



GLOWA – Danube

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

Jahresbericht 2002

über den Fortgang des Projektes 07GWK04
Berichtszeitraum: 01.01.2002 – 31.12.2002

Zusammengestellt durch:
Prof. Dr. Wolfram Mauser
Dr. Roswitha Stolz und 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	
PD 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 Stoffflüssen an der Landoberfläche mit Fernerkundung	27
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	49
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	69
Prof. Dr. Wirth, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Physik der Atmosphäre Wechselwirkung zwischen Niederschlag und Landoberfläche	75
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	91
Dr. Willems / Prof. Dr.-Ing. Kleeberg, IAWG Institut für Angewandte Wasserwirtschaft und Geoinformatik (IAWG) Abflußsimulation - Gewässergütesimulation	103
Dr. Braun, Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Hydraulik und Grundwasser Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung, Wasserversorgung	119

PD Dr. Ernst, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Psychologisches Institut Modellierung typischer Wassernutzer im Einzugsgebiet der Donau	137
Prof. Dr. Dabbert, Universität Hohenheim Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre (410A) Sozioökonomische Analyse und Modellierung von Wassernutzung und Landnutzung durch Landwirtschaft	151
Prof. Dr. Schmude, Universität Regensburg, Lehrstuhl für Wirtschaftsgeographie und Tourismusforschung Wechselbeziehungen zwischen dem Tourismus und der Ressource Wasser im Untersuchungsraum von GLOWA-Danube	167
Prof. Dr. Sprenger, ifo Institut für Wirtschaftsforschung, München Ein regionalökonomisches, sektoral disaggregiertes Modell der Wassernutzung im Einzugsgebiet der oberen Donau	183
Prof. Dr. Kobus, Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Hydraulik und Grundwasser Human Capacity Building	197

Zusammenfassung und Überblick über den Fortgang des Projektes

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

1. Überblick

Folgende Bereiche wurden während der Berichtsphase (1.1.2002-31.12.2002) schwerpunktmäßig bearbeitet:

- Entwicklung des Prototyps des Global Change Entscheidungsunterstützungssystems DANUBIA in Form eines parallel laufenden, gekoppelten Modellverbundes. DANUBIA besitzt eine räumliche und zeitliche Struktur und basiert auf einer klaren Zuordnung der Kompetenzen zwischen den Projektpartnern.
- Entwicklung von Verfahren zur Aggregation und Disaggregation von Prozessbeschreibungen und Daten (Scaling). Erste Modellrechnungen haben auf den unterschiedlichen Skalen des Gesamtgebietes und der Testgebiete stattgefunden.
- Aufbau eines Geographischen Informationssystems (GIS) und eines gemeinsamen Datenverbunds zur Oberen Donau. Ein vollständiges GIS sowie umfangreiche naturwissenschaftliche wie sozio-ökonomische Daten werden in eine gemeinsame Datenstruktur gebracht und zur Verfügung gestellt.
- Datensammlung, Aufbereitung und Verfügbarmachung der Geländemessungen in den Test-Einzugsgebieten.

Zur Erreichung der Ziele wurden die folgenden, z.T. neuen integrativen Techniken eingesetzt und benutzt:

- Die objektorientierte Modellierung mit der Unified Modeling Language (UML) und die Programmiersprache JAVA.
- Das netzbasierte, verteilte Rechnen.
- Die Repräsentation der sozio-ökonomischen Prozesse durch einen Multi-Akteur Ansatz.
- Die Nutzung der satellitengestützten Fernerkundung zur Umweltbeobachtung.
- Erste Ansätze zur Strukturierung der Zusammenarbeit mit den Stakeholdern.

2. Gesamtziele von GLOWA-Danube

Oberstes Ziel von GLOWA-Danube ist es, für den funktionalen Typ des Wassereinzugsgebietes im Gebirgsvorland der humiden Breiten (F2 im Sinne der GLOWA-Ausschreibung) Integrationstechniken, integrierte Modelle und integrierte Monitoringverfahren zu entwickeln, zu validieren, und im netzwerk-basierten Entscheidungs-Unterstützungssystem DANUBIA zu implementieren. DANUBIA soll die wesentlichen natur- und sozialwissenschaftlichen Prozesse, die zur realitätsnahen Modellierung von Wasserflüssen in Gebirgs-Vorland-Situationen be-

nötigt werden, enthalten. 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 breite Palette von Realisationen von Einzugsgebieten der GLOWA-Transsekte anwendbar sein.

DANUBIA wurde zunächst als Prototyp aufgebaut. Seine prinzipielle Funktionstüchtigkeit wird mit unterschiedlichen Szenarien, die auch den Ist-Zustand beinhalten, getestet.

Zweites Ziel von GLOWA-Danube ist, DANUBIA auf den gesamten Themenkomplex des Globalen Wandels des Wasserkreislaufs (GLOWA) exemplarisch für die Obere Donau für den Ist-Zustand anzuwenden sowie unterschiedliche Zukunftsszenarien zu entwickeln und auf ihre Nachhaltigkeit zu untersuchen. Die Zukunftsszenarien werden in einem offenen Stakeholder-Prozess gemeinsam mit den wesentlichen Stakeholdern entwickelt, um notwendige Erfahrungen zu sammeln, die zur Verfeinerung von DANUBIA führen werden. Die komplexen Szenarien, die mit DANUBIA untersucht werden sollen, beinhalten vor allem klimatische, politische, ökonomische, demographische und technologische Alternativen zum heutigen Zustand und schließen Änderungen in der Nutzung und Nutzungsintensität der Land- und Wasserressourcen 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 werden zunächst Klimaszenarien und Alternativen in der Nutzung und Nutzungsintensität der Land- und Wasserressourcen entwickelt und mit dem Prototyp von DANUBIA untersucht. 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 von DANUBIA an diesen Beispielen aufzuzeigen.

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

3. 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 bei der Bewirtschaftung 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 technologischen und institutionellen Rahmenbedingungen. Die Fähigkeit zur Analyse der Auswirkungen unterschiedlicher Handlungsoptionen und deren Prüfung auf Nachhaltigkeit ist Voraussetzung für den Übergang zu einer nachhaltigen Bewirtschaftung von Wasserressourcen. Sie beruht auf Werkzeugen, die auf möglichst determinierte Weise und unter Berücksichtigung aller wichtigen natürlichen Rahmenbedingungen und menschlicher Einflussfaktoren verschiedene mögliche zukünftige Zustände als Folge heutigen Handelns beschreiben können.

Die Wechselwirkung von Gebirgen als Wasserüberschussregionen und damit als Wasserlieferanten und ihrer Vorländer als Wassernutzer ist archetypisch für die Struktur von Konflikten bei der Wasserbewirtschaftung. In diese Wechselwirkung gehen vielfältige natürliche und soziale Gradienten, vom Niederschlag bis zum Wohlstand, ein. Diese Konstellation erscheint deshalb auch prädestiniert für Fragestellungen, bei denen die räumliche Inhomogenität eine zentrale Rolle bei der Prozessbeschreibung und -erklärung inne hat. Sie spielt darüber hinaus weltweit eine herausragende kulturelle und ökonomische Rolle und ist in unterschiedlicher Ausprägung in allen Regionen der Erde anzutreffen (Alpen, Pyrenäen, Himalaya, Anden, Kaukasus, Altai, Äthiopisches Hochland, etc.).

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 räumlichen Interdependenzen unter räumlichen Gradienten und nicht zuletzt an der Sensitivität der natürlichen Prozesse im System. Methoden zur Bearbeitung solcher und ähnlich gearteter Konstellationen sowie Lösungen werden aber gerade dort gebraucht, wo regional unterschiedliche Handlungsalternativen unter sich verändernden Randbedingungen auf ihre Nachhaltigkeit hin überprüft und daraus Handlungsempfehlungen abgeleitet werden sollen.

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 anvisierte starke Integration der beteiligten Disziplinen aus den Natur- und Sozialwissenschaften.

4. Formulierte Ziele der ersten Förderphase

Folgende Ziele wurden in der Präambel zum ersten Förderantrag für die Einrichtung von GLOWA-Danube gemeinsam formuliert:

- Entwicklung des Prototyps von DANUBIA
- Entwicklung von Verfahren zur Aggregation und Disaggregation von Prozessbeschreibungen und Daten (Scaling)
- Entwicklung und erste Nutzung von Global Change Szenarien zum Test von DANUBIA
- Entwicklung von Szenarien und Analyse der Wasser-Konflikte in der Oberen Donau
- Aufbau eines Geographischen Informationssystems (GIS) und eines gemeinsamen Datenverbunds zur Oberen Donau
- Datensammlung, Aufbereitung und Verfügbarmachung der Geländemessungen in den Test-Einzugsgebieten.

Wesentliche Etappen auf dem Weg zur Umsetzung der Ziele des ersten Förderantrages wurden bereits im zweiten Berichtszeitraum (2002) erreicht. Sie bestehen aus der Entwicklung eines Prototyps von DANUBIA, der Entwicklung und ersten Tests von Aggregations- und Disaggregationsverfahren, dem Aufbau des GIS- und Datenverbundes sowie der Sammlung, Aufbereitung und Verfügbarmachung wesentlicher Daten und der Geländemessungen in Testgebieten. Die Entwicklung und Nutzung erster Global Change Szenarien sowie die Analyse der Wasserkonflikte in der Oberen Donau sowie eine Vorbereitung des Stakeholder-Dialogs werden bis Ende 2003 folgen.

Die sektoral formulierten Ziele der Teilprojekte sowie der Stand der jeweiligen Umsetzung im Berichtszeitraum können aus den Berichten der Teilprojekte entnommen werden.

5. Stand der Entwicklung von DANUBIA

Auf dem Weg zum Global Change Entscheidungs-Unterstützungssystem DANUBIA wurde zunächst ein Prototyp des hoch-integrativen, gekoppelten, verteilten, parallel arbeitenden Prozess-Modells geschaffen. Es bildet die Grundlage für die weiteren Arbeiten. DANUBIA besitzt

- *eine räumliche Struktur.* Sie ist durch das Konzept der Proxel (process pixel) gegeben. Proxel sind die „Atome“, aus denen sich DANUBIA zusammensetzt. Auf ihnen werden alle natur- und sozialwissenschaftlichen Elementarprozesse in DANUBIA beschrieben bzw. abgebildet. Zwischen ihnen können Größen ausgetauscht und damit räumliche Wechselwirkungen berücksichtigt werden. Sie sind räumlich als Raster organisiert.
- *eine zeitliche Struktur.* Sie ist durch einen Time-Controller in DANUBIA realisiert, der sicher stellt, dass die unterschiedlichen sektoralen Teil-Modelle in transparenter Weise zusammenarbeiten und kausale Reihenfolgen eingehalten werden.
- *eine klare Zuordnung der Zuständigkeiten bei der Prozessbeschreibung* zu den verschiedenen Disziplinen. Grundlage ist, dass jeder Prozess nur von einer Disziplin beschrieben wird. Konflikte durch Mehrfachbeschreibungen entfallen damit. Die benötigten Daten werden zwischen den Prozessmodellen über Schnittstellen ausgetauscht.

DANUBIA beschreibt somit die beteiligten Prozesse räumlich differenziert und ist darauf vorbereitet, laterale Umverteilungen aufgrund von Wasser-, Energie- und Stoffflüssen sowie Migration und Kapitalflüsse innerhalb des betrachteten Einzugsgebiets und über die Einzugsgebietsgrenzen hinweg 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. Die neuen Ansätze sind in Abbildung 1 schematisch dargestellt und sollen im Folgenden kurz beschrieben werden.

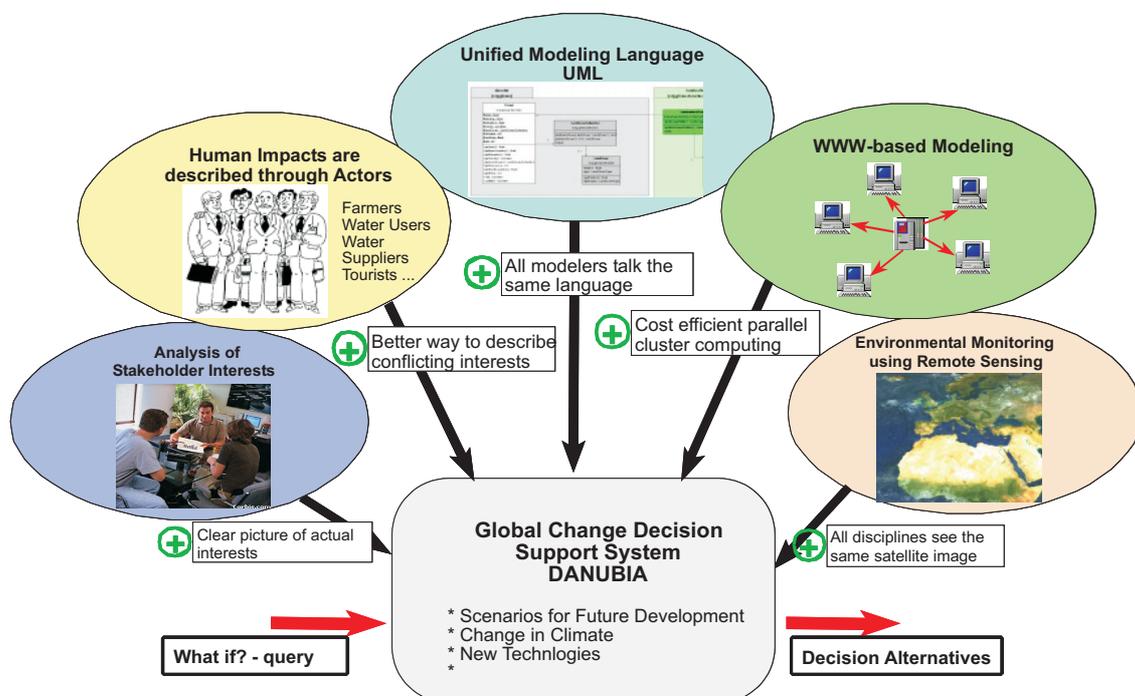


Abb. 1: Schematische Darstellung des Global Change Entscheidungs-Unterstützungssystems DANUBIA mit den verwendeten integrativen Ansätzen

1. *Die Unified Modeling Language UML*

wird erfolgreich von allen Partnern in GLOWA-Danube als diagrammatische Sprache zur gemeinsamen Formulierung von DANUBIA und für die Definition der Schnittstellen zwischen den disziplinären Modellen eingesetzt. Aus UML werden automatisch Codegerüste in JAVA erzeugt. Die beteiligten Projektpartner stimmen in der Erfahrung überein, dass ohne die Nutzung der UML und die begleitende Unterstützung des Teilprojektes Informatik es nicht möglich gewesen wäre, im zur Verfügung stehenden Zeitraum eine konzeptionelle und sehr detaillierte Übereinkunft zwischen den beteiligten Disziplinen über die Architektur von DANUBIA zu erzielen. Vor allem wäre es ohne diese Grundlage nicht möglich gewesen, in weiteren 5 Monaten unter Einbeziehung einer Kerngruppe von Teilprojekten dies bis zur GLOWA-Statuskonferenz in einen lauffähigen Prototyp von DANUBIA weiter zu entwickeln. Zum jetzigen Zeitpunkt tragen alle Projektgruppen mit lauffähigen und sinnvollen Teile-Modellen zu DANUBIA bei.

Jeder in DANUBIA modellierte Prozess besteht aus einem Objekt, das über Daten und Methoden verfügt und das mit seiner Umgebung im Austausch von Daten steht. Objekte bilden Verbund-Objekte, die zusammen einen übergeordneten Bereich von Teil-Prozessen abdecken. Abbildung 2 zeigt ein stark schematisiertes UML-Diagramm des gesamten DANUBIA-Prototyps. In ihm sind die 5 Verbund-Objekt und ihre Kopplung dargestellt. Die 5 Verbund-Objekte bestehen z.Zt. aus den folgenden thematischen Bereichen:

1. *Landsurface*, es beinhaltet die Objekte *RadiationBalance* (Bearbeiter: Hydrologie/Fernerkundung (Mauser)), *Soil* (Bearbeiter: Hydrologie/Fernerkundung (Mauser)), *Biological* (Bearbeiter: Pflanzenökologie (Tenhunen)) und *SnowAndIce* (Bearbeiter: Glaziologie (Kuhn))
2. *Atmosphere*, er beinhaltet die Objekte *AmoObs* (Bearbeiter: Zentralprojekt (Mauser) und Meteorologie/Beobachtungsdaten (Wirth)), *AtmoSat* (Bearbeiter: Niederschlag/Fernerkundung (Bendix)) und *AtmoMM5* (Bearbeiter: Meteorologie/MM5 (Egger))
3. *GroundWater*, er beinhaltet das Objekt *GroundWaterFlow* (Bearbeiter: Wasserwirtschaft/Grundwasser (Braun))
4. *RiverNetwork*, er beinhaltet das Objekt *SurfaceWaterFlow* und *SurfaceWaterQuality* (Bearbeiter: Oberirdische Gewässer (Willems))
5. *Actors*, er beinhaltet die Objekte *HouseholdActor* (Bearbeiter: Umweltpsychologie (Ernst)), *FarmingActor* (Bearbeiter: Agrarökonomie (Dabbert)), *WaterSupplyActor* (Bearbeiter: Wasserversorger (Braun)) und *TouristActor* (Bearbeiter: Tourismus (Schmude)).

Die Verbund-Objekte tauschen über die in Abbildung 2 dargestellten Schnittstellen (Kreis mit Pfeilen) in synchronisierter Weise Daten aus. Sie werden von einem ApplicationManager (Bearbeiter; Informatik (Hennicker)), der u.a. die Steuerung des zeitlichen Ablaufs synchronisiert, koordiniert.

Den Grund für den Erfolg des Ansatzes sehen wir neben der Bereitschaft aller Beteiligten zur interdisziplinären Arbeit vor allem in der Schaffung einer gemeinsamen Sprache, die nur die wesentlichen inter-disziplinären Sachverhalte und Schnittstellen beschreibt, dokumentiert und damit disziplinübergreifende Verpflichtungen und Konventionen schafft. Sie versucht nicht, die inner-disziplinären Sprachkonventionen zu ersetzen. Zentraler inhaltlicher Teil des Ansatzes ist, dass ein Prozess in DANUBIA nur von einem Partner beschrieben wird. Der Prozess der Erstellung der UML-Diagramme hat dazu geführt, dass doppelte bzw. mehrfache Zuständigkeiten aufgedeckt wurden und gelöst werden konnten. So haben z.B. zu Beginn von GLOWA-Danube die Meteorologie, die Pflanzenökologie und die Hydrologie die Landoberflächenverdunstung behandelt, und das mit höchst unterschiedlichen Ansätzen. Die UML-Schnittstellenanalyse hat dies aufgedeckt und intensive Diskussionen haben dazu geführt, dass die Landoberflächenverdunstung nun in eine Pflanzen-Transpiration mit Zuständigkeit bei der Pflanzenökologie und eine Boden- bzw. Wasser-Verdunstung mit Zuständigkeit bei der Hydrologie aufgeteilt wurden. Dies schafft die Möglichkeit, hydrologische Modelle so zu

formulieren, dass die Pflanzenverdunstung auch tatsächlich von der Physiologie der Pflanze (im Rahmen eines pflanzenökologischen Modells) gesteuert wird und nicht von hydrologischen Vorstellungen über den Prozess.

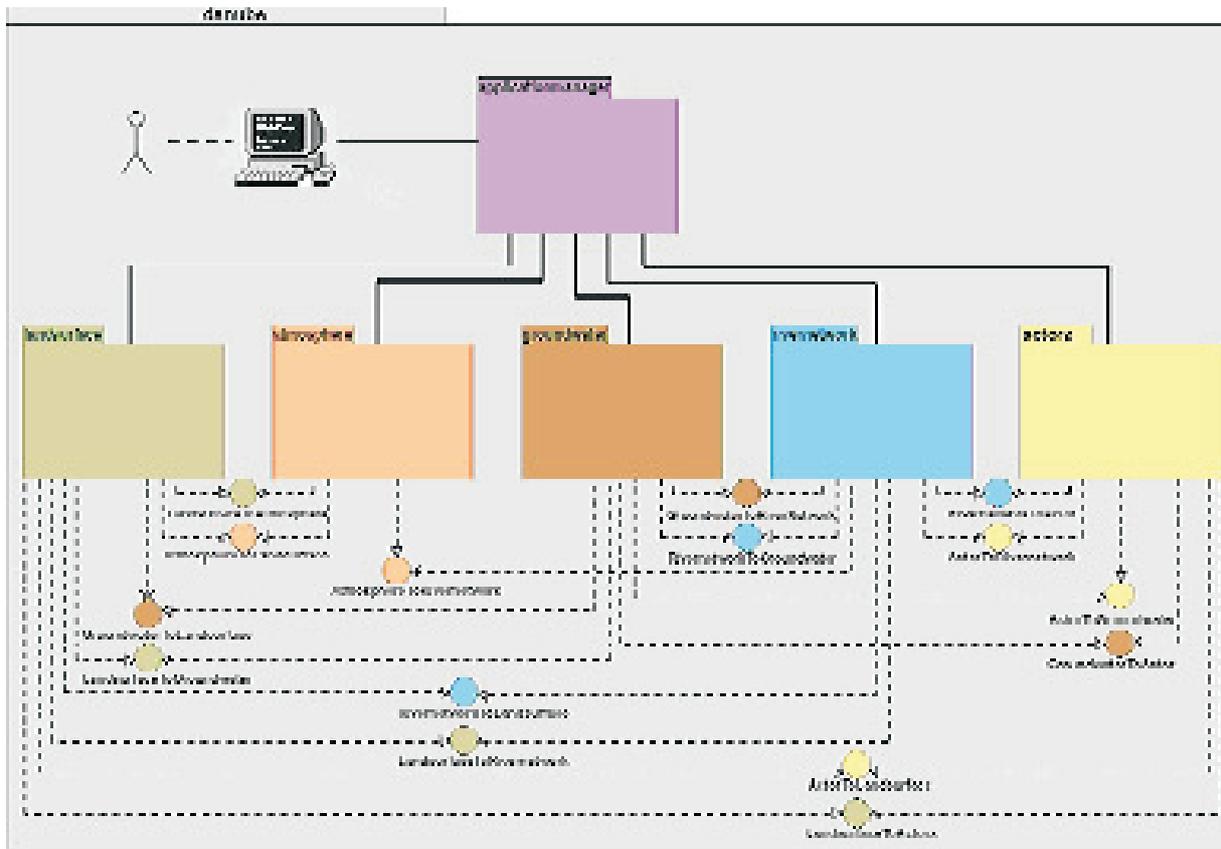


Abb. 2: Schematische Darstellung der Struktur von DANUBIA auf der Ebene der Verbund-Objekte

In GLOWA-Danube haben sich alle Teilprojekte verständigt, ihre neuen Modelle auf der Grundlage einer UML-Analyse und -Formulierung in JAVA zu entwickeln. Vorhandene Modelle, wie z.B. das Atmosphären-Modell MM5, werden über eine JAVA-Brücke an DANUBIA angeschlossen. Die Objekt-Orientierung der Modellentwicklung kapselt jedes Teilmodell und macht es zu einer eigenständigen Einheit. Dies eröffnet u.a. ohne Probleme die technischen Möglichkeiten, verschiedene hydrologische Modelle auszutauschen und damit deren Einfluss auf das Ergebnis des Gesamtmodells zu vergleichen.

Abbildung 3 zeigt ein UML-Diagramm des Verbund-Objekts *LandSurface*, das gemeinsam von vier Teildisziplinen in GLOWA-Danube entwickelt wurde. Die Kästen repräsentieren Objekte mit den nach außen hin sichtbaren Methoden und Parametern. Sie sind über Schnittstellen, über die sie Daten austauschen, miteinander verbunden. Das Verbund-Objekt *LandSurface* ist ein fortschrittliches Landoberflächen- (SVAT- Soil-Vegetation-Atmosphäre-)-Modell, das den Energieaustausch, die Wasserbewegung im Boden, das Pflanzenwachstum und die Dynamik von Schnee und Eis für jedes Proxel im Einzugsgebiet der Oberen Donau gekoppelt beschreibt. *LandSurface* gibt als Ergebnisse Strahlung (kurz- und langwellig) und Wasserdampf an die Atmosphäre ab, erhält Niederschlag und CO₂ von ihr, gibt Wasser ans Grundwasser und an die Flüsse ab und gibt den Wachstumsstand der Vegetation an das Akteurmodell Landwirt im Verbund-Objekt *Actors* ab. *LandSurface* koppelt ein Pflanzenwachstumsmodell, ein Bodenfeuchte-Nährstoff-Modell, ein Bestandes-Reflexionsmodell und ein Modell für Schnee und Eis, miteinander. Das UML-Diagramm in Abbildung 3 beschreibt formal alle Objekte im Verbund-Objekt mit ihren Variablen, Programmteilen und Schnittstellen sowie am oberen Rand die Schnittstellen zu den Verbund-Objekten der Atmosphäre, des Grundwassers, der Gewässer und der Akteure. Dort sind die Daten definiert, die die übrigen Verbund-Objekte mit dem Verbund-Objekt *LandSurface* austauschen. Das gezeigte Diagramm lässt sich automatisch in ein

JAVA-Codegerüst umsetzen, in das jede Disziplin dann ihre speziellen Algorithmen zur Prozessbeschreibung einsetzt.

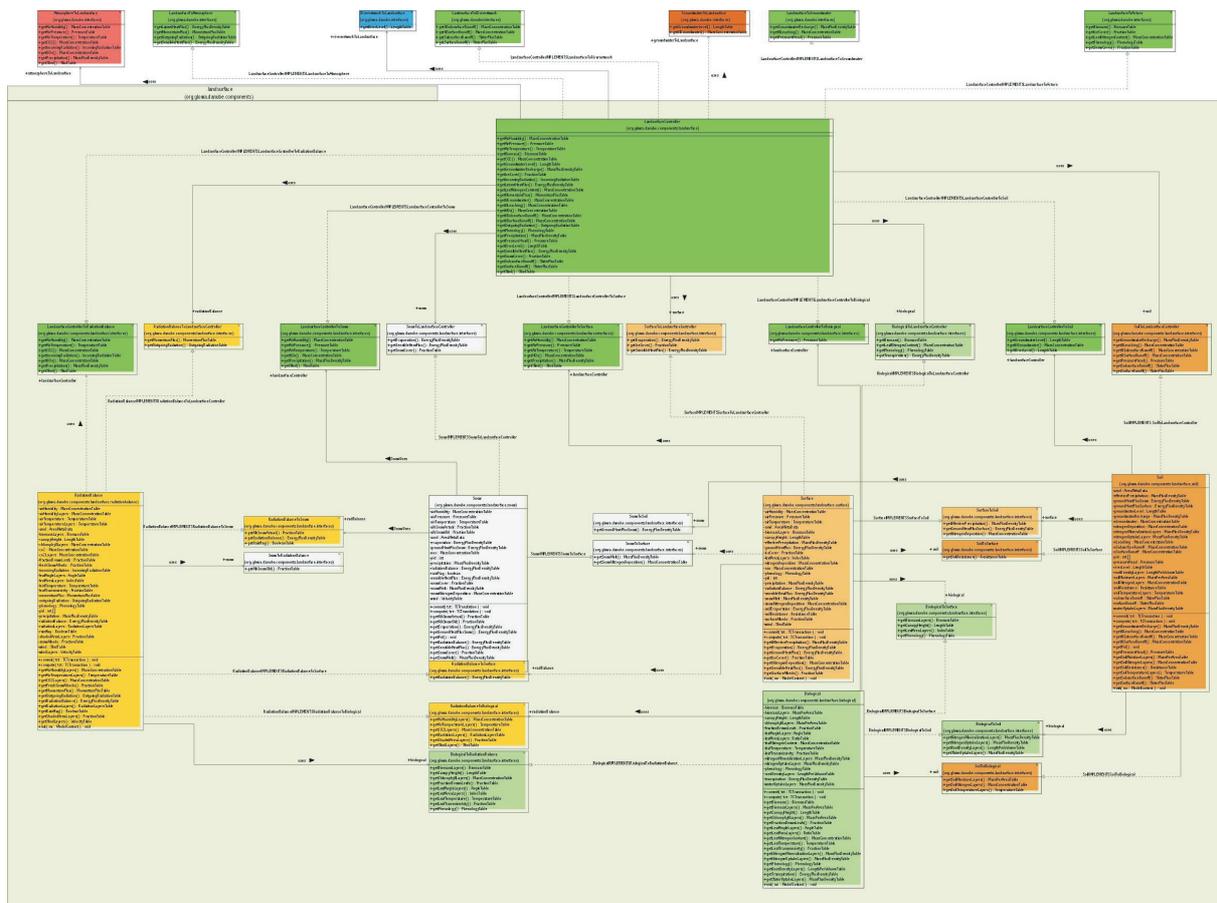


Abb. 3: UML-Diagramm der Modellstruktur des Landoberflächenmodell in DANUBIA

2. die Entwicklung des netzbasierten Rechnens (Network-Computing),

ermöglicht den Datenaustausch zwischen den verschiedenen Modellen an den jeweiligen Instituten der beteiligten Projektpartner über das World Wide Web (WWW) und erlaubt damit verteiltes paralleles Rechnen. Modelle im Sinn des netzbasierten Rechnens sind alle Objekte in DANUBIA, die über Schnittstellen Daten mit anderen Objekten austauschen. Zu ihnen gehören sowohl extrem rechenaufwändige regionale Klimamodelle als auch das GrundwassermodeLL und Akteurmodelle. Dabei spielt es wegen der Universalität des Datenaustausches im Netz bei der parallelen Ausführung der Modelle keine Rolle, ob die kommunizierenden Rechner im selben Zimmer, in verschiedenen Zimmern derselben Arbeitsgruppe oder irgendwo auf der Erde stehen. Die Teilmodelle in DANUBIA rechnen zurzeit noch hauptsächlich verteilt auf einem kosteneffizienten LINUX-Cluster mit 56 CPUs, 26 GigaByte Hauptspeicher und 500 GByte Plattenkapazität am Institut des Koordinators und erreichen dort die vielfache Rechenleistung konventioneller Systeme.

3. die Repräsentation sozio-ökonomischer Prozesse durch einen Multi-Akteure-Ansatz.

Dabei werden Handeln und Entscheidungen vieler Akteure simuliert. Multi-Akteur-Modelle befinden sich in einer dynamischen Entwicklungsphase mit ersten erfolgreichen Anwendungen. Hauptaugenmerk liegt in einer Verallgemeinerung des Ansatzes (auch im Sinn der UML und einer objekt-orientierten Struktur). Die Kernidee eines Multi-Akteur-Modells ist es, *einzelne* Handelnde in ihrem Gegenstandsbereich und ihren inhaltlichen wie räumlichen Wechselwirkung zu anderen Akteuren zu modellieren. Dieses Vorgehen unterscheidet sich damit grundsätzlich von den summativen Modellierungsansätzen, bei denen die Input-Output-Funk-

tionen eines Gesamtsystems beschrieben werden. Der Akteuransatz 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 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 werden in der ersten Projektphase die Akteure mit flachen Akteurmodellen beschrieben. *Flache Modelle* spezifizieren mit keinen oder wenigen theoretischen Annahmen In- und Outputzusammenhänge des Verhaltens einzelner Akteure. Flache Multi-Akteur Modelle werden im DANUBIA Modellverbund in der ersten Projektphase in der Psychologie, der Agrarökonomie, der Wirtschaftswissenschaft und der Wasserwirtschaft entwickelt.

4. *die 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 werden als Grundlage für ihre Modellentwicklung im Verbund-Objekt *Landsurface* und im Verbund-Objekt *Actors* genutzt. Im Verbund-Objekt *Actors* ist vordringliches Ziel die Disaggregation der Bevölkerungsdichte. Die Nutzung der Fernerkundung führte z.T. zu wesentlichen Verbesserungen der Ergebnisse der Modellrechnungen.

5. *die Zusammenarbeit mit den Betroffenen (Stakeholder)*

in dem Prozess der Definition der Zukunftsszenarien, in der Risikoabschätzungen sowie im Herausarbeiten von Konflikten. Durch einen Stakeholder-Dialog, der im Rahmen von GLOWA-Danube in ähnlicher Weise konsequent angegangen werden soll, wie die Entwicklung von DANUBIA, 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 Modellergebnissen 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 Design von DANUBIA.

6. Personelle Änderungen bei der zentralen Koordination

- 1) Frau Dr. Roswitha Stolz, die u.a. zwei mehrtägige Workshops und unzählige Treffen einzelner Arbeitsgruppen organisiert sowie die finanztechnische Abwicklung des Gesamtprojektes durchgeführt hat, beendet zum 31.12.2002 ihre Tätigkeit innerhalb GLOWA-Danube. Als Nachfolger steht Herr Dr. Ulrich Strasser, der von der ETH Zürich zum 1.1.2003 nach München wechselt, schon fest.
- 2) Der anvisierte Aufbau und die Pflege der GLOWA-Danube GIS-Datenbank wird seit 1.4.2001 von Frau Anja Colgan (MSc in Ökologie) bearbeitet.
- 3) Zur Betreuung des gemeinsamen GCDSS DANUBIA Systems sowie des Parallelrechners wird zum 1.2.2003 Herr Dr. Florian Siebel eingestellt.

7. Durchgeführte Meetings im Berichtszeitraum

Neben einer Vielzahl von kleineren Abstimmungstreffen zwischen einzelnen Projektgruppen wurden im Berichtszeitraum im wesentlichen folgende Projektmeetings durchgeführt

1. Statuskonferenz: 6.-8.5.2002 in München mit Vorstellung des GLOWA-Danube Konzeptes und der GLOWA-Partnerprojekte vor internationalem Publikum
2. Abstimmungstreffen 4.7.2002 in München mit Beiträgen aller Projektgruppen zu den geplanten Arbeiten bis Ende 2002
3. Disaggregierungsworkshop: 10.7.2002 in Freiburg mit den Schwerpunkten Landnutzungs- und Bevölkerungsdaten
4. Skalierungsworkshop: 10.-11.12.2002 in Stuttgart mit Doktorandenbeiträgen und anschließender Diskussion mit den Projektleitern

DANUBIA: Ein web-basiertes Modellierungs und Entscheidungs-Unterstützungssystem zur integrativen “Global-Change“-Forschung im Bereich der Oberen Donau

Teilprojekt: Informatik
Leiter: Priv.-Doz. Dr. Rolf Hennicker
Ausführende Stelle: Institut für Informatik
Ludwig-Maximilians-Universität München
Oettingenstr. 67
80538 München

1. Überblick

Zentrale Aufgabe dieses Teilprojekts ist die Entwicklung des Modellierungs- und Entscheidungs-Unterstützungssystems DANUBIA zur gekoppelten Simulation von Modellen der verschiedenen Fachgruppen innerhalb von GLOWA-Danube. Auf der Grundlage der im ersten Projektjahr entwickelten Ansätze zur Architektur und Steuerung des DANUBIA-Systems wurden die folgenden weiteren Arbeiten durchgeführt, die im ersten Halbjahr 2002 zur Erstellung eines ersten Prototypen von DANUBIA geführt haben und seither weiter ausgebaut und ergänzt wurden:

- Erstellung eines Frameworks für DANUBIA, das die Basisklassen zur Integration der Modelle der verschiedenen Fachdisziplinen zur Verfügung stellt,
- Vervollständigung des Entwurfs und Konstruktion der Implementierung des Time-controllers zur Koordination verteilter Modellrechnungen,
- Ausarbeitung und Implementierung des Wrapperkonzepts zur transparenten Netzwerkkommunikation zwischen Komponenten,
- Schaffung einer Testumgebung für lokale Modelltests.

Die oben beschriebenen Arbeiten betreffen die integrativen Ziele von GLOWA-Danube. Sie sind im Einzelnen in den Abschnitten 3 und 4 beschrieben. In den Abschnitten 5 und 6 werden die sektoralen Forschungsarbeiten zur Entwicklung von Web-basierten Anwendungen und zur sichtenorientierten Spezifikation komplexer Systeme beschrieben. Generelles Ziel der sektoralen Arbeiten ist die Verbesserung der Qualität komplexer, Web-basierter Systeme wie DANUBIA durch die Erforschung systematischer Entwicklungstechniken auf der Grundlage präziser formaler Notationen.

2. Organisatorisches

2.1 Personal

Die zwei vollen Mitarbeiterstellen der Gruppe Informatik blieben im zweiten Projektjahr mit den Herren Dipl.-Phys. Andreas Kraus und Dipl.-Math. Matthias Ludwig besetzt. Herr Dipl.-Inf. Michael Barth hat die halbe Mitarbeiterstelle mit Wirkung vom 01.01.2002 verlassen. Ein Ersatz konnte nicht eingestellt werden.

2.2 Veranstaltungen

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

- 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)
- 20.-22.03.2002: Formal Methods for Open Object-Based Distributed Systems, 5th International Conference, Twente, Niederlande (Hennicker)
- 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)

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

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.

2.3 Veröffentlichungen und Berichte

2.3.1 Publikationen

Im Rahmen von GLOWA-Danube wurden im Jahr 2002 die unten angegebenen Beiträge veröffentlicht oder zu Zeitschriften bzw. Konferenzen eingereicht.

- [HBK+03] HENNICKER, R., BARTH, M., KRAUS, A., LUDWIG, M. (2002): An Integrated Simulation System for Global Change Research in the Upper Danube Basin. First World Congress on Information Technology in Environmental Engineering, ITEE 2003, eingereicht (12/2002).
- [LMN+02] 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., HENNICKER, R. (2002): Web-based Modeling of Water, Energy and Matter Fluxes to Support Decision Making in Mesoscale Catchments - the Integrative Perspective of GLOWA-Danube. Physics and Chemistry of the Earth, eingereicht und angenommen (12/2002).
- [KK02a] KOCH N. and KRAUS A. (2002): The expressive Power of UML-based Web Engineering. Proc. of IWOST'02, CYTED, pp. 105-119.
- [KK02b] KOCH N. and KRAUS A. (2002): Generation of Web Applications from UML Models using an XML Publishing Framework. Proc. of IDPT'2002, Vol 1.

[HBK+02] HENNICKER R., BARTH M., KRAUS A., LUDWIG M. DANUBIA (2002): 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, S.35-38.

[HHB02] HENNICKER R., HUSSMANN H., BIDOIT M. (2002): On the Precise Meaning of OCL Constraints. In: CLARK, T., WARMER, J. (eds): Advances in Object Modelling with the OCL, Springer LNCS 2263. pp. 70-85.

2.3.2 Diplomarbeiten, Fortgeschrittenenpraktika und technische Berichte

[KL02] KRAUS A., LUDWIG M. GLOWA-DANUBE PAPERS (2002): Technical Release No. 002 (DANUBIA-Framework).

[Sti02] STIEGLER, S. (2002): Entwicklung eines Generators zur semiautomatischen Erzeugung aus UML Design Modellen, Ludwigs-Maximilians-Universität München, Institut für Informatik, Diplomarbeit.

[Sch02] SCHMIDT R. (2002): Entwicklung eines Zeit-Controllers für ein System verteilter Umweltsimulationen, Bericht über ein Fortgeschrittenen-Praktikum, Institut für Informatik, Ludwig-Maximilians-Universität München.

3. Das DANUBIA-Gesamtsystem

Das DANUBIA-Gesamtsystem besteht prinzipiell aus zwei Teilen, dem DANUBIA-Framework [KL02] und den DANUBIA-Komponenten, in denen die Modelle der verschiedenen Fachgruppen von GLOWA-Danube realisiert sind. Das Framework stellt eine Arbeitsumgebung zur Entwicklung der Komponenten und eine Laufzeitumgebung zur Ausführung einer (gekoppelten) Simulation der Modelle zur Verfügung. Es ist selbst unabhängig von konkreten Komponentenausprägungen, stellt aber die benötigten Basisbausteine und Schnittstellen bereit. In Abbildung 1 ist die Struktur des Gesamtsystems abgebildet. Die Bestandteile des Frameworks sind mit weißem Hintergrund dargestellt, die Komponenten befinden sich in dem Paket *components*.

Das Framework besteht seinerseits aus mehreren Paketen: Die Bestandteile für die zeitlichen Aspekte sind im Paket *timecontroller* und seinen Unterpaketen enthalten, wohingegen die räumlichen Aspekte in den Paketen *space* und *tables* vertreten sind. Das Paket *simulation* enthält die zur Modellentwicklung und Ausführung notwendigen Bausteine. Das Paket *localmanager* ist für die lokale Ausführung einer Simulation notwendig während *wrapper* zusammen mit *wrappertest* für die verteilte Simulationsausführung verwendet werden. Alternativ dazu kann ein Modell auch durch die im Paket *testenvironment* enthaltenen Elemente lokal getestet werden. Schließlich befinden sich im Paket *datatypes* die Implementierungsdatentypen zusammen mit dem zugehörigen Generator, und das Paket *database* enthält die für die Kommunikation mit der zentralen Datenbank notwendigen Elemente. Auf die im Jahr 2002 neu und weiterentwickelten Teile des DANUBIA-Frameworks wird in Abschnitt 4 genauer eingegangen.

Die Komponenten selbst sind nach den verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen strukturiert. Die Hauptkomponenten sind hierbei die sozioökonomische Komponente *actors* sowie die naturwissenschaftlichen Komponenten *landsurface*, *atmosphere*, *rivernetwork* und *groundwater*. Die meisten Hauptkomponenten haben noch eine Unterstruktur wie in Abbildung 1 dargestellt.

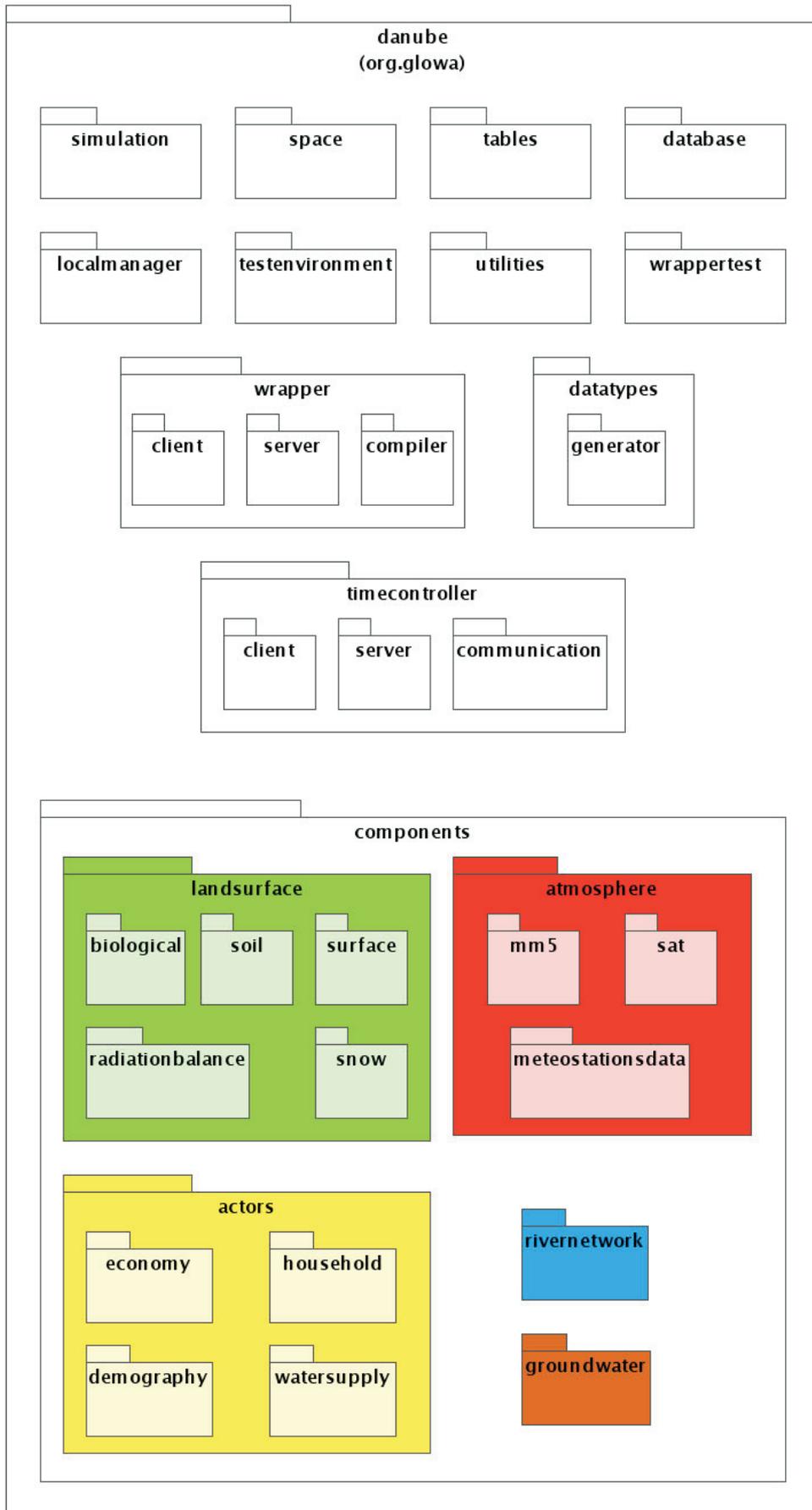


Abb. 1: Struktur des DANUBIA-Gesamtsystems

4. Das DANUBIA-Framework

Das DANUBIA-Framework ist der Basisbaustein für die Entwicklung und Ausführung von Komponenten und ihren Modellen in DANUBIA. Die technischen Details, die z.B. 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 Modellentwickler verborgen und transparent ausgeführt. Die dabei eingesetzten Grundprinzipien werden im Folgenden beschrieben.

Vererbung

Das Framework enthält (abstrakte) Basisklassen, die Basiseigenschaften und Basisverhalten abkapseln. Der Modellentwickler leitet seine neue Klasse von einer Basisklasse 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 verbirgt. Der Entwickler eines fachspezifischen Modells muss die Klasse *AbstractModel* geeignet erweitern (vgl. Abschnitt 4.1).

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 Kommunikation zwischen Modellen der benötigte Zwischencode, der Methodenaufrufe der Importschnittstellen der Modelle transparent in Netzwerkmethodenaufrufe umgesetzt, automatisch generiert (vgl. Abschnitt 4.4).

