamtverbrauch der Haushaltstypen niedriger als die Summe der angegebenen Nutzungen, so wurden die einzelnen Nutzungen um einen innerhalb des Haushaltstyps gleichen prozentualen Anteil reduziert. Dazu wurde der Anteil der Kategorie „Sonstiges“ auf 5% des angegebenen Gesamtverbrauchs gesetzt. Anschließend wurden diese 5% vom angegebenen Gesamtverbrauch subtrahiert. Der verbleibende Rest ($0.95 \cdot$ angegebener Gesamtverbrauch) wurde auf die einzelnen Nutzungsarten entsprechend ihrem prozentualen Anteil am Gesamtverbrauch aufgeteilt. Exemplarisch ist dies für den Haushaltstyp 1 mit einem angegebenen Gesamtverbrauch von 165.40 Litern pro Tag und Person und einem anhand der Nutzungsarten aufsummierten Verbrauch von 176.3908 Litern pro Tag und Person in Tabelle 6 aufgeführt.

Tab. 6: Vorgehen bei der Kalibrierung des Wasserverbrauchs illustriert anhand von Haushaltstyp 1.

Nutzungsart	implementierter Wert	Wert laut Befragung	Berechnung
Waschmaschine	16.49186413	18.5127	$165.4064 \cdot 0.95 \cdot 18.5127 / 176.3908$
Geschirrspüler	1.49001993	1.6726	$165.4064 \cdot 0.95 \cdot 1.6726 / 176.3908$
Handspülen	9.60887359	10.7863	$165.4064 \cdot 0.95 \cdot 10.7863 / 176.3908$
Dusche	28.26334228	31.7266	$165.4064 \cdot 0.95 \cdot 28.26334228 / 176.3908$
Badewanne	20.1926831	22.667	$165.4064 \cdot 0.95 \cdot 22.667 / 176.3908$
Zähneputzen	3.552494007	3.9878	$165.4064 \cdot 0.95 \cdot 3.9878 / 176.3908$
Händewaschen	11.05301523	12.4074	$165.4064 \cdot 0.95 \cdot 12.4074 / 176.3908$
Toilettenspülung	56.94627047	63.9242	$165.4064 \cdot 0.95 \cdot 63.9242 / 176.3908$
Putzen	9.537428177	10.7061	$165.4064 \cdot 0.95 \cdot 10.7061 / 176.3908$
Sonstige	8.27032		$165.4064 \cdot 0.05$

Diese Korrekturen wurden für die Haushaltstypen 1, 11, 13, 22, 23, 24 und 25 durchgeführt. Die Angaben der Haushaltstypen 5, 16 und 21 mussten nicht korrigiert werden. Nach den Korrekturen lag die Abweichung über alle Haushaltstypen hinweg bei fünf Prozent, womit sie sich in einem akzeptablen Bereich bewegt.

2.2.4.3 Preiselastizität

Im folgenden Abschnitt wird dargelegt, wie der Zusammenhang zwischen der ökonomischen Variable Wasserpreis und dem Wasserbedarf privater Haushalte ist. Dazu wird das Konzept der Preiselastizität vorgestellt und auf die Preiselastizität des Trinkwassers eingegangen. In einer Reihe von Studien ist nachgewiesen worden, dass der Wasserverbrauch mit dem Wasserpreis korreliert. So stellt bspw. die OECD fest, dass in den meisten

Ländern, in denen der Wasserverbrauch niedrig ist, der Wasserpreis hoch ist (vgl. OECD 1999, S. 60; s. auch SCHMITZ 1999). LALLANA et al. (2001) konstatieren, dass neben dem Wasserpreis auch andere Faktoren wie die Verfügbarkeit von Wasserspartechnologien oder Gewohnheiten im Umgang mit Wasser für den Wasserverbrauch wichtig sind; auch sie stellen beispielsweise für das Fallbeispiel Ungarn einen starken Zusammenhang zwischen Wasserpreis und Wasserverbrauch fest (vgl. LALLANA et al. 2001, S. 38). Neben dem prinzipiellen Sinn des Einbezugs von Preiselastizität (auch in Hinblick auf eine Generalisierbarkeit des Modells) ist die Höhe dieser Elastizität zu diskutieren (s.u.).

Der Zusammenhang zwischen dem Preis eines Gutes und der Nachfrage nach diesem Gut wird mit der Preiselastizität der Nachfrage beschrieben. Sie gibt an, wie stark die Nachfrage nach einem Produkt auf eine Preisänderung reagiert und ist definiert als die prozentuale Veränderung der nachgefragten Menge eines Produktes im Verhältnis zur prozentualen Veränderung des Preises dieses Produktes:

$$elast = \frac{\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}}{\frac{P_1 - P_2}{P_1}}$$

wobei (Tab. 7):

Tab. 7: Bedeutung der Variablen zur Berechnung der Preiselastizität der Nachfrage nach Trinkwasser.

Symbol	Allg. Bedeutung	Bedeutung im psychologischen Teilprojekt
<i>elast</i>	Preiselastizität	Preiselastizität
Q_1	Menge vor der Preisänderung	Wasserbedarf ohne Einbezug der Preiselastizität
Q_2	Menge nach der Preisänderung	Wasserbedarf nach Einbezug der Preiselastizität
P_1	Preis vor der Preisänderung	Wasserpreis beim Modellstart
P_2	Preis nach der Preisänderung	Aktueller Wasserpreis

Ist der Absolutbetrag der Preiselastizität

- > 1 , so ist die Nachfrage elastisch - eine 1-prozentige Preisänderung bewirkt eine mehr als 1-prozentige Mengenänderung,
- $= 1$, so ist die Nachfrage isoelastisch - eine 1-prozentige Preisänderung bewirkt eine 1-prozentige Mengenänderung,
- < 1 , so ist die Nachfrage unelastisch - eine 1-prozentige Preisänderung bewirkt eine weniger als 1-prozentige Mengenänderung.

Zu klären ist also die Frage, welchen Wert die Preiselastizität für den Trinkwasserverbrauch annimmt. Die Preiselastizität der Nachfrage gilt in Deutschland als sehr gering (vgl. PFAFFENBERGER und SCHEELE 1989, S. 11). Lallana et al. nennen unter starkem Vorbehalt allgemein eine Preiselastizität von -0.1 bis -1.0 an (vgl. LALLANA et al. 2001, 38). Melter fand durch Zeitreihenanalyse der Wasserpreise europäischer Länder in den achtziger Jahren Preiselastizitäten von -0.3 für England und Wales und -0.11 für Finnland (vgl. MELTER 1998). Brookshire et al. schließlich haben mehrere US-Studien zur Preiselastizität im Wasserbereich zu verschiedenen US-Bundesstaaten, Russland, Australien etc. ausgewertet und Angaben zur Preiselastizität in einer Spanne von -0.18 bis -1.59 gefunden (vgl. BROOKSHIRE et al. 2002). Vernachlässigt man aufgrund mangelnder Übertragbarkeit die Untersuchungsergebnisse aus dem Mittlern Osten, Russland und Australien, so kristallisiert sich eine gemittelte Preiselastizität von -0.3 heraus. Aus diesem Grund ist im *Household*-Modell eine Preiselastizität in dieser Höhe angenommen worden.

2.2.5 Weitere sektorale Arbeiten: Vergabe von Unteraufträgen an andere GLOWA-Danube-Teilprojekte

In der ersten Förderphase hat das Teilprojekt Umweltpsychologie insgesamt fünf Unteraufträge an andere Teilprojekte des GLOWA-Danube-Projektverbundes vergeben. Im Folgenden werden die Arbeiten aus den Unteraufträgen skizziert. Bei der Vergabe der Unteraufträge wurde darauf geachtet, dass diese möglichst Arbeiten in der *Actors*-Gruppe und somit der zügigen Integration dieser Gruppe innerhalb des DANUBIA-Verbunds zugute kamen. Die Abschlussberichte für die Unteraufträge Informatik, Ökonomie, Tourismus und Meteorologie liegen als Anlage bei, der Unterauftrag Umweltpsychologie (AG Freiburg) ist integraler Bestandteil dieses Abschlussberichts.

2.2.5.1 Unterauftrag Umweltpsychologie, Arbeitsgruppe Freiburg

Durch den Wechsel des Projektleiters des Teilprojekts Umweltpsychologie an das Wissenschaftliche Zentrum für Umweltsystemforschung der Universität Kassel wurde der Ausführungsort des Teilprojekts Umweltpsychologie zum 1.1.2003 von der Universität Freiburg zur Universität Kassel verlegt. Da über diesen Zeitpunkt hinaus noch Mitarbeiterinnen des Teilprojekts in Freiburg beschäftigt waren, wurde dafür ein Unterauftrag an das Institut für Psychologie der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg vergeben. Die Arbeiten, die als Unterauftrag in Freiburg durchgeführt wurden, sind als Bestandteil der Arbeiten des Teilprojekts Umweltpsychologie in diesen Abschlussbericht eingeflossen.

2.2.5.2 Unterauftrag Informatik

Ein weiterer Unterauftrag wurde an das Institut für Informatik der Ludwig-Maximilians-Universität München vergeben, in dem das Teilprojekt Informatik des GLOWA-Danube-Verbunds angesiedelt ist. Vom 1.7. bis zum 31.12.2003 arbeiteten unter der Leitung von PD Dr. Hennicker die beiden Diplom-Informatiker Janisch und Zhang an der Wartung und Anpassung des Actor-Controllers. Der Actor-Controller ist das zentrale Element der *Actors*-Komponente, in der alle *Actors*-Teilmodelle zusammengefasst sind. Der Actor-Controller regelt die Kommunikation zwischen den einzelnen *Actor*-Modellen untereinander sowie mit den anderen Modellen in DANUBIA. Aus diesem Grund war die Betreuung des Actor-Controllers ein wichtiger Beitrag für die *Actors*-Arbeitsgruppe.

Die Arbeit bestand aus der Anpassung des Actor-Controllers an im Laufe der fortschreitenden Implementierung geänderte Import- und Export-Schnittstellen zwischen den einzelnen *Actor*-Modellen bzw. zwischen der Actor-Komponente und den anderen Komponenten von DANUBIA. Weiterhin wurde die Struktur der UML-Darstellung überarbeitet und der Actor-Controller um ein Ant-Skript erweitert, das die Veröffentlichung neuer Versionen des Actor-Controller auf dem gemeinsamen ftp-Server erleichtert. Schließlich wirkte die Arbeitsgruppe bei Überlegungen zur Performanzsteigerung der verteilten Simulationen mit.

2.2.5.3 Unterauftrag Ökonomie

Der dritte Unterauftrag wurde an die Arbeitsgruppe Umwelt, Regionen und Verkehr des Ifo-Instituts für Wirtschaftsforschung in München vergeben. Dort werden innerhalb des Projekts GLOWA-Danube unter der Leitung von Prof. Sprenger die Modelle *Economy* und *Demography* erarbeitet. Diese beiden Modelle berechnen die Werte Wasserpreis, Industrie-Wasserbedarf und Bevölkerung im Donaueinzugsgebiet. Damit liefern die beiden Modelle für die anderen *Actors*-Modelle essentielle Daten für deren Berechnungen.

Der Unterauftrag an das Teilprojekt Ökonomie bestand darin, die Arbeiten an den beiden Modellen zum Abschluss der ersten Förderphase fertig zu stellen. Dazu wurden die durchgeführten gekoppelten Modellläufe validiert und dabei festgestellte Programmfehler behoben. Weiterhin wurden die neuen Landnutzungsdaten in das Modell eingearbeitet und der Endbericht für die erste Förderphase erstellt.

2.2.5.4 Unterauftrag Tourismus

Schließlich erhielt das Institut für Geographie, Professur für Wirtschaftsgeographie und Tourismusforschung der Universität Regensburg einen Unterauftrag. Unter der Leitung von Prof. Schmude erarbeitet die dortige Arbeitsgruppe das Modell *Tourism* innerhalb des Glo-wa-Danube-Projektverbunds. Das Modell *TourismPerson* und *TagPerson* und *Tag* berechnet innerhalb der *Actors*-Komponente die touristischen Aktivitäten im Einzugsgebiet und damit den touristischen Wasserbedarf.

Die Aufgabe des Teilprojekts Tourismus war es, ihr Modell insbesondere in Bezug auf die touristischen Übernachtungen zu verfeinern. Dazu wurden theoretische Vorüberlegungen angestellt und eine Literaturrecherche durchgeführt. Weiterhin wurden statistische Daten beschafft und verarbeitet, Adresdatenbanken erstellt und der Referenzlauf zum Abschluss der ersten Förderphase vorbereitet.

2.2.5.5 Unterauftrag Meteorologie

Zur unterbrechungsfreien Beschäftigung einer Mitarbeiterin während der kostenneutralen Verlängerung der ersten Projektphase wurde an das Institut für Meteorologie der Universität Mainz ein weiterer Unterauftrag vergeben. Aufgabe war es hier, dem Zusammenhang zwischen Temperatur, Bodenfeuchte und Niederschlag weiter nachzugehen.

2.3 Integrative Arbeiten

Die integrativen Arbeiten des psychologischen Teilprojekts umfassten in der ersten Projektphase die Zusammenarbeit innerhalb der Arbeitsgruppe *Actors* sowie die Mit-Entwicklung einer Vorgehensweise zur räumlichen Disaggregation dieser Daten. Beides wird nachfolgend beschrieben.

2.3.1 Arbeitsgruppe *Actors*

Die Arbeitsgruppe *Actors* setzt sich aus den fünf Teilprojekten Agrarökonomie, Ökonomie (Modelle *Economy* und *Demography*), Tourismus, Umweltpsychologie und Wasserversorgung zusammen. Diese fünf Teilprojekte sind in DANUBIA über den ActorController miteinander verbunden (s. Abb. 5), der federführend vom psychologischen Teilprojekt implementiert wurde. Der ActorController ermöglicht zur Laufzeit die Kommunikation der Actors-Objekte sowohl untereinander als auch mit den anderen Verbundobjekten des DANUBIA-Modells und der zentralen Datenbank. Damit wurden die Voraussetzungen für die Einbindung der anderen Actors-Objekte in DANUBIA geschaffen.

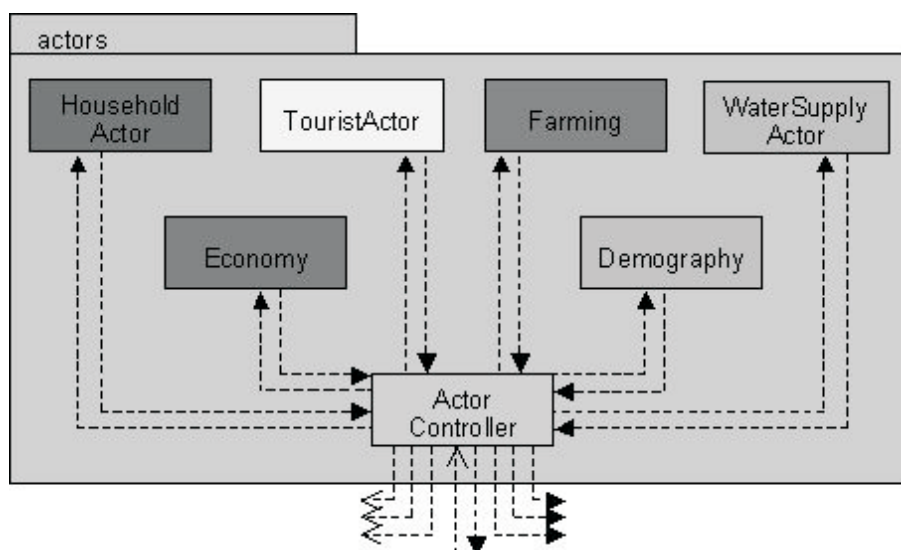


Abb. 5: Abstrakte UML-Darstellung des Actors-Verbundobjekts.

Das psychologische Teilprojekt war während der ersten Projektphase federführend für die Koordination *Actors*-Arbeitsgruppe zuständig. In dieser Zeit wurden drei eintägige und ein zweitägiges Treffen in Freiburg bzw. Kassel organisiert. Während dieser Treffen wurden die einzelnen Modelle, Ergebnisse von Simulationsläufen, Rückkopplungen und andere aktuelle Probleme diskutiert. Ein Schwerpunkt lag dabei auf der Erarbeitung und Anwendung unifizierender Konstrukte zur räumlichen und zeitlichen Integration. So wurden bspw. die Schnittstellen zwischen den *Actors*-Modellen festgelegt. Zudem haben sich die Mitglieder der Arbeitsgruppe auf gemeinsame Proxel verständigt, für die von jedem Modell Zeitserien erzeugt werden, um nach einem Simulationslauf einzelne Gebiete genau analysieren zu können.

2.3.2 Disaggregation statistischer Daten

Um die Genauigkeit der Modellrechnungen zu verbessern, wurde in Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung und anderen Teilprojekten eine Möglichkeit zur räumlichen Disaggregation statistischer Daten durch den Einbezug von Landnutzungsdaten erarbeitet. Für das psychologische Teilprojekt war vor allem die Ausweisung der besiedelten und unbesiedelten Proxel wichtig, um damit den Wasserverbrauch der privaten Haushalte besser lokalisieren zu können. Dafür wurden die statistischen, auf Gemeindeebene vorliegenden Einwohnerzahlen mit Hilfe der Landnutzungsinformation „städtische Bebauung“ aus dem Fernerkundungsdatensatz CORINE auf Proxelebene subskalig disaggregiert. Gemeinden, die wegen ihrer geringen Größe keine Information über besiedelte Fläche aufwiesen und die in den anhand der Siedlungsfläche disaggregierten Daten daher zunächst nicht erschienen, wurden durch Zuhilfenahme weiterer Flächendatensätze (z.B. Topographie) mit einem künstlichen Siedlungsproxel ausgestattet. Dadurch konnte gewährleistet werden, dass auch in diesen Gemeinden der statistische Wert der Einwohner mit dem disaggregierten Wert der Einwohner übereinstimmt. Wie Abbildung 6 zeigt, konnte die Genauigkeit des *Household*-Modells hinsichtlich der Lokalisation des Wasserverbrauchs durch das beschriebene Verfahren um ein Vielfaches gesteigert werden.

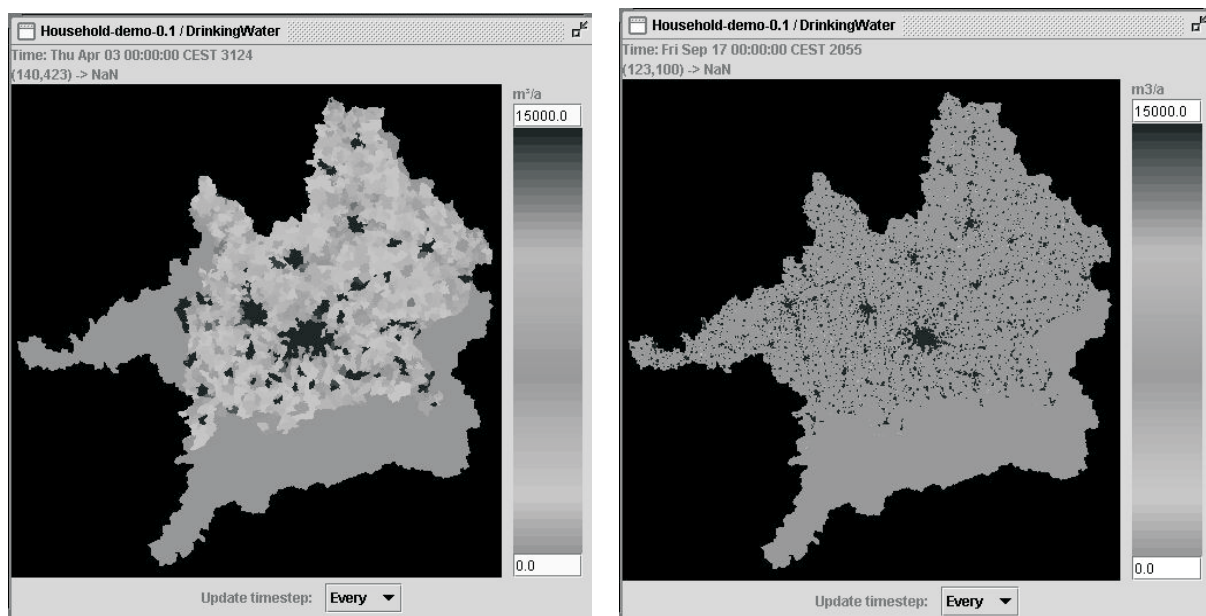


Abb. 6: Mit dem Household-Modell berechneter Trinkwasserverbrauch (Links: Auf der Grundlage von statistischen Daten auf Gemeindeebene) (Stand des Modells Mai 2002; nur bayerisches Einzugsgebiet) (Rechts: Unter zusätzlichem Einbezug der Siedlungsfläche aus Fernerkundungsdaten) (Stand des Modells September 2002; bayerisches und baden-württembergisches Einzugsgebiet).

In der zweiten Phase wird der bisher zur Disaggregation verwendeten CORINE-Datensatz durch bessere Satellitendaten neueren Datums ersetzt sowie die österreichischen und schweizerischen Anteile des Einzugsgebiets berücksichtigt werden.

2.4 Modell-Implementation

Im folgenden Abschnitt wird die Implementation des *Household*-Modells erläutert. Das Modell berechnet den Trinkwasserbedarf und die Abwassermenge privater Haushalte, die Aufgliederung des Verbrauchs nach Verbrauchsarten sowie die Zufriedenheit der Haushalte mit der gelieferten Wassermenge. In Abschnitt 2.4.1 werden die Berechnungen dieser Variablen vorgestellt, in 2.4.2 folgt die Erläuterung der Modellimplementation im Java-Programm. Schließlich wird in 2.4.3 die Validierung des Modells diskutiert.

2.4.1 Berechnungen in *Household*

Die Berechnung des Trinkwasserbedarfs privater Haushalte erfolgt im Modell *Household* in drei Schritten:

1. Berechnung des Wasserbedarfs pro Haushaltstyp anhand von Haushaltsgröße und Einkommen, differenziert nach Wassernutzungen
2. Einbeziehen von Preiselastizität und Wasserpreis
3. Umrechnung des Haushaltstyp-Werts auf Proxel

Zudem berechnet das Modell auch eine wasserbezogene Zufriedenheit der privaten Haushalte, derzeit bezogen auf die gelieferte Wassermenge. Die Berechnungen des *Household*-Modells sind in der folgenden Abbildung 7 zusammengefasst:

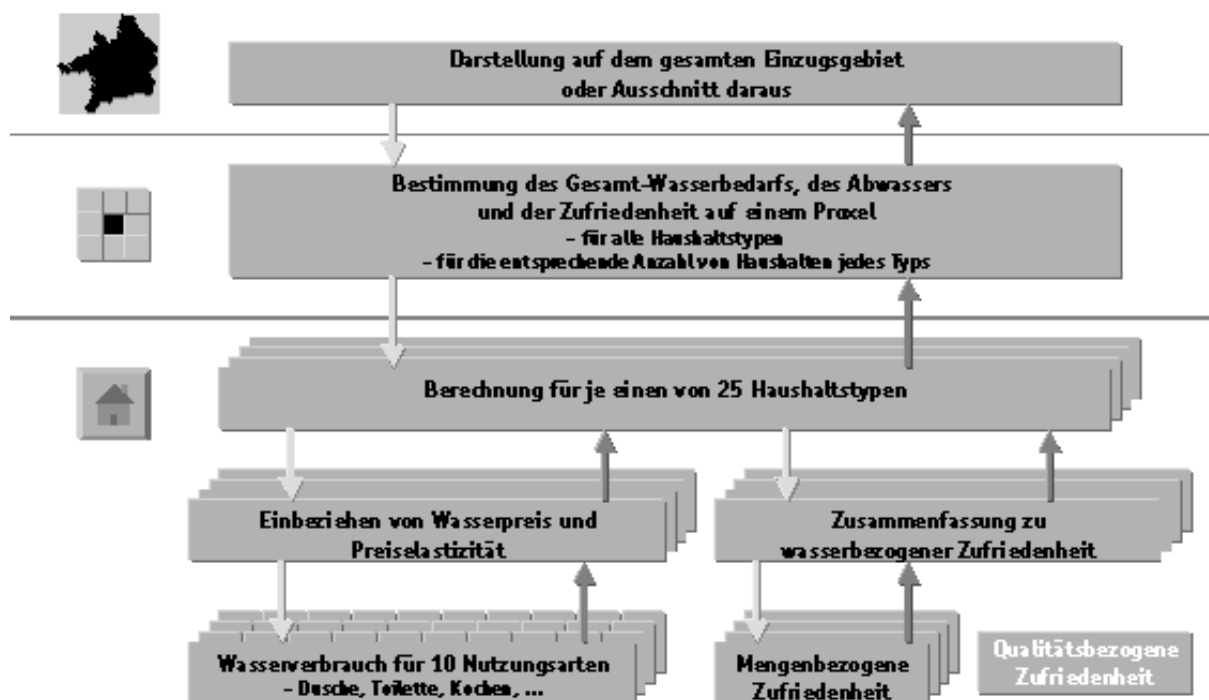


Abb. 7: Berechnungsschritte im Household-Modell.

In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Berechnungsschritte erläutert. Dabei wird in 2.4.1.1 auf die Berechnung des Wasserbedarfs eingegangen, Abschnitt 2.4.1.2 ist der Berechnung der wasserbezogenen Zufriedenheit gewidmet.

2.4.1.1 Berechnung des Wasserbedarfs privater Haushalte

Der Wasserbedarf privater Haushalte erfolgt in den drei o.g. Schritten: der Berechnung pro Haushaltstyp anhand der Nutzungsarten, des Einbeziehens von Wasserpreis und Preiselastizität und schließlich der Aggregation auf Proxel. Diese drei Schritte werden im Folgenden vorgestellt.

Die Berechnung des Wasserbedarfs beruht auf den unter 2.2.4.1 vorgestellten 25 Haushaltstypen. Für jeden dieser Haushaltstypen ist der mit Hilfe der Kalibrierungsprozedur bestimmte statistische Bedarf in Litern pro Person und Tag für 10 verschiedene Nutzungsarten implementiert. Diese Kalibrierung wurde in Abschnitt 2.2.4.2 bereits erläutert. Diese Aufschlüsselung des Wasserbedarfs nach den einzelnen Nutzungsarten wird es in der zweiten Projektphase ermöglichen, z.B. die Verschmutzung des Abwassers zu bestimmen oder gezielt den Einsatz von Spartechnologien bei bestimmten Nutzungen zu simulieren. Im Modell werden die verschiedenen Nutzungsarten pro Haushaltstyp aufsummiert, um den Trinkwasserbedarf einer Person zu erhalten. Diese Summe wird mit dann der Anzahl der Personen im Haushalt multipliziert, um den Gesamtbedarf pro Haushaltstyp zu errechnen. Dabei wird bei 5-und-mehr-Personen-Haushalten eine durchschnittliche Haushaltsgröße von 5,35 Personen angenommen.

Der errechnete Gesamtbedarf pro Haushaltstyp wird in m³/s umgerechnet und mit einer in der zweiten Projektphase noch zu spezifizierenden Mengenbeschränkung verglichen. Liegt der so errechnete Gesamtbedarf über der Mengenbeschränkung, wird die Mengenbeschränkung wirksam und dieser Wert, andernfalls der anhand der Nutzungen und der Haushaltsgröße errechnete Bedarf weitergegeben. Die Variable Mengenbeschränkung wird in Zukunftsszenarien vermutlich eine deutlich stärkere Rolle als in den retrospektiven Validierungsläufen (s.u.) spielen, wenn nämlich potentielle Wasserknappheit zur einer Trinkwassermengenbeschränkung führt und damit jedem Haushalt nur eine begrenzte Menge an Trinkwasser zur Verfügung gestellt wird. Für die erste Phase von DANUBIA wurde der Mengenbeschränkung bei der Implementation des *Household*-Modells ein so hoher Wert zugewiesen, dass diese Variable keine Auswirkung auf den Trinkwasserbedarf hat.

Der Gesamtbedarf an Wasser eines Haushaltstyps anhand der 10 Nutzungsarten wird im zweiten Schritt anhand des Wasserpreises modifiziert. Grundlegende Idee ist, dass die privaten Haushalte ihren intendierten Bedarf aufgrund des Wasserpreises steigern oder senken: Ist der Wasserpreis hoch, wird der Wasserbedarf reduziert; ist der Wasserpreis niedrig, steigt der Wasserbedarf. Die unter 2.2.4.3 ausführlich vorgestellte Gleichung für die Preiselastizität wurde für das Modell umgestellt und folgendermaßen implementiert:

$$wateruseeconomic = (elast*(p - statprice)/p + 1)* waterusebasedondecisions$$

wobei *wateruseeconomic* = Trinkwasserbedarf eines Haushaltstyps nach Einbeziehen der Preiselastizität
 statprice = Preis im ersten Zeitschritt, Erläuterung s. unten
 waterusebasedondecisions = Wasserbedarf eines Haushaltstyps berechnet anhand der 10 Nutzungsarten.

Bei der Implementierung wird davon ausgegangen, dass der Trinkwasserbedarf, der anhand der zehn Nutzungsarten berechnet wird, implizit aufgrund eines bestimmten, festen Preises (in der Formel: „*statprice*“) zustande kommt. In jedem Berechnungsschritt wird somit verglichen, ob sich der Wasserpreis im Vergleich zum einmal festgelegten Preis verändert hat – diese Veränderung hat dann nach der oben beschriebenen Formel direkte Auswirkungen auf den berechneten Wasserbedarf. Als fester Wasserpreis pro Proxel werden die Initialisierungsdaten des Wasserpreises eingelesen und im Modell gespeichert. Diese Preise werden mit den zur Laufzeit dynamisch gelieferten Preisen verglichen.

Weiterhin wurden eine obere und eine untere Grenze des Wasserbedarfs implementiert: Es wird davon ausgegangen, dass auch bei einer enormen Preissteigerung der Bedarf nicht gegen null geht, sondern die Haushalte einen Subsistenzwasserbedarf haben, den sie in jedem Fall nachfragen. Dieser Subsistenzwasserbedarf wurde mit 20 Liter pro Person und Tag implementiert. Eine obere Grenze des Wasserbedarfs wird eingeführt, da davon ausgegangen wird, dass auch bei extrem niedrigen Wasserpreisen der Wasserbedarf nicht ins Unendliche steigen wird. Diese obere Grenze wird in der zweiten Phase näher spezifiziert werden.

Schließlich werden in einem dritten Schritt die Wasserverbräuche aller Haushalte eines Proxels aufsummiert. Der Wasserbedarf pro Proxel ergibt sich aus folgender Formel:

$$dem_{pid} = \sum_{j=1}^{25} n_i \cdot dem_i$$

wobei: pid = Proxel-ID
 i = Haushaltstyp i
 dem_{pid} = Trinkwasserbedarf pro Proxel pid
 dem_i = Trinkwasserbedarf des Haushaltstyps i
 n_i = Anzahl des Haushaltstyps i im Proxel pid

Die Abwassermenge, die bei privaten Haushalten entsteht, wird in der aktuellen *Household*-Version mit dem Trinkwasserbedarf pro Proxel gleichgesetzt.

2.4.1.2 Berechnung der wasserbezogenen Zufriedenheit privater Haushalte

Die wasserbezogene Zufriedenheit ist ein Prozentwert pro Proxel und setzt sich aus der Zufriedenheit mit der Wasserqualität und der Zufriedenheit mit der Wassermenge zusammen. Da die Wasserqualität erst in der zweiten Projektphase in DANUBIA modelliert wird, wird die wasserbezogene Zufriedenheit momentan mit der Zufriedenheit in Bezug auf die Wassermenge gleichgesetzt.

- Die Berechnung der wasserbezogenen Zufriedenheit beruht auf der Annahme, dass die Zufriedenheit der Bevölkerung mit der erhaltenen Wassermenge lediglich von drei Faktoren abhängt:
- ihrem Wasserbedarf,
- der Wassermenge, die sie erhalten hat, und von
- ihrem Subsistenz-Bedarf, also der Menge Wasser, die zum Überleben zwingend notwendig ist.

Die Zufriedenheit mit der Wassermenge ist folgendermaßen implementiert:

1. Wenn die gelieferte Wassermenge kleiner ist als die Subsistenzwassermenge (20 Liter pro Person und Tag), ist die Zufriedenheit minimal.
2. Wenn mehr Wasser geliefert wird, als die Haushalte nachfragen, steigt die Zufriedenheit nicht über den maximal zulässigen Wert.
3. Liegt die gelieferte Wassermenge zwischen dem Subsistenzwasserbedarf und der Nachfrage, so wird ein proportionaler Zusammenhang zwischen gelieferter Wassermenge und Zufriedenheit angenommen.

Diese Zusammenhänge werden in der folgenden Grafik (Abb. 8) visualisiert:

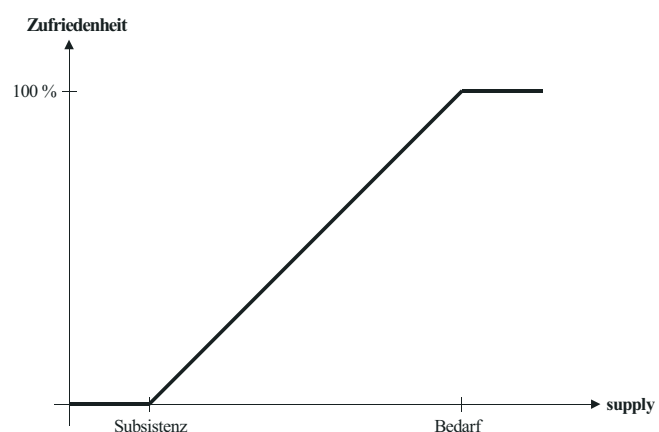


Abb. 8: Zusammenhang von Wassermenge und mengenbezogener Zufriedenheit.

Bei dem proportionalen Zusammenhang gilt, dass die Zufriedenheit durch Multiplikation der Menge an geliefertem Wasser mit einem konstanten Faktor (und Verschieben der Geraden) berechnet wird. Pro Einheit, um welche die gelieferte Wassermenge gesenkt oder erhöht wird, fällt oder steigt die Zufriedenheit in jeweils gleichen Schritten.

Die Einbettung der erläuterten Berechnungsschritte in ein Java-Programm ist Thema des folgenden Abschnitts.

2.4.2 Household als Java-Programm

Im folgenden Abschnitt wird das *Household*-Modell in seiner Implementation beschrieben. Dabei wird zunächst dargestellt, wie das Modell selbst programmiert ist (Abschnitt 2.4.2.1). In Abschnitt 2.4.2.2 wird die Einbindung in das integrierte Modell DANUBIA erläutert.

2.4.2.1 Implementation des Modells

Der in Abschnitt 2.4.1 beschriebene stufenweise Aufbau des *Household*-Modells erleichtert die Umsetzung in ein Java-Programm. Momentan enthält das *Household*-Modell folgende Java-Klassen (Tab. 8):

Tab. 8: Java-Klassen des *Household*-Modells.

Name der Klasse	Aufgabe (neben der Initialisierung des jeweiligen Objekts)
<i>Household</i>	Die Klasse <i>Household</i> beinhaltet u. a. die DANUBIA-Methoden: <ul style="list-style-type: none"> • <i>processInit()</i> zur Initialisierung, • <i>processCompute()</i> zum Start der Berechnung, • <i>processGetData()</i> zur Abfrage der benötigten Daten aus anderen Modellen, • <i>processExternalState()</i> zur Daten-Bereitstellung an Visualisierung und Herausschreiben von Ascii-Files, • <i>processCommit()</i> zur Bereitstellung der von anderen Modellen benötigten Daten.
<i>HouseholdProxel</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Trinkwasserbedarf: Die berechneten Werte pro Haushaltstyp werden pro Proxel für alle Haushaltstypen mit der Anzahl der Haushalte multipliziert und aggregiert. • Die Abwassermenge wird mit dem Trinkwasserbedarf pro Proxel gleich gesetzt. • Die Zufriedenheit wird weitergereicht von <i>OneHousehold</i>.
<i>HouseholdProxelTable</i>	Speichern der In- und Outputdaten von <i>Household</i> ; keine Berechnung
<i>HouseholdInfo</i>	Methoden zur Ausgabe interner Informationen (z.B. importierte Interfaces, Autor...)
<i>OneHousehold</i>	Weiterleitung der Berechnungsschritte aus <i>HouseholdProxel</i> an die unteren Klassen, Rückgabe von Wasserbedarf und wasserbezogener Zufriedenheit.
<i>WaterUseEconomic</i>	Berechnung des Trinkwasserbedarfs unter Berücksichtigung des Wasserpreises und der Preiselastizität. Grundlage ist der Bedarf aus <i>WaterUseDecisions</i> , Einheit m ³ /s pro Haushaltstyp.
<i>WaterUseDecisions</i>	Berechnung des Trinkwasserbedarfs aufgrund von Haushaltsgröße und -einkommen, nach Wassernutzungen differenziert, Einheit m ³ /s und Haushaltstyp.
<i>WaterRelatedSatisfaction</i>	Zusammenfassung der wasserbezogenen Zufriedenheit aus <i>WaterQuantitySatisfaction</i> und <i>WaterQualitySatisfaction</i>
<i>WaterQuantitySatisfaction</i>	Berechnung der Zufriedenheit mit der gelieferten Wassermenge pro Proxel als Vergleich von demand und supply
<i>WaterQualitySatisfaction</i>	Berechnung der Zufriedenheit mit der gelieferten Wasserqualität, Dummy

Die folgende Abbildung 9 zeigt in stark vereinfachter Form die Klassen und Unterpakete des *Household*-Modells, während Abb. 10 die wichtigsten Klassen Modells als UML-Darstellung in höherem Detail abbildet.

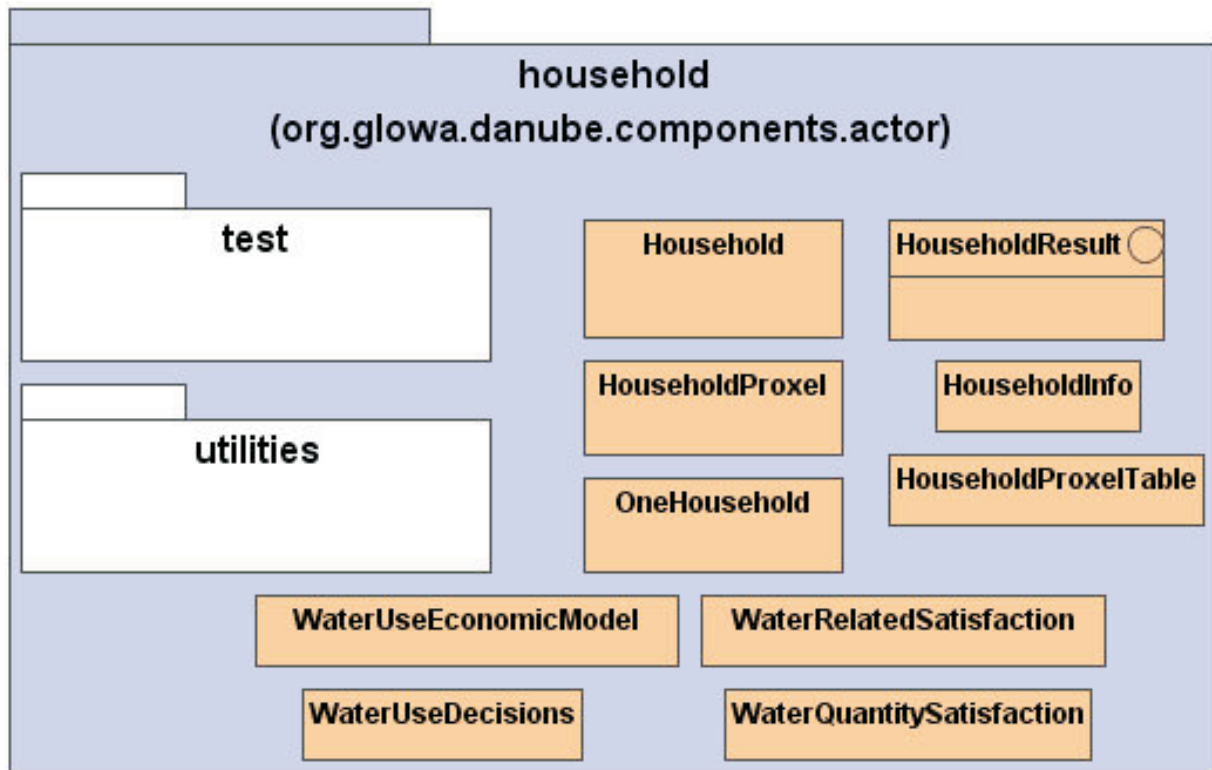


Abb. 9: Klassen und Unterpakete des *Household*-Modells in stark vereinfachter Darstellung.

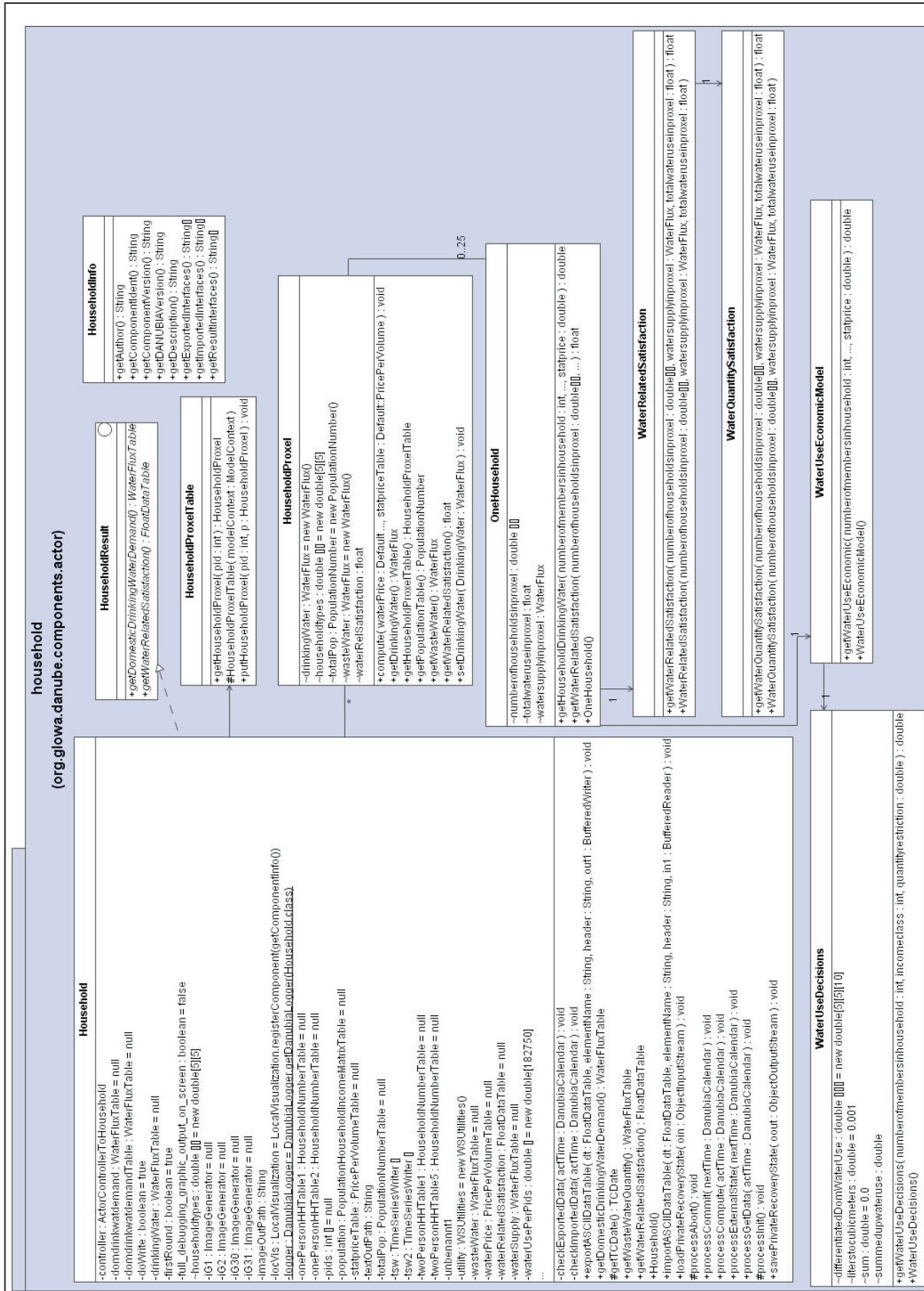


Abb.10 : Klassen innerhalb des *Household-Modells*.

2.4.2.2 Die Einbindung von *Household* in DANUBIA

Die Kommunikation innerhalb des DANUBIA-Systems läuft über die sogenannten Controller. Hierbei handelt es sich um Kommunikationseinheiten, welche die Anfragen einzelner Modelle bündeln und an die angefragten Modelle weiterleiten. Die im Paket *Actors* zusammengefassten Modelle umfassen neben dem *ActorController* die sechs Komponenten *Demography*, *Economy*, *Farming*, *Household*, *Tourist* und *WaterSupply*. Zwischen diesen Komponenten und dem *ActorController* bestehen sog. Interfaces (z.B. *HouseholdToActorController*), über die die Kommunikation vermittelt wird. Die Anfrage eines Modells aus dem *Actors*-Paket wird immer nur an den *ActorController* gestellt, der dann entscheidet, ob die Anfrage inner- oder außerhalb der Gruppe liegt und entsprechend die Anfrage bearbeitet. Alle Daten, die *Household* von beliebigen anderen Komponenten innerhalb und außerhalb des *Actors*-Pakets anfragt, müssen in der Schnittstelle *ActorControllerToHousehold* als Methode bereitgestellt werden. Diese Zusammenhänge sind in der folgenden Abbildung 11 beispielhaft am Zusammenspiel der *Actor*-Komponenten *Household*, *Farming* und der externen Komponente *Groundwater* dargestellt:

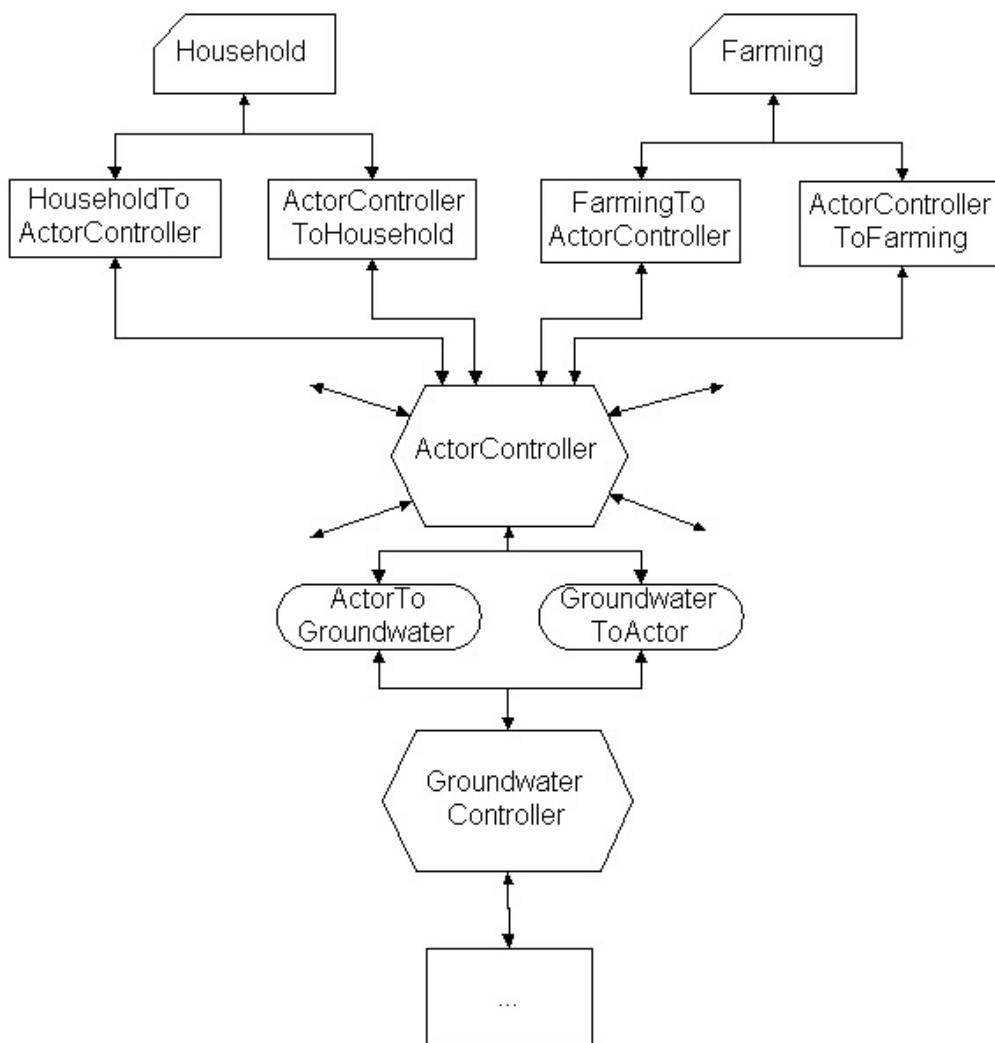


Abb. 11: Kommunikation innerhalb von DANUBIA, exemplarisch dargestellt anhand der Beziehungen der Komponenten *Household* und *Farming* einerseits und der Komponente *Groundwater* andererseits, vermittelt durch den *ActorController*.

Die Interaktion zwischen *Household* und dem *ActorController* ist detaillierter in der folgenden Abbildung 12 dargestellt.

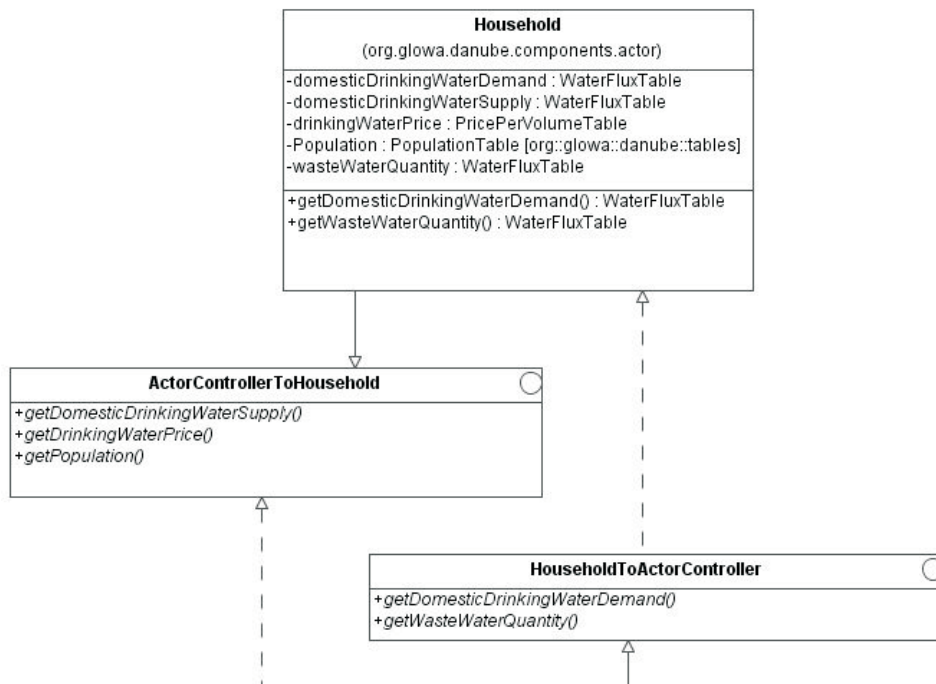


Abb. 12: Von Household übergebene und empfangene Variablen vom und an den ActorController.

Die wasserbezogene Zufriedenheit wird nicht über den ActorController zur Verfügung gestellt, sondern lediglich in den ResultInterfaces (Abb. 13).

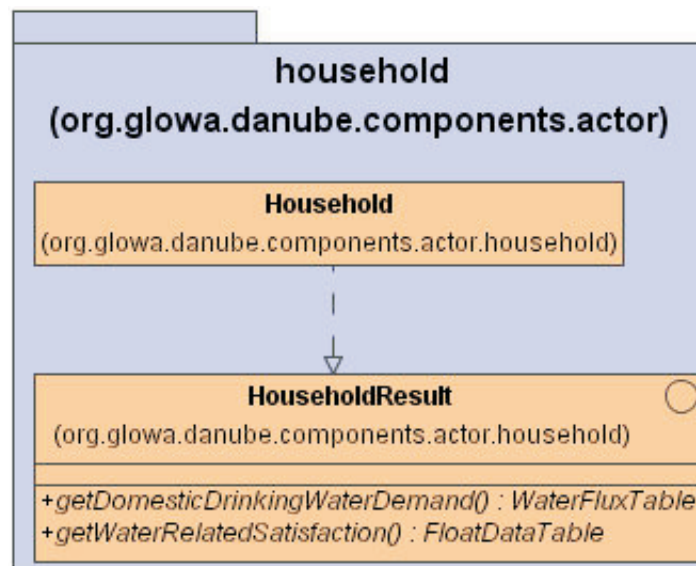


Abb. 13: Von Household an das ResultInterface übergebene Variablen.

Zur Laufzeit enthält das Modell *Household* proxelweise folgende Werte vom Interface *ActorControllerToHousehold*:

- Die Anzahl der Haushalte pro Haushaltstyp (*getPopulation*), als die bereits beschriebene 5x5-Matrix,
- den Wasserpreis (*getDrinkingWaterPrice*) und
- die gelieferte Wassermenge (*getDomesticDrinkingWaterSupply*).

Household gibt in der aktuellen Version die folgenden Werte über den *HouseholdToActorController* an andere Modelle weiter:

- Den Trinkwasserbedarf privater Haushalte (*getDomesticDrinkingWaterDemand*) und
- die Abwassermenge von privaten Haushalten (*getWasteWaterQuantity*).

Zudem stellt das Modell *Household* die wasserbezogene Zufriedenheit zur Verfügung. Da jedoch keines der anderen Modelle diese Zufriedenheit zur Laufzeit abfragt, läuft diese Variable nicht über den *ActorController*, sondern wird lediglich als Ergebnis in den *ResultInterfaces* dargestellt und für den Benutzer von DANUBIA visualisiert.

2.4.3 Validierung

Validierung im Kontext des *Household*-Modells meint den Vergleich der im Modelllauf erzielten Ergebnisse mit den (allerdings statischen) statistischen Daten zum Wasserverbrauch. Im folgenden Abschnitt wird diese Validierung des Modells *Household* erläutert. Dazu werden in 2.4.3.1 zunächst das Vorgehen und einige technischen Aspekte erläutert. In 2.4.3.2 wird die Validität der Berechnungen des Modells, so wie es zum Abschluss der ersten Projektphase vorliegt, diskutiert.

2.4.3.1 Vorgehensweise

Die zentrale Aufgabe bei der Validierung von Modellläufen war die rechnerische und visuelle Überprüfung durch den Vergleich von statistischen Daten mit den Modellergebnissen mittels der Programmsysteme SPSS (Statistik) und ArcView (räumliche Darstellung). Dieser Vergleich fand in erster Linie auf der Fläche statt, d. h. die räumlichen Ergebnisse eines Zeitschritts wurden mit den vorliegenden statistischen Daten verglichen. Zudem wurde die Entwicklung der für den Wasserbedarf relevanten Größen für einzelne Proxel im Zeitverlauf untersucht. Beide Vorgehensweisen werden im Folgenden näher erläutert.

Die Analyse der räumlichen Daten erfolgt im Wesentlichen durch die Auswertung der Ascii-Ergebnis-Dateien, die das Modell in jedem Zeitschritt protokolliert. In diesen Dateien werden für die folgenden Variablen für jedes Proxel folgende Werte festgehalten:

- Wasserbedarf der privaten Haushalte,
- Abwassermenge der privaten Haushalte,
- wasserbezogene Zufriedenheit,
- Wasserpreis,
- Gesamtbevölkerung.

Dabei dienen die Dateien mit Wasserpreis und Gesamtbevölkerung lediglich dem Zweck, die Berechnungen des *Household*-Modells transparent zu machen; das Modell benutzt die Werte als input zur Berechnung, erzeugt oder verändert sie jedoch nicht. Vielmehr werden diese beiden Werte von den Modellen *Economy* bzw. *Demography* geliefert.