In den folgenden Abschnitten werden die als Ergebnis der im Jahr 2002 durchgeführten Projektarbeiten erhaltenen Teile des Frameworks genauer beschrieben. Dies betrifft die Basisklassen des Simulationspakets, die Datentypentwicklung, den Timecontroller, den Netzwerk-Wrapper und die Testumgebung. Außerdem wurden die folgenden weiteren Funktionalitäten des Frameworks neu realisiert oder gewartet:

- Unterstützung einer universellen Protokollierung aller Aktivitäten (Logging)
- Visualisierung von Datentabellen bei der Berechnung
- Basisklassen für die räumlichen Aspekte wie z.B. Proxel und Proxeltabelle (wie im Jahresbericht 2001 beschrieben)
- Kommunikation mit der Datenbank

4.1 Basisklassen des Simulations-Pakets

Die Klasse *AbstractModel* im Paket *org.glowa.danube.simulation* (s. Abb. 1) stellt ein Grundgerüst zur Modellentwicklung zur Verfügung. Der Modellentwickler definiert das zu entwickelnde Modell als Ableitung dieser Klasse, wie in Abbildung 2 beschrieben.

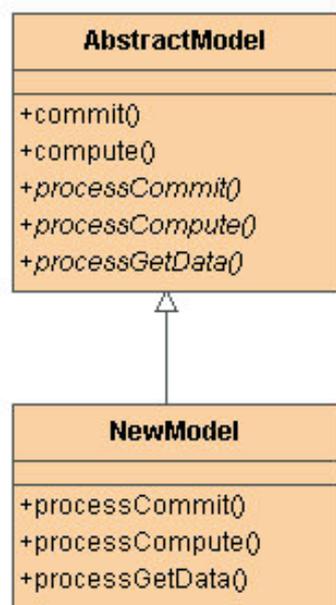


Abb. 2: Das zu entwickelnde neue Modell wird von der Framework-Klasse AbstractModel abgeleitet

In der Basisklasse wird u.a. die Kommunikation mit dem Timecontroller abgekapselt, dazu sind die Methoden *commit()* und *compute()*, die vom Timecontroller benutzt werden implementiert. Intern werden die ankommenden Nachrichten asynchron verarbeitet und die folgenden abstrakten Methoden, die vom Modell zu implementieren sind, synchron aufgerufen:

- *processGetData()*: Importieren von Daten anderer Modelle über die Importschnittstellen.
- *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 Exportschnittstellen.

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

- Identifikation des Modells
- Nachrichten zur parallelen Visualisierung
- Statistische Aufzeichnungen über die Verweildauern in den Modellzuständen „Netzwerkcommunication“, „Berechnung“ und „Inaktivität“ zur Auffindung von Überlastungsproblemen bzgl. Netzwerk- und Rechenkapazitäten

4.2 Datentypentwicklung

Zur Datentypmodellierung stellt das Framework UML Basismodellelemente für das CASE-Tool MagicDraw und parallel in Form von übersetzten Java-Klassen zur Verfügung. Die Modellierung erfolgt dann mit dem CASE-Tool und der daraus durch das Tool generierte Java-Code wird von den Generatoren des Frameworks automatisch in eine effiziente und robuste Implementierung übersetzt. Insbesondere erfolgt hierbei die Generierung von

- Zugriffsoperationen für alle Attribute (Getter/Setter)
- zugehörigen Datentabellentypimplementierungen
- Objekt-Serialisierungen/-Deserialisierungen für die Übertragung über das Netzwerk

In der folgenden Abbildung 3 ist die Struktur der Basisdatentypen zu sehen:

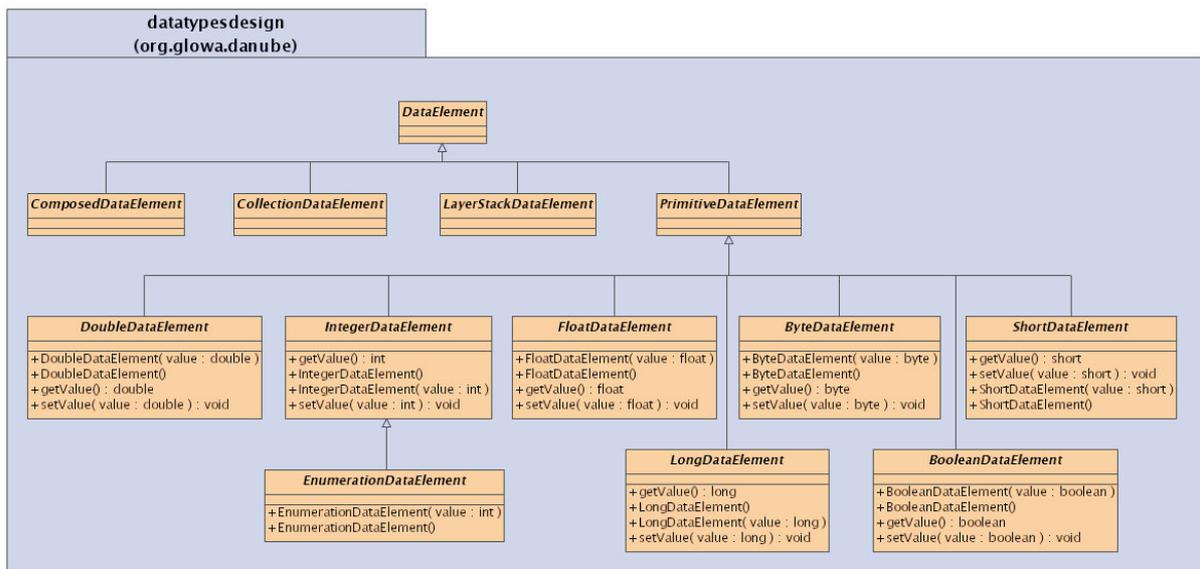


Abb. 3: Struktur des Basisdatentypen

Neue Datentypen werden nun durch Vererbung modelliert, wobei bestimmte Konventionen eingehalten werden müssen, die von den weiterverarbeitenden Generatoren überprüft werden. Als Beispiel ist in Abbildung 4 die Modellierung eines einfachen Datentyps *EnergyFluxDensity* und eines zusammengesetzten Datentyps *IncomingRadiation* zu sehen.

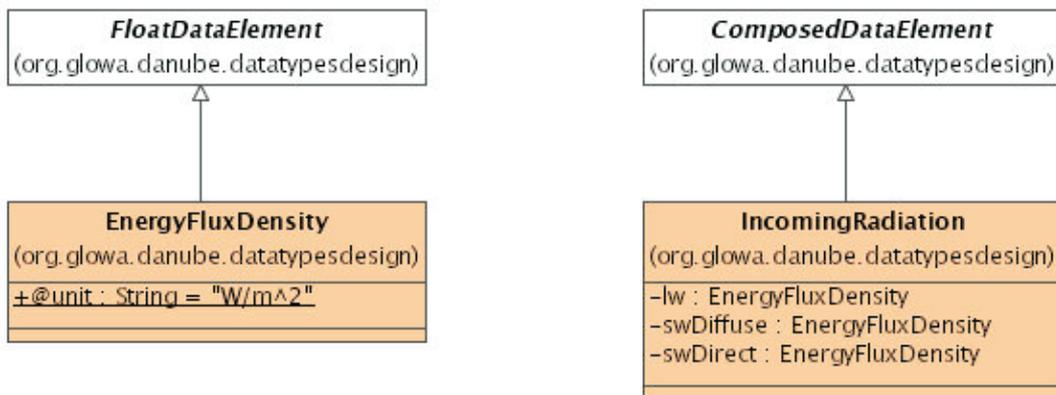


Abb. 4: Modellierung von Datentypen

In Abbildung 5 sind die aus dem in Abbildung 4 angegebenen Entwurf generierten Implementierungsklassen für die zugehörigen Implementierungsdantypen und -tabellen zu sehen. Man erkennt beispielsweise die generierten Zugriffsmethoden des zusammengesetzten Datentyps *IncomingRadiation* (z.B. *getSwDiffuse()*, *setLw()*) oder die Methoden für die Objekt-Serialisierung/-Deserialisierung für die Übertragung über das Netzwerk (*readObject()* und *writeObject()*).

```

IncomingRadiation
(org.glowa.danube.datatypes)

-lw : EnergyFluxDensity
-@rawGettableNames() : String[]
-swDiffuse : EnergyFluxDensity
-swDirect : EnergyFluxDensity

+getLw() : EnergyFluxDensity
+getRawGettableNames() : String[]
+getRawPuttableNames() : String[]
+getRawValueByName( name : String ) : double
+getSwDiffuse() : EnergyFluxDensity
+getSwDirect() : EnergyFluxDensity
+IncomingRadiation( lw : EnergyFluxDensity, swDiffuse : EnergyFluxDensity, swDirect : EnergyFluxDensity )
+IncomingRadiation()
+putRawValueByName( name : String, value : double ) : void
+readObject( in : ObjectInputStream ) : void
+setLw( lw : EnergyFluxDensity ) : void
+setSwDiffuse( swDiffuse : EnergyFluxDensity ) : void
+setSwDirect( swDirect : EnergyFluxDensity ) : void
+writeObject( out : ObjectOutputStream ) : void

```

```

MassFluxDensity
(org.glowa.danube.datatypes)
+@unit : String = "kg/m^2*s"
+MassFluxDensity( value : float )
+MassFluxDensity()

```

```

IncomingRadiationTable
(org.glowa.danube.tables)

-lwTable : EnergyFluxDensityTable
-swDiffuseTable : EnergyFluxDensityTable
-swDirectTable : EnergyFluxDensityTable

+get( pid : int ) : IncomingRadiation
+getLw( pid : int ) : EnergyFluxDensity
+getSwDiffuse( pid : int ) : EnergyFluxDensity
+getSwDirect( pid : int ) : EnergyFluxDensity
+IncomingRadiationTable( amd : AreaMetaData, lwTable : EnergyFluxDensityTable, swDiffuseTable : EnergyFluxDensityTable, swDirectTable : EnergyFluxDensityTable )
+IncomingRadiationTable( amd : AreaMetaData )
+put( pid : int, de : IncomingRadiation ) : void
+putLw( pid : int, lw : EnergyFluxDensity ) : void
+putSwDiffuse( pid : int, swDiffuse : EnergyFluxDensity ) : void
+putSwDirect( pid : int, swDirect : EnergyFluxDensity ) : void
#putValueInRasterData( c : int, r : int, name : String, rasterData : RasterData ) : void
+._getLw( pid : int ) : float
+._getLwByIdx( idx : int ) : float
+._getSwDiffuse( pid : int ) : float
+._getSwDiffuseByIdx( idx : int ) : float
+._getSwDirect( pid : int ) : float
+._getSwDirectByIdx( idx : int ) : float
+._setLw( pid : int, _lw : float ) : void
+._setLwByIdx( idx : int, _lw : float ) : void
+._setSwDiffuse( pid : int, _swDiffuse : float ) : void
+._setSwDiffuseByIdx( idx : int, _swDiffuse : float ) : void
+._setSwDirect( pid : int, _swDirect : float ) : void
+._setSwDirectByIdx( idx : int, _swDirect : float ) : void

```

Abb. 5: Generierte Implementierungsdatentypen und –tabellen zu Abbildung 4

4.3 Time Controller

4.3.1 Übersicht

Die Aufgabe des Timecontrollers im DANUBIA-System ist es, die Berechnungen der einzelnen verteilten Modelle gemäß ihrer (häufig unterschiedlichen) Zeitschritte zu koordinieren und den Zugriff auf ausgetauschte Datentabellen zu synchronisieren. Dazu sendet der Timecontroller den einzelnen Modellen zu geeigneten Zeitpunkten die Aufforderung, einen neuen Berechnungsschritt durchzuführen bzw. die neu berechneten Werte über ihre Exporttabellen den anderen Modellen zur Verfügung zu stellen. Dies soll in der Weise geschehen, dass kein Modell neue Werte bereitstellt, solange noch ein anderes auf dessen alte Werte zugreifen kann.

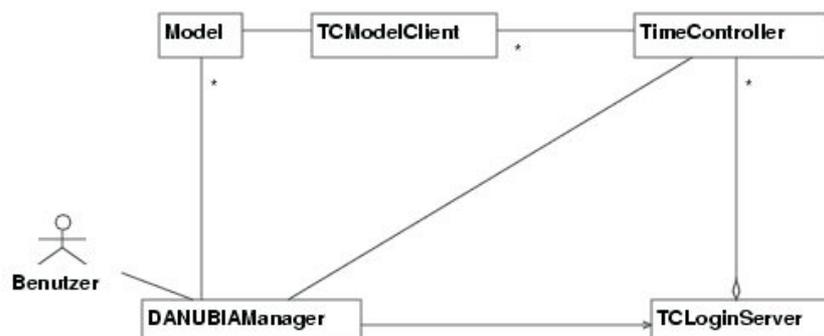


Abb. 6: Grundstruktur des Timecontrollers

An diesen grundlegenden Anforderungen, sowie an der daraus resultierenden grundlegenden Struktur (vgl. Abb. 6) hat sich seit der Einführung des Timecontroller-Konzepts nichts geändert. Zusätzlich zu den periodischen Zeittakten auf Basis von Millisekunden, wurden so genannte kalendarische Zeittakte (z.B. ein Monat, ein Jahr) integriert. Außerdem wurden die oben genannten informellen Anforderungen an den Timecontroller mit Hilfe der Sprache OCL (Object Constraint Language) formalisiert. Mit dieser Formalisierung konnte die Verklemmungsfreiheit des Systems nachgewiesen werden. Damit ist gewährleistet, dass jedes Modell irgendwann einen nächsten Zeittakt bekommt, bis die zu berechnende Simulationszeit abgelaufen ist.

4.3.2 Entwurf und Implementierung des Timecontrollers

Der Entwurf des Timecontrollers (vgl. Jahresbericht 2001) wurde ausgearbeitet und implementiert. Die wesentlichen Erweiterungen und Verfeinerungen werden im folgenden beschrieben.

Zur Erfüllung der zusätzlichen Anforderungen bzgl. der kalendarischen Zeitschritte waren einige Erweiterungen am Timecontroller notwendig. Insbesondere die Klasse *TDate*, in der Informationen über die zeitlichen Aspekte einer Komponente gekapselt werden, wurde überarbeitet (vgl. Abb. 7).

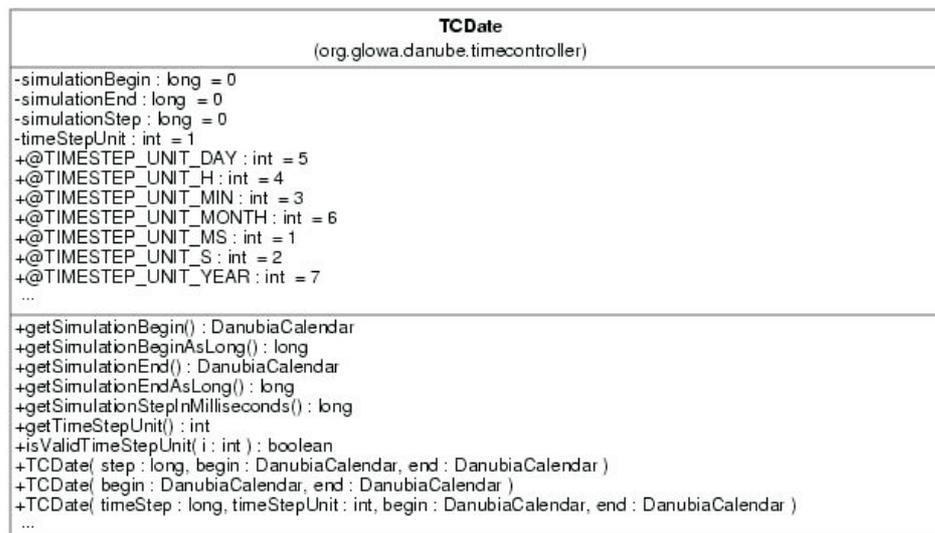


Abb. 7: Die Klasse TDate

Für den Entwurf des Zustandsmodells (vgl. [HBK+02]) und den Entwurf der Nachrichtenübertragung wurde auf bewährte Entwurfsmuster aus dem Design Pattern Katalog von Gamma et al. zurück gegriffen. So wurde für das Zustandsmodell das Entwurfsmuster *State* verwendet (vgl. Abb. 8).

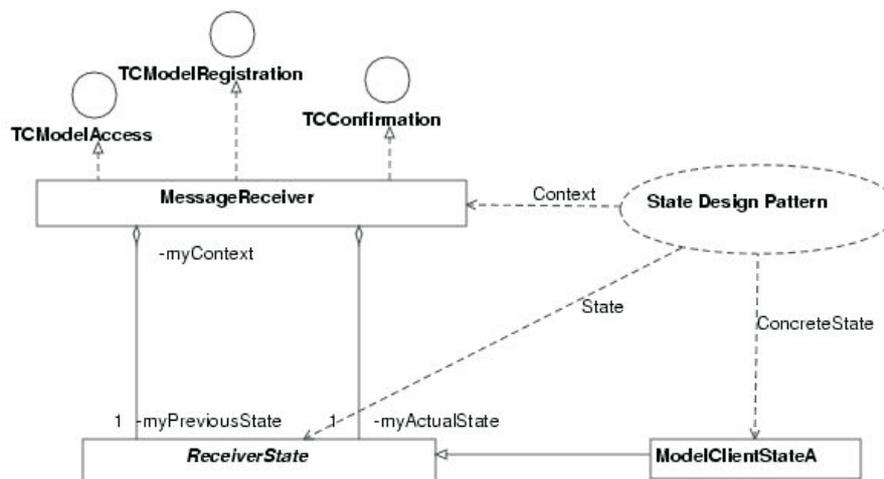


Abb. 8: Realisierung des Zustandsmodells mit Entwurfsmuster State

Das Konzept des Nachrichtenaustauschs zwischen dem Timecontroller und den einzelnen Modellen wurde mit Hilfe des Entwurfsmusters *Command* realisiert. In Abbildung 9 ist dies beispielhaft für die Nachricht *compute* dargestellt.

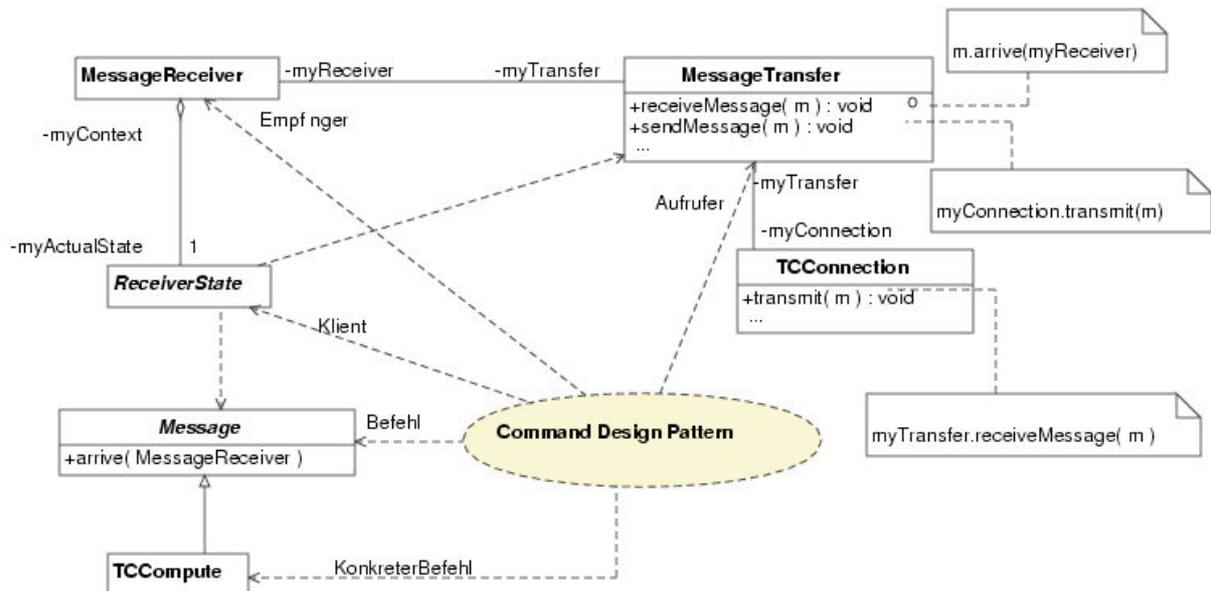


Abb.9 : Nachrichtenübermittlung mit dem Entwurfsmuster Command

Der konkrete Ablauf des Nachrichtenaustauschs am Beispiel der Nachricht *compute* ist in den folgenden Diagrammen (Abb. 10-12) beschrieben.

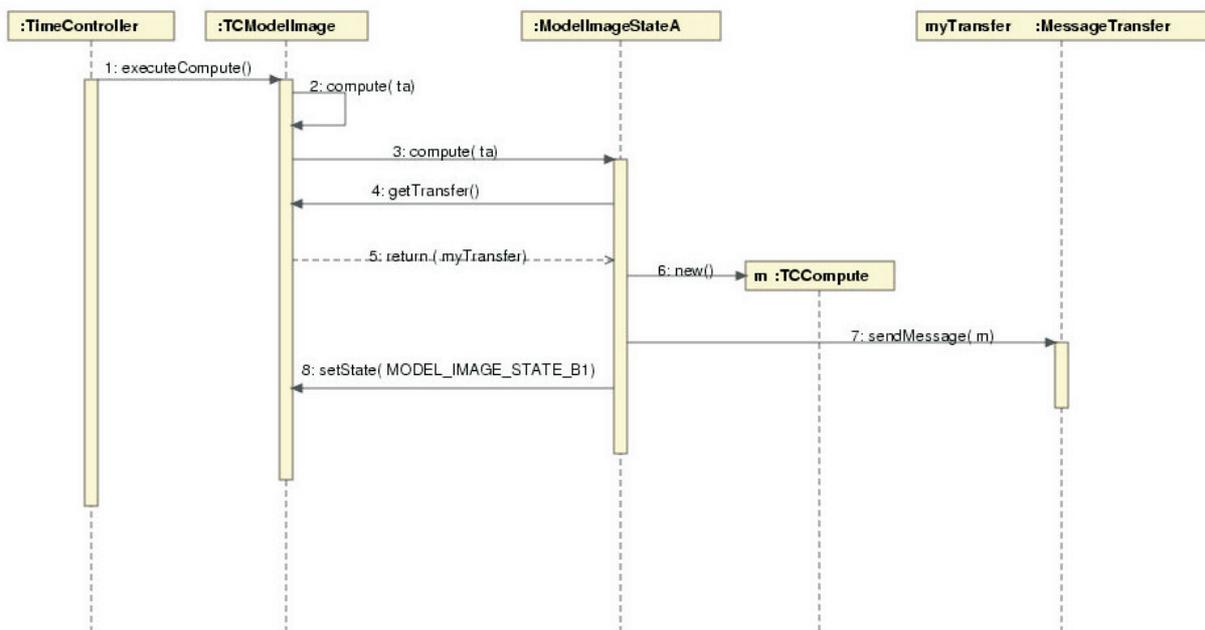


Abb. 10: Versenden von compute

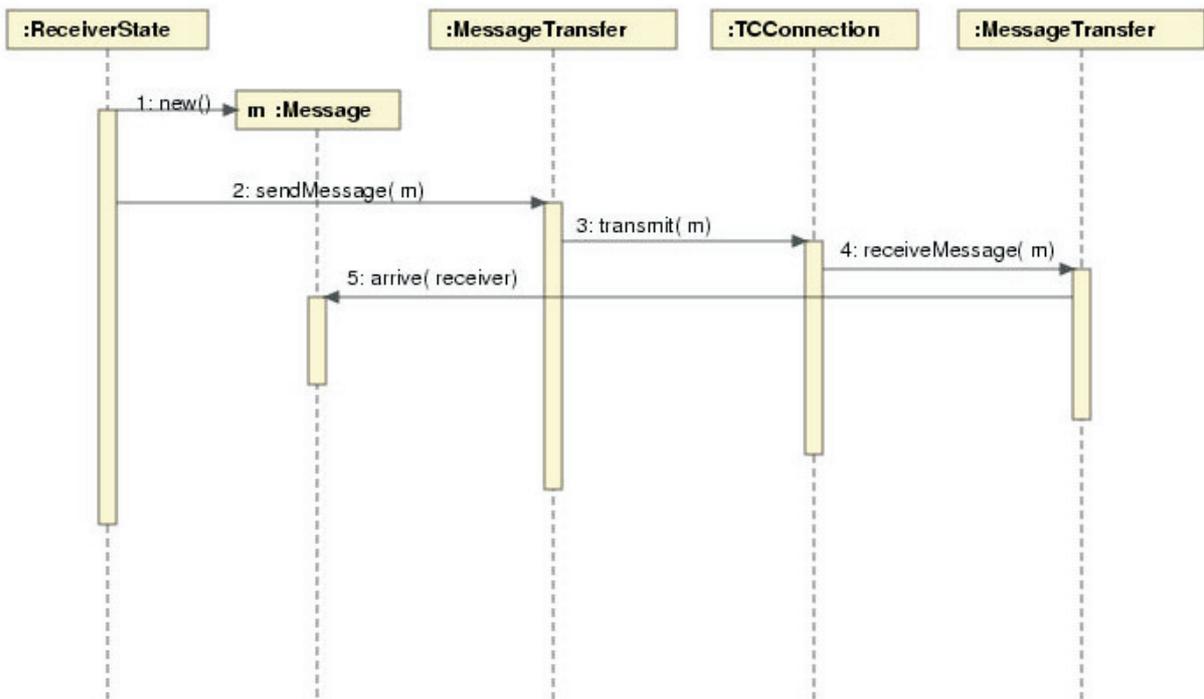


Abb. 11: Übermittlung einer Nachricht

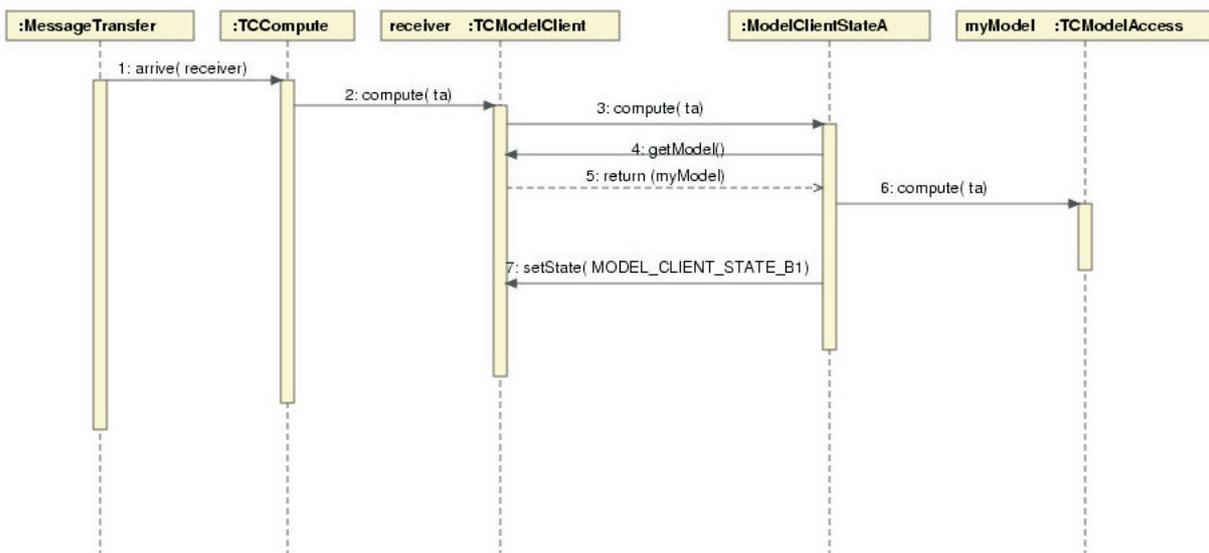


Abb. 12: Empfang von compute

Die Implementierung des Timecontrollers orientiert sich weitgehend am Entwurfsmodell. Für die Implementierung der Netzwerkverteilung wurde die Java-Technologie RMI (Remote Method Invocation) verwendet. Um zu gewährleisten, dass die Steuermethoden *compute* und *commit* nur an ein Modell gesendet werden, wenn dieses sich in einem dafür erlaubten Zustand befindet, wurden eigene Methoden zur Überprüfung entsprechender Bedingungen implementiert.

Entwurf und Implementierung des Timecontrollers wurden im Rahmen eines Fortgeschrittenen-Praktikums am Institut für Informatik der Ludwig-Maximilians-Universität München durchgeführt [Sch02]. Dieses Praktikum ist mittlerweile abgeschlossen.

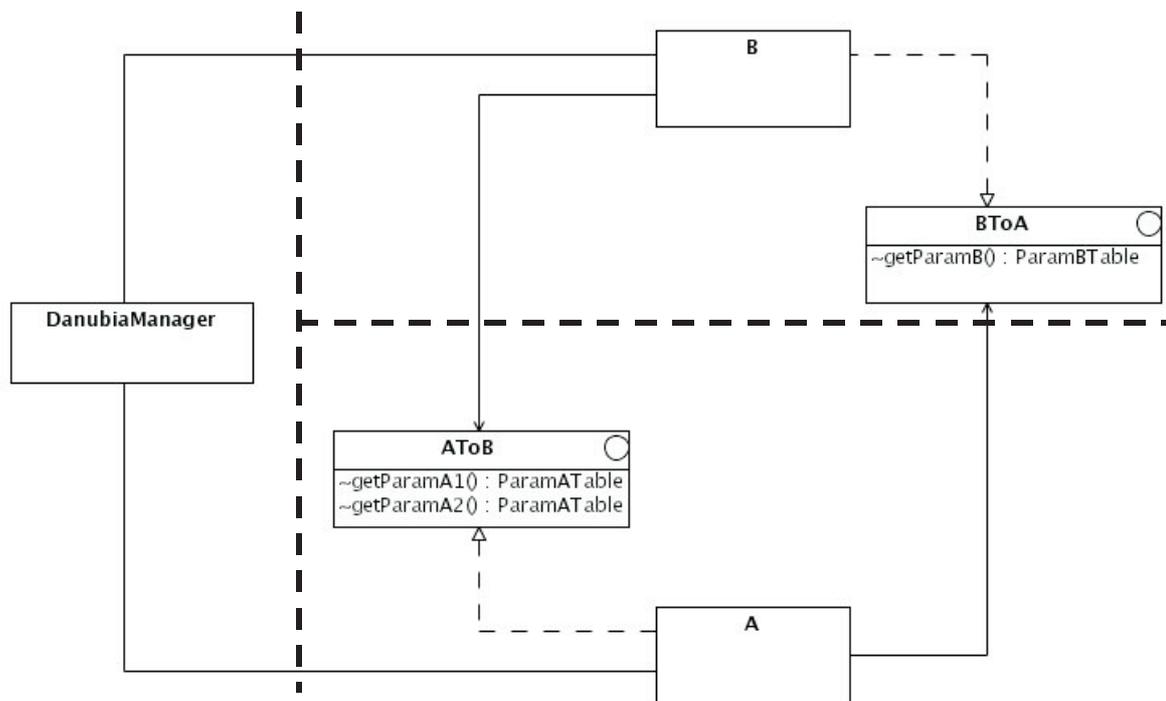


Abb. 13: Netzwerkgrenzen im DANUBIA-System

4.4 Netzwerkwrapper

Das DANUBIA-System ist ein verteiltes System, das einerseits aus dezentralen Modellkomponenten und andererseits aus einer zentralen Steuerungskomponente (*DanubiaManager*) besteht. Abbildung 13 verdeutlicht diese Struktur anhand zweier Beispielmodellkomponenten A und B. Die dick gestrichelten Linien stellen dabei Netzwerkgrenzen dar.

Die Aufgabe des Wrappers ist es, die Netzwerkverteilung für eine Modellkomponente transparent zu machen, das heißt, für die Komponente soll sich das verteilte System wie ein lokales System darstellen. Dabei sind folgende Aspekte der Verteilung zu berücksichtigen, die sich aus den in Abbildung 13 dargestellten Beziehungen zu anderen Objekten über eine Netzwerkgrenze hinweg ergeben:

- Steuerung der Komponenten von einer zentralen Stelle im Netzwerk aus
- Austausch von Daten mit anderen Komponenten im Netzwerk

Im Folgenden wird Analyse, Entwurf und Implementierung des Wrappers näher beschrieben. Bei Analyse und Entwurf wird auf die beiden oben genannten Punkte näher eingegangen.

4.4.1 Analyse und Entwurf des Wrappers

(1) Steuerung der Komponenten

Abbildung 14 zeigt die Architektur des Steuerungsanteils des Wrappers. Die dick gestrichelte Linie stellt wiederum eine Netzwerkgrenze dar.

Die Aufgaben der Komponentensteuerung werden im wesentlichen von zwei Wrapper-Komponenten durchgeführt: dem *ComponentLoginServer* und dem *ComponentManager*.

Der *ComponentLoginServer* meldet die Komponente bei der zentralen Steuerung an. Er bleibt nach der Anmeldung als Dienst bestehen und wartet auf die Anforderung der zentralen Steuerung, eine Instanz der Komponente für eine neue Simulation zu erzeugen und zu starten.

Der *ComponentManager* ist eine abstrakte Klasse. Es gibt zwei konkrete Subklassen, nämlich *ControllerManager* und *ModelManager*. Ihre Verwendung richtet sich danach, ob es sich bei der Komponente um einen Controller oder ein Modell handelt. Der *ComponentManager* ist zuständig für die Kommunikation zwischen der Komponente und der zentralen Steuerung während eines Simulationslaufs. Daher gibt es auch für jeden Simulationslauf eine eigene Instanz des *ComponentManagers*.

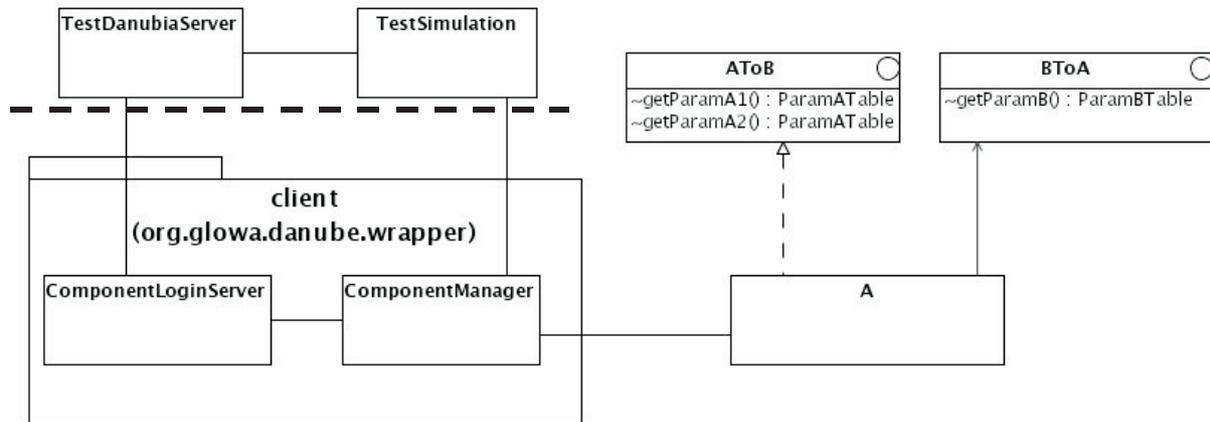


Abb. 14: Steuerung einer Komponente

Für die zukünftig zu entwickelnde zentrale Steuerungskomponente für das Gesamtsystem wurden Schnittstellen definiert, die provisorisch implementiert wurden, um einen Testlauf einer verteilten Simulation durchführen zu können (*TestDanubiaServer* und *TestSimulation*).

(2) Datenaustausch mit anderen Komponenten

Abbildung 15 zeigt die Architektur des Wrapperanteils, der für den Datenaustausch mit anderen DANUBIA-Komponenten zuständig ist. Eine zentrale Entwurfsentscheidung ist die Verwendung von lokalen Stellvertreterobjekten (so genannten *proxies*) für entfernt (das heißt jenseits einer Netzwerkgrenze) liegende Objekte. Ein solches Stellvertreterobjekt ist für jede Import- und jede Exportschnittstelle einer Komponente notwendig. Es besitzt Clientfunktionalität (Abfragen von Daten von einer entfernten Komponente) bei einer Importschnittstelle bzw. Serverfunktionalität (Bereitstellen der Daten der eigenen Komponente) bei einer Exportschnittstelle. Da jede Modellkomponente über unterschiedliche Datenschnittstellen zu anderen Komponenten verfügt, ist dieser Anteil des Wrappers komponentenspezifisch.

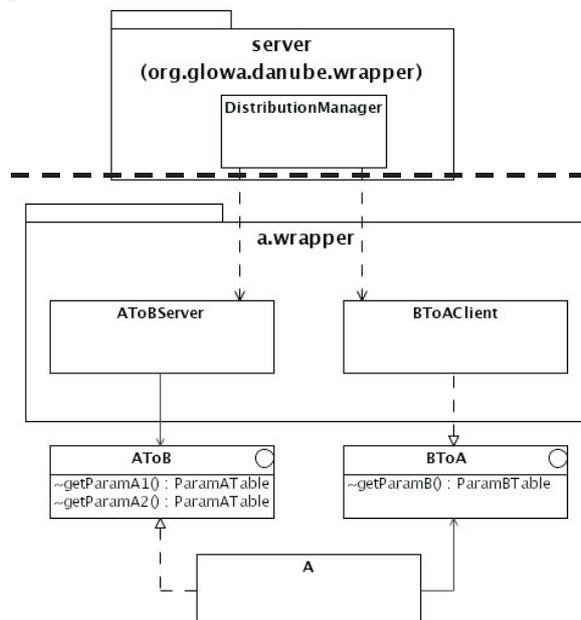


Abb. 15: Wrapperarchitektur für den Datenaustausch

Die einzige zum Wrapper gehörige zentrale Komponente ist der *DistributionManager*. Dieser sorgt während der Initialisierungsphase einer verteilten Simulation dafür, dass die Stellvertreter der Importschnittstellen mit denen der entsprechenden Exportschnittstellen verbunden werden. Während der Simulation erfolgt der Datenaustausch direkt über die jeweiligen Stellvertreterobjekte.

(3) Typische Abläufe

Im folgenden werden einige typische, den Wrapper betreffende Abläufe während einer verteilten Simulation erläutert und mit Hilfe von UML-Sequenzdiagrammen dargestellt. Die Ausführungen beziehen sich zwar auf die aktuell durchführbaren Testläufe mit den provisorischen Steuerungskomponenten *TestDanubiaServer* und *TestSimulation*, gelten aber prinzipiell auch für zukünftige Simulationsläufe unter einer ausgearbeiteten zentralen DANUBIA-Steuerung.

(a) Vorbereiten einer verteilten Simulation

Ein Administrator des Gesamtsystems (*DanubiaAdmin*) startet einen *TestDanubiaServer*. Dieser ist daraufhin bereit, Anmeldungen von Komponenten entgegenzunehmen. Ein Administrator einer Komponente (*ComponentAdmin*) kann dann einen *ComponentLoginServer* seiner Komponente starten, welcher sich wiederum beim *TestDanubiaServer* registriert. Damit ist die Komponente für eine verteilte Simulation bereit.

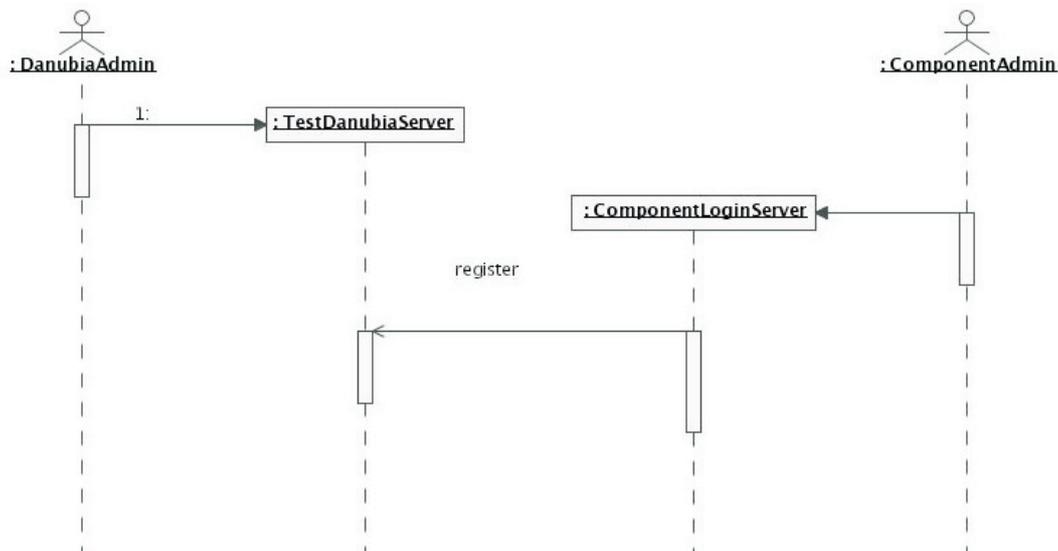


Abb. 16: Vorbereiten einer verteilten Simulation

(b) Starten und Initialisieren einer verteilten Simulation

Ein Benutzer des DANUBIA-Systems (*DanubiaUser*) startet eine verteilte Simulation. Die darauf folgenden Abläufe sind in Abbildungen 17 und 18 beispielhaft für die Komponente *A* (vgl. Abb. 13) dargestellt.

(c) Datenaustausch während einer verteilten Simulation

Das folgende Sequenzdiagramm (Abb. 19) zeigt den prinzipiellen Verlauf einer Datenübertragung während einer verteilten Simulation unter Beteiligung der Beispielkomponenten *A* und *B* (vgl. Abb. 13).

4.4.2 Implementierung des Wrappers

Als Netzwerktechnologie wurde, wie bei der Implementierung des Timecontrollers, die Java-Technologie RMI gewählt. Daraus ergeben sich für die Implementierung einige Notwendigkeiten, zum Beispiel das Ableiten jeder über eine Netzwerkgrenze hinweg zu benutzenden Schnittstelle von der Schnittstelle *java.rmi.Remote* der Java API.

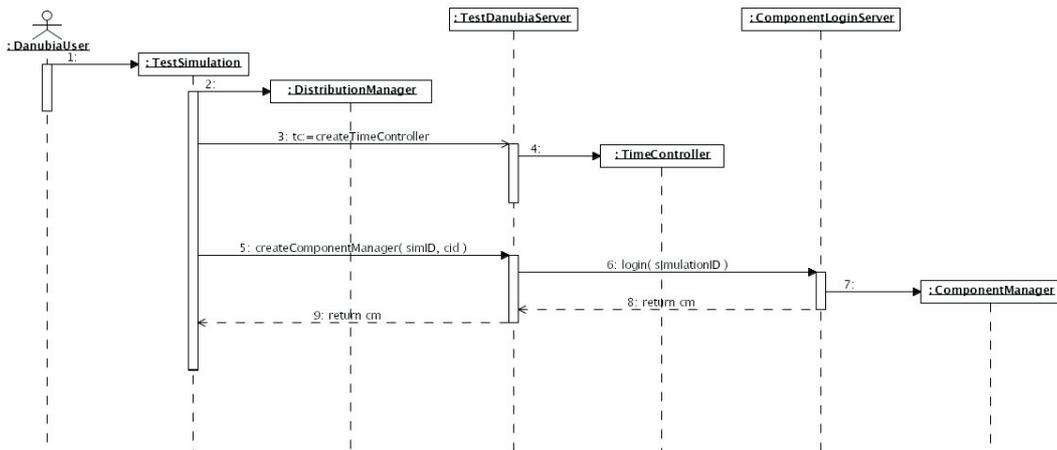


Abb. 17: Startphase einer verteilten Simulation

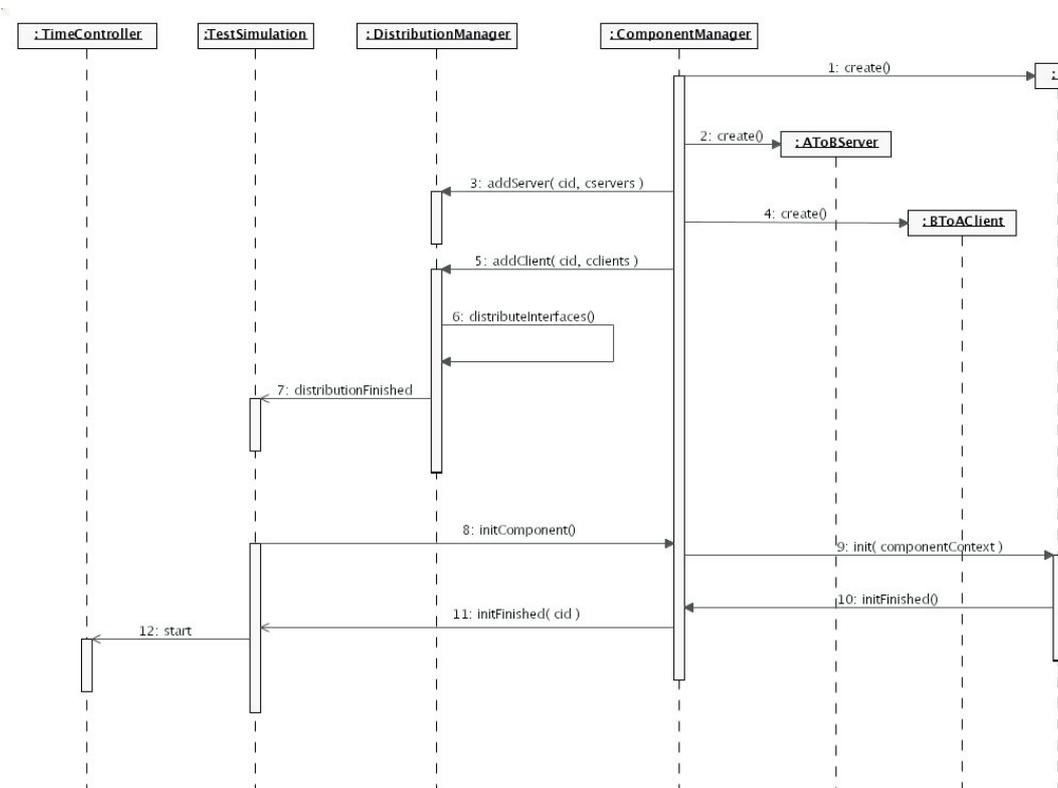


Abb. 18: Initialisierungsphase einer verteilten Simulation (Fortsetzung von Abb. 17)

Abbildung 20 zeigt das Implementierungsmodell des Wrappers anhand einer Beispielkomponente mit je einer Import- und einer Exportschnittstelle (vgl. Abb. 13). Die zur RMI-Architektur gehörigen Klassen sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht enthalten. Das Diagramm stellt eine Verfeinerung der Diagramme in Abbildung 14 und Abbildung 15 dar.