Da die statistisch-demographischen Daten für beide Bundesländer nur für 1998 in digital einlesbarem Format vorliegen, wurde die Güte des *Household*-Modells an den Daten dieses Jahres überprüft. Als Referenzgröße für den Wasserverbrauch wurde eine neue Datei erstellt: Grundlage war der statistische Wasserverbrauch pro Person und Tag in den Bundesländern Bayern und Baden-Württemberg. Dieser Wasserverbrauch wurde mit der Anzahl der Einwohner pro Proxel, wie sie von dem Modell *Demography* angegeben wurde, verschnitten. Diese Referenz-Datei beinhaltet also die Eingangswerte, die das Modell erhält (Bevölkerung) und korreliert sie mit den laut Statistik zu erwartenden Werten. Ein alternatives Vorgehen wäre der direkte Vergleich des Wasserverbrauchs pro Proxel mit den vom Modell berechneten Werten. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die Berechnung der

Bevölkerung in *Demography* insgesamt für das Einzugsgebiet zwar korrekt ist, lokal jedoch stärker abweicht. Das gewählte Vorgehen trägt diesem Umstand Rechnung, indem es die tatsächlich in das Modell eingespeiste Bevölkerung berücksichtigt.

Für die räumliche Analyse eines Modelllaufs wurden die Modell-Ergebnisse einerseits und der Referenz-Wasserverbrauch andererseits miteinander verglichen. Dazu wurden in SPSS Abweichungen sowie einfache deskriptive Werte wie Mittelwert, Standardabweichung etc. berechnet. Die in SPSS berechneten Abweichungen wurden in ArcView eingelesen und damit visualisiert. Dadurch war es möglich, die Verteilung von Abweichungen im Untersuchungsgebiet zu analysieren.

Für die Zeitreihen-Analyse werden sogenannte Timeseries verwendet. Die Timeseries sind Textdateien für einzelne Proxel, in denen pro Zeitschritt alle interessierenden Variablen eines Modells festgehalten werden. So kann für ein Proxel die zeitliche Entwicklung nachvollzogen werden. Dazu hat sich die *Actors*-Gruppe auf insgesamt 25 Proxel (5 pro Modell) geeinigt. Diese Timeseries werden von allen Modellen mit den für sie relevanten Werten erzeugt. *Household* gibt folgende Werte aus:

- Datum und Uhrzeit,
- Trinkwasserbedarf privater Haushalte,
- Abwasser, das in privaten Haushalten anfällt,
- wasserbezogene Zufriedenheit der privaten Haushalte,
- Wasserpreis,
- Gesamtbevölkerung,
- Anzahl der Haushalte pro Haushaltstyp.

Für die Analyse eines Modelllaufs werden die Dateien für die einzelnen Proxel in Excel eingelesen und die Verläufe visualisiert. Durch die genaue Aufschlüsselung der Ein- und Ausgangswerte kann im Detail nachvollzogen werden, welche Änderung in den Eingangsdaten zu welchen Veränderungen in den berechneten Werten geführt hat.

2.4.3.2 Validierung der Modellberechnungen

Die Validierung der Modellberechnungen ist zweigeteilt: Zunächst wurde untersucht, ob der Wasserbedarf anhand der Haushaltstypen und der Nutzungsarten richtig berechnet wird, ohne die Preiselastizität zu berücksichtigen. Im zweiten Schritt wurde untersucht, ob die Berücksichtigung der Preiselastizität korrekt funktioniert. Deshalb wird im nächsten Abschnitt zunächst auf die statische Berechnung des Wasserbedarfs ohne Berücksichtigung der Preise eingegangen.

2.4.3.2.1 Statische Berechnung des Wasserbedarfs

In diesem Abschnitt wird dargelegt, wie die Güte des Modells ohne den Einbezug der Preiselastizität ist. Dabei werden die berechneten Ergebnisse des Modells mit dem Stand des Endes der ersten Projektphase betrachtet.

Betrachtet man den Wasserverbrauch im Einzugsgebiet aufgrund von statistischen Daten zu Bevölkerung und Wasserverbrauch, so unterschätzt das Modell mit einem Gesamtbedarf von $16.18\text{m}^3/\text{s}$ den statistischen Wasserbedarf ($17.52\text{m}^3/\text{s}$) um 8%. Wie bereits oben in 2.4.3.1 angesprochen wurde, wird die Validierung aufgrund von Unterschieden in der Bevölkerungsanzahl pro Proxel jedoch nicht aufgrund der statistischen Daten zur Bevölkerung durchgeführt, sondern aufgrund der vom Modell *Demography* gelieferten Daten. Danach überschätzt *Household* den Wasserbedarf der privaten Haushalte im Mittel um 3%. Das Maximum liegt derzeit bei 130% Überschätzung, das Minimum bei 57% Unterschätzung. Die prozentuale Abweichung der Modell-Ergebnisse von den zu erwartenden Werten ist in

der folgenden Abbildung 14 wiedergegeben. Zunächst wird die flächige Verteilung der Abweichung dargestellt:



Abb. 14: Differenz zwischen den Modell-Ergebnissen und den laut Statistik (nur Wasserverbrauch; die Bevölkerungsdaten stammen aus dem Modell *Demography*) zu erwartenden Werten für den Wasserverbrauch privater Haushalte. Rot dargestellt sind die Gebiete, in denen das Modell den Wasserverbrauch unterschätzt, grün sind diejenigen Gebiete, in denen das Modell den statistischen Wert überschätzt.

Es ist zu erkennen, dass das Modell in allen großen Städten sowie einigen Gemeinden den Wasserverbrauch der privaten Haushalte unterschätzt, während es den Verbrauch in einigen ländlichen Gemeinden überschätzt. Exemplarisch wurden jeweils die beiden Gemeinden herausgesucht, in denen das Modell den Wasserverbrauch am stärksten über- oder unterschätzt: In Reit im Winkl und Berchtesgaden unterschätzt das Modell den laut Statistik zu erwartenden Wasserverbrauch am stärksten. Der Wasserverbrauch, der für die beiden Gemeinden statistisch erfasst worden ist, ist extrem hoch (Reit im Winkl: 301 Liter pro Einwohner und Tag; Berchtesgaden: 275 Liter pro Einwohner und Tag). Der Verdacht liegt hier nahe, dass bei der Statistik auch Wasserverbräuche des Tourismus teilweise in die Verbräuche der privaten Haushalte eingegangen sind. In Kleinaitingen und Geslau überschätzt *Household* den Wasserbedarf privater Haushalte am stärksten. Hier sind die in der Statistik als Durchschnitt angegebenen Wasserverbräuche sehr gering (Kleinaitingen: 59 Liter pro Einwohner und Tag; Geslau: 58 Liter pro Einwohner und Tag). Solche geringen Werte können z. B. darauf beruhen, dass es noch viele eigene Brunnen zur Trinkwasserversorgung gibt. Auch solche Spezifika sind im *Household*-Modell nicht erfasst.

Festzuhalten bleibt, dass das *Household*-Modell für sich allein genommen mit einem Fehler von durchschnittlich 3% den Wasserbedarf der privaten Haushalte insgesamt realistisch abbildet, jedoch lokale Besonderheiten nicht berücksichtigt. Weitere Ungenauigkeiten des Wasserverbrauchs zur Laufzeit sind allerdings auf das derzeit die zur Validierung herangezogenen statistischen Bevölkerungsdaten nicht immer sehr genau abbildende Modell *Demography* zurückzuführen.

2.4.3.2.2 Dynamische Berechnung des Wasserverbrauchs

In die Berechnung des Wasserbedarfs privater Haushalte fließt im zweiten Berechnungsschritt die Veränderung des Wasserpreises ein (s. Abschnitt 2.4.1.1). Zur Laufzeit wird der Wasserpreis vom Modell *Economy* eingelesen und mit dem Preis des ersten Zeitschritts verglichen. In der lokalen Testumgebung des Modells wird normalerweise immer dieselbe Datei eingelesen, da im Gegensatz zu einem gekoppelten Lauf dort die anderen Modelle nicht mitrechnen. Die Testumgebung von *Household* wurde jedoch insofern erweitert, als dass im Zeitverlauf verschiedene Dateien für den Wasserpreis eingelesen werden können, um so die Auswirkungen des Preises auf den Wasserbedarf testen zu können. Dazu wurden die ursprünglich verwendeten Daten mit Hilfe von ArcView manipuliert, um Testläufe mit verschiedenen hohen Wasserpreisen durchführen zu können. Es ist für die zweite Projektphase geplant, auch die anderen Eingangsgrößen dynamisch zu gestalten, um z. B. wachsende oder sinkende Bevölkerungszahlen oder eine geänderte Wasserversorgung simulieren zu können. Zur Veranschaulichung der Auswirkung von dynamischen Wasserpreisen wurden für ein beliebiges bewohntes Proxel die Werte Wasserpreis und Trinkwasserbedarf ausgegeben. Die Verläufe der beiden Werte sind in den folgenden Abbildungen 15 und 16 dargestellt.

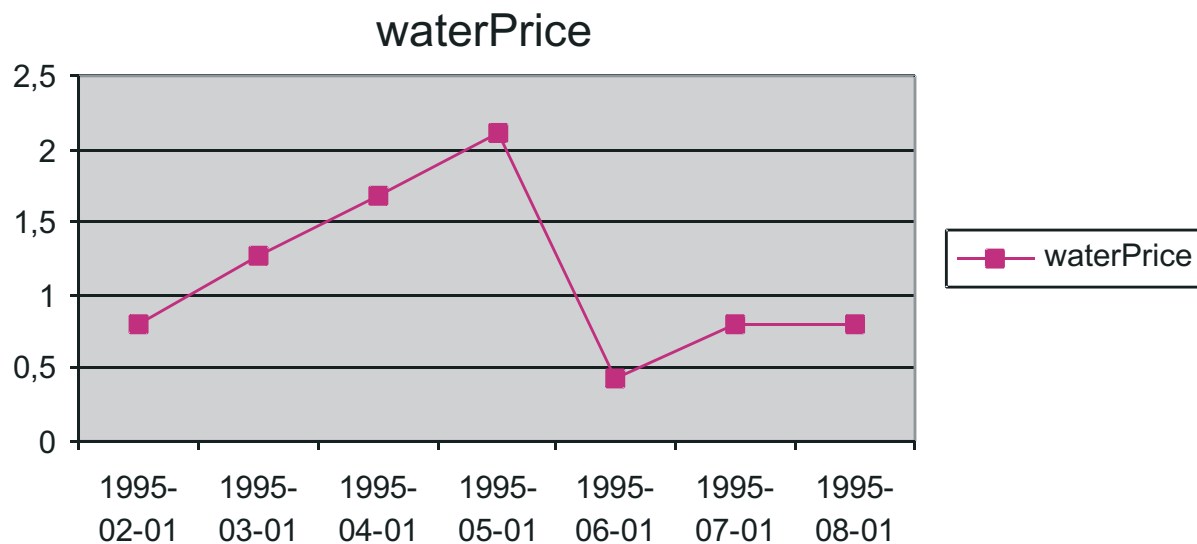


Abb. 15: Zu Testzwecken angenommene Wasserpreis-Entwicklung in €/m³.

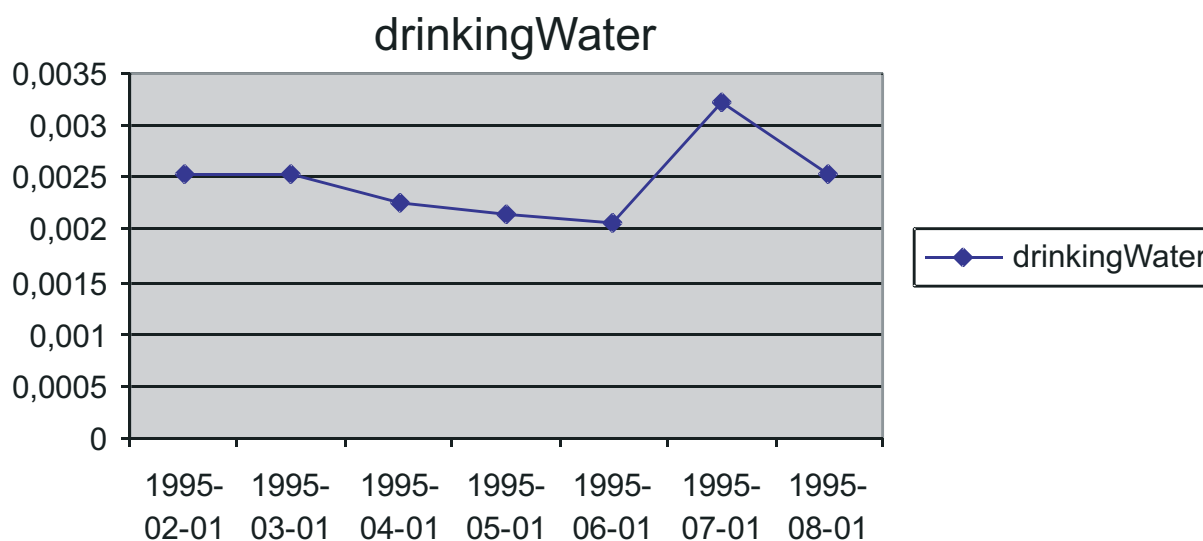


Abb. 16: Entwicklung des Trinkwasserbedarfs privater Haushalte bei sich änderndem Wasserpreis, Trinkwassermenge in m³/s.

Es ist zu erkennen, dass die nachgefragte Menge Trinkwasser stark vom Trinkwasserpreis abhängt; steigende Preise führen im nächsten Zeitschritt zum Absinken des Wasserbedarfs, während sinkende Preise zu einem Anstieg des Wasserbedarfs führen. Damit ist bestätigt worden, dass die Preiselastizität im Modell den Annahmen entsprechend richtig berechnet wird. Zusätzliche Bestätigung dafür wurde durch verschiedene händische Manipulationen des Wasserpreises und der Berechnung des danach zu erwartenden Wasserbedarfs und des Vergleichs mit den Modellergebnissen gefunden.

2.4.3.2.3 Berechnung der wasserbezogenen Zufriedenheit

Die Berechnung der wasserbezogenen Zufriedenheit konnte ebenso wie die der Preiselastizität nicht anhand von statistischen Daten geprüft werden. Vielmehr wurde auch hier lediglich untersucht, ob die vom Modell berechneten Werte mit den zu erwartenden Werten (für das Verfahren vgl. Abschnitt 2.4.1.2) übereinstimmt. Dazu wurde im Modell manuell die Wasserversorgung auf allen Proxeln reduziert und verglichen, ob die berechneten Werte von den erwarteten Werten abwichen. Die Abweichung, die sich ergeben hat, liegt im Bereich von Rundungsfehlern. Deshalb wird auch hier davon ausgegangen, dass das Modell korrekt rechnet.

2.4.3.2.4 Resümé zur Validität des Modells

Aus den beiden vorangegangenen Abschnitten zur Validierung des Modells *Household* kann folgendes Fazit gezogen werden: Das Modell berechnet insgesamt den Wasserbedarf privater Haushalte in einem tolerablen Fehlerbereich (3%). Auf lokaler Ebene zeigen sich z.T. deutliche Abweichungen zu den statistischen Daten. In diesen Fällen weisen die statischen Daten extrem hohe oder niedrige Werte für den Wasserverbrauch auf, die von einem Modell wie *Household* derzeit nicht in dem Auflösungsgrad abgebildet werden können. Das Einbeziehen des Wasserpreises sowie die wasserbezogene Zufriedenheit liefert den Annahmen entsprechend korrekte Werte. Damit kann festgehalten werden, dass das *Household*-Modell plausible Ergebnisse für die Wassernutzung privater Haushalte liefert.

2.5 Der Referenzlauf

Zum Abschluss der ersten Förderphase wurde im März und April 2004 ein gekoppelter Referenzlauf gerechnet, in dem das gesamte DANUBIA-System mit allen Teilmodellen lief. Ziel des Referenzlaufs war es zu zeigen, dass DANUBIA am Ende der ersten Förderphase den Wasserkreislauf des oberen Donaeinzugsgebiets realistisch abbilden kann. Dazu wurden zwei Jahre aus der jüngeren Vergangenheit simuliert: 1995 und 1996.

Das DANUBIA-System beinhaltet zwei unterschiedliche Lieferanten für die Klimadaten: einerseits das Teilmodell *AtmoStations*, das tatsächlich gemessene Daten der Wetterstationen auf das Proxelraster interpoliert, und andererseits das Klimamodell MM5. Die Teilm Modelle liefern prinzipiell das selbe Klima, können jedoch extreme Ereignisse wie Starkregen verschieden gut abbilden, arbeiten intern auf unterschiedlichen räumlichen Skalen etc. Insbesondere die Unterschiede bei den Extremereignissen haben Auswirkungen auf die naturwissenschaftlichen Teilmodelle, die mit den Klimadaten weiterrechnen. Aus diesem Grund wurde der Zeitraum 1995/1996 vom DANUBIA-System zweimal simuliert, einmal mit den Daten aus *AtmoStations* und einmal mit dem Klimamodell MM5.

Die modellierte Wassernutzung privater Haushalte ist zum Ende der ersten Förderphase noch weitestgehend unabhängig von Klimadaten. Lediglich eine ungenügende Trinkwasserversorgung, die durch Klimaänderungen hervorgerufen werden könnte, würde die Modellergebnisse beeinflussen. Dies ist im Referenzlauf jedoch nicht eingetreten. Damit unterscheiden sich die beiden Referenzläufe mit *AtmoStations* bzw. MM5 für das *Household*-Modell nicht. Im Folgenden werden deshalb nur die Modell-Ergebnisse des Referenzlaufs mit *AtmoStations* vorgestellt und diskutiert. Dazu werden zunächst die Ergebnisse für das gesamt-

te Einzugsgebiet im Zeitverlauf dargestellt, anschließend werden einzelne Proxel genauer untersucht.

2.5.1 Ergebnisse des Referenzlaufs mit *AtmoStations* für das Einzugsgebiet

Sowohl die Eingangsdaten als auch die Ergebnisse des *Household*-Modells im Referenzlauf mit *AtmoStations* sind zusammenfassend in Abbildung 17 dargestellt.

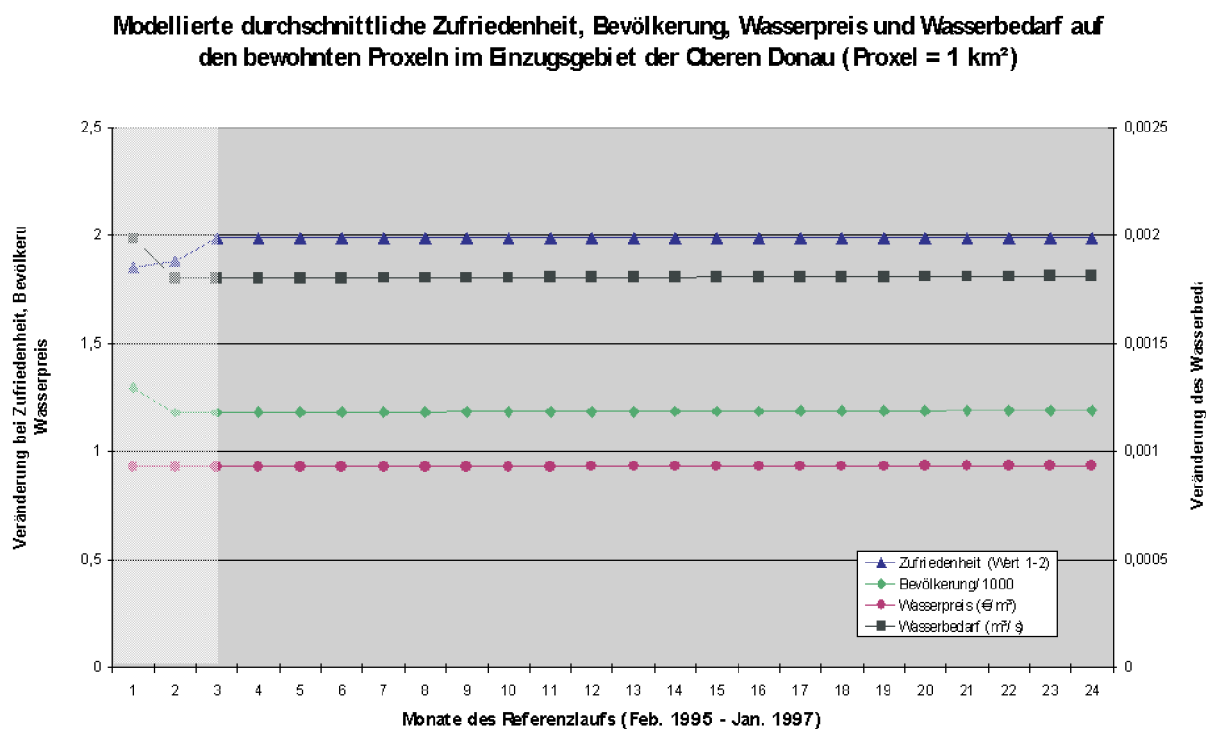


Abb. 17: Input (Bevölkerung, Wasserpreis) und Output-Daten (Zufriedenheit, Wasserbedarf) des *Household*-Modells für die Jahre 1995 und 1996 im Referenzlauf mit *AtmoStations*. Auf der linken Größenachse sind Veränderungen der wasserbezogenen Zufriedenheit, der Bevölkerung sowie des Wasserpreises abgetragen. Auf der rechten Größenachse ist die Veränderung des Wasserbedarfs zu sehen.

Bis zum dritten Monat des Referenzlaufs greift das Modell sowohl auf eigene als auch auf die Initialdatensätze anderer Teilmodelle für seine Berechnungen zurück (siehe hell eingefärbter Bereich im Diagramm). Anschließend rechnet *Household* mit vollständig modellierten Daten. Die deutlich sichtbaren Veränderungen in den ersten Monaten des Referenzlaufs sind auf diese Modellinitialisierung zurückzuführen. Danach steigen die modellierten Werte aller Variablen leicht an, die Veränderungen sind jedoch minimal. Im Einzelnen ergeben sich für die Input- und Output-Daten folgende Ergebnisse:

Das *Household*-Modell berechnet den Wasserbedarf der privaten Haushalte anhand der Eingangsgrößen Bevölkerung (differenziert in verschiedenen Haushaltstypen) und Wasserpreis pro Proxel. Die durchschnittliche Bevölkerung pro Proxel steigt über den Zeitraum des Referenzlaufs von 1.179,9 (März 1995) auf 1.190,4 (Januar 1997) an. Im gesamten Einzugsgebiet leben laut Modell zu Beginn des Referenzlaufs (März 1995) 9.612.224 Personen; im Januar 1997 sind es 9.697.871 Personen (real lt. statistischen Daten: 10.327.695).

Der durchschnittliche Wasserpreis liegt im April 1995 bei 0,929 €/m³ und steigt bis Januar 1997 um weniger als 0,01 € auf 0,933 €/m³ minimal an. Die Menge des gelieferten Trinkwassers der privaten Haushalte wird benötigt, um die wasserbezogene Zufriedenheit zu berechnen. Da sie in beiden Läufen im Wesentlichen dem Wasserbedarf pro Proxel entspricht, wird sie hier nicht diskutiert.

Die wesentliche Output-Variable des *Household*-Modells ist der Wasserbedarf der privaten Haushalte pro Proxel. Er wird in Kubikmeter pro Sekunde (m³/s) angegeben. Über die Mo-

nate des Referenzlaufs hinweg steigt der durchschnittliche Wasserbedarf leicht an. Daraus ergibt sich summiert ein Anstieg des Wasserbedarfs im gesamten Einzugsgebiet von 14,6801m³/s im April 1995 auf 14,7614m³/s im Januar 1997 (realer Wert lt. Statistik: 14,65m³/s).

Weiterhin berechnet *Household* die wasserbezogene Zufriedenheit: Sie hängt von der gelieferten Wassermenge in Relation zur benötigten Wassermenge der Haushalte ab und kann Werte zwischen 1 (= unzufrieden) und 2 (= zufrieden) annehmen. Ab dem fünften Monat greift *Household* ausschließlich auf modellierte Werte anderer Teilmodelle zur Berechnung der Zufriedenheit zurück. Die durchschnittliche Zufriedenheit verändert sich von Juni 1995 (1,99) bis zum Ende des Referenzlaufs im Januar 1997 nicht. 97% der Bevölkerung im Einzugsgebiet sind durchgehend mit der gelieferten Wassermenge zufrieden. Die vermutete Ursache für eine nicht 100%ige modellierte Zufriedenheit liegt in einer vor kurzem erfolgten leichten Erweiterung des Einzugsgebiets aufgrund eines genaueren digitalen Geländemodells (DGM), welche noch nicht vollständig in sämtlichen Teilmodellen berücksichtigt wird und somit zu Unterschieden zwischen der benötigten und der gelieferten Wassermenge in den Randgebieten führt.

2.5.2 Ergebnisse des Referenzlaufs mit *AtmoStations* für ausgewählte Proxel

Im Weiteren werden die Ergebnisse des *Household*-Modells für einzelne Proxel detaillierter vorgestellt. Dazu wird zunächst der Zusammenhang zwischen Bevölkerungsdichte und Wasserbedarf dargestellt (2.5.2.1) und aufgetretene Dynamiken bei der Berechnung des Wasserbedarfs gezeigt (2.5.2.2). In Abschnitt 2.5.2.3 werden für drei ausgewählte Proxel die berechneten Daten mit den statistischen Daten verglichen.

2.5.2.1 Korrelation zwischen Bevölkerungsdichte und Wasserbedarf

Die folgende Abbildung 18 zeigt den von *Household* modellierten Wasserbedarf dreier unterschiedlich dicht besiedelter Proxel im Einzugsgebiet.

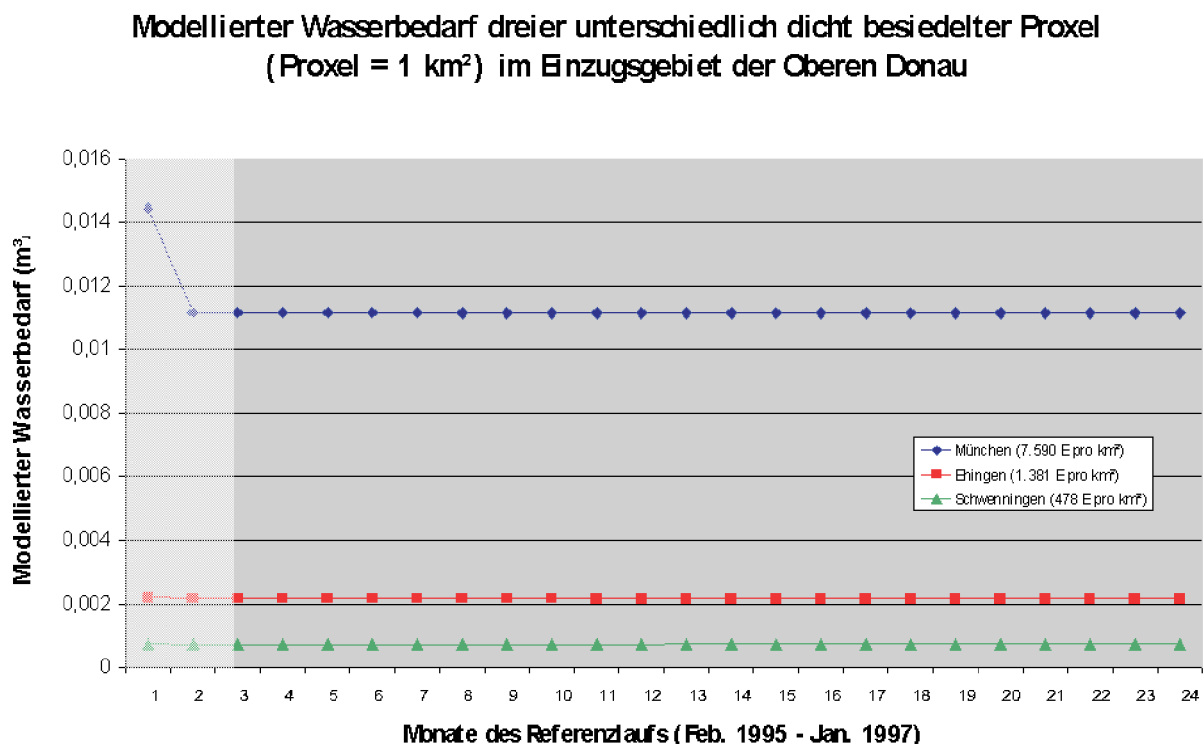


Abb. 18: Modellierter Wasserbedarf im Referenzzeitraum für Proxel aus München, Ehingen und Schweningen.

Das Proxel mit der ID 94185 gehört zum Stadtgebiet München und ist mit durchschnittlich 7.590 Einwohnern das am dichtesten besiedelte Proxel der vom Modell ausgegebenen Zeitreihen. Das Proxel mit der geringsten Siedlungsdichte befindet sich in Schwenningen (ID 70316) und weist durchschnittlich 478 Einwohner auf. Zusätzlich zu diesen beiden Proxeln mit extremer Besiedlungsdichte wurde Proxel 88090 betrachtet, das 1.831 Einwohner aufweist und sich in Ehingen befindet. Aus der Abbildung geht klar hervor, dass der modellierte Wasserbedarf und die Bevölkerungsdichte miteinander korrelieren, das *Household-Modell* also plausibel auf die Eingangsdaten reagiert.

2.5.2.2 Dynamische Berechnung des Wasserbedarfs

Die Reaktion des *Household-Modells* auf die Eingangsdaten kann im Zeitverlauf auf zwei Proxeln gut nachvollzogen werden: Auf dem Proxel 19831 (Gemeinde Grafenwöhr) stieg im Referenzlauf mit steigender Bevölkerung der Wasserbedarf an, während er auf dem Proxel 54279 (Gemeinde Neutraubling) wegen eines steigenden Wasserpreises sank. Abb. 19 zeigt den Zusammenhang zwischen steigender Bevölkerung und steigendem Wasserbedarf:

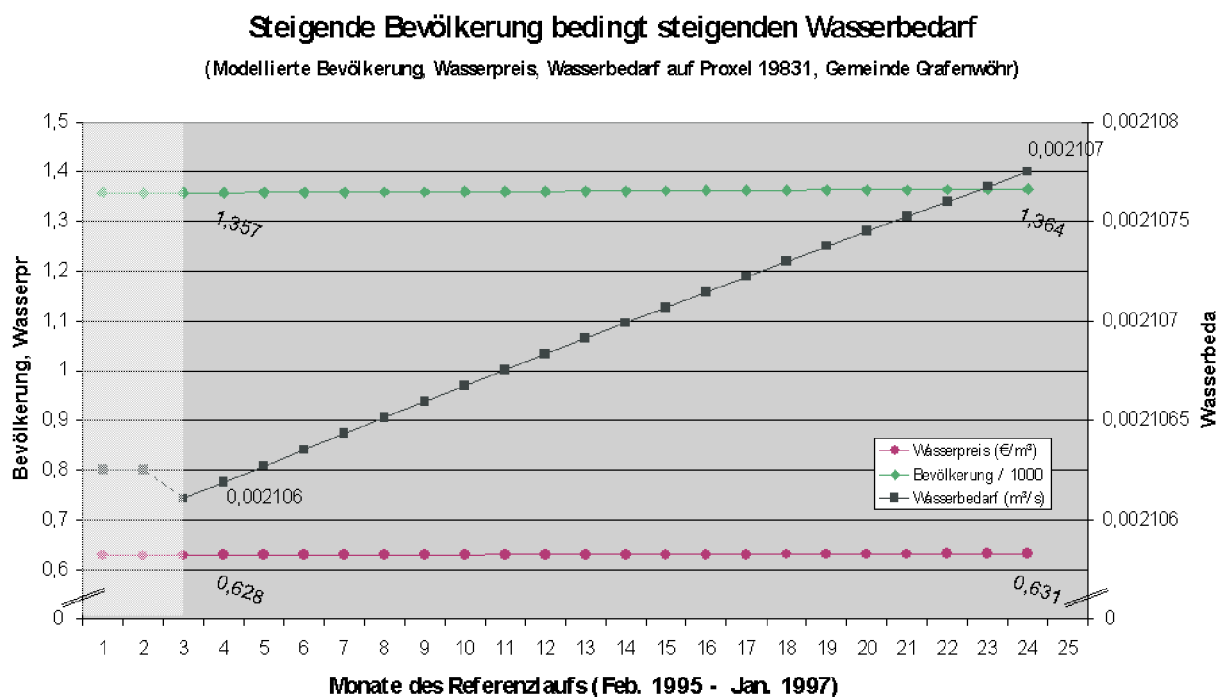


Abb. 19: Modellierter Wasserbedarf, Bevölkerung und Wasserpreis im Referenzzeitraum für das Proxel 19831.

Die Abbildung zeigt, dass die Modellvariable Wasserbedarf sensibel auf Veränderungen der Bevölkerungszahl reagiert. Eine Bevölkerungszunahme geht mit einem entsprechend erhöhten Wasserbedarf einher. Gleichzeitig steigt in dem hier vorliegenden Beispielfall der Wasserpreis auf einem insgesamt niedrigen Niveau marginal an, kann jedoch den Anstieg des Wasserbedarfs aufgrund des Bevölkerungszuwachses nicht kompensieren.

Im Gegensatz dazu führt auf Proxel 54279 der gestiegene Wasserpreis zu einer moderaten Reduktion des Wasserbedarfs, wie Abbildung 20 zeigt

Beide Abbildungen machen deutlich, dass Dynamiken innerhalb des *Household-Modells* vorhanden sind, auch wenn sie aggregiert über das gesamte Einzugsgebiet nicht mehr als solche zu erkennen sind, weil sich die Effekte ausgleichen. Festzustellen bleibt außerdem, dass das *Household-Modell* die Zusammenhänge zwischen den Größen Wasserpreis, Bevölkerung und Wasserbedarf den Annahmen entsprechend richtig abbildet.

Steigender Wasserpreis bedingt sinkenden Wasserbedarf
(Modellierte Bevölkerung, Wasserpreis, Wasserbedarf auf Proxel 54279, Gemeinde Neutraubling)

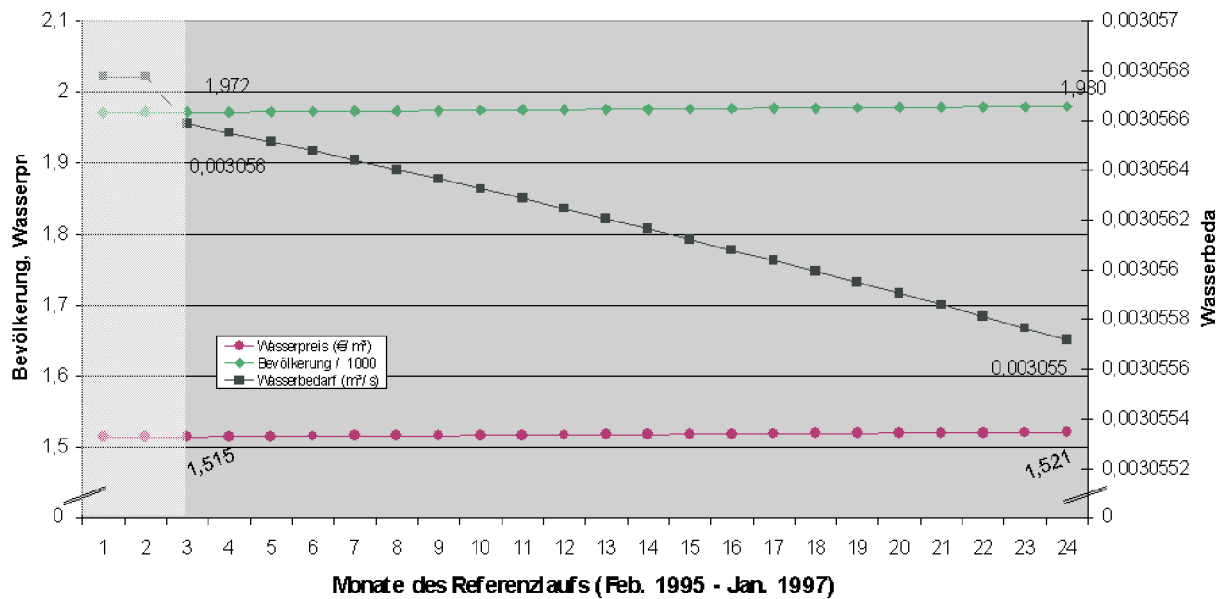


Abb. 20: Modellierter Wasserbedarf, Bevölkerung und Wasserpreis im Referenzzeitraum für das Proxel 54279.

2.5.2.3 Vergleich des berechneten Wasserbedarfs mit statistischen Daten für drei Proxel

Für die Gegenüberstellung des modellierten mit dem statistischen Wasserbedarf wurden die drei bereits oben unter 2.5.2.1 betrachteten Proxel ausgewählt. Die folgenden Abbildungen stellen den vom *Household-Modell* während des Referenzlaufs berechneten Wasserbedarf und den aufgrund statistischer Daten berechneten Wasserbedarf gegenüber. Der Wasserbedarf laut Statistik wurde berechnet anhand der zur Modellzeit gelieferten Bevölkerung pro Proxel und dem statistischen Wasserverbrauch pro Kopf derjenigen Gemeinde, der das Proxel angehört.

Vergleich des modellierten Wasserbedarfs und des statistischen Wasserbedarfs für ein ausgewähltes Proxel (1 km²) in Ehingen

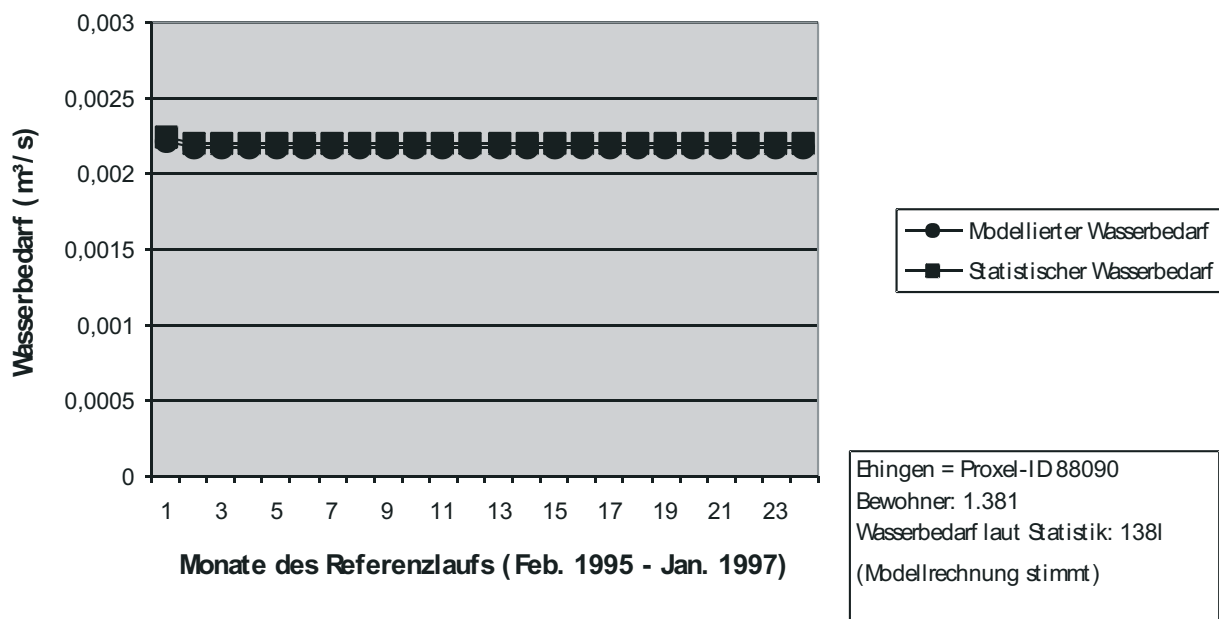


Abb. 21: Modellierter Wasserbedarf und Wasserbedarf laut Statistik für das Proxel 88090.

Auf diesem Proxel in Ehingen (ID 88090) lebten während der Monate des Referenzlaufs durchschnittlich 1.381 Personen, deren Wasserbedarf pro Kopf und Tag laut statistischem Landesamt bei 138 Litern liegt (Abb. 21). Sowohl der modellierte als auch der statistische Wasserbedarf sinken von April 1995 zum Januar 1997 hin leicht ab. Das Absinken des statistischen Wasserbedarfs kommt dadurch zustande, dass die modellierte Bevölkerung, die in diesen Wert eingeht, absinkt. Dabei ist die Differenz zwischen den statistischen und den modellierten Wasserbedarfswerten wie erwartet gering.

Abbildung 22 zeigt den statistischen sowie den modellierten Wasserbedarf für ein ausgewähltes Proxel im Stadtgebiet von München. Auf dem Proxel leben im Zeitraum des Referenzlaufs durchschnittlich 7.950 Personen. Der statistische tägliche Wasserverbrauch für München liegt bei 197,5 Litern pro Person. Es wird deutlich, dass das *Household*-Modell den Wasserbedarf der Haushalte auf diesem Großstadt-Proxel stark unterschätzt.

Vergleich des modellierten Wasserbedarfs und des statistischen Wasserbedarfs für ein ausgewähltes Proxel (1 km²) in München

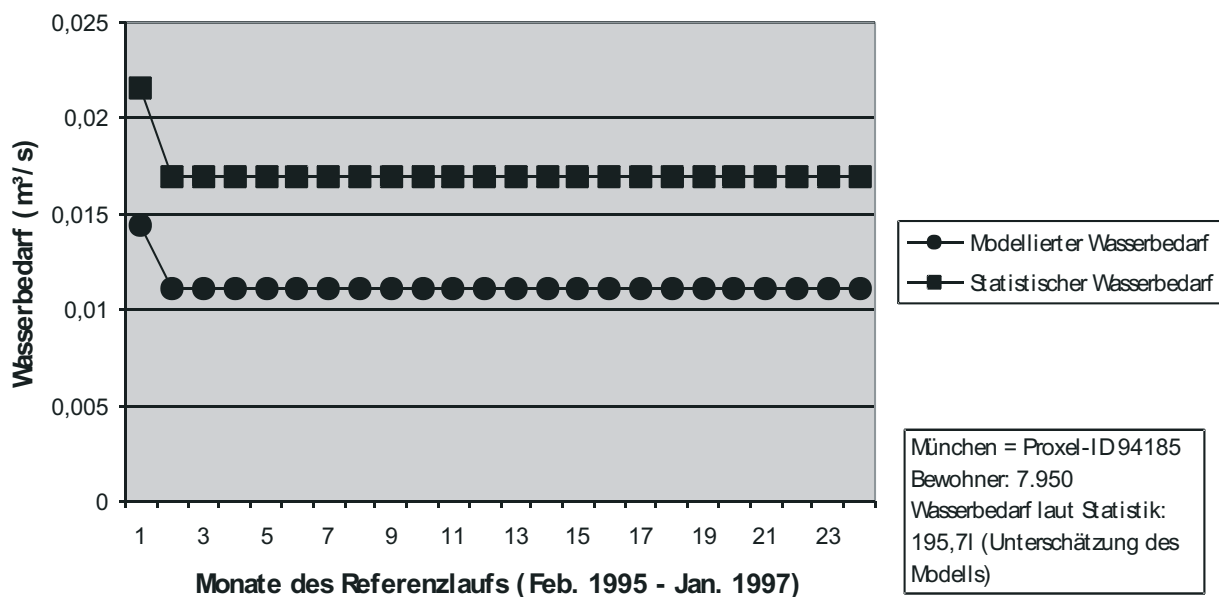


Abb. 22: Modellierter Wasserbedarf und Wasserbedarf laut Statistik für das Proxel 94185.

Abbildung 23 stellt den modellierten und statistischen Wasserbedarf für ein Proxel der Gemeinden Schwenningen dar. Auf dem Proxel leben während der 24 Monate des Referenzlaufs durchschnittlich 478 Personen; der statistische Wasserbedarf für die Bewohner der Gemeinde liegt bei 117 Litern pro Kopf und Tag. Es ist zu erkennen, dass das *Household*-Modell den Wasserverbrauch hier überschätzt.

Vergleich des modellierten Wasserbedarfs und des statistischen Wasserbedarfs für ein ausgewähltes Proxel (1 km²) in Schwenningen

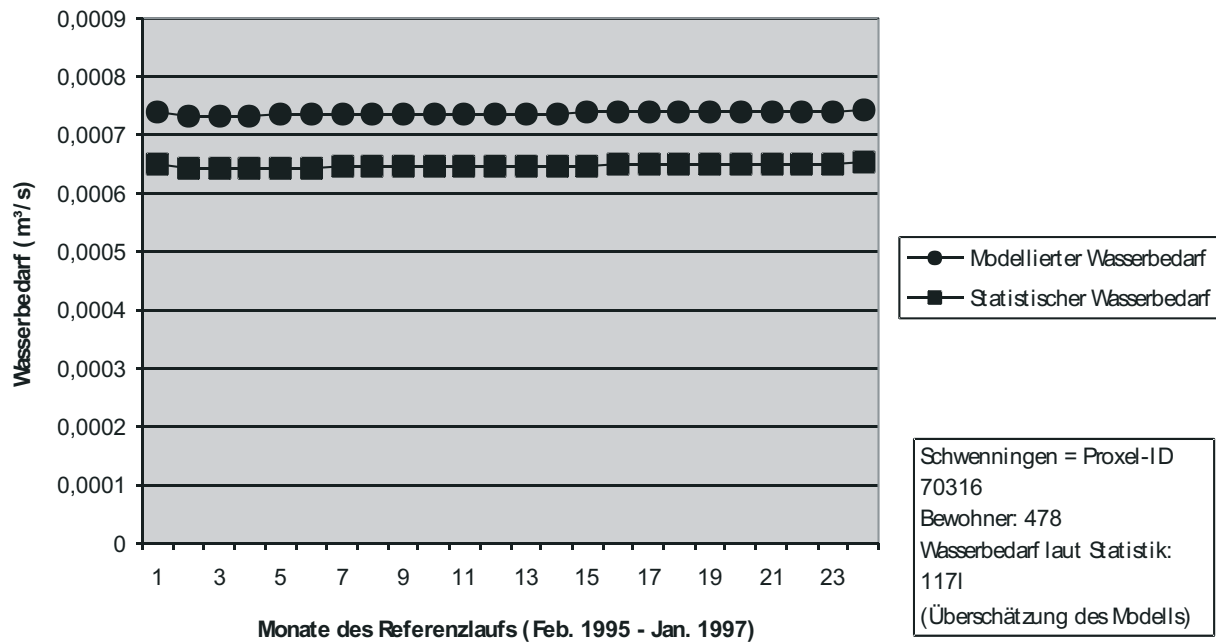


Abb. 23: Modellierter Wasserbedarf und Wasserbedarf laut Statistik für das Proxel 70316.

Insgesamt zeigt sich bei der Betrachtung der drei Proxel, dass das *Household*-Modell den Wasserbedarf des stark besiedelten Münchner Proxels unterschätzt, während es den Bedarf im ländlichen Schwenningen überschätzt. Dieses Ergebnis bestätigt die in Kapitel 2.4.3.2.1 bereits beschriebene flächige Validierung des Modells: Dort wurde festgestellt, dass das *Household*-Modell tendenziell in großen Städten den Wasserverbrauch der privaten Haushalte unterschätzt, während es den Verbrauch in einigen ländlichen Gemeinden überschätzt.

2.5.3 Bewertung des Referenzlaufs

Die insgesamt sehr guten Ergebnisse des Referenzlaufs des *Household*-Modells über das betrachtete Einzugsgebiet hinweg werden im Detail eingeschränkt durch systematische Abweichungen in Abhängigkeit von der Gemeindegröße. Für die zweite Förderphase gilt es daher zu prüfen, ob die Zugehörigkeit zu einer Gemeinde als weiterer Faktor in die Modellberechnung aufgenommen werden soll, um die regionalen Unterschiede, so wie sie in den statistischen Daten erkennbar sind, genauer abbilden zu können.

Die implementierten funktionale Zusammenhänge wie Preiselastizität und Akzeptanz funktionieren erwartungs- und theoriegemäß. Allerdings ließen sich bislang für das betrachtete Gebiet keine einheitlichen, geschweige denn allseits anerkannten empirischen Werte dafür finden. Dem wird in kommenden eigenen Datenerhebungen weiter nachzugehen sein.

3. Zusammenfassung

Der folgende Abschnitt fasst den Entwicklungsstand der im Teilprojekt Umweltpsychologie erfolgten Arbeiten des ersten Projektzeitraums und des *Household*-Modells zusammen und diskutiert ihn bewertend. Nachfolgend findet ein Ausblick auf die zweite Förderphase des Projekts statt.

3.1 Stand und Bewertung der Entwicklung

Als Fazit der ersten Förderphase kann für das Teilprojekt Umweltpsychologie festgehalten werden, dass im Disziplinären wie im Integrativen die meisten Ziele erreicht wurden und mit den qualitativ neuen inhaltlichen wie technischen Herausforderungen und vorhandenen Projektrisiken erfolgreich umgegangen werden konnte. Es existiert ein lauffähiges, räumlich explizites und zeitlich dynamisches mit den Naturwissenschaften voll integriertes Modell der Haushalts-Trinkwassernutzung und der Zufriedenheit. Es erfolgte eine kooperative Erarbeitung von Lösungen von Kopplungs- und Schnittstellenproblemen (also beispielsweise die klare Abgrenzung von Zuständigkeiten, die Definition der Übergabeparameter, die alle Disziplinen umfassende Spezifikation von Zeit und Raum im Modell (s.u.), die Identifikation von Rückkopplungen zwischen den Modellen etc) und deren konsistente Beschreibung in UML. Für die Psychologie stelle die Arbeit auf dem Raum eine besondere Herausforderung sowohl in theoretischer als auch in operativer Hinsicht dar. Es waren also einerseits die theoretischen Konzepte zu erarbeiten als andererseits auch die Daten auf der räumlichen, darüber hinaus noch gerasterten Darstellung neu zu erheben bzw. zu übertragen. Die sehr hohe Anzahl der Akteure (3 Mio. Haushalte im Endprodukt), auch ungewöhnlich selbst für ein umweltpsychologisches Akteurmodell, erwies sich bislang als relativ problemlos, Performanzprobleme könnten sich aber bei der Weiterentwicklung der tiefen Akteure einstellen. Als fehlend herausgestellt hat sich im DANUBIA-Verbund die Behandlung des Wasserbedarfs von öffentlichen Gebäuden und anderer Dienstleister. Dem Manko wird in der folgenden Projektphase ein Dienstleistungs-Wasserbedarfsmodell entgegengestellt. Eine diesbezügliche Datenrecherche wurde bereits abgeschlossen.

Es kann eine positive Bilanz der federführenden Arbeiten des Teilprojekts Umweltpsychologie in der *Actor*-Arbeitsgruppe gezogen werden. An der Integration aller verhaltenswissenschaftlichen Projekte in DANUBIA wird jedoch auch in der zweiten Phase intensiv gearbeitet werden müssen. Das umweltpsychologische Teilprojekt wird auch hier die vorhandenen Vorkenntnisse in der Akteurmodellierung einbringen. Die *Actor*-Arbeitsgruppe wird die Funktion haben, bei den gegebenen gegenseitigen Abhängigkeiten der verhaltenswissenschaftlichen Modelle untereinander einen möglichst konsistenten Entwicklungsstand zu fördern. Weiterhin ist dafür zu sorgen, dass DANUBIA eine Performanzsteigerung erfährt, um auch langfristige Veränderungen - zentral für die Verhaltenswissenschaften - simulieren zu können.

Selbstkritisch ist anzumerken, dass es nicht gelang, in der Phase des Umzugs des Teilprojekts und des Neuaufbaus des Lehrstuhls in Kassel eine perfekte personelle Kontinuität sicherzustellen. Diesem Umstand ist es zu verdanken, dass der Prototyp des tiefen Akteurs für die verhaltenswissenschaftlichen Teilprojekte nicht in Angriff genommen werden konnte. In die zweite Phase geht die Kasseler Arbeitsgruppe aber mit voller Besetzung, so dass dieser Punkt als einer der Schwerpunkte der zweiten Förderphase behandelt werden kann.

3.2 Ausblick auf die zweite Förderphase

Neben der Ausweitung in die österreichischen sowie schweizerischen Anteile des Einzugsgebiets erfolgt eine Ausdifferenzierung bzw. eine Vertiefung des *Household*-Modells in folgenden vier Schwerpunkten, denen je ein Mitarbeiter bzw. eine Mitarbeiterin zugeordnet ist:

- a) Wahrnehmung und Bewertung von überwiegend schleichenden Risiken (hinsichtlich Wasserqualität, Wassermenge) sowie deren Akzeptanz. In diesem Zusammenhang wird auch dem Umstand Rechnung getragen, dass die gemeinsame Modellierung von Risikoabschätzung und Verhalten in *Household* derzeit noch nicht gelungen ist, ein Umstand, auf den auch von den Gutachtern hingewiesen wurde.
- b) Ausbreitung von technischen und Verhaltensinnovationen über Raum und Milieus der Haushalte. Dies bildet eine erweiterte Grundlage für die Modellierung von Wel-

len der Verhaltensänderung, der Akzeptanz von neuen Technologien und Maßnahmen, wichtig für die sog. Interventionsszenarien.

- c) Entwicklung einer tiefen Akteurarchitektur als weiter vereinheitlichendes Konstrukt für die verhaltenswissenschaftlichen Modelle. Dies erfordert von allen beteiligten Disziplinen der *Actor*-Arbeitsgruppe eine weitere konzeptuelle wie technische Weiterentwicklung von dem in den jeweiligen Disziplinen Übliche. Entsprechend wird auch eine weitergehende Neukonzeptualisierung des *Household*-Modells erfolgen. Hier bestehen jedoch Synergien mit weiteren Aktivitäten des Lehrstuhls.
- d) Konzeptuelle und praktische Weiterentwicklung des Modells in Hinblick auf gewohnheitsmäßiges und wenig bewusstes („unterschwelliges“) Verhalten. Hier ist auch an dessen Abhängigkeit von der Temperatur oder Jahresverläufen zu denken.

Des Weiteren werden eigene sowie in Auftrag gegebene Untersuchungen eine erweiterte Datengrundlage für die vorgesehenen Arbeiten bereitstellen. Eine wichtige neue Datengrundlage für das Teilprojekt ist bereits mit der Verfügbarkeit räumlich aufgelöster SINUS-Milieus durch die Fa. Microm geschaffen.

Weitere Aktivitäten beziehen sich auf den Einbezug von Wasserqualität in das *Household*-Modell und die Ergänzung um ein Modell des Dienstleistungs-Wasserverbrauchs. Das Teilprojekt Umweltpsychologie wird sich an Szenarioentwurf und -modellierung sowie am Stakeholder-Prozess beteiligen. Dieser verspricht einen unmittelbaren Nutzen für das Projekt, da er eine perspektivisch neue Diskussion der Modellergebnisse sowie das Einholen von Expertenmeinungen zu möglicherweise notwendigen Ergänzungen des Modells ermöglicht. Ebenfalls beteiligt sich das Teilprojekt Umweltpsychologie am Prozess der Qualitätssicherung hinsichtlich systematischer Fehlerverfolgung im gekoppelten System und der Verbesserung der Bedienbarkeit von DANUBIA.

4. Literatur

- AJZEN, I. und FISHBEIN, M. (1980): Understanding attitudes and predicting social behavior. Englewood-Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- AJZEN, I. und MADDEN, T.J. (1986): Prediction of goal directed behavior: attitudes, intentions, and perceived behavioural control. *Journal of Experimental Social Psychology*, 22, pp. 453-474.
- AJZEN, I. (1985): From intentions to actions: A theory of planned behavior. In: KUHL, J. and BECKMANN, J. (Eds.), *Action control. From cognition to behavior*, Berlin: Springer. pp. 11-39.
- HAAN, G. de, LANTERMANN, E.-D., LINNEWEBER, V. und REUSSWIG, F. (Eds.) (2001): Typenbildung in der sozialwissenschaftlichen Umweltforschung. Opladen: Leske + Budrich.
- LALLANA, C., KRINNER, W., ESTRELA, T., NIXON, S., LEONARD, J. und BERLAND, J.M. (2001): Sustainable water use in Europe, part 2: Demand management, Environmental Issue Report No. 19 der European Environment Agency, pdf-Dokument, http://reports.eea.eu.int/Environmental_Issues_No_19/en/Environmental_Issues_No_19.pdf, Copenhagen.
- MELTER, D. (1998): Eine ökonomische Analyse der Wasserver- und Wasserentsorgung der Stadt Zürich, Diskussionspapier der Universität Konstanz, Heidelberg.
- OECD (1999): Towards more sustainable household consumption patterns, indicators to measure progress, Env/epoc/SE(98)2/FINAL, pdf-Dokument, http://demos.neuron.gr/evonymos/greek/nea_10.pdf

- PFAFFENBERGER, W. und SCHEELE, U. (1989): Struktur, Niveau und Determinanten der Wasserpreise in der öffentlichen Wasserversorgung der Bundesrepublik Deutschland, Diskussionsbeitrag Nr. V-46-89, Universität Oldenburg.
- SCHMITZ, M. (1999): Wasserpreise in Europa – Fakten, Hintergründe und Konsequenzen, html-Dokument.
- SCHUSTER, K. (2000). Lebensstil und Akzeptanz von Naturschutz. Heidelberg: Asanger.
- SCHUSTER, K., BROOKSHIRE, D., BURNES, H.S., CHERMAK, J.M., KRAUSE, K. (2002): Western Urban Water Demand, *Natural Resource Journal*, 42 (4), S. 1-26.

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. Organisation

1.1 Stellenbesetzung

Das Teilprojekt hat am 1. Oktober 2001 seine Arbeit aufgenommen. Es wurden folgende Stellen besetzt:

PD Dr. Sylvia Herrmann: Projektintegration, Landschaftsaspekte, GIS (10.2001-02.2004)
Dr. Tatjana Krimly: Projektverwaltung, UML, Datenbeschaffung (10.2001-01.2004)
Dipl. Ing. sc. agr. Thomas Winter: Ökonomische Modellierung (10.2001-11.2003)
Dipl. Geogr. Johannes Max: GIS, EDV, technische Modellintegration (11.2001-04.2002)
Dipl. Geogr. Hartmut Schuster: GIS, EDV, technische Modellintegration (05.2002-02.2004)
Dipl. Ing. sc. agr. Sabine Hug: Ökonomische Modellierung (05.2003-11.2003)
M.Sc. Marcelo Encalada Zárate: JAVA Programmierung, Entwicklung (06.2003- 12.2003)

1.2 Anschaffungen

Es wurden Software (UML-Lizenz, GIS-Lizenz, GAMS-Lizenz, J-Builder) und im Bereich Daten die "Agrarstatistischen Daten" von Bayern (1995 und 1999) und teilweise für Österreich (1995 und 1999) beschafft. Bisher sind die Daten aus Österreich noch nicht vollständig geliefert worden. Weiterhin wurden analoge und digitale Luftbilder für das Testgebiet Donauried und das Arbeitsgebiet Rottal (geplantes Testgebiet) beschafft. Zudem wurden ein Rechner mit Bildschirm sowie ein Server zur Datensicherung angeschafft.

1.3 Webdarstellung und Vorträge

1.3.1 Vorträge

- Herrmann, S.: Präsentation des Forschungskonzepts von GLOWA-Danube im Rahmen des Umweltstudiengangs der Universität Südböhmen in „eske Budějovice, 13.11.2001.
- Herrmann, S. (2001): Präsentation des Forschungskonzepts von GLOWA-Danube und des agrarökonomischen Teilprojektes während eines Forschungsaufenthaltes an der University of East Anglia, Norwich, in der School of Environmental Sciences, 29.11. 2001.

- Herrmann, S. (2001): Präsentation des Forschungskonzepts von GLOWA-Danube und des agrarökonomischen Teilprojektes in der Manchester University, Center of Urban and Regional Ecology (eingeladener Vortrag zur Präsentation aktueller deutscher Forschungsbeispiele im Bereich Wasser), 2001.
- Herrmann, S. (2002): Wie kommt die Landwirtschaft aufs Proxel? 12. ÖGA Jahrestagung Armut und Reichtum im ländlichen Raum, Wien, 26.-27.09.2002.
- Herrmann, S., Schuster, H. und Encalada Zárate, M. (2003): Disaggregation agrarökonomischer Daten als Grundvoraussetzung für eine disziplinübergreifende Modellkopplung – Das Beispiel GLOWA-Danube. Posterpräsentation auf der 43. Jahrestagung der GEWISOLA, Stuttgart Hohenheim, 29.09.-01.10.2003.
- Krimly, T., Schuster, H., Winter, T. und Dabbert, S. (2003): GLOWA-Danube – Landwirtschaft: Agrarökonomische Modellierung der Landnutzung. Forschungsvorhaben GLOWA-Danube, Drittes Informationstreffen, Stuttgart, 13.05.2003.
- Krimly, T., Winter, T. und Dabbert, S. (2003): Agrarökonomische Modellierung der Landnutzung im Einzugsgebiet der Oberen Donau zur Integration in das Entscheidungsunterstützungssystem DANUBIA. 43. Jahrestagung der GEWISOLA, Stuttgart Hohenheim, 29.09.-01.10.2003.
- Krimly, T., Herrmann, S., Schuster, H., Winter, T. und Dabbert, S. (2003): Integrative techniques to connect economic, social and natural science aspects for sustainable water use. Poster presentation on the 25th International Conference of Agricultural Economists. Durban, Southafrica, 16.-22.8.2003.
- Schuster, H., Zárate, M. und Herrmann, S. (2003): GIS-basiertes Werkzeug zur räumlichen Disaggregation statistischer Daten – erste Ergebnisse. Posterpräsentation auf dem 15. Symposium für Angewandte Geographische Informationsverarbeitung (AGIT), Salzburg, 02.-04.07.2003.
- Schuster, H., Zárate, M., Krimly, T. und Herrmann, S. (2004): Räumliche Disaggregation statistischer Daten unter Verwendung Geographischer Informationssysteme – erste Ergebnisse. 9. Internationales Symposium zur Rolle der Informations- und Kommunikationstechnologien in der und für die räumliche Planung sowie zu den Wechselwirkungen zwischen realem und virtuellem Raum, CORP 2004, GEO MULTIMEDIA 04, Wien, 24.-27.02.2004.
- Vogel, T. (2002): Präsentation des Forschungskonzeptes von GLOWA-Danube auf einem Poster im Rahmen des Hohenheimer Umwelttages zum Thema „Globale Klimaänderung und Ernährungssicherung“, 25.01.2002.
- Vogel, T. (2002): Präsentation des Forschungs- und Integrationskonzeptes von GLOWA-Danube beim Sonderforschungsbereich „The Uplands Program“, Universität Hohenheim, 17.05.2002.
- Vogel, T., Herrmann, S., Dabbert, S., Winter, T. and Schuster, H. (2002): Socio economic analysis of agricultural water and land use. Poster presentation, Xth Congress of the European Association of Agricultural Economists (EAAE) Exploring Diversity in the European Agri-Food System, Zaragoza, Spain, 28.-31.08.2002.

1.4 Veröffentlichungen, Diplom- und Doktorarbeiten

1.4.1 Veröffentlichungen

DABBERT, S., HERRMANN, S., VOGEL, T., WINTER, T. und SCHUSTER, H. (2002): Socio economic analysis and modelling of agricultural water demands and land use. In: BMBF (Hrsg.): German Programme on Global Change in the Hydrological Cycle Status Report 2002 (Phase I, 2000-2003), S. 55.

- KRIMLY, T., WINTER, T. und DABBERT, S. (2004): Agrarökonomische Modellierung der Landnutzung im Einzugsgebiet der Oberen Donau zur Integration in das Entscheidungsunterstützungssystem DANUBIA. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Bd. 39, 2004, S. 191-199.
- MAUSER, W., LUDWIG, R., STOLZ, R., VOGEL, T., DABBERT, S., WINTER, T. und HERRMANN, S. (2002): Integrative Techniken, Szenarien und Strategien zum Globalen Wandel des Wasserkreislaufs am Beispiel des Einzugsgebietes der oberen Donau (Glowa-Danube). In: BÖCKER, R. und SANDHAGE-HOFMANN, A. (Hrsg): Globale Klimaerwärmung und Ernährungssicherung. Hohenheimer Umwelttagung 34. Günter Heimbach, 2002, S. 157-163.
- VOGEL, T., HERRMANN, S., DABBERT, S. und WINTER, T. (2002): Socio economic analysis and modelling of agricultural water and land use. Proceedings of the 10th EAAE Congress "Exploring Biodiversity in the European Agri-Food System", 28-31 August 2002, Zaragoza, Spain.

1.4.2 Laufende und abgeschlossene Diplom- und Doktorarbeiten:

Doktorarbeiten

Thomas Winter: Ein nichtlineares räumlich differenziertes Agrarsektormodell für das Einzugsgebiet der Oberen Donau (laufend).

Diplomarbeiten

Marcus Wagner: Analyse der historischen Entwicklung der Landwirtschaft in ausgewählten Gemeinden Niederbayerns – agrarstrukturelle, einzelbetriebliche und standörtliche Indikatoren. 2002.

Diana Albrecht: Konzept für eine integrierte naturschutzorientierte Entwicklung von landwirtschaftlich beeinflussten Fließgewässern am Beispiel der Rott/Niederbayern (2004)

Internetpräsentation:

Eine Präsentation des agrarökonomischen Teils des GLOWA-Danube-Projekts der Universität Hohenheim im Internet existiert unter: <http://www.uni-hohenheim.de/i410a/~glowa/>.

2. Problemstellung und Zielsetzung

Änderungen der Landnutzung sind in der Regel eindeutig auf menschliche Eingriffe zurückzuführen und dabei ganz wesentlich auf landwirtschaftliche Aktivitäten. Aufgrund zahlreicher Interaktionen beeinflusst die Landwirtschaft wichtige Umweltparameter in positiver als auch in negativer Richtung (VERBURG et al. 2000). Die Interaktionen zwischen landwirtschaftlicher Nutzung und der Ressource Wasser sind vielfältig. Die Höhe der Düngung hat einen Einfluss auf die Grundwasserqualität. Die Verteilung der landwirtschaftlichen Flächennutzung (Acker- bzw. Grünland) und der Anbau unterschiedlicher Kulturarten beeinflussen die Grundwasserneubildung sowie andere hydrologische Faktoren. Andererseits ist die landwirtschaftliche Nutzung von natürlichen Standortfaktoren wie z.B. dem Niederschlag abhängig.

Die Tatsache, dass beinahe 55% des Einzugsgebietes der Oberen Donau landwirtschaftlich genutzt werden (STOLZ und MAUSER 2001) und im Einzugsgebiet rund 28% aller landwirtschaftlichen Betriebe in Deutschland anzutreffen sind (STATISTISCHES LANDESAMT BAYERN 2001), sowie die engen Beziehungen zwischen der Landnutzung und dem Wasserkreislauf weisen auf die wichtige Rolle der Landwirtschaft im Konzept von "GLOWA-Danube" hin. 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, Klima) zu liefern. Die Interaktionen zwischen hydrologischen Anforderungen und ökonomischen und politischen Bedingungen in der Landwirtschaft im Donau-Einzugsgebiet sollen analysiert und bewertet werden. Hierfür wurde ein prozessorientiertes agrarökonomisches Sektormodell entwickelt, das diese Interaktionen abbildet und wichtige Parameter über weitere Module mit anderen Teilmodellen austauscht. Dieses Modell liefert einen wichtigen Baustein für das integrierte Entscheidungsunterstützungssystem DANUBIA für eine nachhaltiges Wassermanagement.

3. Schaffung der Datengrundlage

3.1 Agrarstatistik

Die Basisdaten für das Optimierungsmodell, wie die Landnutzung, Erträge landwirtschaftlicher Kulturen, sowie die Daten zur Tierhaltung wurden bei den statistischen Landesämtern beschafft. Die landkreisbasierten Daten aus Baden-Württemberg und Bayern wurden für das ökonomische Modell aufbereitet. Des Weiteren wurden Daten über die Teilnahmebereitschaft von Landwirten an den Agrar-Umweltprogrammen beschafft. Da die Daten für die bayrischen und baden-württembergischen Landkreise nicht digital vorlagen, war eine wissenschaftliche Hilfskraft mit der Dateneingabe befasst. Diese Daten liegen für Österreich bisher noch nicht vollständig vor. Für das Disaggregations-Tool zur Verteilung der landkreisbezogenen Ergebnisse des Agrarsektormodells im Raum wurden zudem Daten der Gemeindestatistik heran gezogen.

Für die Definition der Produktionsverfahren im ökonomischen Modell wurden die Datensammlungen für die Betriebsplanung verwendet, wobei regionale Besonderheiten berücksichtigt wurden.

3.2 Raumbezogene Daten

Als Basis für die räumlich konkrete Zuordnung der landkreisbezogenen Informationen mittels regelwerkbasierendem Disaggregations-Tool wurden unterschiedlichste Datensätze benötigt. Als zentraler Datensatz fungierte die Landnutzungsklassifizierung nach CORINE, die vom Zentralprojekt zur Verfügung gestellt wurde. Für Farming ergeben sich aufgrund der CORINE Daten große Probleme, die in Kapitel 6.2 näher erläutert werden. Bei Vorliegen einer zufriedenstellenden Klassifikation auf der Basis von Satellitendaten durch das Zentralprojekt soll dieser Datensatz daher ersetzt werden. Um die Verteilung der verschiedenen Ackerkulturen und von Grünland beim Anbau einzelner Kulturarten gewährleisten zu können, werden zusätzliche Datensätze im GIS vorgehalten. Dazu gehören Informationen zur Produktivität der landwirtschaftlichen Nutzflächen (Ertragsmesszahl), zur Topographie und zur Meereshöhe. Die beiden letzt genannten wurden ebenfalls vom Zentralprojekt auf Proxelbasis zur Verfügung gestellt. Die Ertragsmesszahl konnte von der Bayrischen Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur bezogen werden.

Da die Daten des Agrarsektormodells auf Landkreisebene ausgegeben werden, war eine definierte Zuordnung der einzelnen Proxel zu den Landkreisen im Projektgebiet erforderlich. Diese wurde durch eine Datenbanktabellenverknüpfung und Verschneidung der entsprechenden Karte mit den Grenzen der administrativen Einheiten erreicht.

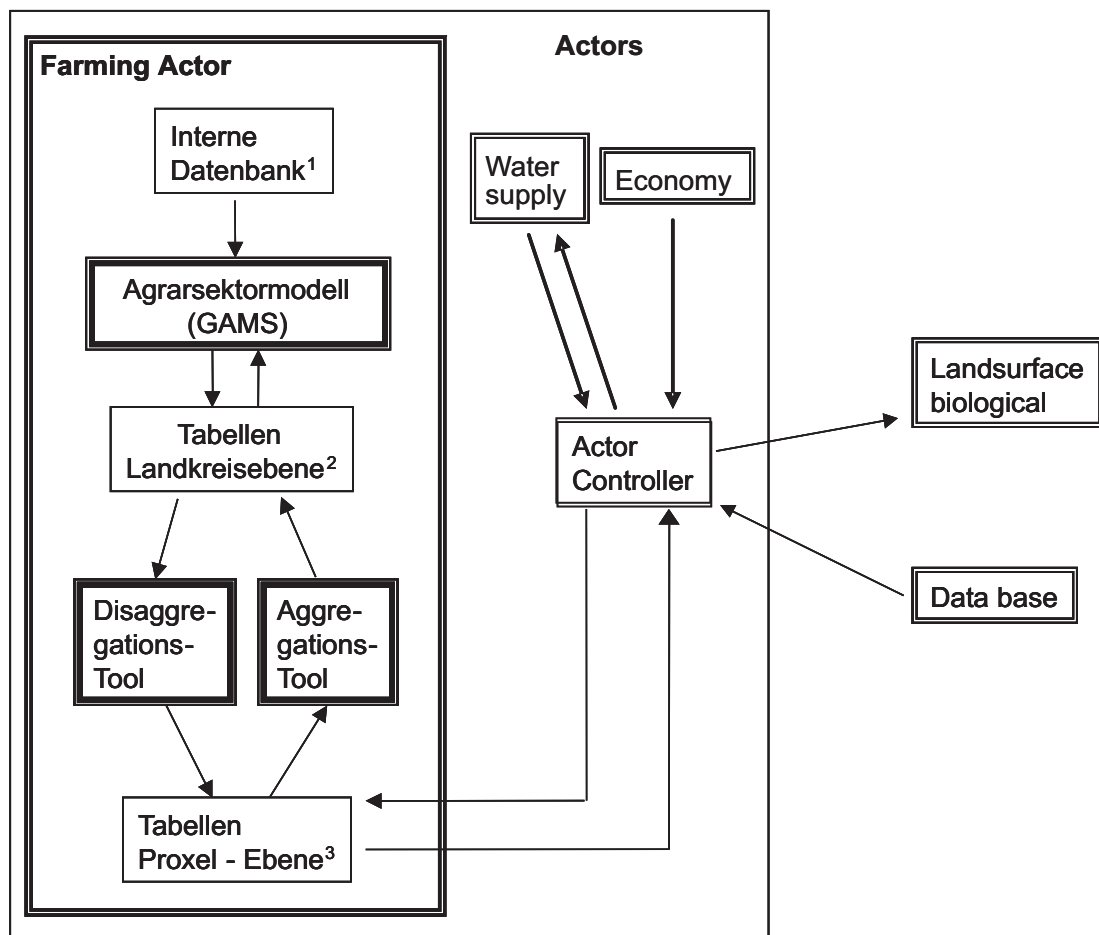
3.3 Agrarstrukturelle und landnutzungsbezogene Landkreischarakterisierung

Um die regionalen und kleinräumigeren Unterschiede in der landwirtschaftlichen Produktion berücksichtigen zu können, wurden zusätzlich zu den oben genannten generellen Informationen zur Produktivität Daten aus Befragungen gewonnen. Grundlage dafür stellt eine regelbasierte Ableitung von Landnutzungskategorien in Abhängigkeit von landschaftlichen und standörtlichen Faktoren sowie Informationen über die historische agrarstrukturelle Entwicklung dar. Neben den Daten zur Produktivität der Böden, Topographie, Phänologie und Klima wird auch Expertenwissen aus den unterschiedlichen Regionen verwendet. Dazu wurden Experten aus der Landwirtschaftsverwaltung, der Bodenordnung sowie der Landschaftsplanung zu ihren Kenntnissen über verallgemeinerbare Regeln zur Landnutzungsentwicklung und Bewirtschaftungszuordnung befragt.

Weiterhin wurde für die Region Niederbayern im Rahmen einer Diplomarbeit zum Thema: „Historische Entwicklung der Agrarstruktur in ausgewählten Gemeinden Niederbayerns in Abhängigkeit von Landschaftsausstattung und Agrarstruktur“ geschrieben. In dieser Arbeit wurde die landwirtschaftliche Entwicklung in drei sehr unterschiedlichen Gemeinden seit 1950 miteinander verglichen. Dabei stand die Frage nach den Hintergründen der starken Entwicklungsunterschiede im Mittelpunkt der Betrachtung. In einem zweiten Schritt wurden dann für die jeweiligen Gemeinden denkbare zukünftige Entwicklungen abgeleitet, die als Grundlage für Szenarien dienen können. Eine weitere Diplomarbeit beschäftigte sich mit dem Thema: „Entwicklung eines Auennutzungskonzeptes unter Berücksichtigung konkurrierender Flächenansprüche - dargestellt am Beispiel der Rott, Niederbayern“. Ziel war es, integrative Leitbilder für eine zukünftige (umweltverträgliche) Nutzung der Rottal-Aue zu entwickeln. Dabei lag ein besonderer Schwerpunkt auf der Integration bzw. dem Ausgleich zwischen den Ansprüchen der Wasserwirtschaft, des Naturschutzes und der Landwirtschaft. Damit liegen nun erste Ansätze für geeignete Maßnahmenbündel für die zukünftige Auennutzung unter Berücksichtigung unterschiedlicher Nutzeransprüche vor.

4. Modellarchitektur des Teilprojekts Agrarökonomie

Der so genannte Farming Actor besteht aus verschiedenen Modulen (Einzelmodellen), die miteinander gekoppelt sind. Der Farming Actor ist in die so genannte Actors Gruppe integriert, der auch die anderen wirtschafts- und sozialwissenschaftlichen Teilprojekte Economy, Tourism, Water Supply und Household angehören. Über den Actor Controller können die Actors mit anderen Partnern in DANUBIA kommunizieren (s. Abb. 1).



¹ Enthält diejenigen Daten für die Beschreibung des Agrarsektors, die für eine bestimmte Zeiteinheit konstant bleiben (z.B. Produktionsverfahren); Textfiles

² Tabellen, mit den Ergebnissen zur Landnutzung, etc. auf Kreisebene

³ Tabellen mit den Ergebnissen zur Landnutzung, etc. auf Proxelebene

Abb. 1: Generelle Modellarchitektur des Teilprojekts Agrarökonomie.

Ein Modul innerhalb des Farming Actors ist das Agrarsektormodell, das durch eine direkt gekoppelte interne Datenbank gespeist wird. Das agrarökonomische Modell wurde entwickelt, um Informationen über die Auswirkungen unterschiedlicher Zukunftsszenarien auf das landwirtschaftliche Einkommen, die Landnutzung und den Wasserverbrauch in der Landwirtschaft abbilden zu können. Zur Optimierung der landwirtschaftlichen Produktion wird der Ansatz der Positiven Quadratischen Programmierung (PQP) verwendet (HOWITT 1995; RÖHM 2001; RÖHM und DABBERT 2003). Das Modell wurde als landkreisbasiertes, komparativ statisches regionales Optimierungsmodell entwickelt. Zielfunktion ist die Maximierung des landwirtschaftlichen Einkommens. Die Modellergebnisse zeigen die optimale Verteilung der Landnutzung auf Landkreisebene (vgl. Abb. 2).

Da in DANUBIA Daten, die über definierte Schnittstellen aus anderen Modellen bereitgestellt werden, nur auf Proxelebene übergeben werden, ist es notwendig, diese auf die Landkreisebene des agrarökonomischen Modells zu aggregieren. Hierfür wird ein Aggregations-Tool benötigt, das dem agrarökonomischen Modell vorgeschaltet ist.

Das Disaggregations-Tool (HERRMANN et al. 2003) verteilt die landkreisbasierten Ergebnisse des Regionalmodells auf die in DANUBIA geforderte Proxelebene. Es beinhaltet eine regelwerkbasierte interne Entscheidungsmatrix. Das Regelwerk wurde mit Hilfe räumlicher Information und Expertenwissen, das in Befragungen gewonnen wurde (z.B. Standortbedingungen, Fruchtfolgen, Betriebsstruktur) entwickelt. Diesen Regeln folgend werden die durchschnittlichen Werte der Anbauflächen der einzelnen Kulturarten in den Landkrei-

sen auf diejenigen Proxel des Einzugsgebietes verteilt, die von der allgemeinen Projektdatenbank als Proxel mit landwirtschaftlicher Nutzfläche gekennzeichnet sind. Die Ergebnisse der Disaggregation werden sowohl mit einem Geografischen Informationssystem visualisiert als auch über den Actor Controller an andere Modelle in DANUBIA weitergegeben.

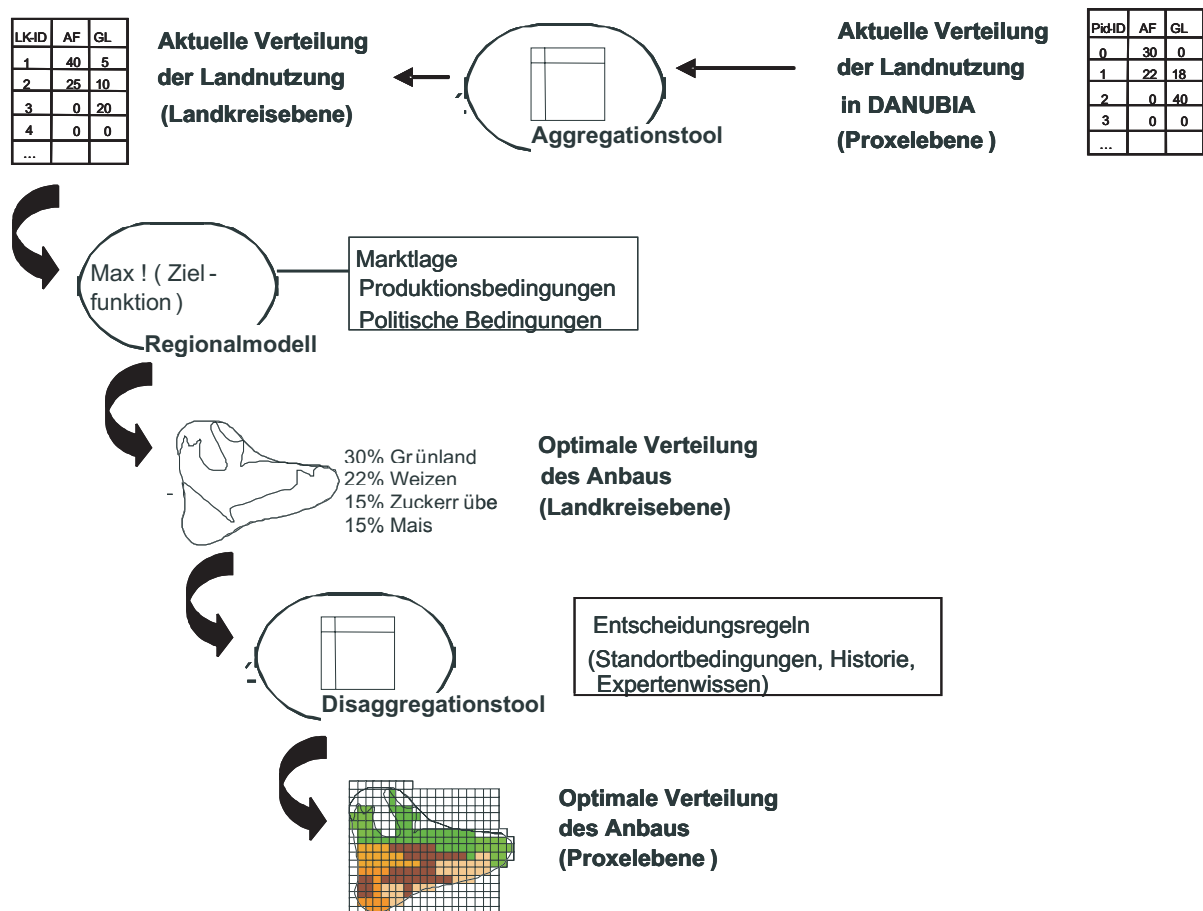


Abb. 2: Methodisches Konzept des Modells für die Landwirtschaft in DANUBIA.

Ein ganz wesentlicher Aspekt war außerdem, das gesamte Farming Modell recoveryfähig zu machen. Das bedeutet, dass es möglich sein muss, das Modell bei einem Absturz des Gesamtsystems DANUBIA in einem mehrjährigen Lauf in dem betreffenden Jahr, in dem der Absturz stattfindet, wieder starten zu können. Es muss also gewährleistet werden dass die hierfür notwendigen berechneten Eingangsdaten für den Fall eines Absturzes vorgehalten werden. Dies wurde für das Farming Modell durchgeführt und in der Testumgebung getestet.

4.1 Modellspezifikationen

Agrarsektormodell und Aggregations-Tool

Das dem Agrarsektormodell vorgeschaltete Aggregations-Tool wurde in Java programmiert. Die Acker- und Grünlandfläche aus der Datenbank, sowie der durchschnittliche Wasserpreis und die verfügbare Trinkwassermenge, die von anderen Modellen des Verbunds für jedes Proxel geliefert werden, werden über das Aggregations-Tool für jeden Regionshof (Landkreis) errechnet und automatisch in das agrarökonomische Modell eingelesen. Das Konzept der Aggregation für die Ackerfläche, das Grünland, die Wasserversorgung und den Wasserpreis zeigt Abbildung 3.

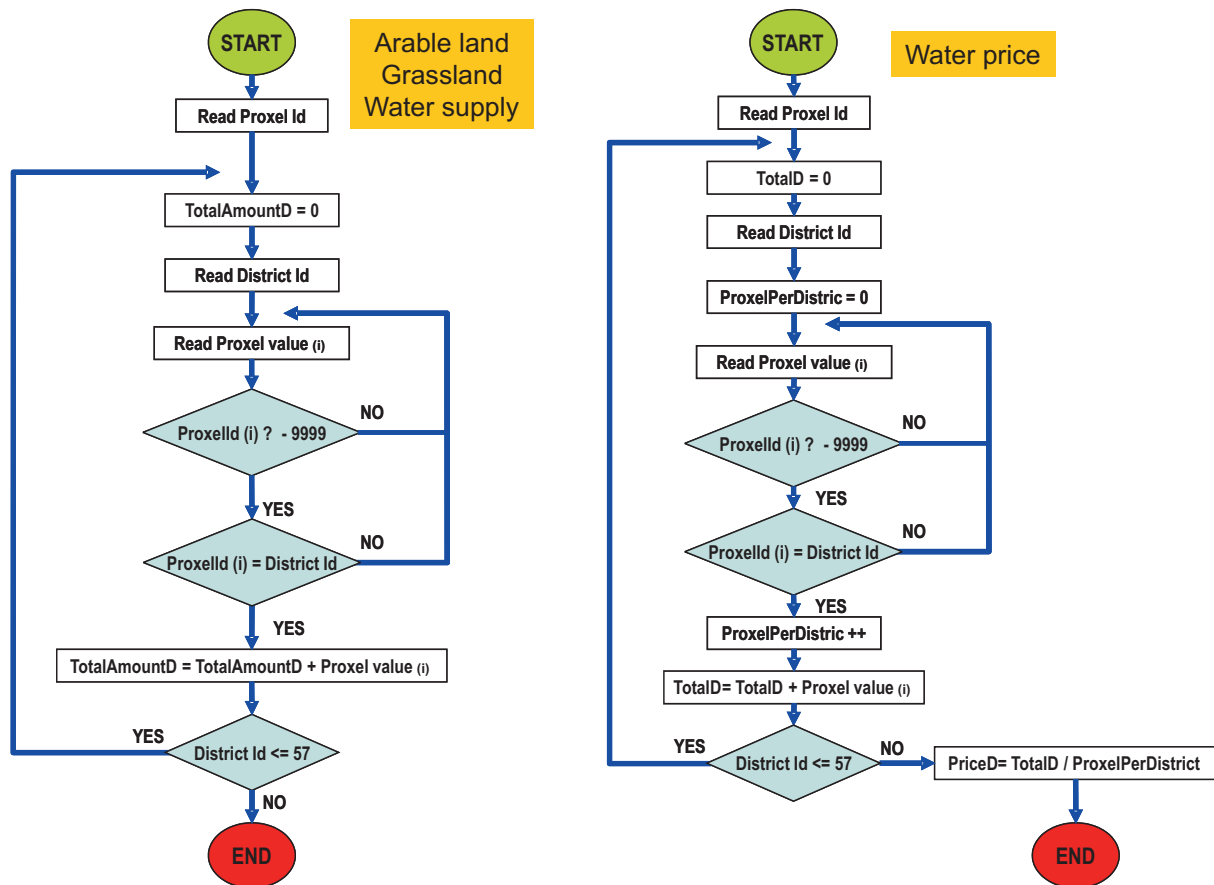


Abb. 3: Konzept des Aggregationstools.

Für die ökonomische Analyse wurde ein prozessorientiertes nichtlineares Angebotsmodell auf Basis von Regionshöfen erstellt, das Informationen zu Veränderungen des landwirtschaftlichen Einkommens, der Landnutzung und dem Wasserverbrauch durch unterschiedliche Szenarien liefert. Die Betriebe des Untersuchungsgebietes wurden zu Regionshöfen auf Landkreisebene zusammengefasst. Zwar können in Regionshofmodellen einzelbetriebliche Besonderheiten häufig nur unzureichend berücksichtigt werden, da jedoch mit dem Modell vordergründig räumlich differenzierte Aussagen über die Landnutzung innerhalb DANUBIAS getätigt werden sollen, kann dies als geeignete Aggregationsmethode angesehen werden. Die Bildung von Regionshöfen für die einzelnen Landkreise des Untersuchungsgebietes nutzt zudem den Vorteil, dass auf dieser Ebene ausreichend statistische Daten zur Verfügung stehen, was insbesondere in Hinsicht auf die Übertragbarkeit des Ansatzes auf andere Wassereinzugsgebiete von Bedeutung ist. Das Modell soll zur kurz- und mittelfristigen Analyse eingesetzt werden, weswegen als ökonomische Erfolgsgröße (Zielfunktion) der Deckungsbeitrag der Landwirte maximiert wird:

$$GDB = \sum_r \left\{ \begin{aligned} & \sum_i \left[X_{i,r} * \left(Y_{i,r} * p_i + PR_{i,r} - vk_i * \left(\beta_{i,r} + \delta_{i,r} * X_{i,r} \right) \right) \right] \\ & + \sum_i \left[XT_{i,r} * \left(y_{i,r} * p_{i,r} + PR_{i,r} - vk_i * \left(\beta_{i,r} + \delta_{i,r} * XT_{i,r} \right) \right) \right] \end{aligned} \right\}$$

- mit:
- GDB = Gesamtdeckungsbeitrag (Zielfunktionswert)
 - $X_{i,r}$ = Anbauumfang (X) der Kultur i in Landkreis r
 - $Y_{i,r}$ = Ertrag (y) der Kultur i in Landkreis r
 - $P_{i,r}$ = Preis (p) der Kultur i in Landkreis r
 - $PR_{i,r}$ = Prämie (PR) der Kultur i in Landkreis r
 - vk_i = variable Kosten (vk) der Kultur i

$X_{t,r}$	= Anzahl (XT) der Tierart t in Landkreis r
$Y_{t,r}$	= Leistung (y) der Tierart t in Landkreis r
$P_{t,r}$	= Preis (p) der Tierart t in Landkreis r
$PR_{t,r}$	= Prämie (PR) der Tierart t in Landkreis r
V_{kt}	= variable Kosten (vk) der Tierart t
$\beta_{i,r}, \delta_{i,r}, \delta_{t,r}$	= Koeffizienten

Die nichtlinearen Kalibrierungsparameter der Zielfunktionen wurden nach der Methode der Positiven Quadratischen Programmierung (PQP) aus den Dualwerten eines entsprechenden linearen Programmierungsmodells des Basisjahres und der Produktionsumfänge berechnet. Die nichtlineare Deckungsbeitragsfunktion der pflanzlichen Produktionsverfahren beinhaltet sowohl nichtlineare Kostenfunktionen als auch eine nichtlineare Ertragsfunktion. Beide führen mit Ausdehnung des Produktionsumfanges zu sinkenden Grenzdeckungsbeiträgen. Für Kulturen mit mehreren Intensitätsvarianten wurde die Kalibrierungsmethode von RÖHM und DABBERT (2003) verwendet. Bei dieser Methode wird das lineare Programmierungsmodell modifiziert, indem sowohl für die einzelne Kultur als auch für jede Intensitätsstufe eine Begrenzung eingeführt wird. Die Kalibrierungsmethode führt zu relativ kleinen Kalibrierungstermen bei den Intensitätsstufen, während die Kalibrierungsterme bei den Kulturen deutlich größer sind.

Die wesentlichen Nebenbedingungen des nichtlinearen Modells, wie z.B. die Begrenzung der vorhandenen Acker- und Grünlandflächen oder Quotenregelungen für bestimmte Produkte, sind im Folgenden aufgeführt:

Ackerflächenbegrenzung

$$\sum_{af,v} X(af, v, r) \leq \sum_{af,v} aspfv(af, v, r)$$

mit:	$X(af, v, r)$	= Anbauumfang (X) der Ackerkultur af mit der Produktionsintensität v in Landkreis r
	$aspv(af, v, r)$	= Beobachteter Anbauumfang einzelner Ackerkulturen in der Ausgangssituation

Grünlandflächenbegrenzung

$$\sum_{gl,v} X(gl, v, r) \leq \sum_{gl,v} aspfv(gl, v, r)$$

mit:	$X(gl, v, r)$	= Anbauumfang (X) des Grünlandverfahrens gl mit der Produktionsintensität v in Landkreis r
	$aspv(gl, v, r)$	= Beobachteter Anbauumfang einzelner Grünlandverfahren in der Ausgangssituation

Bestandesergänzung in der Tierhaltung

$$\sum_t XT(t, r) * Bestandsänderung(zpt, t) \geq 0$$

mit:	$XT(t, r)$	= Anzahl (XT) der Tierart t in Landkreis r
	zpt	= Zwischenprodukte in der Tierhaltung (z.B. aufgezogenes Kalb, Fresser)

Futterrationsgleichung

$$XT(t,r) * \text{Nährstoffbedarf}(t,f) \leq \sum_f [\text{Nährinhaltfut}(f,in) * XF(f,t,r)]$$

- mit: f = Futtermittel
 in = definierte Nährstoffe der Futtermittel
 Nährinhaltfut = Nährstoffgehalt der Futtermittel
 $XF(f,t,r)$ = Fütterungsaktivität

Futterbilanz

$$\sum_t XF(f,t,r) \leq \sum_{fpf,v} \left[X(fpf,v,r) * \begin{pmatrix} yivf(fpf,v,r) + (etragi(fpf,r) + etragv(fpf,v,r)) \\ - etragip(fpf,r) * Xges(fpf,r) \\ - etragvp(fpf,v,r) * X(fpf,v,r) \\ * fut(fpf,f) \end{pmatrix} + XZ(f,r) \right]$$

- mit: fpf = Kulturen, die an Tiere verfüttert werden können
 $etragi(fpf,r)$,
 $etragv(fpf,v,r)$,
 $etragip(fpf,r)$,
 $etragvp(fpf,v,r)$ = Kalibrierungsterme
 $yivf(fpf,v,r)$ = Ertrag des Futtermittels nach Abzug der Konservierungsverluste
 $fut(fpf,f)$ = Futterverlustkoeffizient in Abhängigkeit vom der Kultur und Konservierungsverfahren
 $XZ(f,r)$ = Zukaufsaktivität von marktgängigen Futtermittel
 $Xges(fpf,v,r)$ = Anbauumfang einer Kultur (ohne Berücksichtigung der Anbauintensität)

Quotenbegrenzungen

$$\text{regionale_Quote}(qi,r) \geq \sum_v \left[X(qi,v,r) * \begin{pmatrix} yiv(qi,v,r) + etragi(qi,r) + etragv(qi,v,r) \\ - etragip(qi,r) * Xges(qi,r) \\ - etragvp(qi,v,r) * X(qi,v,r) \end{pmatrix} \right]$$

- mit: qi = Kulturen die Anbaubegrenzungen in Form von Quoten unterliegen
 $yiv(qi,v,r)$ = Bruttoertrag
 $\text{regionale_Quote}(qi,r)$ = regionale Produktionsquoten

Flächenstilllegungsverpflichtung

$$\sum_{mf,v} X(mf,v,r) * \text{Stilllegungsquote} \leq \sum_{still,v} X(still,v,r)$$

- mit: mf = Marktfrüchte für die im Rahmen der Preisausgleichszahlungen Flächenprämien gewährt werden
 $still$ = Verfahren der Flächenstilllegung

Das ökonomische Modell wurde für den baden-württembergischen und bayrischen Teil des Einzugsgebietes der Oberen Donau formuliert. Es setzt sich aus 57 Regionshöfen zusammen, wobei jeder Regionshof einen Landkreis repräsentiert. Die Stadtkreise wurden zu den entsprechenden Landkreisen hinzugeordnet.

Die Kapazitäten der Regionshöfe, wie Stallplätze oder Anbaugrenzen in der Pflanzenproduktion wurden aus den Angaben der statistischen Landesämter abgeleitet. Die Viehzählung wurde dabei zur Berechnung der Stallplatzkapazität herangezogen. Bei der Pflanzenproduktion wurde der Anbauumfang in der Bodennutzungshaupterhebung als maximale Kapazität der Kultur festgesetzt. Da die Landwirtschaft im Projektgebiet sehr klein strukturiert ist und sich der Einsatz der Maschinen in der Pflanzenproduktion in den meisten Betrieben unterhalb der Abschreibungsschwelle bewegt, wurde für die eingesetzten Maschinen angenommen, dass ausreichende Maschinenkapazitäten zur Verfügung stehen.

Insgesamt wurden bei der pflanzlichen Produktion im Bereich des Ackerbaus 22 Kulturen sowie Grünland berücksichtigt (vgl. Tab. 1). Bei wichtigen Kulturen wurden unterschiedliche Intensitäten mit den entsprechenden Faktoransprüchen modelliert.

Tab. 1: Im ökonomischen Modell berücksichtigte Ackerkulturen.

Wintergetreide	Sommergetreide	Hack-, Ölfrüchte	Ackerfutter	Sonstige
Winterweizen	Hafer	Frühkartoffeln	Klee und Klee gras	Körnermais
Wintergerste	Sommergerste	Spätkartoffeln	Silomais	Corn-Cob-Mix
Roggen	Sommerweizen	Zuckerrübe		Hülsenfrüchte
Triticale		Winterraps		Gemüse
				Obst
				Hopfen
				Sonstige Handelsgewächse
				Gründüngung
				Flächenstilllegung

Eine Untergliederung der pflanzenbaulichen Produktionsverfahren konnte vorgenommen werden, nachdem ein Zusammenhang zwischen der landwirtschaftlichen Vergleichszahl (LVZ) und der Intensität der pflanzlichen Produktion in den Gemeinden festgestellt wurde. Diese Kenntnisse wurden bei einem Vergleich der Ergebnisse aus der Expertenbefragung und den Landwirtschaftlichen Vergleichszahlen auf Gemeindeebene gewonnen. Räumlich differenzierte Ausgangsdaten stellen bei den Produktionsverfahren im Pflanzenbau neben den Erträgen die Düngungs-, Pflanzenschutz- und Maschinenkosten dar. Der Pflanzenschutzmittelaufwand wurde aus Standardwerten übernommen. Der kultur- und intensitätsabhängige Nährstoffbedarf wurde mittels einer linearen Regression, die aus Düngeempfehlungen abgeleitet wurde, berechnet. Die Düngekosten wurden in Abhängigkeit des Ertrags mit den entsprechenden Marktpreisen für die Nährstoffe berechnet.

Die Tierhaltung wurde in 12 verschiedenen Produktionsverfahren dargestellt, wovon sieben Produktionsverfahren für die Abbildung der Rinderhaltung dienen. Die Rinderhaltung wurde aufgrund der großen wirtschaftlichen Bedeutung und der regionalen Spezialisierung in mehrere Produktionsverfahren unterteilt. Das Modell gliedert die Rinderhaltung in die Produktionsverfahren: Mutterkuhhaltung, Milchkuhhaltung, weiblich und männliche Kälberaufzucht, Färsenaufzucht, Bullen- und Färsenmast. Die Zuchtsauenhaltung und die Mastschweinehaltung bilden die Produktionsverfahren der Schweinehaltung im Modell ab. Bei der Geflügelhaltung wurden aufgrund der regionalen Bedeutung einzelner Verfahren drei unterschiedliche Verfahren formuliert: die Legehennenhaltung, die Masthähnchenhaltung und die Großgeflügelmast, in der die Puten-, Gänse- und sonstige Geflügelmast zusammengefasst wurde.

Die Fütterung der Tiere erfolgt modellendogen durch entsprechende Fütterungsaktivitäten. Bei den Fütterungsaktivitäten wurden sowohl selbst erzeugte Futtermittel wie Heu, frisches Gras oder Silage berücksichtigt. Ergänzt werden kann die modellendogen berechnete Fütterung durch Getreide, das selbst produziert oder zugekauft wurde. In der Futterbilanz werden der Protein-, Energie- und Rohfasergehalt sowie die maximale Trockenmasse berücksichtigt.

Durch die Berücksichtigung der wichtigsten Futterinhaltsstoffe wird in dem prozessanalytischen Ansatz eine bedarfsgerechte Fütterung der Tiere sichergestellt. Zudem wurden die allgemeinen Ausgleichszahlungen der Europäischen Union sowie die Wesentlichen in Baden-Württemberg und Bayern angebotenen Agrarumweltprogramme im Rahmen der zweiten Säule der Allgemeinen Agrarpolitik in das Modell integriert. Das methodische Konzept des agrarökonomischen Regionalmodells ist in Abbildung 4 dargestellt.

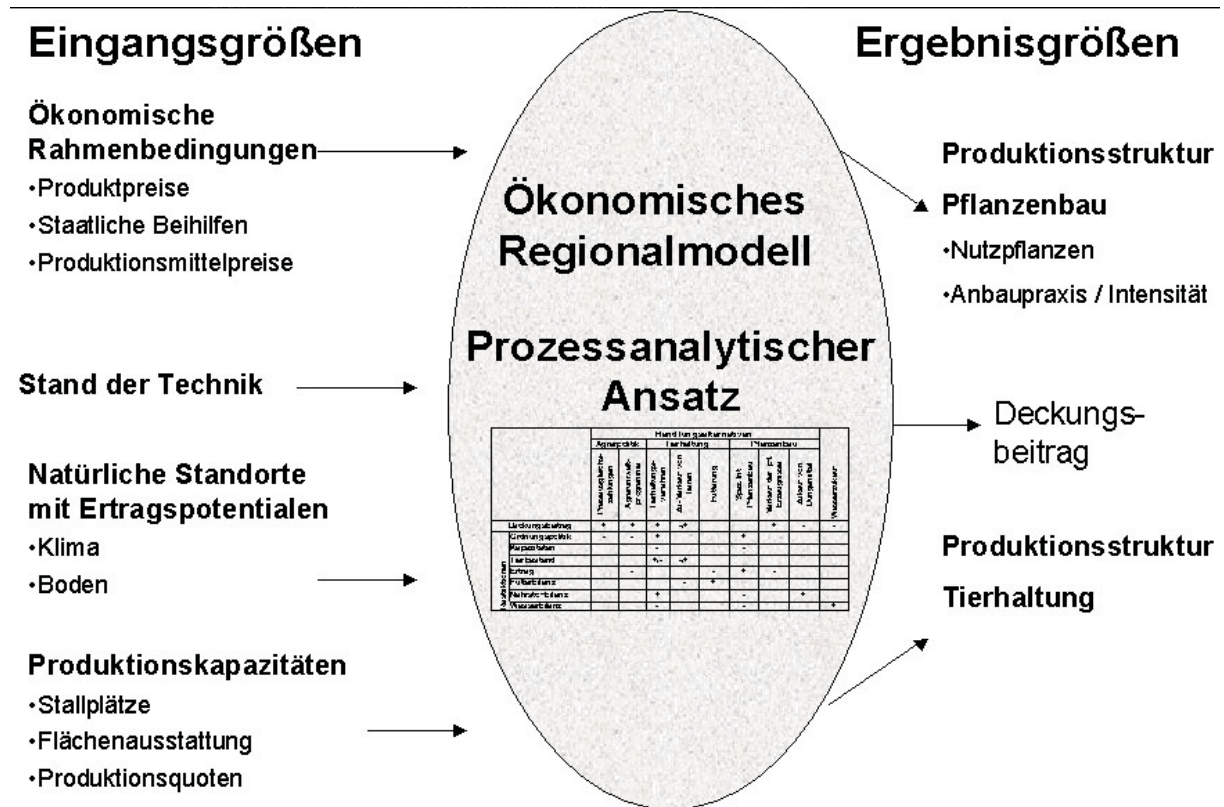


Abb. 4: Methodisches Konzept des agrarökonomischen Regionalmodells.

Das agrarökonomische Regionalmodell wurde in GAMS implementiert. Durch die automatische Aufbereitung der Ergebnisse und die Ausgabe in entsprechend vordefinierte Dateien, stehen die landkreisbasierten Ergebnisse des ökonomischen Modells dem Disaggregations-Tool zur Verteilung auf die Proxel zur Verfügung.

Disaggregations-Tool

Um die agrarökonomischen Modellergebnisse, die auf Landkreisebene vorliegen, auf die Proxel zu verteilen, wurde ein Disaggregations-Tool entwickelt. Bisher wird mit Hilfe des Disaggregations-Tools die Verteilung der agrarischen Landnutzung sowie des Wasserverbrauchs realisiert. Die Verteilungsalgorithmen für die organische Düngung befinden sich noch in der Entwicklung.

Die Disaggregation der agrarökonomischen Modellergebnisse zur Landnutzung basiert auf einem Regelwerk, das unter Zuhilfenahme von Zusatzinformationen, die für eine räumliche Verteilung der agrarischen Nutzung relevant sind, abgeleitet wurde. Ausgehend von diesen Zusatzdaten (topographische Merkmale, Befragung zu landwirtschaftlichen Intensitätsgebieten im Untersuchungsgebiet, Gemeindestatistik, LVZ/EMZ) wurden die einzelnen Landkreise in Gebiete unterschiedlicher Bonität eingeteilt (vgl. Abb. 5).

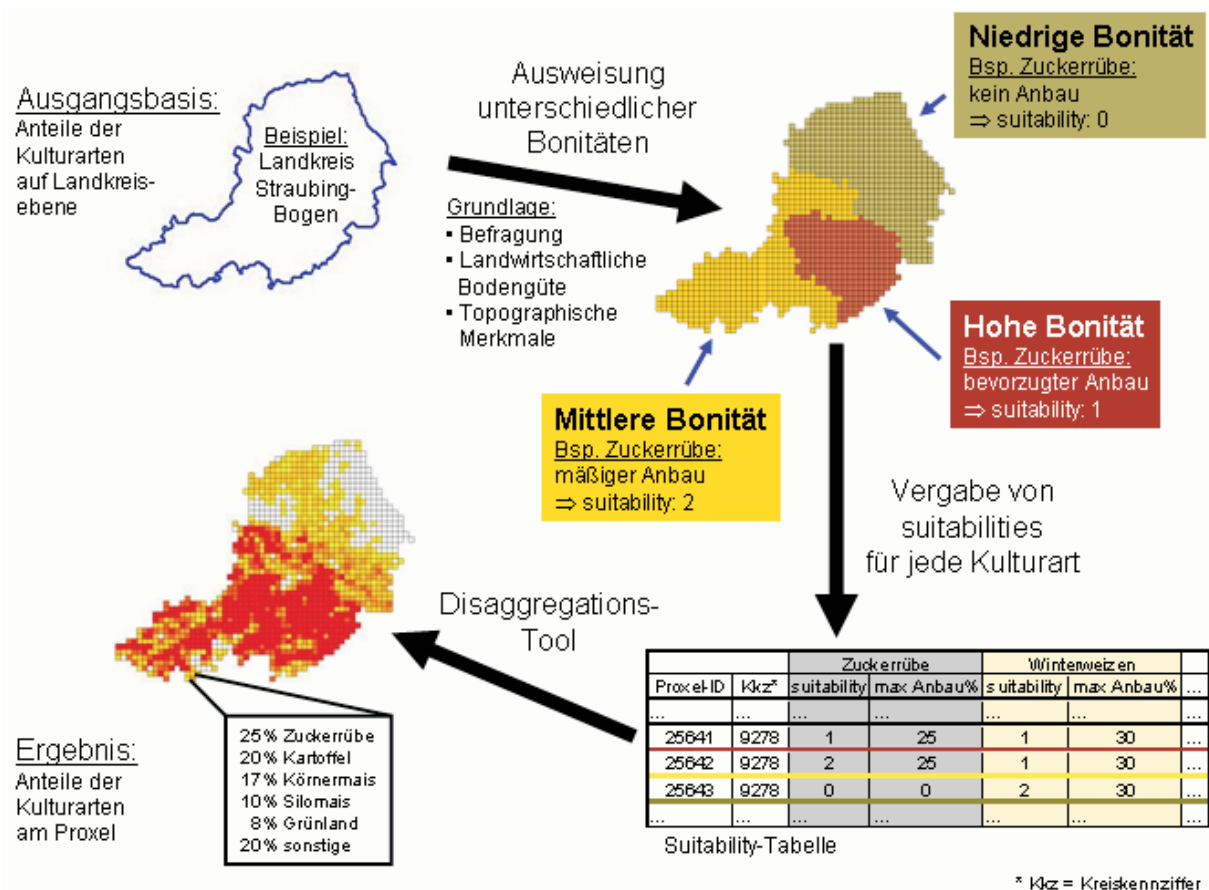


Abb. 5: Zusammenfassende Darstellung zur Ableitung des Regelwerks und Disaggregation.

Die einzelnen Proxel wurden in einem nächsten Schritt über eine Bonitäts-ID diesen Gebieten zugeordnet. In einem weiteren Schritt wurden die unterschiedlichen Kulturarten ebenfalls diesen Bonitätsgebieten zugeordnet (suitability-ID). So wird z.B. die Zuckerrübe nur in Gebieten hoher Bonität angebaut, Silomais hingegen in Gebieten niedriger Bonität. Bei Winterweizen ist auf allen ackerbaulichen Standorten ein Anbau möglich. Um Fruchtfolgebeschränkungen zu berücksichtigen und damit zu vermeiden, dass auf einem landwirtschaftlichen Schlag jedes Jahr die gleiche Kultur angebaut wird, wurde zusätzlich für jede Kulturart und jedes Proxel eine Maximal-Beschränkung bei der Verteilung einzelner Kulturarten eingeführt (suitability-max). Wird beispielsweise eine Kulturart alle 4 Jahre auf der gleichen Fläche angebaut (entspricht einer viergliedrigen Fruchtfolge), so beträgt der suitability-max-Wert 25%.

Unter Berücksichtigung der oben beschriebenen Regeln wird die Disaggregation im eigens dafür entwickelten Disaggregations-Tool durchgeführt. Das Tool wurde in JAVA programmiert. Jeder Landkreis und jede Kulturart wird darin einzeln abgearbeitet. Es ist in der Form programmiert, dass das Tool für eine bestimmte Kulturart alle geeigneten Proxel über ihre suitability-ID auswählt und zwar so lange, bis die ha-Zahl erreicht ist, die von den Ergebnissen des agrarökonomischen Modells her zu verteilen ist. Den dabei selektierten Proxeln wird die zu verteilende Kulturart zugewiesen und das Tool geht zur nächsten Kulturart weiter, bis alle Kulturarten, die angebaut werden, auf die Proxel verteilt sind. Aufgrund der Einführung eines neuen digitalen Höhenmodells seitens des Zentralprojekts Ende 2003, das zu Änderungen der Einzugsbereichsgrenzen führte, musste das Disaggregationstool neu angepasst werden.

Im Vergleich zu den Ergebnissen auf Landkreisebene aus dem ökonomischen Regionalmodell (vgl. Abb. 6) zeigt sich deutlich, dass durch das Disaggregationstool mit seinem engen räumlichen Bezug, Heterogenitäten und Hotspots innerhalb der Landkreise identifiziert werden können. Damit hilft es die Nivellierung der Landnutzung, die auf Landkreisebene z.T. vorliegt, zu überwinden. Dies ist insbesondere für die naturwissenschaftlichen Partner

von Bedeutung, da ihnen die disaggregierten Informationen zur Landnutzung und Nutzungsintensität z.B. ermöglichen, Gebiete mit einem hohen Nährstoffeintrag anhand ihrer Modelle zu identifizieren.

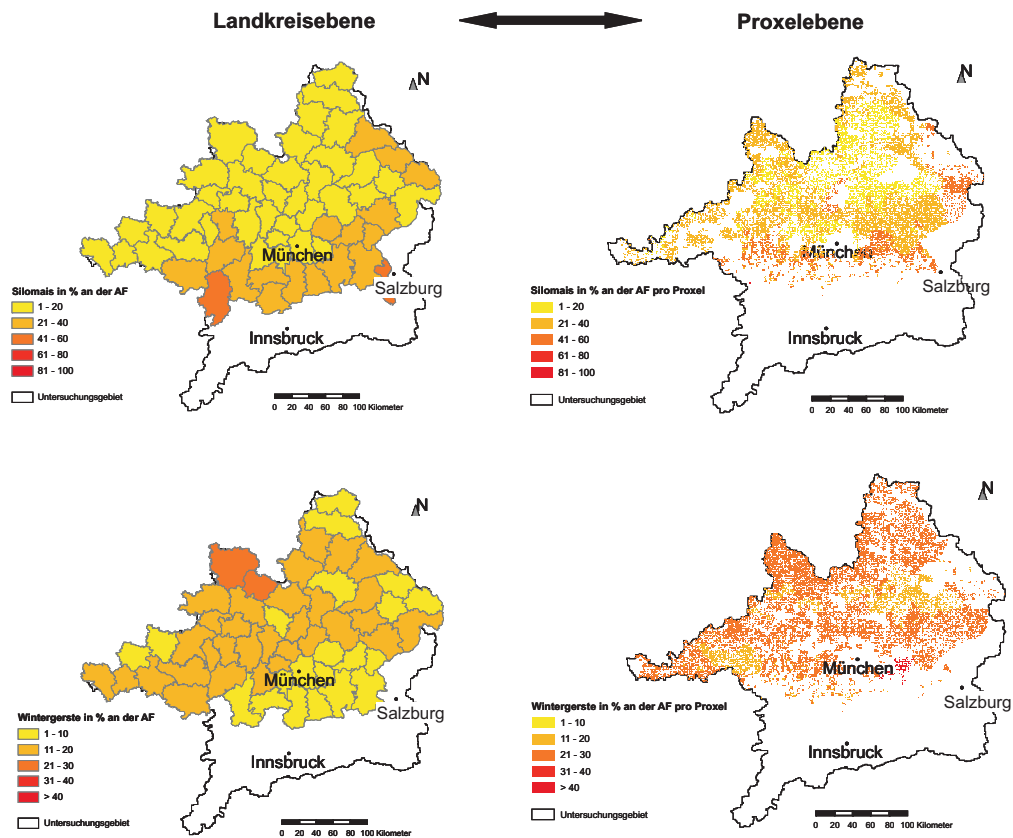


Abb. 6: Ergebnisse zur Verteilung des Silomais- und Wintergersteanbaus im deutschen Teil des Einzugsgebiets der Oberen Donau auf Landkreis- und Proxelebene.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der Disaggregation der Landnutzung für das Basisjahr 1995 (berechnet auf der Basis statistischer Landnutzungsdaten) eine hohe Übereinstimmung mit der in der Realität vorliegenden Landnutzungsverteilung. In Abbildung 7 ist dies exemplarisch für die Zuckerrübenanbaufläche in Bayern und Baden-Württemberg dargestellt.