Wegen der unterschiedlichen Datenschnittstellen einer jeden Komponente ist der für den Datenaustausch zuständige Anteil des Wrappers (in Abb. 8 das Paket *a.wrapper*) für jede Komponente verschieden und muss daher für jede Komponente separat erzeugt werden. Jedoch bietet sich aufgrund der gleichen Struktur der Datenschnittstellen eine generische Lösung an: die benötigten Stellvertreter der Datenschnittstellen werden mit einem in das DANUBIA-Framework integrierten Generator automatisch erzeugt. Dieser Generator verwendet allgemeine Vorlagendateien und die in den Komponenteninformationsklassen enthaltenen Daten, und ist deshalb auch für weitere Zwecke innerhalb des DANUBIA-Frameworks einsetzbar (vgl. DANUBIA-Testumgebung). Er wurde im Rahmen eines Fortgeschrittenen-Praktikums am Institut für Informatik der Ludwig-Maximilians-Universität München entwickelt. Dieses Praktikum befindet sich derzeit in der Endphase der Bearbeitung.

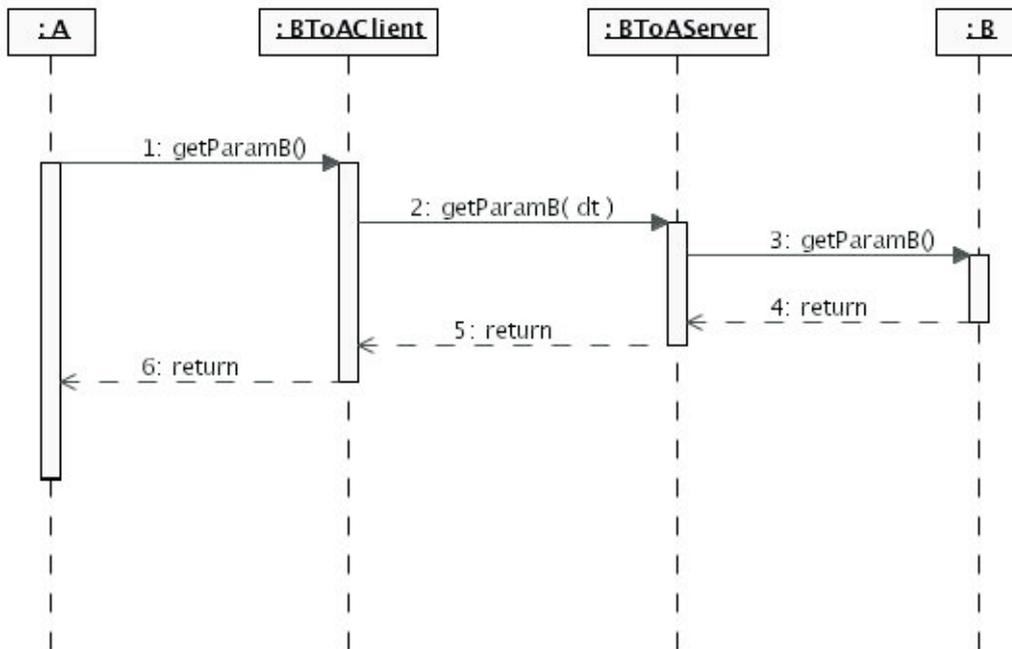


Abb. 19: Datenaustausch während einer verteilten Simulation

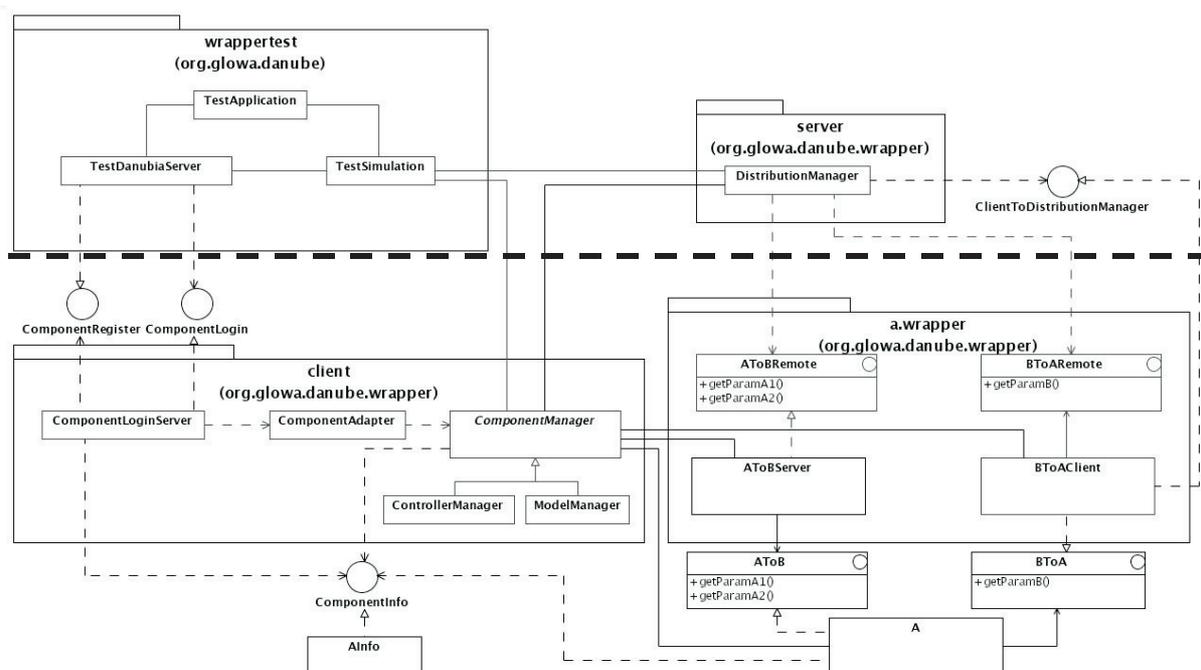


Abb. 20: Implementierungsmodell des Wrappers

4.5 DANUBIA-Testumgebung

4.5.1 Überblick

Die DANUBIA-Testumgebung dient dazu, ein einzelnes Modell (im folgenden Testmodell genannt) unabhängig von anderen Modellen und unabhängig von einer Netzwerkverbindung lokal zu testen. Sie besteht aus einer lokalen Steuerungskomponente (*LocalManager*), einer lokalen Testdatenbank und Dummy-Implementierungen (im folgenden Test-Dummy-Modelle genannt) aller vom Testmodell importierten Schnittstellen. Ebenso ist ein einfacher Timecontroller in das Framework integriert, der das Testmodell und sämtliche zugehörigen Test-Dummy-Modelle im selben Zeittakt rechnen lässt. Abbildung 21 gibt einen Überblick über die Struktur der Testumgebung.

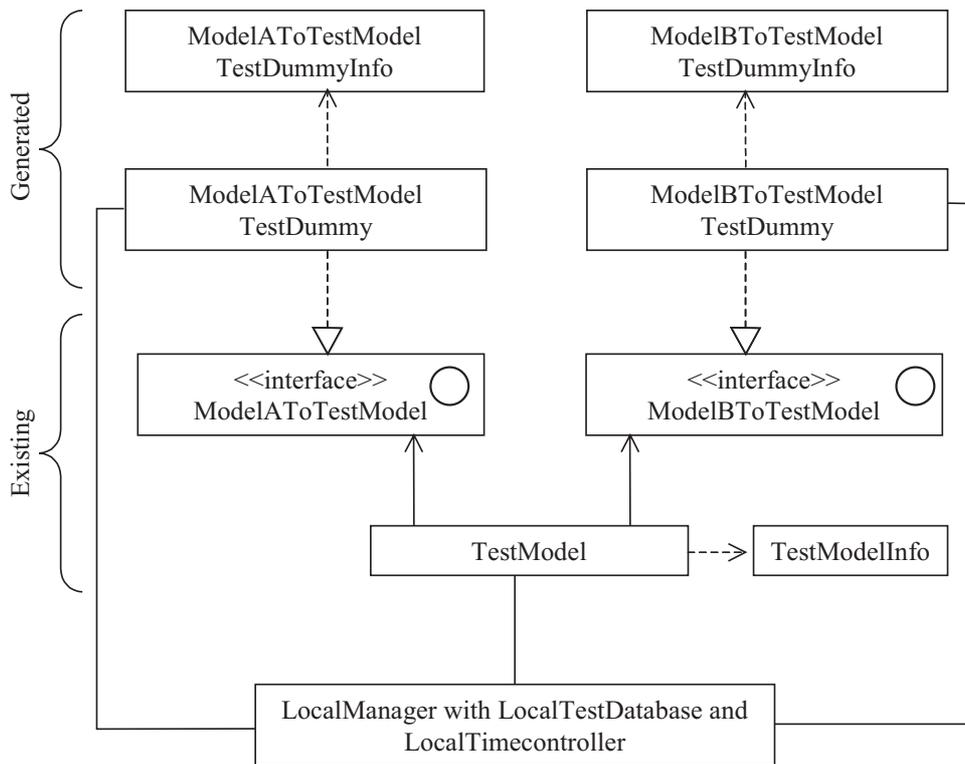


Abb. 21: Struktur der DANUBIA-Testumgebung

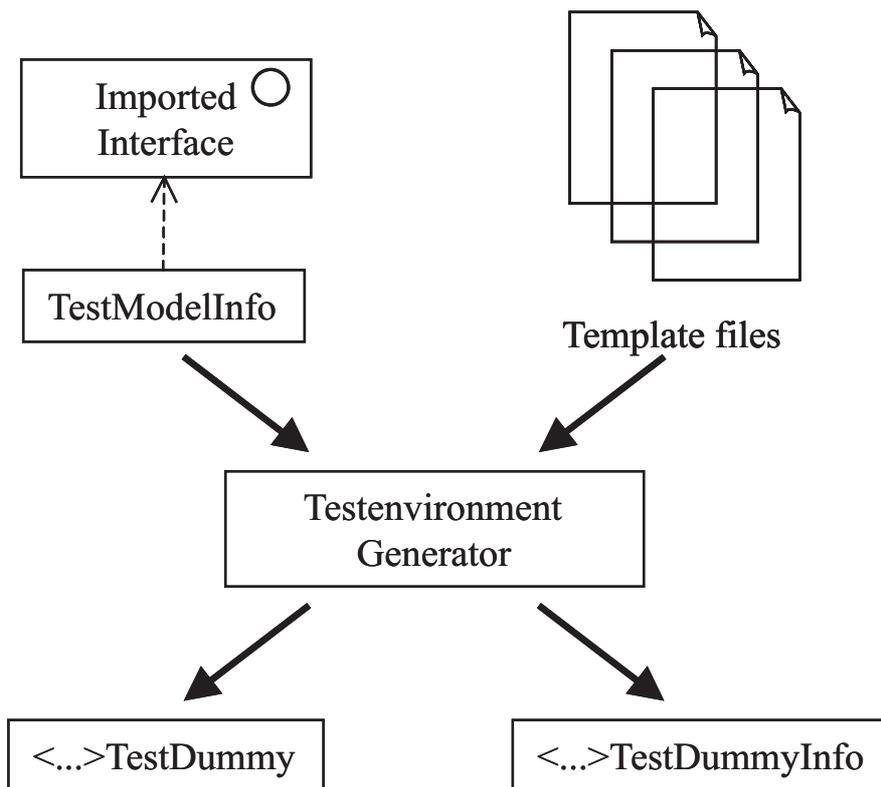


Abb. 22: Zur Funktionsweise des Generators

Da jedes Modell unterschiedliche Schnittstellen zu den anderen Komponenten besitzt, müssen auch die Test-Dummy-Modelle für jedes Modell unterschiedlich sein. Eine standardisierte Version jedes Test-Dummy-Modells kann automatisch aus den in der TestModell-Infoklasse enthaltenen Daten und einer allgemeinen Vorlage erzeugt werden (vgl. Abb. 22). Das DANUBIA-Framework stellt für diese Zwecke einen Generator zur Verfügung.

Zurzeit werden zwei Java-Quelldateien für jedes Importinterface des Testmodells generiert. Das ist einerseits das Test-Dummy-Modell selbst (<interfaceName>TestDummy) sowie eine Test-Dummy-Modell-Infoklasse (<interfaceName>TestDummyInfo). Beide Klassen gehören zu einem Unterpaket *test* des ursprünglichen Komponentenpakets. Die Quelldateien finden sich dementsprechend in einem Unterverzeichnis *test* des Komponentenverzeichnis im Quellpfad der Komponente. Die Paketstruktur ist in Abbildung 23 dargestellt. Vor dem Gebrauch der Testumgebung müssen die Test-Dummy-Modelle gegebenenfalls angepasst werden.

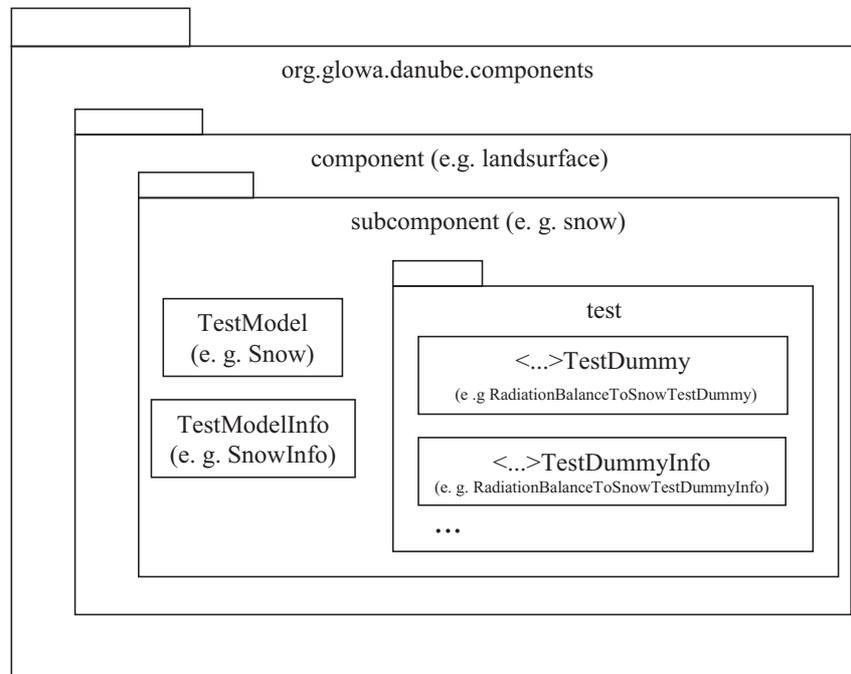


Abb. 23: Paketstruktur der Testumgebung

4.5.2 Testgebiete

Außer auf dem gesamten GLOWA-Danube-Einzugsgebiet, kann mit der Testumgebung auch auf anderen rechteckigen Testgebieten gearbeitet werden, die individuell definiert werden müssen.

4.5.3 Anpassung der Test-Dummy-Modelle

Die Test-Dummy-Modelle werden so generiert, dass sie den Anforderungen des DANUBIA-Frameworks genügen. Dies bedeutet:

- Jede *get*-Methode wird so implementiert, dass sie eine mit dem Standardkonstruktor erzeugte Datentabelle passenden Typs zurückgibt.
- Die Steuermethoden *processCompute* und *processCommit* der Klasse *AbstractModel* (vgl. Abschnitt 4.1) werden mit einem leeren Methodenrumpf implementiert.

Um zusätzliche Funktionalität zu erhalten, insbesondere im Zusammenhang mit den zurückgegebenen Datentabellen, können die Test-Dummy-Modelle nach deren Generierung und vor der Kompilierung entsprechend verändert werden. Es ist vorgesehen, in einer zukünftigen Version der Testumgebung Daten eines zuvor gespeicherten Laufs des Gesamtsystems einzulesen und als Rückgabewerte zur Verfügung zu stellen.

5. UML-based Web-Engineering (UWE)

In seiner Endversion soll das DANUBIA-System komplett 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 soll der am Institut für Informatik der Ludwigs-Maximilians-Universität entwickelte Ansatz UWE weiter ausgebaut und eingesetzt werden (s. dazu auch [KK02a]). Zu diesem Zweck 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 [Sti02].

5.1 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.

5.2 UWE Metamodell

Im Web-Engineering-Bereich gibt es viele Design-Methoden, die einen bei der 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.

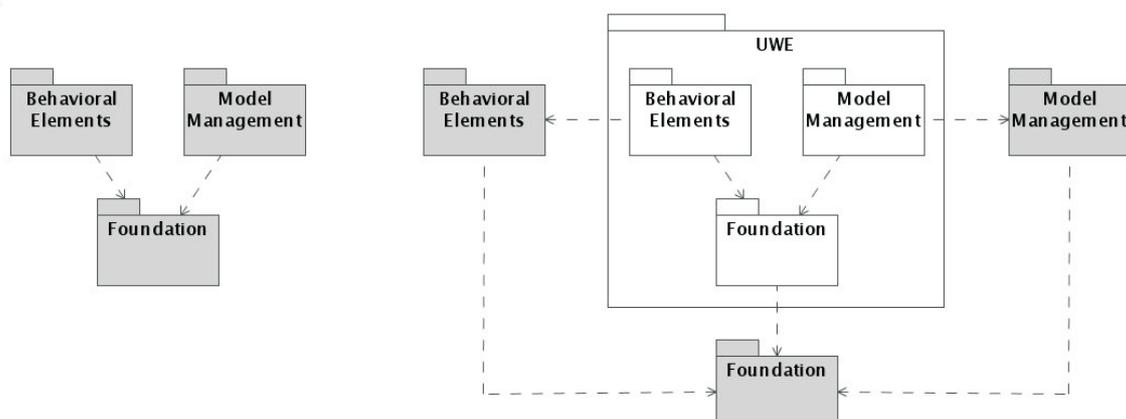


Abb. 24: Die Erweiterung des UML-Metamodells um das Paket UWE

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. In der Abbildung 24 ist die Einbettung des UWE-Metamodells in das UML-Metamodell zu sehen.

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*.

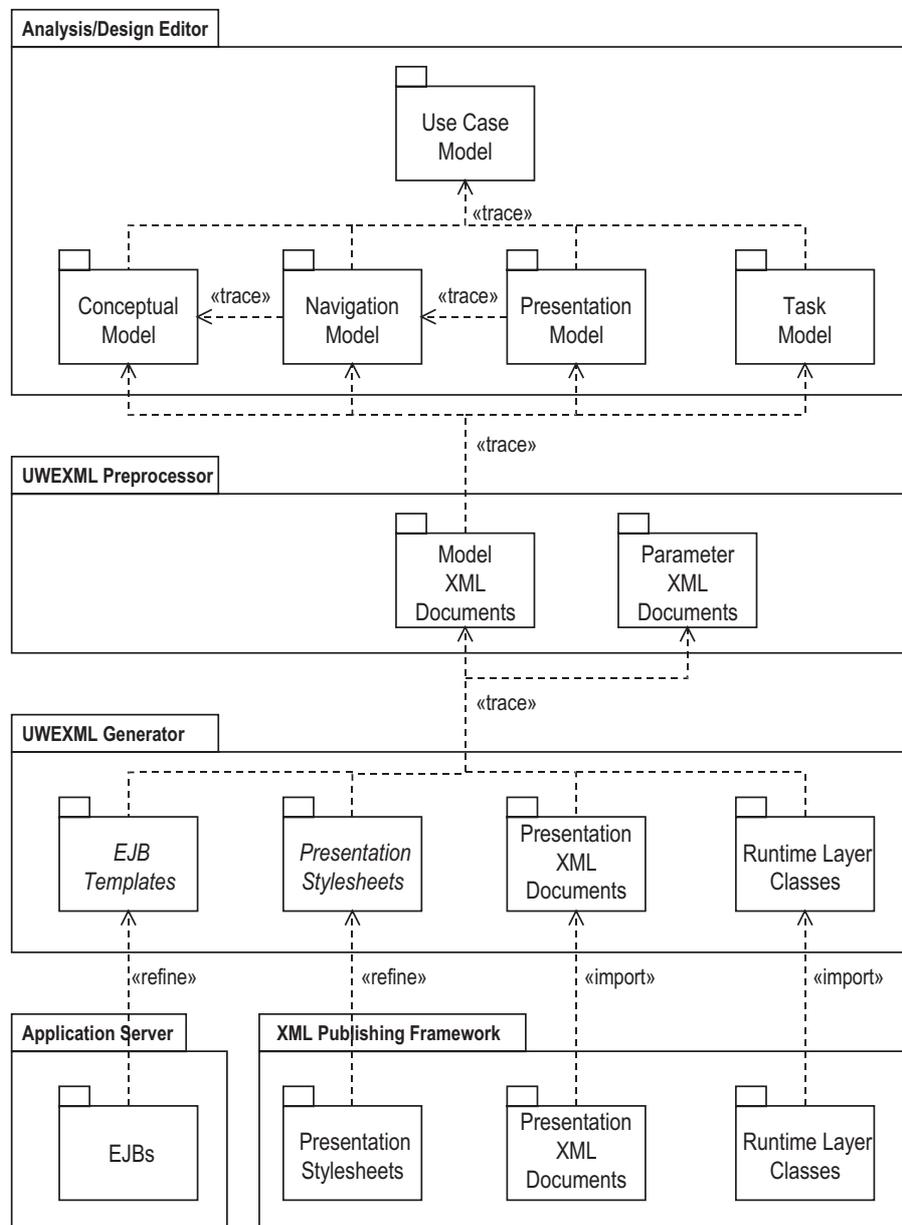


Abb. 25: Übersicht über den Prozess von UWEXML von der Analyse bis zur semi-automatischen Generierung von Web-Anwendungen

5.3 Automatische Code-Generierung mit UWEXML

Der UWEXML-Ansatz ermöglicht die semi-automatische Generierung von Web-Anwendungen [KK02b]. 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 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 erzeugt für die Anbindung an die Anwendungsobjekte. Im Falle 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. Der gesamte Entwicklungsprozess ist in Abbildung 25 dargestellt. Eine erste Version des UWEXML Generators wurde in einer Diplomarbeit von Sebastian Stiegler bereits entwickelt [Sti02].

6. 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.

6.1 Systemsichten

Wir betrachten im folgenden drei wichtige Sichten, die in jedem Softwaresystem (in mehr oder weniger ausgeprägter Form) vorhanden sind, nämlich

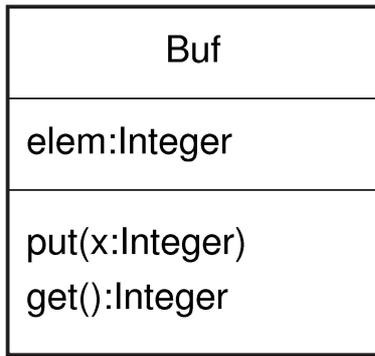
- eine statische Sicht, die die Struktur des Systems,
- eine Operationssicht, die die Wirkung der Operationen, und
- eine Ablaufsicht, die das dynamische Verhalten von Systemabläufen beschreibt.

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-Klassen- diagramm gegeben, das in diesem Fall nur aus einer einzigen Klasse besteht (s. Abb. 26).



Die Operationssicht ist gegeben durch OCL-Constraints, welche die Wirkung der Operationen in Form von Nachbedingungen beschreiben:

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

context Buf :: get()
post: result = elem

Abb. 26: Statische Sicht

Schließlich ist die Ablaufsicht durch ein UML-Zustandsdiagramm repräsentiert (s. Abb. 27).

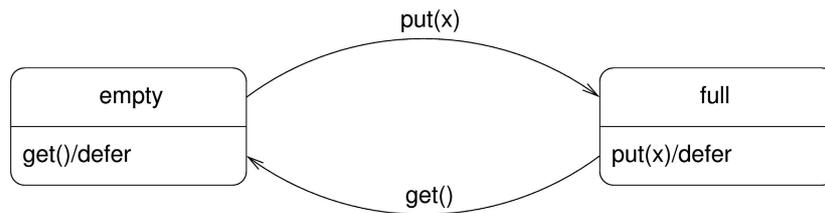


Abb. 27: Ablaufsicht

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* bedeutet, dass beim Aufruf der jeweiligen Operation in dem Zustand, in dem die Operation nicht erlaubt ist, die Ausführung der Operation zurückgestellt wird, bis das System sich in einem Zustand befindet, in dem die Ausführung möglich ist.

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 (vgl. [HHB02]). Bei den beiden weiteren Sichten kann die Semantik jeweils durch ein markiertes Transitionssystem angegeben werden (s. Abb. 28 und 29).

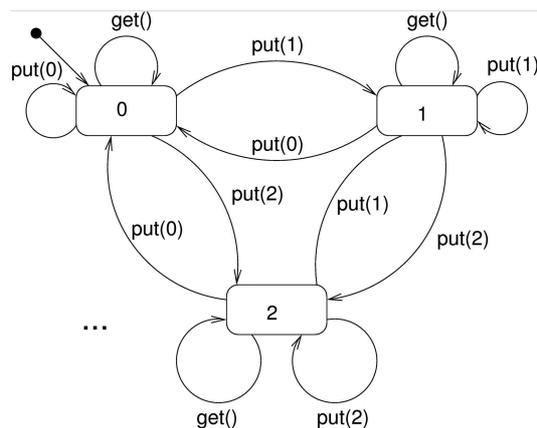


Abb. 28: Semantik der Operationssicht

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

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

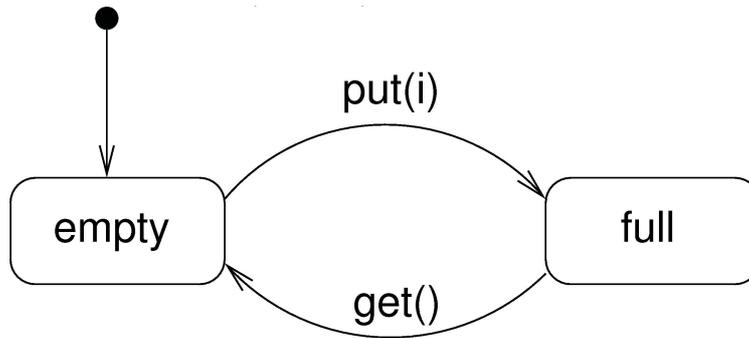


Abb. 29: Semantik der Ablaufsicht

Eine integrative Semantik für Operations- und Ablaufsicht kann aus der parallelen Komposition der beiden Transitionssysteme gebildet werden (s. Abb. 30). Dabei ist zu erkennen, dass $put(x)$ nur möglich ist, wenn der Speicher leer, also im Zustand $\langle empty \rangle$ ist. Nach einem $put(x)$ kann nur ein $get()$ folgen, das genau das vorher in den Puffer eingebrachte Element x zurückgibt. Die Vorgehensweise bei der weiteren Integration der Semantik der statischen Sicht muss noch ausgearbeitet werden.

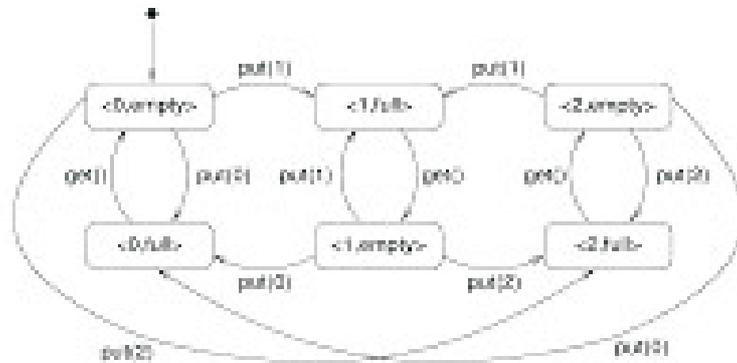


Abb. 30: Integrative Semantik

6.2 Übergang zu einem Entwurf

Im folgenden zeigen wir anhand des Puffer-Beispiels einen Ansatz für einen systematischen Übergang zu einem Entwurf. 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. 31).

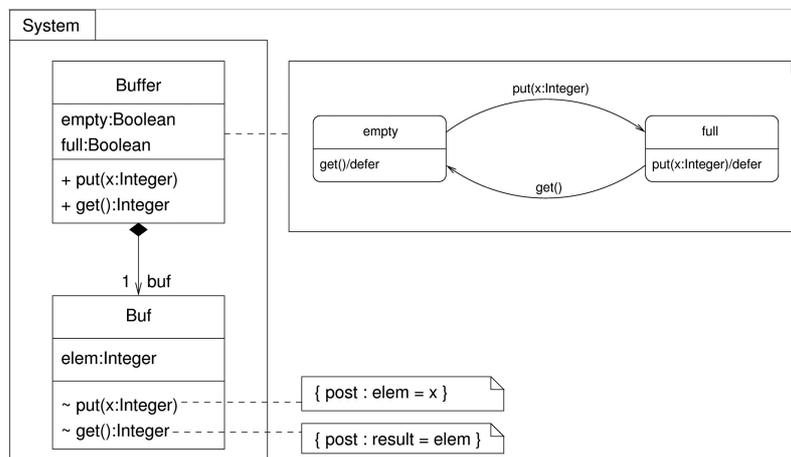


Abb. 31: Entwurf des Systems

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

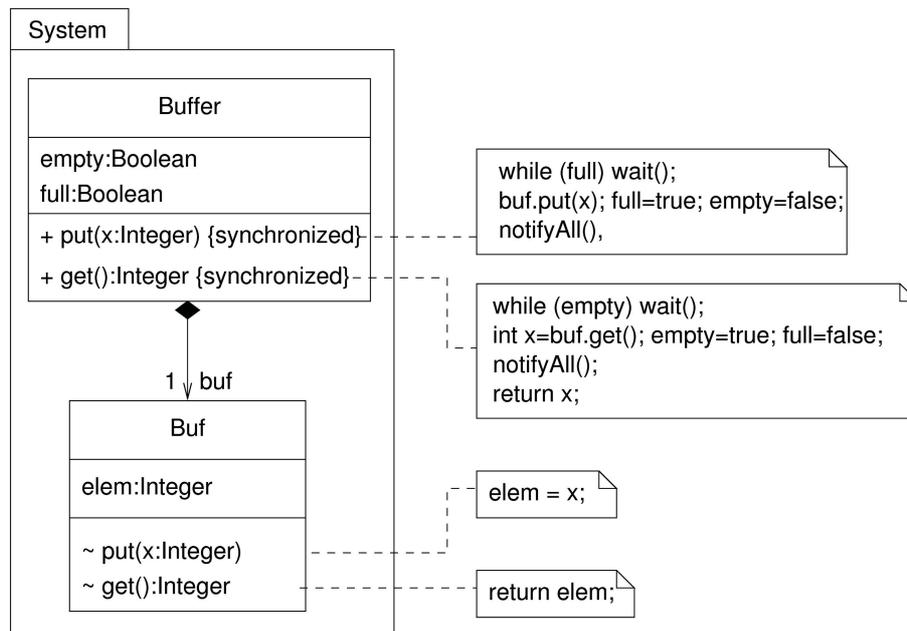


Abb. 32: Implementierung

Ausgehend von dem Entwurf ist ein systematischer Übergang zu einer Implementierung in Java möglich. Die Methodenrumpfe sind in Abbildung 32 als Kommentare angefügt. Man beachte, dass das Schlüsselwort *defer* durch ein *wait-notify*-Konstrukt von Java realisiert wird.

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 aufrufbar.

6.3 Anwendung auf GLOWA-Danube

Es ist geplant, dass die in der weiteren Forschungsarbeit erzielten Resultate zu sichtenorientierten Spezifikationen auf ausgewählte Komponenten des DANUBIA-Systems angewendet werden, insbesondere auf zustandsbehaftete Komponenten wie den Timecontroller.

7. Weiteres Vorgehen

Bis zum Abschluss der ersten Projektphase sollen die folgenden weiteren Ziele erreicht werden:

- Weitere Verbesserung der Effizienz beim Austausch von Daten über das Netz.
- Erweiterung der Testumgebung durch Anbindung eines flexiblen Mechanismus zur Produktion von Testdaten. Aufgezeichnete Daten von gekoppelten DANUBIA-Simulationen sollen als Eingabedaten bei Tests von lokalen Modellen wiederverwendet werden.
- Definition von Anwendungsfällen zur Erstellung individueller Simulationskonfigurationen (z.B. von Eingabe- und Ausgabekonfigurationen) durch den Benutzer.
- Realisierung dieser Anwendungsfälle mittels einer Web-Oberfläche für die Benutzerschnittstelle und mittels Komponenten zum Simulationsmanagement durch Erweiterung des DANUBIA-Frameworks.

- Unterstützung bei der Analyse und Realisierung von Anwendungsfällen für die zentrale Datenbank.
- Entwicklung von Beschreibungsformen für einfache Szenarien und deren Realisierung auf Grundlage der Ergebnisse des im Februar 2003 stattfindenden GLOWA-Danube Workshops.
- Beschreibung und Analyse von gegenseitigen Abhängigkeiten (insbesondere von Rückkopplungen) zwischen Modellen und deren Verträglichkeit mit dem Zeitschritt.

Ausarbeitung der „Operationssicht“ für komplexe Systeme auf der Grundlage des Vertragskonzepts zwischen Client und Server.

Jahresbericht 2002 für das Teilprojekt „Hydrologie und Fernerkundung“ von GLOWA-Danube

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

Organisation

1.1 Kurzbeschreibung der Aufgabe des Teilprojektes

Entwicklung eines flächendetaillierten, mesoskaligen, hydrologischen Objektes der gesamten Oberen Donau sowie Entwicklung von skalenübergreifenden hydrologischen Objekten zu Verdunstung, Perkolatation und lateralen Flüssen unter Nutzung von Fernerkundungsdaten.

1.2 Verwaltung

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

- 1x BAT IIa Geo-Wissenschaftler (PostDoc) mit Herrn Dr. Stefan Niemeyer. Er arbeitet vorwiegend im Bereich der Modellentwicklung, der Modellkopplung und des allgemeinen Projektmanagements.
- 1x BAT IIa/2 Geo-Wissenschaftler (Doktorand) mit Frau Dipl.-Ing. Doris Reichert. Frau Reichert beschäftigt 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 beschäftigt sich mit der Inwertsetzung multisensoraler und multiskaliger Fernerkundungsdaten zur Ableitung von Vegetationsparametern und Modellparametrisierung.
- 1x BAT IIa/2 Geo-Wissenschaftler (Doktorand) ist seit dem 01.02.2002 mit Herrn Dipl.Geogr. Markus Probeck besetzt. Er arbeitet im Bereich der Assimilierung von Fernerkundungsdaten in das hydrologische Modell sowie der Modellinvertierung.

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

1.3 Veranstaltungen

1.3.1 GLOWA-Danube (intern)

Die Arbeitsgruppe Hydrologie/Fernerkundung hat an folgenden internen Veranstaltungen des Projektes teilgenommen (vgl. Bericht Zentralprojekt):

- Groundwater-Rivernetwork-Landsurface Treffen, München, 5. März und 5. Juli 2002
- Projekttreffen GLOWA-Danube, München, 14.-15. März 2002
- Statuskonferenz GLOWA, München, 6.-8. Mai 2002
- Actors-Treffen, Freiburg, 3.-4. Juni 2002
- Projekttreffen GLOWA-Danube, München, 4.-5. Juli 2002, Doktorandenvorträge
- Projekttreffen „Disaggregation“, Freiburg, 10. Juli 2002
- Atmosphere-Treffen, Mainz, 16.-17. Juli 2002
- GLOWA-Danube Treffen zum Folgeantrag I, München, 1.-2. August 2002
- GLOWA-Danube Treffen zum Folgeantrag II, Freiburg, 29.-30. August 2002
- GLOWA-Danube Treffen zum Folgeantrag III, Stuttgart, 19.-20. September 2002
- Landsurface-Treffen, München, 3. Dezember 2002
- Scaling Workshop, Stuttgart, 10.-11. Dezember 2002, Doktorandenvorträge

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.

1.3.2 Andere Veranstaltungen

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

- *Jahrestagung des AK Hydrologie der Dt. Geogr. Gesellschaft.* Berlin, 10.- 12. März
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. April
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. Mai
Vortrag: „Land Surface Processes within GLOWA-Danube“ (Niemeyer)
Posterpräsentationen: „The Landsurface-Object“ (Teilprojekte Landsurface).
- *Ecosystem Management in Cultural Landscapes.* Berchtesgaden, 23.-24. Mai
Training Course, Vortrag Niemeyer.
- *21st Conference of Danube Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management.* Bukarest, Rumänien, 2.-6. September
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. November
Vortrag: “ Integrative Modelling in the Upper Danube catchment - GLOWA-Danube and the DANUBIA Decision Support System ” (Niemeyer).

- *Workshop „Großskalige Modellierung in der Hydrologie“*. Magdeburg, 28.-29. Nov.
Vortrag: „Fernerkundung und fuzzy logic basierte GIS-Methoden zur Modellierung des Wasserhaushalts in mesoskaligen Einzugsgebieten“ (Ludwig).
Vortrag: „Subskalige Modellierung hydrologischer Prozesse in mesoskaligen Einzugsgebieten“ (Reichert).

Für die *XXVIII. Joint Assembly of the European Geophysical Society and the American Geophysical Union* im April 2003 in Nizza wurde ein Beitrag eingereicht, der den hydrologischen Skalierungsansatz darstellt.

1.4 Veröffentlichungen und Berichte

1.4.1 Publikationen

Erste 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., HENNICKER, R. (2002): „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*. Zur Veröffentlichung angenommen (12/2002).
- LUDWIG, R., PROBECK, M., MAUSER, W. (2002) : “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*. Zur Veröffentlichung eingereicht (07/2002).
- NIEMEYER, S., MAUSER, W., LUDWIG, R., STOLZ, R. (2002): “GLOWA-Danube: Integrative Techniques, Scenarios and Strategies regarding the Global Change of the Water Cycle“. In: *Proc. 21st Conference of Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management*. Bukarest, Rumänien, Sept. 2-6.
- 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.
- PROBECK, M., LUDWIG, R., MAUSER, W. (2002): “Fusion of NOAA-AVHRR imagery and GIS-techniques to derive subscale land cover information for the Upper Danube watershed.“ In: *Die ERDE*. Zur Veröffentlichung eingereicht (07/2002).
- REICHERT, D., LUDWIG, R., MAUSER, W. (2002): “Subscale Modelling of Water and Energy Fluxes in Mesoscale Catchments“. In: *Hydrology and Earth System Sciences*. Zur Veröffentlichung eingereicht (12/2002).

1.4.2 Berichte, Anträge

Zur Dokumentation der technischen Entwicklung des Systems DANUBIA wurden Technical Releases angefertigt, die den Aufbau und den Inhalt einzelner Modellkomponenten beschreiben. Das Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung (Mauser) hat im Berichtszeitraum folgende Dokumentationen verfasst:

- GLOWA-Danube Papers - Technical Release No. 003: AtmoStations
- GLOWA-Danube Papers - Technical Release No. 007: RadiationBalance
- GLOWA-Danube Papers - Technical Release No. 008: Surface
- GLOWA-Danube Papers - Technical Release No. 010: Soil

- GLOWA-Danube Papers - Technical Release No. 014: Projection Utility

Im laufenden 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)

Die Fortsetzung des Projektes ab dem 01.01.2004 wurde beantragt:

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

1.5 Diplomarbeiten

Die Forschungsaktivitäten des Teilprojektes Hydrologie/Fernerkundung werden durch Diplomarbeiten unterstützt, die von Studierenden der Geographie am Lehrstuhl für Geographie und Geographische Fernerkundung angefertigt werden. Dabei kann im Sinne von GLOWA-Danube zwischen Diplomarbeiten mit integrativem und sektoralem Charakter unterschieden werden. Die sektoralen Diplomarbeiten werden durch Herrn Prof. Mauser und Herrn Dr. Ludwig betreut; Themen integrativer Ausrichtung werden darüber hinaus durch GLOWA-Projektpartner begleitet:

Integrativ:

in Verbindung mit dem Teilprojekt Farming:

- *Modellierung des Stickstoffhaushaltes im Einzugsgebiet der Rott mit Hilfe der Fernerkundung* (Monika Rothbart)

in Verbindung mit dem Teilprojekt Niederschlag:

- *Die mesoskalige Modellierung des Wasserhaushalts der Oberen Donau mit Niederschlagsfernerkundung* (Uta Schirpke)

Sektoral:

- *Skalierung von Abflussbildung und Abflusskonzentration* (Markus Muerth)

2. Integrative Arbeiten

Im Zentrum des Arbeitspaketes steht die Weiterentwicklung des Integrationskonzeptes sowie die Implementierung dieser Konzepte in DANUBIA. Weitere Arbeiten, die im bilateralen Dialog mit Projektpartnern durchgeführt wurden (z.B. die Bereitstellung von Daten und Modellergebnissen, Landnutzungsklassifizierung, Disaggregierungsansätze) werden kurz beschrieben.

2.1 Weiterentwicklung des integrativen Konzeptes

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.

2.1.1 Kopplungsansatz Groundwater - Rivernetzwerk - Landsurface

Das Integrationskonzept mit der Vergabe eindeutiger Modellkompetenzen führt im Bereich der Wasserflüsse zwischen der Landoberfläche, der oberirdischen Fließgewässer und dem Grundwasser unter bestimmten Bedingungen zu Problemen in der Kopplung der Modelle. Eine Randbedingung für das Objekt *Soil* des Verbundobjektes *Landsurface* ist ein „genügend großer“ Abstand des Grundwassers zur modellierten Bodenzone. Als sinnvoller Wert für den (minimalen) Abstand wurde ein kritischer Wert von 2m festgelegt. Steigt der Grundwasserspiegel höher als Geländeoberkante (GOK) minus 2m, ist diese Randbedingung nicht mehr erfüllt. Deswegen wurde folgendes Lösungskonzept vereinbart, dessen Tragfähigkeit derzeit in Sensitivitätsstudien näher untersucht wird:

Steigt der von *Groundwater* übergebene Wert Z über $GOK-2m$, dann wird Z auf den Wert $GOK-2m$ gesetzt. Dies erfolgt im Verbundobjekt *Landsurface*. Die Differenz $dh=Z-(GOK-2m)$ wird in das Volumen $V=dh*n*A$ umgerechnet. Da die Porosität n (der Bodenzone) ein Parameter ist, der von *Soil* festgelegt wird, erfolgt diese Umrechnung bei *Soil*. Das Volumen V wird von *Soil* für den nächsten Berechnungszeitschritt dem untersten (bzw. den betroffenen) Bodenkompartment zugeschlagen und verringert damit dessen Sättigungsdefizit. Während des Berechnungsschrittes wird die Sättigung durch die Berechnungen innerhalb der *Landsurface* entweder erhöht (z.B. Infiltration) oder erniedrigt (z.B. Verdunstung, Abfluss). Die resultierende Volumenänderung dV wird an *Groundwater* im Datentyp *MassFluxDensity* ($kg\ m^{-2}\ s^{-1}$) zurückgegeben. Damit bleiben die ursprünglichen Schnittstellen und Einheiten erhalten.

Ein weiteres Kopplungsproblem zwischen den Verbundobjekten *Landsurface* und *Groundwater* besteht für alle Proxel, deren durch *Groundwater* beschriebene Grundwasserpotenzialfläche weit unter der Geländeflur liegt. Im Einzugsgebiet der Oberen Donau tritt dieser Fall häufig auf. Das Problem besteht in der Übergabe der von *Soil* modellierten Grundwasserneubildung (Perkolations aus der maximal 2m mächtigen Bodenschicht) an das Grundwasser, welches in bis zu 200m unter GOK liegen kann. Die Beschreibung der in diesem Bereich ablaufenden Translationsprozesse ist bislang nur unzureichend untersucht und beschreibt vor allen Dingen auf der räumlichen Skala von DANUBIA wissenschaftliches Neuland. Auf der Basis erster gekoppelter Modellrechnungen werden zunächst kritische Bereiche im Einzugsgebiet identifiziert, anhand derer ein gemeinsamer tragfähiger Lösungsansatz entwickelt wird.

Im Bereich der Kopplung zwischen den Verbundobjekten *Landsurface* und *Rivernetzwerk* wurde folgende Vorgehensweise vereinbart: Jedes Proxel ist an die oberirdische Entwässerung durch ein Fließgewässer angeschlossen. Das Objekt *Soil* berechnet die Abflusskompartimente Direktabfluss und Interflow für jedes Proxel (s. Kap. 3.1.3) und gibt diese Terme zeitverzögert an das *Rivernetzwerk* ab. Zur Bestimmung geeigneter Retentionsparameter für die Abflusskonzentration innerhalb eines Proxels wird derzeit eine Diplomarbeit durchgeführt (s. Kap. 1.5.). Die Abfuhr des gebildeten Abflusses jedes Proxels im Fließgewässer beschreibt das Teilprojekt Oberirdische Gewässer (Willems).

2.1.2 Kopplungsansatz Atmosphäre - Landsurface

Das Verbundobjekt *Atmosphäre* beinhaltet drei Objekte, von denen *AtmoMM5* das mesoskalige meteorologische Modell MM5 betreibt. Neben dem Vorteil, mit modellierten meteorologischen Daten auch zukünftige Szenarien betreiben zu können, ermöglicht der Einsatz des Modells die Realisierung einer Rückkopplung zwischen meteorologischen und Landoberflächenprozessen. Dazu wurden in Absprache der Teilprojekte Meteorologie (Egger) und Hydrologie/Fernerkundung (Mauser) Schnittstellen definiert und in UML modelliert, die die Kopplung durch den gegenseitigen Austausch einzelner Parameter beschreiben. Während die Teilmodelle des Verbundobjektes *Landsurface* die selben meteorologischen Parameter von *AtmoMM5* erhalten wie vom Stationsdatenmodell *AtmoStations*, geben die Objekte des Verbundobjektes *Landsurface* Energieflussdichten an *AtmoMM5* zurück. Dabei handelt es sich um die Größen Impulsfluss des Objektes *RadiationBalance*, fühlbarer Wärmestrom von *Snow* und *Surface*, sowie latenter Wärmestrom von *Snow*, *Surface* und *Biological*. Die turbu-

lenten Energieflüsse werden im *LandsurfaceController* zusammengefasst, so dass *AtmoMM5* nur eine Energieflussdichte pro Term erhält (für das meteorologische Modell spielt es keine Rolle, ob die latente Wärme aus der Schnee verdunstung, der Boden verdunstung oder der Pflanzentranspiration stammt).