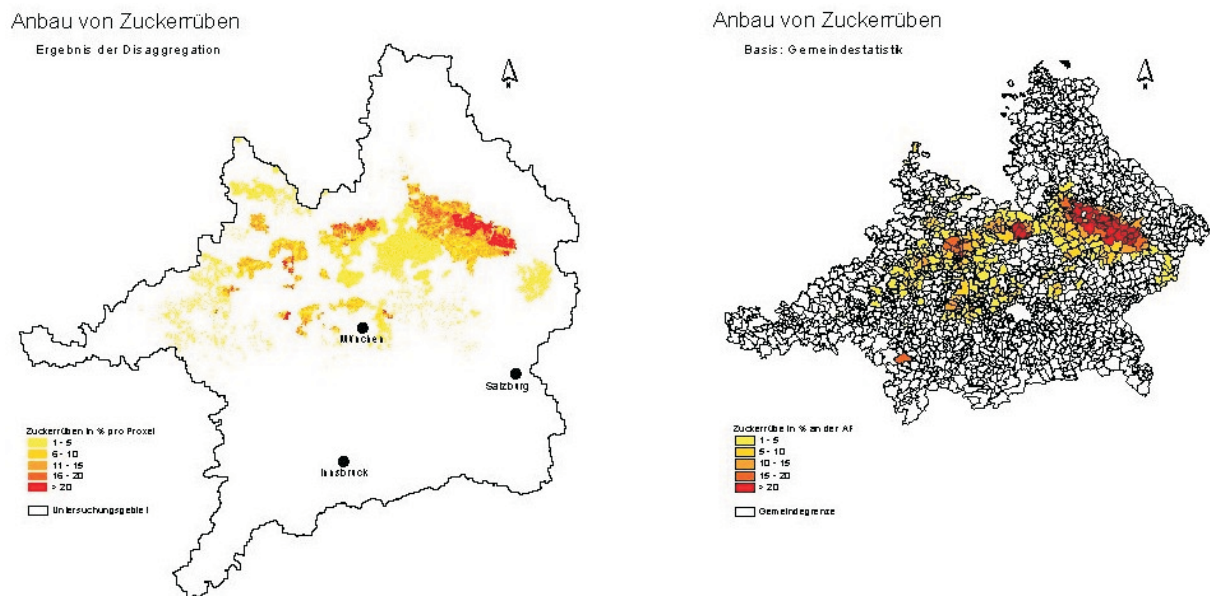


Abb. 7: Vergleich der Verteilung der Zuckerrübenfläche anhand des Disaggregationstools und der Gemeindestatistik von Bayern und Baden-Württemberg.

Für die Verteilung organischer Düngemittel wurde ein erster Ansatz entwickelt, den es noch weiter zu bearbeiten gilt. Die Modellierung der Verteilung der Gülle basiert auf der Annahme, dass sie gemäß des geringsten Widerstandes von den Siedlungsflächen aus, wo sie in den Ställen anfällt, ausgebracht wird (Abb. 8).

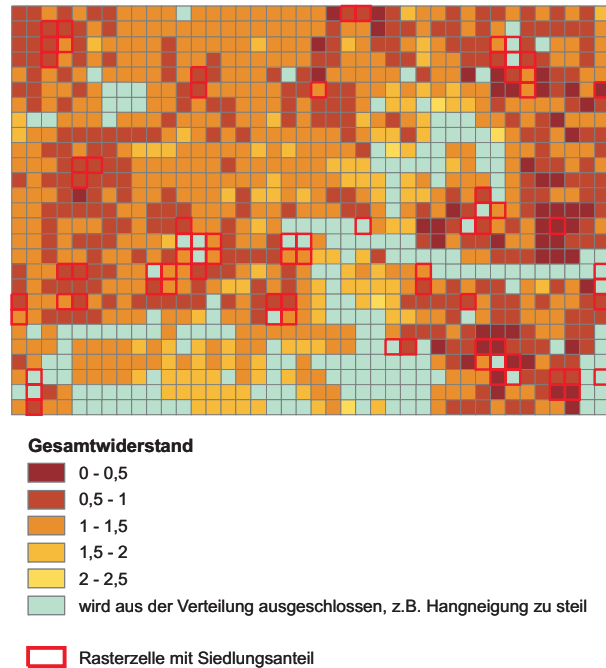


Abb. 8: Gesamtwiderstand zur Verteilung von Gülle in einem Landschaftsausschnitt des Donaueinzugsgebietes (Testergebnis).

Aus den normierten Einzelwiderständen der Entfernung zur Siedlungsfläche, den angebauten Kulturarten, der Hangneigung sowie den Schutzgebietsflächen wird nach der gewichteten Summenregel (vgl. VOOGD 1983) ein Gesamtwiderstand abgeleitet. Auf den Rasterzellen mit dem geringsten Gesamtwiderstand wird die Gülle zuerst verteilt.

5. Einbindung des Teilprojekts in das Gesamtvorhaben

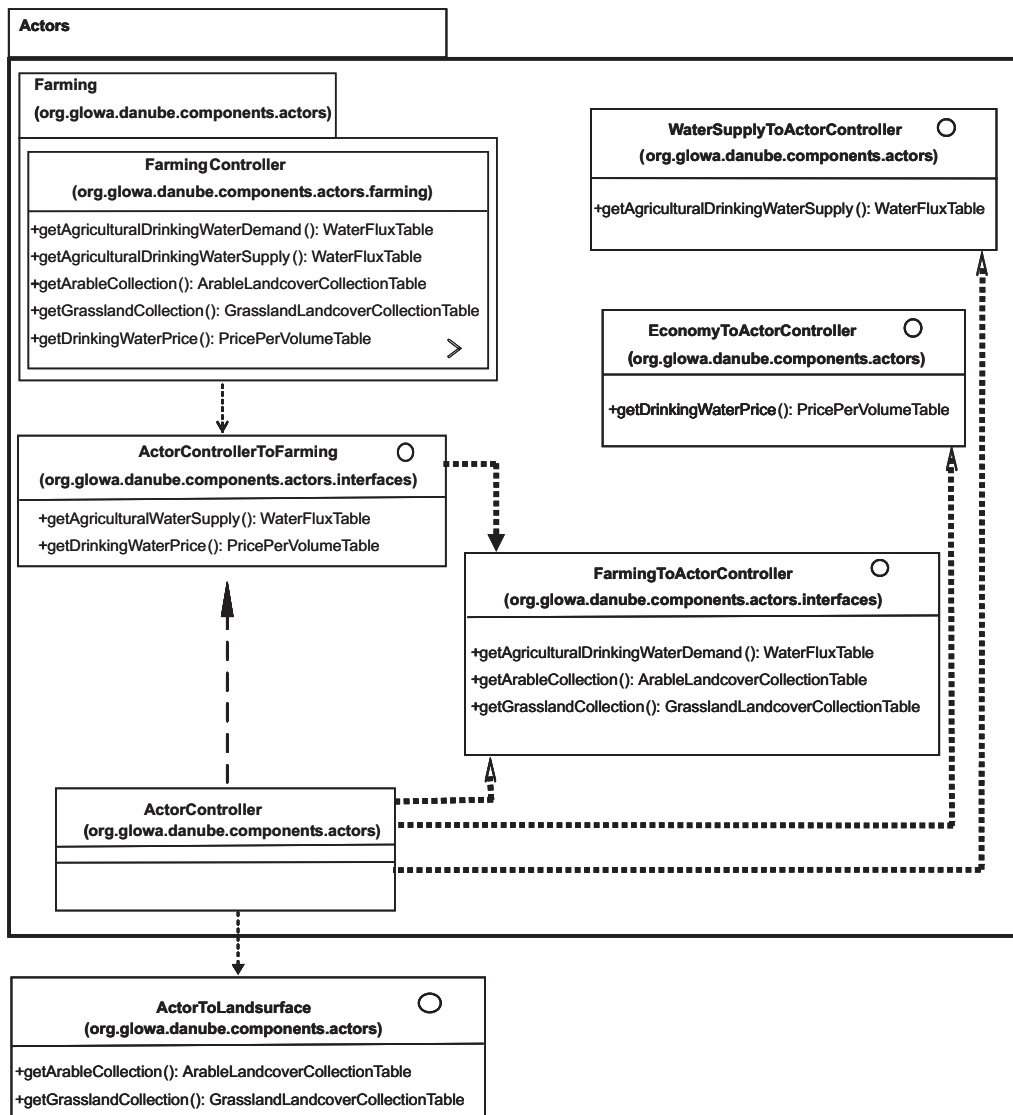
5.1 Verknüpfungen zu anderen Teilprojekten

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.

Die Verbindung zum Gesamtprojekt erfolgt einerseits über den Austausch der Informationen zur agrarischen Landnutzung. So werden zum einen die Daten zur Landnutzung (Ackerfläche und Grünland) aus den zentralen Proxel tables entnommen. Andererseits liefert die von Farming modellierte differenzierte agrarische Landnutzung einen wichtigen Input für andere Modelle in DANUBIA. Eine weitere Verbindung besteht durch den direkten Austausch von einzelnen Parametern. Diese werden unter 5.2 bei der Erläuterung der technischen Umsetzung in UML vorgestellt.

5.2 Schnittstellen in UML

Um diese Beziehungen innerhalb von DANUBIA zu realisieren, wurde die Einbindung des Teilprojekts in das Gesamtprojekt mittels des Industriestandards UML weiter ausdifferenziert und ergänzt. Dies gilt sowohl für die Schnittstellen (Interfaces) zu den Objekten relevanter Partner mit denen Daten ausgetauscht werden, als auch insbesondere für die Festlegung der dazugehörigen Datentypen anhand des DANUBIA Frameworks.



o Symbolisiert eine Schnittstelle im UML Klassendiagramm

Abb. 9: Aktueller Stand des UML der Klasse Farming

Die Klasse „Farming“ und die Schnittstellen, an denen ein Datenaustausch der Klasse „Farming“ mit anderen Teilobjekten des Objektes „Actors“ sowie weiteren Objekten des Gesamtsystems DANUBIA stattfinden soll, und deren Datentypen sind in Abbildung 9 dargestellt. Die Schnittstellen repräsentieren den derzeitigen Stand hinsichtlich des Datenaustauschs zwischen den einzelnen Arbeitsgruppen in DANUBIA.

Die Daten zur Bewirtschaftung der landwirtschaftlich genutzten Flächen, wie Angaben zum Saat- und Erntezeitpunkt für die verschiedenen Kulturarten im Ackerbau sowie die Nutzungszeitpunkte des Grünlandes, wurden an das Teilobjekt „LandSurfaceBiological“ übergeben und gehen in deren Wachstumsmodelle ein.

6. Ergebnisse des Farming Modells

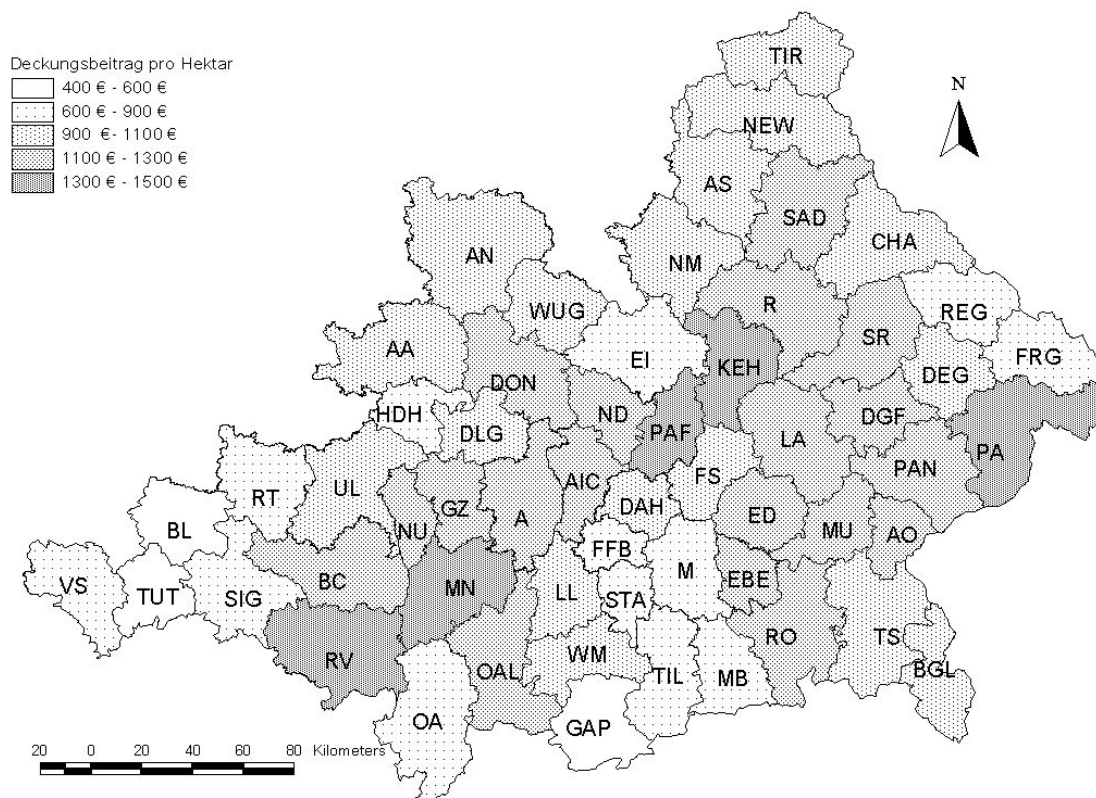
In diesem Abschnitt werden zunächst die Ergebnisse für die Basissituation 1995 und das Szenario „Weiterführung der Agrarreform“ der Stand alone Version des agrarökonomischen Modells auf der Basis statistischer Daten zur Landnutzung analysiert und bewertet.

Im Referenzlauf von DANUBIA lief das Farming Modul aus technischer Sicht problemlos. Alle notwendigen Rechen- und Übergabeschritte wurden zu den festgelegten Zeitschritten ausgeführt. Aus inhaltlicher Sicht allerdings gestaltet sich die Analyse der Ergebnisse des agrarökonomischen Modells, das auf der Grundlage statistischer Daten zur Landnutzung und Tierhaltung kalibriert ist, aufgrund der mangelnden Qualität der Landnutzungsdaten von Corine, die in Danubia vom Farming Modell eingelesen werden müssen, als äußerst schwierig. Infolge dieser methodischen Schwierigkeiten ist eine Validierung der Ergebnisse des Referenzlaufes, wie im Falle der Stand alone Berechnung auf der Basis statistischer Daten (vgl. Kap. 4.1), unmöglich. Im Folgenden werden daher zunächst die Corine-Landnutzungsdaten, die in Danubia verwendet werden, mit den Angaben zur Landnutzung aus der Statistik verglichen, um die Datenproblematik aufzuzeigen. Anschließend werden die Ergebnisse des Referenzlaufes (1995-1996) von Danubia, das auf Landnutzungsdaten von Corine basiert, aufgezeigt.

6.1 Ergebnisse der Stand alone Version auf der Basis Statistischer Daten zur Landnutzung

6.1.1 Basissituation 1995

Im Agrarsektormodell wird als ökonomische Erfolgsgröße der Deckungsbeitrag zur Bewertung herangezogen. Um einen Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen den Regionen im deutschen Einzugsgebiet der Oberen Donau zu ermöglichen, wird der errechnete Gesamtdeckungsbeitrag jedes Regionshofes pro Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche ausgewiesen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei der Deckungsbeitragsrechnung die Fixkosten unberücksichtigt sind. Da die Fixkosten in der Tierhaltung in der Regel höher sind, ist ein Vergleich der Regionshöfe aufgrund der unterschiedlichen Produktionsschwerpunkte nur mit Einschränkungen möglich. Dennoch lassen sich aus der Höhe des Deckungsbeitrages in den Regionshöfen Rückschlüsse auf die Wirtschaftlichkeit der Produktionsverfahren ziehen.

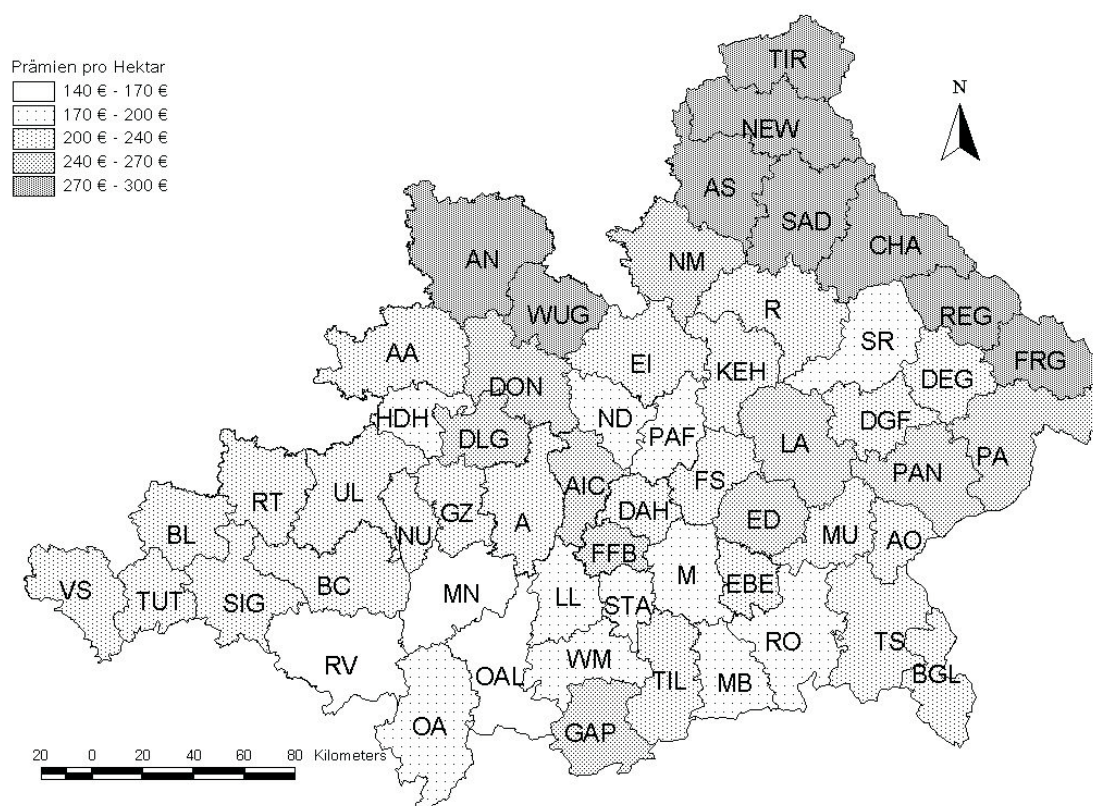


Quelle: Kartengrundlage: ESRI Geoinformatik GmbH (2000); Winter (2004)
Das Verzeichnis der Abkürzungen für die Landkreise befindet sich im Anhang.

Abb. 10: Deckungsbeitrag pro Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche in den Regionshöfen im Basisjahr 1995 (Stand alone Version auf der Basis statistischer Landnutzungsdaten).

Hohe Deckungsbeiträge von mehr als 1300 €/ha werden bei der Stand alone Berechnung mit statistischen Landnutzungsdaten beispielsweise im Regionshof Unterallgäu und im Regionshof Pfaffenhofen erzielt. Den niedrigsten Deckungsbeitrag pro Hektar erzielt der Regionshof im Zollernalbkreis mit 439 €. Die großen Unterschiede der Deckungsbeiträge pro Hektar sind auf die unterschiedliche Spezialisierung der landwirtschaftlichen Betriebe zurückzuführen. Hohe Deckungsbeiträge werden in Regionen mit einer umfangreichen Tierhaltung erwirtschaftet oder in klimatisch günstigen Standorten, in denen gute Voraussetzungen für den Anbau von Sonderkulturen oder Hackfrüchten vorzufinden sind. Viele Landkreise im Tertiär-Hügelland können aufgrund der günstigen Produktionsbedingungen und umfangreichen Tierhaltung Deckungsbeiträge von über 1000 € pro Hektar erzielen. Nur die Landkreise München, Fürstentfeldbruck und Starnberg überschreiten einen Deckungsbeitrag von über 1000 €/ha aufgrund der geringeren Tierhaltung nicht. Niedrige Deckungsbeiträge pro Hektar werden insbesondere in den extensiven Grünland- und Ackerbauregionen erwirtschaftet, wie z. B. die Landkreise in den Ostbayerischen Mittelgebirgen, sowie die Landkreise des Nordbayerischen Hügellandes. Auch große Teile des Einzugsgebietes in Baden-Württemberg gehören zu der Landkreisgruppe mit einem niedrigen Deckungsbeitrag pro Hektar. Die Abbildung 10 weist die regionalen Unterschiede der Deckungsbeiträge aus.

Die Deckungsbeiträge können nur als Teilindikator für die Wirtschaftlichkeit der Produktionsverfahren dienen. Auch Prämien und Subventionen müssen berücksichtigt werden, um eine abschließende Beurteilung der Wirtschaftlichkeit vornehmen zu können. Einen bedeutenden Einfluss auf die Höhe der Deckungsbeiträge haben seit der Agrarreform die Flächenausgleichszahlungen für Marktfrüchte und die Prämien für Bullen und Mutterkühe. Zusätzliche Prämien erhalten Landwirte für Grünland im Rahmen von Agrarumweltprogrammen oder in benachteiligten Gebieten mit der Ausgleichszulage. Um die Bedeutung der Prämien zu ermitteln, werden die Prämien pro Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche berechnet.



Quelle: Kartengrundlage: ESRI Geoinformatik GmbH (2000); Winter (2004)

Abb. 11: Prämienzahlungen in den Regionshöfen pro Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche.

Die Förderungshöhe pro Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche variiert in den einzelnen Landkreisen im Untersuchungsgebiet (Abb. 11). Die niedrigsten Prämien erhalten die Landkreise in den Alpen und im Alpenvorland mit intensiver Milchviehhaltung. Landkreise, die einen höheren Ackerflächenanteil aufweisen, profitieren von den Prämienzahlungen im Rahmen der Agrarreform 1992. Intensive Bullenmastgebiete sind durch höhere Prämienzahlungen von den restlichen Ackerstandorten leicht zu unterscheiden. In den Landkreisen mit den höchsten Prämienzahlungen je Hektar handelt es sich um Grenzstandorte mit einer niedrigen Landwirtschaftlichen Vergleichszahl. Diese Regionen erhalten über 270 € Prämie pro Hektar, da in diesen Regionen die Ausgleichszulage für benachteiligte Gebiete überdurchschnittlich hoch ist.

6.1.2 Szenario: Weiterführung der Agenda 2000

Im Szenario „Weiterführung der Agenda 2000“ werden die kulturartspezifischen Ausgleichszahlungen zugrunde gelegt, die ab dem Jahr 2002 gelten. Die Prämien werden wie bisher produktionsbezogen gewährt. Als Erzeugerpreise werden die Preisnotierungen aus dem Jahr 2002 zugrunde gelegt.

Die Deckungsbeitragsverluste in den einzelnen Landkreisen sind unterschiedlich und betragen bis zu 16 % gegenüber dem Basisjahr 1995. Nahezu einkommensneutral verläuft die Weiterführung der Agenda 2000 in den bayerischen Grünlandgebieten mit Milchviehhaltung. Infolge der Preissenkungen für Rindfleisch treten höhere Einkommensverluste vor allem in den Regionshöfen mit intensiver Bullenmast und Silomais auf.

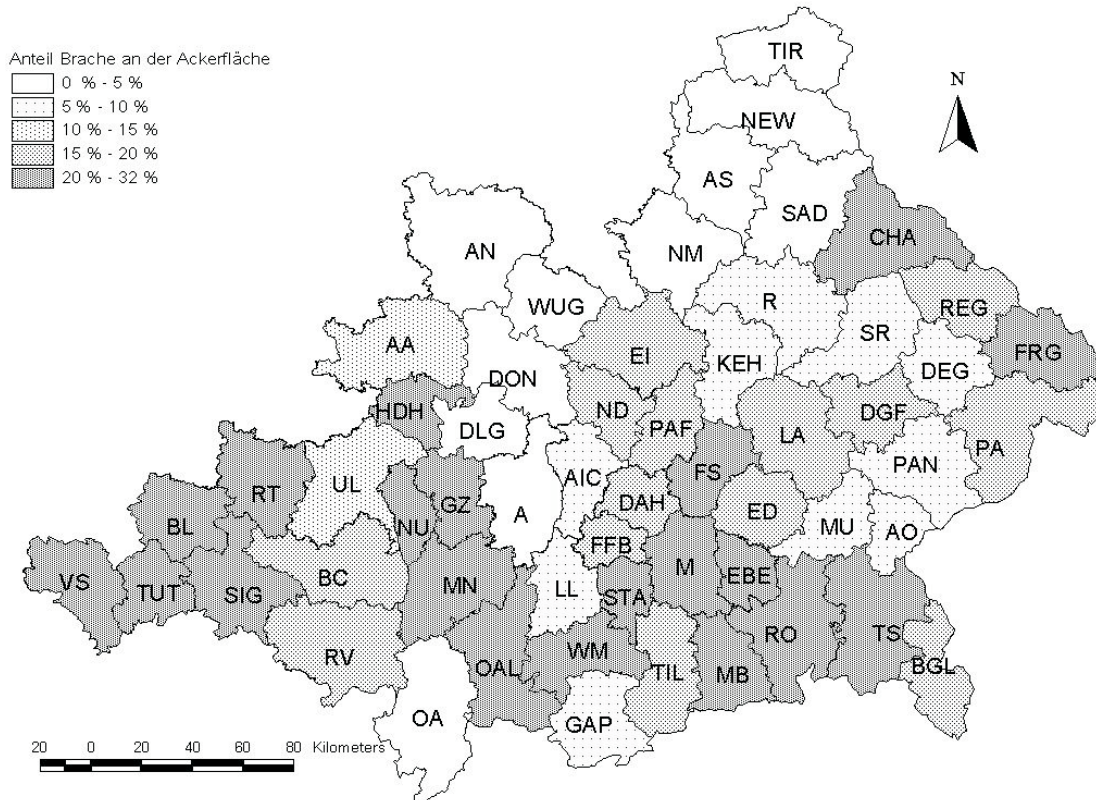
Der letzte Reformschritt der Agenda 2000 verschlechtert nochmals die Relation zwischen Deckungsbeitrag und Prämien. So bleibt durch die Aufgabe von unrentablen Grünlandstandorten der durchschnittliche Deckungsbeitrag der bewirtschafteten landwirtschaftlichen Nutzfläche zwar stabil, aber der Anteil der Prämien steigt deutlich an. So werden im Durchschnitt 340 € Prämien pro Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche in den einzelnen Regionen bezahlt. Die einzelnen Regionshöfe erzielen dabei Prämien in Höhe von 174 € bis zu 453 € pro Hektar. Wieder sind die Prämienzahlungen in den intensiven Bullenmastgebieten am höchsten, während die Prämienleistungen in Grünlandgebieten des Voralpenraumes am niedrigsten sind.

Auswirkungen auf die Landnutzung

Die Fortführung der Agenda 2000 hat Auswirkungen auf die Landnutzung. Bisher war die Flächenstilllegung ein unrentables Produktionsverfahren. Mit dem letzten Reformschritt der Agenda 2000 steigt jedoch die relative Rentabilität der Flächenstilllegung aufgrund der sinkenden Getreide- und Rindfleischpreise weiter an. Daher wird die Flächenstilllegung in vielen Modellregionen ausdehnt.

Der Flächenstilllegungsanteil an der Ackerfläche ist regional unterschiedlich hoch (Abb. 12). Ein hoher Stilllegungsanteil 20% an der Ackerfläche ist vor allem in den Vorgebirgsregionen zu finden, was auf den niedrigen Ackerflächenanteil, der vorrangig zur Futterproduktion genutzt wird, zurückzuführen ist. Der leichte Bestandesabbau in der Rinderhaltung wird dazu genutzt, nicht mehr für die Futterproduktion benötigte Ackerflächen still zu legen. Der gleiche Effekt tritt auch in den Landkreisen des Ostbayerischen Gebirge auf. In den extensiven Ackerbauregionen auf der Schwäbischen Alb in Baden-Württemberg steigt der Umfang der Brache ebenfalls deutlich an. In diesen Regionen war der Bracheanteil bereits im Jahr 1995 überdurchschnittlich hoch. Mit dem letzten Reformschritt der Agenda hat sich die Wettbewerbsfähigkeit der Flächenstilllegung gegenüber den preisausgleichsberechtigten Kulturen weiter verbessert. In Regionen mit ungünstigen agronomischen Standorteigenschaften stellt die Flächenstilllegung daher eine Alternative für die Getreideproduktion dar. Eine Überschreitung der Mindestverpflichtung, wie sie vom Modell für einige Regionshöfe prognostiziert wird, ist daher plausibel.

Auch in einigen Regionshöfen mit intensiver Rindermast wird die Mindeststilllegungsverpflichtung überschritten. Hier bewirkt die Einschränkung des Silomaisanbaues, aufgrund der Reduktion in der Tierhaltung, eine Ausdehnung der Flächenstilllegung. Ein weiterer Effekt macht sich in extensiven Ackerbaugebieten mit niedriger Landwirtschaftlicher Vergleichszahl am Nordbayrischen Hügelland bemerkbar. Hier bewirkt die Ausgleichszulage, dass die Ackerflächen nicht aus der Produktion genommen werden, da für stillgelegte Flächen keine Ausgleichszulage gewährt wird. Ebenfalls niedrige Stilllegungsraten von unter 10 % sind in intensiven Ackerbauregionen mit günstigen Produktionsbedingungen zu verzeichnen.



Quelle: Kartengrundlage: ESRI Geoinformatik GmbH (2000), Winter (2004)

Abb. 12: Prozentualer Anteil der Flächenstilllegung an der Ackerfläche in den Regionshöfen bei einer Weiterführung der Agenda 2000.

Ein weiterer Effekt, der durch die Weiterführung der Agenda 2000 auftritt, ist die Aufgabe der Grünlandnutzung. Im Vergleich zum Basisjahr werden im Gesamtgebiet 10,8% der Grünlandflächen nicht mehr bewirtschaftet. Regional ist der Anteil unbewirtschafteter Grünlandflächen sehr unterschiedlich. Der Bracheanteil an der Grünlandfläche schwankt zwischen 0 und 40%. Besonders in günstigen Ackerbaugebieten werden viele Grünlandflächen nicht mehr bewirtschaftet, während in den bisher intensiven Grünlandregionen eher der Anteil an extensiv genutztem Grünland zunimmt.

Auswirkungen auf die Tierhaltung

In der Tierproduktion haben im Vergleich zur Basissituation die Rinderbestände abgenommen. So sind Bestandsabnahmen in der Milchviehhaltung von ca. 8% in allen Regionshöfen festzustellen, die vorrangig auf die Leistungssteigerung und die Quotenregelung in der Milchviehhaltung zurückzuführen sind. Ebenso vermindert sich die Zahl der Masttiere in der Rinderhaltung im Untersuchungsgebiet um 14,5%. Der Bestandesabbau bewegt sich in den einzelnen Landkreisen zwischen 0,3% und 28,5%. In den Grünlandgebieten fällt die Reduktion der Bullenmast in der Regel höher aus, als in den Ackerbaugebieten. Dieser Effekt kann auf den höheren Viehbesatz in den Grünlandregionen zurückgeführt werden. Der

hohe Viehbesatz und die bessere Verwertung des Silomais in der Milchviehhaltung haben zur Folge, dass die Bullenmast in diesen Regionen aufgrund der gesunkenen Rindfleischpreise deutlicher eingeschränkt wird.

6.2 Vergleich der Landnutzung aus Corine mit der Statistik

Die landwirtschaftliche Landnutzung ist insbesondere über die Fütterung eng mit der Tierhaltung verbunden. Zur Kalibrierung des agrarökonomischen Modells für die Basissituation sind daher konsistente Daten für die Landnutzung und die Tierhaltung nötig. In der Statistik sind diese Daten auf Landkreisebene verfügbar. Auf Gemeindeebene ist die Datenbasis aufgrund der Geheimhaltung nicht vollständig.

Tab. 2: Vergleich der Landnutzungsdaten aus CORINE und der Statistik¹.

Landkreis	Corine		Statistik		AF-Abweichung	GL-Abweichung
	Ackerfläche ha	Grünland ha	Ackerfläche ha	Grünland ha	(Corine von Statistik) %	(Corine von Statistik) %
Altötting	25643	12576	22620	10241	13	23
Berchtesgadener Land	643	23413	3617	17660	-82	33
Bad Tölz-Wolfratshausen	492	32758	2131	31596	-77	4
Dachau	42200	3900	32125	6644	31	-41
Ebersberg	14794	16356	15469	12318	-4	33
Eichstätt	78292	6908	54912	8585	43	-20
Erding	53336	18902	46162	15693	16	20
Freising	54144	8462	41133	9424	32	-10
Fürstenfeldbruck	25222	4253	19098	4930	32	-14
Garmisch-Partenkirchen	23	18459	110	19825	-80	-7
Landsberg	24048	24765	21417	19036	12	30
Miesbach	529	27089	1407	28098	-62	-4
Mühlendorf	38478	24316	36345	16658	6	46
München	27327	4479	71217	4479	-62	0
Neuburg-Schrobenhausen	40832	12355	36050	9725	13	27
Pfaffenhofen	50130	4989	35168	8097	43	-38
Rosenheim	5260	76009	16614	56736	-68	34
Starnberg	9878	8384	7696	7610	28	10
Traunstein	21124	57707	29374	40641	-28	42
Weilheim-Schongau	976	56087	3800	47180	-74	19
Deggendorf	43492	16014	36222	12663	20	26
Kelheim	56971	4729	43212	6141	32	-23
Landshut	100819	6456	80658	11533	25	-44
Regen	275	31907	4145	22730	-93	40
Rottal-Inn	77669	20725	57631	24245	35	-15
Straubing-Bogen	71512	20326	60309	17517	19	16
Dingolfing-Landau	64871	2729	51765	5281	25	-48
Cham	33022	51509	33495	34777	-1	48
Regensburg	83902	7486	64224	11136	31	-33
Schwandorf	53626	21330	42211	17660	27	21
Aichach-Friedberg	50372	5541	37978	9522	33	-42
Augsburg	43579	24865	37322	18613	17	34
Dillingen	50740	6223	38270	9345	33	-33
Günzburg	27627	20742	24982	15995	11	30
Neu-Ulm	21404	9465	16579	8009	29	18
Ostallgäu	3618	87457	7312	73255	-51	19
Unterallgäu	10994	80131	21686	58821	-49	36
Donau-Ries	76739	13998	58619	16973	31	-18

¹Es sind in dieser Tabelle nur die Landkreise des Donaeinzugsgebietes aufgeführt, die zu 100% in den Einzugsgebietsgrenzen liegen.

Innerhalb Danubias sind allerdings für alle Teilmodelle die Landnutzungsdaten aus Corine Landcover verbindlich. Diese Landnutzungsdaten sind zwar im Gegensatz zur Statistik räumlich verortet, allerdings geben sie im Bereich Landwirtschaft nur eine sehr grobe Auf-

teilung in Acker- und Grünlandflächen wieder und haben keinerlei Angaben zur Tierhaltung. Wie Tabelle 2 zeigt, weichen die Angaben aus Corine zum Umfang an Ackerflächen und Grünland in einzelnen Landkreisen des Einzugsgebietes zum Teil sehr deutlich von den Angaben aus der Statistik ab. In Corine wird der Umfang an Ackerflächen einzelner Landkreise um bis zu 90% unter- und bis zu 40% überschätzt. Beim Grünland handelt es sich jeweils um ca. 50%. Eine Tendenz, dass in den Landkreisen z.B. Ackerflächen meist unter- und Grünlandflächen meist überschätzt werden, ist nicht erkennbar. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch beim Abgleich mit der Gemeindestatistik.

Durch diese starke Abweichung der Landnutzungsdaten aus Corine zur Statistik ergibt sich für die Landwirtschaft in den Landkreisen eine völlig andere Situation. Der Spezialisierungsgrad der landwirtschaftlichen Betriebe in einzelnen Landkreisen kann sich durch das veränderte Acker-Grünland-Verhältnis und damit verbunden auch die Verhältnisse für die Tierhaltung erheblich ändern. Eine Interpretation der Modellergebnisse aus Danubia ist daher nicht möglich. Eine deutlich verbesserte Situation der Daten zur Landnutzung wird allerdings von der Landnutzungs-klassifikation auf der Basis von Satellitenbildern, die vom Zentralprojekt erstellt wird, erwartet. Diese Arbeiten sind jedoch noch nicht abgeschlossen.

6.3 Ergebnisse des Referenzlaufes in DANUBIA

Der Referenzlauf umfasst die beiden Jahre 1995 und 1996. Dies bedeutet im Falle von Farming, dass in 1995 von den anderen Modellen die Ergebnisse des Initialisierungslaufes von Farming eingelesen werden. Desweiteren werden von Farming in DANUBIA die Ergebnisdaten für das Jahr 1996 errechnet und den anderen Modellen bereitgestellt.

Wie bereits im Kapitel 6.2 angesprochen ergibt sich durch die Abweichung der Landnutzungsdaten aus Corine zur Statistik für die Landwirtschaft in einzelnen Landkreisen eine andere Situation. Der Spezialisierungsgrad der landwirtschaftlichen Betriebe in einzelnen Landkreisen kann sich durch das veränderte Acker-Grünland-Verhältnis und damit verbunden auch die Verhältnisse für die Tierhaltung deutlich ändern und zu veränderten Deckungsbeiträgen führen (Abb. 13). Die Deckungsbetragsunterschiede einzelner Landkreise bewegen sich allerdings in der Regel in die nächste darüber oder darunter liegende Klasse. Sehr ähnlich zeigt sich auch die Situation bei Betrachtung der Prämienzahlungen pro Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche (Abb.14).

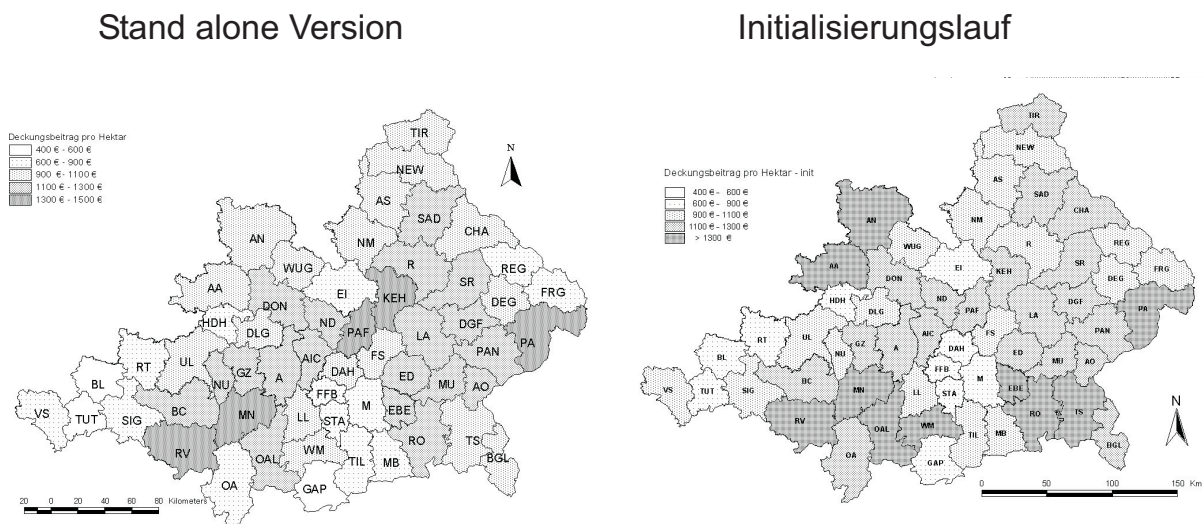
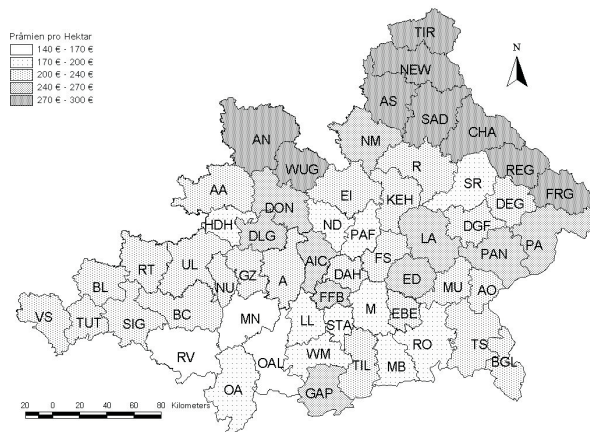


Abb. 13: Vergleich der Deckungsbeiträge pro Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche aus der Stand alone Version und dem Initialisierungslauf-DANUBIA im Basisjahr 1995.

Stand alone Version



Initialisierungslauf

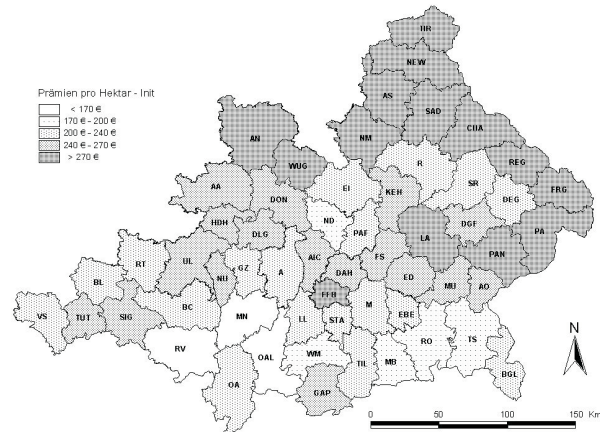
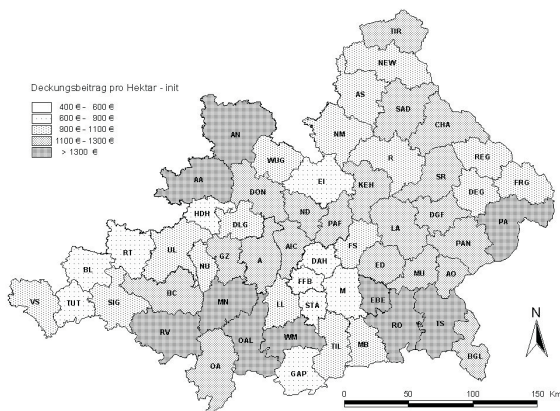


Abb. 14: Vergleich der Prämien pro Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche aus der Stand alone Version und dem Initialisierungslauf-DANUBIA im Basisjahr 1995.

Wie der Vergleich der Ergebnisse des Referenzlaufes für die Jahre 1995 und 1996 zeigt, bleiben die Deckungsbeiträge pro Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche in den meisten Landkreisen unverändert (Abb. 15). Ein paar Landkreise, wie z.B. Ostalbkreis (AA), Schwarzwald Baar (VS), Tirschenreuth (TIR), haben Deckungsbeitragsrückgänge in 1996 zu verzeichnen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in diesen Landkreisen von WaterSupply weniger Wasser zur Verfügung gestellt wird. Der Tierbestand muss abgebaut werden, was eine Senkung der Deckungsbeiträge zur Folge hat. Auch die Prämien pro Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche gehen dadurch zurück.

1995



1996

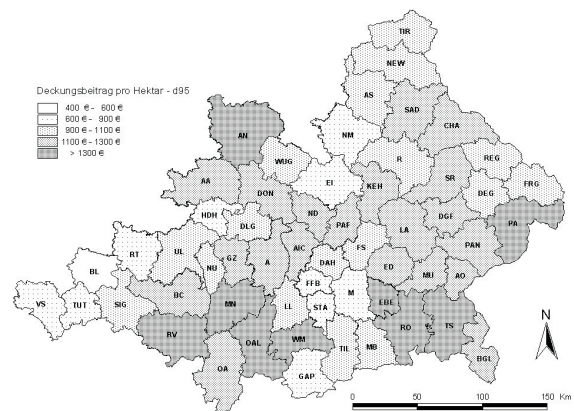


Abb. 15: Vergleich der Deckungsbeiträge pro Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche aus dem Referenzlauf.

Vom Farming Modell werden zudem proxelbasierte Daten zum Umfang der auf dem Ackerland angebaute Kulturarten, der Grünlandbewirtschaftung sowie des Wasserbedarfs in der Landwirtschaft an die Partner in DANUBIA als Input für deren Modelle weitergegeben. Eine Auswahl dieser Daten wird innerhalb DANUBIAS visualisiert. Auszüge dieser Ergebnisse zeigt Abbildung 16.

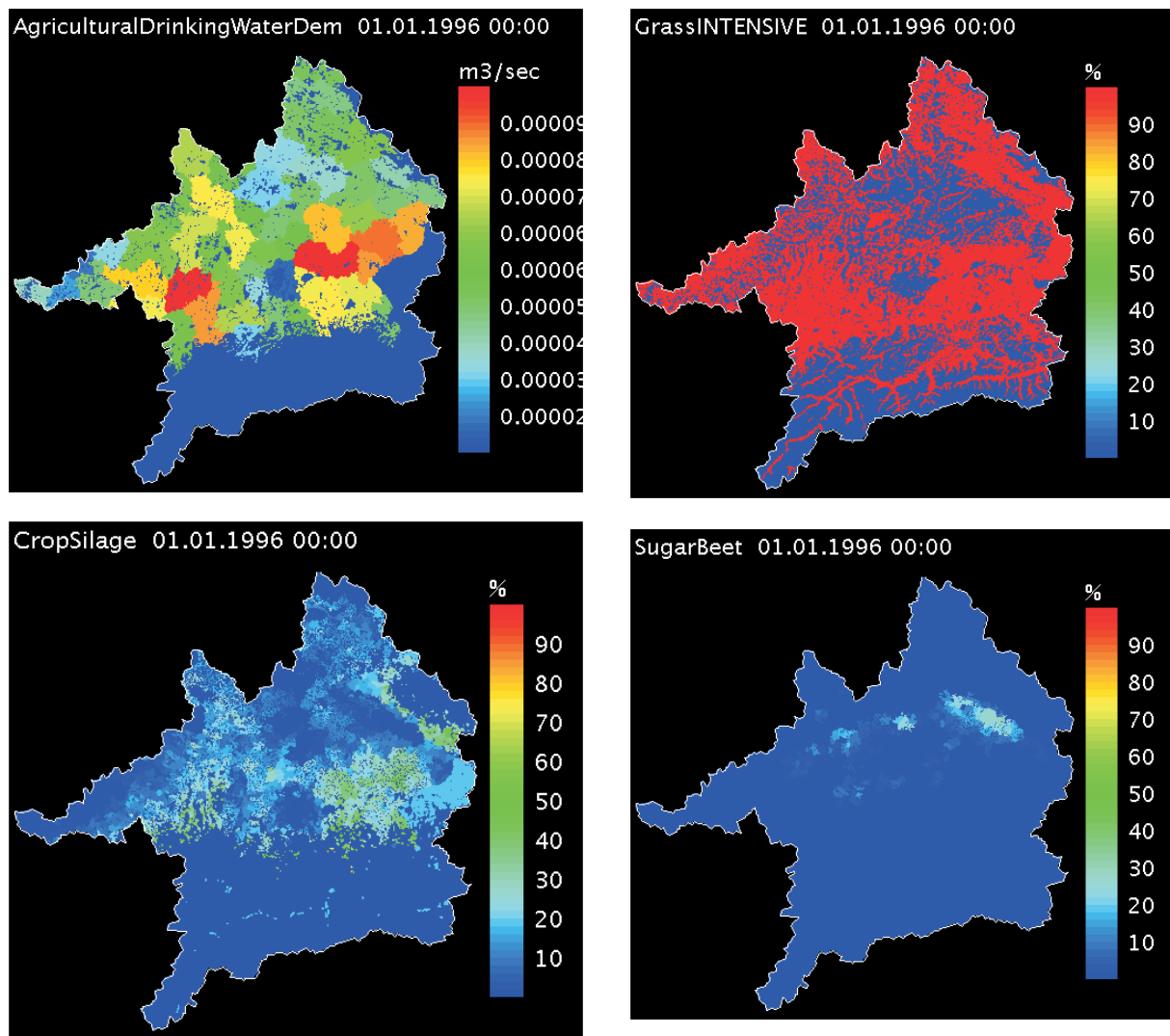


Abb. 16: Proxelbasierte Ergebnisse des Referenzlaufes.

7. Literatur

- HERRMANN, S., SCHUSTER, H. und ZARATE, M. (2003): Disaggregation agrarökonomischer Daten als Grundvoraussetzung für eine disziplinübergreifende Modellkopplung – Das Beispiel GLOWA-Danube. Posterpräsentation auf der 43. Jahrestagung der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus, Stuttgart-Hohenheim, 29. September - 01. Oktober 2003.
- HOWITT, R.E. (1995): Positive Mathematical Programming. *American Journal of Agricultural Economics*, 77, May: p. 329-342.
- RÖHM, O. (2001): Analyse der Produktions- und Einkommenseffekte von Agrarumweltprogrammen unter Verwendung einer weiterentwickelten Form der Positiven Quadratischen Programmierung. Shaker, Aachen.
- RÖHM, O. und DABBERT, S. (2003): Integrating agri-environmental programs into regional production models: An Extension of Positive Mathematical Programming. *American Journal of Agricultural Economics*, 85(1), February 2003: p. 254-265.
- STOLZ, R. und MAUSER, W. (2001): GLOWA-Danube: Forschung zum Integrativen Umweltmanagement an der Oberen Donau. - Kolloquium zum Tag der Hydrologie 22.03.-23.03.2001 des HA „Hydrologie und Wasserbewirtschaftung“ des ATV-DVWK.

VERBURG, P.-H., CHEN, Y., SOEPBOER, W. und VELDKAMP, T. (2000): GIS-based modeling of human-environment interactions for natural resource management – applications in Asia. Proceedings of the 4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling (GIS/EM4) “Problems, Prospects and Research Needs”, 2.-8. September 2000, Banff, Alberta, Canada, <http://www.gis.wau.nl/~clue/banf/banf71/banf71.html>, 7.6.2002: 17 p.

VOOGD, H. (1983): Multicriteria evaluation for urban and regional planning. London, 367 S.

Anhang

Verzeichnis der Abkürzungen für die Landkreise

A	Augsburg	AA	Ostalbkreis
AIC	Aichach-Friedberg	AN	Ansbach
AO	Altötting	AS	Amberg-Sulzbach
BC	Biberach	BGL	Berchtesgadener Land
BL	Zollernalbkreis	CHA	Cham
DAH	Dachau	DEG	Deggendorf
DGF	Dingolfing-Landau	DLG	Dillingen
DON	Donau-Ries	EBE	Ebersberg
ED	Erding	EI	Eichstätt
FFB	Fürstenfeldbruck	FRG	Freyung-Grafenau
FS	Freising	GAP	Garmisch-Partenkirchen
GZ	Günzburg	HDH	Heidenheim
KEH	Kelheim	LA	Landshut
LL	Landsberg	M	München
MB	Miesbach	MN	Unterallgäu
MU	Mühldorf	ND	Neuburg-Schrobenhausen
NEW	Neustadt an der Waldnaab	NM	Neumarkt
NU	Neu-Ulm	OA	Oberallgäu
OAL	Ostallgäu	PA	Passau
PAF	Pfaffenhofen	PAN	Rottal-Inn
R	Regensburg	REG	Regen
RO	Rosenheim	RT	Reutlingen
RV	Ravensburg	SAD	Schwandorf
SIG	Sigmaringen	SR	Straubing-Bogen
STA	Starnberg	TIL	Bad Tölz-Wolfratshausen
TIR	Tirschenreuth	TS	Traunstein
TUT	Tuttlingen	UL	Alb-Donau-Kreis
VS	Schwarzwald-Baar-Kreis	WM	Weilheim-Schongau
WUG	Weißenburg-Gunzenhausen		

Wechselbeziehungen zwischen dem Tourismus und der Ressource Wasser im Untersuchungsraum von GLOWA

Teilprojekt: Tourismus
Projektleiter: Prof. Dr. Jürgen Schmude
Ausführende Stelle: Universität Regensburg, Lehrstuhl für Wirtschaftsgeographie
 Universitätsstraße 31, 93040 Regensburg

1. **Organisation**

Der Bericht beinhaltet die Aktivitäten des Teilprojektes Tourismus in der Phase 1 von GLOWA-Danube.

1.1 **Zusammensetzung der Arbeitsgruppe und Besetzung der Stellen**

Die Arbeitsgruppe "Tourismus" bestand bis zum 29.02.2004 aus dem Projektleiter Prof. Dr. Jürgen Schmude, aus einem Wissenschaftler (BAT IIA/2) sowie einer ungeprüften studentischen Hilfskraft mit einer monatlichen Arbeitszeit von 20 Stunden. Die Wissenschaftlerstelle war vom 01.11.2000 bis zum 30.05.2002 mit Dipl.-Geogr. Astrid Piermeier besetzt und wurde im Zeitraum vom 01.06.2002 bis zum 30.10.2003 von Dipl.-Geogr. Stefan Neumayr übernommen. Ab dem 01.11.2003 wurde die Stelle mit Dipl. Geogr. Mario Sax besetzt. Während des Projektzeitraums waren mehrere ungeprüfte studentische Hilfskräfte bei der Forschungsgruppe Tourismus beschäftigt.

Vom 01.01.2001 bis zum 30.08.2003 war Jonas Taeger als ungeprüfte wissenschaftliche Hilfskraft überwiegend mit der Aufbereitung sekundärstatistischer Daten beschäftigt. Ab dem 01.09.2003 wurden diese Tätigkeiten von der ungeprüften Hilfskraft Markus Steiger übernommen. Die studentischen Hilfskräfte Christina Seidl (01.06. bis 31.08.2001), Christine Hecht (01.10. bis 31.12.2001) und Barbara Rosenberger (01.10. bis 31.12.2001) wurden insbesondere mit der Bearbeitung von primärstatistisch erhobenen Informationen betraut.

Zur Umsetzung des einfachen Akteurmodells in JAVA und dessen Eingliederung in das Entscheidungsunterstützungssystem DANUBIA begann Dipl. Kfm./Wirtsch.-Inform. Alexander Dingeldey seine Mitarbeit in der Forschungsgruppe Tourismus. Um einen optimalen Einstieg in ein laufendes Projekt zu gewährleisten, ist er seit 01.01.2004 als Wissenschaftler (BAT IIA/2) beim Teilprojekt Tourismus beschäftigt. Während der kostenneutralen Verlängerung von 01.01.2004 bis 29.02.2004 wurde diese Stelle aus lehrstuhleigenen Mitteln finanziert. Alexander Dingeldey wird auch in Phase 2 weiter in der Forschungsgruppe Tourismus tätig sein.

Zudem wirkte in der Arbeitsgruppe Tourismus Dipl. Ing. (FH) Sabine Fischer insbesondere bei der Lösung GIS-relevanter Fragestellungen und der Umrechnung flächenbezogener Daten in Rasterdaten mit, wobei diese Stelle nicht aus Mitteln des BMBF, sondern „lehrstuhlintern“ finanziert wurde.

Während der Phase 1 von GLOWA-Danube konnten zwei Diplomarbeiten im Rahmen des Projekts vergeben werden. Im April 2002 wurde die Diplomarbeit von Petra Kegmeier abgeschlossen. Sie beschäftigte sich mit der Bildung von wasserspezifischen Touristentypen.

Die zweite Diplomarbeit wurde im Januar 2004 von Ulrike Denk abgeschlossen. Sie beschäftigte sich in dieser Arbeit mit den theoretischen Möglichkeiten der Modellierung des Naherholungstourismus. Die Erkenntnisse aus dieser Arbeit werden vor allem bei der Erstellung von tiefen Akteurmodellen im Submodell „Naherholung“ in Phase 2 sehr hilfreich sein.

1.2 Anschaffungen

Zur Einarbeitung und Vertiefung der Fachthematik, insbesondere im Bereich der Modellierung und UML, wurde aus lehrstuhleigenen Mitteln wissenschaftliche Literatur im Wert von ca. 250,- € erworben, da der Finanzierungsplan für die Arbeitsgruppe Tourismus im Bereich der sächlichen Verwaltungsausgaben keinen Posten für Literaturbeschaffung vorsah. Die Ausgaben für sekundärstatistische Daten beliefen sich auf 690,02 €. Da die apparative EDV-Ausstattung am Lehrstuhl noch nicht die Mindestanforderungen für einen reibungslosen Betrieb der UML-Software erfüllte, waren in diesem Bereich Anschaffungen für die Hardwareaufrüstung in Höhe von ca. 1750 € notwendig. Da im aktuellen Kostenplan hierfür keine Mittel vorgesehen waren, wurden diese Ausgaben aus lehrstuhleigenen Mitteln finanziert.

1.3 Mittelumwidmungen

Da von der Forschungsgruppe Tourismus im Sommer 2001 und dem darauffolgenden Winter umfangreiche Primärerhebungen durchgeführt wurden, war es notwendig, einen Teil der in Höhe von 2556,46 € bewilligten Mittel für sekundärstatistische Daten umzuwidmen. Hiermit wurden die bei Primärerhebungen anfallenden Kosten gedeckt.

1.4 Veröffentlichungen

In der Ausgabe 04/03 der Zeitschrift Integra wurde von Prof. Dr. Jürgen Schmude und Mario Sax ein Artikel mit dem Titel „Wasser als touristische Ressource“ veröffentlicht, der die Arbeit der Forschungsgruppe Tourismus im Rahmen von GLOWA-Danube vorstellt.

2. Arbeitsschritte in der Phase 1 von GLOWA-Danube

In Phase 1 wurden von der Forschungsgruppe Tourismus verschiedene Arbeitsschritte durchgeführt. Dies umfasste u.a. die Erstellung von Datenbanken, die Typisierung der Gemeinden, die Entwicklung von Schnittstellen zu anderen Forschungsgruppen und schließlich die Entwicklung des Modells der touristischen Wassernutzung.

2.1 Analyse und Eingabe von sekundärstatistischem Material

Entsprechend der Zielsetzung lag das Hauptaugenmerk der ersten Projektphase auf der Aufbereitung des sekundärstatistischen Datenmaterials. Da der weit überwiegende Teil der Daten nicht in digitaler Form vorlag, mußten umfangreiche Codierungs- und Eingabearbeiten für den Aufbau einer regionalstatistischen Datenbank durchgeführt werden. Die Erhebungsarbeiten wurden parallel zur Entwicklung des Modells durchgeführt, da sich mit dem Fortgang des Projekts der Datenbedarf veränderte. So wurden im Jahr 2001 für das Detailuntersuchungsgebiet Landkreis Miesbach Daten zu gewerblichen Ankünften, Übernachtungen und der Bevölkerung erhoben, um die Maßzahlen der Tourismusintensität und der durchschnittlichen Aufenthaltsdauer berechnen zu können. In einem weiteren Schritt wurden die Datenbasis auf alle Landkreise Bayerns ausgedehnt (vgl. Tab. 1).

Tab. 1: Datenbestand für die Landkreise Bayerns und die Gemeinden des Detailuntersuchungsgebiets.

Jahr		90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	99	01	02
Ankünfte	monatlich	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	jährlich	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Übernachtungen	monatlich	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	jährlich	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Ø Aufenthaltsdauer	monatlich	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	jährlich	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Tourismusintensität	jährlich	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Saisonalität	jährlich	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Bevölkerung	jährlich	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

Für die Verwendung des touristischen Akteurmodells im Entscheidungsunterstützungssystem DANUBIA war es notwendig, die Angaben zu monatlichen Übernachtung in gewerblichen Betrieben und die Zahl der angebotenen Gästebetten in den bayerischen Gemeinden des Untersuchungsgebiets für den Testzeitraum von 1995 bis 1995 manuell in ein Datenbanksystem einzugeben. Weiterhin wurde der zeitliche Horizont der Daten ausgedehnt, so dass für die weitere Arbeit in Phase 2 Übernachtungsdaten von 1983 bis 2003 für die bayerischen Gemeinden des Untersuchungsgebiets auf jährlicher Basis zur Verfügung stehen.

Um in der Phase 2 die Situation des Wasserbedarfs im gesamten im gesamten GLOWA-Gebiet zu modellieren, war es notwendig, die Datenbasis auf die österreichischen und schweizerischen Gemeinden auszudehnen. Dazu wurde während der kostenneutralen Verlängerung in einschlägigen statistischen Datenbanken recherchiert, zum Teil wurde Datenmaterial käuflich erworben. Daher stehen für die zweite Phase monatliche Übernachtungsdaten auf Basis der Gemeinden für die Gebiete Österreichs und den Kanton Graubünden zur Verfügung. Für den Zeitraum von 1983 bis 2002 sind für die außerbayerischen Gebiete Übernachtungsdaten auf jährlicher Basis vorhanden, mit Ausnahme von Gemeinden im GLOWA-Gebiet in Baden-Württemberg. Dort umfassen die Daten nur einen Zeitraum von 1984 bis 2002.

Weiterhin liegen für den Testzeitraum 1995 bis 1999 Daten zur Zahl der Übernachtungen und der angebotenen Gästebetten auf monatlicher Basis für Graubünden, Baden-Württemberg, Vorarlberg, Tirol und Oberösterreich vor. Eine Ausnahme bildet bislang das Bundesland Salzburg, in welchem bis jetzt noch keine monatlichen Daten für die Jahre 1995 mit 1997 erhältlich waren. Die monatlichen Daten wurden vorläufig durch Verteilung der Jahreswerte auf die einzelnen Monate geschätzt. Die Verteilung erfolgte mittels durchschnittlicher Monatsanteile, welche aus den Daten der Jahre 1998 und 1999 berechnet wurden.

2.2 Primärstatistische Arbeiten

Neben der Aufbereitung von sekundärstatistischem Material lag im Jahr 2001 ein weiterer Schwerpunkt auf der Entwicklung eines Fragebogens, der für die primärstatistischen Erhebungen in Form von Interviews im August 2001 im Gebiet Tegernsee/Schliersee verwendet wurde. Nach einer eintägigen theoretischen Einführung in die Thematik von GLOWA-Danube und der Schulung der Interviewer fand eine Gästebefragung im Untersuchungsgebiet Tegernsee/Schliersee im Rahmen eines Geländepraktikums mit 20 Studierenden vom 30.07. bis 2.08.2001 statt. Der Termin wurde in die touristische Hauptsaison gelegt, um eine möglichst hohe Zahl von Probanden vor Ort anzutreffen. Als Befragungsorte wurden Spitzingsee, Schliersee, Tegernsee, Rottach-Egern, Bad Wiessee und Gmund gewählt. Zusätzlich waren jeweils zwei Befragungsteams a zwei Personen auf den Schiffen der Bayerischen Seenschifffahrt auf dem Tegernsee unterwegs. An den vier Erhebungstagen wurden knapp 600 Interviews geführt, wovon 320 (übernachtende Touristen) für GLOWA-relevante Fragestellungen analysiert werden konnten.

Parallel zur Gästebefragung wurden Verkehrszählungen am Ortseingang von Schliersee und Gmund durchgeführt, um einerseits rein quantitative Aussagen über den Zustrom von Touristen treffen zu können und andererseits auch deren Herkunft zu bestimmen. An die Feldphase schlossen sich umfangreiche Codierungs- und Eingabearbeiten an, bevor mit der Auswertung des primärstatistischen Materials begonnen werden konnte.

Um die Ergebnisse der Besucherbefragung zu stützen, wurde eine schriftliche Befragung aller gewerblichen Beherbergungsbetriebe am Tegernsee und Schliersee (n=398) durchgeführt. Aufgrund der mangelnden Kooperationsbereitschaft der örtlichen Leistungsanbieter war die Rücklaufquote so gering, dass die Ergebnisse nicht verwendet werden konnten.

2.3 Erhebung der wasserintensiven touristischen Infrastruktur

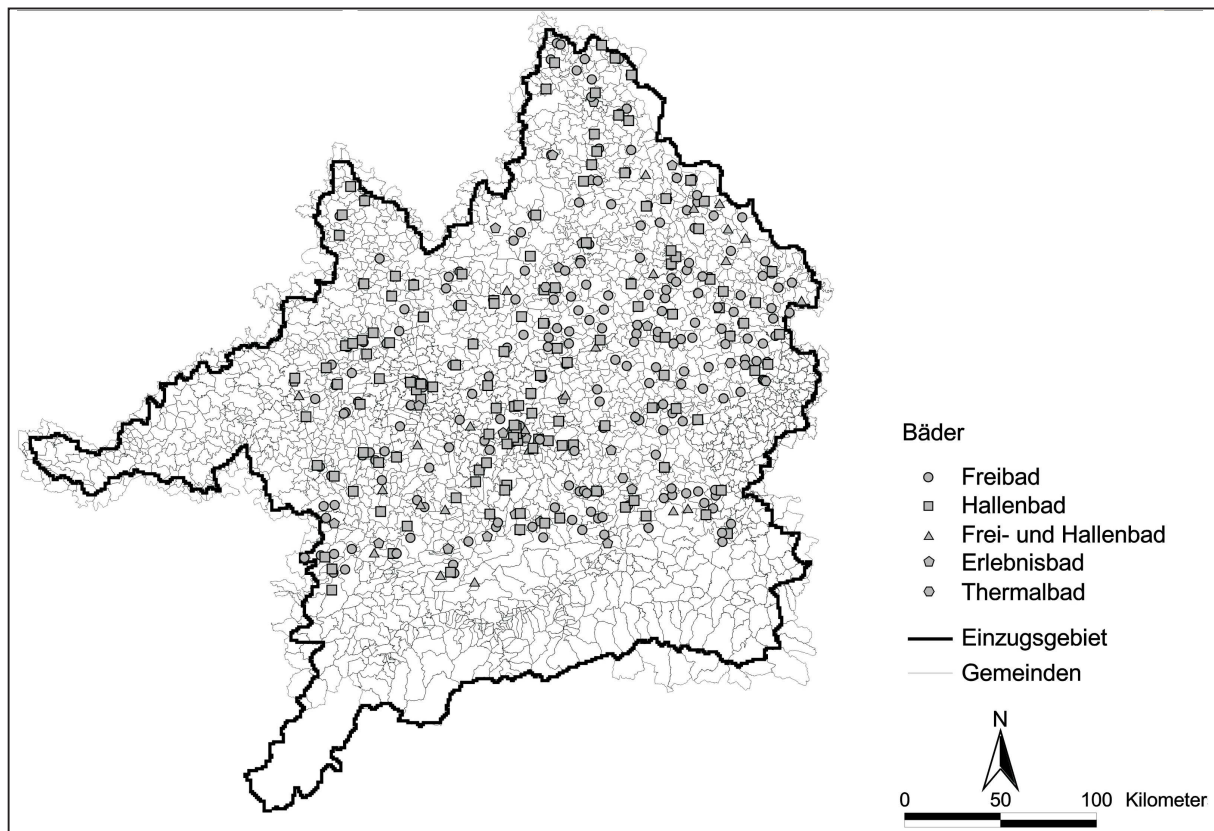
Durch die konzeptionelle Änderung des Modellaufbaus hin zu einem angebotsorientiertem touristischen Akteurmodell war es notwendig sich mit dem Wasserbedarf touristischer Infrastruktur zu beschäftigen. Ein Teil der Arbeiten, die im Jahr 2003 von der Forschungsgruppe Tourismus durchgeführt wurden, betraf die Erhebung und Verortung der für den Tourismus relevanten wasserbedarfsintensiven Infrastruktur. Dies stellte sich als äußerst arbeits- und zeitaufwändig dar. Unter wasserbedarfsintensiver Infrastruktur sind Schwimmbäder, Golfplätze und Beschneiungsanlagen zu verstehen.

2.3.1 Schwimmbäder

Die Infrastruktureinrichtungen wurden jeweils nach verschiedenen Typen unterschieden. Konkret erfolgte die Unterteilung bei den Schwimmbädern in fünf Kategorien:

- Freibad,
- Hallen- und Freibad,
- Hallenbad,
- Erlebnisbad,
- Thermalbad.

Nach der Erhebung wurden die Schwimmbäder verortet und einzelnen Proxeln zugewiesen. Die räumliche Verteilung der Schwimmbäder im bayerischen Teil des Einzugsgebiets der oberen Donau ist in Karte 1 dargestellt.



Karte 1: Schwimmbäder im bayerischen Teil des GLOWA-Gebiets.

Diese Einteilung basiert auf der Überlegung, die sich mit Hilfe von Expertengesprächen und Datenrecherchen bestätigen ließ, dass der Wasserbedarf mit der Komplexität des Angebots eines Bades ansteigt, so dass z.B. Thermalbäder aufgrund ihrer Ausstattung einen hö-

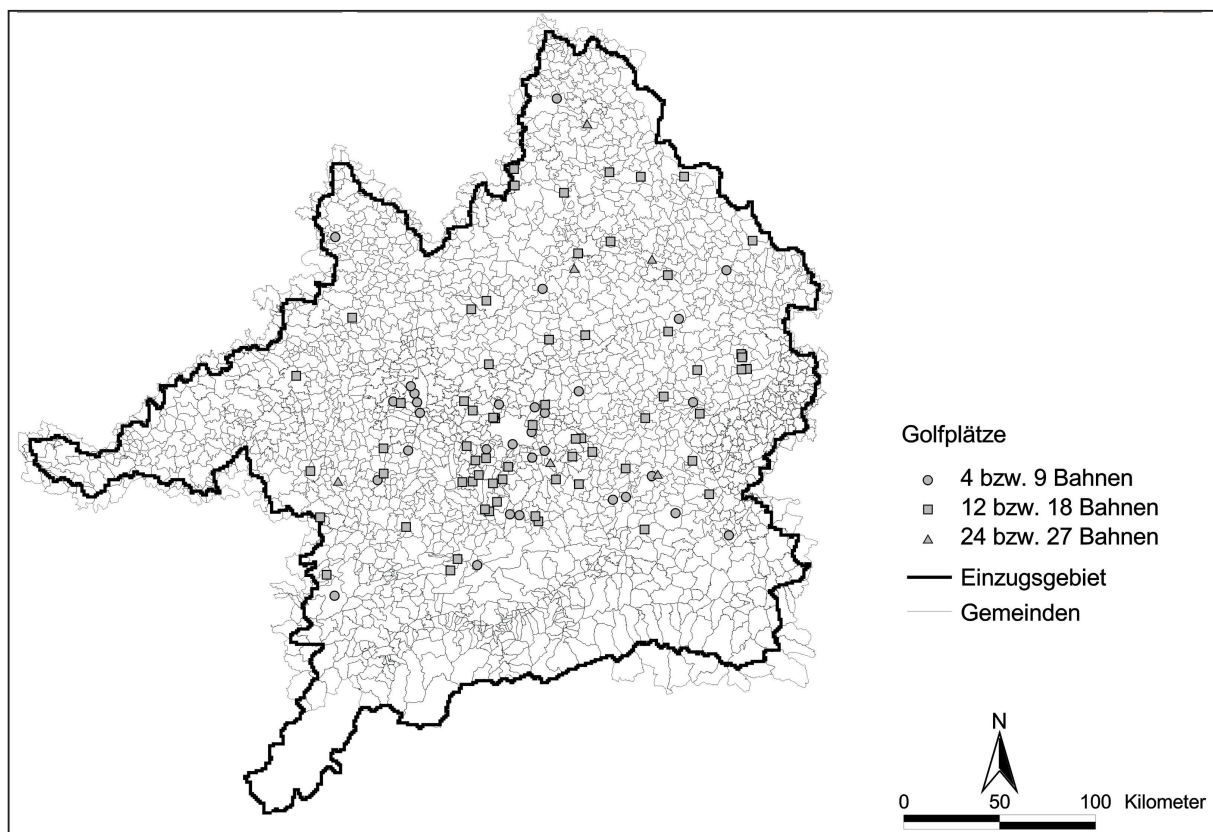
heren Wasserbedarf aufweisen, als dies bei den Freibädern der Fall ist. Für die einzelnen Kategorien ließen sich verschiedene benötigte Mengen mit Hilfe von Expertengesprächen ermitteln. Dabei ist zu beachten, dass für das touristische Wassernutzungsmodell nur Trinkwasser berücksichtigt wurde.

Tab. 2: Wasserbedarf von Schwimmbädern.

Typ	Wasserbedarf pro Monat
Freibad	1.500m ³
Frei- und Hallenbad	1.750m ³
Hallenbad	3.000m ³
Erlebnisbad	4.500m ³
Thermalbad	2.000m ³ + 2.500 m ³ Thermalwasser

2.3.2 Golfplätze

Neben den Schwimmbädern stellen auch die Golfplätze eine wasserbedarfsintensive touristische Infrastruktur dar. Ebenso wie bei den Bädern wurden die Golfplätze im bayerischen Einzugsgebiet der oberen Donau erhoben und punktgenau verortet (vgl. Karte 2). Um später den Wasserbedarf genau differenzieren zu können, wurde auch die Anzahl der Spielbahnen je Golfplatz erhoben. Man kann davon ausgehen, dass ein Golfplatz mit 18 Spielbahnen durchschnittlich etwa 30.000m³ Wasser pro Jahr benötigt. Davon werden etwa 95% aus Oberflächengewässern gedeckt, der Rest durch den Bezug von Trinkwasser aus dem Leitungsnetz.

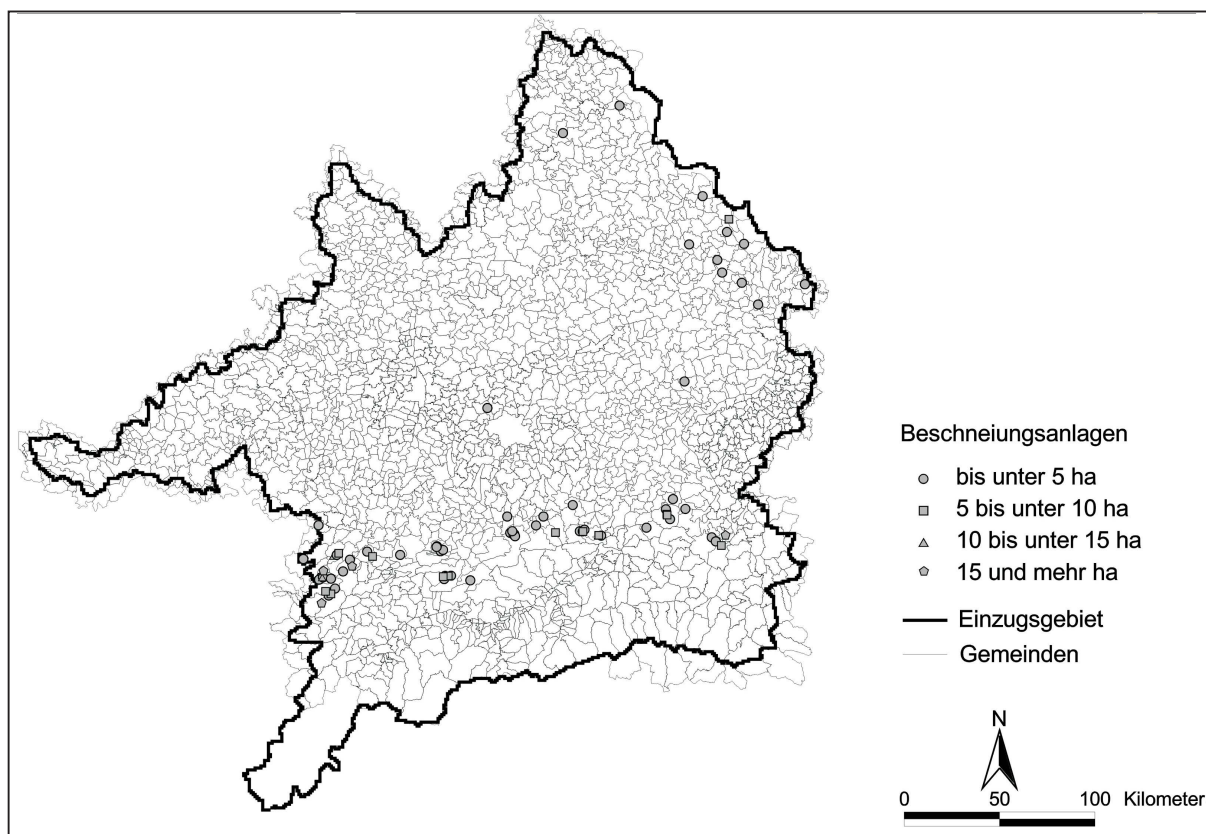


Karte 2: Golfplätze im bayerischen Teil des GLOWA-Gebiets.

2.3.3 Beschneiungsanlagen/beschneite Fläche

Für den Bereich Wintersport sind die Beschneiungsanlagen hinsichtlich des touristischen Wasserbedarfs durch Infrastruktur bedeutend. Dazu wurden Skigebiete mit Anlagen zur künstlichen Beschneigung erhoben und punktgenau verortet (vgl. Karte 3), und mit den Angaben zur beschneiten Fläche auf Basis der Proxel verrechnet. Für den Wasserbedarf kann man als Faustregel 1000m³ Wasser pro ha beschneiter Fläche im Winter ansetzen, wobei je nach lokalen Umgebungsbedingungen die Bedarfswerte schwanken können. Vom Gesamtwasserbedarf zur Beschneigung werden etwa 10% mit Hilfe von Trinkwasser aus dem Leitungsnetz gedeckt.

Der Wasserbedarf der angesprochenen Infrastruktureinrichtungen wurde mit Hilfe von Expertengesprächen und Literaturstudium erhoben.

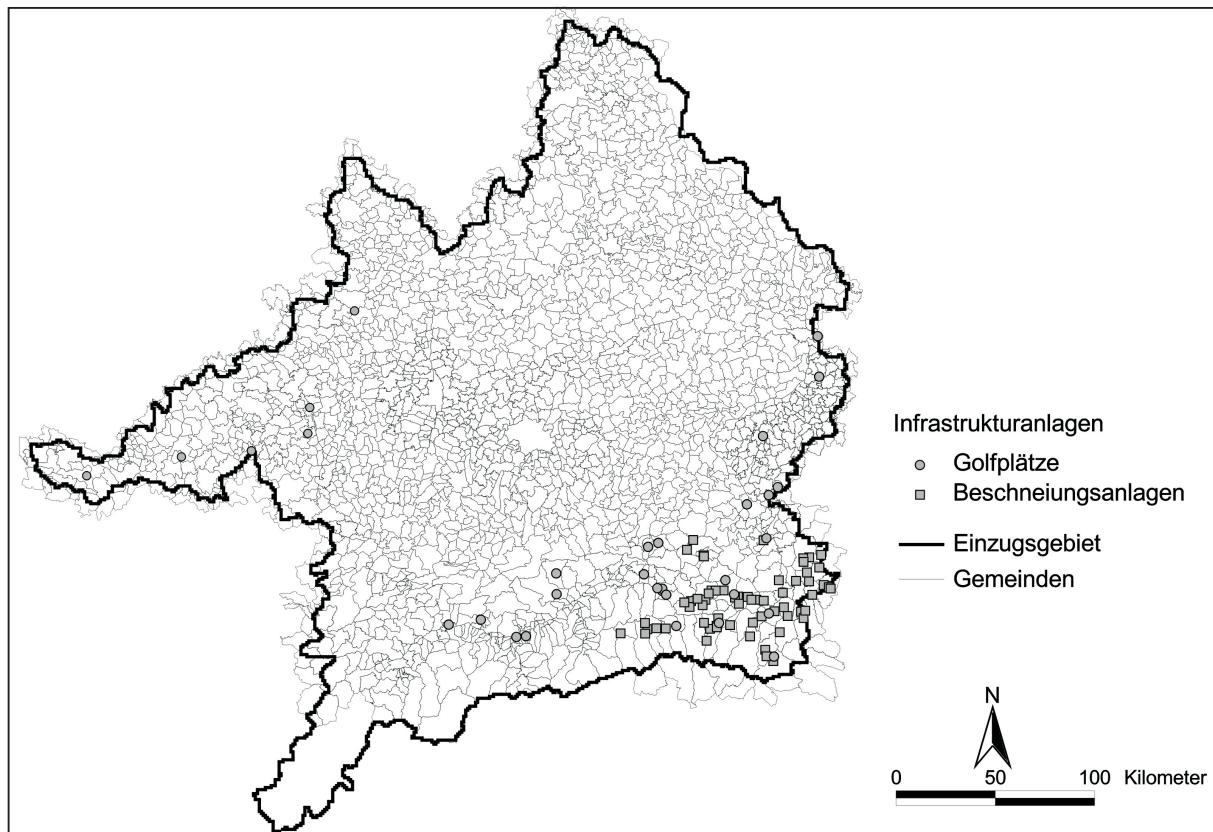


Karte 3: Beschneiungsanlagen im bayerischen Teil des GLOWA-Gebiets.

Nachdem bis zum Ende der Phase 1 die Infrastruktur für den bayerischen Teil erhoben war und für Test- und Referenzläufe verwendet wurde, wurde während der kostenneutralen Verlängerung damit begonnen, Infrastruktureinrichtungen im GLOWA-Gebiet ausserhalb Bayerns zu recherchieren. Dies beinhaltete Golfplätze, Schwimmbäder und Beschneiungsanlagen in Baden-Württemberg, Österreich und der Schweiz. Die Recherchen und Aufbereitungsarbeiten dauerten zum Ende der kostenneutralen Verlängerung noch an. Parallel dazu wurde in diesem Zeitabschnitt damit begonnen, neben der wasserbedarfsintensiven Infrastruktur, auch andere touristische Infrastruktureinrichtungen zu erheben, welche zur Steigerung der touristischen Attraktivität beitragen und für die Verfeinerung des touristischen Akteurmodells in Phase 2 benötigt werden. Darunter fallen nach bisherigen Überlegungen die Skigebiete und Freizeitparks.

Die Skigebiete liegen für die Bundesländer Bayern, Baden-Württemberg, Vorarlberg, Oberösterreich und Tirol vor. Die Anlagen für das Bundesland Salzburg und den schweizer Teil des GLOWA-Gebiets müssen noch recherchiert werden.

Weiterhin konnten bereits die Golfplätze im Glowa-Gebiet in Baden-Württemberg und in Österreich verortet werden, ebenso wie die Beschneigungsanlagen für das Bundesland Salzburg (vgl. Karte 4).



Karte 4: Verortete Infrastruktur außerhalb Bayerns.

2.4 Literaturrecherche

Zur Erfassung der Infrastruktur als auch zur Entwicklung des Modells der touristischen Wassernutzung war es notwendig, eine entsprechende Sammlung an Literatur zum Stand der Forschung aufzubauen, die entsprechend der Fortentwicklung des Modells auf konzeptioneller Ebene kontinuierlich weiterentwickelt wurde.

2.5 Erstellung von Adressdatenbanken

Da für die Verfeinerung des touristischen Akteurmodells Expertenwissen notwendig ist, wurden Adressdateien von administrativen Einrichtungen sowie von Infrastruktureinrichtungen angelegt. So bestehen Adressdateien von GLOWA-relevanten Landratsämtern in Bayern und Baden-Württemberg. Weiterhin besteht eine Adressdatenbank der Bezirkshauptmannschaften im österreichischen GLOWA-Gebiet sowie der Wasserwirtschaftsämter in Bayern und zu Golfplätzen in Baden-Württemberg und Österreich, soweit es das GLOWA-Gebiet betrifft, angelegt.

2.6 Lösung der Probleme der Dissaggregation von Daten auf die Proxel-ebene

Da die Daten des Bayerischen Statistischen Landesamtes auf der Ebene der Gemeinden publiziert werden, war eine Dissaggregation der Daten von der Gemeindeebene auf die Ebene der Proxel notwendig. Bei der Dissaggregation wurde von folgender Überlegung ausgegangen. Weil der Wasserbedarf für die Beherbergung von Touristen auf eine entsprechende Infrastruktur angewiesen ist, die sich im wesentlichen innerhalb von geschlossenen

Siedlungsgebieten befindet, wurde für die Umsetzung des Modells in DANUBIA angenommen, dass Übernachtungen nur in besiedelten Gebieten stattfinden, d.h. es kamen als Standort für die Beherbergungsbetriebe nur die Proxel in Frage, die bei der Landnutzungs-klassifikation als besiedelte Proxel ausgewiesen wurden. Eine weitere innere Differenzierung der besiedelten Flächen ist aus Sicht der Tourismusforschung im Moment noch nicht möglich. Deshalb wurde ein einfaches Verfahren zur Aufteilung der Übernachtungen auf die besiedelten Proxel vorgenommen, falls Gemeinden mehrere Siedlungsproxel enthalten. Dazu wurde die Bevölkerungsverteilung aus der Landnutzungs-klassifikation von der Gruppe Fernerkundung herangezogen. Jedem Proxel wurde entsprechend seines Anteils an der Gesamtbevölkerung der gleiche Anteil an den gesamten Übernachtungen einer Gemeinde zugeordnet.

2.7 Typisierung der Gemeinden im bayerischen Untersuchungsraum von GLOWA-Danube

Für die Berechnung des proxelgenauen touristischen Wasserbedarfs innerhalb des Submodells „Übernachtung“ wurde eine Typisierung entwickelt, die es erlaubt, jede Gemeinde im Einzugsbereich von GLOWA-Danube anhand mehrerer tourismusrelevanter Kriterien zu charakterisieren.

Ziel war es, eine für den Wasserbedarf im Beherbergungssektor notwendige Differenzierung des Einzugsgebiets von GLOWA-Danube herzuleiten, ohne eine flächendeckende, arbeitsökonomisch auch nicht zu leistende Bestandsaufnahme der gesamten touristischen Beherbergungsstruktur durchzuführen. Dabei wurden den Gemeinden verschiedene Typen mit einem bestimmten Verhältnis von gewerblichen und privaten Übernachtungen zugeordnet. Dies ist für die Berechnung des konstanten Wasserbedarfs in den Beherbergungsbetrieben erforderlich, der mit Hilfe von folgender Formel ermittelt werden kann.

$$\text{Wasserbedarf} = \ddot{U}_G \times K_{GR} + \ddot{U}_P \times K_{KL}$$

- \ddot{U}_G = Anteil an gewerblichen Übernachtungen in Prozent
- K_{GR} = Konstante für Großbetriebe in Litern
- \ddot{U}_P = Anteil an privaten Übernachtungen in Prozent
- K_{KL} = Konstante für Kleinbetriebe in Litern

Die Typisierung der Gemeinden wurde in einem Ausschnitt des Untersuchungsgebiets von GLOWA-Danube anhand von 144 Beispielmunicipalitäten aus dem Raum Ostbayern und Oberbayern durchgeführt. Die Auswahl dieser Gemeinden erfolgte aufgrund der heterogenen Struktur des Tourismus hinsichtlich seiner ökonomischen Bedeutung für den Tourismus und wegen der günstigen Datenlage, da neben der amtlichen Statistik auch die Daten der Fremdenverkehrsverbände zur Verfügung standen. Nach der Typisierung der Beispielregion wurde die Typisierung auf den gesamten bayerischen Raum des Einzugsgebiets der oberen Donau übertragen.

Für die Typisierung der ausgewählten Gemeinden wurden zunächst die Zahlen der amtlichen Fremdenverkehrsstatistik des Bayerischen Landesamtes für Statistik (aus dem Jahr 2001) zu den Übernachtungszahlen aus den Verbandsstatistiken verschiedener Orte der Fremdenverkehrsverbände Ostbayern und Oberbayern (ebenfalls aus dem Jahr 2001) in Relation gesetzt. Zur Validierung der Ergebnisse wurden auch die Übernachtungszahlen aus den Jahren 1997 bis 2000 der beiden genannten Statistiken herangezogen, um somit ausschließen zu können, dass ein – im Vergleich zu anderen Jahrgängen stark – abweichender Wert aus dem Jahr 2001 für verschiedene Gemeinden in die Untersuchung einfließt. Die Anteile der gewerblichen Übernachtungen in den einzelnen Gemeinden erwiesen sich im Zeitraum zwischen 1997 und 2001 als äußerst stabil. In wenigen Ausnahmefällen mit einem oder zwei stark abweichenden Werten wurde ein Mittelwert über die fünf zur Verfügung stehenden Jahrgänge für die einzelnen Gemeinden gebildet, der im weiteren als Grundlage für die Typisierung der Beispielmunicipalitäten diente. Auf diese Weise konnte für ins-

gesamt 144 Gemeinden aus den Fremdenverkehrsregionen Ostbayern und Oberbayern der Anteil der gewerblichen Übernachtungen bestimmt werden.

Bei der Analyse der bivariaten Zusammenhänge zwischen einzelnen zur Typisierung ausgewählten Variablen (z.B. Einwohnerzahl, Tourismusintensität, durchschnittliche Aufenthaltsdauer) mit dem Anteil an gewerblichen Übernachtungen in verschiedenen Gemeinden konnte eine direkt proportionale Zunahme des Anteiles der Übernachtungszahlen in gewerblichen Betrieben mit der Zunahme der Einwohnerzahl der jeweiligen Gemeinde festgestellt werden. Im Gegensatz dazu war jedoch nur ein deutlich geringerer Zusammenhang mit anderen Kriterien wie der Tourismusintensität, der durchschnittlichen Aufenthaltsdauer und der Gesamtzahl der Übernachtungen nachweisbar. Aufgrund dieser Ergebnisse ist die Einwohnerzahl der jeweiligen Gemeinden als wichtigstes Kriterium für die Zuordnung zu einem bestimmten Typ anzusehen.

Neben der Einwohnerzahl wurden für die Typisierung der Gemeinden hinsichtlich ihres Anteiles an gewerblichen Übernachtungen die Tourismusintensität und die durchschnittliche Aufenthaltsdauer als weitere Kriterien herangezogen, um damit die einzelnen Typen auch durch touristische Parameter voneinander abgrenzen zu können. Sowohl die Tourismusintensität als auch die durchschnittliche Aufenthaltsdauer sind touristische Kennziffern zur Beschreibung der ökonomischen Bedeutung des Tourismus in verschiedenen Untersuchungsregionen. Die Tourismusintensität, die je nach Autor als Übernachtungen pro 100 Einwohner (EISENSTEIN 1995, S. 89) bzw. pro 1.000 Einwohner (STATISTISCHES BUNDESAMT 2001 S. 139) der jeweiligen Region berechnet wird, kennzeichnet am eindrucksvollsten die wirtschaftliche Bedeutung des Tourismus für eine Gemeinde. KOCH (1966, S. 31) geht davon aus, dass ein Wert der Tourismusintensität von 500 einem Anteil der durch den Tourismus erwirtschafteten Leistung am Volkseinkommen der Gebietseinheit von einem Prozent entspricht. Bei der Ermittlung des Prozentanteiles des Volkseinkommens einer Region durch den Tourismus ist jedoch zu beachten, dass die ökonomischen Effekte der Naherholung und durch den übernachtenden Tourismus ausgelöste indirekte und induzierte ökonomische Effekte nicht in die Berechnung eingehen. Schließlich gibt auch die durchschnittliche Aufenthaltsdauer einer Region einen Hinweis auf die Stellung des Tourismus innerhalb ihrer Wirtschaftsstruktur, da mit einer zunehmender Verweildauer der Touristen auch deren Ausgaben in der jeweiligen Untersuchungseinheit zunimmt.

Die absolute Zahl der Übernachtungen war dagegen für die Typisierung der Gemeinden hinsichtlich ihres Anteils an gewerblichen Übernachtungen nur von untergeordneter Bedeutung, da sie indirekt über den relativen Wert der Tourismusintensität (Zahl der Übernachtungen je 100 Einwohner) in die Typisierung eingeht. Ebenso konnte die Saisonalität bei der Typisierung der Gemeinden vernachlässigt werden, da kein Zusammenhang zwischen dem Wert der Saisonalität und dem Anteil an gewerblichen Übernachtungen festgestellt werden konnte. Die Lage der einzelnen Gemeinden und eventuell vorhandene Prädikatisierungen der einzelnen Ortschaften gingen schließlich als beschreibende Charakteristika in die Typisierung der Gemeinden hinsichtlich ihres Anteiles an gewerblichen Übernachtungen ein und dienten der Abrundung des Erscheinungsbildes der vier ermittelten Gemeindetypen.

In der folgenden Tabelle 3 ist die Typisierung nach dem Anteil der gewerblichen Übernachtungen für die vier definierten Gemeindetypen sowie die zur Typisierung verwendeten Kriterien bzw. weitere beschreibende Charakteristika dargestellt.

Typ A konnte als eher städtisch geprägte Gemeinde beschrieben werden, in welcher der Tourismus trotz z.T. hohen absoluten Übernachtungszahlen - im Vergleich zu anderen Wirtschaftszweigen - nur eine untergeordnete ökonomische Rolle spielt (z.B. Ingolstadt, Landshut, Augsburg). Natürlich dürfen die durch den Städtetourismus in den größeren Städten Bayerns (z.B. München, Regensburg und Passau) erzielten absoluten Einnahmen aufgrund der hohen Zahl von Jahresnchtigungen nicht unterschätzt werden, die selbstverständlich auch einen hohen touristisch Wasserbedarf zur Folge haben, der bei den Berechnungen im

Rahmen von GLOWA-Danube - trotz der geringeren relativen Bedeutung des Tourismus in den Großstädten - nicht vernachlässigt werden darf.

Tab. 3: Katalog der Kriterien und Charakteristika für die Typisierung der Gemeinden hinsichtlich ihres Anteiles an gewerblichen Übernachtungen.

Typ A	Typ B
Hohe Einwohnerzahl (> 10.000)	Mittlere Einwohnerzahl (5.000 bis 10.000)
Geringe Tourismusintensität (< 1.000 Punkte)	Sehr hohe Tourismusintensität (> 7.500 Punkte)
Geringe durchschnittliche Aufenthaltsdauer (< 2 Tage)	Sehr hohe durchschnittliche Aufenthaltsdauer (> 7 Tage)
Keine Prädikatisierung Lage außerhalb tourist. Kerngebiete	Prädikate: Heilbad, Luftkurort Lage innerhalb tourist. Kerngebiete
Typ C	Typ D
Niedrige bis mittlere Einwohnerzahl (3.000 bis 7.500)	Geringe Einwohnerzahl (< 3.000)
Mittlere bis hohe Tourismusintensität (3.000 bis 7.500 Punkte)	Geringe Einwohnerzahl (< 3.000)
Hohe durchschnittliche Aufenthaltsdauer (4 bis 7 Tage)	Mittlere Tourismusintensität (1.000 bis 3.000 Punkte)
	Mittlere durchschnittliche Aufenthaltsdauer (2 bis 4 Tage)
Prädikate: Luftkurort, Erholungsort, heilklimatischer Kurort Lage innerhalb tourist. Kerngebiete	Prädikate: Erholungsort, ohne Prädikat Lage innerhalb tourist. Kerngebiete
<input type="checkbox"/> Kriterien	<input type="checkbox"/> Charakteristika

Im Gegensatz dazu wies der hohe Wert der Tourismusintensität (bis zu 30% des Volkseinkommens wird aus dem Tourismus generiert; zum Vergleich in Deutschland etwa 7,5%) (DEUTSCHES INSTITUT FÜR WIRTSCHAFTSFORSCHUNG 1999, S. 108) der Gemeinden des Typs B auf eine extrem hohe Bedeutung des Tourismus für deren Wirtschaft hin. Aufgrund der hohen durchschnittlichen Aufenthaltsdauer in den Gemeinden vom Typ B konnten diese Gemeinden als Bade- bzw. Kurorte oder bekannte Erholungsorte (z.B. Oberstdorf, Bad Füssing, Bad Reichenhall) charakterisiert werden.

Eine etwas geringere, aber dennoch nicht zu unterschätzende ökonomische Bedeutung des Tourismus wurde für die Gemeinden des Typs C (z.B. Tegernsee, Schliersee) ermittelt.

Der Gemeindetyp D kann schließlich als „ländliches“ Gegenstück des Typ A beschrieben werden, da er sich von diesem vor allem durch eine deutlich niedrigere Einwohnerzahl unterscheidet (z.B. Eschenlohe, Oberau und Ohlstadt im Landkreis Garmisch-Partenkirchen).

In einem weiteren Arbeitsschritt wurde im Anschluß anhand der festgelegten Kriterien eine Übertragung der Typisierung auf die restlichen Gemeinden im bayerischen Einzugsbereich von GLOWA-Danube durchgeführt und somit die Gemeinden den einzelnen Typen zugeordnet.

In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass für ca. 50% der 1449 im Einzugsbereich von GLOWA-Danube liegenden bayerischen Gemeinden in der amtlichen Tourismusstatistik im Jahr 2001 keine Übernachtungszahlen aufgeführt wurden, diese Gemeinden also nicht in die Typisierung mit einbezogen werden konnten. Dies liegt zum Teil daran, dass keine statistischen Daten zu gewerblichen Übernachtungen vorhanden sind, teils werden die Daten aus Gründen des Datenschutzes zurückgehalten.

Die für das Forschungsvorhabens GLOWA-Danube wegen des verursachten touristischen Wasserbedarfs relevanten 703 Gemeinden Bayerns wurden bei der Typisierung hinsichtlich des Anteils an gewerblichen Übernachtungen berücksichtigt. Dabei konnten 258 dem Typ A, 26 Gemeinden dem Typ B, 126 dem Typ C und schließlich 295 Gemeinden dem Typ D zugeordnet werden.

3. Schnittstellen/Kooperationen der Forschungsgruppe Tourismus in Phase 1

Ein wichtiger Aspekt bei der Zusammenarbeit mit anderen Forschungsgruppen im Rahmen von GLOWA-Danube war die Bildung von Schnittstellen. Im Jahr 2001 waren Schnittstellen zu den Gruppen Psychologie, Ökonomie, Glaziologie und Politik vorgesehen (vgl. Abb. 1).

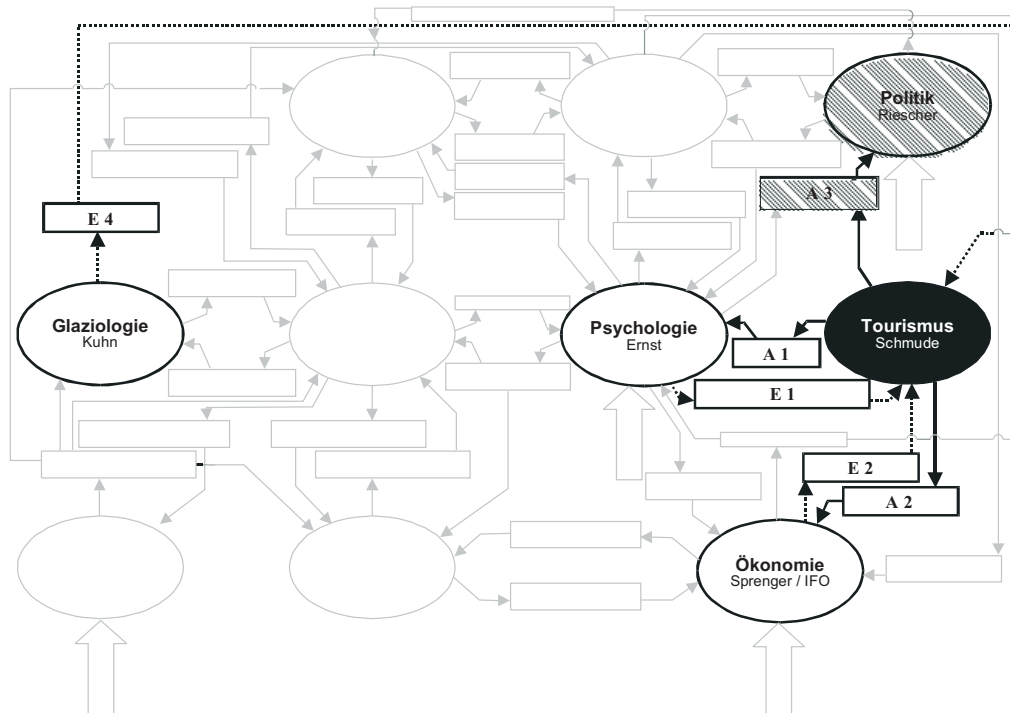


Abb. 1: Kooperationen mit anderen Arbeitsgruppen.

Konkret wurden dazu mit der Gruppe Psychologie und Ökonomie festgelegt, welche Informationen zwischen ihnen und der Forschungsgruppe Tourismus ausgetauscht werden sollen (vgl. Tab. 4).

Tab. 4: Schnittstellen zwischen der Forschungsgruppe Tourismus und anderen Gruppen im Jahr 2001.

GLOWA-Gruppe	Wird von Tourismus geliefert (A)	Wird von Tourismus benötigt (E)
(1): Psychologie	<ul style="list-style-type: none"> Wasserelevante Verhaltensweisen verschiedener Touristentypen; Soziodemographische Strukturen im Untersuchungsgebiet 	<ul style="list-style-type: none"> Entscheidungen der Nutzer in Bezug auf Wasserbedarf und -Nutzung; subjektive Risikoeinschätzung; Akzeptanz, Einbindung der „touristischen Verhaltensweisen“ in das Akteurmodell zur Entwicklung touristischer Szenarien
(2) Ökonomie	<ul style="list-style-type: none"> Abschätzung der ökonomischen Bedeutung des Tourismus auf Basis der vorherrschenden Tourismusarten, Tourismusintensität und der modellierten Touristentypen; 	<ul style="list-style-type: none"> Wirtschaftliche Bedeutung des Tourismus im Untersuchungsraum anhand von Beschäftigtenzahlen in den Wirtschaftsbereichen

Die oben genannten und am Beispiel des Modellverbunds DANUBIA gezeigten Kooperationen mit den Projektpartnern wurden ergänzt durch Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Informatik.

Im Rahmen der Ausarbeitung des Antrages für die zweite Förderphase von GLOWA-Danube wurden die für den Austausch von Daten mit anderen Forschergruppen erforderlichen bereits bestehenden Schnittstellen überprüft bzw. neue Interfaces abgestimmt. Von den vorgesehenen Schnittstellen der Forschergruppe Tourismus wurde die Weitergabe des ermittelten touristischen Wasserbedarf an die Arbeitsgruppen Ökonomie und Grundwasser bestätigt, wobei von letzterer auch der zum Verbrauch durch den Tourismus zur Verfügung stehende Wasseranteil übermittelt wurde.

Aufgrund der Tatsache, dass die Bildung der zunächst vorgesehenen wasserspezifischen Touristentypen nicht die gewünschten Ergebnisse erzielte und das touristische Modell in der Folge stärker von den Anbietern verschiedener Supra- und Infrastruktureinrichtungen geprägt wurde, kommt der anfangs vorgesehenen Bereitstellung psychologischer Eigenschaften der Touristen durch die Arbeitsgruppe Psychologie nur noch eine untergeordnete Rolle zu und wurde für den Rest der Phase 1 nicht mehr benötigt.

Für das noch zu entwickelnde Submodell „Naherholung“ hat der Datenaustausch mit den beiden GLOWA-Forschergruppen Meteorologie und Oberflächengewässer eine besondere Bedeutung. Dabei werden von den beiden genannten Gruppen Werte für das touristische Modell zur Verfügung gestellt, die als wesentliche Faktoren für die Quantifizierung des Naherholungsaufkommens anzusehen sind. Die Arbeitsgruppe Meteorologie liefert zum einen die Zahl der Tage pro Monat, die eine Sonnenscheindauer von mindestens 8 Stunden aufweisen, und zum anderen die Zahl der arbeitsfreien Tage mit bzw. ohne Niederschlagsereignissen pro Monat, da bei guten Witterungsbedingungen und an „schönen“ arbeitsfreien Tagen von einer deutlich höheren Zahl von Naherholern in den touristischen Infra- und Suprastruktureinrichtungen auszugehen ist.

Die touristische Nutzung der im Einzugsbereich von GLOWA-Danube liegenden Talsperren durch übernachtende Touristen und Naherholer wird nicht unwesentlich vom durchschnittlichen Wasserstand der Stauseen beeinflusst, weil dadurch die Attraktivität der umgebenden Landschaft zu- bzw. abnimmt. Daneben ist die Möglichkeit zur touristischen Nutzung der Talsperren - z.B. durch verschiedene Wassersportarten - nicht selten von einem gewissen Mindestwasserstand abhängig. Von der Forschergruppe Oberflächengewässer wird deshalb der durchschnittliche Wasserstand der im Einzugsbereich von GLOWA-Danube befindlichen Talsperren und die Zahl der Tage pro Monat bereitgestellt, an denen eine touristische Nutzung der entsprechenden Talsperren möglich ist.

Sowohl für das Submodell „Naherholung“ als auch für das Submodell „Übernachtung“ wird der Forschergruppe Tourismus in Zukunft für ihre Berechnungen von der Gruppe Glaziologie die Zahl der Tage mit einer Schneehöhe von mehr als 30 cm in den im Einzugsbereich der oberen Donau befindlichen Skigebieten zur Verfügung gestellt. Dieser Wert gilt als Mindesthöhe für den Betrieb von Skiliften und die Präparierung von Abfahrtpisten. Schließlich kann die Produktion von Kunstsnee in den Wintermonaten auch nur bei einer Kombination einer bestimmten Temperatur mit einer gewissen Luftfeuchtigkeit durchgeführt werden. Nach der Festlegung der beiden Werte - innerhalb der zweiten Phase des Forschungsvorhabens GLOWA-Danube - wird von der Forschergruppe Meteorologie die Zahl der Tage pro Monat geliefert, welche die geforderten Mindestwerte erfüllen.

4. Modellentwicklung

Zu Beginn der Phase 1 war es bei der Forschungsgruppe Tourismus notwendig, sich mit der Bildung eines Modells zu befassen, da die einschlägige wissenschaftliche Literatur zwar einzelne Fragestellungen zum Problemkreis „Tourismus und Wasser“ durchaus umfang-

reich behandelt, teilweise jedoch auch noch weitgehend unbearbeitete Themenbereiche in das Projekt aufgenommen wurden. Dazu zählt beispielsweise das entwickelte angebotsorientierte Akteurmodell. Zunächst wurde jedoch ein nachfrageorientiertes Modell entwickelt, welches sich auf die Bildung von Touristentypen stützte.

4.1 Nachfrageorientiertes touristisches Modell

Wasser in Form von Flüssen und Seen erhöht als Teil des natürlichen Angebots im Tourismus die Attraktivität einer touristischen Destination. Die bei entsprechender Vermarktung zumindest saisonal höhere Bevölkerungsdichte in den Tourismusegebieten und die Nutzung der Wasserflächen für Freizeitaktivitäten erhöhen die Ansprüche an die Ressource Wasser, hinsichtlich des Wasserbedarfs und der -belastung.

Es wurde eine funktionale Beschreibung und eine Formalisierung des Verhaltens von Touristen hinsichtlich der relevanten Kriterien zum einen auf sekundärstatistischer Basis, zum anderen mit Hilfe von eigenen Erhebungen in der Untersuchungsregion Tegernsee/Schliersee angestrebt. Um einen Überblick des künftigen Modells zu gewähren, wurde ein erster Grobentwurf erarbeitet, der die Interdependenzen im Tourismus berücksichtigt und darstellt (vgl. Abb. 2).

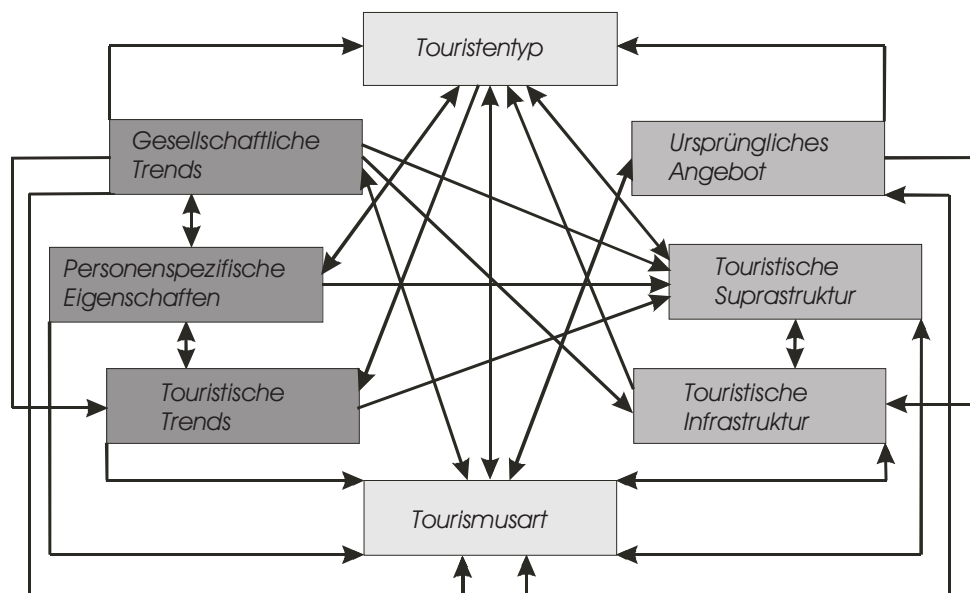


Abb. 2: Interdependenzen im Modell Tourismus.

Die Erfassung des ursprünglichen Angebots, der touristische Infra- und Suprastruktur sowie der vorwiegenden Tourismusarten in der Untersuchungsregion konnte auf der Basis von Literatur- und Dokumentenanalysen vorgenommen werden. Für die Modellierung verschiedener Touristentypen war jedoch vorgesehen personenspezifische Eigenschaften oder soziodemographische Merkmale der Gäste (Alter, Geschlecht, Schulbildung, Beruf als Indikator des sozialen Niveaus, Haushaltsgröße, Nettoeinkommen etc.) zu verwenden, die nur mit Hilfe primärstatistischer Erhebungen (standardisierter Fragebogen) ermittelt werden konnten. Das galt für das Reiseverhalten der Touristen, das über Parameter, wie z.B. Anlaß der Reise (Tagung, Kur usw.), Aufenthaltsdauer, Unterbringungsart (bedeutend für den Wasserbedarf), Reisedistanz, Benutzung von Verkehrsmitteln, Reiseform, Aktivitäten/Nutzung von Einrichtungen (wasserrelevant), Ausgabenstruktur etc. analysiert wurde. Bei der Untersuchung subjektiver Sachverhalte wurde besonderer Wert auf die Einstellung zur Ressource Wasser und zum Bedarf von Wasser am Urlaubsort gelegt. Der Einfluß gesamtgesellschaftlicher und neuer touristischer Trends auf das Reiseverhalten sollte u.a. in Absprache mit der Arbeitsgruppe Psychologie näher untersucht werden.

Im Rahmen der interdisziplinären Zusammenarbeit führte die Arbeitsgruppe Tourismus zunächst eine retrospektive Analyse demographischer Daten für den Zeitraum von 1990 bis 2000 durch. Hierzu wurden auf Regierungsbezirks-, Landkreis- und - für das Detailuntersuchungsgebiet - auf Gemeindeebene vorliegende sowie kommerziell verfügbare Daten genutzt. Die Ergebnisse waren dazu gedacht, unter anderem das psychologische Akteurmodell der Arbeitsgruppe Umweltpsychologie bei der Untersuchung von Veränderungen der Ansprüche an Wasserverfügbarkeit und -qualität in Folge von Bevölkerungsentwicklung, Urbanisierung, Migration und Industrialisierung zu unterstützen.

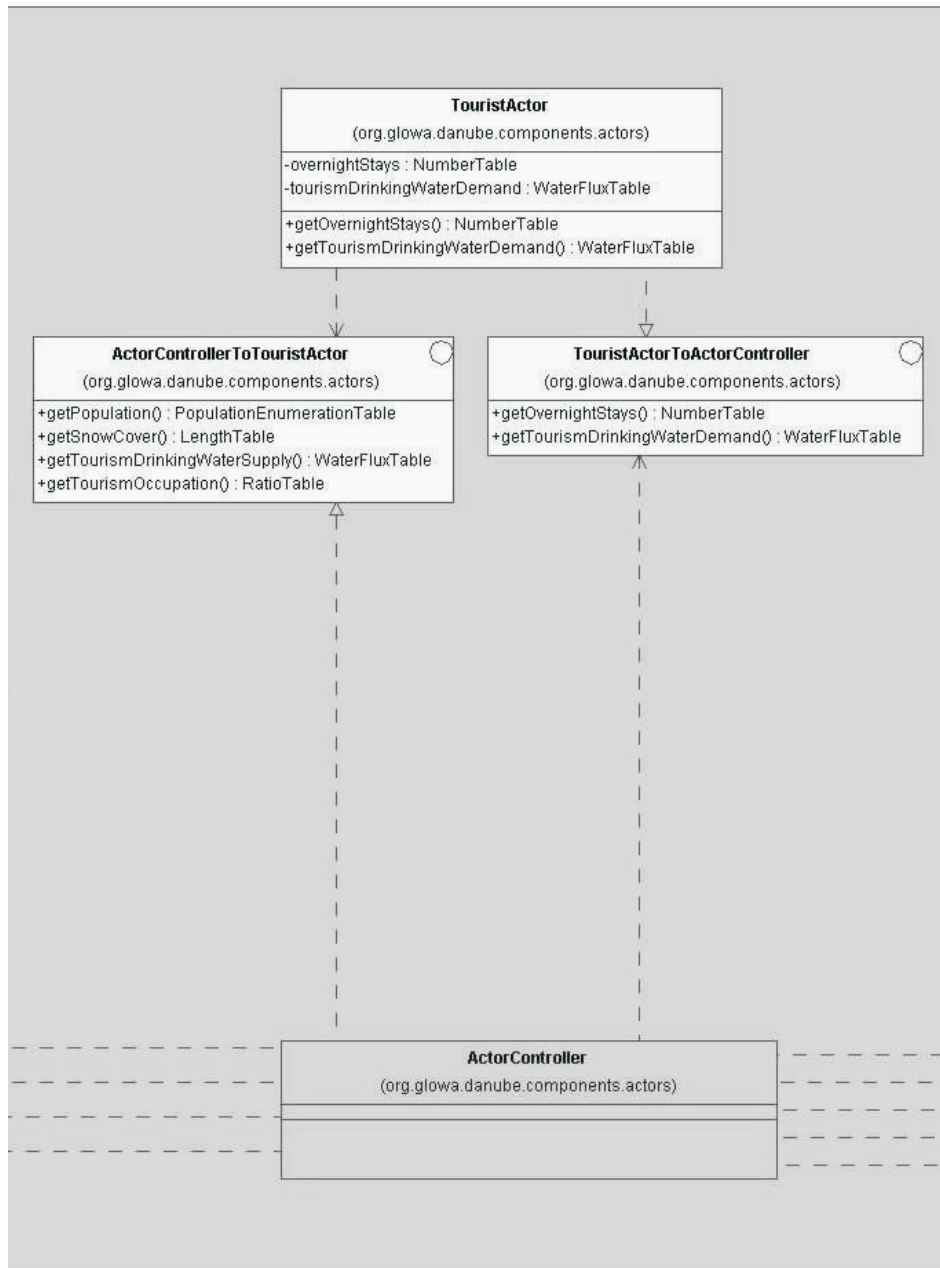


Abb. 3: Der TouristActor im Actors-Gesamtmodell.