Damit erhält das meteorologische Modell alle notwendigen Informationen, um die Energiebilanz im Modell schließen zu können und die notwendigen Prozesse in der Atmosphäre modellieren zu können, ohne jedoch schwer skalierbare Oberflächeneigenschaften selbst kennen zu müssen. Diese Kopplung über leicht skalierbare Energieflussdichten ist bisher nicht im meteorologischen Modell MM5 vorgesehen, so dass erhebliche Arbeit auf Seiten des Teilprojektes Meteorologie (Egger) investiert wurde, diese Schnittstellen im MM5-Modell zu identifizieren und zu implementieren (vgl. Jahresbericht 2002 Teilprojekt Meteorologie/Egger).

In den von dem Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung (Mauser) betreuten Objekte *Radiation-Balance*, *Surface* und *LandsurfaceController* wurden im Berichtszeitraum alle notwendigen Prozessmodellierungen implementiert, um diese Kopplung zu ermöglichen. Nach Fertigstellung des Objektes *AtmoMM5* und ihrem Einbau in DANUBIA kann dieses Kopplungskonzept realisiert, getestet und überprüft werden. Diese Arbeiten sind für das kommende Jahr vorgesehen.

2.1.3 Kopplungsansatz Farming - Landsurface

Die Schnittstelle zwischen dem Verbundobjekt *Landsurface* und des Objektes *Farming* des Verbundobjektes *Actors* beschreibt den Informationsaustausch zwischen der physikalisch-biologischen Umwelt und dem agierenden Landwirt. Auf der einen Seite erhält dieser Informationen über den Entwicklungsstand der angebauten Pflanzen, den Bodenzustand und den Nitratgehalt des Bodenwassers, um seine Entscheidungen bezüglich Aussaat, Düngung oder Ernte treffen zu können. Auf der anderen Seite teilt der Landwirt seiner Umwelt zum jeweils geeigneten Zeitpunkt mit, welche Pflanzen er anbauen will, wann die Aussaat und wann die Ernte erfolgt. An der Definition dieser Schnittstelle zwischen *Landsurface* und *Farming* waren die Gruppen Hydrologie/Fernerkundung (Mauser) mit dem Objekt *Soil*, Pflanzenphysiologie (Tenhunen) mit dem Objekt *Biological* und das Teilprojekt Agrarökonomie (Dabbert) mit dem Objekt *Farming* beteiligt. Sie wurde in der Berichtsperiode in UML strukturiert und in Java implementiert. Das *Soil*-Objekt des Teilprojektes Hydrologie/Fernerkundung (Mauser) liefert danach den Grad der Sättigung des Bodens und den Nitratgehalt des Bodenwassers und erhält die Stickstoff-Düngemenge zum Zeitpunkt der Düngung. Nach Fertigstellung des *Farming*-Objektes der zu einem späteren Zeitpunkt zum GLOWA-Danube Projekt hinzugekommenen Gruppe Agrarökonomie (Dabbert) wird dieser Austausch in den kommenden Monaten getestet und optimiert (vgl. Jahresbericht 2002 Teilprojekt Agrarökonomie/Dabbert).

2.1.4 Strukturierung der Landnutzung für DANUBIA

Die Landnutzung im Untersuchungsgebiet von GLOWA-Danube ist eine grundlegende Information für DANUBIA. Sie steht jedem Teilmodell durch das Prinzip der Vererbung vom Proxel zur Verfügung. Die Landnutzung wurde als bisher einzige Informationsschicht subskalig konzipiert, um jedem Teilmodell zu ermöglichen, die Heterogenität der Landnutzung auf dem 1km² Proxel zu beachten und zu verarbeiten. Um das Proxel als räumlich referenzierte Basiseinheit für DANUBIA zu erhalten, steht bei der Landnutzung nur die prozentuale Verteilung der im Proxel vorhandenen Landnutzungsklassen zur Verfügung, nicht jedoch deren räumliche Verortung. Die Konzeption und Modellierung der Struktur der Landnutzungsinformation wurde von den Teilprojekten Hydrologie/Fernerkundung (Mauser) und Informatik (Hennicker) vorgenommen und von letzterem implementiert. Derzeit wird diese Implementierung von den bereits vorhandenen Objekten genutzt und getestet. Von dieser strukturellen Sicht auf die Landnutzung und deren Implementierung in DANUBIA ist die eigentliche Auswahl und Erstellung von Landnutzungsinformationen zu trennen, die im Zentralprojekt (Mauser) bearbeitet wird. Die Struktur der Landnutzung in DANUBIA kann verschiedene Eingangsdatensätze der Landnutzung aus der Fernerkundung, der Europäischen CORINE

Landnutzung oder aus anderen Klassifikationen aufnehmen und zur Verfügung stellen.

2.2 Umsetzung der Integration in DANUBIA

2.2.1 LINUX-Cluster

Der Anfang des Berichtszeitraums gelieferte Linux-Cluster mit 25 Doppelprozessor-Knotenrechnern wurde am Standort München der Teilprojekte Zentralprojekt (Mauser) und Hydrologie/Fernerkundung (Mauser) aufgestellt und in Betrieb genommen. Mit Unterstützung des Teilprojektes Informatik (Hennicker) konnte auf einzelnen Knotenrechnern eine provisorische Konfiguration installiert werden, so dass diese Teile des Linux-Clusters bereits zur Statuskonferenz Anfang Mai 2002 zur Demonstration des ersten DANUBIA-Prototyps verwendet werden konnten. Der Cluster-Rechner dient dem Testen der sich fortlaufend weiterentwickelnden Objekten und des Frameworks für DANUBIA.

2.2.2 Einbau Framework Version 0.9.1 in die Objekte

Während des zweiten Projektjahres wurden Ergänzungen und Erweiterungen am Framework zu DANUBIA zusammen mit dem Teilprojekt Informatik (Hennicker) konzipiert und von diesem auch 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. Die neue Framework Version 0.9.1 wurde anschließend vom Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung getestet, die einzelnen Objekte DANUBIAS um die neuen Funktionalitäten erweitert und diese anschließend den einzelnen Teilprojekten zur Weiterbearbeitung zur Verfügung gestellt.

2.2.3 GLOWA-Danube Utilities

Schon während der Konzeption der einzelnen Objekte DANUBIAS zeigte sich, dass viele Funktionalitäten und mathematisch-physikalische Berechnungen von mehr als einem Teilmodell verwendet werden würden. Dazu zählen die Verwendung physikalischer Konstanten, die Umrechnung von Einheiten oder die Berechnung grundlegender physikalischer Prozesse. Damit diese Berechnungen nicht in verschiedenen Objekten 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. Damit konnte größtmögliche Konsistenz erreicht, redundante Implementierungen vermieden und eine wesentliche Fehlerquelle ausgeschaltet werden. Diese Klassen werden weiterhin vom Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung (Mauser) gepflegt und nach Bedarf erweitert.

2.2.3.1 Die utility-Klasse *GLOWAMath*

Die utility-Klasse *GLOWAMath* beinhaltet physikalische Konstanten wie die Stefan-Boltzmann Konstante, die Molmasse von Gasen oder die von-Kärmàn Konstante. Des Weiteren werden dort Methoden zur Umrechnung der im Projekt vereinbarten Einheiten der Übergabeparameter angeboten, so z.B. eine Massenkonzentration in einen Druck (mass concentration to pressure *MCToP*) oder eine Massenflussdichte in Wassersäule (mass flux density to water in mm/h *MFDTpWMM*). Drittens sind in *GlowaMath* Methoden implementiert, die physikalische Prozesse berechnen, wie z.B. den Sättigungsdampfdruck, die Dichte feuchter Luft oder die sogenannte psychrometrische Konstante.

2.2.3.2 Die utility-Klasse *GLOWAProjector*

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. Jedes Proxel besitzt einen Rechts- und Hochwert, welche seine Position im DANUBIA-Kontext festlegt. Für die in einigen Modulen erforderlichen Berechnungen (z.B. Sonnenstand) wird jedoch die Proxelposition in Länge/Breite-Koordinaten der gekrümmten Erdoberfläche benötigt. Umgekehrt müssen Daten, deren Position in Länge/Breite-Koordinaten vorliegen auf das DANUBIA-Raster gelegt werden können. Um Umrechnungen von LCC in Länge/Breite und umgekehrt durchzuführen, wurde ein Projektionstool vollständig in Java entwickelt. Diese Klasse *GLOWAProjector* basiert auf Vorläufern der Open-Source Software des Projektes SEAGIS (<http://seagis.sourceforge.net>) und stellt die potentiellen Fähigkeiten bereit, Transformationen zu anderen Projektionen vorzunehmen. Es dient der Gewährleistung und Bereitstellung von einheitliche Koordinatentransformationen zur Laufzeit von DANUBIA und steht innerhalb DANUBIA als freistehendes Werkzeug allen Teilprojekten zur Verfügung. Das Tool wurde mit der hinreichenden Lagegenauigkeit von 0.16 m gegen die Transformationsalgorithmen von ARC/Info getestet. Aufbau und Funktionsweise der Software sind ausführlich in den GLOWA-Danube Papers - Technical Release No. 014 beschrieben.

2.3 Weitere integrative Arbeiten

2.3.1 Dokumentation aller Klassen von DANUBIA

Zur Dokumentation des Modell-Code von DANUBIA wurde das „Javadoc-Tool“ von Java/Sun genutzt. Damit kann jede im Projekt erstellte Klasse analog zu der allgemeinen und jedem Java-Nutzer geläufigen Java API Specification (Application Programming Interface), einer Standard-Dokumentation auf HTML-Basis, erzeugt werden.

Method Detail

getDensityOfDryAir

```
public static double getDensityOfDryAir(double airTemp,
                                         double airPres)
```

Method to derive the density of dry air (ρ_{air}) from a given air temperature.

Parameters:

- airTemp - The current air temperature in K as a double value.
- airPres - The current air pressure in Pa as a double value.

Returns:

Returns the density of air in kg/m^3 as a double value.

See Also:

[Temperature](#), [Pressure](#)

getDensityOfMoistAir

```
public static double getDensityOfMoistAir(double airTemp,
                                           double airHum,
                                           double airPres)
```

Method to derive the density of moist air from a given air temperature and humidity. The following two equations are applied:

- $e = \tau * R / M_w * T$
- $\rho_{air} = [M_w * e + M_a * (p - e)] / R * T$

with:

Abb. 1: GLOWA-Danube API Specification zur einheitlichen und verständlichen Dokumentation der für DANUBIA erstellten Klassen; hier ein Ausschnitt aus der Klasse *GlowaMath* mit den Methoden *getDensityOfDryAir()* und *getDensityOfMoistAir()*

Die in den DANUBIA-Objekten bereits implementierten Klassen mit ihren Attributen und Methoden wurden von den jeweiligen Bearbeitern in den Teilprojekten mit vom Java-doc-Tool auswertbaren Kommentaren versehen und in der Gruppe Hydrologie/Fernerkundung (Mauser) zu einer Gesamt-GLOWA-Danube API verarbeitet. Diese wird in regelmäßigen Abständen aktualisiert, um den jeweils neu hinzugekommenen Code hinzuzufügen. Die erstellte API steht danach jedem Teilprojekt zur Verfügung und erleichtert das Vermeiden von redundantem Programmieren und das Nutzen bereits vorhandener Klassen, und erhöht die Transparenz innerhalb des Projektes. Abbildung 1 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt aus der Klasse *GlowaMath*, wie sie in der GLOWA-Danube API Specification dokumentiert ist.

2.3.2 Bereitstellung von Modelldaten für andere Teilprojekte

In Absprache mit den Projektpartnern 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 Werte der mittleren monatlichen Grundwasserneubildung, des Niederschlags, der Evapotranspiration und des Oberflächenabflusses zur Verfügung gestellt, die zur Bestimmung der Randbedingungen für das Grundwassermodell benötigt werden.

Dem Teilprojekt *AtmoStations* wurden für den Modellzeitraum 1996-2000 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.

2.3.3 Erstellung und Bereitstellung einer hochaufgelösten Landnutzungsklassifikation aus Landsat TM Daten

Für zahlreiche Detailstudien innerhalb GLOWA-Danube und für die Erstellung subskaliger Datensätze haben sich die vorliegenden Landnutzungsklassifikationen als zu grob erwiesen. Daher wird angestrebt, eine Landnutzungsklassifizierung für den Bereich der Oberen Donau zu erstellen, welche, basierend auf Landsat TM Daten, mit einer räumlichen Auflösung von 30m vorliegen soll. Zu diesem Zweck wurden insgesamt 16 Landsat TM5 bzw. ETM+ Vollszenen erworben, welche das Untersuchungsgebiet der Oberen Donau vollständig und z.T. multitemporal abdecken. Tabelle 1 listet die vorliegenden Szenen auf.

Tab. 1: Liste der Landsat-Szenen für das Untersuchungsgebiet der oberen Donau (kursiv markiert: entzerrt, reliefkorrigiert und georeferenziert)

Aufnahmesteifen	Frame	Datum	Sensor
192	26	26.06.1999 <i>14.09.1999</i>	TM5 TM5
	27	<i>14.09.1999</i>	TM5
	26	<i>19.06.2000</i>	TM5
		29.03.2001	ETM+
		13.05.2001	TM5
		17.06.2002	ETM+
	27	<i>19.06.2000</i>	TM5
		29.03.2001	ETM+
		13.05.2001	TM5
		17.06.2002	ETM+
	28	19.06.2000	TM5
29.03.2001		ETM+	
17.06.2002		ETM+	
194	26	<i>18.06.2000</i>	ETM+
	27	<i>18.06.2000</i>	ETM+

Mit der geometrischen Aufbereitung von sechs Vollszenen wurde eine Basis und Referenz geschaffen, die dazu dient, die weiteren Szenen zu koregistrieren. Die Aufbereitung erfolgte dabei durch eine Passpunktentzerrung mit integrierter Reliefkorrektur. Diese beseitigt die durch das ausgeprägte Relief im Untersuchungsraum entstehenden Lagefehler innerhalb der Satellitenszene. Als Georeferenz diente ein Geländemodell der Oberen Donau. Die georeferenzierten Szenen werden vor der Klassifizierung einer Atmosphären- und Beleuchtungskorrektur unterzogen. Die Klassifizierung von Vollszenen für ein Gebiet, welches stark differenzierte Teilräume umfasst, stellt auch für den robusten fuzzy logic gestützten Klassifikator ENPOC (= Environmental Possibility Classifier, STOLZ 1998) eine große Herausforderung dar. Eingehende Studien des Verhaltens des Klassifikators sollen zeigen, wie die Klassifikation eines Gebietes dieser Größe optimal bewältigt werden kann. Zu diesem Zweck wurden bereits Klassifikationen im Bereich des Teileinzugsgebietes der Rott vorgenommen (s. Abb. 2).

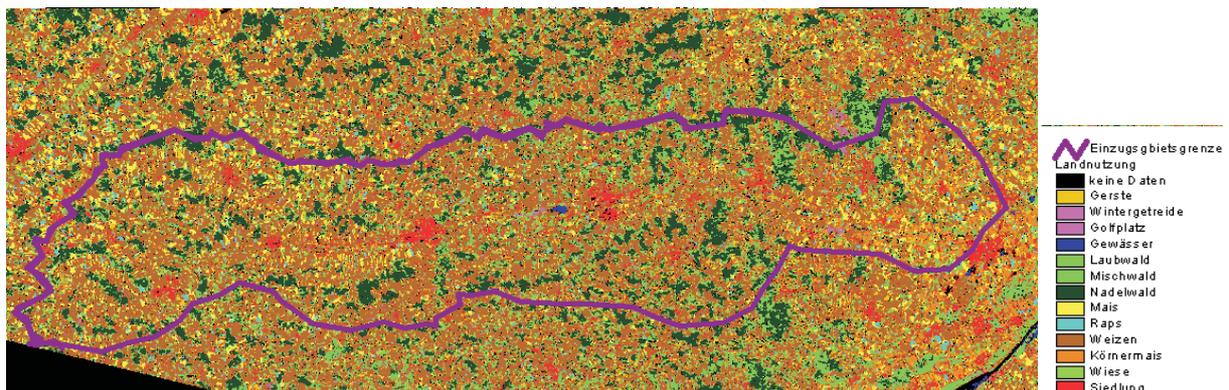


Abb. 2: Landnutzungsklassifikation des Einzugsgebietes der Rott aus Landsat TM5 vom 26.06.1999

2.3.4 Disaggregation der Einwohnerverteilung mit Hilfe von Landnutzungsdaten aus der Fernerkundung

Fast alle für den deutschen und österreichischen Teil des Einzugsgebietes verfügbaren sozialwissenschaftlichen Datensätze beruhen auf statistischen Erhebungen oder Umfragen und sind nur auf administrativer Ebene räumlich aggregiert vorhanden. Im Sinne des Proxel-Konzepts von DANUBIA ist ein Downscaling dieser Modellinput-Daten unbedingt erforderlich. Ein für Skalierungsfragen in GLOWA-Danube besonders wichtiger Parameter ist die Einwohnerverteilung im Einzugsgebiet. Wegen der engen kausalen Verknüpfung vieler Parameter (z.B. Haushalte, Wasserverbrauch, Einkommen) mit der Einwohnerverteilung wurde eine Disaggregation der Einwohnerzahlen von Gemeinde- auf Proxelebene durchgeführt. Dazu wurde ein Regelwerk erarbeitet, das es mit Hilfe von Landnutzungsdaten aus der Fernerkundung und GIS-Datensätzen (v.a. Höhe, Gefälle) ermöglicht, die aggregierten Werte der Einwohnerstatistik jeweils auf die Proxel der entsprechenden Gemeinde zu disaggregieren. Mittels einer linearen Zuordnung von Siedlungsflächen (bzw. gemäß Höhe und Gefälle potenziellen Siedlungsflächen) aus der AVHRR- und CORINE-Klassifikation zu den statistischen Einwohnerzahlen auf Gemeindeebene konnte ein für den deutschen und österreichischen Teil des Einzugsgebietes flächendeckender Datensatz der Einwohnerverteilung erzeugt werden. Der Datensatz wurde über die zentrale Datenbank allen Teilprojekten zur Verfügung gestellt und wird derzeit beispielsweise zum Downscaling der vom Teilprojekt Umweltökonomie (Sprenger) berechneten Modellausgaben verwendet.

3. Disziplinäre Arbeiten

Die sektoralen Forschungsaktivitäten umfassen Arbeiten zur Modellentwicklung der DANUBIA-Objekten im Zuständigkeitsbereich des Teilprojektes, Verfahrensentwicklungen in der Fernerkundung sowie Konzeptfortführung in der hydrologischen Skalierung.

3.1 Modellentwicklungen

Das Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung (Mauser) ist im Rahmen der Entwicklung des *Landsurface*-Objektes von DANUBIA für die Entwicklung der Objekte *RadiationBalance*, *Surface* und *Soil* verantwortlich. Die verwendeten Modellkonzepte und Prozessbeschreibungen sowie deren Implementierungsstand werden im Folgenden kurz beschrieben. 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.

3.1.1 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 3 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.

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 Blattflächenindexes 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 vollständig in DANUBIA implementierte Objekt *RadiationBalance* wird - zusammen mit den anderen Teilmodellen des *Landsurface*-Verbundobjektes - im kommenden Jahr getestet und gegen Punktmessungen und externe Modellergebnisse validiert.

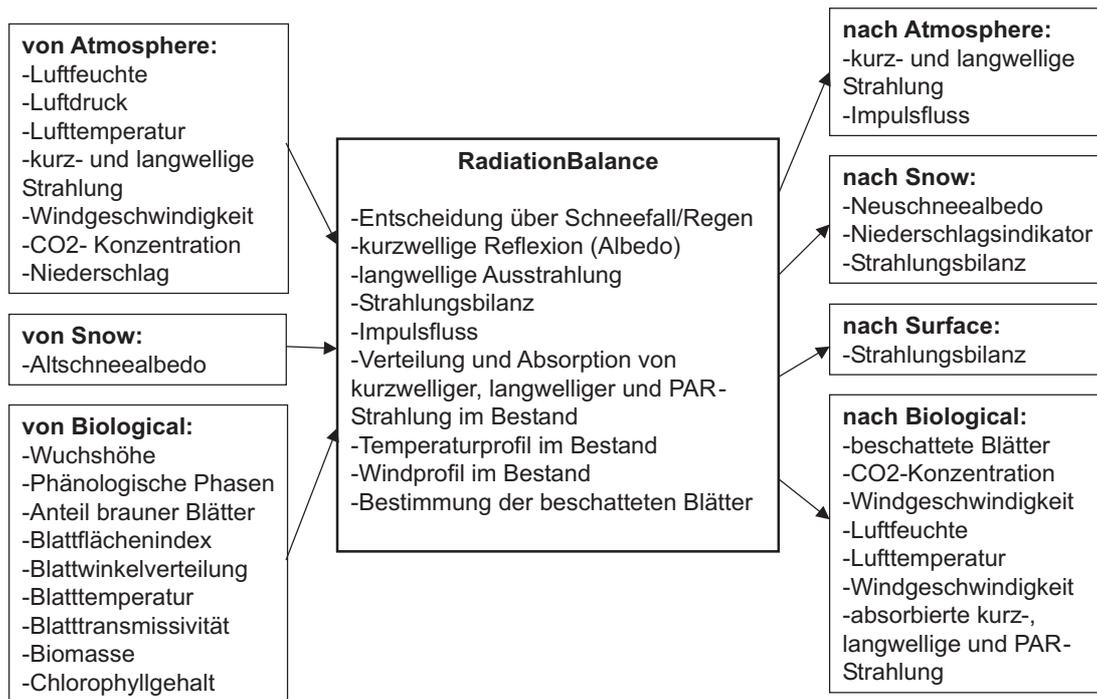


Abb. 3: Datenfluss zum und vom Objekt *RadiationBalance* im Verbundobjekt *Landsurface* sowie von ihr bearbeitete Prozesse

3.1.2 Surface

Das Objekt *Surface* ist Teil des Verbundobjektes *Landsurface*. Sie 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 importierte Daten, modellierte Prozesse und exportierte Ergebnisdaten zeigt Abbildung 4.

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, können die dort ablaufenden Prozesse abgetrennt und gletscherspezifisch von der Gruppe Glaziologie (Kuhn) beschrieben und modelliert werden.

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 Bodenevaporation ein Bodenwiderstand in Abhängigkeit der dortigen Wasserverfügbarkeit zugeschaltet. Der Verdunstung liegt der Ansatz von Penman bzw. Penman-Monteith zugrunde (PENMAN 1948; MONTEITH 1965).

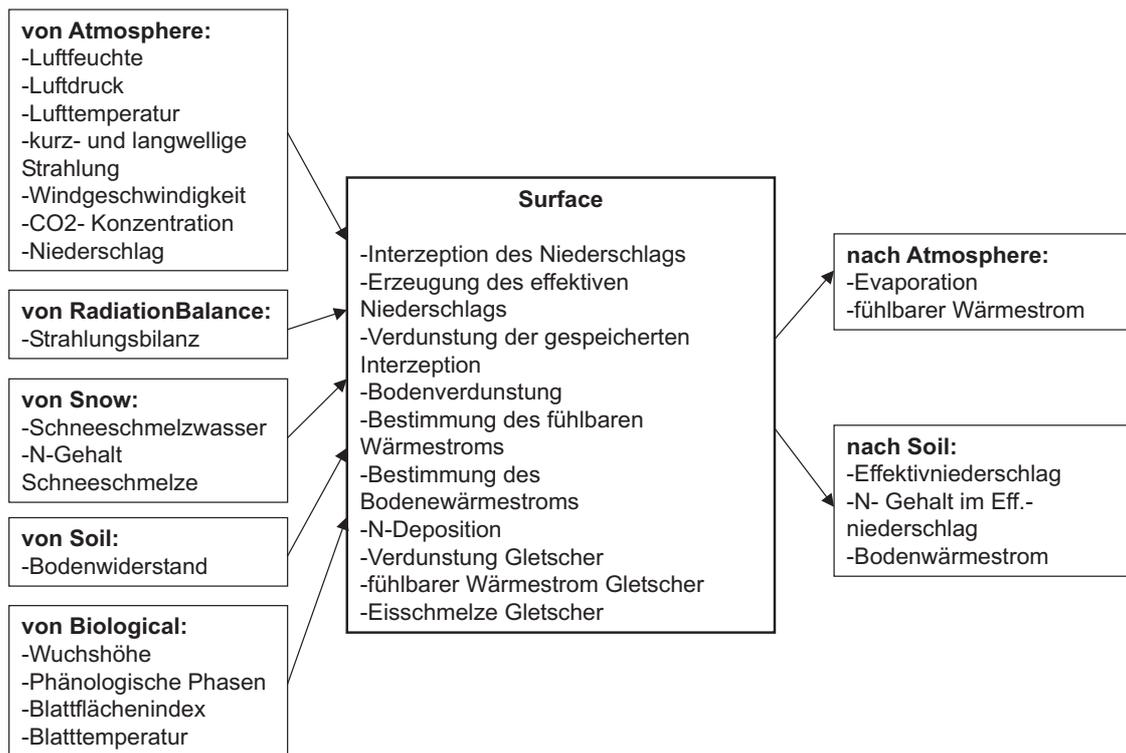


Abb. 4: Datenfluss zum und vom Objekt *Surface* im Verbundobjekt *Landsurface* sowie von ihr bearbeitete Prozesse

Im kommenden Jahr wird das Teilmodell *Surface* im Verbundobjekt *Landsurface* getestet und validiert. Angestrebte Modellerweiterungen beinhalten die Berücksichtigung der Stabilität der atmosphärischen Grenzschicht, insbesondere zur Rückkopplung mit dem Verbundobjekt *Atmosphäre*.

3.1.3 Soil

Das Objekt *Soil* ist innerhalb des Verbundobjektes *Landsurface* für die Berechnung der Wasserflüsse im Boden, der Bodentemperatur sowie des Bodenstickstoffhaushaltes zuständig. Sie 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 und bedient über den *LandsurfaceController* das Verbundobjekt *Rivernetzwerk* und steht mit dem Verbundobjekt *Groundwater* im Austausch. In Abbildung 5 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. Die Wasserflüsse in der 3-schichtigen Bodensäule zeigt Abbildung 6.

Der Eagleson-Ansatz stellt eine analytische Lösung für die auf der Philip-Gleichung basierende eindimensionale Berechnung der vertikalen Wasserflüsse (Infiltration, Exfiltration, Perkolation und kapillarem 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 hydraulische Leitfähigkeit, der Schichtmächtigkeit, der Entnahmeterme und der Zeit.

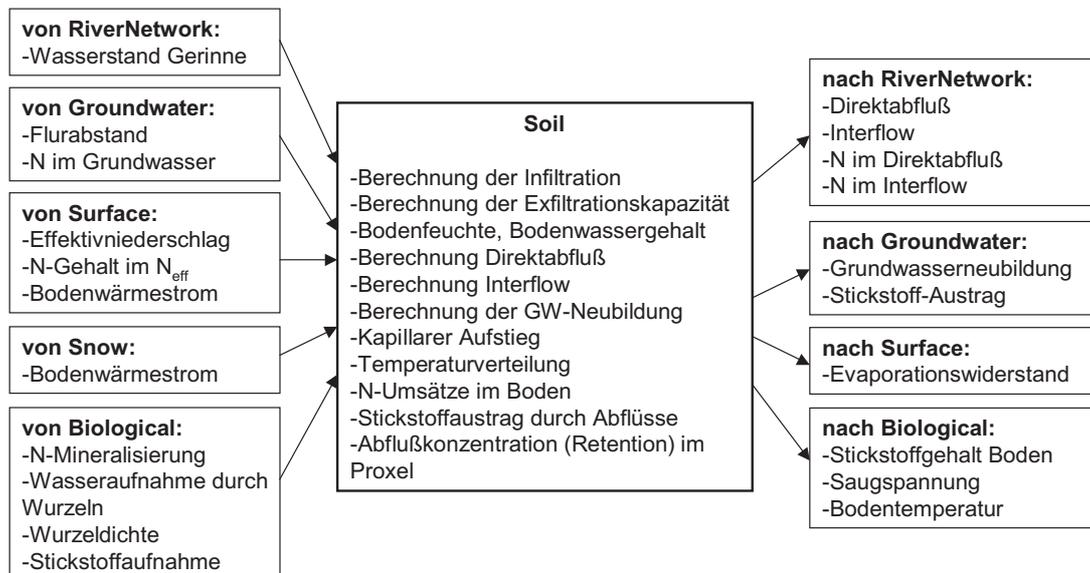


Abb. 5: Datenfluss zum und vom Objekt *Soil* im Verbundobjekt *Landsurface* sowie von ihr bearbeitete Prozesse

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 (retentierte 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 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. Das Kopplungskonzept mit den Verbundobjekten *Groundwater* und *Rivernetwork* ist in Kapitel 2.1.1. beschrieben.

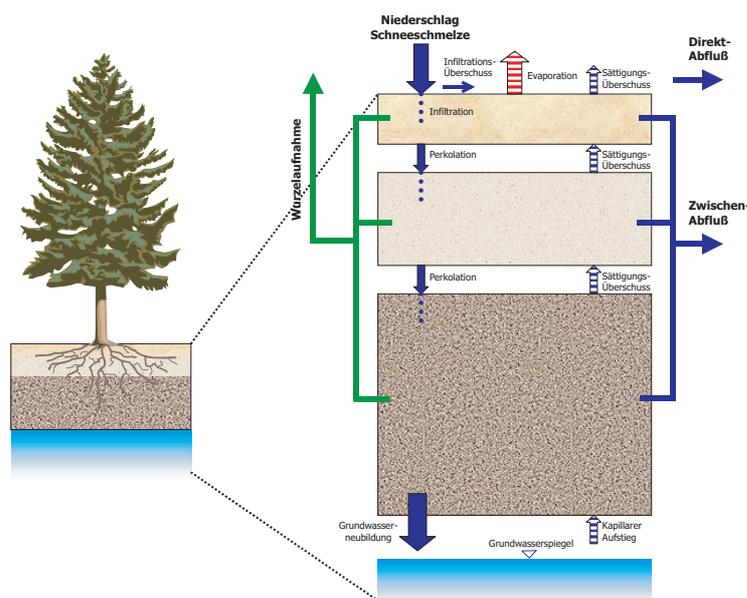


Abb. 6: Darstellung der modellierten Wasserflüsse im 3-Schicht Bodenmodell

Die Modellierung einer oberflächennahen Bodenschicht hat wegen des schnelleren Aufbrauchs des Wasservorrats durch die Zunahme des Matrixpotentials Konsequenzen auf die Evaporation, weswegen die Berechnung eines Evaporationswiderstandes (an *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 je-

weilige Temperaturgradient ergibt sich dabei in Abhängigkeit der bodenartspezifischen volumetrischen Wärmekapazität, der thermischen Leitfähigkeit und Diffusivität und einer Dämpfungstiefe.

Zu Beginn des Jahres 2003 wird die Modellierung des Stickstoffhaushaltes implementiert. Sie 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 *Rivernet-work*) direkt proportional zur Sickerwassermenge ist. Es wird angenommen, dass Nitrat in wässriger Lösung vorliegt und in jeder Bodenschicht gleichmäßig verteilt ist. Im kommenden Jahr wird das Teilmodell *Soil* im Verbundobjekt *Landsurface* weiter entwickelt, getestet und validiert.

3.1.4 AtmoStations

Das Objekt *AtmoStations* (bisher: *MeteoStationsData*) liefert meteorologische Daten auf der Grundlage von Stationsmessungen der meteorologischen Dienste. Sie wurde in der Berichtsperiode in das Verbundobjekt *Atmosphere* integriert und angepasst. Das Teilmodell *AtmoStations* lieferte bereits zur Statuskonferenz im Mai 2002 erste meteorologische Eingangsgrößen, ohne die DANUBIA nicht hätte betrieben werden können. 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 in Form von insgesamt etwa 450 Stationsmessdaten 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.

3.2 Fernerkundung

Ein integratives Monitoring der Landoberfläche durch Satellitenaufnahmen stellt einen wesentlichen Bestandteil des Integrationskonzeptes von GLOWA-Danube dar. Fernerkundungsdaten werden eingesetzt, um sowohl Eingabedaten für die Modellierung zu gewinnen als auch Validierungsdaten bereit zu stellen. Eine tragende Rolle nehmen Fernerkundungsdaten auch hinsichtlich der Untersuchung der Skalierungsproblematik ein. Dafür werden Fernerkundungssensoren unterschiedlicher zeitlicher, räumlicher und spektraler Auflösung genutzt. 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. Verfahren der Fraktalanalyse liefern die Methodik, um den Informationsgehalt skalunenabhängig zu erfassen und zu vergleichen und somit die für hochauflösende Daten erprobten Algorithmen für mesoskalige Daten anzupassen. Wenn so die Informationsgewinnung aus mesoskaligen Daten gesichert ist, sollen die im Vergleich zur Proxel-Auflösung subskalig vorliegenden mesoskaligen Daten über das Konzept der *Geokomplexe* in DANUBIA eingebunden werden. Um zur Validierung der Untersuchungen Bodendaten zu erhalten, wurde 2002 eine Geländekampagne durchgeführt (vgl. Kap 3.2.3).

3.2.1 Multisensorale, multiskalige Ansätze

3.2.1.1 MODIS (=MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer)

Über eingerichtete Benutzerkonten wurden für das Jahr 2001 Zeitserien der MODIS Produkte MOD09 Reflectance sowie MOD15 LAI/FPAR beschafft. Auf der Basis dieser Datensätze und der Europäischen CORINE Landnutzungsklassifizierung 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 (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 ergeben sich jedoch erhebliche Abweichungen im Vergleich zu dem MOD15 Produkt. Dieser Sachverhalt soll mit Hilfe von Daten aus der Geländekampagne 2002 auf seine Plausibilität überprüft werden (vgl. Abb. 9). Abbildung 7 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.

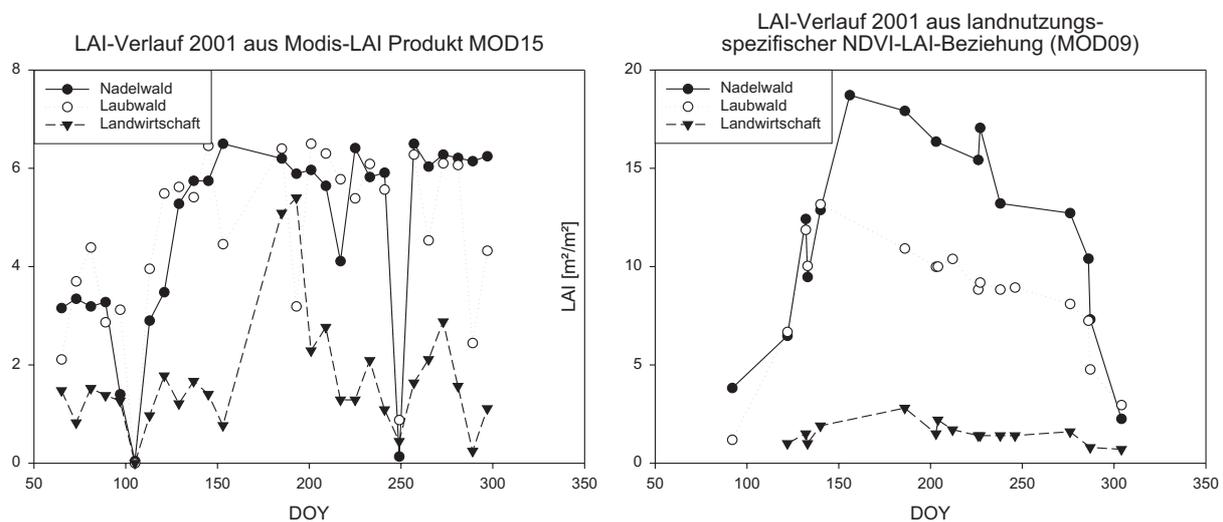


Abb. :7 LAI-Verlauf 2001 für einzelne Pixel nach dem MOD15 LAI-Produkt (links) und landnutzungsabhängige LAI-Ableitung aus MODIS Reflectance Daten (rechts)

3.2.1.2 ASTER (= Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)

Insbesondere für Studien zur Skalenabhängigkeit von Landoberflächenparametern und Prozessen ist es von herausragender Bedeutung, zeitgleiche Aufnahmen eines Gebietes zu erhalten. Da die Sensoren ASTER und MODIS auf derselben Satellitenplattform TERRA installiert sind, bieten sie die Voraussetzung zur zeitgleichen Erfassung der Erdoberfläche mit einer räumlichen Auflösung von 15m respektive 250/500/1000m. Da ASTER auftragsgesteuert arbeitet, wurde beim Jet Propulsion Laboratory der NASA ein „User Authorization Proposal“ eingereicht. Damit können ab 2003 gezielt Aufnahmen des Untersuchungsgebietes der Oberen Donau in Auftrag gegeben werden. Ein Konzept für diese Steuerung wird derzeit erstellt. Die mit bereits vorhandenen ASTER Daten durchgeführten Studien zur geometrischen Genauigkeit der Daten ergaben, dass für eine genaue Koregistrierung von Daten verschiedener Auflösungen eine Passpunktkorrektur erforderlich ist.

3.2.1.3 Landsat TM5/ETM+ (=Thematic Mapper 5 / Enhanced Thematic Mapper)

Mit den Sensoren der Landsat-Serie stehen zwei weitere Fernerkundungsinstrumente zur Verfügung, die die für Skalierungsuntersuchungen erforderlichen Daten nahezu zeitgleich liefern können (offset 15 min). Mit einer räumlichen Auflösung von 30m passen sich diese

optimal in eine Datenpyramide für Skalenanalysen ein. Bislang wurden paarweise zeitgleiche Datensätze (ASTER/MODIS, Landsat/MODIS) beschafft. Mit diesen Datensätzen können nun Pilotstudien zur Skalierungsproblematik durchgeführt werden. Die vorliegenden Landsat-Szenen vom 18.06.2000 wurden zu diesem Zweck bereits geometrisch und radiometrisch aufbereitet (vgl. Landnutzungsklassifizierung aus Landsat TM Daten, Kap. 2.3.2).

3.2.1.4 MERIS (= MEdium Resolution Imaging Spetrometer)

Der abbildende Spektrometer MERIS auf ENVISAT wurde im März 2002 erfolgreich gestartet. Dieser Sensor besitzt Spektralkanäle im sichtbaren Spektralbereich und Nahen Infrarot. Bei voller Auflösung entspricht die Pixelgröße 300x300m, womit eine Gesamtabdeckung des Einzugsgebietes mit nur einer Szene erreicht werden kann. Der Sensor eignet sich somit besonders zur flächendeckenden Ableitung von Landnutzungsinformation und Vegetationsparametern für die hydrologische Modellierung. Im Rahmen des „Primary Investigator“ Status für ENVISAT konnten bereits weitgehend wolkenfreie Szenen aus 2002 bei der ESA bestellt werden. Die Auslieferung der MERIS Daten erfolgt voraussichtlich Anfang 2003. Zusätzlich wurde bei der ESA für 2003 eine Bestellung weiterer MERIS Überflüge mit günstigem Aufnahmezeitpunkt und vollständiger Gebietsabdeckung aufgegeben und in das ESA-System eingespeist. Die MERIS Aufnahmeplanung wurde durchgeführt und die Verfahren zur Datenkonvertierung vorbereitet. .

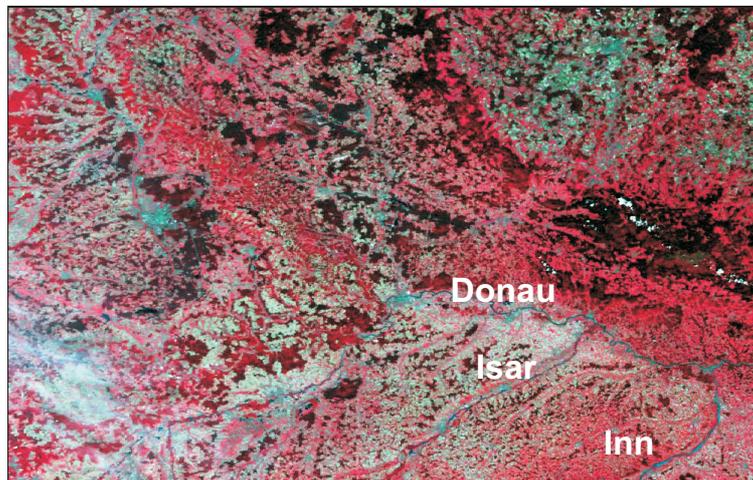


Abb. :8 MERIS Falschfarbenbild (Kanäle 5-7-14) eines Szenenausschnittes der Oberen Donau (Full Resolution, Aufnahme datum: 19.08.2002)

Erste Testdatensätze mit realen MERIS Daten im „Full Resolution Mode“ (FR, 300m) und „Reduced Resolution Mode“ (RR, 1200m) konnten inzwischen von der ESA beschafft werden (s. Abb. 8)

3.2.2 Verbesserung der Landnutzungsklassifikation aus Spektraler Entmischung von NOAA-AVHRR Daten

Mit Hilfe des schon im vorigen Bericht beschriebenen Verfahrens der multitemporalen Spektralen Entmischung können flächenhafte, subskalige Landnutzungsklassifikationen aus multitemporalen Datensätzen mesoskaliger Sensoren gewonnen werden. Gegenüber dem letzten Berichtszeitraum wurde die Methodik zur Entmischung von NOAA-AVHRR Daten nochmals verbessert. Durch Verwendung des Thermalkanals einer ausgesuchten AVHRR Sommerszene als zusätzlichem Kriterium bei der Geofaktoren-gestützten Auswahl von potenziellen Landnutzungen konnte vor allem eine wesentlich genauere Abgrenzung von versiegelten Flächen erreicht werden. Dadurch konnten Entmischungsfehler durch Über- oder Unterschätzung bei einigen Landnutzungsklassen nochmals deutlich reduziert werden. Das trifft vor allem auf die von ihrer räumlichen Lage her schwer vorab trennbaren Klassen Siedlung, Grünland und Ackerbau zu. Die Verbesserungen in den Ent-

mischungsergebnissen spiegeln sich in der Validierung durch eine erhöhte Gesamtklassifikationsgenauigkeit wider. Der verbesserte Landnutzungsdatensatz wurde über die zentrale Datenbank allen Teilprojekten von GLOWA-Danube zur Verfügung gestellt.

3.2.3 Geländekampagne zur Messung des Blattflächenindex

Im Sommer 2002 wurde im Testgebiet Ammer eine speziell angepasste Geländekampagne zur Messung des Blattflächenindex (LAI) durchgeführt. Auf je drei ausgewählten großflächigen Feldern mit Winterweizen und Silomais wurde zu mehreren Messzeitpunkten während der Vegetationsperiode der Bestandes-LAI an festgelegten Messpunkten gemessen. Dafür wurden zwei aus der Grundausstattung des Antragstellers bereitgestellte tragbare LAI-Meter (LI-COR LAI2000) eingesetzt, die den Bestandes-LAI aus dem Bedeckungsgrad des oberen Halbraumes innerhalb des Pflanzenbestandes in unterschiedlichen Raumwinkelsegmenten messen (s. Abb. 9).

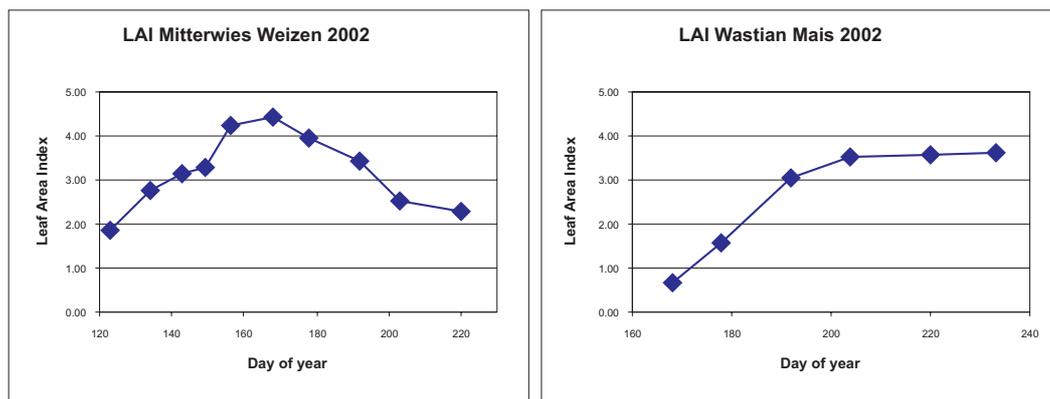


Abb. :9 Geländemessungen des LAI-Verlaufes (als Feldmittel) auf den Testfeldern „Mitterwies Weizen“ und „Wastian Mais“ im Jahr 2002

Diese im Gelände erhobenen Messdaten werden insbesondere für die Frage der Skalierbarkeit hydrologischer Prozesse bzw. für die Ableitung der zur Modellierung erforderlichen Parametersätze benötigt. Darüber hinaus werden die Daten vor allem zur Validierung der aus MODIS abgeleiteten flächenhaften LAI-Verteilung verwendet. Des weiteren wurden erste Versuche zur Messung des Bestandes-LAI von Laub- und Nadelwaldstandorten mit Hilfe von LAI-Metern durchgeführt.

3.2.4 Texturanalyse von Radar-Bilddaten zur Identifizierung von Siedlungsflächen

Für viele Teilprojekte innerhalb von GLOWA-Danube wie z.B. Agrarökonomie (Dabbert) oder Umweltökonomie (Sprenger) stellt ein möglichst genauer, subskaliger Datensatz der Verteilung von Siedlungsflächen und Industriestandorten eine wichtige Modellgrundlage dar. Die im ersten Projektabschnitt verwendeten Landnutzungs-klassifikationen sind für diesen Zweck auflösungsbedingt jedoch nur eingeschränkt verwendbar. Mit der derzeit durchgeführten Landnutzungs-klassifizierung aus LANDSAT Daten wird eine wesentlich bessere Datengrundlage erzeugt werden (vgl. Landnutzungs-klassifizierung aus LANDSAT-TM Daten). Speziell die rein spektrale Klassifizierung von Siedlungsflächen aus LANDSAT Daten in hoher Genauigkeit ist jedoch wegen der spektralen Ähnlichkeit zu anderen Landnutzungs-klassen oft mit Unsicherheiten behaftet. Deshalb wurde ein Konzept erarbeitet, um Siedlungs- und Industrieflächen mit Hilfe von Texturanalysen aus satellitengestützten Radar-Aufnahmen schon vorab zu extrahieren. Solche Areale zeichnen sich in Radar-Bildern mit geeigneter Auflösung (z.B. ERS, RADARSAT) auf Grund ihrer hervorragenden Rückstreuungseigenschaften besonders deutlich ab. Zur texturbezogenen Auswertung solcher Radar-Szenen wurde eine Einzelplatzlizenz der innovativen Klassifikationssoftware „eCognition“ erworben, die eine regelgesteuerte Segmentierung und anschließende objektbasierte Klassifizierung von Rasterdatensätzen ermöglicht. Erste Tests deuten auf eine hervorragende Eignung der Software speziell zur verbesserten Klassifizierung von Siedlungs- und Industrieflächen hin.