Nach ersten Auswertungen zu den Gästebefragungen im Sommer 2001 konnte das ursprüngliche „Modellgerüst“ (vgl. Abb. 2) erheblich erweitert und verfeinert und schließlich auch in UML umgesetzt werden (vgl. Abb. 3). Die Konkretisierung des Akteurmodells und die Modellierung von Touristentypen sollte erst nach dem Vorliegen erster primärstatistischer Ergebnisse aus der Feldphase im August 2001 begonnen werden, da vorher eine Abschätzung der Größenordnung bzw. Gewichtungsfaktoren der Einflußparameter kaum möglich war.

Das „interne“ Modell der Arbeitsgruppe Tourismus fungierte sozusagen als „black box“ für die Modellierung der verschiedenen Touristentypen (TouristTypes), die später zusammengefaßt zum „TouristActor“ in das Actors-Gesamtmodell einfließen sollten.

4.2 Das „interne“ Modell der Gruppe Tourismus

Der TouristType im „internen“ Modell wurde aus mehreren separaten TouristTypes gebildet. Die einzelnen TouristTypes wiederum wurden aus den vier Bausteinen TravelBehaviour (Reiseverhalten), WaterAsTouristicSupply (Wasser als touristisches Angebotelement), BehavioursAndAttitudes (Einstellungen und Verhalten) und SocioDemography zusammengesetzt (vgl. Abb. 4).

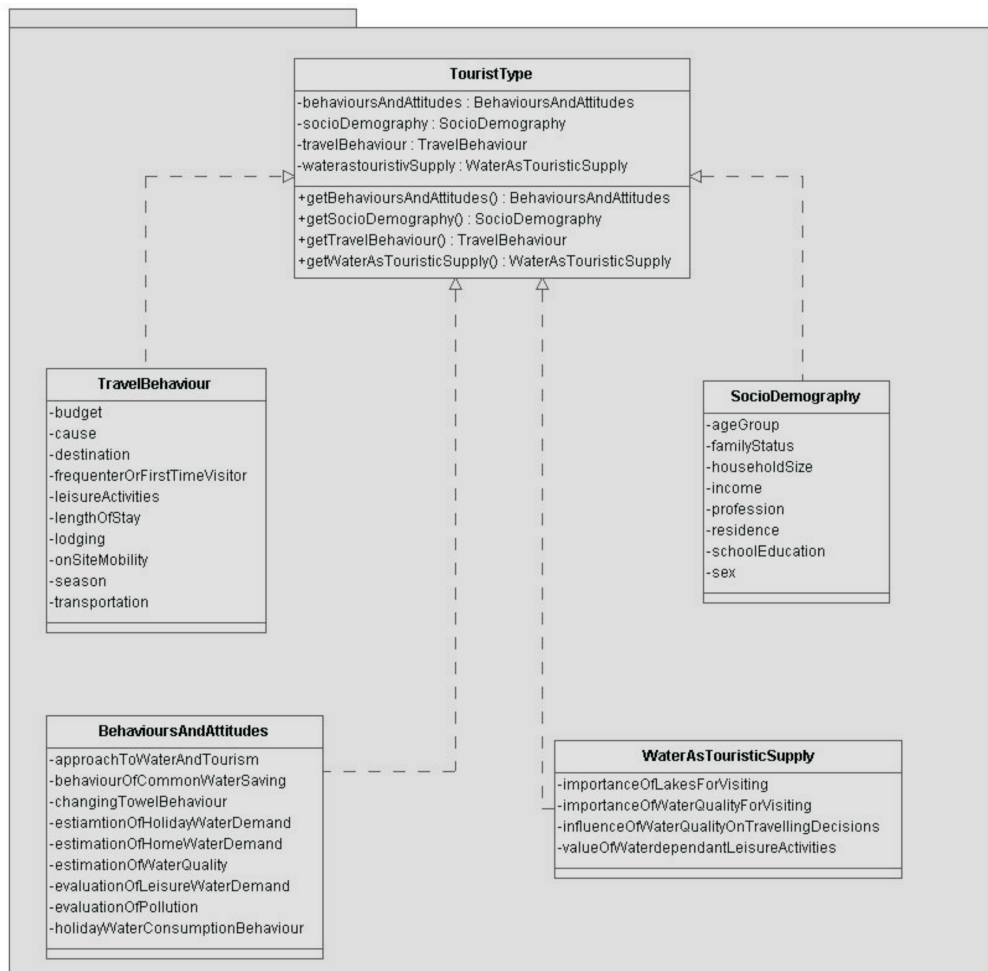


Abb. 4: Das interne Modell des TouristType.

Das Reiseverhalten der Touristen sollte mit Hilfe mehrerer Variablen erfaßt werden. So wurden auch in der Primärhebung die Ausgaben in DM (budget), der Reiseanlaß/-motiv, wie z.B. Kur, Erholung oder Tagung (cause), der Unterkunftsort (destination), der eigene Status als Urlauber, d.h. Stammgast oder „Ersttäter“ (frequenterOrFirstTimeVisitor) und im Zusammenhang damit die Anzahl bzw. Häufigkeit der Besuche pro Zeiteinheit ermittelt. Die Aufenthaltsdauer (lengthOfStay), die Art der Unterkunft, wie z.B. Hotel, Pension oder Privatzimmer (lodging), die Fortbewegung vor Ort (onSiteMobility), die Saison (season) und das für die Anreise gewählte Verkehrsmittel (transportation) waren weitere Parameter, um das Reiseverhalten der Touristen zu charakterisieren.

Um die Relevanz von „Wasser als touristisches Angebotelement“ feststellen zu können, mußte die Bedeutung des Sees für den Besuch (importanceOfLakesForVisiting), der Einfluß der Wasserqualität auf die Reiseentscheidung (influenceOfWaterQualityOnTravelling

Decisions) und die Bedeutung wasserabhängiger Freizeitaktivitäten (valueOfWaterDependentLeisureActivities) für die Touristen erfaßt werden.

Ein wichtiger Fragenkomplex innerhalb des Erhebungsbogen und ein ebenso wichtiger Aspekt für die Typisierung von wasserspezifischen Touristentypen beschäftigte sich mit wasserrelevanten Einstellungen und Verhaltensweisen (BevioursAndAttitudes): So wurde hier die Einstellung zu Wasser und Tourismus (approachToWaterAndTourism), das allgemeine Wassersparverhalten (behaviourOfCommonWaterSaving) und das Verhalten beim Handtuchwechsel in der Unterkunft (changingTowelBehaviour) beleuchtet.

Darüberhinaus wurden die Probanden gebeten, einige Einschätzungen bezüglich Wasserbedarf und Wasserqualität abzugeben. Es sollte beispielsweise der Wasserbedarf im Urlaub (estimationOfHolidayWaterDemand) mit dem zu Hause (estimationOfHomeWaterDemand) vergleichend geschätzt werden oder Aussagen über die Wasserqualität (estimationOfWaterQuality), den Wasserbedarf (estimationOfLeisureWaterDemand) bzw. die Wasserbelastung (evaluationOfPollution) durch Freizeitaktivitäten oder das Wassernutzungsverhalten im Urlaub (holidayWaterConsumptionBehaviour) getroffen werden.

Ein „Kernstück“ für die Ermittlung wasserspezifischer Touristentypen war der Baustein Soziodemographie, der alle für die Typisierung relevanten personenspezifischen Eigenschaften oder soziodemographischen Merkmale der Gäste enthielt.

Auf der Basis der beschriebenen Variablen sollten die für den TouristActor im Actors-Gesamtmodell relevanten Touristentypen ermittelt werden. Unter die Rubrik „TripperType“ wurden Tagestouristen und Naherholer etc. zusammengefasst, die nicht im Untersuchungsgebiet übernachteten.

Aufgabe des TouristActors war es vorerst (in Phase 1), nur die Gesamtzahl der übernachtenden Touristen im bayerischen Teil des Einzugsgebiets der oberen Donau und den daraus resultierenden Trinkwasserbedarf zu modellieren und anderen Gruppen zur Verfügung zu stellen. In einer späteren Projektphase (Phase 2) soll zusätzlich die Anzahl der Tagestouristen/Naherholer im Untersuchungsgebiet ermittelt werden, so dass der Wasserbedarf in diesem Tourismusbereich ebenfalls in das Modell einfließen kann.

Mit Hilfe von Landschaftsbewertungsverfahren nach KIEMSTEDT (1967) sowie der Tourismusverbandsstatistiken (Reisemotiv) war geplant, die prozentualen Anteile der Touristentypen an der Gesamtzahl der Touristen zu ermitteln, um dadurch den Wasserbedarf zu errechnen (vgl. Abb. 5).

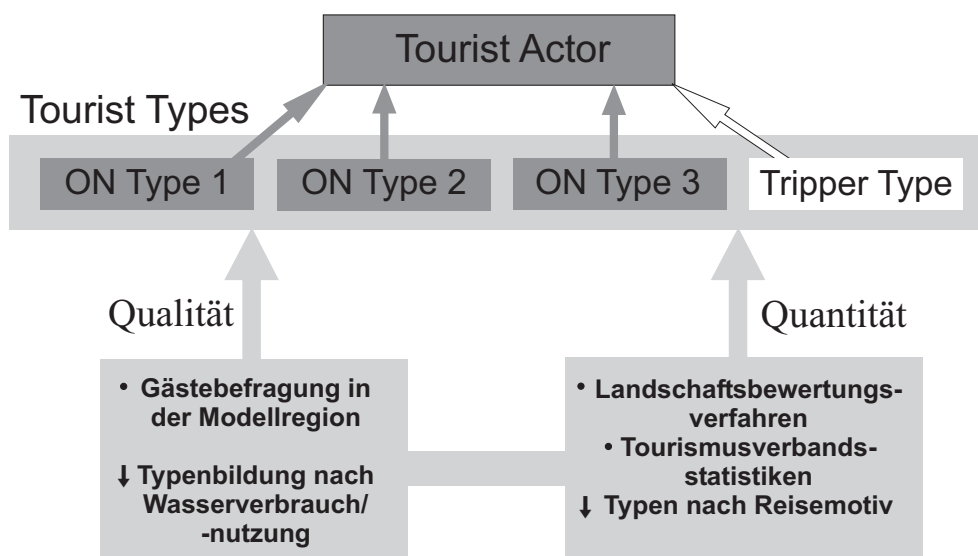


Abb. 5: Der Tourist-Actor.

Die Typenbildung der ONTypes (übernachtende Touristen) basierend auf den Gästeinterviews aus dem Jahr 2001 sollte durch den Einsatz der Clusteranalyse und der anschließenden Kreuztabellierung der daraus resultierenden Wasser- bzw. Touristentypen zu wasserspezifischen Touristentypen führen, welchen jeweils ein bestimmter Wasserbedarf zugeordnet werden sollte (vgl. Abb. 6). Dabei war für die soziodemographischen Charakteristika eine Schlüsselstellung vorgesehen.

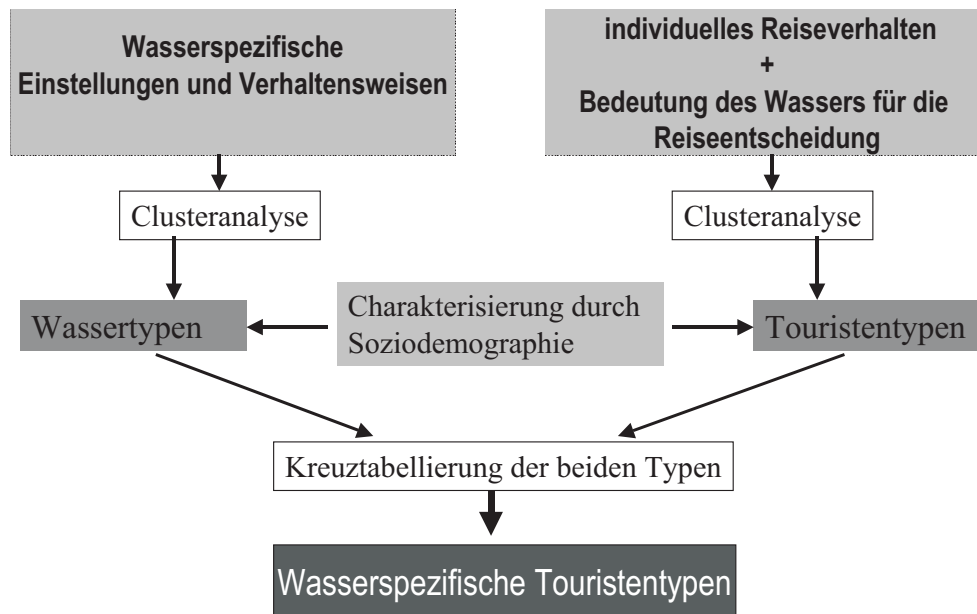


Abb. 6: Die Entstehung der wasserspezifischen Touristentypen.

Die Ergebnisse, der mit diesem Ansatz verbundenen primärstatistischen Erhebungen im Detailuntersuchungsgebiet Landkreis Miesbach führten leider nicht zu den gewünschten, scharf gegeneinander abgegrenzten Touristentypen. Diese waren jedoch als Basis für die Zuordnung eines spezifischen Wasserbedarfs notwendig, so dass dieser Ansatz von der Forschungsgruppe Tourismus nicht weiter verfolgt wurde.

4.3 Angebotsorientiertes touristisches Akteurmodell

Daher wurde im Jahr 2002 ein weiterer Ansatz entwickelt, der die Angebotsseite stärker betont, was zum „angebotsorientierten Akteurmodell“ führte, welches für den Rest der Phase 1 verwendet wurde, und auch im Phase 2 als Basis für die weitere Verfeinerung der Darstellung des touristischen Wasserbedarfs dient. Dieses Modell berücksichtigte, dass auf der Angebotsseite ein Wasserbedarf sowohl im Bereich der touristischen Infra- als auch der Suprastruktur stattfindet. Innerhalb des Modells wurden daher die Leistungen der anbietenden Akteurgruppen, z.B. Beherbergung und Gastronomie, sowie die Akteure als Anbieter bestimmter Infrastruktureinrichtungen berücksichtigt. Die Verortung konnte dabei kleinräumig, bzw. punktgenau erfolgen.

Die Quantifizierung des Wasserbedarfs erfolgte über einen konstanten und einen variablen Anteil. Letzterer spiegelt die tatsächliche Nachfrage wieder.

Es ist davon auszugehen, dass fast alle Einrichtungen der touristischen Infra- und Suprastruktur einen konstanten Wasserbedarf aufweisen, der notwendig ist, um die Betriebsfähigkeit zu gewährleisten. Gleichzeitig ist es offensichtlich, dass der durch den Tourismus benötigte Wasserbedarf von vielen Infra- und Suprastruktureinrichtungen mit der Zahl der Nutzer ansteigt. Diese variablen Anteile touristischer Einrichtungen wurden bei der Modellierung des touristischen Wasserbedarfs durch die Einbindung der tatsächlichen Nutzung berücksichtigt.

Da die übernachtenden Touristen und die Naherholer sich hinsichtlich ihres Verhaltens und daher auch in ihrem Wasserbedarf deutlich unterscheiden, wurden diese beiden Segmente bei den Berechnungen im angebotsorientierten Akteurmodell getrennt voneinander behandelt. Notwendig wird diese Trennung durch zum Teil sehr unterschiedliche touristische Aktivitäten. Als Beispiel sei angeführt, dass Naherholungssuchende keine Leistungen der Beherbergungsinfrastruktur in Anspruch nehmen, was dazu führt, dass kein Wasserbedarf

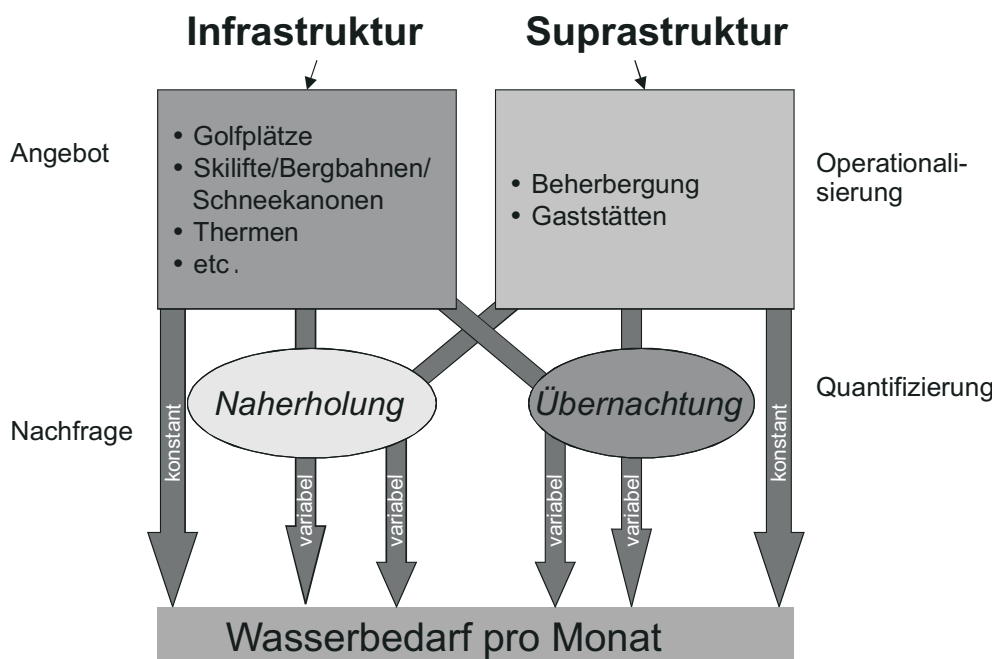


Abb. 7: Angebotsorientiertes touristisches Akteurmodell.

in diesem Angebotsbereich entsteht, der dem Tourismus zugeordnet werden müsste. Diesen Aspekten wurde dadurch Rechnung getragen, dass in das bereits skizzierte angebotsorientierte Akteurmodell zwei nachfrageorientierte Submodelle „Naherholung“ und „Übernachtung“ integriert wurden (vgl. Abb. 7).

Aufgrund der Tatsache, dass sich der touristische Wasserbedarf zwischen der großbetrieblichen Hotellerie (Außenanlagen, Wellness-Bereiche usw.) und der kleinbetrieblichen Parahotellerie deutlich unterscheidet, wurde im Submodell „Übernachtung“ (vgl. Abb. 8) der bayerische Teil des Einzugsgebiets von GLOWA-Danube in eher groß- bzw. kleinbetrieblich strukturierte Räume unterschieden, was bei der Typisierung der Gemeinden oben beschrieben wurde. Die durch dieses Verfahren ermittelten raumstrukturellen Unterschiede der Beherbergungsinfrastruktur sind wesentlich für die Quantifizierung des touristischen Wasserbedarfs durch den übernachtenden Tourismus.

Im Jahr 2003 erfolgte die Umsetzung des Akteurmodells in JAVA und die Einbindung in das Entscheidungsunterstützungssystem DANUBIA. Da in Phase 1 nur der übernachtende Tourismus betrachtet wurde, umfasste das Modell nur diejenigen Bereiche, welche mit einem grauen Rand umgrenzt sind (vgl. Abb. 9).

Für die Umsetzung der konzeptionellen Ergebnisse der Arbeit der Forschungsgruppe Tourismus war es notwendig, einige Vereinfachungen vorzunehmen, um die bestehenden Erkenntnisse in ein lauffähiges JAVA-Modell zu integrieren. Diese Arbeit führte zu einem einsatzfähigem Näherungsmodell. Dieses beinhaltet ein Submodell „Übernachtung“ und die Infrastrukturkomponenten mit ihrem jeweils spezifischen Wasserbedarf.

Das Submodell „Übernachtung“ (vgl. Abb. 8) bestand bereits auf konzeptioneller Ebene und wird auch in Zukunft bei der weiteren Modellverfeinerung in Phase 2 Berücksichtigung finden.

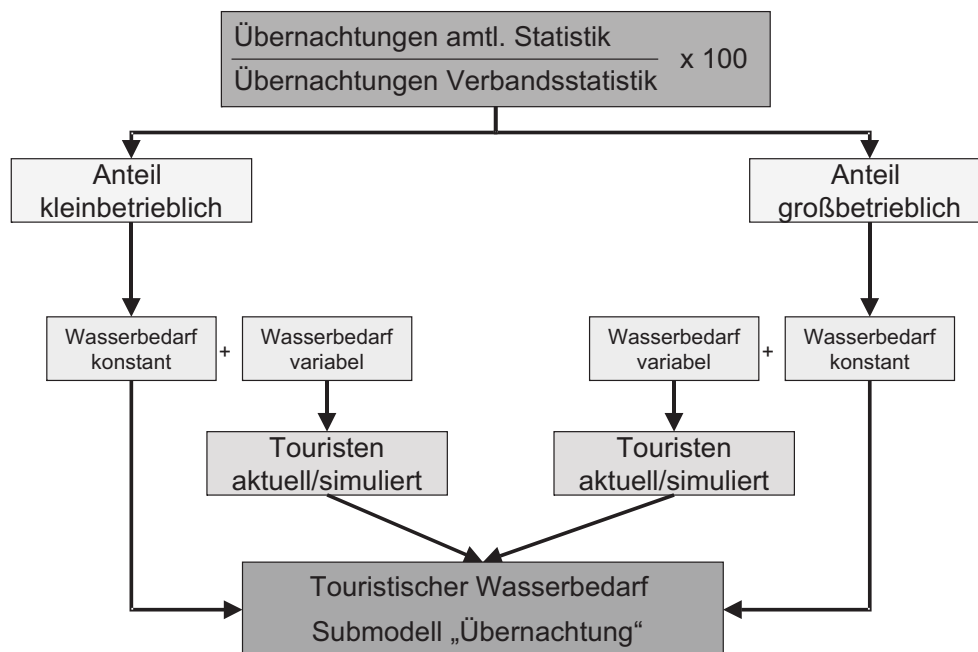


Abb. 8: Submodell „Übernachtung“.

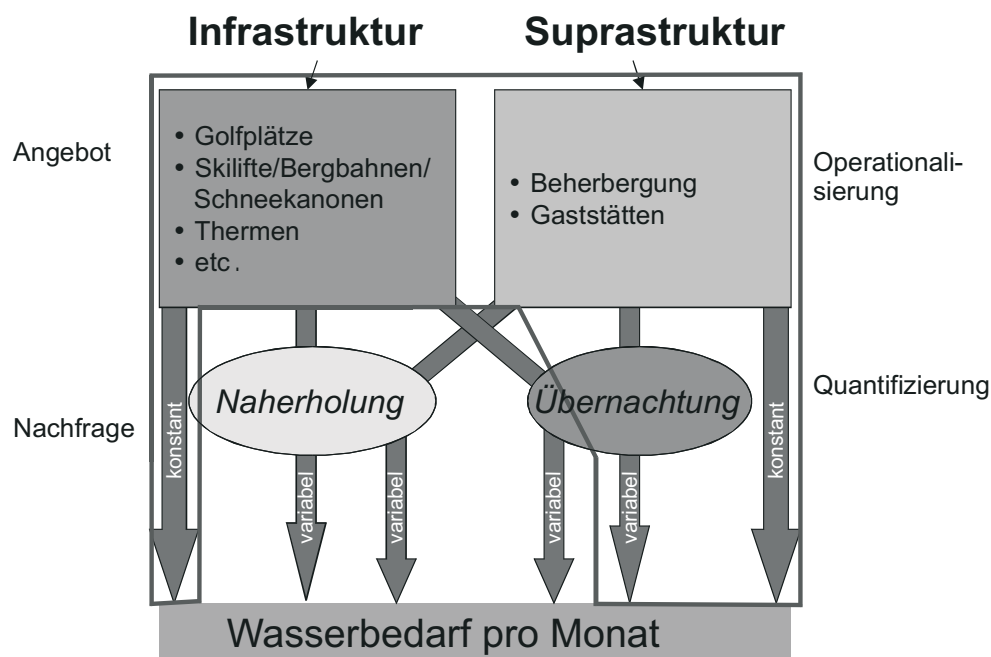


Abb. 9: Angebotsorientiertes Akteurmodell.

Für die Umsetzung des Modells der Gruppe Tourismus in JAVA wurden sehr restriktive Modellannahmen getroffen, um zunächst die Funktionalitäten zu testen. Folgende Annahmen wurden getroffen:

- Das Vorhandensein von touristischer Suprastruktur wird als gegeben angenommen.
- Die touristische Suprastruktur wird nur von Touristen genutzt.
- Die touristische Suprastruktur ist hinsichtlich ihres Wasserbedarfs homogen.
- Die Zahl der Übernachtungen wird als exogene Größe angesehen und ist gegeben.
- Die Zahl der Betten wird als exogene Größe angesehen und ist gegeben.
- Die Gäste sind hinsichtlich ihres Wassernutzungsverhaltens homogen.

- Der Wasserbedarf jedes Übernachtungsgastes ist konstant.
- Die Höhe des Wasserbedarfs des Submodells „Übernachtung“ hängt von der Übernachtungsnachfrage und dem konstanten Wasserbedarf der Suprastruktur ab.
- Der tatsächliche Wasserverbrauch hängt von der Wasserverfügbarkeit ab.
- Die Beherbergungsinfrastruktur ist zu 100% an das öffentliche Trinkwassernetz angeschlossen.
- Es gibt keine Rückwirkung des Wasserangebots auf die Funktionsfähigkeit der touristischen Suprastruktur.

Die Differenzierung nach groß- oder kleinbetrieblicher Struktur der Beherbergungsbetriebe wurde für den Einsatz in DANUBIA aufgehoben, da sich mit Hilfe von Expertengesprächen bisher keine typischen Bedarfswerte ermitteln ließen. Eventuell ist dazu ein veränderter Ansatz in Phase 2 notwendig.

Für das Nährungsmodell wurde daher ein Wert für den konstanten Wasserbedarf der Beherbergungsinfrastruktur verwendet und mit der Zahl der angebotenen Gästebetten verrechnet wurde.

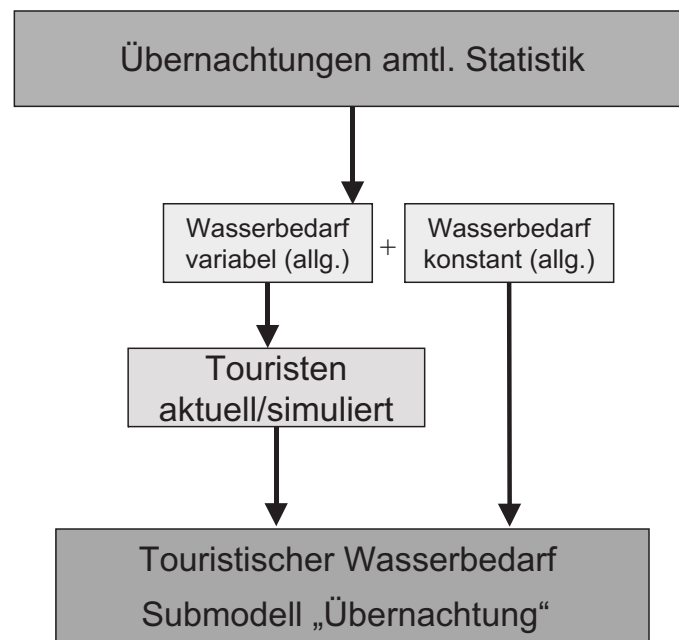


Abb. 10: Submodell „Übernachtung“ in DANUBIA (Referenzlauf).

In der Folge ergab sich für das für den Einsatz im Referenzlauf von Danubia bestimmte Submodell „Übernachtung“ eine vereinfachte Struktur, welche in Abbildung 10 dargestellt ist.

Das vereinfachte Submodell „Übernachtung“ arbeitete in Phase 1 mit Daten aus der amtlichen Statistik für den Testzeitraum 1995-1999. Für Phase 2 soll die Zahl der Übernachtungen mit Hilfe von multiplen Regressionen modelliert werden, um damit unabhängig von historischen Daten Szenarien für die zukünftige Situation des touristischen Wasserbedarfs im Einzugsgebiet von GLOWA-Danube modellieren zu können.

Infrastruktureinrichtungen

Auch die Erkenntnisse zum Wasserbedarf der Infrastruktureinrichtungen mussten so strukturiert werden, dass sie in ein JAVA-Modell eingebaut werden konnten, wozu einige Vereinfachungen notwendig waren. Dabei wurden folgende Annahmen getroffen:

- Das Vorhandensein von touristischer Infrastruktur wird als gegeben angenommen.
- Die jeweilige Infrastruktur ist hinsichtlich ihres Wasserbedarfs homogen.
- Der Wasserbedarf der jeweiligen Infrastruktur ist konstant.
- Es gibt keine Rückwirkung des Wasserangebots auf die Funktionsfähigkeit der touristischen Infrastruktur.
- Der für den Wasserbedarf relevante Betriebszeitraum bei Golfplätzen umfasst die Monate Juni bis September.
- Der für den Wasserbedarf relevante Betriebszeitraum bei Schwimmbädern umfasst die Monate Januar bis Dezember.
- Der Wasserbedarf in Schwimmbädern wird zu 100% dem Tourismus zugerechnet.
- Es wird nicht zwischen unterschiedlichen Schwimmbadgrößen oder Typen unterschieden.
- Der für den Wasserbedarf relevante Betriebszeitraum bei Beschneiungsanlagen umfasst die Monate November bis März.
- Der tatsächliche Wasserverbrauch hängt von der Wasserverfügbarkeit ab.

Die Infrastruktureinrichtungen lassen sich für den Einsatz in Danubia mit dem in Abbildung 11 dargestellten allgemeinen Modell beschreiben.

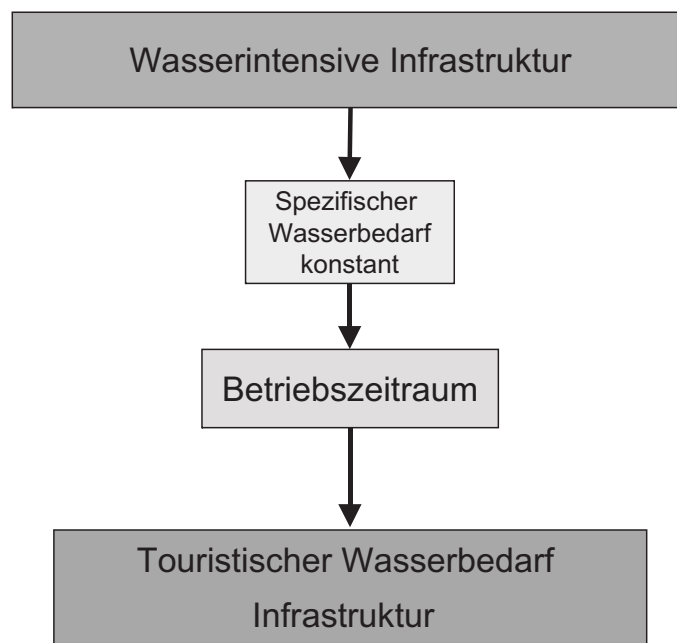


Abb. 11: Infrastrukturmodell in DANUBIA (Referenzlauf).

Um den touristischen Wasserbedarf zu ermitteln, wurden die Bedarfswerte der Infrastruktureinrichtungen mit den Werten aus dem Submodell „Übernachtungen“ addiert. Die Bedarfswerte, die aus dem Modell der Forschungsgruppe Tourismus im Monatstakt ausgegeben wurden, wurden auf Sekundentakt heruntergerechnet und über Schnittstellen den Modellen anderer Forschungsgruppen zur Verfügung gestellt. Das Modell der touristischen Wassernutzung wies für den Referenzlauf die in Abbildung 12 dargestellte Struktur auf.

Auf diese Weise entwickelte die Forschungsgruppe Tourismus ein einsatzfähiges Näherungsmodell, bei dem in übersichtlicher Form die notwendigen Erfahrungen im Bereich der Modellierung und der Auswertung und Interpretation der Ergebnisdaten gesammelt werden

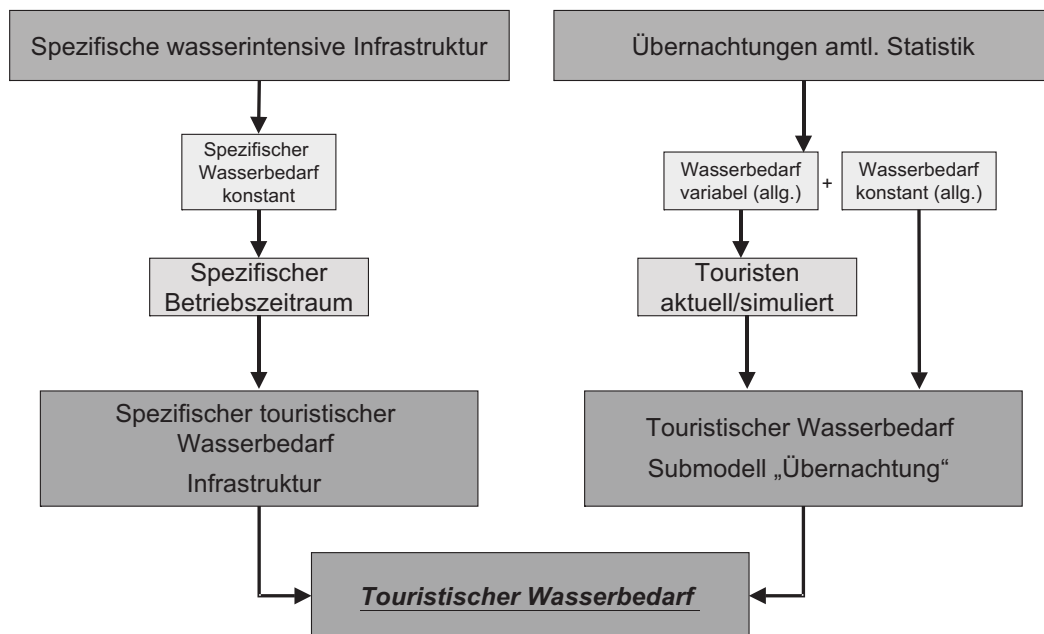


Abb. 12: Einsatzfähiges Näherungsmodell in DANUBIA (Referenzlauf).

konnten. Für eine Verfeinerung des Modells können entsprechend die Annahmen modifiziert, und Sachverhalte, die auf konzeptioneller Ebene bereits vorhanden sind (z.B. die Zahl der Spielbahnen je Golfplatz oder die Typisierung der Bäder) in das Modell für den Einsatz in DANUBIA integriert werden.

Umsetzung des Modells in JAVA

Neben der konzeptionellen Überarbeitung des Submodells Übernachtung und den Überlegungen zur Strukturierung der Infrastruktur, war die Umsetzung dieses Modells in JAVA ein wichtiger Arbeitsschritt im Jahr 2003. Die Umsetzung wurde durch Alexander Dingeldey vorgenommen.

Zunächst wurde ein „Dummy-Modell“ entwickelt, das lediglich die Funktionsfähigkeit innerhalb des Danubia-Systems und den korrekten Datenaustausch mit den anderen Danubia-Modulen sicherstellen sollte. Anfangs wurde dabei der „Apple Project-Builder“ als Entwicklungsumgebung benutzt. Im Zuge einer Anpassung ist eine Umstellung auf die Open-Source Entwicklungsumgebung „Eclipse“ beabsichtigt. Der Datenaustausch mit den übrigen Modellen wurde über den Actor-Controller realisiert (vgl. Abb. 6). Im Tourismus-Modell wird die touristische Wassernachfrage und die Anzahl der Gäste-Übernachtungen an den Controller übergeben und das touristische Wasserangebot gelesen. Die touristischen Gäste-Übernachtungen werden außerdem an die Result-Schnittstelle übergeben.

Das „Dummy-Modell“ wurde in der DANUBIA-Testumgebung auf seine Lauffähigkeit getestet. Nach erfolgreichem Abschluß der Tests wurden die Berechnungsalgorithmen für das Tourismus-Modell implementiert, wodurch man das für den Referenzlauf verwendete Näherungsmodell erhielt.

Die erhobenen Daten zur Supra- und Infrastruktur (Übernachtungen, angebotene Gästebetten, Golfplätze, Schwimmbäder, ...) wurden dahingehend aufbereitet, dass sie aus dem JAVA-Modell gelesen werden konnten. Dafür wurde eine SQL-Datenbank eingerichtet und sämtliche touristischen Daten in diese eingestellt. Es wurde eine JDBC-Datenbank-Schnittstelle in das Modell eingefügt, damit das Modell direkt auf die entsprechenden Daten in der Datenbank zugreifen kann. Für die Referenzläufe wurde eine gespiegelte Datenbank im DANUBIA-Cluster eingerichtet.

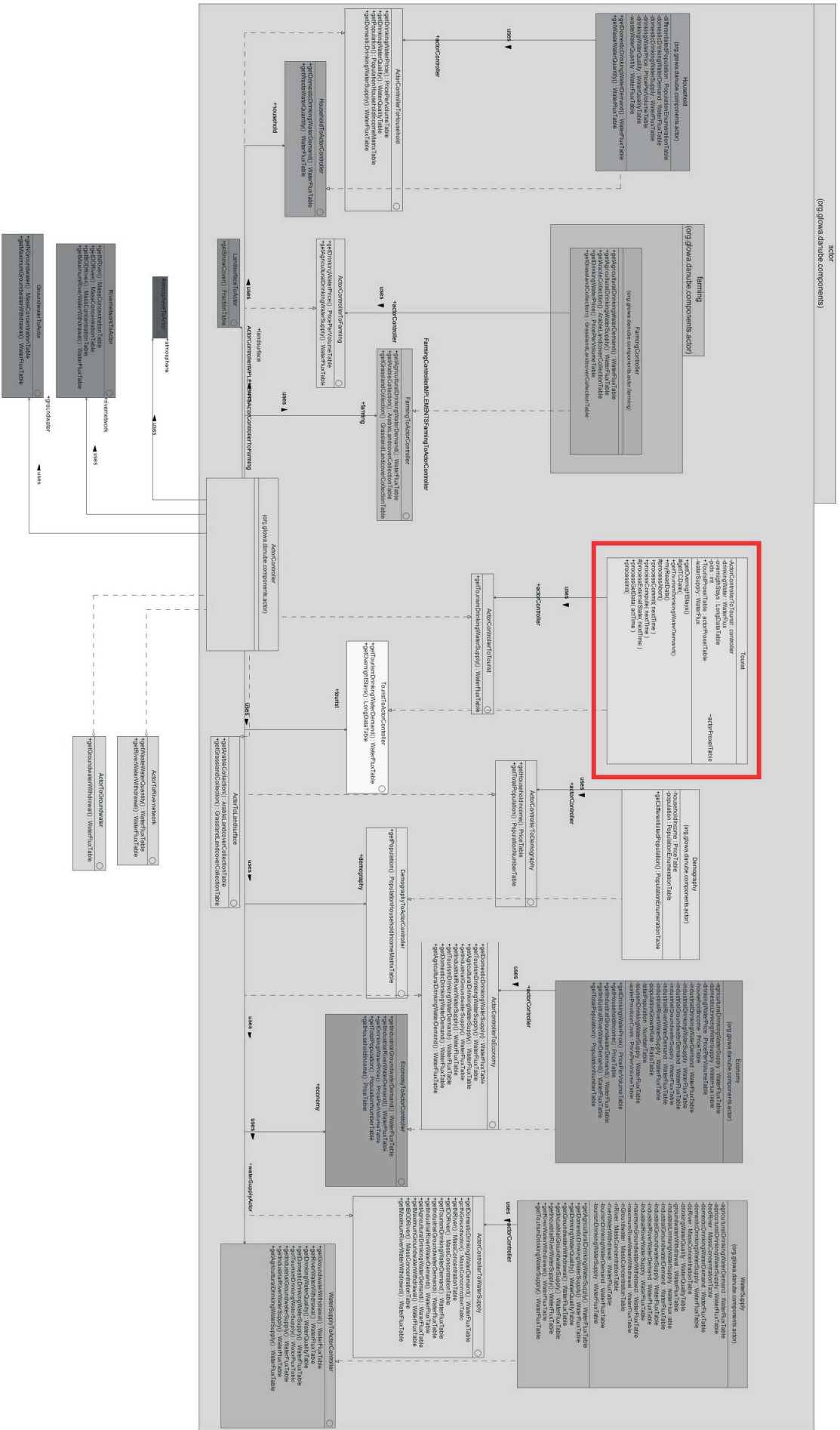


Abb. 13: Einbindung des Tourismusmodells.

Für die Phase 2 wird das Modell so modifiziert, dass alle Daten beim Start des Modells direkt eingelesen werden und auf die Datenbank während der Laufzeit nicht mehr zugegriffen werden muß.

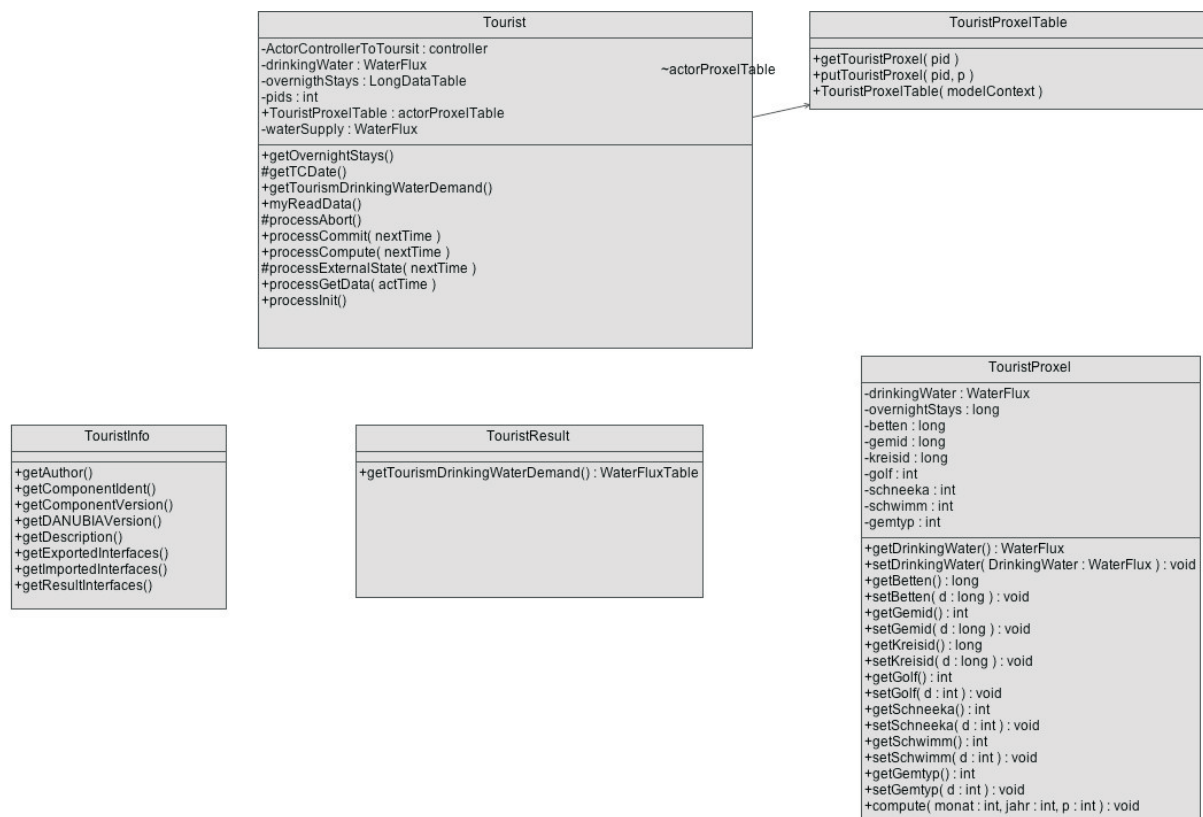


Abb. 14: UML-Diagramm Tourismusmodell.

In das Objekt TouristProxel wurden die zur Berechnung benötigten Variablen und Routinen zur Datenein- und ausgabe eingefügt (vgl. Abb. 14).

Bei der Programmierung wurde darauf geachtet, dass Fehler zur Laufzeit abgefangen werden, damit der gesamte Danubia-Lauf nicht durch das Tourismusmodell gefährdet wird. Sollte beispielsweise ein Fehler beim Einlesen der Daten auftreten, gibt das Modell gültige Variablen mit der Wassernachfrage=0 an den Actors-Controller. Um die Recovery-Funktionen von Danubia zu erfüllen, wurde sichergestellt, dass alle Objekte des Tourismus-Modells serialisierbar sind.

Zum Laufzeit-Beginn werden zunächst alle Variablen initialisiert. Es wird eine Tabelle mit allen Tourist-Proxeln (TouristProxelTable) angelegt und für jedes Proxel die Variablen für Infra- und Suprastruktur mit Werten gefüllt. Jeden Monat werden die Daten der Suprastruktur aus der Datenbank gelesen, auf Plausibilität überprüft und die touristische Wassernachfrage in jedem Proxel errechnet.

Nach Abschluß der Berechnungen wird die touristische Wassernachfrage, nach einer Überprüfung der Werte auf Plausibilität, an das Submodell „Watersupply“ in einer Datentabelle übergeben (vgl. Abb. 15).

Das Modell gibt während der Laufzeit monatlich Graphiken und ASCII-Grids über die touristische Wassernachfrage sowie Zeitreihen der für die Actors relevanten Proxel aus.

Die Schritte, die das Tourismusmodell beim Einsatz von DANUBIA durchläuft, können durch folgendes Ablaufschema dargestellt werden.

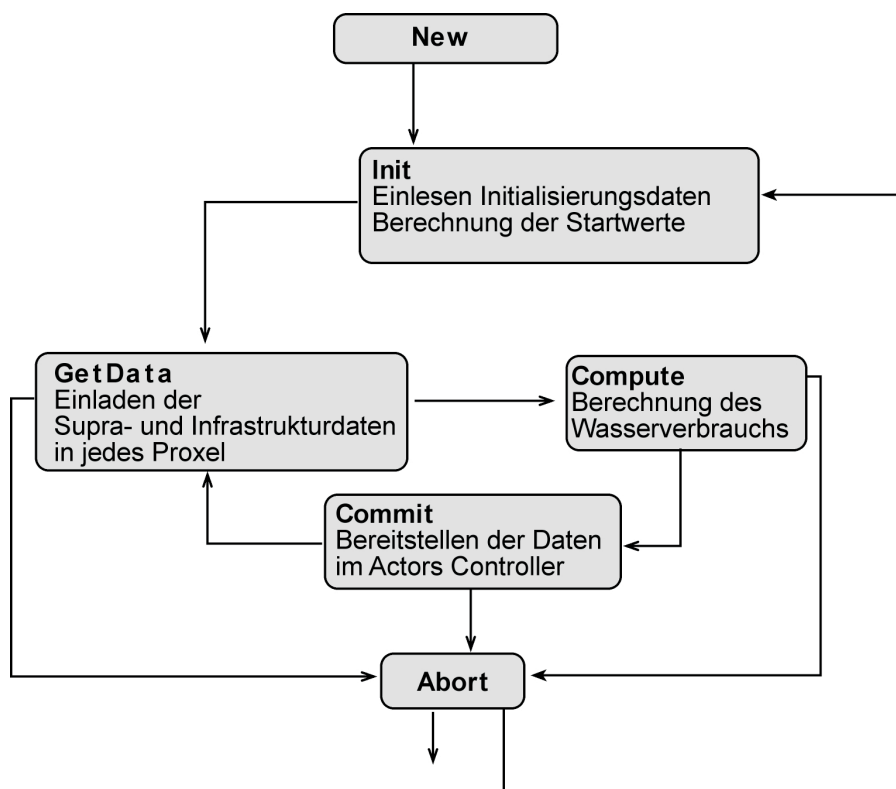


Abb. 15: Ablaufschema des Tourismus-Modells in DANUBIA.

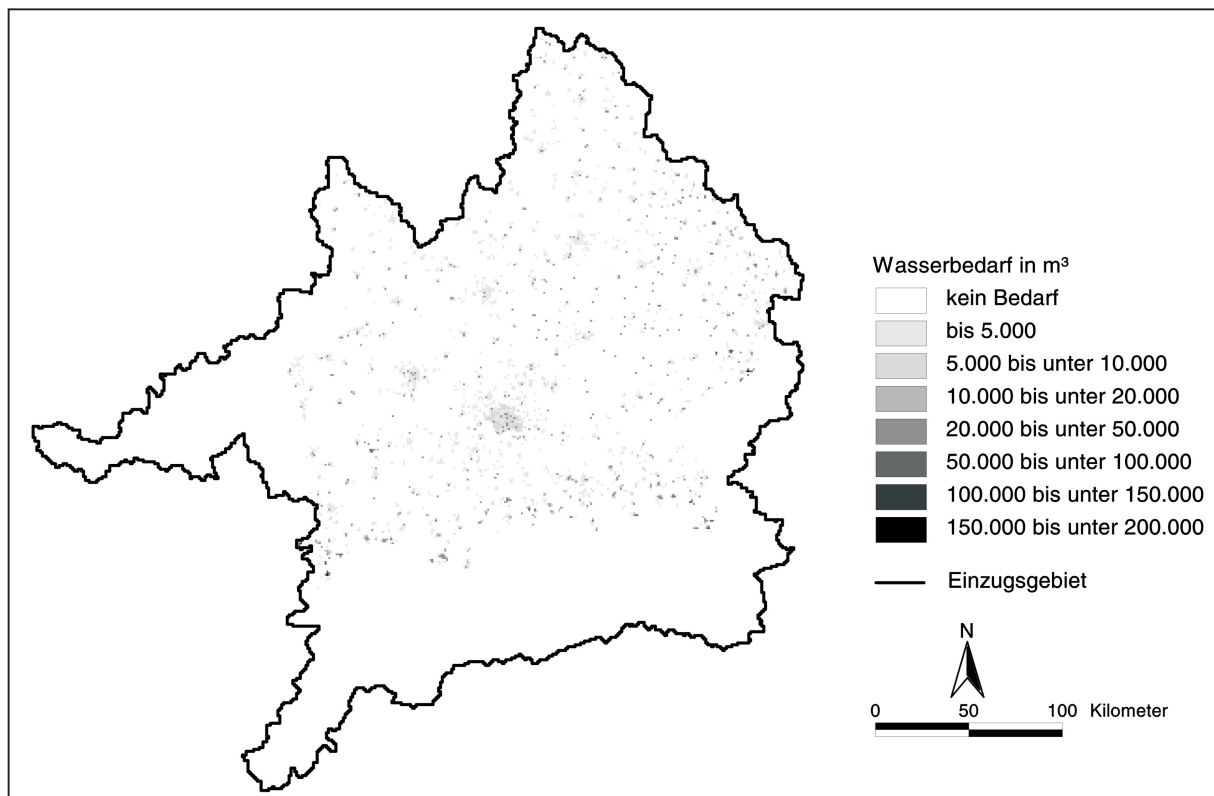
4.4 Ergebnisse des Referenzlaufs

Neben den Tests mit Hilfe der Testumgebung lief das in JAVA implementierte Modell der Forschungsgruppe Tourismus zusammen mit allen anderen Modellen im Verbund. Der Weihnachtstestlauf lieferte im Rahmen der Modellannahmen korrekte Ergebnisse, so dass beschlossen wurde, das vorhandene Näherungsmodell im Referenzlauf einzusetzen. Auf die Ergebnisse des Referenzlaufs wird im Folgenden eingegangen.

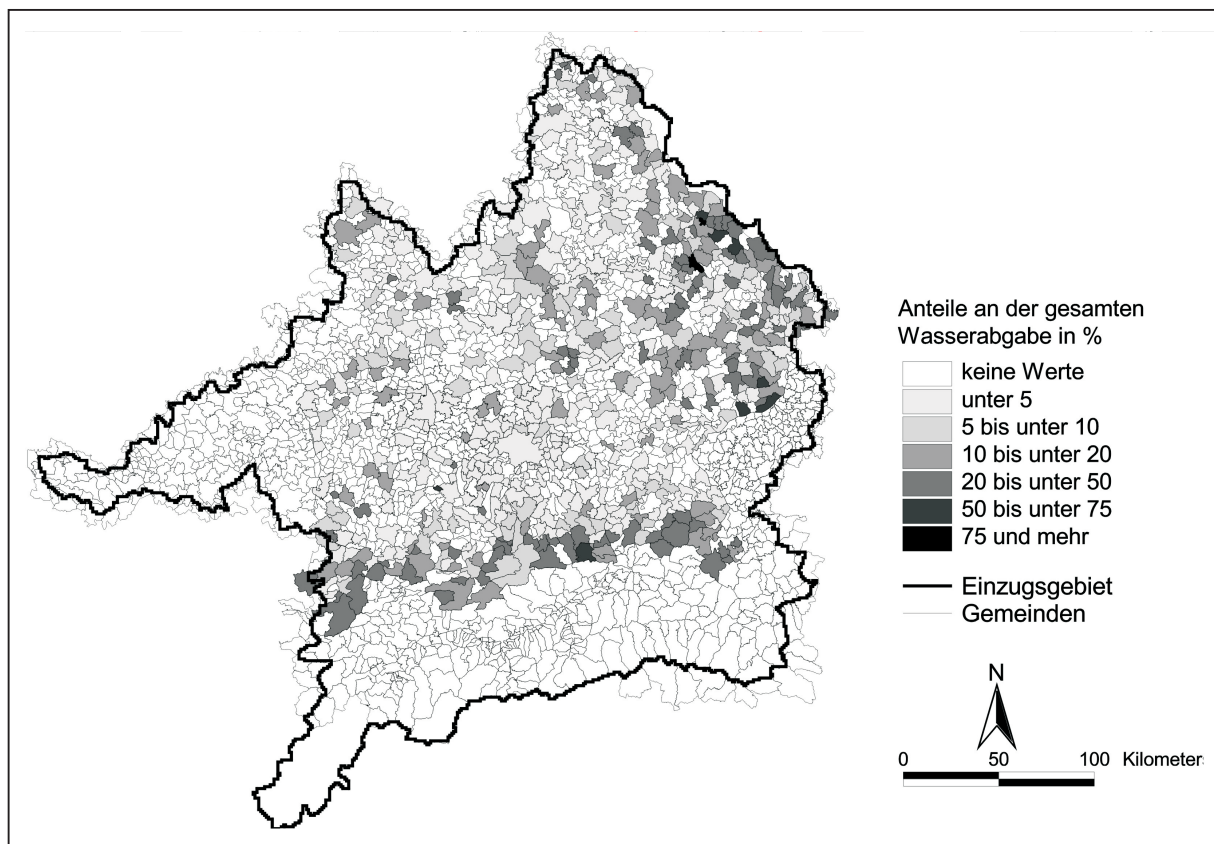
Entsprechend der Struktur des Näherungsmodells ist der Wasserbedarf in den Gebieten am höchsten, in denen die meisten Übernachtungen stattfinden. Durch die gleichmäßige Verteilung der Übernachtungszahlen auf die besiedelten Proxel fallen die Bedarfswerte des touristischen Wasserbedarfs je Proxel in großen zusammenhängenden Siedlungsgebieten der Großstädte im Vergleich zu kleinen Orten relativ gering aus (vgl. Karte 5). Trotzdem darf der Wasserbedarf des Tourismus in seiner absoluten Größe in großen Städten nicht unterschätzt werden.