3.3 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. Um die Datenmenge innerhalb eines km² zweckmäßig zu reduzieren, aber die hydrologisch relevante räumliche Heterogenität zu erhalten, wurde für die skalierte, hydrologische Modellierung das Konzept der Geokomplexe entwickelt, mit dem für mesoskalige Rasterflächen [n] Parametersätze subskalig modelliert werden können (n>=1). Die konzeptionellen Grundlagen dieses Ansatzes wurden im Jahresbericht 2001 beschrieben und im Berichtszeitraum weiterentwickelt und verfeinert.

Nach verschiedenen Sensitivitätsstudien liegt dem Verfahren eine prozessbezogene Flächen-gewichtung zur Bestimmung der hydrologisch relevanten Geokomplexe zugrunde. Bei der gezielten, hierarchischen Aggregation der Flächenparameter zu Geokomplexen für die hydrologische Modellierung wird nach hydrologischen Prioritäten vorgegangen.

Die Landnutzung übernimmt eine entscheidende Rolle, was den Einfluss der einzelnen Parameter auf hydrologische Flüsse und die Interaktionen an der Grenzschicht angeht. Sie ist wesentlich dynamischer als Boden- und Reliefinformationen und enthält ferner bereits implizit Informationen über Boden und Relief. Darüber hinaus kann die Landnutzung z.B. über Fernerkundungsmethoden und Feldkampagnen bestimmt werden. Der Erhalt der Landnutzung wird infolgedessen prozessbezogen als erste Priorität festgelegt, vor dem Erhalt der Bodeninformation an zweiter und der Reliefinformation an dritter Stelle. Bei der Bildung der Geokomplexe eines Proxel wird daher in diesem ersten Ansatz von der Landnutzung und deren Flächenanteil ausgegangen, der jeweils eine Bodenart, eine mittlere Höhe, ein mittleres Gefälle und eine Exposition zugeordnet wird (vgl. Tab. 2).

Tab. :2 Geokomplexe im Testgebiet Siedlung

Landnutzung	Bodenart	Mittlere Höhe	Mittleres Gefälle	Exposition	Flächenanteil
Geokomplexe					
Siedlung	Lt2	841 m	5,3%	südwest	57%
Grünland	Lt2	838 m	5,1%	südwest	36%
Nadelwald	Lt2	871 m	57,1 %	nordost	7%
Mesoskala					
Siedlung	Lt2	842 m	8,9 %	südwest	100 %

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 bezogen zur expliziten Modellierung auf der Mikroskala erzielt werden.

Die Effizienz dieses Verfahrens wurde in ersten Sensitivitätsstudien mit dem SVAT-Modell PROMET untersucht und schrittweise erhöht. Dazu wurden mesoskalige und subskalige Modellrechnungen für drei Ausschnitte aus dem Donau-Einzugsgebiet der hochaufgelösten Modellrechnung auf der Mikroskala gegenübergestellt (vgl. Abb. 10). Die jeweiligen Testgebiete

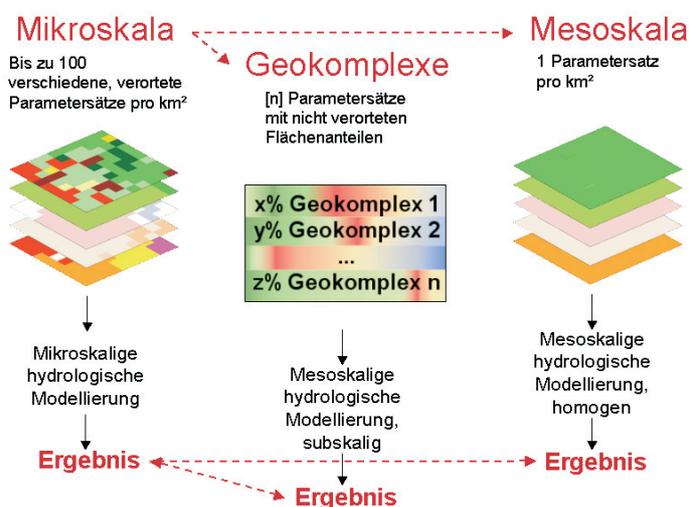


Abb. :10 Konzept der Sensitivitätsstudie

wiesen die Hauptlandnutzungen Mischwald, Grünland und Siedlung auf. 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. 11 und Abb. 12).

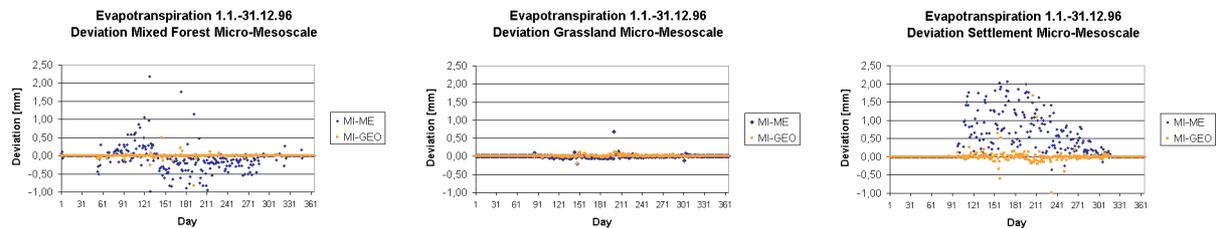


Abb. :11 Abweichung der modellierten Evapotranspiration in den Testausschnitten Mischwald, Grünland und Siedlung: Mikroskala-Mesoskala (MI-ME) und Mikroskala-Geokomplexe (MI-GEO)

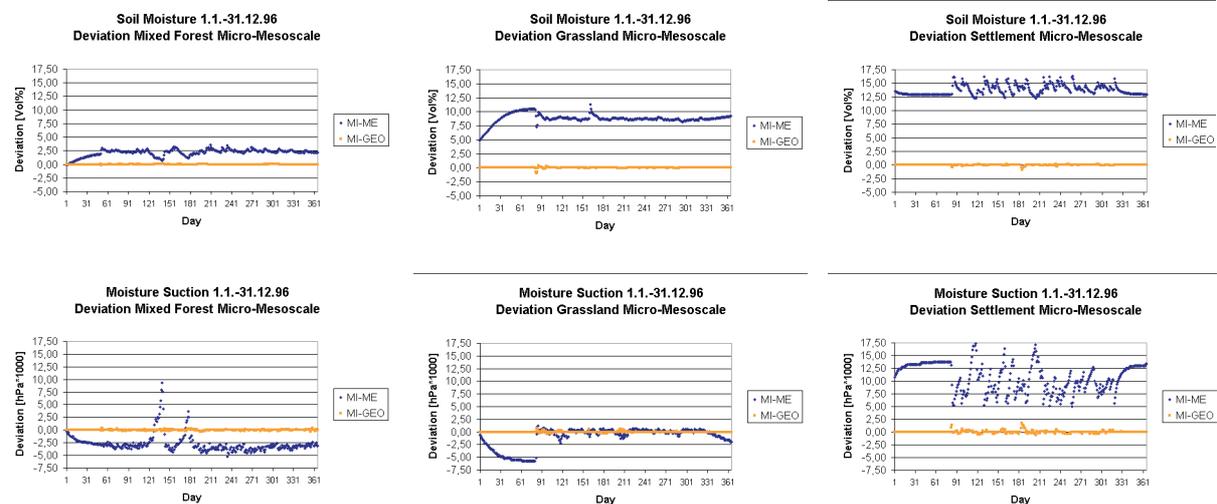


Abb. :12 Abweichung der modellierten Bodenfeuchte und Saugspannung in den Testausschnitten Mischwald, Grünland und Siedlung: Mikroskala-Mesoskala (MI-ME) und Mikroskala-Geokomplexe (MI-GEO)

Die Verwendung der Geokomplexe führt bei der modellierten Bodenfeuchte und Saugspannung zu erheblich reduzierten Abweichungen von der Mikroskala. Dabei kann in der Modellsreihe Siedlung die deutlichste Verbesserung erzielt werden, da Siedlung in PROMET als versiegelte Fläche parametrisiert ist und daher auf der homogenen Mesoskala keine Bodenfeuchte bzw. Saugspannung berechnet wird.

Das Konzept der Geokomplexe basiert auf der Vorstellung, dass die Landnutzung der entscheidende Parameter bei der hydrologischen Modellierung ist. Das Hochskalieren mikroskaliger Daten auf die Mesoskala ist mit einem Informationsverlust verbunden. Je mehr Heterogenität dabei 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 subskalig besser als eine homogene Aggregation nach Majorität. Als Konsequenz daraus ergeben sich für die untersuchten Teilgebiete erhebliche Verbesserungen bei der Modellierung von Evapotranspiration, Bodenfeuchtedynamik und Saugspannung im Vergleich zur homogenen mesoskaligen Modellierung, jeweils bezogen auf die mikroskalige Modellierung. Aktuell laufende Sensitivitätsanalysen werden die Prioritätensetzung, nach der die Geokomplexe gebildet werden, untermauern und die Landnutzung (im Gegensatz zu Boden und Relief) als geeigneten Ausgangspunkt darstellen.

4. Weiteres Vorgehen

Das Verbundobjekt *Landsurface* ist zum Zeitpunkt der Antragsstellung in das DANUBIA System bereits weitgehend integriert. Die Schnittstellen zu den Verbundobjekten *Atmosphere*, *Rivernetwork* und *Groundwater* sind prototypisch modelliert, implementiert und funktionieren fehlerfrei. Die Kopplung mit den Objekten *Farming* und *Tourist* des Verbundobjektes *Actors* befindet sich im Stadium der Modellierung und wird ebenfalls zum Ende der ersten Antragsphase implementiert sein. Gleiches gilt für die dabei zu übergebenden Parameter, die von den Vorarbeiten der *Landsurface* profitieren können (z.B. von der Entwicklung von *Layer*-Datentypen für den Datenaustausch zwischen *RadiationBalance*, *Soil* und *Biological*, deren Struktur und Funktionalität auch für den Austausch mit *Farming* geeignet sind).

Bis zum Ende der ersten Antragsphase werden die Prototypen der einzelnen Teilmodelle sukzessive durch Objekte mit voller Funktionalität ausgetauscht. Dazu werden die einzelnen abgebildeten Prozesse in größerer Detailliertheit beschrieben. Diese Modellverbesserungen beinhalten auch die Neuimplementierungen von Algorithmen einzelner Parameter, die durch die neu formulierte Kopplung der Modellobjekte innerhalb des Verbundobjektes *Landsurface* erforderlich geworden sind. Im Objekt *Soil* wird ein Stickstoffmodell implementiert. Die erweiterten Objekte *RadiationBalance*, *Surface* und *Soil* werden getestet und auftretende Fehler vor der Kopplung im Modellverbund eliminiert. Damit wird am Ende der ersten Antragsphase ein funktionsfähiges und getestetes Modell der Landoberfläche zur Verfügung stehen; welches die Ziele der ersten Projektphase vollständig erreicht. Die Entwicklung und Implementierung tragfähiger Kopplungen mit den Verbundobjekten *Groundwater*, *Rivernetwork* und *Atmosphere* stellt einen weiteren thematischen Schwerpunkt dar. Damit verbunden sind weitere Testläufe in der gemeinsam vereinbarten Testperiode Oktober 1999 bis Dezember 2000. Nach der Implementierung aller vorgesehenen Verbundobjekte, dem Test und der Fehlerbeseitigung werden bis Ende der ersten Antragsphase erste Szenarienläufe durchgeführt. Dabei wird die aktuelle Periode der Jahre 1999 bis 2003 ins Auge gefasst, da hier erstens die Datenverfügbarkeit am größten ist und zweitens die Szenarienläufe gleichzeitig der fortgesetzten Modellvalidierung dienen können. Somit werden die gesetzten Ziele der ersten Antragsphase vollständig erreicht.

Das Konzept der Geokomplexe soll bis Ende der ersten Antragsphase voll entwickelt, getestet und in einem Testgebiet implementiert sein. Dazu wird derzeit ein Regelwerk zur automatisierten Bestimmung hydrologisch sensitiver („optimaler“) Geokomplexe entwickelt. Für die Teilmodelle *RadiationBalance* und *Surface* wird angestrebt, die Skalierungsfähigkeit der implementierten Algorithmen in einem Testgebiet zu überprüfen. Damit werden wichtige Vorarbeiten für gekoppelte Skalierungsarbeiten der nächsten Antragsphase geleistet.

Bis zum Ende der ersten Antragsphase werden flächenhafte Parametersätze neuer Sensoren mit mittlerer räumlicher Auflösung (MODIS, MERIS) für das gesamte Einzugsgebiet zur Verfügung stehen. Aus ASTER-Daten abgeleitete Parameter werden für ausgewählte Testgebiete in hoher räumlicher Auflösung bereit gestellt. Sie dienen in der Skalierungsfrage der Validierung der abgeleiteten Parameter untereinander sowie als Bindeglied zwischen in-situ Messungen und den mesoskaligen Sensoren MODIS und MERIS. Die abgeleiteten Landnutzungsparameter umfassen den Blattflächenindex, die absorbierte photosynthetisch aktive Strahlung, die Landoberflächenalbedo, die Landoberflächentemperatur und den Grad der Schneebedeckung.

Die Einbeziehung der Landnutzungsklassifikation aus der Spektralen Entmischung von NOAA-AVHRR Daten (PROBECK et al. 2002) in das DANUBIA System ist bereits vollzogen und steht damit jedem Modellobjekt zur Verfügung. In Zusammenarbeit mit dem Zentralprojekt wird bis Ende der ersten Antragsperiode an einer detaillierteren Bestimmung der räumlichen Verteilung versiegelter Flächen gearbeitet, die in dem Verbundobjekt *Actors* der räumlichen Disaggregation der Bevölkerung im DANUBIA Testgebiet dient.

Literatur

- CAMPBELL, G.S. and NORMAN, J.M. (1998): An introduction to environmental biophysics. 2. Auflage, Springer-Verlag, New York, 286 p.
- 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), p. 722-730.
- GOUDRIAAN, J. (1977): Crop micrometeorology: a simulation study. Simulation Monographs, Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen.
- KONDO, J., SAIGUSA, N., and SATO, T. (1992): A model and experiment study of evaporation from bare soil surfaces. *J. Appl. Meteorol.* 31, p. 304-312.
- LUDWIG, R., BACH, H., GRÜNER, V. and MAUSER, W. (1998): The Use of Imaging Spectrometer Data to Determine Vegetation Parameters for SVAT-Modelling, Proceedings of the EARSeI Workshop on Imaging Spectroscopy, Zürich, p. 263-270.
- MONTEITH, J.L. (1965): Evaporation and Environment. in: G.E. Fogg (Hrsg.): The State and Movement of Water in Living Organisms. Sympos. Soc. Exper. Biol., Bd. 19, Academic Press, New York, p. 205-234.
- PENMAN, H.L. (1948): Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. *Proc. Roy. Soc. London*, A193, p. 120-146.
- RITCHIE, J.T., SINGH, U., GODWIN, D.C. and 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. p. 83-102.
- SCHNEIDER, K. (1999): Gekoppelte, flächenverteilte Modellierung von Pflanzenwachstum und Verdunstung im Ammereinzugsgebiet mit dem prozeß-orientierten Evapotranspirations- und Vegetationsmodell PROMET-V. Habilitationsschrift, LMU München. 263 S.
- STOLZ, R. (1998): Die Verwendung der Fuzzy-Logic Theorie zur wissensbasierten klassifikation von Fernerkundungsdaten. *Münchener Geographische Abhandlungen*, Bd. B26. 177 S.

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

Organisatorisches

1.1 Stellenbelegung und Arbeitsgruppe im Jahr 2002

Modellierung des Gasaustausches von Ökosystemen:

- Dr. Markus Reichstein *Biological-Objekt*; UML-, C-, Java-Programmierung, Koordinierung 12 Monate BATIIa/2
- Frau Albena Bobeva Räumliche Änderungen des Blattflächenindex entlang von Höhengradienten, 12 Monate BATIIa/2
- Herr Dinh Nguyen “Radiation Use Efficiency“ und absorbierte Strahlung (APAR) 12 Monate BATIIa/2
- Dr. Quan Wang Zeitskalierung, Strahlung und Skalierung in Bergregionen 3 Monate BATIIa
- Dr. Hajo Scharfenberg JAVA Programmierung des Biological-Objekts in DANUBIA 1,5 Monate BAT Iia

Sommernesskampagnen laut Antrag

- Frau Olimpia Kolcun Transpirationmessungen entlang von Höhengradienten in Berchtesgaden Stipendium 9 Monate Beitrag zu GLOWA
- Herr Markus Schmidt Transpirationmessungen entlang von Höhengradienten in Berchtesgaden 1 Monat BAT IIa/2
- Herr Marco Pecchiari Aufbau der Messstationen im Freiland 1,5 Monate BAT IIa/2
- Dr. Matthias Drösler Gaswechselformen entlang von Höhengradienten in Berchtesgaden 3,5 Monate BAT Iia

1.2 Publikationen

BOBEVA, A., et al. (2003): Landscape variation in leaf area index of forest stands in the Berchtesgaden National Park, Bavarian Alps - analysis with Landsat TM imagery and forest inventory data, in Vorbereitung.

KOLCUN, O., et al. (2003): Transpiration of coniferous forest stands along an elevation gradient in the Bavarian Alps, in Vorbereitung.

- REICHSTEIN, M. et al. (2002): Validation effort of a simple GPP algorithm using MODIS data at FLUXNET sites. EOS Transactions 83, American Geophysical Union, S. 45-46.
- WANG, Q., et al. (2003a): Estimating solar radiation in complex terrain, vorläufige Version vollständig.
- WANG, Q. et al. (2003b): Seasonal and interannual variations in radiation-use efficiency in a conifer stand, vorläufige Version vollständig.
- WANG, Q., et al. (2003c): Simulation of temporal variation in gross primary production of coniferous and deciduous temperate forests, vorläufige Version vollständig.

1.3 Teilnahme an Tagungen und Forschungsaufenthalte

- 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, um einen Austausch der Konzepte zur vereinfachten Wachstumsmodellierung und der Kopplung zwischen Fernerkundungsdaten und Ökosystemmodellen zu erzielen. Modelle, die auf der Beschreibung der Strahlungsausnutzungseffizienz basieren, wurden an temperaten europäischen „FLUXNET“ Waldstandorten getestet (s.u.).

2. Integrative Forschung - 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 1km² 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 „up-scaling“-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.

Das *Biological*-Objekt in DANUBIA 0.9 als Teil des Verbundobjekts *Landsurface* wurde im Statusbericht (GLOWA Statusreport 2002) ausführlich beschrieben. Die folgenden Änderungen in der Struktur wurden für künftige Versionen als notwendig identifiziert:

- 1) eine verbesserte Kopplung von oberirdischen Prozessen der Pflanzenentwicklung und des atmosphärischen Austausches mit der Fernerkundung, um die Modellläufe auf der Regionalebene zu validieren aber auch die Änderungen in Fernerkundungssignalen in bezug auf Prozesssteuerung zu interpretieren,
- 2) eine Verbesserung der Performanz des *Biological*-Objekts innerhalb des Verbundobjektes *Landsurface*, um DANUBIA für Simulationen im Donaeinzugsgebiet zu beschleunigen und
- 3) unterschiedliche Beschreibungen für die Biomasseproduktion in naturnahen Ökosystemen und auf landwirtschaftlichen Flächen, um im ersten Fall die natürliche Anpassung von Prozessen entlang von Höhengradienten in den Alpen und im zweiten Fall die Management-Eingriffe im System effektiv zu behandeln.

Die Schwerpunkte der Arbeiten während 2002 in bezug auf die Entwicklung des *Biological-Objekts* sind in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

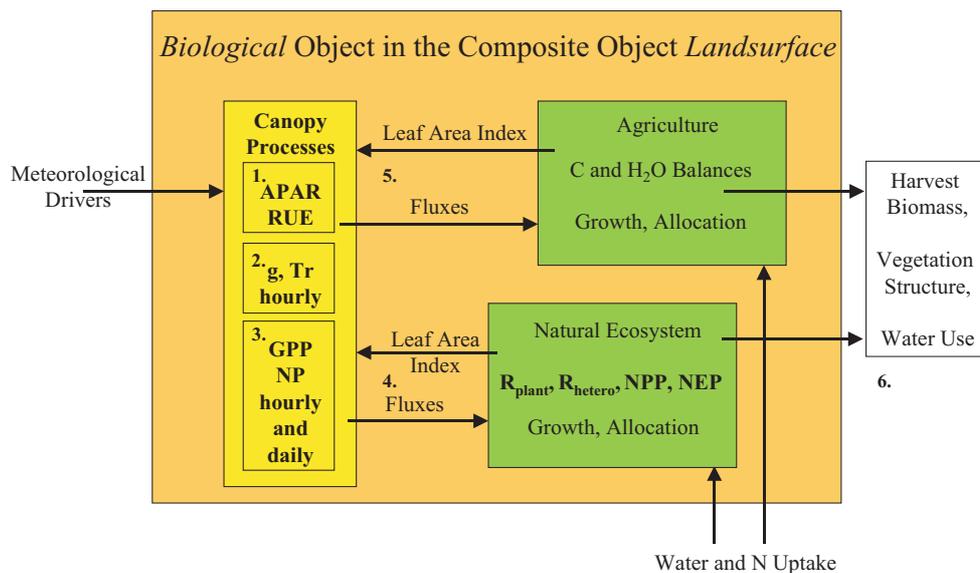


Abb. 1: Schematische Darstellung des *Biological-Objekts* mit geplanten Parallelentwicklungen für Wachstum in naturnahen und landwirtschaftlichen Ökosystemtypen. Die Aufteilung unterstützt in beiden Bereichen a) die unterschiedliche Betonung von bestimmten Vorgängen in Bezug auf den Zeittakt in DANUBIA, b) die unterschiedliche Art der Eingriffe in Bezug auf Management und c) die spezifischen Bedürfnisse der anderen Gruppen von GLOWA-DANUBE (z.B. Teilprojekt Agrarökonomie) (APAR=absorbierte Strahlung im photosynthetisch aktivem 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} and R_{hetero}=autotrophe und heterotrophe Atmung; NPP=Nettoprimärproduktion; NEP=Nettoökosystemproduktion)

Wichtige integrative Fortschritte wurden für die nummerierte Komponente des Diagramms (Canopy Processes 1-3) gemacht. Weitere sektorale Ziele in der Beschreibung von Blattflächenindex entlang von Höhengradienten, der Steuerung von Austauschprozessen und des Wasserverbrauchs und Wachstums von Wäldern (4-6 in Abb. 1) wurden wie unten ausführlich beschrieben erreicht.

2.1 Kopplung zwischen Fernerkundung und Ökosystemprozessen

Fernerkundungsmethoden, die schwerpunktmäßig von der Gruppe Hydrologie/Fernerkundung behandelt werden, stellen ein wichtiges integratives Element des GLOWA-Danube-Projektes dar. Daher ist es ein wichtiges integratives Ziel der Teilprojekte, mit der Fernerkundung kompatible und einfache Prozessbeschreibungen zu finden. Gleichzeitig müssen diese Prozessbeschreibungen mit heute verfügbaren Daten auf Ökosystemebene validierbar, d.h. kompatibel sowohl mit langfristigen Eddy-Kovarianz-Messungen von ET (evapotranspiration) und NEE (net ecosystem CO₂ exchange), mit Messungen der Transpiration, der Blattphotosynthese und der Bodenatmung an Testflächen als auch mit LAI-Schätzungen vom MODIS-Satellitendaten sein. Daraus ergibt sich die in Abbildung 2 skizzierte Strategie der Kopplung zwischen Fernerkundung und Ökosystemprozessen. Schlüsselvariablen für die Kopplung sind dabei Blattflächenindex (LAI), der Anteil absorbiertes photosynthetisch aktiver Strahlung (fPAR) und Strahlungsausnutzungseffizienz (RUE), die eine Berechnung von Kohlenstoffbilanzkomponenten (Bruttoprimärproduktion, GPP; Nettoprimärproduktion, NPP; Respirationskomponenten R_h, R_a und R_s) ermöglichen. Phänologische Entwicklung der Vegetation wird auf struktureller Ebene über Änderungen des NDVI (Fernerkundung) und auf funktioneller Ebene über Änderungen des Eddy-Kovarianz-GPP-Signals detektiert (Abb. 2) und kann auf diese Weise verglichen werden.

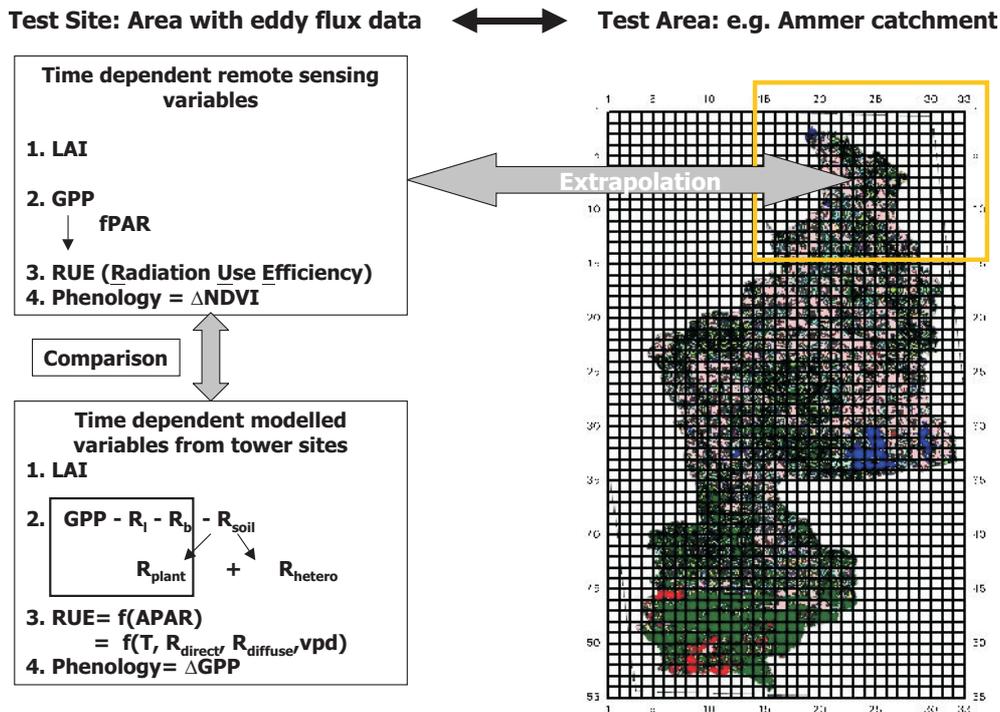


Abb. 2: Allgemeine Strategie zur Kopplung von Fernerkundung und Ökosystemprozessen der Gruppe Pflanzenökologie in GLOWA-Danube (LAI=Blattflächenindex; NDVI=„normalized difference vegetation index“; R_l =Blattatmung (leaves); R_b Stammatmung (boles); R_{soil} =Bodenatmung; T=Temperatur; R_{direct} =direkte Strahlung auf Blätter im PAR-Bereich; R_{diffuse} = diffuse Strahlung auf Blätter im PAR-Bereich; sonst alle Abkürzungen wie in Abb. 1)

Der skizzierte Ansatz, Bruttopräzisionsproduktion über die Strahlungsausnutzungseffizienz zu berechnen, ist bereits häufig verwendet worden, um räumlich verteilte Schätzungen der Bruttopräzisionsproduktion oder Nettopräzisionsproduktion mit Hilfe von Fernerkundungsdaten zu erstellen. Diese sind jedoch hauptsächlich auf globaler Ebene angewendet und nicht an einzelnen Standorten gegen Ökosystemaustausch-Daten (z.B. Eddy-Kovarianz) validiert worden. Daher haben wir begonnen, eine derartige Evaluierung dieser Modelle an europäischen „FLUXNET“ Waldstandorten (Flussdaten aus der internationalen Datenbank FLUXNET; s. Univ. Bayreuth <http://btb4ne.bio.uni-bayreuth.de/CARBODATA/>, FALGE et al. 2002, 2003; s. auch Abb. 5 und Abb.7) durchzuführen, deren Vegetationstypen auch im Testgebiet von GLOWA-Danube vorkommen (Kiefern-, Fichten-, Mischwälder, sommergrüner Wald). Die einzelnen Standorte und ihr Bezug zum GLOWA-Danube Testgebiet sind kurz in Tabelle 1 beschrieben.

In Abbildung 3 ist beispielhaft ein Vergleich von observierten und in Danubia 0.9 modellierten LAI und fPAR für den gemäßigten Buchenstandort Hesse gezeigt. Da die Parametrisierung des modellierten LAI allgemein für Laubbäume gelten soll (keine genauere Landnutzungsklassifikation vorhanden) wird das verspätete Austreiben der Buche nicht korrekt wiedergegeben. Mit der derzeitigen Parametrisierung wird auch der Blattwurf etwas zu früh modelliert. Die Abweichungen sind klein, aber trotzdem sehr wichtig im jährlichen Kohlenstoffhaushalt. Eine Änderung der Modellparameter erlaubt eine Korrektur, was jedoch erst nach Vergleich mit weiteren Standorten Sinn macht. Die Dynamik der MODIS-Satellitendaten stimmt sehr gut mit den am Boden erhobenen LAI-Messungen überein.

Allerdings wird der Maximalwert des LAI vom MODIS Sensor unterschätzt, was auf eine Sättigung des Signals trotz verbesserter Retrieval-Algorithmen hindeutet. Winterliche Überschätzung des LAI deutet eventuell auf die Bodenvegetation hin.

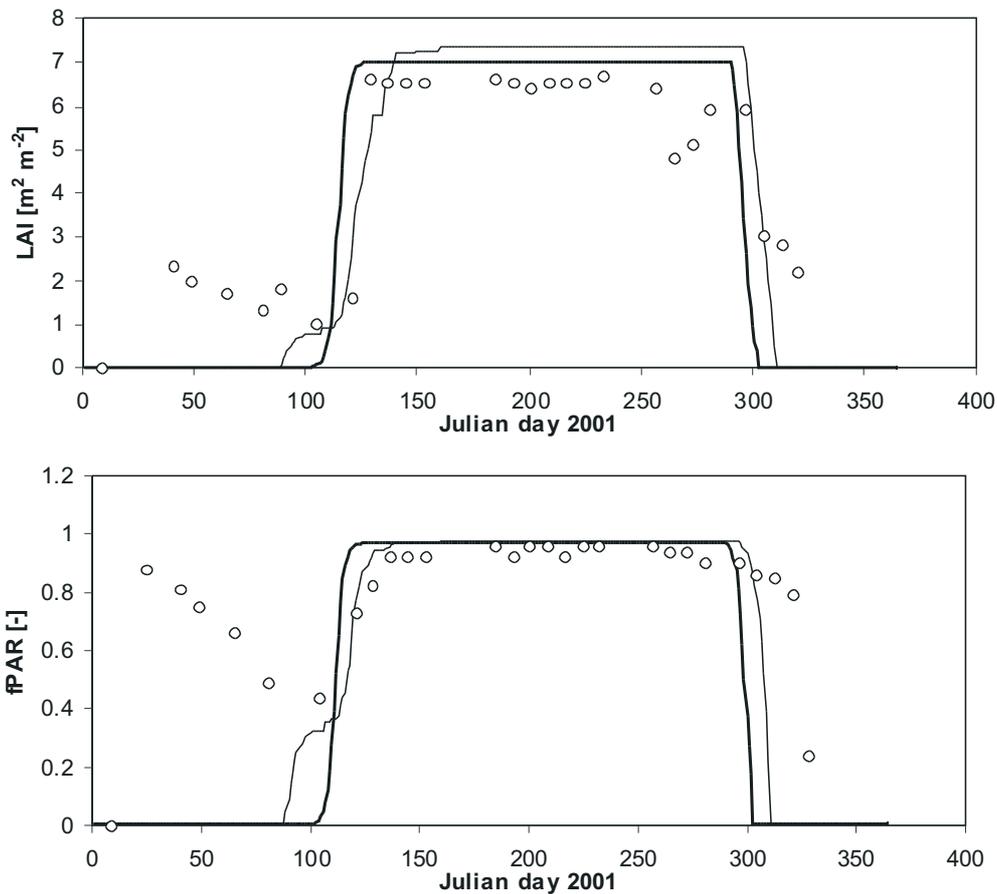


Abb. 3: Zeitreihen von Blattflächenindex (oben) und fPAR (unten) am Buchenstandort Hesse in 2001 (Vergleich zwischen beobachteten (dünne Linie), modellierten (nach Teilmodell in DANUBIA 0.9, dicke Linie), und MODIS-basierten Werten (Kreise))

Tab. 1: Ausgewählte Europäische Waldstandorte zur Kopplung von Fernerkundung und Ökosystemprozessen und ihr Bezug zum GLOWA-Danube Testgebiet

Abkürzung in Abb. 4/Standort	Vegetation	Klima	In GLOWA-Danube als ‚proxy‘ für
(T) Tharandt/ Deutschland	Immergrüner Nadelwald	Gemäßigt kontinental	Tiefeland-Fichtenforste
(He) Hesse/ Frankreich	Sommergrüner Laubwald	Gemäßigt sub- ozeanisch	Colline sommergrüne Wälder
(H) Hyytiala/ Finnland	Immergrüner Nadelwald	Kühl-gemäßigt bis boreal	Montane bis supalpine Nadelwälder
(V) Vielsalm/ Belgien	Mischwald	Gemäßigt ozeanisch	Tiefeland Mischwälder
(B) Bilos/Frankreich	Nadelwald	Warm-gemäßigt	Tiefeland-Nadelwälder an wärmebegünstigten Standorten (z.B. Kalk- kieferwälder)

Das Konzept der Strahlungsausnutzungseffizienz (RUE) erweist sich als robustes Konzept, welches sowohl der Modellvereinfachung als auch der Kopplung mit der Fernerkundung dienen kann. Ein erster Vergleich mit Eddy-Kovarianz-Daten zeigt, dass das Konzept der RUE-Modelle durchaus in der Lage ist, realistische Schätzungen der Bruttopräprimärproduktion zu liefern (Abb. 4), wobei aber eine undifferenzierte Beschreibung hinsichtlich Vegetationstyp, Saisonalität und Umwelteinflüssen offensichtlich zu erheblichen Modellfehlern führt und nicht

befriedigend ist. Einbindung der Einflüsse von Trockenstress, der Mischung diffuser/direkter Strahlung und der Stickstoffabhängigkeit der RUE sind notwendig für eine verbesserte Abschätzung der Bruttoprimärproduktion über die Fernerkundung, und um Kompatibilität in der Kopplung zwischen der Fernerkundung und DANUBIA zu erzielen. In Bezug auf den prozessbasierten Ansatz im *Biological-Objekt* müssen die Effekte von solchen Faktoren eingebaut werden, um DANUBIA ein effizientes und mit der Fernerkundung kompatibles Modell zur Verfügung zu stellen. Über die Fernerkundung wird es dann möglich sein, räumliche Muster im berechneten Gasaustausch zu verifizieren. Zur Zeit wird weiter daran gearbeitet, das Konzept für Agrarflächen anhand neuer Eddy-Kovarianz Daten zu validieren.

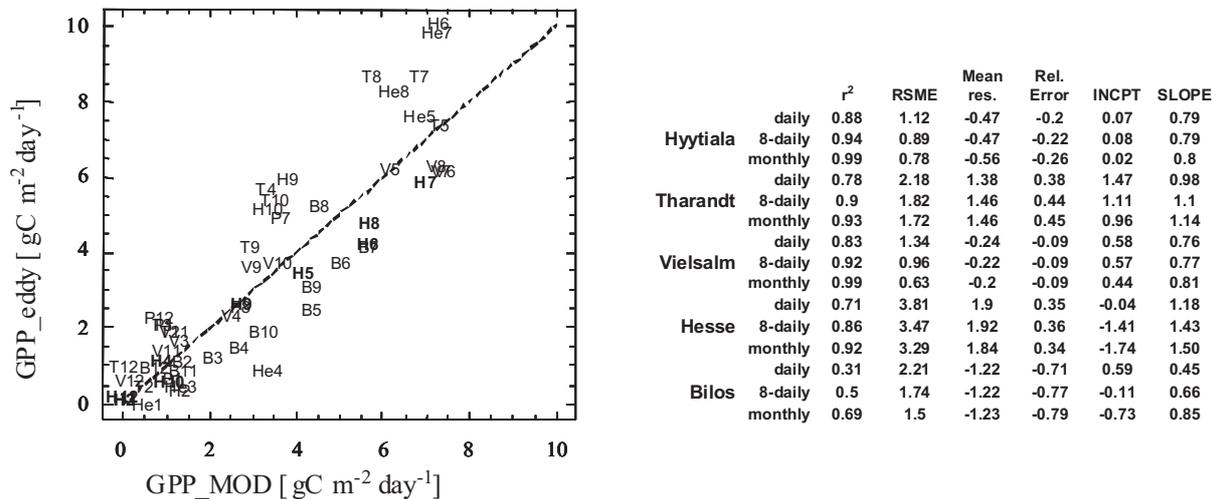


Abb. 4: Vergleich von modelliertem GPP („radiation-use-efficiency“ Modell, täglicher Zeitschritt) und Eddy-Kovarianz-GPP an fünf Standorten gemäßigten Klimas. Datenpunkte repräsentieren Monatsmittelwerte, Monate als Zahlen dargestellt. Buchstaben repräsentieren Standorte. Die Tabelle zeigt zusammenfassend statistische Modellevaluationen für tägliche, 8-tägliche, und monatliche Aggregation der Daten. (Die Abkürzungen für einzelne Standorte sind in Tab. 1 angegeben)

2.2 Implementierung und Performanz des *Biological-Objekts*

Die ersten Simulationsläufe des *Biological-Objekts* für das Donau-Einzugsgebiet waren langsam, da iterative Algorithmen zur Lösung der Energiebilanz, der stomatären Leitfähigkeit und der CO₂-Aufnahme für mehrere Vegetationschichten in allen 77000 Pixeln des Gebiets verwendet wurden. Die Algorithmen haben folgende Vorteile für Simulationen auf Landschafts- und regionaler Ebene: 1) Die starke Prozessorientierung erlaubt im Gegensatz zu „black-box“-Modellen eine nachvollziehbare Simulation von Teilprozessen (und deren Reaktion auf Umweltveränderungen), 2) die Prozessbeschreibung ist derart organisiert, dass Informationen zu Vegetationsstruktur und Physiologie einfach in sinnvollen Modellparametern abgebildet werden können, und 3) Parameterveränderungen in Szenarien können einfach zurücktransformiert werden, so dass diese Veränderungen eine direkte (nicht nur abstrakte) Bedeutung haben. Daher sollten die allgemeinen Prinzipien des *Biological-Objekts* beibehalten werden, während die Performanz innerhalb des Verbundobjektes Landsurface verbessert werden muss.

Alternative Wege zur Verbesserung der Performanz wurden untersucht und sind noch in der Bearbeitung. Diese beinhalten 1) eine Optimierung der Java-Programmierung des Objekts, 2) einen Austausch des Algorithmus für die stomatäre Leitfähigkeit mit einer mehr empirisch aber schnelleren Methode von JARVIS (1976), wobei die Iterationsschritte in der jetzigen Version umgangen werden können, 3) die Formulierung einer „Look-Up“-Tabelle, die von einem detaillierten Kronendach-Prozess-Modell unterstützt wird und 4) eine getrennte Berechnung der Kohlenstofffixierung (täglich mit Algorithmen vom BEPS [Boreal Ecosystem Process Simulator, Gaswechselformulierung von CHEN et al. 1999] und der stomatären Leitfähigkeit (bzw. Bestandesleitfähigkeit und Transpiration; stündlich). Der bevorzugte und aufgrund der neuesten Ergebnissen wahrscheinlichste Weg ist nach wie vor die Alternative (1), d.h. so wie schon

in der Dokumentation zum Verbundobjekt Landsurface beschrieben (GLOWA Statusreport 2002). Eine Verbesserung der Effizienz alleine wird wahrscheinlich ausreichend eine gute Kompatibilität mit anderen Modulen sein.

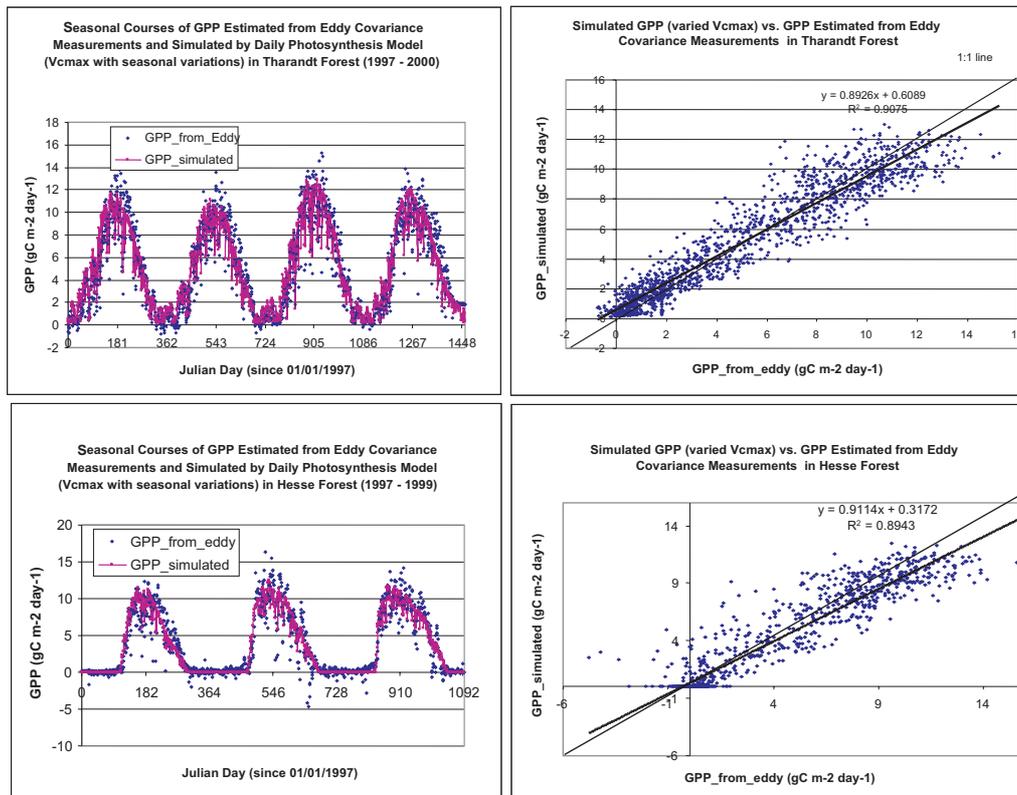


Abb. 5: Gemessene und simulierte Bruttoprämarproduktion (Modell BEPS, CHEN et al. 1999) für den Tharandter Fichtenwald (oben) und den Hesse Buchenwald (unten), wobei die Photosynthesekapazität saisonal an die Daten angepasst wurde

Trotzdem interessant für weitere projektinterne Diskussionen in Bezug auf die Skalierung waren die ausführlichen Tests der Algorithmen von CHEN et al. (1999; s. Abb. 5). Ihre Behauptungen wurden bestätigt, dass mittlere Tageswerte für Strahlung auf Sonnen- und Schattenblätter und die physiologische CO₂-Aufnahmekapazität durch ihre analytischen Formulierungen zu schätzen sind. Dabei kann man mit den zeitlich hochskalierten Tagesschätzungen den NEE-Verlauf ($NEE = \text{net ecosystem CO}_2 \text{ exchange}$) von Vegetationseinheiten fast genau so gut berechnen wie mit höheraufgelösten, geschichteten Bestandesmodellen (Beispiele für Fichten- und Buchenwälder in). Unsere Untersuchungen haben zu einer Verbesserung der Formulierungen von CHEN et al. (1999) geführt. Die Charakteristika der Saisonalität in der Physiologie des Kronendaches sind mit Hilfe von höheraufgelösten Prozessmodellen (z.B. PROXEL_{NEE} - REICHSTEIN 2001, 2002) zu parametrisieren (Manuskript in Vorbereitung - siehe oben Publikationen WANG et al. 2003c).

3. Sektorale Forschung - Parametrisierung des Ökosystemmodells für DANUBIA

3.1 Simulationen des jährlichen Gasaustausches im Donau-Einzugsgebiet

Das *Biological*-Objekt erlaubt bereits räumlich verteilte Berechnungen der Transpiration und der Kohlenstoffbilanz auf dem 1km²-Raster des Donau-Einzugsgebiets (vgl. Abb. 6A-C). Meteorologische Treiber sind in diesem Beispiel von 233 Stationen im Einzugsgebiet für das Jahr 2000 interpoliert worden. Die Landnutzung stellt eine Vereinfachung der CORINE-Klassen dar und repräsentiert Grasland, Misch-, Nadel-, und Laubwald. Innerhalb jeder Landnutzungsklas-

se variieren die Parameter jedoch je nach Höhenlage (Abb. 6D-F). Die räumliche Differenzierung ergibt sich aus der Überlagerung von Klimagradienten und Gradienten in der Vegetationsstruktur (Abb. 6A-F). Die tatsächlichen Parametereinstellungen in bezug auf Klima- bzw. Höhengradienten sind die bestmöglichen Schätzungen aus den in der Literatur verfügbaren Daten. Die Ergebnisse von eigenen Untersuchungen, um diese Parameterschätzungen durch Freilandkampagnen von GLOWA-Danube zu verbessern, sind in den folgenden Abschnitten zusammengefasst.

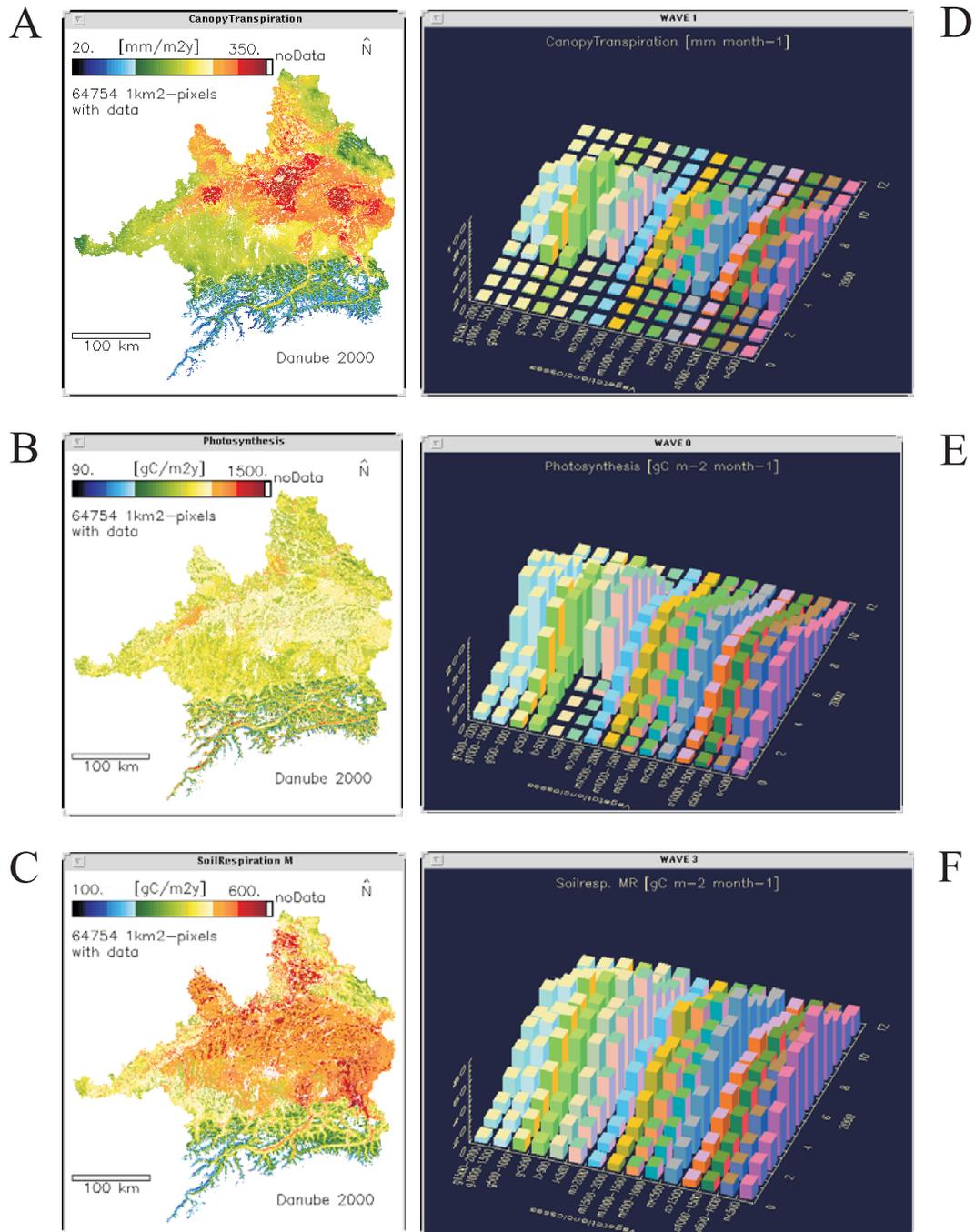


Abb. :6 A-C Erste Schätzungen von Transpiration, Nettphotosynthese und Bodenatmung integriert über das Jahr 2000, wobei von 233 Wetterstationen im Gebiet interpolierte meteorologische Größen verwendet wurden. Es wird angenommen, dass ausreichende Bodenfeuchte immer vorhanden ist. D-F: Ergebnisse nach Vegetationsklassen und Monaten aufgeteilt (g=Grasland; l=Laubwald; m=Mischwald; n=Nadelwald; Zahlen=Höhenstufe, 0 bis 12 sind Januar bis Dezember)

Während das derzeitige Modell Variablen berechnet, die wichtig für andere Komponenten in DANUBIA sind (z.B. Transpiration als Teil der Wasserbilanz), wird weiterer Variablenoutput für eine effektive Kopplung mit der Fernerkundung benötigt. Insbesondere die Berechnung der Strahlungsausnutzungseffizienz steht hier im Vordergrund (siehe integrative Forschung oben 2.1). Weitere Analysen von Datensätzen, erhoben an Standorten mit Eddy-Kovarianz-Messungen, werden hierfür in 2003 durchgeführt, so dass die Implementierung der Variablen R_{plant} , R_{hetero} und NPP (vgl. Abb. 1) erfolgen kann. Saisonale Veränderungen des LAI werden in 2003 neu untersucht, und verbesserte Algorithmen werden in das *Biological*-Objekt eingebaut. Eine Validierung der LAI-Beschreibung im Donaeinzugsgebiet wird durch Vergleich der LAI Entwicklung mit NDVI/fPAR-Daten aus der Fernerkundung möglich sein (Koperation mit dem Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung).

3.2 Parametrisierung des *Biological*-Objekts für Maisfelder

Die wesentlichen Datenquellen für die Parametrisierung des *Biological*-Objekts für Elemente der Landoberfläche mit unterschiedlichem Verhalten sind langfristige Aufzeichnungen mit der Eddy-Kovarianz-Methodik über den Austausch von Kohlendioxid und Wasserdampf mit der Atmosphäre aus der internationalen Datenbank FLUXNET sowie andere Datensätze, die ähnliche Informationen enthalten.

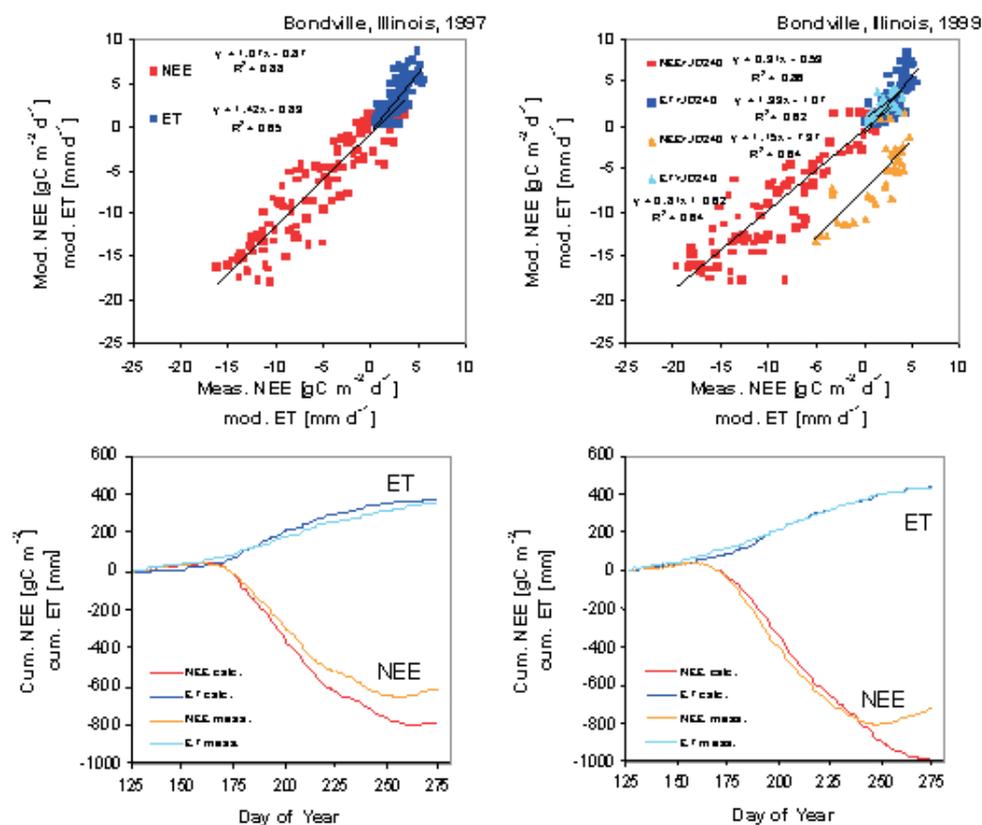


Abb. 7: Gemessener und modellierter Nettoökosystemaustausch von CO₂ und H₂O während zweier Sommerperioden in einem Maisbestand. Oben: Scatterplots; unten: Kumulativer Kohlenstoff bzw. Wasserverlust

In Bergregionen stützen wir uns auf Methoden der Saftflussmessungen und Küvettenversuche, da die Eddy-Korrelation im reliefierten Gelände nicht einsetzbar ist (siehe unten 3.6). Im Statusbericht (GLOWA Statusreport 2002) haben wir schon über die Schätzung von Parametern für leicht mit Hilfe der Fernerkundung erkennbare Vegetationseinheiten berichtet, z.B. Nadelwald, sommergrüner Laubwald, Mischwald, Weizen, Wiesen und Feuchtgebiete. Eine Parametrisierung von Maisbeständen ist ebenso wichtig, da Mais mit hoher Wassernutzungseffizienz (C₄-Photosynthese) und deutlich verzögerter Phänologie einen besonderen Bestandteil der Agrarlandschaft darstellt. Für Mais sind unsere Algorithmen der C₃-Photosynthese (HARLEY

und TENHUNEN 1992) nach CHEN et al. (1994) erweitert worden, so dass C₄-Photosynthese simuliert werden kann. In sind Ergebnisse der Simulation des Gaswechsels von Maisfeldern über zwei Sommerperioden dargestellt (Bestandesdaten aus USA und Blattgaswechselfparameter aus Lindenberg). Die Ergebnisse für Maisfelder in Deutschland sind vergleichbar, aber Daten über komplette Sommerperioden stehen zur Zeit nicht zur Verfügung. Es laufen zur Zeit weitere Untersuchungen zur Parametrisierung des Bestandesgaswechsels von Gerste und Weizen.

3.3 Parametrisierung des *Biological*-Objekts entlang Höhengradienten in den Alpen

Ein Werkzeug wird im Rahmen von GLOWA-Danube benötigt, um die räumliche Verteilung und zeitabhängige Entwicklung von naturnahen Ökosystemen in den Alpen festzustellen und den Wasser- und CO₂-Haushalt dieser Ökosysteme zu beschreiben. Anhand der Langzeituntersuchungen („ground truth data“) im Nationalpark Berchtesgaden und mit Unterstützung der Fernerkundung wird ein derartiges Werkzeug gebaut, um unterschiedliche Waldformationen zu identifizieren, Schlüsselparameter für die atmosphärische Kopplung (nämlich LAI) zu schätzen und diese Prinzipien in bezug auf landschaftliche Heterogenität und Struktur auf andere Gebiete in den Alpen zu extrapolieren (für die erste Extrapolation wurde das Stubaital gewählt - das von GLOWA-Danube ausgewählte Testgebiet im Ötztal ist ebenfalls in Bearbeitung).

Die Alpen umfassen etwa ein Drittel des Donaeinzugsgebietes, und sie verursachen steile Gradienten natürlicher und sozio-ökonomischer Faktoren, die adäquat beschrieben werden müssen. Die Fernerkundung stellt dabei ein wichtiges Werkzeug für die Extrapolation von verallgemeinerbaren Ergebnissen entlang von Höhengradienten in den Alpen dar. Daher untersuchen wir zur Zeit Waldinventurdaten aus dem Nationalpark Berchtesgaden (210km²) in Verbindung mit aus Landsat TM und MODIS abgeleiteten Daten (SR, NDVI, LAI).

3.4 Klassifizierung der Landnutzung in den Alpen mit Landsat TM

Nach topographischer und atmosphärischer Korrektur (PARLOW 1996) der Landsat-TM Daten ist eine multi-spektrale supervised-maximum-likelihood Vegetations-Klassifikation des Nationalparks Berchtesgaden durchgeführt worden. Hierfür sind die Bänder 1-5, 7 und der NDVI verwendet worden. Als Grundlage dient dabei die bereits vorhandene Vegetationskarte des Nationalparks. Die Ergebnisse sind sehr vielversprechend (Abb. 8), zeigen aber einen systematischen Fehler hin zu stärkerer Betonung der Klasse Fels auf Kosten verschiedener Waldklassen. Vermutlich hängt dies mit einer nicht-normalverteilten Signatur der Waldklassen zusammen, wodurch ‚nicht-normale‘ (lichte) Waldtypen als Fels interpretiert werden. Eine Extrapolation durch Übertragung der spektralen Signaturen auf das Stubai-Tal ergibt realistische Ergebnisse (Abb. 8C). Eine Überprüfung der Klassifikation im Stubai-Tal ist für Sommer 2003 geplant.

3.5 Räumliche Variation des LAI von Waldbeständen im National Park Berchtesgaden

Neben der Vegetationsklasse spielt die räumliche Verteilung des Blattflächenindex für die funktional-hydrologische Modellierung eines Teileinzugsgebietes eine zentrale Rolle. Der Nationalpark Berchtesgaden bietet eine hervorragende Datenbasis zur räumlichen Schätzung des LAI, welche als ‚ground truth‘ für Fernerkundungsdaten dient. Diese Schätzungen sind mittels allometrischer Beziehungen zwischen Baumumfang und Blattbiomasse durchgeführt worden, wobei Baumernten und Inventurdaten zur Kalibration verwendet wurden (Abb. 9A-B). Eine räumliche Regressionsanalyse zeigt, dass der LAI im Gelände des Nationalparks signifikant vom Bestandesalter, Höhe über NN und Bodentiefe abhängt (Teilergebnisse in Abb. 10 dargestellt). Unterschiedliche multidimensionale Flächen für LAI in Abhängigkeit von diesen Variablen sind für Fichten-, Lärchen- und Laubbaum-dominierte Wälder statistisch nachweisbar.

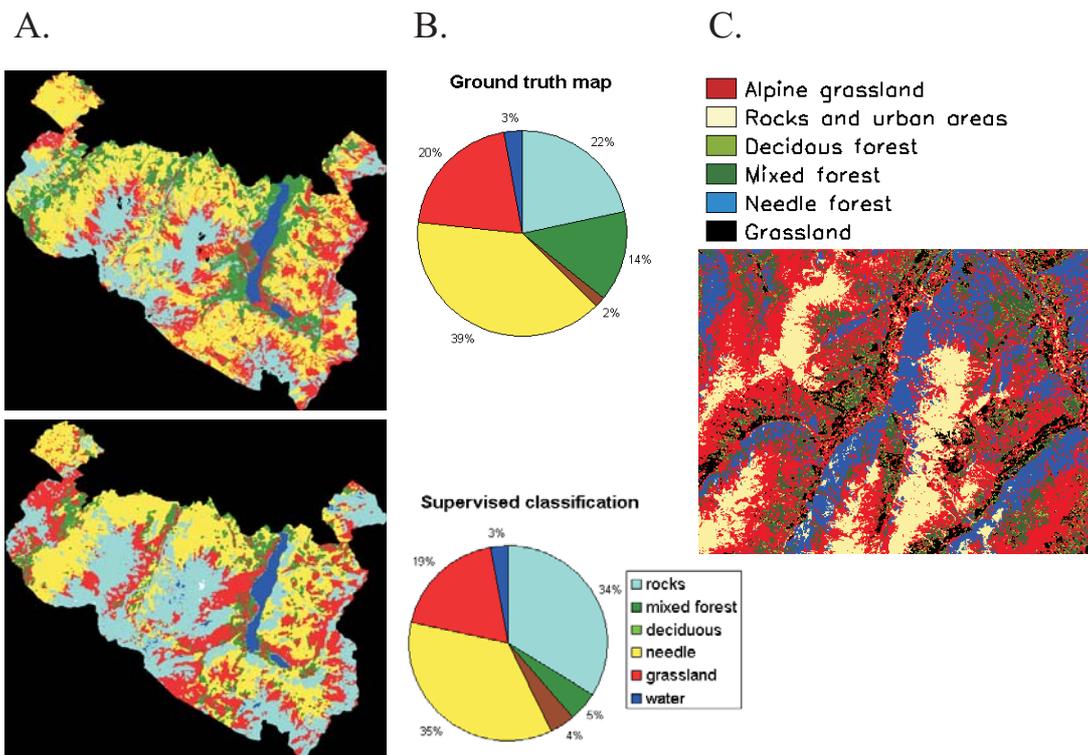


Abb. 8: A: Vegetationskarte des Nationalparks Berchtesgaden, ground-truth und klassifiziert mittels Landsat-TM-Daten, B: Räumlicher Anteil der Vegetationsklassen; C: Extrapolation der Landsat-TM-Klassifikation in das Stubai-Tal-Gebiet

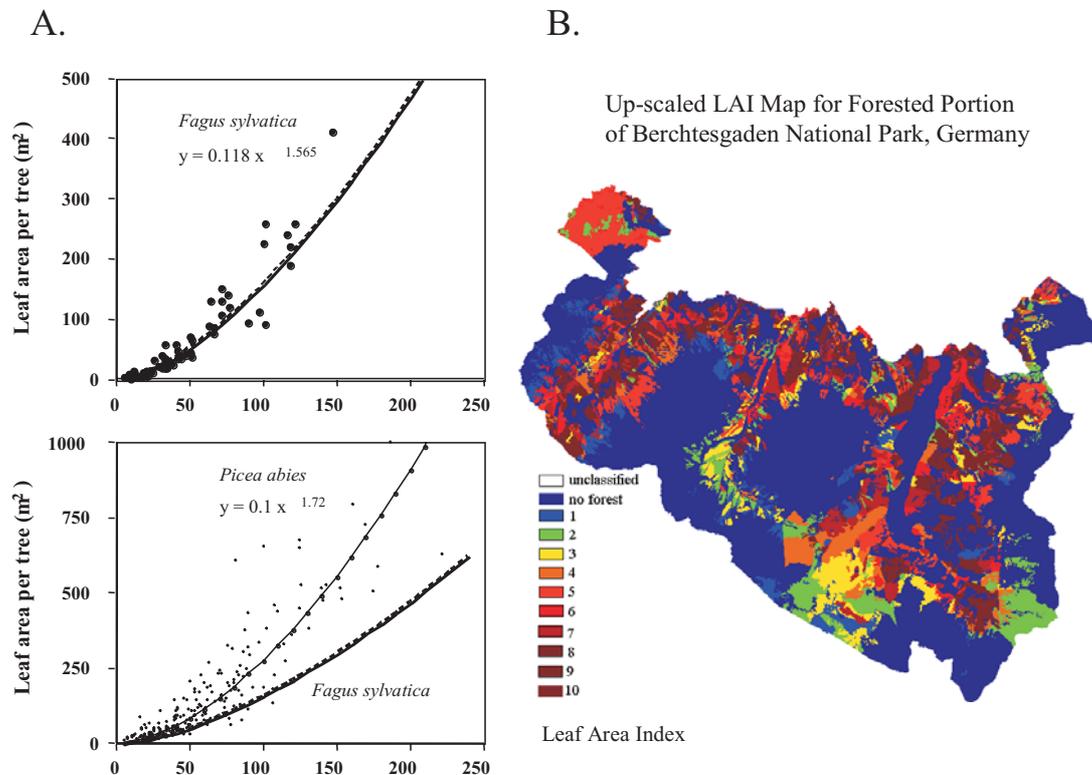


Abb. 9: A: Allometrische Beziehungen für Buche (repräsentiver Laubbaum) und Fichte (repräsentiver Koniferenbaum) aus Baumernten, die zusammen mit Inventardaten verwendet worden sind, um hochaufgelöste LAI-Karten für die bewaldete Fläche im Nationalpark Berchtesgaden (B) zu erstellen

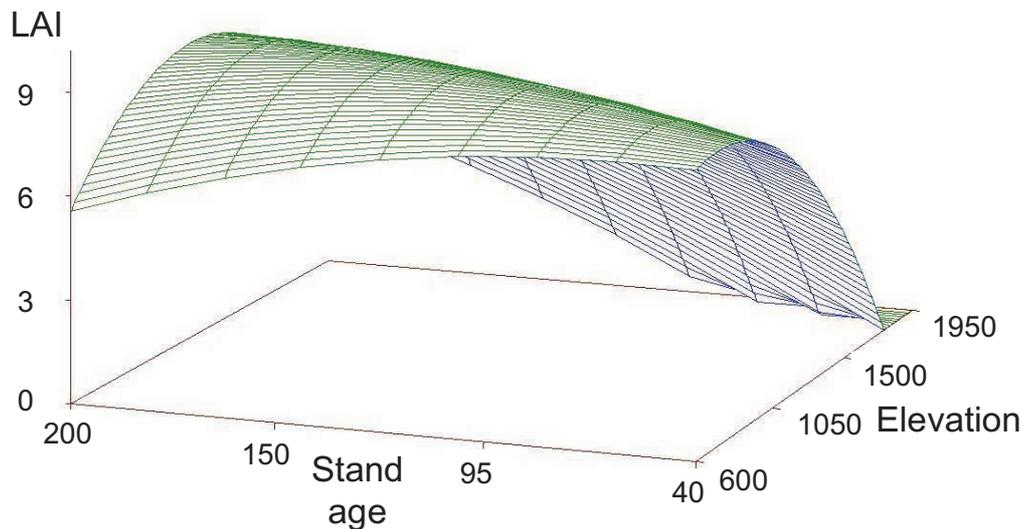
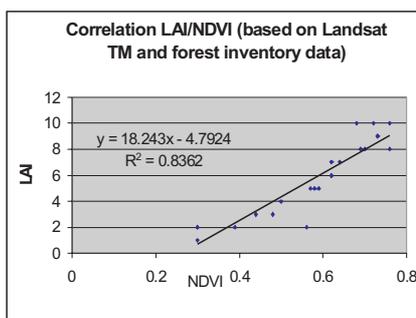


Abb. 10: Statistische Beziehung zwischen Blattflächenindex, Bestandesalter und Höhe über NN im Nationalpark Berchtesgaden, abgeleitet aus Daten der Waldinventur (siehe Beschreibung in Text). Dargestellt ist die mittlere Beziehung für alle Waldbestände im Nationalpark basierend auf 5400 Inventarpunkten

A.



B.

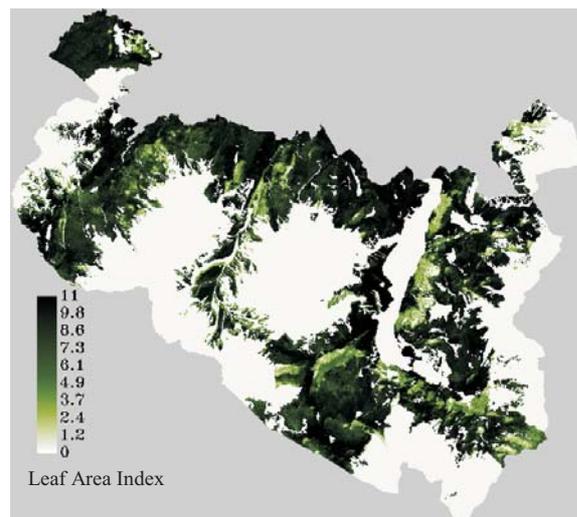
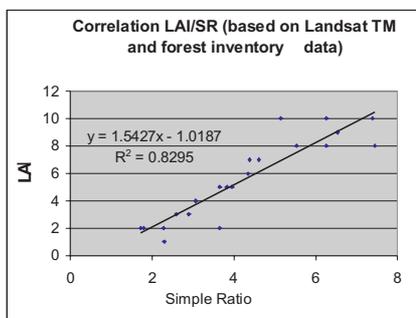


Abb. 11: Beziehung zwischen Landsat-TM-NDVI/SR und geschätztem LAI aus Inventurdaten in homogenen Polygonen; B: mit der statistischen Beziehung in A (oben) gewonnene LAI-Karte auf dem 30 m-Raster

Dieser Zusammenhang ist verwendet worden, um den Blattflächenindex auf einem 30m-Grid zu regionalisieren, und somit einen empirischen Vergleich mit Landsat-NDVI und SR zu ermöglichen. Dieser Vergleich ist nicht pixelweise durchgeführt worden, sondern nach einem Ansatz von WANG et al. (2002), der auf Basis homogener Polygone (“homogeneous forest polygons”) arbeitet. Dies hat den Vorteil eines reduzierten Georegistrationsfehlers und eines geringeren Zufallsfehlers, da typischerweise zehn oder mehr Pixel zusammengefasst werden können. Abbildung 11A zeigt den Zusammenhang zwischen gemitteltem Landsat-TM-NDVI (bzw. SR) und gemitteltem LAI in den homogenen Polygonen. Der statistische Zusammenhang zwischen NDVI und LAI wird dann verwendet, um Karten des LAI auf dem 30m-Grid zu erstellen (Abb. 11B), welche als Input für räumliche Prozessmodelle dienen. Diese Strategie, hochauflöste Karten des LAI zu produzieren

wird auf weitere alpine GLOWA-Danube-Testgebiete ausgeweitet (Stubaital und Ötztal, Österreich; Ammereinzugsgebiet, Deutschland).

Während hochaufgelöste Karten der Vegetationsverteilung und des LAI interessant für kleinräumige Modelle sind, wird in GLOWA-Danube ein 1km²-Raster für die Beschreibung der Landoberflächenprozesse verwendet, so dass eine Hochskalierung nötig ist. In einem ersten Schritt ist diese Hochskalierung mit einem nearest-neighbor-sampling Algorithmus vorgenommen worden (Abb. 12). Nach Coregistrierung mit MODIS-Szenen wird ein Vergleich zwischen hochskaliertem Landsat-TM-LAI und dem direkt auf dem 1km-Raster gewonnenem MODIS-LAI vorgenommen werden, wobei auch hier das Konzept der homogenen Polygone angewendet werden soll, wodurch die Streuung in B, die durch pixelweisen Vergleich zustande kommt, erheblich reduziert werden wird.

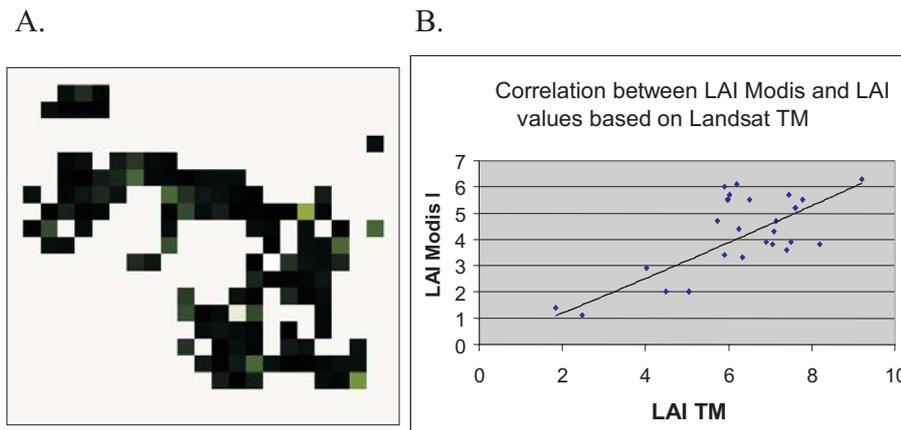


Abb. 12: A: Auf das 1km Raster hochskaliertes Landsat-TM-LAI; B: Pixelweiser Vergleich von MODIS LAI und hochskaliertem Landsat TM-LAI

In 2003 werden wir uns weiterhin mit der Ableitung und Analyse von Karten verschiedener Auflösung beschäftigen, wobei insbesondere in Abstimmung mit dem Geokomplex-Ansatz subskalige Information in die Pixel transportiert wird (vgl. Antrag Hydrologie/Fernerkundung). Weiterhin muss analysiert werden, in welcher Weise das Aggregationsniveau die vorhergesagten Wasserflüsse bestimmt und mit welcher Genauigkeit Transpirationschätzungen mittels Satellitendaten, die auf 1km Auflösung operieren, mit den hochskalierten Raten übereinstimmen.

3.6 Kalibration von Bestandesfluss-Modellen entlang eines Höhengradienten: Sommer-Messkampagne im Nationalpark Berchtesgaden

Die wissenschaftliche Literatur enthält eine Reihe von Angaben, wie sich Ökosysteme generell entlang von Höhengradienten verändern (z.B. TRANQUILLINI 1979; KÖRNER 1999). Jedoch gibt es kaum Angaben dazu, wie die variierenden Klimafaktoren entlang von Höhengradienten **parallele** und interagierende Veränderungen der Vegetationsphysiologie (Kronendachleitfähigkeit, Photosynthesekapazitäten) und -struktur (z.B. Blattflächenindex) und der Allokation von Assimilaten hervorrufen. In der ersten Phase von GLOWA-DANUBE erarbeiten wir diese Zusammenhänge für alpine Wälder und Wiesenökosysteme innerhalb einer Kooperation mit dem Nationalpark Berchtesgaden, wobei wir deren Langzeit GIS Datenbank (seit der Gründung 1978) zur Ableitung von Gesetzmäßigkeiten nutzen und mit eigenen Feldmessungen derzeit ergänzen.

Bisher sind nur wenige direkte Messungen der Transpiration von Wäldern entlang von Höhengradienten in den Alpen durchgeführt worden (s. Abb. 9.3 in KÖRNER 1999). Daher sind Messkampagnen in GLOWA-DANUBE durchgeführt worden, um die Modellparametrisierung zu verbessern (vgl. Abb. 6). Der Nationalpark Berchtesgaden ist ein idealer Standort für solche Kampagnen, da Langzeitbeobachtungen der Vegetationsstruktur und -produktion

sowie des Geländeklimas bereits vorliegen. Außerdem sind alle Höhenstufen von Buchenwald (600-1200m), Fichtenwald (bis 1500m), über Lärchenwald (1500-1800m) zu einer Krummholzzone (*Pinus mugo*) sowie *Carex*-Matten in größerer Meereshöhe vorhanden.

Zu Beginn der Vegetationsperiode des Jahres 2002 wurden an vier verschiedenen Standorten (nordöstlich exponierte Bestände in vier Höhenstufen) im Nationalpark Berchtesgaden Messstationen eingerichtet, um den Wasserverbrauch von Waldbeständen zu quantifizieren. Die zwischen Mai und Oktober mittels Xylemsaftfluss- und Gaswechsellmessungen an 64 Bäumen sowie mit Wäge-Lysimetern gewonnenen Raten der Teilkomponenten der Bestandeswasserflüsse werden zur Kalibration von Bestandesfluss-Modellen eingesetzt.

Es wurden vier Standorte in Höhenstufen von 630m NN (Bartholomä) bis 1720m NN (Kederbichel) instrumentiert. Die Rotfichte (*Picea abies* (L.) Karst.) wurde als Hauptbaumart dieser Untersuchung ausgewählt, da sie über die größte geschlossene Höhenverbreitung am Watzmann-Massiv verfügt und große Flächenanteile im gesamten Gebiet besitzt. Lediglich an der Baumgrenze am Kederbichel (NO-Flanke des Kleinen Watzmann) ist sie nicht mehr vertreten und wird von lockeren Beständen Europäischer Lärche (*Larix decidua* Mill.) und von Krummholz aus strauchförmig niederliegender Bergkiefer (*Pinus mugo* Turra) abgelöst. Hier wurden diese beide Arten berücksichtigt. Am Standort Bartholomä wurde zusätzlich ein junger Buchenbestand untersucht. Zur Standortauswahl wurden die Vegetations-, Standort- und Bodentypenkarten des Nationalparks sowie eigene Voruntersuchungen im Jahr 2001 herangezogen. Tabelle 3 fasst die wichtigsten Standortparameter zusammen. In

Tab. :2 Lage der im Jahr 2002 im Nationalpark Berchtesgaden untersuchten Waldbestände

Standort	Höhe über NN	Arten	Hangneigung	Exposition
Bartholomä	630 m	<i>Picea abies</i>	30°	NO
	630 m	<i>Fagus sylvatica</i>	26°	O
Schapbach-Alm	1040 m	<i>Picea abies</i>	26°	NO
Kühroint-Alm	1360 m	<i>Picea abies</i>	32°	O
Kederbichel	1670-1720 m	<i>Larix decidua</i> , <i>Pinus mugo</i>	34°	NO

Tabelle 3 sind die untersuchten Waldbestände näher charakterisiert.

Der Wasserverbrauch von einzelnen, bestandesrepräsentativen Bäumen wurde thermoelektrisch im Stamm als Xylemsaftfluss nach der „thermal dissipation“-Methode (GRANIER 1985, 1987) kontinuierlich gemessen und Halbstundenmittelwerte mit Dataloggern (Delta-T Devices, Burwell, England) aufgezeichnet. Diese Raten werden zu Tagesflüssen der Bäume und Bestände hochgerechnet. Mikroklimaparameter wie Strahlung (PPFD), Lufttemperatur und feuchte, Niederschlag und Bodenwassergehalt wurden ebenfalls kontinuierlich an denselben Standorten erfasst, jedoch außerhalb der geschlossenen Bestände. Der Bestandesunterwuchs und der Boden können, in Abhängigkeit von Kronenschlussgrad und mikroklimatischen Bedingungen, einen nicht unbedeutenden Anteil an der Gesamt-Bestandesevapotranspiration haben (WEDLER et al. 1996). Um auch diese Größen

Tab. :3 Kenngrößen der untersuchten Waldbestände. Angaben beziehen sich auf horizontale Geländeflächen

Standort	Baumdicke [n ha ⁻¹]	Grundfläche [m ² ha ⁻¹]	Bestandeshöhe [m]	Plotgröße [ha]
Bartholomä	1490 (<i>P. abies</i>)	40	15	0,04
	800 (<i>F. sylvatica</i>)	143	15	0,05
Schapbach-Alm	690 (<i>P. abies</i>)	51	30	0,1
Kühroint-Alm	1090 (<i>P. abies</i>)	51	25	0,1
Kederbichel	170 (<i>L. decidua</i>)	22	20	0,3

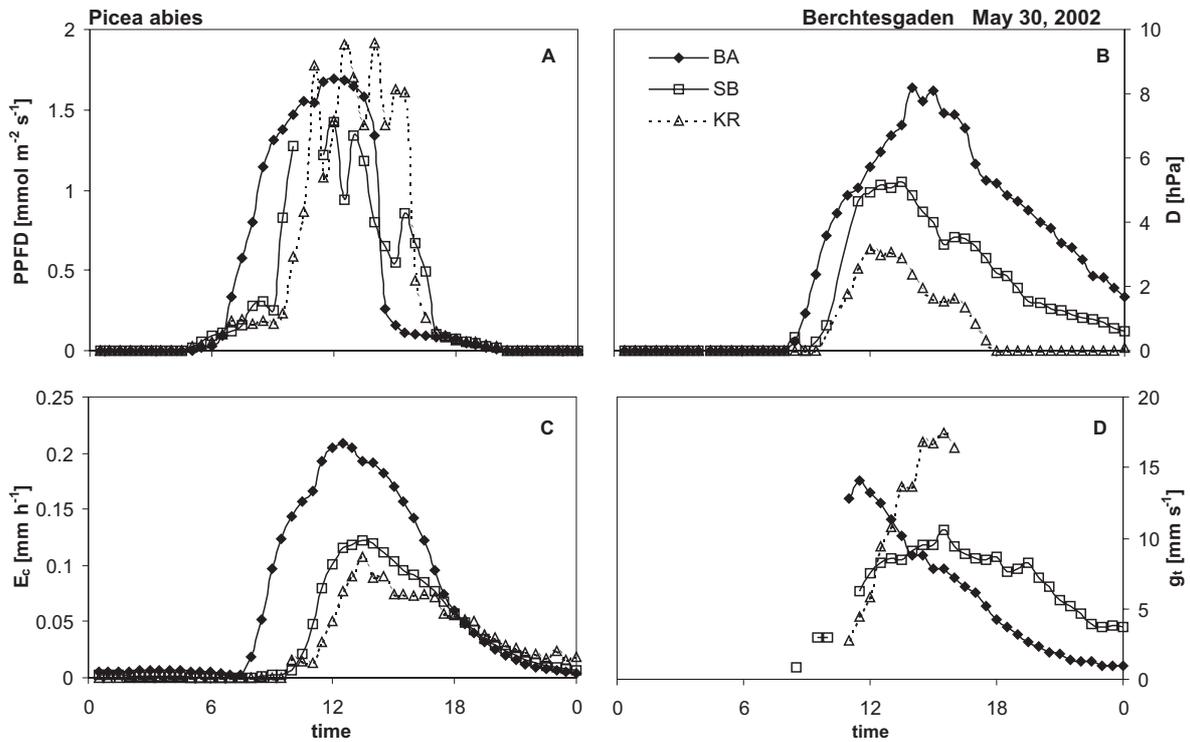


Abb. 13: Halbstündliche Mittelwerte der photosynthetisch aktiven Photonenflussdichte (PPFD), des Wasserdampf-sättigungsdefizits der Luft (D), der Kronendachtranspiration (E_c) und der Gesamt-Kronendachleitfähigkeit für Wasserdampf (g_t) von drei *Picea abies*-Beständen entlang eines Höhengradienten am Watzmann-Massiv im Nationalpark Berchtesgaden am 30. Mai 2002 ((BA=Bartholomä, 630m NN; SB=Schapbach-Alm, 1040m NN; KR=Kühroint-Alm, 1360m NN)

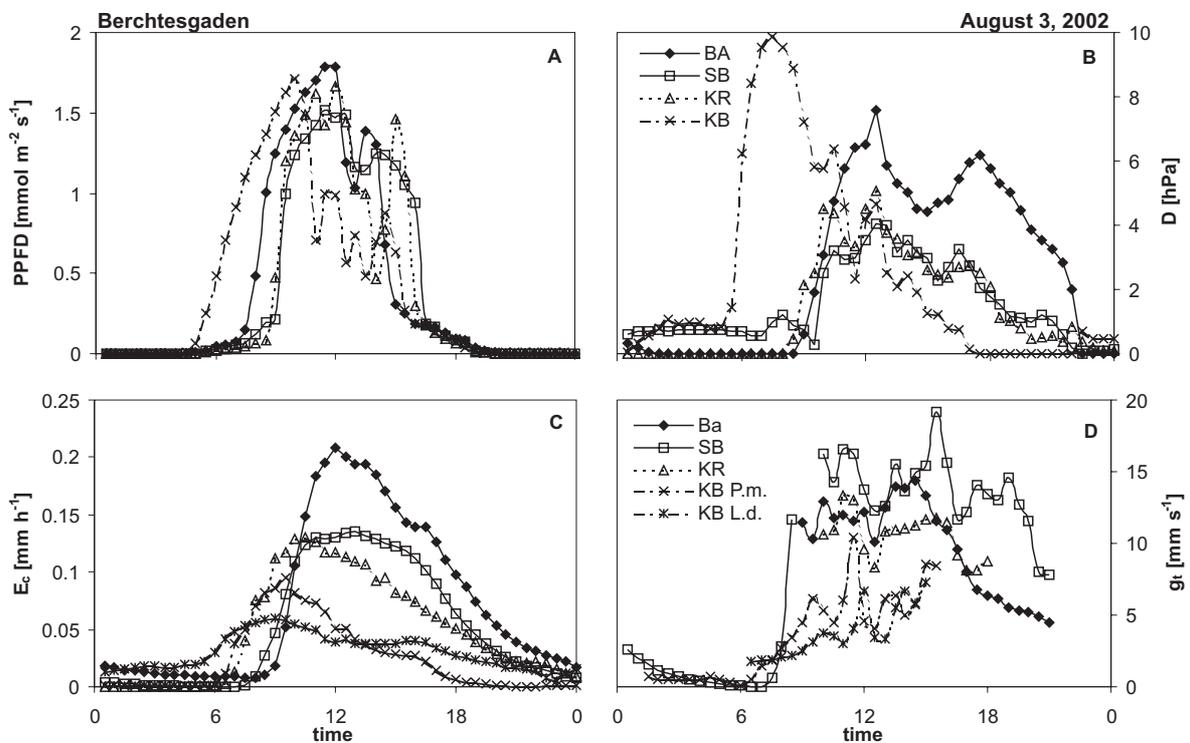


Abb. 14: Halbstündliche Mittelwerte der photosynthetisch aktiven Photonenflussdichte (PPFD), des Wasserdampf-sättigungsdefizits der Luft (D), der Kronendachtranspiration (E_c) und der Gesamt-Kronendachleitfähigkeit für Wasserdampf (g_t) von drei *P. abies* -Beständen (BA, SB, KR), einem *Larix decidua*-Bestand (Standort Kederbichel, 1720m NN=KB L.d.) und einem *P. mugo*-Gebüsch (KB P.m.) am Watzmann-Massiv im Nationalpark Berchtesgaden am 03. August 2002 (s. auch Legende zu Abb. 13)

abschätzen zu können, wurden im Sommer an allen Standorten Wäge-Lysimeter eingebaut und an ausgewählten Tagen Unterwuchs-Evapotranspirationsraten bestimmt.

Erste Ergebnisse der Kronendachtranspiration (E_c), berechnet aus Xylemsaftflussraten, sind in Abbildungen 13 und 14 für zwei Strahlungstage im Frühjahr und Sommer 2002 dargestellt. Aufgrund unterschiedlicher Horizontüberhöhung empfängt der Standort Bartholomä morgens als erster Strahlung, liegt aber auch nachmittags am frühesten im Schatten. An beiden Tagen werden die höchste PPFD-Werte am Standort Bartholomä erreicht, ebenso die größten Werte des Wasserdampfsättigungsdefizits der Luft (D). Insgesamt ist das Wasserdampfsättigungsdefizit der Luft niedrig und die Tagessummen der Kronendachtranspiration erreichen zwischen 0,7 und 1,6 mm d⁻¹ (30.Mai) bzw. 1,2 und 1,7 mm d⁻¹ (3. August). Entsprechend ist die Gesamt-Kronendachleitfähigkeit (g_t) hoch. Die gemessenen Transpirationsraten sinken stärker mit zunehmender Höhe ab als bei den Änderungen in LAI und D zu erwarten wäre. Die weitere Auswertung der Messungen (ca. 150 Tage) wird zeigen, ob dieses Phänomen auf eine beschränkte Leitfähigkeit in Stamm, Ästen oder Wurzelsystem zurückzuführen ist. Die Ergebnisse in 630m Höhe (Bartholomä) sind in Bezug

Tab. 4: Tagessummen der Kronendachtranspiration und LAI für dominante Baumarten im Nationalpark Berchtesgaden

	Bartholomä <i>P. abies</i>	Schapbach <i>P. abies</i>	Kühroint <i>P. abies</i>	Kederbichel <i>L. Decidua</i> <i>P. mugo</i>	
E_c 30.05.2002 [mm d ⁻¹]	1,63	0,85	0,71		
E_c 03.08.2002 [mm d ⁻¹]	1,74	1,22	1,17	0,74	0,57
Splintfläche [m ² ha ⁻¹]	22,7	20,7	17,8	4,0	
LAI [m ² m ⁻²]	6,1	6,7	7,0	1,5 (nur Bäume)	6,2

auf die maximale Transpirationsrate und gesamten täglichen Wasserverbrauch vergleichbar mit Beobachtungen in der gleichen Höhenstufe im Fichtelgebirge.

Mittels räumlicher Modellläufe, die mit Ergebnissen aus der Regionalisierung der Vegetations- und LAI-Verteilung (BOBEVA et al. in Vorb.) parametrisiert werden, wird ein up-scaling dieser plot-basierten Ergebnisse auf das 30m Raster vorgenommen. Zusätzlich wird das Skalierungsverhalten des Modells mittels Simulationen mit Pixelgrößen von 30, 100, 200, 500, 1000m analysiert, um die Sensitivität der Transpirations-Schätzungen gegenüber einer Mittelung verschiedener Parameter festzustellen. Die Planung dieser Simulationen läuft als gemeinsames Unternehmen mit der AG Hydrologie/Fernerkundung.

3.7 Wachstumsmodell für DANUBIA

Ähnlich wie das Physiologieteilmodell des *Biological*-Objekts zeichnet sich das derzeitige Teilmodell Pflanzenwachstum durch seine starke Prozessorientierung aus, welche realitätsnahe Simulationen auch unter veränderten Umweltbedingungen erlaubt. Während sich diese detaillierte Modellierung der Prozesse bei Punktberechnungen und in ungekoppelten flächenverteilten Simulationen bewährt hat (s. GLOWA-DANUBE Jahresbericht 2001), existieren Limitationen bei paralleler Berechnung aller Pixel wie in DANUBIA, da bei einer Simulation mit einschlägigen Modellen, die das Wachstum der Vegetation prozessorientiert beschreiben, die parallele Haltung von ca. 100 Variablen pro Pixel im RAM nötig wäre. Daher ist bei diesem Teilmodell eine Vereinfachung der Modellstruktur notwendig.

In 2003 werden wir uns daher darauf konzentrieren, eine solche Vereinfachung möglichst sinnvoll vorzunehmen. Prototypisch werden wir dabei zunächst das Wachstum der landwirtschaftlichen Kultur Weizen modellieren (Konzept in der Entwicklung mit der AG Agrarökologie), da

1) hier der größte Bedarf in DANUBIA besteht (Gruppe Agrarökonomie), 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), 3) wir unsere Gruppe erfreulicherweise für 2003 mit einem Humboldt-Stipendiaten mit starkem Hintergrund in der Agrarökosystemmodellierung verstärken konnten (ADIKU 1996, 1998, 2001) und 4) sehr gute Ertragsdaten für Weizen in den Testgebieten vorliegen. Das Modell soll im Laufe von 2003 noch für Zuckerrübe, Roggen, Mais und evtl. Sojabohne, die unter wärmerem Klima bevorzugt wird, parametrisiert werden.

Danach werden wir das Modell mit einem äquivalenten Ansatz für Waldwachstum ausbauen, wobei wir bereits eine hervorragende Datenbasis für Parametrisierung und Validierung während 2002 geschaffen haben, da für die Validierung der modellierten Holzproduktion in Abhängigkeit von Management und Klima im Nationalpark Berchtesgaden zwei Waldinventuren genutzt werden können. Diese wurden von 1983 bis 1984 und 1995 bis 1997 auf 5400 Flächen mit insgesamt 40000 Einzelbäumen auf einem 50m-Raster durchgeführt (KONNERT 2000). Eine dritte Waldinventur ist für 2005 geplant. Allometrische Beziehungen sind auf Einzelbaumdaten angewendet worden, um räumliche Verteilungen des Blattflächenindex und der Nettoprimärproduktion zu erlangen.

Die Datenanalyse zeigt, dass sowohl die Biomasse als auch der Blattflächenindex von der Meereshöhe, dem Bestandesalter und der Gründigkeit des Bodens abhängt. Nährstoffverfügbarkeit und kurzzeitiger Wassermangel sind die Faktoren, durch die der Boden auf die Vegetationsparameter wirkt. Die Regressionsanalyse zeigt deutlich, dass eine einheitliche Parametrisierung der Waldbestände entlang von Höhengradienten zu großen Fehlern hinsichtlich Wasser- und Kohlenstoffbilanzen führt. Die Analyse von Waldwachstumsdaten wird zur Validierung des *Biological*-Objekts in der zweiten GLOWA-DANUBE-Phase genutzt, wobei ein Vergleich zuerst mit berechnetem NPP und NEP und später mit berechnetem Biomassezuwachs in Abhängigkeit von Exposition, Klima und Bodeneigenschaften durchgeführt wird.