Um die Kontrolle der Größenordnungen des touristischen Wasserbedarfs zu ermöglichen, wurden die Werte des Jahres auf Gemeindeebene aufsummiert, und mit den Wasserabgabemengen je Gemeinde aus der amtlichen Statistik verglichen.

Explizit wird der tatsächliche touristische Wasserbedarf in der Statistik nicht ausgewiesen. In der amtlichen Statistik wird nur die Wasserabgabe an Letztverbraucher aufgeführt, wobei zwischen der Gruppe „Haushalte, Kleingewerbe und Dienstleistungsunternehmen“ und der Gruppe „Sonstige Abnehmer“ differenziert wird. Der touristische Wasserbedarf kann daher, wie im Antrag zur Phase 1 dargelegt, nur durch eine Untersuchung des Wasserbezugs von touristischen Leistungsanbietern bestimmt werden. Daher wurde die Größenordnung des touristischen Wasserbedarfs einer Gemeinde mit dem gesamten Wasserverbrauch in Beziehung gesetzt und auf Plausibilität überprüft.



Karte 5: Touristischer Wasserbedarf 1995 im GLOWA-Gebiet nach Proxeln.



Karte 6: Anteil des touristischen Wasserbedarfs an der Gesamtwasserabgabe an eine Gemeinde.

Dabei zeigt sich, dass bezogen auf die gesamte Wasserabgabe an die Gemeinden, die Anteile des mit Hilfe von Danubia berechneten touristischen Wasserbedarfs zwischen 0,08% und 102,89% Prozent des gesamten Wasserverbrauchs liegen (vgl. Karte 6). Da aufgrund

nicht vorhandener gewerblicher Übernachtungen bzw. aus Gründen des Datenschutzes nicht für alle Gemeinden Übernachtungszahlen vorhanden sind, können nicht für alle Gemeinden Werte berechnet werden. Dennoch sind die für den Tourismus im bayerischen Teil des GLOWA-Gebietes wichtigen Gemeinden berücksichtigt.

Einige Gemeinden werden in ihrem Wasserbedarf überschätzt. Diese Ergebnisse kommen aus verschiedenen Gründen zustande. Einerseits sind die sehr restriktiven Modellannahmen zu berücksichtigen, welche dazu beitragen, dass die Schwimmbäder im Modell erstens generell das ganze Jahr über geöffnet waren und weiterhin der gesamte Wasserbedarf für diese Infrastruktur dem Tourismus zugerechnet wurde. Dies ist in der Realität nicht der Fall, da auch Ortsansässige zur Freizeitgestaltung diese Bäder nutzen. Außerdem weisen in der Realität die Bäder unterschiedliche Typen mit unterschiedlichem Wasserbedarf auf, die aber beim Einsatz in Danubia noch nicht berücksichtigt wurden. Daher wurde der Wasserbedarf in den Bädern eher überschätzt. Durch die Einbeziehung der Öffnungszeiten, bzw. der unterschiedlichen Typen von Bädern, wird der durch das Modell berechnete Wasserbedarf sinken.

Eine weitere Schwierigkeit bei der Abschätzung des touristischen Wasserbedarfs war, dass besonders im Bayerischen Wald bei weitem nicht alle Einrichtungen der touristischen Infra- und Suprastruktur, die Wasser benötigen, an das öffentliche Leitungsnetz angeschlossen sind. In Extremfällen kann der Anschlußgrad einer Gemeinde an die öffentliche Wasserversorgung nur etwa 60% betragen. Das bedeutet, dass sich für die restlichen Wasseranschlüsse keine Aussagen über die Art und den Umfang des Wasserverbrauchs treffen lassen.

Dies ist zum Beispiel in der Gemeinde St. Englmar im Bayerischen Wald der Fall, welche den Maximalwert von 102.89% Anteil an der Gesamtwasserabgabe durch touristische Leistungsanbieter erreichte. In dieser Gemeinde beträgt der Anschlußgrad an die öffentliche Wasserversorgung nur 59,2%. Dadurch ist es möglich, dass Beherbergungsbetriebe entweder über eine eigene Wasserversorgung verfügen, oder zumindest neben der öffentlichen Wasserversorgung noch andere Wasserquellen nutzen. Der Gesamtwasserverbrauch der Gemeinde ist also de facto wesentlich höher, als der in der amtlichen Statistik angegebene Wert. Folglich wurde beim Vergleich des berechneten touristischen Wasserbedarfs mit der gesamten abgegebenen Wassermenge (amtl. Statistik) der Anteil des touristischen Wasserbedarfs überschätzt.

Dennoch ist davon auszugehen, dass sich die absoluten touristischen Wasserbedarfsmengen in der richtigen Größenordnung bewegen, denn der Tourismus weist in dieser Gemeinde eine hohe volkswirtschaftliche Bedeutung auf. Die Tourismusintensität pro 100 Einwohner beträgt in dieser Gemeinde 35.659, woraus sich ein Anteil des Tourismus am Volkseinkommen dieser Gemeinde von über 71% errechnen lässt. Aufgrund der sehr großen wirtschaftlichen Bedeutung erscheint es plausibel, dass der touristische Wasserbedarf einen hohen Anteil am tatsächlichen Gesamtwasserverbrauch einnimmt.

Der Anschlußgrad der Gemeinden an das öffentliche Trinkwassernetz wurde bei dem im Referenzlauf eingesetzten Modell nicht berücksichtigt. Für die weitere Verfeinerung des Modells in Phase 2 ist aber vorgesehen, diese für Bayern bereits vorliegenden Informationen in das Modell zu integrieren. Eine Lösungsmöglichkeit besteht in der Annahme, dass die Zahl der nicht angeschlossenen Haushalte bzw. Sonstigen Abnehmer die gleiche Struktur aufweisen wie die an die öffentlichen Trinkwasserversorgung angeschlossenen Nutzer. Dadurch könnte man die Anschlußquote mit dem vom Modell berechneten touristischen Wasserbedarf verrechnen und damit den besonderen Bedingungen in diesen Gemeinden Rechnung tragen.

Das im Modellauf von DANUBIA zur Verfügung stehende Trinkwasser (Wasserangebot) wurde noch nicht berücksichtigt. Dennoch lassen sich zur Laufzeit von Danubia erste Nutzungskonflikte erkennen. Bei dem in der Komponente Actors angesiedelten Modell Water-Supply treten bei der Deckung des touristischen Wasserbedarfs durch dieses Modell zur Laufzeit z.T. Konflikte bei der Verteilung des vorhandenen Trinkwassers auf die einzelne

Modelle auf, so dass dem Tourismusmodell nicht immer die angeforderte Menge (Wasserbedarf) zugeteilt werden kann. Hinsichtlich der Berücksichtigung der Nutzungskonflikte besteht für die Phase 2 noch Handlungsbedarf.

Weiterhin wirkten sich unterschiedlichen Klimadaten, die bei den Referenzläufen Verwendung fanden, nicht auf die Ergebnisse des Tourismusmodells aus.

Trotz der sehr restriktiven Modellannahmen lassen sich für den touristischen Wasserbedarf schon Schlüsse ziehen. Im großen Maßstab betrachtet erscheint der touristische Wasserbedarf relativ gering. Auf den bayerischen Teil des GLOWA-Gebiets bezogen benötigte der Tourismus gemäß der Struktur des Näherungsmodells 5,62% der Gesamtwasserabgabe an Gemeinden. Betrachtet man aber die regionale Verteilung des touristischen Wasserbedarfs, so zeigen sich sehr unterschiedliche Dimensionen des Wasserbedarfs und der Anteile an der gesamten an eine Gemeinde abgegebene Wassermenge. Für eine Beurteilung, ob es möglich ist, in Zukunft die touristische Wassernutzung auszubauen, sind die lokalen Gegebenheiten zu berücksichtigen.

Die aktuellen Ergebnisse des Referenzlaufs zeigen, dass der von der Forschungsgruppe Tourismus entwickelte Ansatz bereits brauchbare Ergebnisse liefert, und eine sehr gute Basis bietet, in Zusammenarbeit mit den anderen Forschungsgruppen, die touristische Wassernutzung detailliert zu modellieren. Auch wurden durch die Modellläufe Befunde gewonnen, wie sowohl in inhaltlicher als auch programmiertechnischer Hinsicht in der zweiten Phase von GLOWA-Danube eine Optimierung des Modells erreicht werden kann.

5. Schlussbetrachtung

Als Resumée kann festgehalten werden, dass die Zielsetzung des Forschungsvorhabens darin lag, die Wechselwirkungen zwischen der Attraktivität von Wasser als Bestandteil des touristischen Angebots und der Nutzung/Verbrauch des Wassers als Faktor der touristischen Nachfrage im Untersuchungsraum von GLOWA-Danube darzustellen.

Dabei ist man dem langfristigen Ziel, die Angebots- und Nachfrageseite des Tourismus für das Untersuchungsgebiet hinsichtlich der Sensitivität gegenüber der Veränderung touristisch relevanter Rahmenbedingungen zu modellieren, mit der Entwicklung des angebotsorientierten Akteurmodell und seiner Umsetzung in JAVA einen großen Schritt näher gekommen. Durch dieses Modell und den Ergebnissen der Referenzläufe kann die Dimension des touristischen Wasserbedarfs abgeschätzt werden, so dass ein wichtiger Teil des Projektziels erreicht wurde.

Die dabei für die Modellentwicklung notwendige Datenbasis wurde erstellt und in den Modellläufen verwendet.

Bei der Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen der Ressource Wasser und dem Tourismus konnten mit Hilfe von primärstatistischen Erhebungen Erkenntnisse hinsichtlich der Bedeutung von Wasser als Angebots- und Nachfrageelement, der Bedeutung von Angeboten mit Wasser/Schnee als Voraussetzung für ein bestimmtes Freizeitverhalten bzw. Wasser als Stifter touristisch vermarkteter regionaler Identität gewonnen werden, welche für die weitere Verfeinerung des Modells von Nutzen sein werden. Ebenso wurden bereits Erkenntnisse zur Wasserbelastung durch den Tourismus gewonnen, jedoch ist eine Verallgemeinerung schwierig.

Die Zielsetzung, den Wasserbedarf nach Tourismusarten bzw. nach Touristentypen zu modellieren, konnte nicht vollständig erreicht werden. Hinsichtlich des Wasserbedarfs liegen durch den Einsatz des Näherungsmodells bereits erste Ergebnisse vor (siehe oben). Durch die während der Phase 1 erkannte Notwendigkeit anstatt eines nachfrageorientierten Ansatzes einen angebotsorientierten Ansatz zu verwenden, ist es nicht möglich, eine Differenzierung nach

Tourismusarten bzw. Tourismustypen vorzunehmen, weil beim angebotsorientierten touristischen Akteurmodell das Angebot an touristischer Infra- und Suprastruktur ausschlaggebend für den touristischen Wasserbedarf ist. Die Nachfrage dient dabei, wie bei der touristischen Suprastruktur, nur dazu, die entsprechenden Größenordnungen des touristischen Wasserbedarfs festzulegen. Es war aber bei Beginn des Forschungsvorhabens nicht abzusehen, dass der ursprünglich verfolgte Ansatz nicht zu den gewünschten Ergebnissen führt und ein anderer Ansatz notwendig wird.

Weiterhin werden Nutzungskonflikte durch das derzeitige Modell nicht modelliert und haben daher keinen Einfluß auf die Berechnung des touristischen Wasserbedarfs, d.h. es werden keine Rückkopplungen des Wasserangebots auf die Funktionsfähigkeit der touristischen Infra- und Suprastruktur berücksichtigt. Dennoch lassen sich in der „Modellwirklichkeit“ von Danubia bereits erste Nutzungskonflikte erkennen. Bei dem in der Komponente Actors angesiedelten Teilmodell WaterSupply treten bei der Deckung des touristischen Wasserbedarfs durch dieses Modell zur Laufzeit z.T. Konflikte hinsichtlich des Wasserbedarfs auf, so dass dem Tourismusmodell nicht immer die angeforderte Menge zugeteilt werden kann. Hier besteht für die Zukunft noch Handlungsbedarf, um die Nutzungskonflikte in das Modell der touristischen Wassernutzung integrieren zu können und damit eine stärkere Annäherung an die Realität zu erreichen.

Die Modellierung von Touristentypen wurde nicht erreicht, da sich bei den Erhebungen im Detailuntersuchungsgebiet Miesbach keine trennscharfen Typisierungen finden ließen, weshalb in der Folge eine angebotsorientiertes Modell entwickelt wurde, das seither dazu dient den touristischen Wasserbedarf zu modellieren. Die hierbei erzielten Ergebnisse weisen eine hohe Zuverlässigkeit und Qualität auf.

Weiterhin ist zu erwähnen, dass die angesprochenen primärstatistischen Erhebungsarbeiten im Jahr 2001, welche dem Versuch der Typisierung der Touristen zu Grunde lagen, eigentlich aufgrund der gekürzten Finanzmittel erst für die Phase 2 von GLOWA Danube vorgesehen waren, und daher als zusätzliche Leistung von der Forschungsgruppe Tourismus durchgeführt wurden. Dadurch konnte frühzeitig erkannt werden, dass der ursprüngliche Untersuchungsansatz nicht die gewünschten Ergebnisse lieferte, weshalb rechtzeitig mit der Entwicklung eines angebotsorientierten Ansatzes begonnen werden konnte. Die Umsetzung des in Phase 1 entwickelten angebotsorientierten Akteurmodells in JAVA, um an Test- und Referenzläufen des Entscheidungsunterstützungssystems Danubia teilnehmen, war ebenfalls ein zusätzlicher Arbeitsschritt, der von der Forschungsgruppe Tourismus durchgeführt wurde.

Nach Ablauf der ersten Phase von GLOWA-Danube konnten durch die Zusammenarbeit mit den verschiedenen Forschungsgruppen Erkenntnisse hinsichtlich der Modellierung des touristischen Wasserbedarfs gewonnen werden. Das touristische Akteurmodell in der beschriebenen Form bietet einen Überblick über die Dimension der touristischen Wassernutzung im bayerischen Teil des Einzugsgebiets der oberen Donau.

Literatur

- ABEGG, B. (1996): Klimaänderung und Tourismus. Klimafolgenforschung am Beispiel Wintertourismus in den Schweizer Alpen. VDF Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, Zürich. = Schlussbericht NFP 31.
- BENTHIEN, B. (1997): Geographie der Erholung und des Tourismus. Justus Perthes Verlag, Gotha.
- ELSASSER, H. und BÜRKI, R. (2003): Auswirkungen von Umweltänderungen auf den Tourismus - dargestellt am Beispiel der Klimaänderung im Alpenraum. In: Becker, Christoph; Hopfinger, Hans; Steinecke, Albrecht (2003): Geographie der Freizeit und des Tourismus. Bilanz und Ausblick. Oldenbourg Verlag, München, Wien. S. 865-875.

- KRUPP, Ch. (1995): Klimaänderungen und die Folgen. Eine exemplarische Fallstudie über die Möglichkeiten und Grenzen einer interdisziplinären Klimaforschung. Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung: Organisation und Technikgenese. Edition Sigma, Berlin.
- MANDL, P. (2000): Geo-Simulation - Experimentieren und Problemlösen mit GIS-Modellen. In: STROBL, J. et al. (Hrsg.) (2000): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII. Herbert Wichmannverlag, Heidelberg, S. 345-356.
- TROITZSCH, K.G. (1990): Modellbildung und Simulation in den Sozialwissenschaften. Westdeutscher Verlag, Opladen.
- WOOLDRIGE, M. (2002): An Introduction to Multiagent Systems. John Wiley & Sons, LTD, Chichester.

Ein regionalökonomisches, sektoral disaggregiertes Modell der Wassernutzung im Einzugsgebiet der oberen Donau

Teilprojekt: Umweltökonomie
Leiter: Prof. Dr. Rolf-Ulrich Sprenger
Ausführende Stelle: ifo Institut für Wirtschaftsforschung,
Bereich Umwelt, Regionen, Verkehr
Poschingerstraße 5, 81679 München

1. Organisaton

1.1 Personalien

Die volle Wissenschaftlerstelle ist seit 01.01.2001 besetzt und teilte während der Gesamtlaufzeit des Projekts auf 4 Personen auf:

- Prof. Dr. Rolf-Ulrich Sprenger: Projektleitung
Bereichsleiter Umwelt, Regionen, Verkehr
- Dr. Johann Wackerbauer: Projektkoordination und -bearbeitung
Bereich Umwelt, Regionen, Verkehr
- Dipl. Volkswirt Erich Langmantel: Projektbearbeitung
Bereich Konjunktur und Finanzmärkte
- Dr. Volker Meier: Projektbearbeitung
Bereich Sozialpolitik und Arbeitsmärkte
- Die halbe Doktorandenstelle wurde ab 01.06.2001 besetzt mit
Dipl. Volkswirt Matthias Egerer

1.2 Veranstaltungen

Das Teilprojekt Ökonomie hat an allen internen Veranstaltungen des Projekts (siehe Endbericht Zentralprojekt) sowie zahlreichen bilateralen Gesprächen unter den Projektteilnehmern teilgenommen. Des weiteren hat das Teilprojekt Ökonomie in eigener Sache bzw. stellvertretend für das Gesamtprojekt verschiedene Vorträge gehalten, in denen es den Forschungsansatz von GLOWA-Danube einem fachkundigen Auditorium vorgestellt und zur Diskussion gestellt hat:

2001

- 26.-27.04.2001 Sozioökonomischer Workshop im Rahmen von GLOWA im
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
Johann Wackerbauer: Präsentation des sozioökonomischen Ansatzes von GLOWA-Danube
- 03.07.2001 ifo Lunchtime Seminar
Johann Wackerbauer: Vortrag über „Regionalökonomische Ansätze zur Wassernutzung an der oberen Donau“

2002

- 16.04.2002 ifo Lunchtime-Seminar
Erich Langmantel: „Szenarien für die Wirtschaftsentwicklung und den Wasserverbrauch im Einzugsgebiet der oberen Donau“
- 04.07.2002 GLOWA-Doktoranden-Workshop in München
Matthias Egerer: Nachhaltigkeit und Ökonomie - Ein Vergleich zwischen dem Leitbild der Nachhaltigkeit und der Lehre der Ökonomie am Beispiel einer möglichen Marktöffnung im Bereich der Wasserwirtschaft in Deutschland
- 04.-06.11.2002 International Conference of Basin Organizations, Madrid
Johann Wackerbauer: A Regional Model of Economic Development and Industrial Water Use in the Catchment Area of the Upper Danube
- 10.-11.12.2002 GLOWA-Doktoranden-Workshop in Stuttgart
Matthias Egerer: Das Skalierungsproblem aus der Sicht der Ökonomie
- 19.-20.12.2002 ifo Konferenz zur Vorbereitung referierter Artikel
Matthias Egerer, Erich Langmantel, Johann Wackerbauer: Regionalökonomische Entwicklung und industrieller Wasserverbrauch auf der Basis von Prozess Pixel

2003

- 05.-09.10.2003 XI World Water Congress, Madrid
Johann Wackerbauer: A Model of Regional Economic Development and Industrial Water Use in the Catchment Area of the Upper Danube

1.3 Veröffentlichungen

Im Rahmen des Teilprojekts Ökonomie wurden eine Reihe von Aufsätzen in referierten Zeitschriften, Tagungsbänden und Publikationen des ifo Instituts veröffentlicht; im einzelnen sind zu nennen:

LANGMANTEL, E. (2004): Industrial Growth and Water Demand - An Empirical Analysis for the Upper Danube Catchment, Jahrbuch für Regionalwissenschaft Vol. 24, Nr. 2.

LANGMANTEL, E. und WACKERBAUER, J. (2002) A Regional Model of Economic Development and Industrial Water Use in the Catchment Area of the Upper Danube, Proceedings of the International Conference of Basin Organizations, 4-6 November 2002, Madrid.

LANGMANTEL, E. und WACKERBAUER, J. (2003a): RIWU - A Model of Regional Economic Development and Industrial Water Use in the Catchment Area of the Upper Danube, in: International Journal of River Basin Management, Vol. 1, Nr. 2 (2003), p. 1-5.

LANGMANTEL, E. und WACKERBAUER, J. (2003b): RIWU - A Model of Regional Economic Development and Industrial Water Use in the Catchment Area of the Upper Danube, Proceedings of the XI World Water Congress, 5-9 Oktober 2003, Madrid.

WACKERBAUER, J. (2003): Regulierungsmodelle für die öffentliche Wasserversorgung und ihre Wettbewerbseffekte, in: ifo Schnelldienst 21/2003, S. 9-16.

2. Sektorale Arbeiten

2.1 Konzept

Ziel des Teilprojekts Ökonomie ist, die wirtschaftliche Entwicklung, die industrielle Produktion und Wassernutzung sowie die Bevölkerungsdichte und das Haushaltseinkommen im Einzugsgebiet der oberen Donau auf einem regional disaggregierten Niveau zu modellieren und die Gesetzmäßigkeiten, nach denen sich die Wasserpreise bilden, herzuleiten. Zu diesem Zweck wurde das ökonomische Modell RIWU (Regional Industrial Water Use) neu entwickelt. RIWU basiert auf der Annahme eines repräsentativen profit-maximierenden Industrieunternehmens, das zwei lokale Inputs verwendet, nämlich Land und Wasser. Die Industrieproduktion und die Dynamik des örtlichen Dienstleistungssektors bestimmen das allgemeine Niveau der ökonomischen Aktivität im jeweiligen Landkreis, welches wiederum die Haushaltseinkommen und die Bevölkerungsdichte determiniert. Das Modell RIWU ist in das DANUBIA-Gesamtmodell integriert; es liefert anderen Komponenten Daten betreffend der Haushaltseinkommen, der Bevölkerungsdichte und der industriellen Wassernachfrage und bezieht von ihnen Daten über die Wassernachfrage und das Wasserangebot anderer Sektoren zur Bestimmung des Wasserpreises. Des Weiteren wird eine Disaggregationsmethode entwickelt, die es erlaubt, die für die Landkreise gewonnenen Ergebnisse den einzelnen Proxeln zuzuordnen.

2.2 Vorarbeiten der Modellierung

2.2.1 Entwicklung der Haushaltstypen und des verfügbaren Einkommen

Ausgangsbasis für die Abschätzung des zukünftigen Wasserverbrauchs der privaten Haushalte sind Prognosen der Entwicklung der Haushaltstypen und der verfügbaren Einkommen im Untersuchungsgebiet. Im Rahmen von GLOWA-Danube sind insbesondere Prognosen für die einzelnen Landkreise des Untersuchungsgebiets erforderlich. Daher erarbeitete die Gruppe Umweltökonomie eine regionalisierte Status-Quo-Prognose der Entwicklung der Haushalte in den Landkreisen im Gebiet der oberen Donau; welche insbesondere der Gruppe Umweltpsychologie bereitgestellt wurde. Diese Prognose unterscheidet die Haushaltstypen nach ihrer Größe, die sich durch die Zahl der Personen im Haushalt ergibt. Dabei werden 5 Typen unterschieden: Haushalte mit einer, zwei, drei, vier und mit 5 und mehr Personen.

2.2.2 Status Quo Szenario der Wassernutzung in den Bayerischen Raumordnungsregionen

Schon bevor das ökonomische Regionalmodell Ergebnisse über die zukünftige Entwicklung des Wasserverbrauchs liefern konnte, war es erforderlich, erste Anhaltspunkte über den industriellen Wasserverbrauch in der Untersuchungsregion zu haben. Daher wurde auf der Basis der Strukturdatenprognose des ifo Instituts für die einzelnen Raumordnungsregionen Bayerns ein Status-quo-Szenario des Wasserverbrauchs bis 2025 erstellt. Die grundlegende Annahme dieses Szenarios war es, dass der spezifische Wasserverbrauch im Beobachtungszeitraum konstant bleibt. Modifizierte Entwicklungen des spezifischen Wasserverbrauchs werden in weiteren Alternativ-Szenarien dargestellt, die aus den Modell-Ergebnissen resultieren.

2.2.3 Grundtypen der Regulierung in der Wasserversorgung

Im Rahmen der Szenarienbildung sind Überlegungen darüber anzustellen, wie sich die Versorgungsstrukturen in der Zukunft entwickeln werden. So ist die Wasserversorgung in der Bundesrepublik extrem kleinteilig und dezentral organisiert. Während in Großbritannien knapp dreißig Versorger am Markt aktiv sind, und in Frankreich nur fünf, gibt es in Deutschland rund 7.000 Wasserversorgungsunternehmen. Diese Versorgungsstruktur ist

vor allem wegen der im internationalen Vergleich hohen Kubikmeterpreise in die Kritik geraten, wengleich die Aussagekraft internationaler Preisvergleiche gering ist, wenn Rückschlüsse auf die Effizienz gezogen werden sollen, da die Rahmenbedingungen (Kostendeckungsgrade, Kalkulationsvorschriften für Gebühren, Steuern und Abgaben, umweltpolitische Vorgaben) zu unterschiedlich sind. Im internationalen Vergleich lassen sich drei Grundmodelle für die Regulierung von natürlichen Monopolen in der öffentlichen Wasserversorgung (und Abwasserbeseitigung) unterscheiden: das angelsächsische, das französische und das deutsche Modell. Ziel der Regulierung ist bei allen drei Modellen die effiziente Leistungserstellung in der kommunalen Wasserwirtschaft und deren politische Kontrolle. Im angelsächsischen Modell wird das Vorhandensein dauerhafter privater Monopole akzeptiert, wobei deren negative Auswirkungen durch externe Regulierung minimiert werden sollen. Das Regulierungssystem folgt der „spezialisierten Regulierung“: es besteht aus jeweils einer gesonderten, unabhängigen Aufsichtsbehörde für Wasserentnahme und Abwassereinleitungen, für die Trinkwasserqualität und für Wasserpreise und Versorgungsbedingungen. Im französischen Regulierungsmodell tritt an die Stelle einer dauernden, regulierenden Aufsicht in regelmäßigen Abständen ein Element des Wettbewerbs. Zeitverträge zwischen Kommunen und privaten Unternehmen regeln hier den Betrieb kommunaler Wasserdienstleistungen. Diese beinhalten i.d.R. ein ganzes Leistungspaket vom Betrieb der Wassernetze über die Finanzierung bis zur strategischen Planung. Durch den Wettbewerb der privaten Anbieter um die Verträge können deren Gewinne begrenzt werden. Während der Laufzeit der Verträge (bis zu 25 Jahre) findet allerdings wenig Wettbewerb statt. Das deutsche Modell, das in Abwandlungen auch in den Niederlanden anzutreffen ist, ist dagegen kein Regulierungsmodell im üblichen Sinne des Wortes Regulierung, da keine externes Verhältnis zwischen privatem Versorgungs-Unternehmen oder Betreiber und Behörde besteht. Das deutsche Regulierungsmodell sieht eine Regulierung der privatisierten Unternehmen über deren Aufsichtsorgane vor. Durch Entsendung von Vertretern der öffentlichen Hand wird Einfluss auf die Geschäftspolitik der Wasserversorger ausgeübt; die Preisfestsetzung erfolgt nach dem Kostendeckungsprinzip. Anstelle einer Kontrolle natürlicher Monopole von außen wird hier der Einfluss auf den Betrieb von kommunalen Wassernetzen also durch Eigentümerrechte ausgeübt und die Kommunen sind am Betrieb beteiligt. Informationsasymmetrien zwischen öffentlicher Verwaltung und Privatunternehmen treten daher kaum auf. Der Betrieb der Wassernetze wird streng von Herstellung und Angebot der mit den Dienstleistungen verbundenen Gütern getrennt: das Risiko von Ineffizienzen wird auf diese Weise verringert. Für den Betrieb der natürlichen Monopole werden kommunale Betriebe gegründet, in den anderen Segmenten der Wasserindustrie herrscht dagegen Wettbewerb. Das deutsche Modell funktioniert im wesentlichen ohne formale, externe Regulierung der Wasserpreise, Tarife oder Kapitalrenditen. Da kein privatwirtschaftliches Gewinnmotiv vorliegt, werden lediglich kostendeckende Preise und Gebühren für die kommunalen Wasser-Dienstleistungen berechnet. Die drei beschriebenen Privatisierungsmodelle führen zu drei klar unterscheidbaren Formen des Wettbewerbs:

- „Ersatzwettbewerb“ zwischen privaten Versorgungs-Unternehmen, der von Regulierungsbehörden simuliert wird,
- Wettbewerb zwischen privaten Betreibern um das Recht zum befristeten Betrieb natürlicher Monopole,
- Wettbewerb in den Waren- und Dienstleistungs-Märkten im Wasserbereich.

Im angelsächsischen Modell gibt es keinen direkten Wettbewerb unter privaten Versorgungsunternehmen, weder um die Verbraucher, noch um deren Versorgungsgebiete. Der „Ersatzwettbewerb“ erfolgt in Form eines Benchmarkings der Versorgungsunternehmen, das die Regulierungsbehörde vornimmt. Die Regulierungsbehörde benötigt dabei auch Informationen über die Märkte für Waren und Leistungen im Wasserbereich, denn private Versorgungsunternehmen und Betreibergesellschaften, die zugleich Anbieter dieser Güter sind, können regionale oder sektorale Monopole oder Kartelle aufbauen, um Gewinne in nicht regulierte Bereiche zu verschieben. Das gilt auch für das französische Modell, wo ein

Wettbewerb um den befristeten Betrieb örtlicher Wasserversorgungs-Monopole „ex-ante“ in Gestalt eines Bietverfahrens stattfindet. Im deutschen Modell gibt es dagegen keinen direkten Wettbewerb zwischen den kommunalen Trägern, diese halten ihre natürlichen Monopole auf der regionalen Ebene aufrecht. Leistungsvergleiche zwischen den verschiedenen Anbietern werden von den kommunalen Betrieben selbst vorgenommen. Dagegen ist der Wettbewerb bei den Gütern im Wasserbereich intensiv, diese Märkte sind durch eine Vielzahl kleiner und mittlerer Betriebe gekennzeichnet. Versorgungsunternehmen und Wasserindustrie sind damit im wesentlichen zwei klar voneinander abgrenzbare Gruppen. Für die Zukunft ist zu erwarten, dass in der Wasserversorgung Deutschlands Wettbewerbsselemente nach dem angelsächsischen oder dem französischen Modell eingeführt werden, die zu einer Marktberreinigung bei den Unternehmen und zu einer Vergrößerung der Versorgungsgebiete führen werden. Dies hat Auswirkungen auf die räumlichen Versorgungsstrukturen und auf die Frage, in wie weit die Wasserversorgung in Zukunft aus regionalen Quellen erfolgt oder aus überregionalen Lieferungen, was von hoher Bedeutung für die Szenarienbildung ist.

2.3 Modellstruktur und Datengrundlage

Die Basis für die Quantifizierung des Modells RIWU bilden Daten für 96 bayerische Landkreise und kreisfreie Städte für das Jahr 1995. Die Ausgestaltung des Modells muss sich an diesen für die bayerischen Landkreise verfügbaren Daten orientieren, daraus ergeben sich einige Beschränkungen. So gibt es Daten über die Exportnachfrage auf Landkreisebene nur für die Exporte ins Ausland, nicht für die Warenströme innerhalb Deutschlands oder Bayerns. Da aber anzunehmen ist, dass bei Wirtschaftszweigen, die im Ausland wettbewerbsfähig sind, gleiches auch für das Inland gilt, kann die Ausfuhr ins Ausland als Indikator für die Exportstärke eines Landkreises allgemein angesehen werden. Ferner stehen als Indikator für die Kosten der Agglomeration die Preise in DM/m² für Bauland zur Verfügung.

RIWU besteht zur Zeit aus neun Modellgleichungen, mit denen acht endogene Variablen ermittelt werden. Die folgenden Variablen finden im Modell Verwendung:

1. Wertschöpfung der Industrie (WI) - Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes zu Marktpreisen
2. Bruttoinlandsprodukt (BIP) - Summe der Bruttowertschöpfung aller Wirtschaftszweige
3. Auslandsumsatz (UMS^A) - Auslandsumsatz des Verarbeitenden Gewerbes
4. Haushaltseinkommen (YH) - Verfügbares Einkommen der privaten Haushalte
5. Baulandpreis (BLAP) - Durchschnittlicher Kaufwert für baureifes Land
6. Bevölkerung (B) - Einwohner
7. Fläche - in km²
8. Wasseraufkommen (WA) - Wasseraufkommen bei den Betrieben des Bergbaus u. Verarbeitenden Gewerbes
9. Im industriellen Wasserkreislaufsystemen genutztes Wasser (WK)
10. Gesamtnutzung des Wasseraufkommens in der Industrie (WAN)
11. Wasserpreis für Grundwasser (WAP)
12. Wasserpreis für Oberflächenwasser (WAPO)
13. D1 - Dummy München
14. D2 - Dummy Augsburg, Nürnberg, Würzburg, LK Freising, LK München.
15. D3 - Dummy Eichstätt, Pfaffenhofen, Kelheim, Bayreuth.
16. D4 - Dummy Oberbayern

17. D5 - Dummy Oberfranken
18. DS - Strukturwandel: Durchschnittliche Erhöhung des Anteils des Dienstleistungssektors pro Jahr in den 15 Jahren von 1980 bis 1996

Die exogenen Variablen sind die Exporte (UMSA), die verfügbare Fläche (km²) und die Wasserpreise (WAP, WAPO). WAP und WAPO bezeichnen eine Art Schattenpreis der Wassernutzung bzw. der Oberflächenwassernutzung. Sie sind aus der Annahme abgeleitet, dass der Wasserpreis dem Grenzprodukt entspricht und eine Cobb-Douglas-Technologie gilt. Dann ist der Faktorpreis umgekehrt proportional zur Faktoreinsatzmenge, die aus der Statistik bekannt ist.

Die regressionsanalytische Ermittlung der Koeffizienten, die sich als signifikant erwiesen, führte zu folgendem Gleichungssystem:

1. $WI = (UMSA)^{0.52} BLAP^{-0.16} WAN^{0.08} e^{3.19 + 1.26 D1 + 0.53 D2 + 1.48 D3}$
2. $BIP = (WI)^{0.54} e^{4.57 + 1.62 D1 + 0.77 D2 + 0.18 D4 - 0.23 D5 + 38.83 DS}$
3. $BLAP = (B/FLÄCHE)^{0.47} e^{2.66 + 1.04 D4}$
4. $B/FLÄCHE = (BIP/Fläche)^{0.75} e^{3.77 + 0.01 (-0.50 - 1.13 D1 - 0.33 D2 + 0.34 D4) ZEIT}$
5. $YH = BIP^{0.90} (B/FLÄCHE)_R^{-0.19} e^{8.43 - 0.40 D3}$
6. $UMSA = UMSA_0(1 + TRENDRATE + \Delta\pi/\pi R)^{ZEIT}$
7. $WAN = WK^{0.15} WA^{0.85} e^{1.13}$
8. $WK = (WI)^{1.12} WAP^{-1.10} WAPO^{0.05} e^{-2.22}$
9. $WA = (WI)^{0.76} WAP^{-0.55} WAPO^{-0.07} e^{4.31}$

Mit den Gleichungen 1 bis 9 können die acht endogenen Variablen Wertschöpfung der Industrie, Bruttoinlandsprodukt, Baulandpreis, Bevölkerung, Haushaltseinkommen, Wassernutzung, Wasseraufkommen und Wassernutzung in Kreislaufsystemen simuliert werden. Die exogenen Vorgaben sind der Auslandsumsatz und die Bodenfläche. Letztere wird vorläufig als konstant angenommen. Zur Prognose des Auslandsumsatzes wird ein durchschnittlicher Wachstumstrend für den deutschen Export festgelegt, der aus den in der Vergangenheit beobachtbaren langfristigen Entwicklungen abgeleitet wird.

Im Hinblick auf die Export-Basis-Theorie hängt die industrielle Wertschöpfung (WI) von der Höhe der regionalen Exporte (UMSA) ab. Im Rahmen einer Querschnittsanalyse wurde eine enge positive logarithmische Beziehung zwischen diesen beiden Variablen festgestellt. Im Gegensatz dazu haben die Baulandpreise (BLAP), die als Indikator für die Agglomerationsnachteile gelten können, einen negativen Einfluss auf die industrielle Wertschöpfung, wie an Gleichung (1) abzulesen ist. Die Industrieproduktion ist wiederum die Basis für die ökonomische "Performance" eines Landkreises, die am Bruttoinlandsprodukt (BIP) gemessen wird. Darüber hinaus zeichnet sich eine dynamische ökonomische Struktur in wachsenden Agglomerationen durch einen breiten Branchenmix aus. Diesem Einfluss wird dadurch Rechnung getragen, dass die Variable DS, welche das durchschnittliche jährliche Wachstum des Dienstleistungssektors zwischen 1980 und 1996 repräsentiert, in Gleichung (2) aufgenommen wird.

In manchen Regionen ist die industrielle Aktivität bzw. das Bruttoinlandsprodukt signifikant höher als es aufgrund des Exportvolumens und der örtlichen Bodenpreise zu erwarten wäre. Dies ist ein Indikator für positive Agglomerationseffekte, welche durch die Dummy-Variablen D_i ($i : 1 \dots 5$) für fünf verschiedene Regionen in den Gleichungen (1) und (2) berücksichtigt werden.

Je höher die Bevölkerungsdichte (B/Fläche) ist, umso knapper ist Land und umso höher sind damit die Baulandpreise (BLAP). Diesem Umstand wird in (3) Rechnung getragen. Zusätzlich wird eine Dummy-Variable D4 für die Region Oberbayern aufgenommen, da die Baulandpreise dort im Vergleich zu anderen Regionen bei gleicher Bevölkerungsdichte signifikant höher sind. Die Elastizität des Baulandpreises in Bezug auf die Bevölkerungsdichte beträgt 0,5. Mit anderen Worten: Wenn die Bevölkerungsdichte in einem bestimmten Landkreis um 1,0% höher ist als in benachbarten Landkreisen, dann ist der Baulandpreis um 0,5% höher.

Die Bevölkerungsdichte ist gemäß Gleichung (4) eng mit dem Bruttoinlandsprodukt pro Quadratkilometer (BIP/km²) korreliert. Das Bruttoinlandsprodukt einer Region ist ein umfassender Indikator für die bestehenden Anreize zur Zuwanderung in diese Region, da es nicht nur in positivem Zusammenhang mit den Löhnen steht, sondern auch mit dem Umfang an öffentlichen Gütern und den Geschäftsmöglichkeiten für Unternehmer positiv korreliert ist.

Im räumlichen Vergleich beträgt die Elastizität der Bevölkerung im Bezug auf das Bruttoinlandsprodukt 0,75. Das bedeutet, wenn das BIP eines Landkreises um 1,0% höher ist als das von benachbarten Landkreisen, ist die Bevölkerung um 0,75% höher. Dies ist aber in einer dynamischen Betrachtung nicht ganz zutreffend. Bei einem regionalen Wachstum von 1,0% wächst die Bevölkerung aufgrund der steigenden Arbeitsproduktivität um weniger als 0,75%. Da Gleichung (4) also sowohl die räumliche Verteilung der Bevölkerung als auch deren zeitliche Veränderung erklären muss, muss sie durch eine Variable ergänzt werden, welche die Differenz zwischen den zeitlichen und räumlichen Elastizitäten vermindert. Daher wurde die Variable „Zeit“, welche den Zeithorizont beschreibt, in die Gleichung aufgenommen. Die Dummy-Variablen repräsentieren solche Regionen, die im Vergleich zu anderen Räumen signifikante positive oder negative Agglomerationseffekte aufweisen.

Das Einkommen der Haushalte (YH) eines Landkreises ist eng mit dem Bruttoinlandsprodukt korreliert, entspricht ihm aber nicht vollständig. Die Differenz wird durch die Pendlerströme erzeugt. In Ballungsgebieten mit einem hohen Anteil an Einpendlern fließt ein Teil der Haushaltseinkommen in die benachbarten Landkreise ab. Diese weisen dann unter Umständen in der Summe ein höheres Haushaltseinkommen auf als der lokalen Wirtschaftsaktivität entspricht. Die Schätzgleichung 5 benutzt als Indikator für die Pendlerbilanz eines Landkreises die relative Bevölkerungsdichte, welche als Abweichung vom Landkreis Ingolstadt gemessen wird.

Die Elastizität des Haushaltseinkommens in Bezug auf das BIP ist etwas kleiner als eins, d.h. mit größer werdendem BIP steigt der Anteil von Kapitaldienst und Staatsausgaben am BIP. Landkreise mit höherer Bevölkerungsdichte weisen relative Einkommensverluste auf, weil ein höherer Anteil von Einpendlern unterstellt wird. Die lokalen Zentren Eichstätt, Pfaffenhofen, Kelheim und Bayreuth haben ebenfalls relative Einkommensverluste zu verzeichnen. Bei der Schätzung der Wertschöpfung der Industrie hat sich gezeigt, dass diese Kommunen eine relativ hohe Konzentration industrieller Aktivitäten aufweisen. Von den entsprechenden Einkommen profitieren die am Ort ansässigen Haushalte aber nur unterdurchschnittlich

Für das Wachstum des Auslandsumsatzes in den einzelnen Landkreisen wird angenommen, dass es über oder unter der Trendrate liegt, je nach dem Grad der Wettbewerbsfähigkeit der Industrie in diesem Landkreis. Die Wettbewerbsfähigkeit wird entsprechend den Ergebnissen in (6) an der Entwicklung der relativen Arbeitsproduktivität gemessen. Die Prognose stützt sich dabei auf die Annahme der Persistenz der regionalen Entwicklungsmuster in Bayern. Aus diesen Annahmen ergibt sich die Prognosegleichung 6. Darin bedeutet UMS^{A_0} den Auslandsumsatz im Ausgangszeitpunkt, ZEIT den Prognosehorizont in Jahren und $\Delta\pi/\pi R$ die durchschnittliche Wachstumsrate der Arbeitsproduktivität in den letzten 15 Jahren, gemessen als Differenz zum Durchschnitt aller Landkreise.

Nur 10% der industriellen Wassernutzung bestehen aus dem Bezug von Trinkwasser aus der öffentlichen Trinkwasserversorgung. 90% der gesamten industriellen Wassernutzung werden durch die industrielle Eigenförderung von Wasser (WA) gedeckt. Deshalb wird die industrielle Trinkwassernachfrage im Modell RIWU vernachlässigt. Eine weitaus höhere Aufmerksamkeit gilt dagegen der innerbetrieblichen Kreislaufführung von Wasser (WK). Sowohl der Umfang des im Kreislauf geführten Wassers (WK) als auch der industriellen Eigenförderung (WA) hängen signifikant von der Höhe der industriellen Wertschöpfung (WI) und den ermittelten Schattenpreisen für Grundwasserförderung (WAP) und Oberflächenwasserförderung (WAPO) ab, wie in den Gleichungen (8) und (9) dargestellt wird. WA und WK summieren sich zur gesamten industriellen Wasserverbrauch (WAN) Modellierung der Bevölkerung nach Einkommens- und Haushaltsgrößenklassen.

2.4 Weiterführende Modellarbeiten

2.4.1 Modellierung der Bevölkerung nach Einkommens- und Haushaltsgrößenklassen

Im Fortgang der Arbeiten wurde eine Methode zur modellendogenen Berechnung der Bevölkerungsentwicklung erarbeitet und es wurde ein Algorithmus entwickelt, der es ermöglicht, die einschlägigen Ergebnisse entsprechend der Datenanforderungen des Objekts Household pro einzeltem Proxel und jeweils untergliedert nach fünf Einkommens- und Haushaltsgrößenklassen übergeben wurden. Das Modell der Bevölkerungsentwicklung ist innerhalb der Actors-Gruppe in der Klasse Demography angesiedelt. Es verwendet für jedes Proxel und jeden Zeitschritt die Ergebnisse der Variablen Bevölkerung (TotalPopulation) und Haushaltseinkommen (HouseholdIncome) des RIWU-Modells. Die Bevölkerung wird von RIWU als Gesamtzahl der Einwohner eines Proxels, das Haushaltseinkommen als Summe des verfügbaren Einkommens der gesamten Bevölkerung desselben übergeben. Aufgabe des Demography-Modells ist es, aus diesen beiden Zahlen eine 5*5-Matrix zu erstellen, die die Bevölkerungs- und Einkommensverteilung mit jeweils fünf Größenklassen (für die relevanten Klassengrenzen s. Tab. 1) abbildet. Basis zur Ermittlung der Verteilung von Bevölkerung und Einkommen auf die 25 Felder bilden Statistiken der Wirtschaftsrechnung des Statistischen Bundesamtes (STATISTISCHES BUNDESAMT 1998).

Damit wird innerhalb von Demography nicht die eigentliche Entwicklung der Bevölkerung abgebildet. Vielmehr wird diese in Economy in Abhängigkeit der wirtschaftlichen Entwicklung der einzelnen Landkreise berechnet. Die zentrale Aufgabe des Demography-Modells ist die Abbildung der Bevölkerungsverteilung auf der räumlichen Ebene eines Proxels unterteilt nach Einkommens- und Haushaltsgrößenklassen.

2.4.2 Modellierung des Trinkwasserpreises

Unabhängig von den bisher vorgestellten Überlegungen wurde von dem Teilprojekt Umweltökonomie auch die Modellierung des Trinkwasserpreises für Haushaltskunden vorgenommen. Damit soll die Frage beantwortet werden, welche Faktoren die Höhe des Trinkwasserpreises der Wasserversorgungsunternehmen (WVU) determinieren. Größtes Problem der Modellierung des Wasserpreises ist die schlechte Datenlage. Die einzigen auswertbaren Informationen auf der Basis von Unternehmensdaten, die diesbezüglich vorliegen, sind die 105. Statistik des Bundesverbandes der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW) mit Daten aus dem Jahr 1993 (BGW 1994) und die Statistik Wassertarife aus dem Jahr 1997 (BGW 1997), ebenfalls herausgegeben vom BGW. Bei der Trinkwasserversorgung handelt es sich, bedingt durch die hohen Fixkosten in die Errichtung und den Erhalt eines Versorgungsnetzes, um ein natürliches Monopol (STUCHTEY 2002). Darüber hinaus ist die Trinkwasserversorgung in Deutschland durch Gebietsmonopole geprägt; d.h. die einzelnen Versorger agieren als Monopolisten in abgeschlossenen Versorgungsgebieten (EWERS et al. 2001). Für das Basisjahr der Modellierung 1995 kann vereinfacht davon ausgegangen werden, dass die Versorgungsunternehmen öffentlich-rechtlicher Natur sind.

Sie sind damit verpflichtet, nach dem Kostendeckungsprinzip zu arbeiten; d.h. sie sind angehalten, weder Gewinne noch Verluste zu realisieren (KRAEMER et al. 1998). Der Preis für Trinkwasser soll vielmehr gerade alle anfallenden Kosten decken. Diese Struktur der Trinkwasserversorgung lässt sich durch folgende Graphik darstellen.

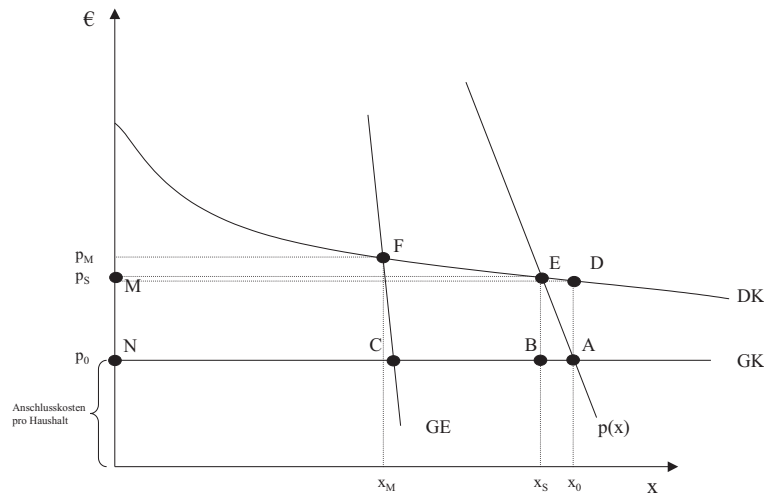


Abb. 1: Die Trinkwasserversorgung als natürliches Monopol (Quelle: Darstellung des ifo Instituts).

Die Grenzkosten (GK), verstanden als Anschlusskosten pro Haushalt, werden als konstant angenommen. Bedingt durch die hohen Fixkosten nehmen die Durchschnittskosten (DK) mit steigender Ausbringungsmenge ab, da die fixen Investitionen auf eine größere Menge umgelegt werden können. Da die Unternehmen kostendeckend produzieren, realisieren sie Punkt E (Ramsey-Boiteaux-Punkt), in dem die Durchschnittskosten- die Nachfragefunktion $p(x)$ schneidet, und stellen die Menge x_s zum Preis p_s zur Verfügung. In diesem Punkt deckt der Umsatz genau die Kosten.¹⁾ Es ist somit egal, ob in dem zu erstellenden Modell der Trinkwasserpreis oder die Kosten des Unternehmens geschätzt werden. Diese ergeben sich als Preis multipliziert mit der abgesetzten Menge. In dem im Folgenden dargestellten Regressionsmodell wird der Trinkwasserpreis geschätzt.

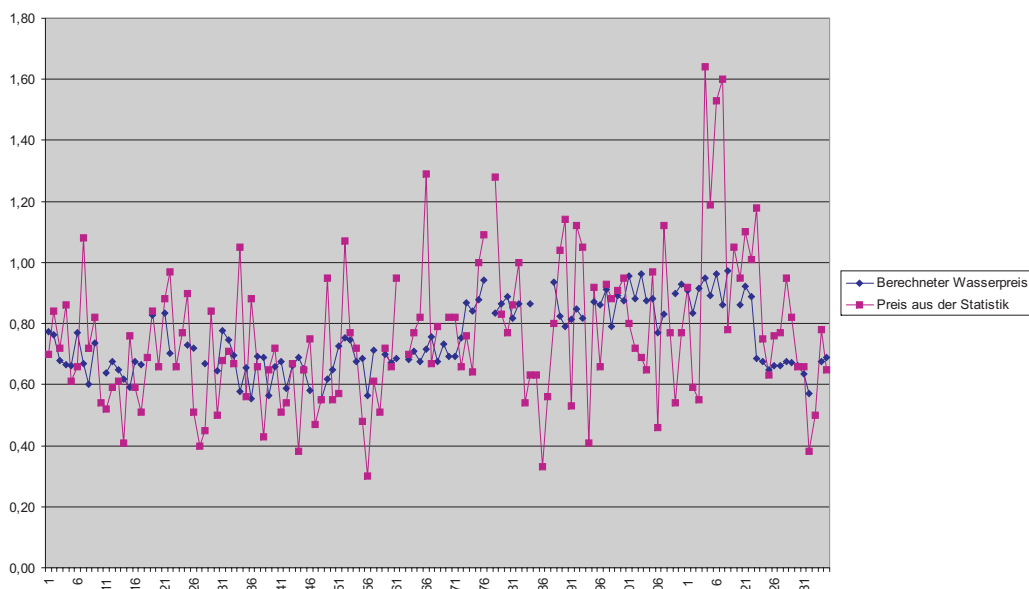


Abb. 2: Abgleich zwischen tatsächlichem und berechnetem Preis in €/m³ (Quelle: Darstellung des ifo Instituts).

¹⁾ Der Punkt C in Abbildung 1 zeigt das Kalkül eines Monopolisten, der nicht angehalten ist nach dem Kostendeckungsprinzip zu arbeiten. Dieser optimiert Grenzkosten gleich Grenzerlös (GE) und realisiert die Menge x_M zum Preis p_M . Das allokativen Optimum würde in Punkt A (Preis=Grenzkosten) realisiert werden. Hierbei würde ein Unternehmen jedoch einen betriebswirtschaftlichen Verlust in Höhe der Fläche MDAN realisieren.

Ausgehend von diesen theoretischen Überlegungen wurde regressionsanalytisch die Abhängigkeit des Trinkwasserverbrauchs vom Pro-Kopf-Wasserverbrauch und der Größe der jeweils versorgten Gemeinde untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass durch die ermittelte funktionale Beziehung der geschätzte Trinkwasserpreis eine hinreichend gute Annäherung an den tatsächlichen Trinkwasserpreis bietet (s. Abb. 2).

3. Integrative Arbeiten: Integration der regionalökonomischen Modelle in DANUBIA

3.1 Ausgangslage

Das regionalökonomische Modell generiert zunächst Ergebnisse auf der Ebene der Landkreise. Aus Sicht der empirischen Wirtschaftsforschung wäre diese räumliche Auflösung ausreichend, um die Zusammenhänge zwischen industrieller Produktion und Wassernutzung zu analysieren. Im Rahmen des Gesamtmodells DANUBIA ist dies jedoch als problematisch zu erachten. Für die Kommunikation mit den naturwissenschaftlichen und ingenieurwissenschaftlichen Modellen des Forschungsverbunds GLOWA-Danube ist eine weit feinere räumliche Auflösung erforderlich. Um einen möglichst einfachen Austausch der Daten zwischen den einzelnen Teilprojekten zu ermöglichen, wurde innerhalb von DANUBIA als einheitliche räumliche Auflösung das sogenannte Proxel (Process Pixel) festgelegt. Ein Proxel entspricht dabei einem Quadratkilometer. Diese einheitliche Auflösung gewährleistet, dass unterschiedlich skalierte Outputdaten der Modellierung in einem einheitlichen räumlichen Niveau vorliegen. Dies hat zur Folge, dass alle Daten, die zwischen RIWU und anderen Teilmodellen ausgetauscht werden, in Form von Proxel-Werten, also in Werten pro Quadratkilometer vorliegen müssen.

Das Verfahren der Disaggregation der auf administrativen Grenzen vorliegenden Werte auf das extrem kleinräumige und symmetrische Raster des Quadratkilometers ist aus ökonomischer Sicht Neuland. Zwar existieren einige Ansätze der Kopplung statistischer Daten und geographischer Informationen, meistens mit Hilfe geographischer Informationssysteme (LI, HENRY et al. 1999; CHROMITZ und GRAY 1995). Jedoch ist hierbei die kleinste regionale Untersuchungseinheit die einzelne Agglomeration, innerhalb der sich Wirtschaftsbeziehungen zwischen den einzelnen Akteuren abspielen. In der isolierten Sichtweise der Ökonomie ist das Aggregationsniveau des Proxels nicht notwendig. Im Rahmen eines interdisziplinären Projektes jedoch ist das Verharren auf administrativen Grenzen nicht zielführend. Natürliche Prozesse kennen keine Gemeinden- oder Landkreisgrenzen. Im integrativen Kontext ist zweckmäßiger, sich auf einem mittleren Aggregationsniveau zu treffen, das den Spagat zwischen Genauigkeit der Ergebnisse und Fehler durch Up- bzw. Down-Scaling am besten meistert. Im Rahmen von DANUBIA wurde hierfür das Konzept der Proxel gewählt. Daher müssen die Ergebnisse aller Teilmodelle, die über Schnittstellen mit anderen Modellen ausgetauscht werden, auf den Quadratkilometer umgerechnet werden. Dies betrifft beim aktuellen Stand der Projektentwicklung für das Modell RIWU das Wasseraufkommen bei den Betrieben des Bergbaus und der Verarbeitenden Gewerbes (WA) und den Bevölkerungsstand (B). Im weiteren Verlauf der Projektentwicklung werden noch weitere Variable, wie beispielsweise der Trinkwasserpreis für Haushalte hinzukommen.