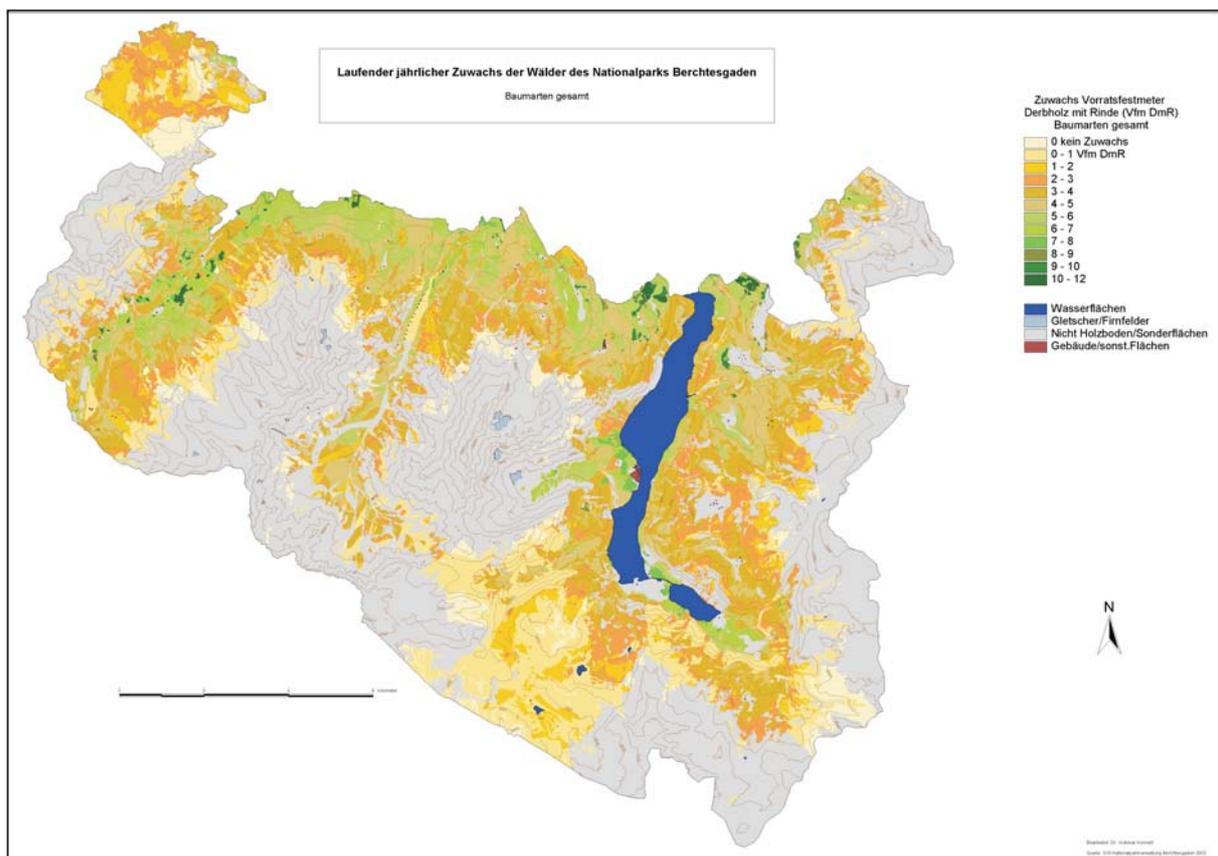


Abb. 15: Karte des Holzzuwachses im Nationalpark Berchtesgaden auf Grundlage der im Text erwähnten Waldinventuren

4. Geplante Arbeiten bis Ende 2003

4.1 Integrativ

- Überarbeitung des UML-Schnittstellen-Diagramms für das *Biological*-Objekt, um die parallele Berechnung der Produktion in naturnahen Ökosystemen und auf landwirtschaftlichen Flächen mit unterschiedlichen Ansätzen durchzuführen.
- Fertigstellung eines integrativen Ansatzes in DANUBIA, um effiziente und konsistente Schätzungen von Strahlungs- und Energiebilanzen, der Kohlenstoffaufnahme und der Transpiration zusammen mit der AG Hydrologie/Fernerkundung mit stündlichen Schritten zu berechnen.
- Erweiterung des *Biological*-Objekts, um die Flussberechnungen mit subskaliger Information über die Landnutzung zu verbinden.

4.2 Sektoral

- Verbesserung und Vervollständigung der auf der Basis von Landsat erstellten Karten für Landnutzung und LAI im Nationalpark Berchtesgaden.
- Vervollständigung der Auswertung der Transpirationmessungen in Waldbeständen entlang Höhen- und Klimagradierten im Nationalpark Berchtesgaden (insgesamt Bartholomä: vom 28.04 bis 02.10.2001, 147 Tage, Schapbach: vom 01.05 bis 09.10.2001, 161 Tage, Kühroint: vom 16.05 bis 08.10.2001, 146 Tage, Kederbichel: vom 30.05 bis 08.10.2001, 114 Tage).
- Parametrisierung einer Testversion vom *Biological*-Objekt für Simulationsläufe mit unterschiedlicher Pixelgröße und für Landschaftsausschnitte im Nationalpark Berchtesgaden zusammen mit der AG Hydrologie/Fernerkundung.
- Simulation des Wasserverbrauchs und Kohlenstoffaufnahme der Vegetation für Landschaftsausschnitte im Nationalpark Berchtesgaden mit unterschiedlicher Pixelgröße zusammen mit der AG Hydrologie/Fernerkundung, um methodenabhängige Einflüsse auf die Flussberechnung festzustellen.
- Erstellung einer Vegetationskarte für das Stubai- und Ötztal auf der Basis der Vegetationsklassifizierung in Berchtesgaden zur Vorbereitung der Phase II von GLOWA-DANUBE.

5. Literatur

- ADIKU, S. (1996): Modelling the effect of varying soil water on the root growth dynamics of annual crops. *Plant and Soil* 185, p. 125-135.
- ADIKU, S., ROSE, C.W., GABRIC, A., BRADDOCK, R.D., CARBERRY, P.S. and McCOWN, R.L. (1998): An evaluation of the performance of maize and cowpea in sole and intercropping systems at two savanna zones in Ghana: A simulation study. In: 'MODEL-IT Applications of Modelling as an Innovative Technology in the Agri-Food-Chain.' *Acta Horticulturae* 476, p. 251-259.
- ADIKU, S., RENGER, M., WESSOLEK, G., FACKLAM, M. and HECHT-BUCHOLTZ, C. (2001): Simulation of the dry matter production and seed yield of common beans under varying soil water and salinity conditions. *Agric. Water Management* 47: p. 55-68.
- CHEN, D.-X., COUGHENOUR, M.B., KNAPP, A.K. and OWENSBY, C.E. (1994): Mathematical simulation of C₄ grass photosynthesis in ambient and elevated CO₂. *Ecol. Modelling* 73, p. 63-80.

- CHEN, J.M., LIU, J., CIHLAR, J. and GOULDEN, M.L. (1999): Daily canopy photosynthesis model through temporal and spatial scaling for remote sensing applications. *Ecological Modelling* 124, p. 99-119.
- FALGE, E., TENHUNEN, J.D., AUBINET, M., BERNHOFER, CH., CLEMENT, R., GRANIER, A., KOWALSKI, A., MOORS, E., PILEGAARD, K., RANNIK, U. and REBMANN, C. (2003): A model-based study of carbon fluxes at ten European forest sites. In: VALENTINI, R., SCHULZE, E.-D. and MATEUCCI, G. (eds): *Fluxes of Carbon, Water and Energy of European Forests*, Ecological Studies, Springer Verlag, Heidelberg, in press.
- FALGE, E., BALDOCCHI, D. and TENHUNEN, J. et al. (2002): Seasonality of ecosystem respiration and gross primary production as derived from FLUXNET measurements. *Agricultural and Forest Meteorology* 113, p. 53-74.
- GLOWA STATUSREPORT (2002): German Programme on Global Change in the Hydrological Cycle (Phase I, 2000-2003), BMBF, Bonn, 127 p.
- GRANIER, A. (1985): Mesure du flux de sève brute dans le tronc du Douglas par une nouvelle méthode thermique. *Annales des Sciences Forestières* 44, p. 1-14.
- GRANIER, A. (1987): Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiol* 3, p. 309-320.
- HARLEY, P.C. and TENHUNEN, J.D. (1992): Modeling the photosynthetic response of C₃ leaves to environmental factors. In: BOOTE, K.J. and LOOMIS, R.S. (eds): *Modeling Crop Photosynthesis - from Biochemistry to Canopy*. ASA, Madison, Wisconsin, p. 17-39.
- JARVIS, P.G. (1976): The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 273, p. 593-610.
- KÖRNER, Ch. (1999): *Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. Springer Verlag, Heidelberg, 348 p.
- KÖSTNER, B., TENHUNEN, D., ALSHEIMER, M., WEDLER, M., SCHARFENBERG, H.-J., ZIMMERMANN, R., FALGE, E. and JOSS, U. (2001): Controls on evapotranspiration in a spruce forest catchment of the Fichtelgebirge. In: TENHUNEN, J.D., LENZ, R. and HANTSCH, R. (eds): *Ecosystem approaches to Landscape management in Central Europe*. Springer Verlag, Heidelberg, p. 377-415.
- KONNERT, V. and SIEGRIST, J. (2000): Waldentwicklung im Nationalpark Berchtesgaden von 1983 bis 1997. *Forschungsbericht* 43, Nationalpark Berchtesgaden.
- PARLOW, E. (1996): Correction of terrain controlled illumination effects in satellite data. In: PARLOW, E.: *Progress in Environmental Remote Sensing Research and Applications*, Balkema Rotterdam, p. 139-145.
- REICHSTEIN, M. (2001): Drought Effects on Carbon and Water Exchange in Three Mediterranean Ecosystems. *Bayreuther Forum Ökologie* 89, 150 p.
- REICHSTEIN, M., TENHUNEN, J.D., ROUPSARD, O., OURCIVAL, J.-M., RAMBAL, S., MIGLIETTA, F., PERESSOTTI, A., PECCHIARI, M., TIRONE, G. and 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: p. 999-1017.
- TRANQUILLINI, W. (1979): *Physiological Ecology of the Alpine Timberline*. Ecological Studies 31, Springer, Heidelberg, 637 p.
- VERMOTE, E., TANRE, D., DEUZE, J.L., HERMAN, M. and MORCRETTE, J.J. (1995): *Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum (6S). 6S User Guide Version 1*, November 3.

- WANG Y., WOODCOCK, C., BUERMANN, W., STENBERG, P., VOIPIO, P., SMOLANDER, H., HÄME, T., TIAN, Y., HU, J., KNYAZIKHIN, Y. and MYNENI, R.B. (2002): Validation of the MODIS LAI product in coniferous forests of Ruokolahti, Finland. Remote Sensing of Environment, in press available at web site.
- WEDLER M., HEINDL B., HAHN S., KÖSTNER B., BERNHOFER Ch. and TENHUNEN J.D. (1996): Model-based estimates of water loss from “patches” of the understory mosaic of the Hartheim Scots pine plantation. Theoretical and Applied Climatology 53, p. 135-144.

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
Mitarbeiter: Dr. Heidi Escher-Vetter, Kommission für Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften München

1. Organisation des Teilprojektes

Im ersten Halbjahr 2002 stand die Vorbereitung, Berichtserstellung und Organisation der Gesamt-GLOWA-Statuskonferenz im Mittelpunkt der Arbeiten. Diese fand vom 6. bis 8. Mai in der Bayerischen Akademie der Wissenschaften statt, Mitarbeiter der Kommission waren in Vorbereitung und Durchführung der Veranstaltung mit eingebunden. An die Begutachtung auf der Grundlage der Statuskonferenz schloss sich fast nahtlos die Antragstellung für den Zeitraum 2004 bis 2006 an. Hierzu fanden von Juli bis September insgesamt drei Treffen in München, Freiburg und Stuttgart statt, an denen H. Escher-Vetter (alle drei Treffen) und M. Kuhn (zwei Treffen) teilnahmen. Ebenso nahm mindestens einer der Mitarbeiter an allen weiteren GLOWA-Danube Gesamttreffen und zusätzlichen Arbeitstreffen teil, die z.T. in München, z.T. in Stuttgart stattfanden. Insgesamt war die zeitliche Belastung durch all diese Treffen, verbunden mit den dazu zu erstellenden Berichten, Präsentationen und Anträgen im Jahr 2002 erheblich größer als 2001. Dennoch konnte in den integrativen Arbeiten ein merklicher Fortschritt erzielt werden (vgl. 2.).

Im Rahmen des Tags der offenen Tür an der BADW anlässlich des Internationalen Jahrs der Berge wurde das GLOWA-Danube Projekt mit Postern und Vorträgen von den Teilprojekten Hydrologie und Fernerkundung, Glaziologie und Tourismusforschung einer interessierten Öffentlichkeit erläutert. Ebenso konnten im August einer internationalen Studentengruppe im Rahmen des Glacio-Eurolab 4 in Obergurgl die Schwerpunkte des GLOWA-Teilprojekts Glaziologie vorgestellt werden.

Die im Jahr 2001 durch den Kurs der Kollegen des Teilprojekts Informatik erworbenen Java-Kenntnisse wurden durch eine weitere Schulung vertieft und erweitert, die Zusammenarbeit mit den anderen Projekten, insbesondere mit der Gruppe Hydrologie/Fernerkundung und mit den Tourismusforschern verstärkt. EDV-Unterstützung wurde von den Mitarbeitern der Kommission für Glaziologie (v.a. Dipl.-Met. M. Weber) in erheblichem Umfang gegeben.

2. Gemeinsame Arbeiten des Teilprojekts Glaziologie mit den anderen GLOWA-Danube-Gruppen

2.1 Vernetzungen innerhalb von Landsurface

Im Mittelpunkt der integrativen Arbeiten des Teilprojekts stand die Weiterentwicklung der Komponenten *Surface* und *Snow* des Landsurface-Teilobjekts. Nachdem im ersten Antragsjahr die Vernetzung der fünf Teilprojekte Atmosphäre, Rivernetwerk, Groundwater, Actors und Landsurface durch die Beschreibung der jeweiligen Schnittstellen und der darin zu übergebenden Parameter mit Hilfe der UML-Notation festgelegt worden war, mussten nun die innerhalb von Landsurface definierten Schnittstellen mit entsprechenden Berechnungsalgorithmen gefüllt werden. Hierzu wurde zunächst ein dem UML-Diagramm entsprechendes Javaprogramm mit ‚Einfachst-Ansätzen‘ implementiert, um das Zusammenspiel der Schnittstellen im Landsur-

face-Modul insbesondere beim Rechnen im Netz, d.h. auf verteilten, vernetzten Workstations auf Konsistenz zu überprüfen. Dieser Code wurde in der ersten lauffähigen Gesamtversion von DANUBIA (V. 0.9) eingesetzt, getestet und bei der Statuskonferenz erfolgreich vorgeführt.

2.1.1 Weiterentwicklung der Komponente *Surface* in DANUBIA 0.9

Die physikalische Parameterisierung der Berechnungsansätze wurde in der zweiten Jahreshälfte angegangen. Zunächst wurde ein eigenes Javaprogramm entwickelt, in das stufenweise die Überprüfung der Routinen eingebracht wurde. Dies ist deshalb erforderlich, weil das DANUBIA-Programmpaket wegen der noch nicht vorliegenden, individuellen Testumgebung bis dato noch keine unabhängige Modellierung und Überprüfung der Teilobjekte ermöglicht. Deshalb wurde aus Sicherheitsgründen eine Programmroutine erst dann in den jeweiligen Teilobjekten (d.h. in diesem Fall *Surface* und *Snow*) implementiert, wenn die berechneten Daten durch das eigene, unabhängig lauffähige Hauptprogramm auf Syntax und richtige Rechenergebnisse geprüft waren. Gleichzeitig stellte diese eigene Testumgebung eine gute Möglichkeit dar, mit der objektorientierten Programmiersprache Java vertrauter zu werden; auch für schon etwas geübte Programmierer stellt der Übergang von prozeduralen Programmiersprachen wie Fortran oder Pascal zu Java einen größeren Lernschritt dar!

Die erste Klasse, in der eine wenn auch einfache, aber doch auf physikalischen Abhängigkeiten aufgebaute Parameterisierung eingebracht wurde, war *Surface*. Hier musste die Schmelzwasserproduktion S von Gletschern berechnet werden, da nach allgemeiner Übereinkunft Gletscher als Landnutzungsklasse behandelt werden, analog zu den weiteren Klassen wie z.B. Wiese, Wald, versiegelte Oberfläche oder Gewässer. Als erstes wurden die turbulenten Wärmeströme H und LE mit einfachen physikalischen Ansätzen implementiert, dann die Energiebilanz mit den von Atmosphäre - über *Radiationbalance* - gelieferten Strahlungsbilanztermen berechnet. Im Fall einer Abkühlung der Oberfläche in Folge von Energieverlusten wurde die Absenkung der Oberflächentemperatur T_s mit einem einfachen Näherungsansatz berücksichtigt, da alle Terme der Energiebilanz - bis auf die kurzweilige Strahlungsbilanz - von der Oberflächentemperatur abhängen. Steht ein Energieüberschuss an der Oberfläche zur Verfügung, so wird diese zunächst wieder auf 0°C erwärmt, dann erst setzt die Schmelzung ein. Als ‚effektiver Niederschlag‘ wird das Eisschmelzwasser zusammen mit dem flüssigen Niederschlag im eisbedeckten Gebiet an die Klasse *Soil* weitergegeben. Der Anteil des Regens am effektiven Niederschlag gewinnt auch im Hochgebirge immer mehr an Bedeutung, weil die Höhenlage, bis zu der Niederschlag in flüssiger Form fällt, immer weiter ansteigt. Dies hat z.B. Auswirkungen auf die Entstehung von Hochwässern in hochalpinen, teilweise vergletscherten Einzugsgebieten (BRAUN und WEBER 2002) wie z.B. dem Ötztal, einem der DANUBIA-Testeinzugsgebiete (vgl. 2.2).

Diese Berechnung erfolgt auf Proxelbasis, d.h. mit einer Flächenauflösung von 1km^2 . Da hier bereits über sehr heterogenes Gelände gemittelt wird - vor allem im Hochgebirge! -, erschien der Einsatz von detaillierteren Parameterisierungen als nicht sinnvoll. Diese würden z.B. der unterschiedlichen Rauigkeit durch entsprechende Grenzschichtparameter Rechnung tragen, sie würden die Stabilität der Schichtung berücksichtigen, sie würden auch die Albedo - als wichtigste Kenngröße der Strahlungsbilanz über Gletschern und damit der Schmelzwasserproduktion - zeitlich und räumlich stärker auflösen, als dies derzeit der Fall ist. Derartige Verbesserungen der Modellphysik sollen in Zukunft, d.h. nach der Einführung der Geokomplexe durch die Gruppe Hydrologie/Fernerkundung in den jeweiligen Programmcode eingebracht werden. Sie werden quantitativ und qualitativ eine noch größere Rolle spielen bei der Modellierung des Schneedeckenauf- und -abbaus im gesamten Einzugsgebiet in der Klasse *Snow*, die im übernächsten Abschnitt behandelt wird.

2.1.2 Erste Testläufe von DANUBIA 0.9 für ein ausgewähltes Gletscherproxel

Nach der Implementierung der Modellphysik in der Klasse *Surface* wurden mehrere Testläufe innerhalb von DANUBIA durchgeführt; hierbei konnte auf die Programmumgebung, die Datenbanken und die Eingangsgrößen zugegriffen werden, die von der GLOWA-Arbeitsgruppe Hydrologie/Fernerkundung, Department of Earth and Environmental Sciences, und der GLOWA-Gruppe Informatik, LMU bereitgestellt werden (vgl. oben, siehe auch Jahresberichte Hydrologie/Fernerkundung bzw. Informatik). Für ein eindeutig eine Gletscheroberfläche aufweisendes Proxel wurden die Energiebilanzterme schrittweise mit Hilfe der ‚Log-Files‘ überprüft. Diese Hilfsfunktion wurde von der GLOWA-Arbeitsgruppe Informatik implementiert, sie speichert alle wesentlichen Kontrollgrößen in den sehr umfangreichen Java-Ausgabedateien mit dem Kennwort ‚INFO‘ ab und erleichtert dadurch deren Analyse erheblich. Dabei ergaben sich gewisse Inkonsistenzen bei den meteorologischen Eingabedaten und deren Umrechnungen, die auf eine noch nicht abgeschlossene Umsetzung der Meteostationsdata-Files hinweisen. Die Verbesserungen dieser Daten werden von W. Mauser durchgeführt, der die räumlich-zeitliche Interpolation der meteorologischen Eingabedaten in Java programmierte. Das schrittweise Vorgehen bei der Erweiterung des Gesamt-DANUBIA-Paketes erleichtert diese Überprüfung erheblich. Ebenso dient die Anlage und Pflege der Java-Dokumentation mit allen Bibliotheken und die regelmäßige Ergänzung der Technical Reports einer besseren Kontrolle der Eingangs- ebenso wie der Ausgangsgrößen, da auch hiermit - bis in die Details der Einheiten hinein - eine Überprüfung ermöglicht wird. Dies ist zwar sehr zeitaufwändig, erscheint aber v.a. in der Anfangsphase der Implementierung von Gesamt-DANUBIA als äußerst wichtig, da mit jeder weiteren zusätzlichen Komponente die Kontrolle erschwert wird. Durch diese Vorgehensweise wird auch die Fehleranalyse, wie sie in den Diskussionen über den Folgeantrag immer wieder als wichtige integrative Arbeit herausgestellt wurde, am konkreten Beispiel durchgeführt. Die Zusammenarbeit bei all diesen integrativen Arbeiten mit der Arbeitsgruppe Hydrologie/Fernerkundung war und ist eine sehr hilfreiche Unterstützung der eigenen Projektarbeit!

2.1.3 Weiterentwicklung der Komponente *Snow* in DANUBIA 0.9

Das Hauptaugenmerk im Objekt *Snow* liegt auf der Modellierung der natürlichen Schneedecke. Der Schneedeckenaufbau wird mit den von Meteostationsdata gelieferten Niederschlagsdaten und der in *RadiationBalance* bestimmten Niederschlagsart modelliert, der entsprechende Programmcode ist derzeit nur in der einfachen Version auf dem Stand des Statusreports verfügbar. Für die Berechnung der Schneeschmelze wurde in einem ersten Schritt die zeitliche Änderung der kurzwelligen Strahlungsabsorption von Schnee in Folge der Schneeealterung und -setzung programmiert und in der eigenen Testumgebung verifiziert. Die turbulenten Wärmeströme werden mit den gleichen Ansätzen wie bei Gletscheroberflächen berechnet, so dass auf die bereits ausgetesteten Routinen zurückgegriffen werden kann. Durch die ausführlichen Datenanalysen im Rahmen der Gletscherschmelzbestimmungen sind die Eingangsgrößen bereits überprüft, so dass die vollständige Implementierung der Java-Routinen in den nächsten Wochen abgeschlossen werden kann.

2.2 Zusammenarbeit mit anderen Gruppen innerhalb von GLOWA-Danube

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 Ötztal zu einem der Testeinzugsgebiete erklärt, in dem ein Großteil der an GLOWA-Danube beteiligten Teilprojekte ihre sektoralen Fragestellungen bearbeiten werden. Dies sind - neben den bereits angesprochenen - die Teilprojekte Naturnahe Ökosysteme, Oberirdische Gewässer, Hydrologie/Fernerkundung, Grundwasser und Umweltpsychologie. Die Kopplung zwischen natürlicher und künstlicher Schneedecke (Beschneigungsanlagen, Anlage von Wasserreservoirs dafür) ist eine wichtige Ergänzung des Objekts *Snow*.

Eine weitere Zusammenarbeit wurde mit dem Teilprojekt HCB (Human Capacity Building) in Stuttgart in die Wege geleitet. Hierfür wurden Vorschläge für sog. Independent Studies erarbeitet, die einen engeren Kontakt mit den Studenten dieses Teilprojekts erbringen sollen. Die Vorschläge umfassen sowohl Feldarbeiten im Rahmen der Kommission für Glaziologie als auch die Erstellung von Homepages auf der Basis von bereits vorliegendem oder neu zu erarbeitenden digitalen Bild- und Testvorlagen.

3. Sektorale Arbeiten

3.1 Regionalisierung bzw. Downscaling von meteorologischen Parametern

In Abschnitt 2.1.1 wurde bereits auf die für Schneedeckenmodellierungen zu starke räumliche Mittelung hingewiesen, die mit Hilfe des Geokomplexansatzes verbessert werden soll. Hier können die sektoralen Arbeiten der Gruppe Glaziologie erfolgversprechend mit eingesetzt werden. Dies betrifft zum einen die Strahlungsverteilung im Gelände, die erst bei Gitterabständen von einigen Dekametern bis zu 100m sinnvoll modelliert werden kann. Hierfür kann auf die für verschiedene Gebiete in den Alpen bereits getestete Abschattungsroutinen zurückgegriffen werden (ESCHER-VETTER 1980). Ebenso verbessert der Einsatz der regional und jahreszeitlich deutlich variablen Niederschlagsgradienten, wie sie von KUHN et al. (1999) für insgesamt 22 inner- und außeralpine Einzugsgebiete in Österreich erarbeitet wurden, die kleinräumige Modellierung von Niederschlagsart und -menge. Diese Grundlageninformationen sind insbesondere von Bedeutung bei der Schneedeckenmodellierung über den vielfältigen Oberflächenarten, wie sie im Einzugsgebiet der Donau bis Passau auftreten. Grundlage der Berechnungen zum Schneedeckenauf- und -abbau im GLOWA-Danube Einzugsgebiet bleiben aber das selbstentwickelte Energiebilanzmodell PEV-SD (Physikalisches Energiebilanzmodell Vernagtferner - Schneedeckenauf- und -abbau) und das hydrometeorologische Modell OZ (Österreichische Einzugsgebiete). Verbesserungen des PEV-SD Modells betreffen zum einen die Höhengradienten des Schneesiederschlags, was für das Testgebiet Ötztal von großer Bedeutung ist, zum anderen die Parameterisierungen der turbulenten Flüsse für nicht vergletscherte Areale. Hierzu wird auf laufende Arbeiten der eigenen Gruppe ebenso wie auf bereits publizierte Ansätze zurückgegriffen. Eine Verbesserung der im letzten Jahresbericht geschilderten Modellierungsergebnisse für das Einzugsgebiet der Venter Ache im Ötztal mit diesen Ansätzen ist derzeit in Bearbeitung.

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 dann in Verbindung mit den Geländedaten regionalisiert werden. Im DANUBIA-Modell werden diese Daten auf Proxelbasis von Atmosphäre bzw. 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 Parameterisierungen 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 Stundensschritt 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 ei-

nem Geländemodell mit 100m Maschenweite zu modellieren (ESCHER-VETTER und WEBER 2001).

PEV - S D

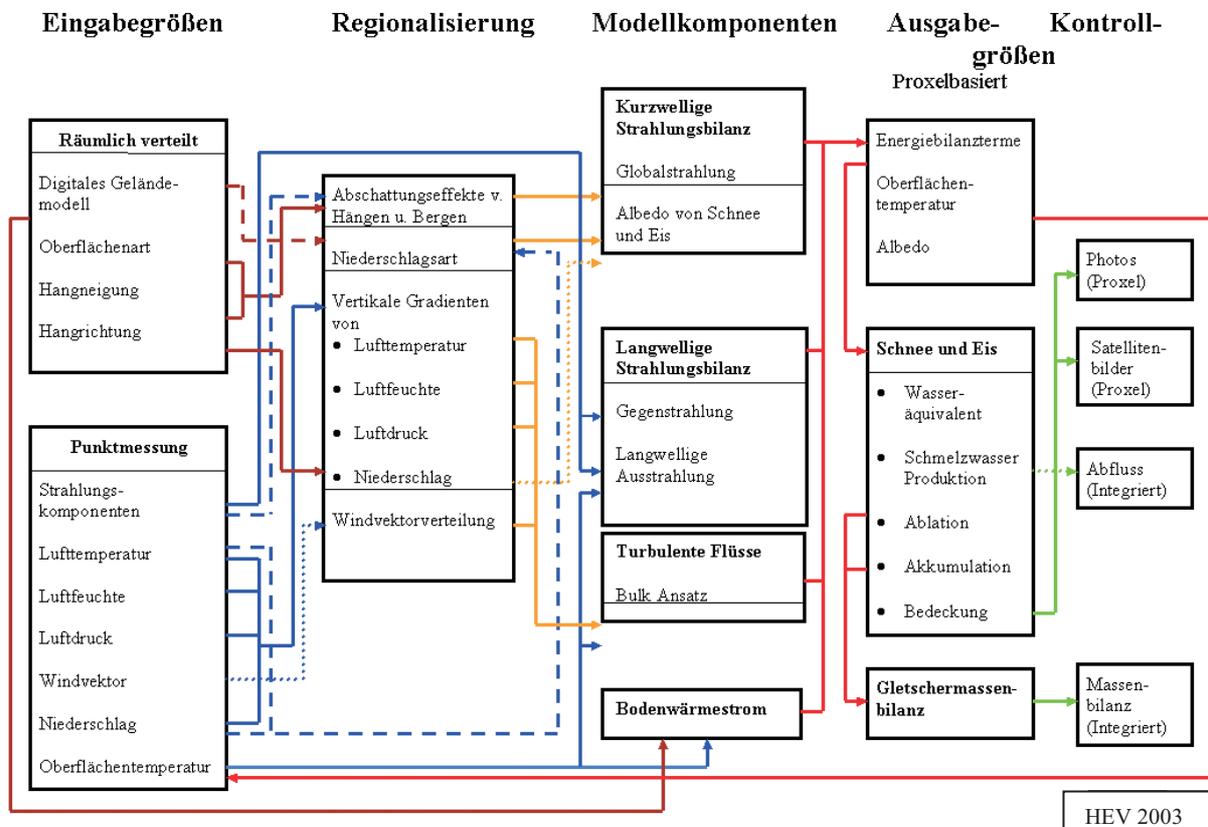


Abb. 1: Flussdiagramm des PEV-SD Modells

3.2 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. Die grundlegenden Daten werden vom neuen österreichischen Gletscherkataster geliefert, der zur Zeit im Entstehen ist: alle österreichischen Gletscher wurden in den Jahren 1996-2002 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 leistet einen Beitrag zu den Kosten der photogrammetrischen Auswertung, ca. 5% der Gesamtkosten von etwa 700.000 Euro. Zur Zeit sind die Auswertungen der Gletschergebiete der Ötztaler und Stubaiyer 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 2003 gerechnet werden.

Literatur

- BRAUN, L. (2002): Das Wasser der Alpen: Hydrologische Empfindlichkeit der Alpenregion gegenüber einer Klimaveränderung. Tagungsband „Der Klimawandel und die Auswirkungen auf den Alpenraum“, Tagung vom 11.-12. April 2002 in Neukirchen, Nationalparkakademie Hohe Tauern, A-9971 Matrei / Osttirol.
- BRAUN, L. und WEBER, M. (2002): Droht im nächsten Sommer Hochwasser vom Gletscher? Rundgespräche der Kommission für Ökologie, Band 24 „Katastrophe oder Chance? Hochwasser und Ökologie“, Bayerische Akademie der Wissenschaften, München, S. 47-66.
- 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. (2002): Zum Gletscherverhalten in den Alpen im zwanzigsten Jahrhundert. Klimastatusbericht 2001, Hrsg. und Verlag: Deutscher Wetterdienst, Offenbach. S. 51-57.
- * ESCHER-VETTER, H. und 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. (2002): Alpine Gletscher als Klimaarchiv, Tagungsband „Der Klimawandel und die Auswirkungen auf den Alpenraum“, Tagung vom 11.-12. April 2002 in Neukirchen, Nationalparkakademie Hohe Tauern, A-9971 Matrei/Osttirol.
- KUHN, M. und BATLOGG, N. (1999): Modellierung der Auswirkung von Klimaänderung auf verschiedene Einzugsgebiet in Österreich. Schriftenreihe der Forschung im Verbund, Bd. 46, Hrsg. Österreichische Elektrizitätswirtschaft-Aktiengesellschaft, 94 S.
- WÜRLÄNDER, R. und KUHN, M. (2000): Zur Erstellung und Anwendung der Produkte des neuen österreichischen Gletscherkatasters. Salzburger Geographische Arbeiten, 36: S. 57-67.

Die mit * gekennzeichneten Arbeiten wurden ausdrücklich als Beiträge zum GLOWA-Danube Projekt geschrieben.

Wechselwirkung zwischen Niederschlag und Landoberfläche

Teilprojekt: Meteorologie: Wechselwirkung zwischen Niederschlag und Landoberfläche
Leiter: Prof. Volkmar Wirth
Ausführende Stelle: Institut für Physik der Atmosphäre,
Johannes Gutenberg Universität Mainz
Becherweg 21, 55128 Mainz

1. Organisatorisches

1.1 Personal

1.1.1 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.

1.1.2 Wissenschaftliche Hilfskräfte

In der Gruppe Wirth wurde eine wissenschaftliche Hilfskraft mit einer wöchentlichen Arbeitszeit von 4-5 Stunden für 8 Monate eingestellt.

1.2 Anschaffungen

Von der Gruppe Wirth wurde im Jahre 2002 die Software Magic Draw UML 4.51. Professional Version zu einem Preis von 480,26 € bezahlt.

1.3 Veranstaltungen

1.3.1 GLOWA-Danube (intern)

- Projekttreffen GLOWA-Danube, München, 14.-15. März 2002
- Statuskonferenz GLOWA, München, 6.-8. Mai 2002
- Projekttreffen GLOWA-Danube, München, 4.-5. Juli 2002, Doktorandenvorträge
- Atmosphäre-Treffen, Mainz, 16.-17. Juli 2002
- GLOWA-Danube Treffen zum Folgeantrag I, München, 1.-2. August 2002
- GLOWA-Danube Treffen zum Folgeantrag II, Freiburg, 29.-30. August 2002
- GLOWA-Danube Treffen zum Folgeantrag III, Stuttgart, 19.-20. September 2002
- Scaling Workshop, Stuttgart, 10.-11. Dezember 2002, Doktorandenvorträge

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

1.3.2 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."

Gruppe Egger: Forum Alpinum 23.-27.9.2002 in Alpbach mit dem Vortrag: "Using regional climate models for downscaling to the lake basins".

1.4 Veröffentlichungen

FRÜH, B., WIDMANN, M., FREI, C., SCHIPPER, H., WIRTH, V., PFEIFFER, A. and EGGER, J. (2002): Applying PRISM for the downscaling of simulated precipitation fields in the European Alps, Appl. Met., in Vorbereitung.

SCHIPPER, J.W., PFEIFFER, A. and EGGER, J.: Sensitivity study of MM5 configurations in the Danube catchment area, in Vorbereitung

2. Ergebnisse

2.1 Integrativ

2.1.1 Schnittstellen

Während der ersten Projektphase wurden gemeinsam mit der Gruppe Niederschlag/Fernerkundung (Bendix) und in Absprache mit den Gruppen Hydrologie/Fernerkundung (Mauser) und Oberirdisches Gewässer (Willems) die Schnittstellen des *Atmosphere* Verbundobjekts mit Hilfe von UML diskutiert und implementiert (s. Abb. 1). Für eine prinzipielle Beschreibung der UML Notation sei auf die Gruppe Informatik (Hennicker) verwiesen. Die drei Objekte des *Atmosphere* 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 *AtmosphereController* 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.

2.1.2 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).

Das 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 (meteorologische Analysen 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.

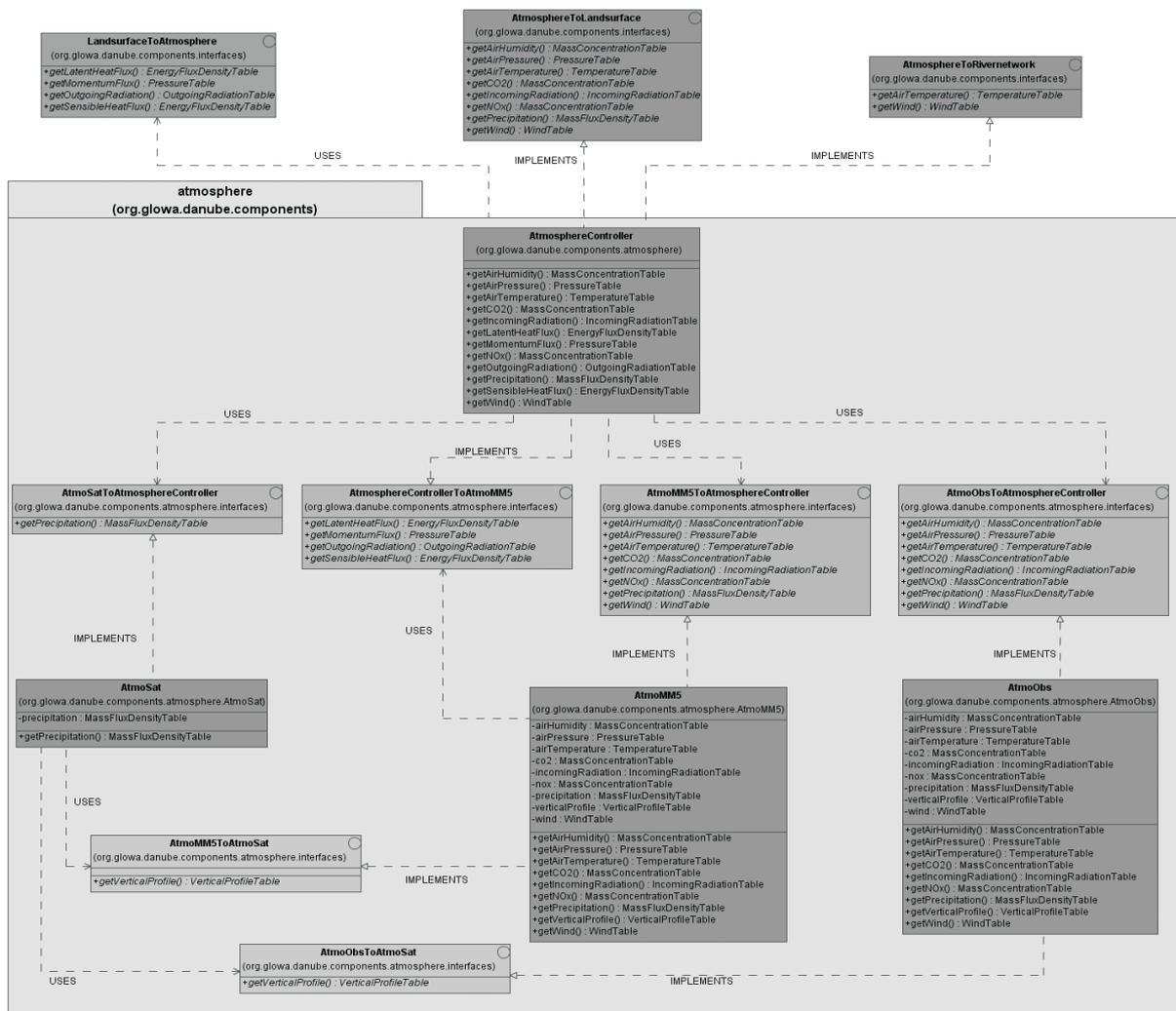


Abb. 1: Verbundobjekt *Atmosphäre* in UML-Notation

Im Berichtszeitraum wurden dementsprechende Testsimulationen durchgeführt. Im Vordergrund für die Auswahl der Konfiguration des MM5 für GLOWA-Danube stand hierbei in erster Linie die Realitätsnähe des simulierten Niederschlags, da dies zweifelsohne eine ganz wesentliche Größe in einem Projekt zur Untersuchung des Wasserhaushalts darstellt.

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 sogenannten expliziten Feuchteschema berechnet, während die eher kleinräumigen, subskaligen Gewitter von der Konvektionsparametrisierung behandelt werden. Abbildung 2 belegt, dass das MM5 grundsätzlich diese zwei verschiedenen Prozesse der Niederschlagsgenerierung realistisch zu trennen vermag (BELJAARS et al. 1996).

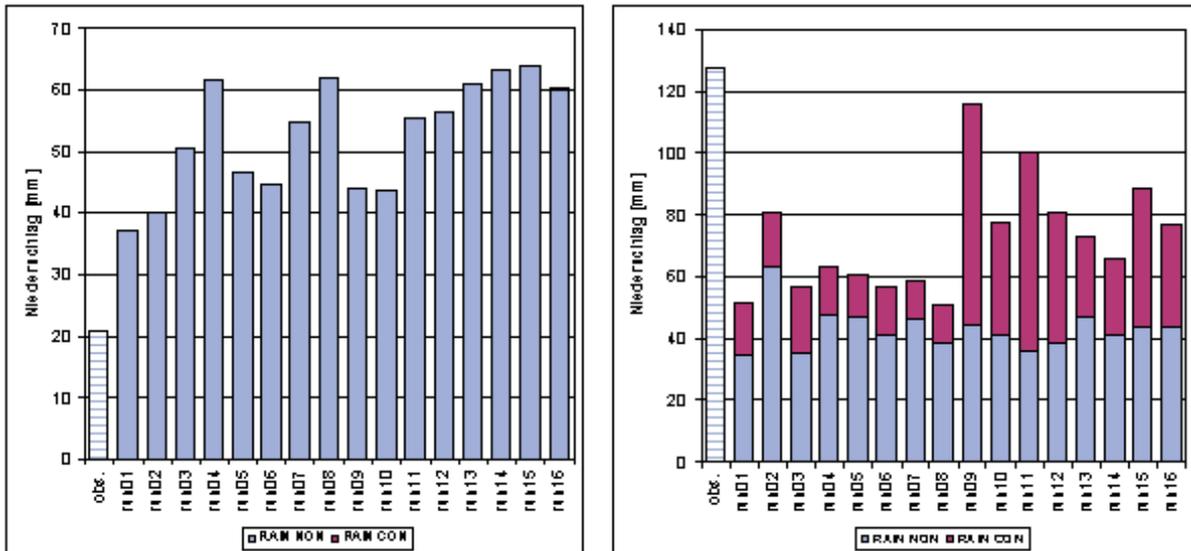


Abb. 2: Februar 1998 (links), Mai 2000 (rechts), Aufteilung des Niederschlags in expliziten (~synoptisch-skaligen, 'RAIN NON') und parametrisierten (~konvektiven, 'RAIN CON') Anteil. Dargestellt sind die simulierten Monatssummen für 16 verschiedene Modellkonfigurationen ('run01' bis 'run16') im Vergleich zu den beobachteten Werten ('Obs.')

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. 3) 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 4 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.

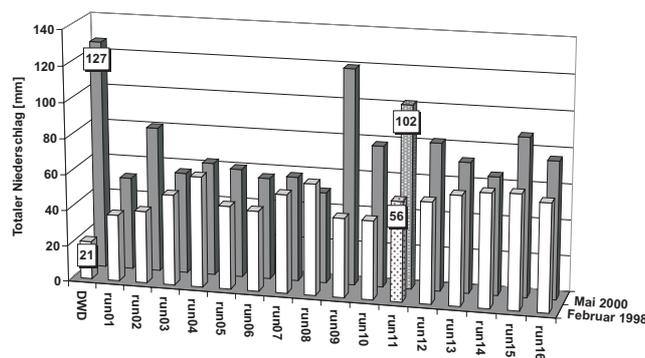


Abb. 3: Gesamter simulierter Niederschlag für Februar 1998 und Mai 2000 für verschiedene Modellkonfigurationen (run01 bis run16) (zum Vergleich gemessene Daten des DWD)

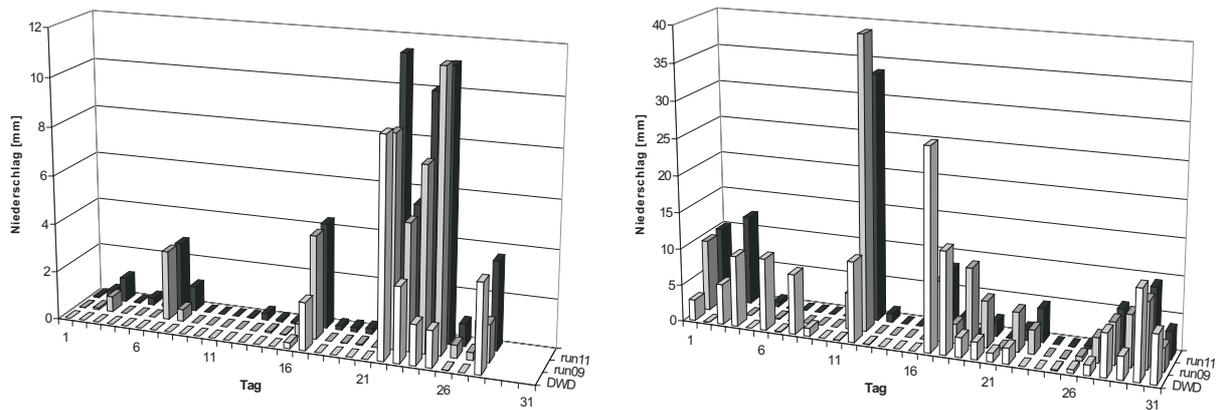


Abb. 4: Tägliche Niederschlagssummen wie beobachtet und für zwei verschiedene Modellkonfigurationen (links Februar 1998, rechts Mai 2000).

2.1.3 Einfügen des MM5 in den DANUBIA-Zeittakt

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.

2.1.4 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 Wiederankopplung 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. 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 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.

2.1.5 Skalierung

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 *Atmosphäre* 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 *Land-surface* 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 $1 \times 1 \text{ km}^2$. Zur Übertragung der Daten auf das feinere Gitter wurde ein hochentwickelter Skalierungs-Algorithmus konzipiert und realisiert. Zu diesem Zweck wird auf Beobachtungsdaten zurückgegriffen. Im Fall des Niederschlags wird zusätzlich ein Vergleich mit Simulationsergebnissen benötigt. Daher sind für die Skalierung der MM5-Ergebnisse drei Schritte notwendig:

1. Erstellung einer Klimatologie aus den Simulationsergebnissen über den Zeitraum 1991-2000.
2. Erstellung einer weiteren Klimatologie aus den Beobachtungsdaten, ebenfalls über den Zeitraum 1991-2000.
3. Ableitung der Skalierungsfunktion.

Diese drei Schritte werden im Folgenden näher erläutert.