Eine zentrale Aufgabe des Teilprojekt Ökonomie im Rahmen der interdisziplinären Integration war es daher, aus den vorhandenen Landkreiswerten Proxelwerte zu generieren. Hierzu wurden verschiedene Ansätze entwickelt und auf ihre Praktikabilität hin überprüft:

- a. Disaggregation der gewonnenen Ergebnisse durch Gleichverteilung über alle Proxel:
Die gleichmäßige Verteilung der Landkreisergebnisse auf alle Proxel stellt eine denkbar schlechte Approximation an die Wirklichkeit. In der Realität differiert die Siedlungsdichte zwischen einzelnen Proxeln sowohl in Städten als auch in ländlichen Gegenden erheblich, viele Proxel, besonders auf dem Lande, sind vollständig unbewohnt.

b) Disaggregation mit Hilfe der Fernerkundung:

Mit ihrer Hilfe der Fernerkundung ist es möglich, über den Weg der Landnutzungs-klassifizierung, den Bevölkerungsstand und die industrielle Wassernachfrage auf der Ebene eines einzelnen Proxels abzuschätzen. Im Rahmen von GLOWA-Danube liegen hierzu zwei unterschiedliche Fernerkundungs-Datensätze vor. Ein Datensatz basiert auf den CORINE-Landnutzungsdaten.²⁾ Diese wurden bis in die 90er Jahre vom European Topic Center on Land Cover (ETC/LC) und der European Environment Agency (EEA) zusammengestellt, um eine europaweit einheitliche und flächendeckende digitalisierte Planungsgrundlage für Umweltpolitik und Regionalplanung zu schaffen (BOSSARD, FERANEC et al. 2000). Aus diesen Basisdaten wurden vom Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung im Rahmen von GLOWA-Danube Informationen über die prozentuale Verteilung der Landnutzung pro Proxel gewonnen. Dabei ist, für den weiteren Verlauf relevant, der prozentuale Anteil der Landnutzungs-kategorie „Artificial Surfaces“ mit den beiden Landnutzungsunterarten „Urban Fabric“ und „Industrial, commercial and transport units“ für jedes Proxel explizit ausgewiesen. Der zweite Datensatz basiert auf NOAA/AVHRR Daten.³⁾ Dabei handelt es sich um Daten, die von der National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) mit Hilfe von POES (Polar Orbiting Environmental Satellite) - Satelliten erfasst wurden. Diese Satelliten verwenden sogenannte AVHRR-Multispektralscanner zur Datenaufzeichnung. Mit Hilfe der sogenannten spektralen Entmischung von multitemporalen Daten wurden, wiederum durch das Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung, Unterinformationen über die Landnutzung für jedes einzelne Proxel gewonnen. Dabei wird jedem Proxel ein prozentualer Anteil der folgenden zehn Landnutzungs-klassen zugewiesen: Gletscher, Wasser, Alpine Matten, Fels, Moor, Ackerbau, Grünland, Laubwald, Nadelwald und Siedlung (PROBECK, LUDWIG et al. voraussichtlich 2003).

Die beiden Datengrundlagen generieren keine identischen Ergebnisse. Im Falle der spektralen Entmischung kommt es zu einer stärkeren Konzentration der Bevölkerung auf die Innenstadtlagen. In beiden Fällen bleiben einige, zum Teil unterschiedliche, Proxel unbesiedelt. Im Falle der CORINE-Daten wird dieses Problem durch die Unterteilung der Landnutzungs-klassen reduziert. In dieser Hinsicht ist somit die CORINE-Datenbank der spektralen Entmischung vorzuziehen.

Im Vordergrund dieser ersten Ansätze zur Disaggregation von Bevölkerungswerten von der Landkreisebene auf einzelne Proxel stehen die Möglichkeiten und Probleme einer linearen Disaggregation mit Hilfe von Informationen der Fernerkundung. Verfahren zum Down-Scaling des industriellen Wasserverbrauchs werden im Fortgang der Arbeiten entwickelt. Proxelwerte für die industrielle Wassernutzung sind ungleich schwerer zu berechnen. Zwar liegen im Rahmen der CORINE-Landnutzungsdatenbank aggregierte Informationen über den prozentualen Anteil von industriell und kommerziell genutzter Fläche vor („Industrial, commercial and transport units“); eine Differenzierung zwischen diesen beiden Klassen ist nach dem momentanen Stand der Auswertung der Fernerkundungsbilder jedoch nicht möglich.

Die einzelnen Industriebranchen des Einzugsgebietes sind bezüglich ihrer Wassernutzung höchst unterschiedlich. Besonders wasserintensiven Industriezweigen, wie der chemischen Industrie und der Papierherstellung, stehen Branchen mit sehr geringem Wasserverbrauch gegenüber. Die Identifikation industriell genutzter Fläche ist somit für die proxelgenaue Modellierung des industriellen Wasserverbrauchs bei weitem nicht ausreichend. Um hier eine differenziertere Analyse zu ermöglichen, wird im Fortgang der Arbeiten ein Verfahren entwickelt, um die einzelnen Branchen bzw. Unternehmen bezüglich ihrer Wassernutzungsintensität zu identifizieren und dann den jeweils richtigen Proxeln zuzuweisen. Hierfür ist im weiteren Verlauf des Projektes eine Unternehmensbefragung vorgesehen, die zum Ziel hat, die

²⁾ CORINE Coordination of Information on the Environment.

³⁾ NOAA/AVHRR steht für National Oceanic and Atmospheric Administration/ Advanced Very High Resolution Radiometer.

Unternehmen bezüglich ihres Wasserverbrauchs, aber auch im Bezug auf Koeffizienten der Wassernutzungsintensität in Abhängigkeit der produzierten Menge, zu typisieren, um sie dann mit Hilfe der Auswertung von digitalisierten Karten dem richtigen Proxel zuzuweisen.

3.2 Programmiertechnische Integration der Modelle in DANUBIA

Die einheitliche räumliche Auflösung im Modellverbund DANUBIA in Gestalt des Proxels gewährleistet, dass unterschiedlich skalierte Outputdaten der Modellierung in einem einheitlichen räumlichen Niveau vorliegen und ausgetauscht werden können. Dies hat zur Folge, dass alle Daten, die über Schnittstellen ausgetauscht werden, in Form von Proxel-Werten, also in Werten pro Quadratkilometer, vorliegen müssen. Das Modell RIWU rechnet auf der Ebene der Landkreise und bricht die dabei erzielten Ergebnisse mit Hilfe der durch Fernerkundungsdaten ermittelten Landnutzungsinformation auf das einzelne Proxel herunter. Das Trinkwasserpreismodell rechnet auf der Ebene der Gemeinden. Der berechnete Trinkwasserpreis ist für alle Proxel einer Gemeinde gültig. Die Ergebnisse der 5*5-Matrix werden von Haus aus proxelgenau berechnet. Somit sind keine diesbezüglichen Anpassungen der Modellergebnisse notwendig.

Die drei im letzten Kapitel vorgestellten Modelle sind in vollem Umfang in das Gesamtmodell DANUBIA integriert. Dies zeigt auch das UML-Diagramm der Abbildung 3. Das Teilprojekt Umweltökonomie ist Teil des Actors-Modellverbundes und dabei für die Modellierung der beiden Bereiche Economy und Demography verantwortlich. Im Bereich Economy werden das RIWU-Modell und das zur Berechnung des Trinkwasserpreises subsummiert, in Demography wird die 5*5-Matrix erstellt.

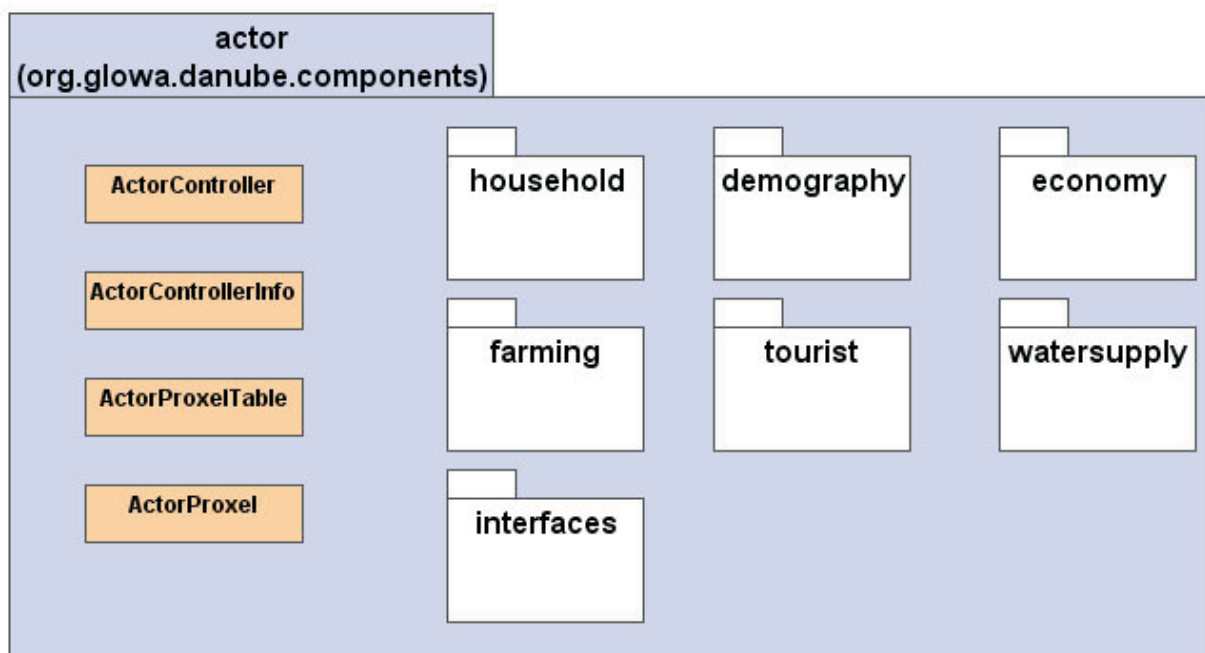


Abb. 3: Die Actors-Komponente (Quelle: Darstellung des ifo Instituts).

Sowohl Economy als auch Demography sind über Schnittstellen (interfaces) mit anderen Teilmodellen verbunden (Abb. 4 und 5). Die Klasse Economy gibt die folgenden Daten an andere Modelle weiter: TotalPopulation und HouseholdIncome werden von Demography zu Modellierung der 5*5-Matrix benötigt. Industrialgroundwater- und Industrialriverwaterdemand werden an die Gruppe WaterSupply geliefert. Der Trinkwasserpreis (DrinkingWaterPrice) wird von den Gruppen Farming und Household zur Modellierung ihrer spezifischen Wassernachfrage benötigt. Das Trinkwasserpreismodell benötigt für seine Berechnungen die spezifischen Wassernachfragen der Gruppen Farming, Household und Tourist. Die Klasse Demography erhält von Economy die beiden Variablen HouseholdIncome und TotalPopulation und gibt an andere Modelle die Variable Population in Form der 5*5-Matrix weiter.

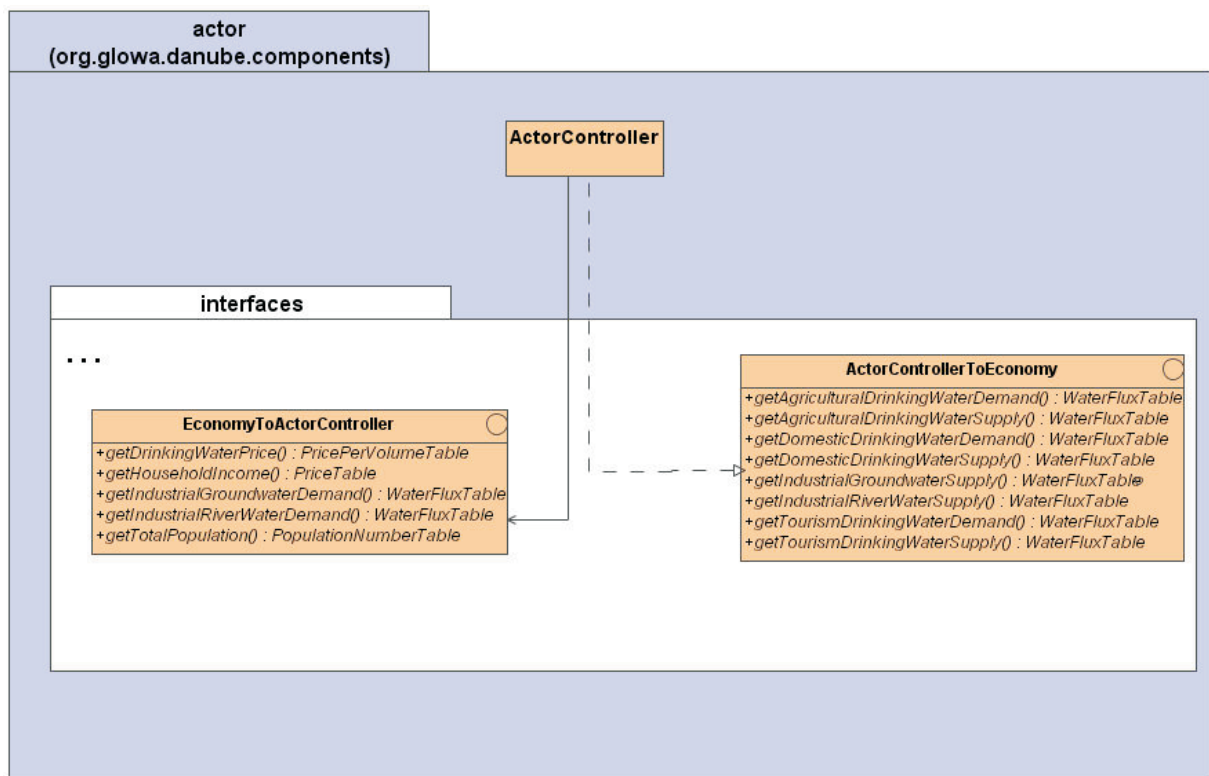


Abb. 4: Schnittstellen von Economy (Quelle: Darstellung des ifo Instituts).

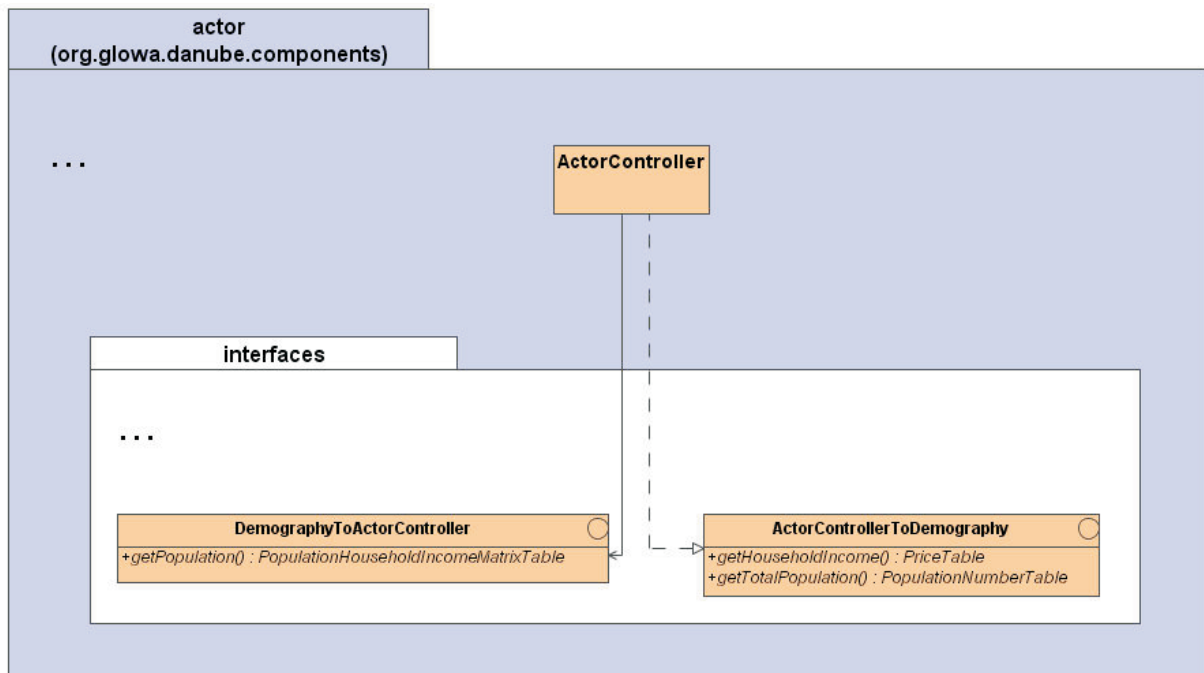


Abb.5 : Schnittstellen von Demography (Quelle: Darstellung des ifo Instituts).

Die strukturellen Details der beiden Klassen Economy und Demography können aus den beiden Abbildungen 6 und 7 entnommen werden. Diese bilden einen zusammenfassenden Überblick der Inhalte der drei vorgestellten Modelle und ihrer Integration in DANUBIA.

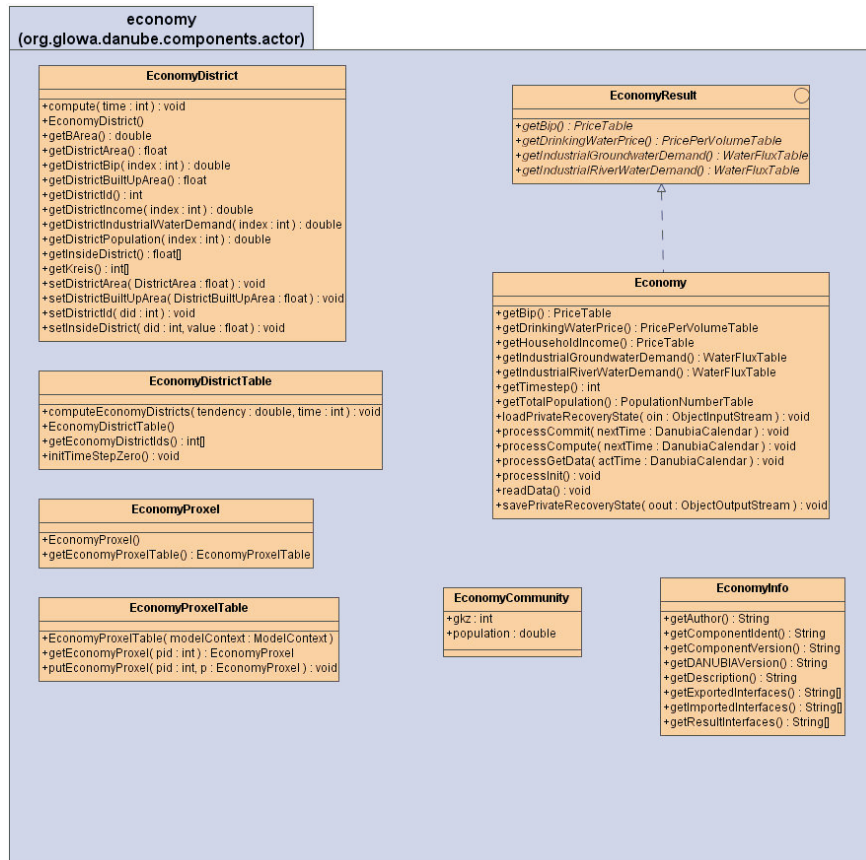


Abb. 6: Strukturelle Details von Economy (Quelle: Darstellung des ifo Instituts).

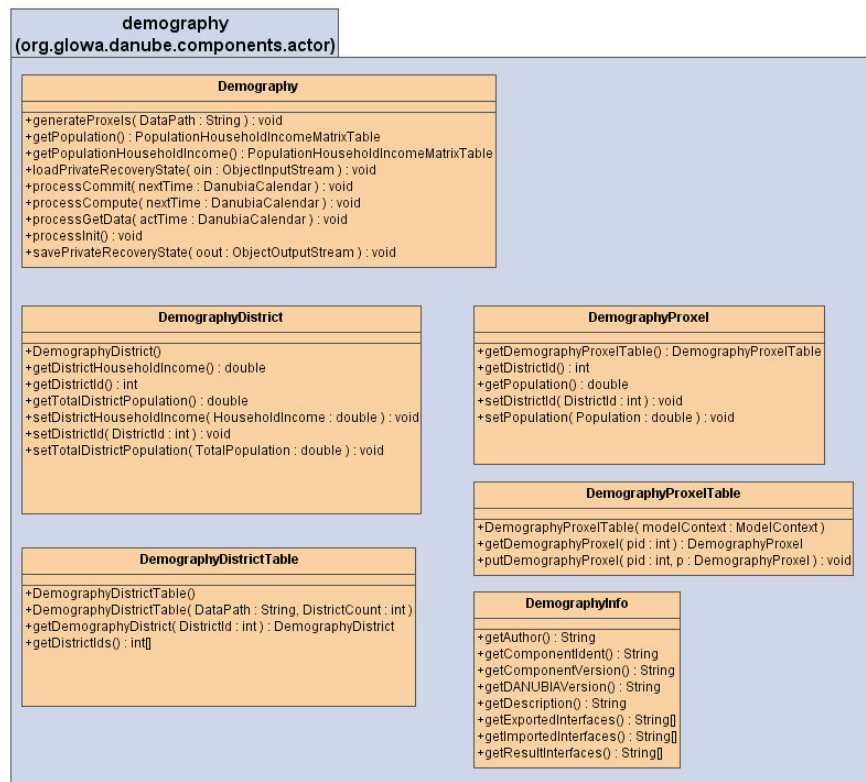


Abb. 7: Strukturelle Details von Demography (Quelle: Darstellung des ifo Instituts).

3.3 Entwicklung der Teilkomponenten des Teilprojekts Umweltökonomie zur Modellreife

Um die drei Modelle des Teilprojektes Umweltökonomie für die beiden, die erste Projektphase abschließenden, Referenzläufe vorzubereiten, wurden zahlreiche interne Testläufe durchgeführt, um die Plausibilität der Ergebnisse zu überprüfen. Dabei zeigten sich einige kleine Fehler, die nachträgliche Korrekturen an den Modellen erforderlich machten. Zum Abschluss der ersten Projektphase wurden zwei Referenzläufe angesetzt, um die Rechenfähigkeit von DANUBIA zu beweisen. Die beiden Läufe unterscheiden sich darin, dass einmal Stationsdaten, das andere mal MM5-Daten zur Modellierung der klimatischen Rahmenbedingungen verwendet wurden. Aufgrund der oben dargestellten Struktur der drei berechneten Modelle ist hiervon jedoch kein Einfluss auf die Ergebnisse von Economy und Demography zu erwarten. Beide Referenzläufe lieferten hierbei identische Ergebnisse. Die Referenzläufe umfassen jeweils den Zeitraum Januar 1995 bis Januar 1997. Bei der monatlichen Taktung der Modelle des Teilprojekts Umweltökonomie ergeben sich damit 25 Berechnungszeitpunkte.

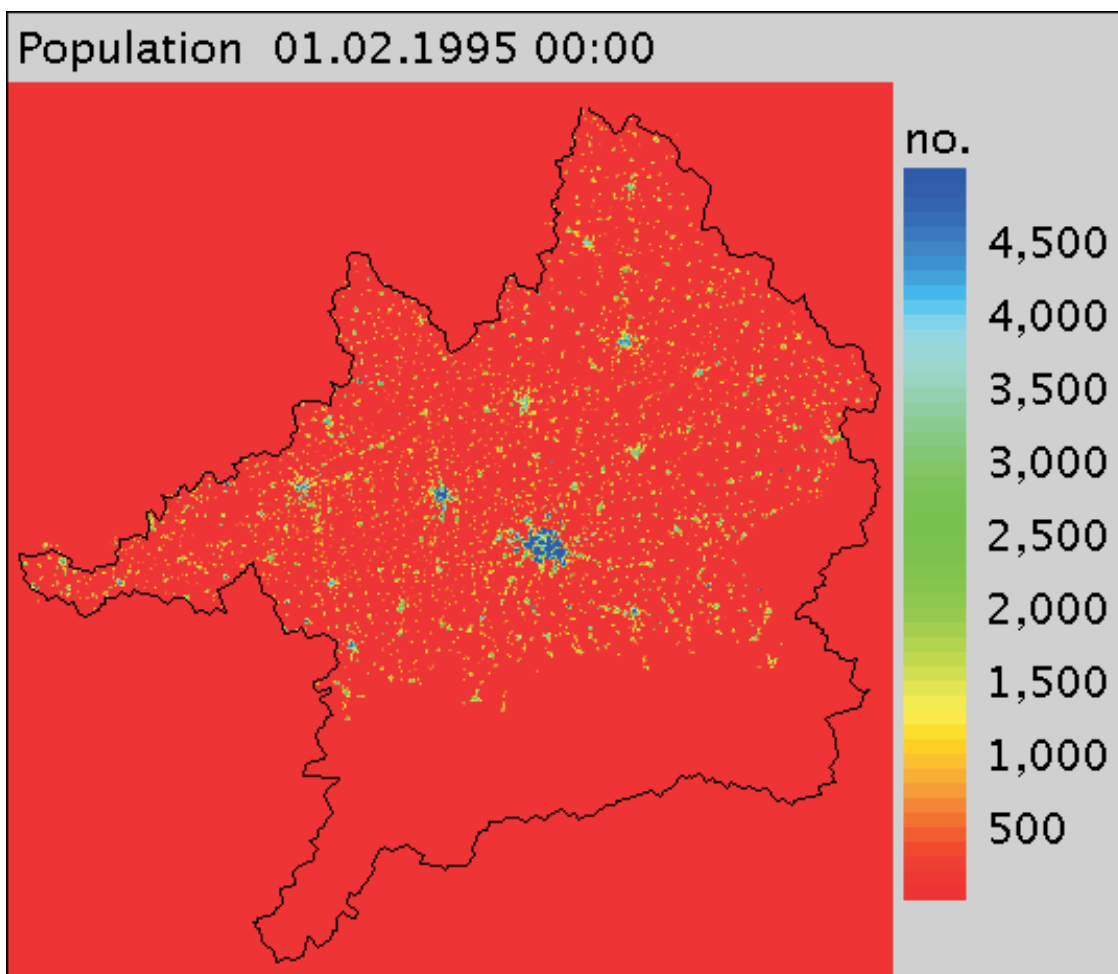


Abb. 8: Berechnung der Variable TotalPopulation, erster Zeitschritt (Quelle: Berechnungen des Modells DANUBIA).

Aus Sicht des Teilprojektes Umweltökonomie verliefen die beiden Referenzläufe sehr erfolgreich. Die nach den internen Testläufen zu erwartenden Ergebnisse wurden in beiden Referenzläufen realisiert. Der Austausch der berechneten Daten mit den Modellen der anderen Teilprojekte verlief sowohl auf der Seite der Inputdaten als auch auf der Seite der Outputdaten problemlos. Die erwarteten Daten wurden berechnet und fehlerfrei ausgetauscht. Dies verdeutlichen die Abbildungen 8 und 9, die beispielhaft die Ergebnisse der proxelweisen Berechnung der Variable TotalPopulation des RIWU-Modells und die Übermittlung der Daten

an das Modell Demography für den ersten und letzten Zeitschritt des Referenzlaufes (hier mit Stationsdaten) abbilden. Kleine und große Siedlungsflächen, wie beispielsweise die Städte München oder Augsburg, sind sehr gut in ihrer unterschiedlichen Siedlungsdichte zu erkennen. Die beiden Abbildungen verdeutlichen auch die realistisch geringen Veränderungen in dem zweijährigen Berechnungszeitraum der Referenzläufe. Die durchschnittliche Bevölkerung der besiedelten Proxel stieg von Januar 1995 bis Januar 1997 von 1128 auf 1138 Einwohner an. Die Zahl der Einwohner pro bewohntem Proxel liegt je nach Rechenzeitpunkt zwischen rund 30 und 11.000 Einwohnern. Bei Berücksichtigung aller Proxel liegt die durchschnittliche Siedlungsdichte bei ca. 120 Einwohnern pro km².

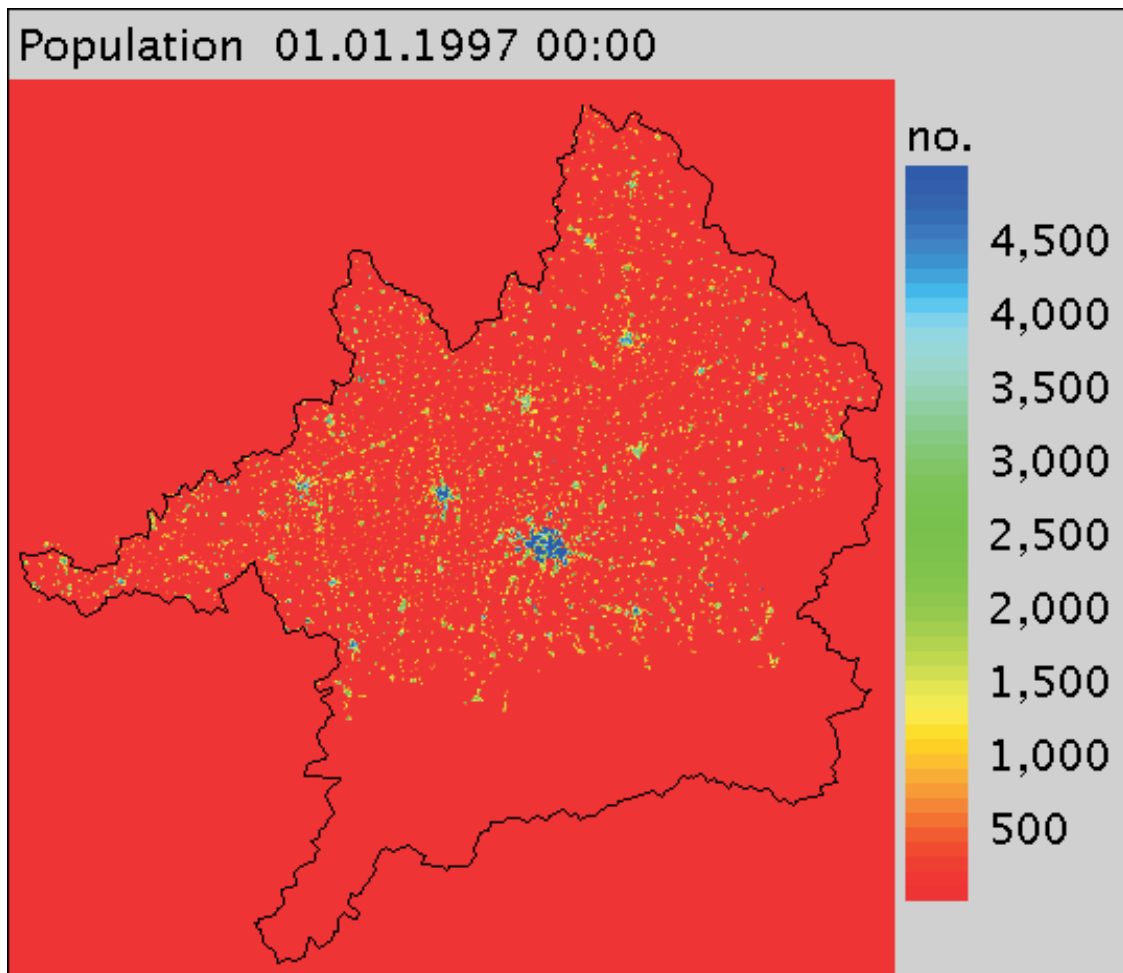


Abb. 9: Berechnung der Variable TotalPopulation, letzter Zeitschritt (Quelle: Berechnungen des Modells DANUBIA).

Auch die Ergebnisse der anderen von RIWU berechneten Variablen entsprechen den erwarteten Ergebnissen. Dies sei beispielhaft an dem aus Sicht der industriellen Wasserentnahme besonders bedeutenden Landkreis Altötting verdeutlicht (Tab. 1). Insgesamt beträgt die industrielle Wassernachfrage des Landkreises zu Beginn rund 10,18m³/sec. Dies entspricht einer monatlichen Entnahme von 26,38 Mio. m³. Der statistische Wert von 26,67 Mio. m³ wird damit sehr gut abgebildet. Zum Ende des Referenzlaufes stieg der Wert auf realistische 10,36m³/sec an. Dies entspricht einem Anstieg von rund 1,7%. Ähnlich gute Werte konnten auch für die anderen Variablen und anderen Landkreise des Einzugsgebietes erzielt werden.

Die Verteilung der Wasserentnahme, differenziert nach Grund- und Flusswasser, wird mit einem Flusswasseranteil von deutlich über 80% für diesen Landkreis relativ gut abgebildet. Insgesamt werden im deutschen Teil des Einzugsgebietes in einem Monat im Durchschnitt 29,84m³ pro Sekunde entnommen. Der Grundwasseranteil liegt dabei bei rund 40%. Nach der amtlichen Statistik liegt der Anteil der Grundwasserentnahme in Bayern bei rund 30%, in Baden-Württemberg bei rund 25% (STATISTISCHES BUNDESAMT 1998a). Der Anteil der Grundwasserentnahme wird damit trotz der oben genannten Korrekturen tendenziell immer noch leicht überschätzt.

Tab. 1: Berechnungen des RIWU-Modells für den Landkreis Altötting.

Date & Time	districtPopulation	distdctIncome (in €)	districtBip (in €)	industrialGroundWater DemandDistrict (in m ³ /sec)	industrialRiverWater DemandDistrict (in m ³ /sec)
02/01/1995	105671	121775312	277744672	1.7152822	8.469206
03/01/1995	105678	121928696	278138976	1.7165821	8.475624
04/01/1995	105686	122082272	278533856	1.7178831	8.482047
05/01/1995	105694	122236040	278929280	1.719185	8.488476
06/01/1995	105701	122390008	279325280	1.7204878	8.494908
07/01/1995	105709	122544160	279721824	1.7217917	8.501347
08/01/1995	105717	122698512	280118912	1.7230966	8.50779
09/01/1995	105724	122853056	280516608	1.7244025	8.514237
10/01/1995	105732	123007800	280914848	1.7257094	8.52069
11/01/1995	105740	123162736	281313632	1.7270173	8.527147
12/01/1995	105747	123317864	281713024	1.7283261	8.53361
01/01/1996	105755	123473192	282112960	1.729636	8.540077
02/01/1996	105763	123628712	282513472	1.7309468	8.54655
03/01/1996	105770	123784432	282914528	1.7322586	8.553027
04/01/1996	105778	123940344	283316192	1.7335714	8.559509
05/01/1996	105786	124096456	283718400	1.7348852	8.565996
06/01/1996	105793	124252760	284121184	1.7362	8.572488
07/01/1996	105801	124409264	284524544	1.7375158	8.578984
08/01/1996	105809	124565960	284928480	1.7388326	8.585486
09/01/1996	105816	124722864	285332992	1.7401505	8.591993
10/01/1996	105824	124879960	285738048	1.7414693	8.598504
11/01/1996	105832	125037248	286143712	1.742789	8.6050205
12/01/1996	105839	125194744	286549952	1.7441099	8.611543
01/01/1997	105847	125352432	286956736	1.7454317	8.618069

Quelle: Berechnungen des Modells DANUBIA.

Die auf RIWU basierenden Berechnungen des Demography-Modells liefern gute Ergebnisse. Es werden keine negativen Werte übergeben; die Verteilung der 25 berechneten Felder schwankt in realistischen Größenordnungen um die bundesdurchschnittliche Verteilung aus Tabelle 1. Auch dies sei anhand einer Abbildung verdeutlicht. Abbildung 10 zeigt die Ergebnisse der 5*5-Matrix für das Feld der 3-Personen-Haushalte der Einkommensklasse größer als 5000 €. Vergleicht man dieses Ergebnis mit Abbildung 10 sieht man deutlich den zu erwartenden geringen Anteil dieser Haushaltsgrößen-Einkommens-Kombination an der Gesamtbevölkerung.

Das Trinkwasserpreismodell arbeitet wie es von den internen Testläufen zu erwarten war. Der für jede Gemeinde berechnete Trinkwasserpreis wird auf jedes dazugehörige Proxel verteilt. Die Spannweite der Trinkwasserpreise liegt zwischen 0,25 und 3,12 € und bildet damit sehr gut die für das Jahr 1999 in Bayern festgestellte Spannbreite der Trinkwasserpreis von 800% ab (LUTZ et al. 2000). Im Durchschnitt lag der berechnete Trinkwasserpreis bei 1,12 €.

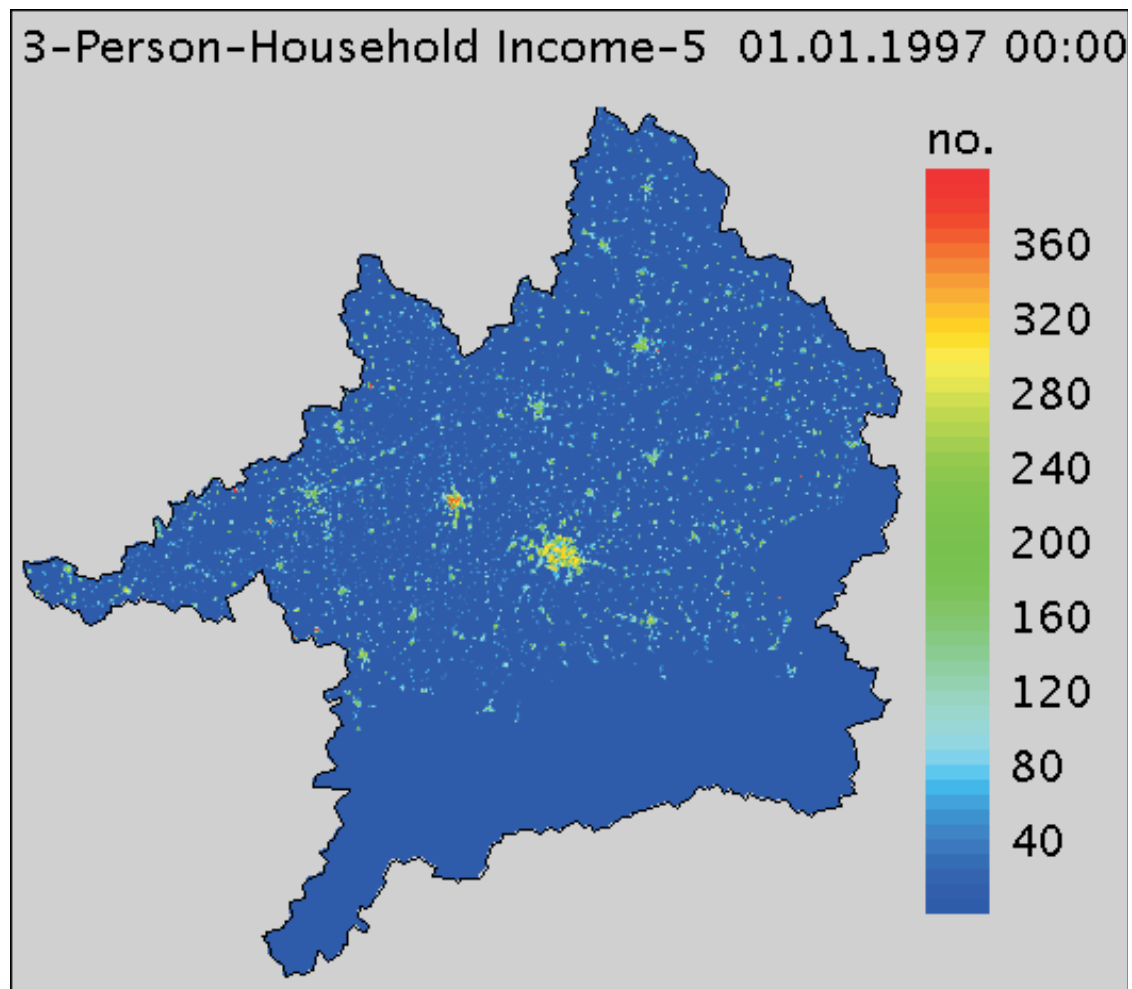


Abb. 10: Berechnung der 5*5-Matrix für 3-Personen-Haushalte der Einkommensklasse größer als 5000 € (Quelle: Berechnungen des Modells DANUBIA).

Aus der Sicht des Teilprojektes Umweltökonomie ist die erste Projektphase mit diesen Ergebnissen sehr erfolgreich verlaufen. Die Modelle des Teilprojektes Umweltökonomie integrieren mit den Modellen der anderen Teilprojekte. In Kombination mit den umfangreichen Möglichkeiten der Informatik konnten die Erfolge, aber auch die zu überwindenden Probleme interdisziplinärer Zusammenarbeit aufgezeigt werden. Aus Sicht des Teilprojektes Umweltökonomie herrscht Zuversicht, dass auch die zweite Projektphase derart erfolgreich verlaufen wird.

4. Literatur

- BLANCHARD, O.J. und KATZ L.F. (1992): Regional evolutions, Brookings Papers on Economic Activity 1, S. 1-75.
- BORTS, G.H. und STEIN J.L. (1964): Economic growth in free market, Columbia University Press : New York 1964.
- BOSSARD, M., FERANEC, J. et al. (2000): CORINE Land Cover Technical Guide - Addendum 2000, European Environment Agency, Technical Report No 40.
- 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.

- CHROMITZ, K.M. und GRAY, D.A. (1995): Roads, land markets and deforestation : a spatial model of land use in Belize, Policy and Research Working paper No. 1444, The World Bank: Policy and Research Dept., Environment Infrastructure and Agriculture Division (PRDEI).
- CLAUSEN, H. und SCHEELE, U. (2003): Strukturwandel in der Wasserversorgung: zwischen Liberalisierung und nachhaltiger Entwicklung: Umwelt und Wirtschaft in Niedersachsen, Workshop des Niedersächsischen Instituts für Wirtschaftsforschung (NIW), Hannover.
- COMBES, P.P. und LAFOURCADE M. (2001): Transport costs decline and regional inequalities: evidence from France, CEPR Discussion Paper No. 2894, Centre for Economic Policy Research: London.
- CORREIA, F.N. und KRAEMER, R.A (1997): Dimensionen Europäischer Wasserpolitik, Berlin .
- COWAN, S. (1997): Competition in the Water Industry, Oxford Review of Economic Policy 13 (1), S. 83-92.
- DIXON, R., THIRLWALL A.P (1975): A model of regional growth-rate differences on Kaldorian lines, Oxford Economic Papers 27, S. 210-214.
- EWERS, H.J., BOTZENHART, K. et al. (2001): Optionen, Chancen und Rahmenbedingungen einer Marköffnung für eine nachhaltige Entwicklung, Endbericht, Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (Hrsg.), BMWi-Forschungsvorhaben 11/00, o.O.
- FREEMAN, D.G. (2001): Sources of fluctuations in regional growth, The Annals of Regional Science 35, S. 249-266.
- GLOWA-DANUBE: Integrative Techniques, Scenarios and Strategies for the Future of Water in the Upper Danube Basin, www.glowa-danube.de.
- HENNICKER, R., BARTH, M. et al. (2002): Danubia: A Web-based Modeling and Decision Support System for Integrative Global Change Research in the Upper Danube Basin, in: BMBF, German Programme on Globale Change in the Hydrological Cycle (Phase I, 2000-2003), Status Report 2002, S. 35-38.
- HOEKSTRA, A.Y (1998): Perspectives on Water, International Books: Utrecht.
- IFO INSTITUT (2001): Auswirkungen der EU-Osterweiterung auf Wirtschaft und Arbeitsmarkt in Bayern, ifo Forschungsberichte, ifo Institut für Wirtschaftsforschung: München.
- KNIEPS, G. (2000): Der disaggregierte Regulierungsansatz der Netzökonomie. In: KNIEPS, G. und BRUNEKREEFT, G. (Hrsg.): Zwischen Regulierung und Wettbewerb, Heidelberg, S. 7-22.
- KOLL, R., KIEMER, K. et al. (1999): Regionalisierte Strukturdatenprognose für das Jahr 2015 mit Zwischenwerten für 2005, 2010 sowie ein Ausblick für 2025, München.
- KRAEMER, A.R.; MÖLLER, H.W. (1998): Vergleich der Trinkwasserpreise im europäischen Rahmen, Umweltbundesamt (Hrsg.), Texte 22/98, Berlin.
- KRIEGER-BODEN, Ch. (2000): Globalization, Integration and Regional Specialization, Kiel Working Paper No. 1009, Institut für Weltwirtschaft, Kiel.
- KRUGMAN, P. (1995): Development, geography and economic theory, MIT Press: Cambridge.
- LI, L., HENRY, J. et al. (1999): Integration of statistics and geography: Statistics Canada's use of geostatistical data and GIS technology in policy and program development, in: Statistical Journal of the United Nations ECE 16, S. 49-58.

- LUTZ, H. und GAUGEL, D. (2000): Wasserpreise in Bayern aus kartellrechtlicher Sicht, Gewerbearchiv 46 (10), S. 414-417.
- MATHUR, V.K. und SONG, F.M. (1995): The dynamics of regional population and employment growth, Review of Urban & Regional Development Studies 7, S. 70-88.
- MAUSER, W., STOLZ, R. et al. (2002): GLOWA-Danube: Integrative Techniques, Scenarios and Strategies Regarding Global Change of the Water Cycle. In: BMBF (Hrsg.): German Programme on Globale Change in the Hydrological Cycle (Phase I, 2000-2003), Status Report 2002, S. 31-34.
- MÖLLER, J. (1995): Empirische Analyse der Regionalentwicklung. In: GAHLEN B., HESSE H. et al. (Hrsg.), Standort und Region, J.C.B. Mohr: Tübingen.
- MUTH R.F. (1991): Supply-Side regional economics, Journal of Urban Economics 29, 1991, S. 63-69.
- NORTON, R.D. (1991): Regions, the Dollar, and reindustrialization, Journal of Urban Economics 29, S. 70-81.
- PROBECK, M. (2002): Projektinterne Dokumentation zu den Datensätzen der disaggregierten Bevölkerung im Einzugsgebiet, Version 3.0.
- PROBECK, M., LUDWIG, R. et al. (2003): Fusion of NOAA/AVHRR imagery and GIS techniques to derive sub-scale land cover information for the Upper Danube Watershed, in: DIE ERDE (submitted).
- ROSENTHAL, S. und STRANGE W.C. (2001): The determinants of agglomeration, Journal of Urban Economics 50, S. 191-229.
- 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).
- SPELTHAHN, S. (1993): Privatisierung natürlicher Monopole – Theorie und internationale Praxis am Beispiel Wasser und Abwasser, Berlin.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (1998): Wirtschaftsrechnungen – Einkommens- und Verbrauchsstichproben 1993, Fachserie 15, Heft 6: Einkommensverteilung und Einkommensbezieher in privaten Haushalten, Wiesbaden.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (1998a): Umwelt Fachserie 19, Reihe 2.2: Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung im Bergbau und Verarbeitendem Gewerbe und bei Wärmekraftwerken für die öffentliche Versorgung, Wiesbaden.
- STUCHTEY, B. (2002): Wettbewerb auf dem Markt für leitungsgebundene Trinkwasserversorgung : Möglichkeiten und Grenzen, Baden-Baden.
- TERKLA, D.G. und DOERINGER, P.B. (1991): Explaining variations in employment growth: structural and cyclical change among states and local areas, Journal of Urban Economics 29, S. 329-348.
- ZEHNER, K. (2001): Stadtgeographie, Gotha.

Ausbildungsforum und Know-How-Transfer in Schwellen- und Entwicklungsländer

Teilprojekt: Human Capacity Building
Leiter: Prof. Dr.h.c. Dr.-Ing. E.h. H. Kobus, Ph.D. (Emeritus)
Ausführende Stelle: Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau

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“ 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-Studenten der Wissenstransfer in Schwellen- und Entwicklungsländer sichergestellt.

1.2 Personal

1.2.1 Wissenschaftler

Das Teilprojekt wurde von Professor Kobus beantragt und wird von ihm auch nach seiner Emeritierung (30. September 2002) betreut. Dabei wird er vom Course Director sowie dem Sekretariat des auslandsorientierten Studiengangs WAREM unterstützt. 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 Durchführung von Workshops eingesetzt. 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 Investitionen

Neben dem regulären Fachstudium besuchen die Stipendiaten interkulturellen und Deutschunterricht. Damit soll mittelfristig eine soziale Einbindung und dadurch langfristig eine enge Beziehung zu Deutschland als Wirtschaftsstandort erreicht werden.

Weiterhin wurden die Stipendiaten in die jährlich stattfindenden Informationsveranstaltungen „GLOWA-BW“ eingebunden. Bei diesen Veranstaltungen wurden die externen Projektpartner über den jeweils aktuellen Stand des Forschungsvorhabens informiert. Die dabei stattfindenden Diskussionen und konstruktiven Kritiken resultierten unter anderem in einer

intensiveren Einbindung der Stipendiaten in die Fragestellungen sowie in Fortschritten des Forschungsvorhabens.

Speziell für die Stipendiaten unter Einbeziehung der GLOWA-Nachwuchswissenschaftler wurden folgende Workshops angeboten:

- Digitalisierungsworkshop (April. 2001, eintägig, 12 Teilnehmer)

Einführung in den Gebrauch von Digitalisiergeräten, Scannern und anderer Hardware sowie zugehöriger Software zur gezielten Verarbeitung von Projektdaten.

- MODFLOW-Shortcourse (Oktober 2001, viertägig, 8 Teilnehmer)

Aufbau des auf finiten Differenzen basierenden Grundwasserströmungsmodells MODFLOW, praktische Problembearbeitung, Erstellung von Eingabedateien (manuell) und Weiterverarbeitung von Ausgabedateien, Darstellung von Ergebnissen. Einführung in die „MODFLOW-Packages“ des modular aufgebauten Programms. Parametrisierung und Generation von evtl. fehlenden Daten. (Diese Fragestellung ist insbesondere im Bezug auf die spätere Anwendung des Programms im Heimatland der Stipendiaten sehr wichtig, da in den meisten Schwellen- und Entwicklungsländern weder viele Daten noch lange Zeitreihen verfügbar sind, die den Anforderungen des Programms genügen würden). Übungen und eine Diskussionsrunde, bei der die Beteiligten auch ihre spezifischen Fragestellungen beantwortet bekamen, vervollständigten den Shortcourse.

- Scaling-Workshop (Dez. 2002, zweitägig, ca. 25 Teilnehmer)

Ziel dieses Workshops war ein themenbezogener, intensiver Austausch zwischen den Doktoranden und Post-Docs der einzelnen in GLOWA-Danube involvierten Disziplinen. Nachdem die Scaling-Problematik in der einen oder anderen Form alle an GLOWA beteiligten Gruppen tangiert und oft sogar eine der größten Herausforderungen darstellt, wurden im Rahmen dieser Veranstaltung die bisher gemachten Erfahrungen aber auch die dabei entstandenen Probleme in 17 Einzelpräsentationen vorgestellt und diskutiert. Bei den Vortragsdiskussionen stellte sich heraus, dass verschiedene Gruppen, wie erwartet, ähnliche Probleme haben, dass jedoch andererseits, wie auch bei den disziplinären Arbeiten, zuerst eine gemeinsame „Sprache“ gefunden werden musste. Weiterhin wurde bestätigt, dass, wie erwartet, zur effektiven Bearbeitung der Fragestellungen zwei Gruppen gebildet werden mussten: Die Gruppe „Up-Scaling“ und die Gruppe „Down-Scaling“, wobei diese Begriffe hier nicht nur eine räumliche, sondern auch eine klare zeitliche Komponente beinhalten.

Die Beteiligung von nicht direkt mit GLOWA-Danube involvierten WAREM Studenten an diesem interessanten Angebot war nicht übermäßig groß. Dies lag einerseits daran, dass das Treffen während der Vorlesungszeit stattfand und somit mit den Fachvorlesungen im Rahmen des M.Sc.-Programms konkurrierte. Andererseits war das interessante Thema für die mit der Thematik nicht direkt vertrauten Studierenden vielleicht etwas zu fachspezifisch.

- Stakeholdertreffen (jährlich, eintägig, ca. 25-30 Teilnehmer)

Im Berichtszeitraum jährlich ein Stakeholdertreffen in Stuttgart durchgeführt. Diese Treffen dienten vor allem dazu, externe Projektpartner über den Fortschritt des Projekts zu informieren und von diesen konstruktive Kritiken und Vorschläge zur weiteren Vorgehensweise zu erhalten. So wurden einerseits die Fortschritte der Gruppen „Grundwasser“ und „Wasserversorgung“ dargestellt, andererseits waren auch andere Teilprojektleiter eingeladen, um die Einbindung und die Interdisziplinarität des GLOWA-Danube Ansatzes zu verdeutlichen.

1.5 Veröffentlichungen

Im Rahmen des Teilprojekts wurden im Berichtszeitraum sieben Independent Studies, Master's Theses und Diplomarbeiten betreut. (s. Kap. 4: Literatur). Hierbei ist anzumerken, dass die internationalen Studierenden einen erheblich höheren Betreuungsaufwand benötigen als ihre deutschen Kommilitonen. Das liegt vor allem daran, dass viele der internationalen Studierenden aus einem relativ „verschulten“ Universitätssystem 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

2.1.1 Stipendiaten der Gruppe GLOWA01 (Zulassung zum WS 01/02)

Alejandro Meleg (Kolumbien) hat das Studium erfolgreich abgeschlossen. Im Rahmen seiner Master's Thesis („A Prototype Object Oriented Water Supply Model for the Upper Danube Basin“) entwickelte er eine objekt-orientierte Modellkonzeption für das Modell „*Watersupply*“ und setzte diese mit Hilfe von UML erfolgreich in JAVA um. Nach Abschluss seines Studiums trat Herr Meleg ein Praktikum zur Vertiefung seiner Kenntnisse im Bereich Hochwasserkontrolle und -management bei einem Stuttgarter Ingenieurbüro an.

Nikolay Chalakov (Bulgarien) hat alle Vorlesungen erfolgreich abgeschlossen. Leider musste er die bereits begonnene Master's Thesis abbrechen, um in seinem Heimatland Wehrübungen abzuhalten. Es wird erwartet, dass er dadurch das Studium mit ca. acht Monaten Verspätung abschließen wird.

Richard Asuming (Ghana) zeigte überdurchschnittliche Ergebnisse, entschied sich jedoch aufgrund eines Angebots einer Doktorandenstelle in Großbritannien sein Studium in Stuttgart ohne Abschluss abzubrechen.

Marco Stojcic (Serbien) wurde für sechs Monate mit den durch den Abbruch von Herrn Asuming freiwerdenden Mitteln finanziert. Er wurde sowohl auf Grund seiner guten Studienergebnisse als auch seines großen Interesse am GLOWA-Projekt ausgewählt. Auch er fertigte eine Master's Thesis im Rahmen von GLOWA an („Effects of Upscaling for a Finite-Difference Flow and Transport Model“) Derzeit ist Herr Stojcic auf der Suche nach einer Praktikumsstelle in Deutschland, um seine in WAREM erworbenen Kenntnisse zu vertiefen.

2.1.2 Stipendiaten der Gruppe GLOWA02 (Zulassung zum WS 02/03)

Kwadwo Adusei Addai (Ghana) hat die Vorlesungen mit den Schwerpunkten „Modelling of Hydrosystems and Hydroinformatics“, „Groundwater Resources Management“ und „Ecohydraulics and Hydraulic Engineering“ erfolgreich abgeschlossen und wird im kommenden Sommersemester seine Master's Thesis anfertigen

Seth Annang Tetteyfio (Ghana) und Milos Vasin (Serbien) haben die Vorlesungen mit den Schwerpunkten „Groundwater Resources Management“, „Ecohydraulics and Hydraulic Engineering“ und „Urban Hydraulics and Sanitary Engineering“ erfolgreich abgeschlossen und werden im kommenden Sommersemester ihre Master's Thesis anfertigen

Herr Vasin bearbeitet das GLOWA-Thema Modeling transport phenomena on a very large scale using particle tracking approaches. Er hat bereits zu diesem Zeitpunkt eine Zusage, ab Oktober 2004 als Doktorand am Institut für Wasserbau der Universität Stuttgart mit Unterstützung eines IPSWaT-Stipendiums (BMBF) ein Promotionsvorhaben in Angriff zu nehmen.

2.1.3 Stipendiaten der Gruppe GLOWA03 (Zulassung zum WS 03/04)

Laut Zuwendung hätten jährlich zwei Stipendien über drei Jahre vergeben werden können. Da eine Vergabe zum WS 03/04 mit Zahlungsverpflichtungen bis zum Herbst 2005 (also 21 Monate über das Projektende der Phase 1 hinaus) verbunden gewesen wären, wurden die vergebenen Stipendien auf die beiden ersten Jahre konzentriert.

2.2 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. Angebote für die Zusammenarbeit wurden von den Gruppen „Snow“, „Farming“ und „Rivernetnetwork“ 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). Im Berichtszeitraum wurde lediglich eine Master's Thesis mit dem Titel „Vergleich verschiedener Ganglinienseparationsverfahren angewendet in Teileinzugsgebieten der Oberen Donau“ beim Projektpartner „Rivernetnetwork“ (IAWG, München) angefertigt.

3. Zusammenfassung und Ausblick

Die Ziele der ersten Projektphase 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 zweiten 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.

4. Literatur

- ROJANSCHI, V. (2001): Effects of Upscaling for a Finite-Difference Flow Model, Master's Thesis, WAREM, Universität Stuttgart.
- SCHUOL, J. (2003): Comparison of different Baseflow Separation Approaches applied to Sub-Catchments of the Upper Danube Basin, Master's Thesis, Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau.
- GURMESSA, T.K. (2003): Scaling effects on Groundwater Flow Models in the Donauried Region, Germany Independent Study, WAREM, Universität Stuttgart.
- DAANAA, R. (2003): Development of a large scale two-dimensional groundwater model of the Upper Danube Basin with special regard to boundary conditions, 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 Thesis, WAREM, Universität Stuttgart.
- MELEG, A. (2004): A Prototyp Object-Oriented Water Supply Model for the Upper Danube Basin, Master's Thesis, WAREM, Universität Stuttgart.
- STOJICIC, M. (2004): Effects of Grid Size and Upscaling for Finite-Difference Flow and Transport Model, Master's Thesis, WAREM, Universität Stuttgart.