1. MM5 Klimatologie

Das für den Einsatz in GLOWA konfigurierte MM5 (s. Abschnitt 2.1.2) wurde zur Erstellung eines kontinuierlichen Klimalaufs von Januar 1991 bis Dezember 2000 für den europäischen Raum (Abb. 5) eingesetzt. Die meteorologischen Rand- und Anfangsbedingungen wurden hierzu aus operationellen Daten des ECMWF gewonnen. Grundsätzlich wären zwar die Daten des derzeit am ECMWF laufenden Reanalyseprojekts zu bevorzugen gewesen; da die entsprechenden Simulationen am ECMWF jedoch zu Beginn des MM5-Klimalaufs noch nicht abgeschlossen waren, musste von diesem sehr hochwertigen Datensatz wieder Abstand genommen werden. Gegen Ende des Jahres 2002 konnte schließlich die Langzeitsimulation des regionalen Klimas abgeschlossen werden und steht nun für die Weiterentwicklung des Downscaling-Verfahrens zur Verfügung. Dieser hochkonsistente Datensatz wird darüber hinaus noch weiteren Analysen unterzogen werden.

Erwähnt werden soll an dieser Stelle noch, dass derartige Klimalläufe 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 45 km 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.

Das für die MM5-Klimasimulation ausgewählte Gebiet muss groß genug sein, um die bestimmenden synoptischen Systeme oder 'Großwetterlagen' erfassen zu können; das Untersuchungsgebiet von GLOWA ist im Vergleich hierzu fast schon verschwindend klein (Abb. 5).

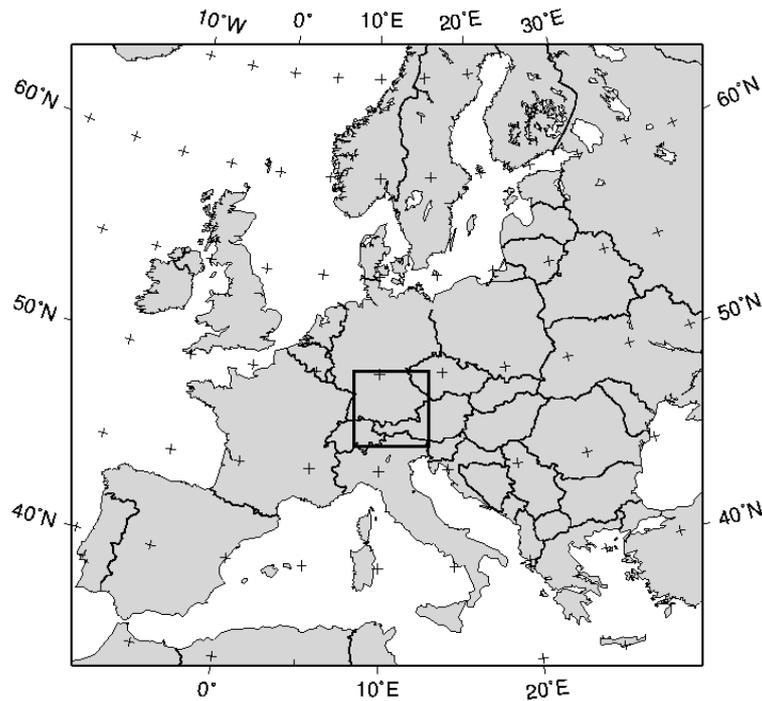


Abb. 5: MM5-Simulationsgebiet; das Rechteck im mittleren Bereich deutet das DANUBIA-Gebiet an.

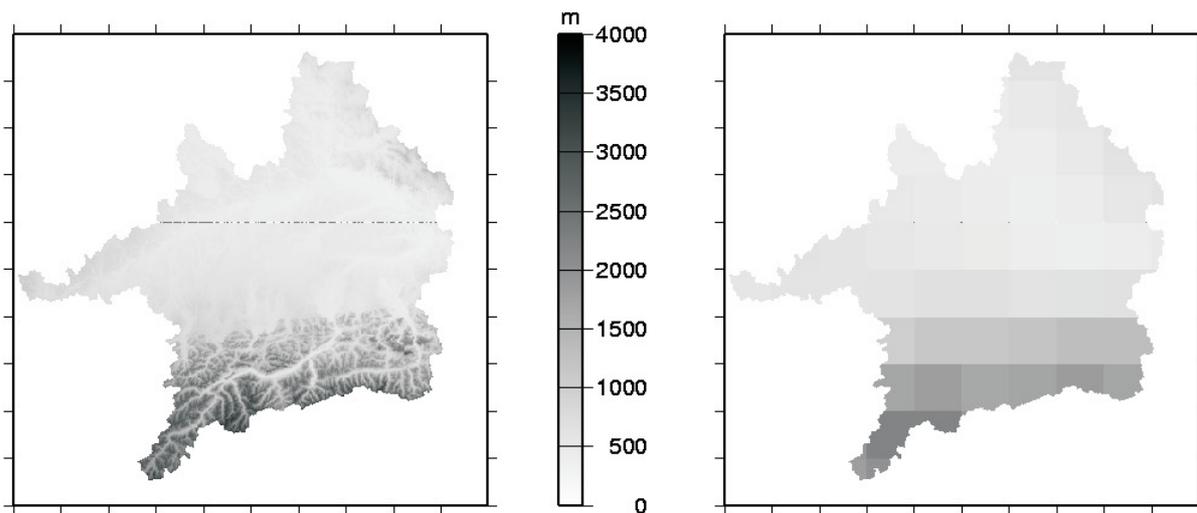


Abb. 6: Orographie, Auflösung 1km (links) und 45km (rechts)

Dieser Größenunterschied impliziert auch einen mehr oder weniger entsprechenden Unterschied in der horizontalen Auflösung. Dieser Skalensprung schlägt sich auch in der in Abbildung 6 illustrierten Differenz der jeweiligen Erfassung der Orographie nieder. Während die Darstellung in der innerhalb GLOWA zu verwendenden Auflösung von 1km ein schön differenziertes Geländere relief zeigt, wirkt der hier vergrößerte Ausschnitt aus dem mit 45 km aufgelösten Simulationsgebiet von MM5 deutlich schachbrettartig. Dies wirkt sich zwangsläufig auf die Simulationsergebnisse aus.

Abbildung 7 (rechts) zeigt die simulierte Niederschlagsklimatologie nur für das GLOWA-Gebiet. Es fällt sofort wieder das schachbrettartige Muster auf, das sich natürlich aus der vergleichsweise groben Auflösung der MM5-Simulation - bezogen auf die eher geringe Ausdehnung des betrachteten Gebiets - ergibt. Ähnlich verhält es sich für die simulierten bodennahen Temperaturen. Es wird somit klar, dass die Daten des MM5 für die Verwendung in GLOWA eine geeignete, von den Differenzen der zwei unterschiedlich aufgelösten Orographiedatensätzen ausgehende Korrektur erfahren müssen (COSMA et al. 2002).

2. Klimatologie aus Beobachtungsdaten

Zunächst wurde aus den Messreihen der Stationen für jeden Tag eine Klimatologie über die Jahre 1991-2000 erzeugt. Die Übertragung dieser klimatologischen Stationsdaten auf 1 km Auflösung erfolgt dabei unter Berücksichtigung der jeweiligen Höhenabhängigkeit des Parameters und lokal-klimatischer Besonderheiten.

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. Der dafür verwendete Datensatz umfasst 9546 Stationen mit täglichen Niederschlagsmessungen. Eine ausführlichere Beschreibung der Messreihen kann FREI und SCHÄR (1998) entnommen werden.

Um die tägliche Niederschlagsklimatologie der Referenzperiode 1991-2000, welche für DANUBIA benötigt wird, mit der monatlichen PRISM-Klimatologie der Referenzperiode 1971-1990 zu verknüpfen, wurden zunächst die über den Zeitraum 1991-2000 gemittelten, täglichen Stationswerte des Niederschlags mit den über den Zeitraum 1971-1990 gemittelten, monatlichen Stationswerten des Niederschlags normalisiert und anschließend mit Hilfe des Shepard-Algorithmus (SHEPARD 1968; RUDOLF et al. 1992) auf das reguläre 1x1km² interpoliert. Dieser Algorithmus wichtet die Koeffizienten entsprechend der Richtung und Entfernung zum jeweiligen Gitterpunkt, berücksichtigt jedoch noch nicht den vertikalen Gradienten. 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. 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 (1x1km²). Abbildung 7 (links) zeigt diese Niederschlagsfelder summiert über das Jahr.

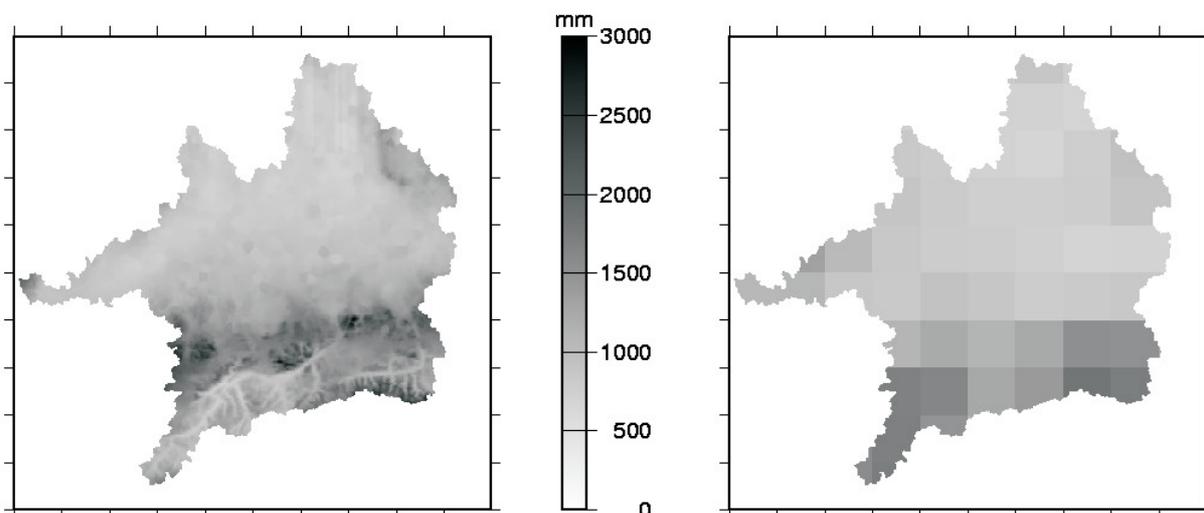


Abb. 7: Niederschlagsklimatologie der Beobachtungen (links) und des Modells (rechts) des Referenzzeitraums 1991-2000 als Jahressumme

Für die meteorologischen Parameter Lufttemperatur, Luftdruck, Windgeschwindigkeit und relative Feuchte wird für jeden Tag 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. Abbildung 8 zeigt die resultierenden täglichen Temperaturfelder ($1 \times 1 \text{ km}^2$) gemittelt über das Jahr.

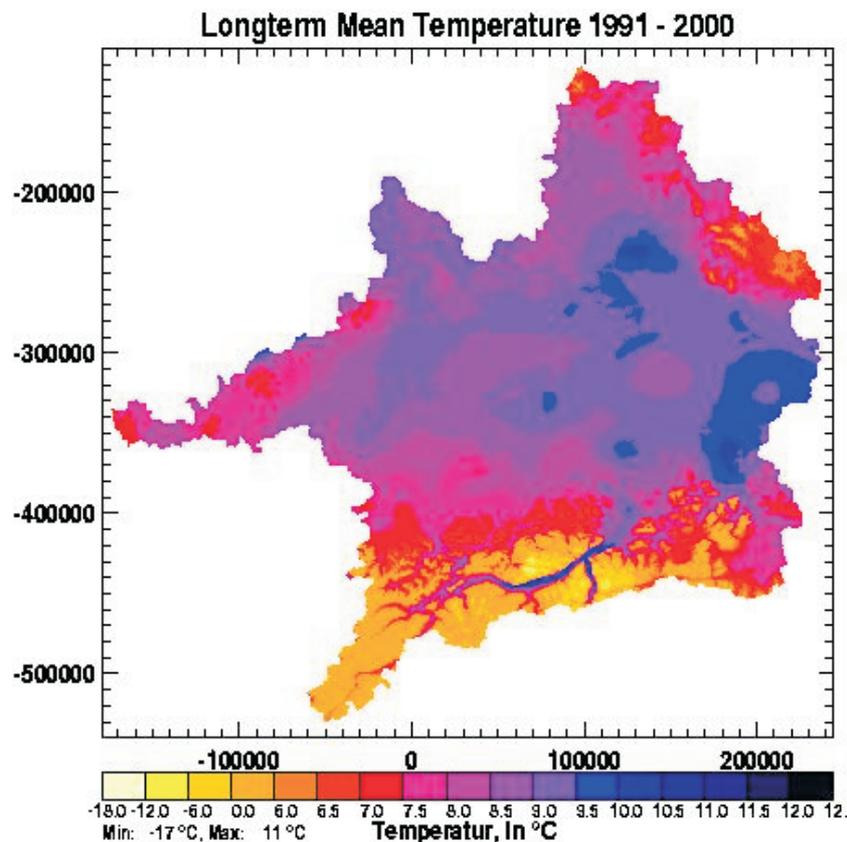


Abb. 8: Temperaturklimatologie der Beobachtungen des Referenzzeitraumes 1991-2000 als Jahresmittelwert

Die Bewölkung wird als von der Orographie unabhängig angenommen. Deshalb können die mit dem Shepard-Algorithmus interpolierten Proxel-Werte direkt übernommen werden.

3. Ableitung der Downskalierungs-Funktion

Aus der Interpolation der klimatologischen Stationsdaten resultieren die Felder auf dem Proxel-Gitter ($1 \times 1 \text{ km}^2$). Zusätzlich werden diese Felder auf das von MM5 verwendete größere Gitter gemittelt. Aus dem Verhältnis der Werte des feineren und größeren Gitters ergibt sich die Skalierungsfunktion $f(i,j)$:

$$F(i,j) = X_{obs}(I,J) / X_{obs}(i,j)$$

mit $i=i_1, \dots, i_2$, $j= j_1, \dots, j_2$. Das Subskript "obs" beschreibt die Felder der meteorologischen Parameter X (Temperatur, Luftdruck, relative Feuchte, Windgeschwindigkeit oder Bede-

ckungsgrad) aus den Beobachtungsdaten. Die Indizes (I,J) beziehen sich auf das gröber und die Indizes (i,j) auf das feiner aufgelöste Gitter. Dabei laufen die (i,j) in der dargestellten Gleichung über alle feiner aufgelösten Gitterzellen innerhalb der gröber aufgelösten ($i_1=n_x(I-1)+1, i_2=n_x I, j_1=n_y(J-1)+1, j_2=n_y J$).

Die aus den Stationsdaten gewonnene Skalierungsfunktion $f(i,j)$ bildet die feinere Struktur und höher aufgelöste Orographie auf das gröber aufgelöste Feld ab. Durch Division der Simulationsergebnisse von MM5 durch $f(i,j)$ lässt sich diese Verfeinerung auch auf die operationell simulierten Felder übertragen.

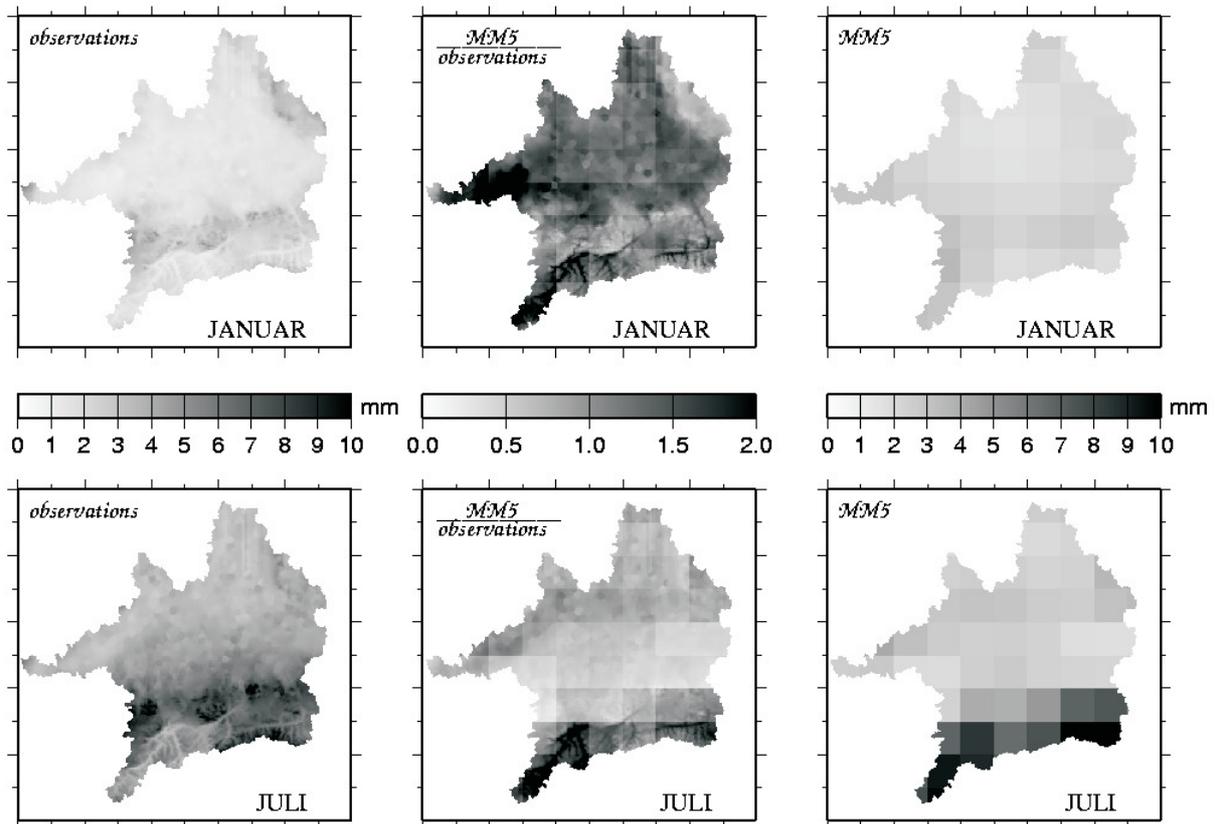


Abb. 9: Niederschlag: Beobachtungen (links), MM5-Klimatologie (rechts) und daraus resultierende Skalierungsfunktion (mitte) für Januar (oben) und Juli (unten)

Im Falle des Niederschlags wird sogar von der Korrektheit der PRISM-Niederschlagsfelder ausgegangen und der simulierte klimatologische Niederschlag entsprechend korrigiert. Damit lautet die Skalierungsfunktion $f(i,j)$:

$$F(i,j) = P_{sim}(I,J) / P_{obs}(i,j).$$

Im Unterschied zu der oben beschriebenen Gleichung wird zur Bestimmung der Skalierungsfunktion für den Niederschlag das Verhältnis des simulierten Niederschlags auf dem gröber aufgelösten Gitter $P_{sim}(I,J)$ zum Niederschlagsfeld auf dem feiner gelösten Gitter $P_{obs}(i,j)$ verwendet, welches aus den Beobachtungsdaten abgeleitet ist.

Ein erstes Ergebnis ist in Abbildung 9 dargestellt; es zeigen sich noch deutliche Diskontinuitäten der Skalierungsfunktion, die sich aus der Gitterstruktur des MM5 ergeben; Verfahren zu einer zweckmäßigen Glättung werden derzeit erarbeitet.

Mit diesen, auf klimatologischer Grundlage basierenden, $f(i,j)$ lassen sich die operationellen Simulationsergebnisse auf das Proxel-Gitter verfeinern.

Eine detailliertere Beschreibung des „Downskalierungs-Algorithmus“ für den Niederschlag kann FRÜH et al. (2002) entnommen werden.

2.1.6 Kontinuierliche Testsimulation auf 15 km horizontaler Auflösung

Der Prototyp des Gesamtmodells DANUBIA soll bereits vor der interaktiven Einkopplung des meteorologischen Modells mit Simulationsdaten des MM5 versorgt werden. Hierfür konnte bis Ende des Jahres 2002 eine kontinuierliche Simulation über 15 Monate (Oktober 1999 bis Dezember 2000) mit einer horizontalen Auflösung von 15 km abgeschlossen werden, die dem DANUBIA-System nun zur Verfügung steht.

Es bietet sich ein Vergleich dieses Datensatzes mit dem entsprechenden Zeitraum aus der auf 45km durchgeführten Klimasimulation (s. oben Abschnitt 2.1.5) an. Es soll beurteilt werden, welchen zusätzlichen Nutzen diese höhere Auflösung (mit ihrem entsprechend höheren Bedarf an Computerressourcen: ein simulierter Monat benötigt 60 Stunden reine CPU-Zeit) insbesondere im Hinblick auf die Verwendung im Gesamtmodell DANUBIA mit sich bringt.

2.2 Sektoral

Ogleich in der Anfangsphase die Arbeit an den integrativen Zielen dominierte, wurden parallel dazu schon einige sektorale Studien durchgeführt.

2.2.1 Wechselwirkung zwischen Feuchttemperatur und nachfolgendem konvektiven Niederschlag

In einem ersten Schritt wurde zur Untersuchung der Wechselwirkung zwischen Landoberfläche und Niederschlag 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 2mmh^{-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.

2.2.2 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 der Tabellen dargestellt:

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 Abb. 10 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. Jeder Punkt in Abbildung 10 stellt dieses Verhältnis für eine Station und ein Jahr dar (bei etwa 1000 Stationen und 52 Jahren führt das zu etwa 52000 Punkten). Der vertikale bzw. horizontale Balken zeigt die Position des über alle Stationen und Jahre gemittelten Niederschlags von April und Mai bzw. Juli und August. Damit stellen die Punkte links der Vertikalen trockene Frühjahre und die Punkte unterhalb der Horizontalen trockene Sommer dar.

Würde die oben gestellte Hypothese zutreffen, so wäre jeweils eine besondere Häufung von Punkten im linken unteren und rechten oberen Quadranten anzutreffen. Deutlich erkennbar ist diese Anhäufung im linken unteren Quadranten. Es zeigt sich dass in 45% der Messungen auf ein trockenes Frühjahr auch ein trockener Sommer folgt. In 24% der Messungen folgt auf ein feuchtes Frühjahr auch ein feuchter Sommer. Insgesamt 32% der Messungen entsprechen jedoch nicht der Hypothese.

Der hier dargestellte Zusammenhang ist als Voruntersuchung einzustufen. Im Jahr 2003 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.

2.2.3 Analyse von Radiosondenaufstiegen

Außerdem wurde begonnen Radiosondenaufstiege im Hinblick auf die Höhe und Struktur der Grenzschicht und ihre Entwicklung im Verlaufe eines Tages auszuwerten. Dazu wurden Profilmessungen an fünf Stationen des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach, (DWD) und einer Station der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, (ZAMG) aufbereitet. Die Radiosondenprofile liegen mit folgenden Messreihen vor:

Ort	Messzeitraum	Messzeitpunkt, UTC	Geograph. Länge	Geograph. Breite
Meiningen	1971-2000	00, 06, 12, 18	50,6°N	10,4°O
Mannheim	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

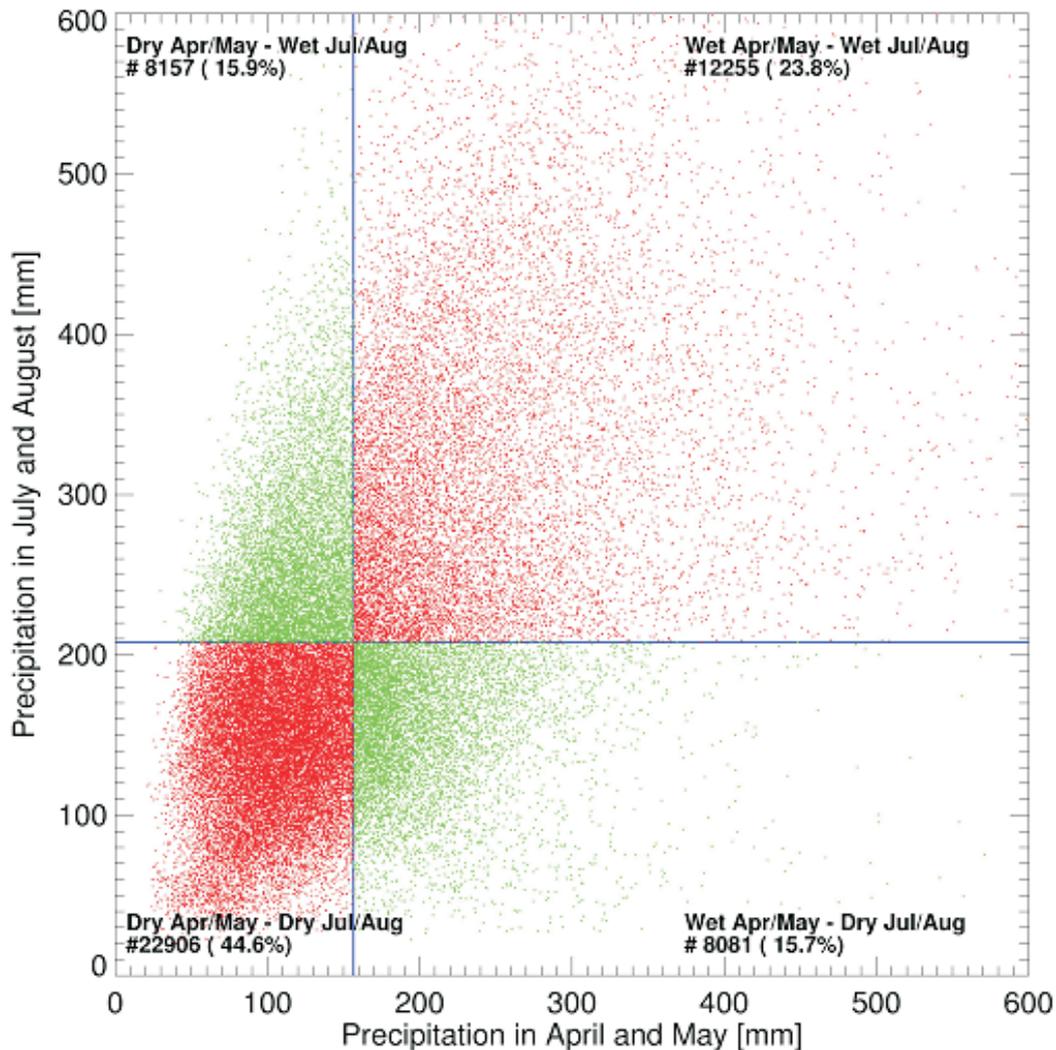


Abb. 10: Niederschlag im April und Mai im Vergleich zum Niederschlag in Juli und August

Für die Auswertung dieser Profilinformatoren wurde zunächst ein Konzept entwickelt, welches im Laufe des nächsten Jahres im Rahmen einer Diplomarbeit umgesetzt werden soll:

Wegen der geringen zeitlichen Auflösung der Radiosondenaufstiege soll zunächst mit Hilfe einer Korrelationsanalyse je eine Bodenstation mit hoher zeitlicher Auflösung (stündlich) gefunden werden, welche zusammen mit dem Radiosondenaufstieg Aussagen über die tägliche Entwicklung der Grenzschicht zulassen.

Im ersten Schritt wird die Grenzschicht auf ihre CAPE (convective available energy) und CINE (convective inhibition energy) Eigenschaften untersucht. Dazu wurde bereits ein Luftpaket-Modell entwickelt, welches die beiden Parameter berechnet. Durch Anwendung dieses Modells auf die Messreihen sollen dann ähnlich der Veröffentlichung von Williams und

RENNO (1993) zunächst statistische Aussagen über die Häufigkeit des Auftretens verschiedener Werte von CAPE gemacht werden. Ein interessanter Aspekt, der hierbei besonderer Untersuchung bedarf, ist die Anwendung verschiedener Temperaturgradienten, mit welchen das Luftpaket gehoben wird:

1. Temperaturgradienten, die auf einem reversiblen Prozess mit einer Phase basieren: Der kondensierende oder sublimierende Wasserdampf verbleibt vollständig in der Atmosphäre. Dieser Prozess führt zu Wolken, die jedoch nicht regnen.
2. Temperaturgradienten, die auf einem irreversiblen Prozess mit einer Phase basieren: Die feste oder flüssige Phase verlässt zum Zeitpunkt des Entstehens sofort das System. Somit wird Niederschlag simuliert ohne Wolken.
3. Temperaturgradienten, die auf einem reversiblen Prozess mit beiden Phasen (Wasser und Eis) basieren.

Besonders interessant wird sein, die Auswirkungen dieser unterschiedlichen Gradienten auf CAPE zu untersuchen. Ziel dieser Untersuchung wird die Korrelation von CAPE mit nachfolgendem Niederschlag sein. Auch soll die Korrelation von CAPE und der bodennahen Feuchttemperatur untersucht werden.

3. Weiteres Vorgehen/Planung

1. Die Skalierungsfunktion für die unterschiedlichen Parameter beschrieben in Abschnitt 2.1.5 (Downskalierung) sollen überprüft und, falls notwendig, verbessert werden.
2. Bei der Analyse der klimatologischen Felder aus den Beobachtungen zeigten sich einige Schwachstellen, vermutlich auf Grund der nur auf 10 Jahren beruhenden Klimatologie. Diese sollen im Laufe des nächsten Jahres beispielsweise durch die Bildung von gleitenden (gewichteten) Tagesmittelwerten verbessert werden.
3. Gegen Jahresende 2002 ist der PROMET Lauf der Gruppe Hydrologie/Fernerkundung (Mauser) von 1991-2000 abgeschlossen, so dass in 2003 mit der statistischen Untersuchung der Korrelation zwischen der simulierten Bodenfeuchte und dem Niederschlag begonnen werden kann.
4. Zur Verbesserung der Untersuchung in Abschnitt 2.2.1 (Wechselwirkung zwischen Feuchttemperatur und nachfolgendem konvektiven Niederschlag) wird die Unterscheidung zwischen konvektiven und nicht-konvektiven Niederschlagsereignissen der Gruppe Niederschlag/Fernerkundung (Bendix) verwendet werden.
5. An Hand der in Abschnitt 2.2.2 herausgearbeiteten „extremen“ Sommer sollen die Wechselwirkungsmechanismen zwischen Niederschlag und Bodenfeuchte analysiert werden. Außerdem soll die Signifikanz der Hypothese untersucht werden, ob auf ein feuchtes (bzw. trockenes) Frühjahr ein feuchter (trockener) Sommer folgt.
6. Als Anwendung des in Abschnitt 2.2.3 (Analyse von Radiosondenaufstiegen) beschriebenen Modells, soll CAPE und CINE für alle vorhandenen Profile bestimmt und statistisch ausgewertet werden. In einem weiteren Schritt soll CAPE mit dem nachfolgenden Niederschlag korreliert werden. Diese Arbeiten werden in 2003 im Rahmen einer Diplomarbeit durchgeführt werden.
7. Zusätzlich soll die Korrelation zwischen CAPE und der Feuchttemperatur nahe der Erdoberfläche untersucht werden, welche von WILLIAMS und RENNO (1993) für die Tropen gefunden wurde.
8. Weitere Kopplungsarbeiten *MM5-Landsurface*
Die systematische Ent- und anschließende Wiederankopplung (genauere Erläuterung s. oben 2.1.4) innerhalb des Standard-MM5 ist bisher für die Strahlungsvariablen durchgeführt und getestet worden. Dieses Verfahren wird auch für die weiteren, später

von *Landsurface* zu liefernden und ins MM5 einzuspeisenden Variablen durchgeführt und mit entsprechenden Tests abgesichert werden. Im weiteren Verlauf werden dann diese Daten im Bereich des DANUBIA-Gebiets mit den tatsächlich aus dem *Landsurface*-Verbundobjekt stammenden Daten verglichen und - gegebenenfalls nach entsprechender Anpassung der letzteren - von ebendiesen ersetzt. Diese Arbeiten müssen bis zum Ende der ersten Phase abgeschlossen sein.

9. Qualitätssicherung

Im Rahmen der Qualitätssicherung sollen die vom MM5 berechneten Niederschlagsfelder, welche mittels des "Downskalierungs-Algorithmus" der Gruppe Meteorologie/Beobachtungsdaten (Wirth) auf Proxel-Ebene skaliert sind, mit den Daten der Gruppen Niederschlag/Fernerkundung (Bendix) verglichen werden. Hierfür wird der Klimalauf herangezogen werden, dessen Niederschlagsdaten in geeigneter Form aufbereitet werden.

10. Idealisierte MM5-Modellierung

Die Anpassung des MM5 für idealisierte Rechnungen steht noch aus. Dies umfasst insbesondere die Implementierung von doppelt periodischen Randbedingungen; entsprechende Ansätze wurden identifiziert und sollen noch in der ersten Projektphase umgesetzt werden. Ziel dieses Vorhabens ist einerseits - sektoral - ein systematischer Zugang zur Untersuchung der relevanten Prozesse im Boden-Atmosphäre-System; dies sollte aber andererseits auch die integrative Arbeit bei der Kopplung von Atmosphäre- und Landoberflächenmodell unterstützen.

4. Literatur

- BELJAARS, A.C.M., VITERBO, P., MILLER, M.J. and 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. and 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. and PHILLIPS, D.L. (1994): A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain, *J. Appl. Met.*, 33, p. 14-158.
- 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. and PAL, J.S. (1996): Relationship between surface conditions and subsequent rainfall in convective storms, *J. Geophys. Res.*, 101, p. 26237-26245.
- FINDELL, K.L. and 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. and SCHÄR, C. (1998): A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain-gauge observations, *Int. J. Climatol.*, 18, p. 873-900.
- GRELL, G.A., DUDHIA, J. and STAUFFER, D.R. (1994): A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). NCAR/TN-398+STR (1994), 138 pp.
- 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.

- SCHWARB, M., DALY, C., FREI, C. and 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.
- 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.
- WIDMANN, M. and 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. and SALATHÉ, E.P.Jr. (2001): Statistical precipitation downscaling over the Northwestern United States using numerically simulated precipitation as a predictor, eingereicht bei J. Climate.
- WILLIAMS, E. and 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 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

1. Organisatorisches

1.1 Personal

Zum 01. Januar 2002 konnte die seit Herbst 2001 vakante Doktorandenstelle des Teilprojekts (Pos. 0812) mit Herrn Dipl. Geograph Thomas Nauß neu besetzt werden, so dass neben dem Antragsteller sowie Herrn Dr. Christoph Reudenbach (Grundausrüstung) die einzige GLOWA Stelle wieder arbeitsfähig war. Zudem konnte ab 15. September 2003 eine neu zur Grundausrüstung gehörende Technikerstelle mit Herrn Dipl. Informatiker (FH) Maik Dobbermann besetzt werden, dessen Arbeitskraft ebenfalls teilweise dem GLOWA Teilprojekt zur Verfügung steht.

1.2 Fernerkundungssysteme

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

Das Projekteigene K-Band Vertikalradar auf dem Gelände der Bayerischen Landesanstalt für Wasserwirtschaft konnte ab Februar 2002 wieder in die regelmäßige Wartung einbezogen werden.

1.2.2 Meteosat Second Generation (MSG)

Nach dem zwar 20 Monate verzögerten, aber erfolgreichen Start des MSG am 28. August 2002 und dem erfolgreichen Initialisieren des Systems konnten bereits erste Daten von der Eumetsat Zentrale in Darmstadt empfangen werden. Von einer ersten Datenverfügbarkeit für die Principle Investigators wird ab Februar ausgegangen werden, wobei ab diesem Zeitpunkt noch nicht mit ständig verfügbaren Datenströmen zu rechnen ist. Aus diesem Grund wurde im Herbst 2002 die zur Grundausrüstung gehörende MSG-HRIT Empfangsanlage für den operationellen Datenempfang vorbereitet und die zur Bilddechiffrierung notwendige Key-Unit beschafft. Ein entsprechender Antrag auf Freischaltung der Key-Unit wurde bereits an die Eumetsat gestellt. Mit einer Freischaltung des Schlüsselcodes durch den dafür zuständigen Deutschen Wetterdienst ist in den nächsten Tagen zu rechnen.

1.2.3 Terra-/Aqua-MODIS

Die ebenfalls zur Grundausrüstung gehörende Terra-/Aqua MODIS Empfangsanlage konnte seit Februar 2002 in den operationellen Datenempfang am LCRS eingebunden werden. Die ab diesem Zeitpunkt zur Verfügung stehenden Terra-MODIS Daten werden vollautomatisiert mittels der durch Projektmittel angeschafften CD-Jukebox archiviert und bilden die Grundlage für die Entwicklung des neuen Niederschlagsretrieval für MSG bis zu des-

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

sen endgültiger operationeller Verfügbarkeit. Eine operationelle Prozesskette ausgehend vom Empfangsformat bis zur Ableitung der effektiven Radian und der optischen Dicke für Tagaufnahmen wurde im Laufe des Jahres entwickelt (vgl. 2.2.4). Seit Herbst 2002 konnte dem Empfang der Terra-MODIS Daten das neu gestartete Aqua-MODIS-System hinzugefügt werden.

1.2.4 NOAA-AVHRR

Seit Mitte des Jahres ist die aufrüstungsbedürftige, zur Grundausstattung gehörende, NOAA-HRPT Empfangsanlage aufgrund zahlreicher Soft- und Hardware bedingter Fehlfunktionen mehrmals ausgefallen, so dass zur Umsetzung der Ziele für die zweite Projektphase ein Update der Anlage unumgänglich erscheint. Kontinuierliche NOAA Daten auf denen die ersten Teile des neuen Niederschlagsretrievals entwickelt wurden stehen daher nur für die erste Jahreshälfte 2002 zur Verfügung.

2. Fortgang der Arbeiten

2.1 Atmosphäre Paket in DANUBIA

Die Grundstruktur des DANUBIA Atmosphäre-Pakets (Abb. 1), in welchem die Modelle der Teilprojekte Niederschlag/Fernerkundung, Meteorologie MM5 (München) und Meteorologie Beobachtungsdaten (Mainz) zusammengefasst sind, konnte im vergangenen Jahr erfolgreich eingebunden werden. Das von Herrn Nauß implementierte Paket umfasst derzeit drei Modelle:

- AtmoSat Objekt zur Niederschlagsableitung aus Satellitendaten
- AtmoMM5 Objekt zur Kopplung des Mesoskalamodells MM5 mit DANUBIA
- AtmoObs Objekt zur Interpolation konventioneller Messdaten.

Die Modelle werden innerhalb des Atmosphäre-Pakets vom sogenannten Atmosphäre Controller Objekt gesteuert, welches die Kommunikation unter den Modellen des Atmosphäre Pakets als auch deren Kommunikation mit Modellen in anderen DANUBIA Paketen regelt. Zum aktuellen Zeitpunkt sind neben den zur Kommunikation grundsätzlich notwendigen Routinen einfache Entscheidungs-routinen implementiert, die beispielsweise den Umgang mit u. U. auftretenden fehlenden Daten in einem der Modelle und deren Substitution mit Daten aus einem anderen Modell regeln. Die im Rahmen der Umstellung von DANUBIA 0.9 auf 0.91 notwendigen Änderungen in der Initialisierung der Datentypen sind abgeschlossen. Gleiches gilt für das AtmoMM5 und AtmoSat Objekt.

Im Laufe des Jahres sollen weitere, z.T. komplexere Entscheidungsstrukturen im Atmosphäre Controller, v.a. im Hinblick auf die Ende 2003 verwirklichte DANUBIA 1.0 Version implementiert werden. Im Vorgriff auf die zweite Projektphase wird derzeit zudem geklärt, in welcher Form meteorologische Informationen an die Teilprojekte Tourismus und Agrarökonomie weitergegeben werden können, da die Entscheidungsfindung der jeweils modellierten Agenten in mehr oder weniger großem Maße von der aktuellen Wettersituation abhängig ist.

Die verantwortliche Koordination des Atmosphäre Pakets und die Implementierung des Atmosphäre Controllers liegt bei Herr Nauß. Zudem wurden das AtmoSat als auch das AtmoMM5 Objekt von Herrn Nauß realisiert. Das AtmoObs Objekt ist derzeit noch in der Implementierung von Prof. Dr. Mauser (Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung) im Atmosphäre Paket enthalten. Ob es in der zweiten Projektphase ersetzt/ergänzt wird, ist noch zu klären. Im Folgenden wird der Stand der Implementierung der im Atmosphäre Paket enthaltenen Modelle erläutert.

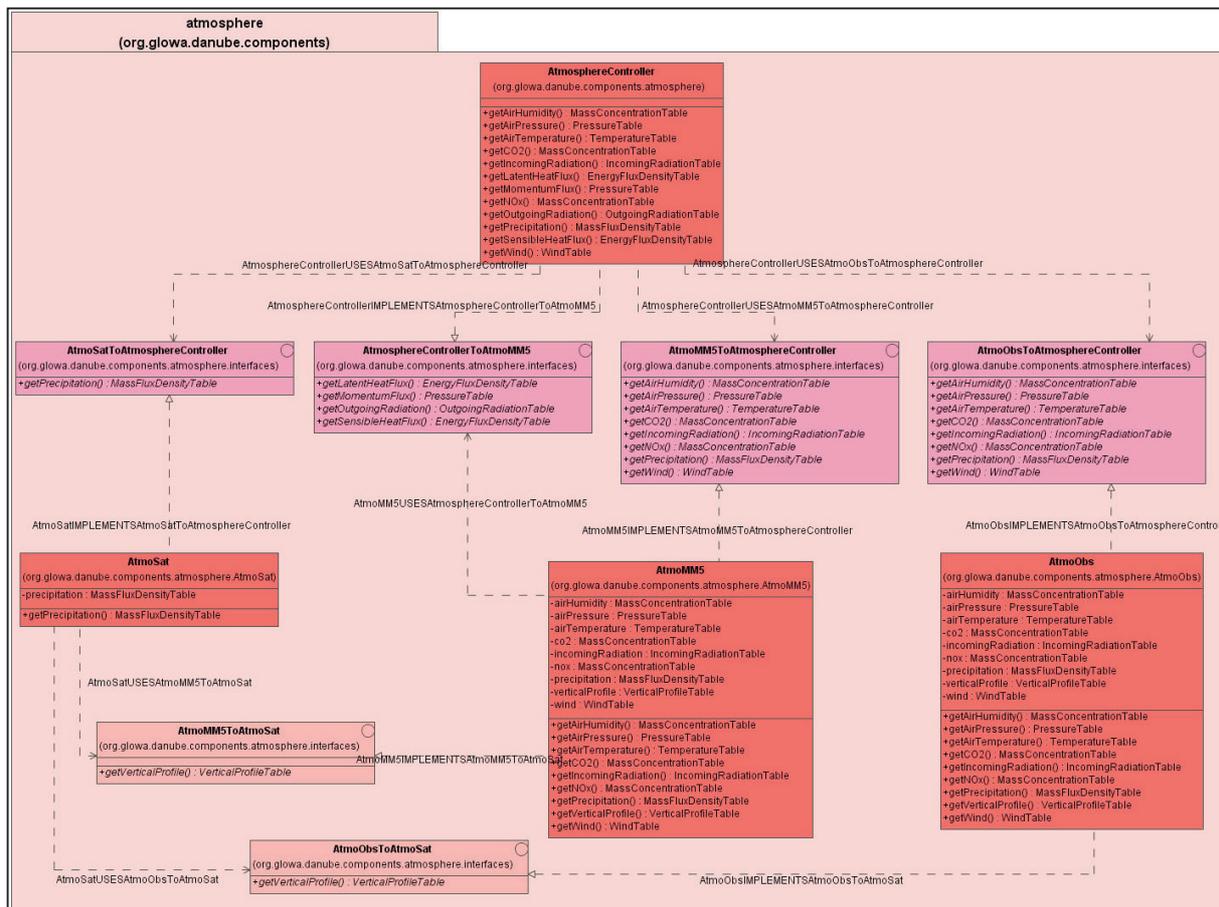


Abb. 1: Atmosphere Paket in DANUBIA 0.91

2.1.1 AtmoSat

Im AtmoSat Objekt ist derzeit die von Herrn Dr. Reudenbach entwickelte Enhanced Convective Stratiform Technique (ECST) zur Ableitung von Niederschlägen aus Meteosat Daten implementiert. Die Implementierung erfolgte dabei nicht vollständig in Java, da eine Neuprogrammierung der in FORTRAN vorliegenden umfangreichen Strahlungstransfer- und Wolkenmodelle nicht praktikabel ist. Es werden daher die Ergebnisse der ECST über eine JAVA Schnittstelle in das AtmoSat Objekt eingelesen und anschließend den anderen DANUBIA Modellen als Proxel-Tabelle zur Verfügung gestellt. Die Implementierung konnte bereits erfolgreich getestet werden. Zur Generierung der Datensätze für den kompletten DANUBIA Testzeitraum läuft derzeit eine Diplomarbeit unter Betreuung der Teilprojekte Niederschlag/Fernerkundung und Hydrologie/Fernerkundung. Die Meteosat Datensätze werden momentan von der Diplomandin vorverarbeitet um sie für die ECST verfügbar zu machen. Da die ECST auch nach der Ende diesen Jahres/Anfang nächsten Jahres geplanten Fertigstellung des neuen Niederschlagsretrievals für MSG im DANUBIA System für die Testzeiträume der Vergangenheit benötigt wird, wurde im letzten Jahr eine weitere Diplomarbeit zur besseren Ableitung advektiv-stratifomen Niederschläge erstellt. Mittels einer automatisierten Clusteranalyse werden niederschlagswirksame advektiv-stratifome Wolkenbereiche von nicht-niederschlagswirksamen Bereichen getrennt und diesen eine, der aktuellen Atmosphärenschichtung angepasste, Niederschlagsrate zugewiesen. Die im Rahmen dieser Arbeit vor kurzem fertiggestellte ECST-ACE kann bereits für die oben genannte Ableitung der Niederschlagsinformationen für den DANUBIA Testzeitraum verwendet werden (vgl. 2.2.1).

2.1.2 AtmoMM5

Im AtmoMM5 Objekt ist derzeit die einseitige Weitergabe der MM5 Ergebnisse an das DANUBIA System implementiert. Da auch im Falle des MM5 eine Implementierung des

Modells in Java nicht möglich ist, wurde das FORTRAN basierte MM5-Modell mittels einer mit dem AtmoSat Modell vergleichbaren Java-Schnittstelle an DANUBIA angebunden. Für die Generierung der für den DANUBIA Testzeitraum notwendigen Datensätze ist das Teilprojekt Meteorologie MM5 (München) zuständig.

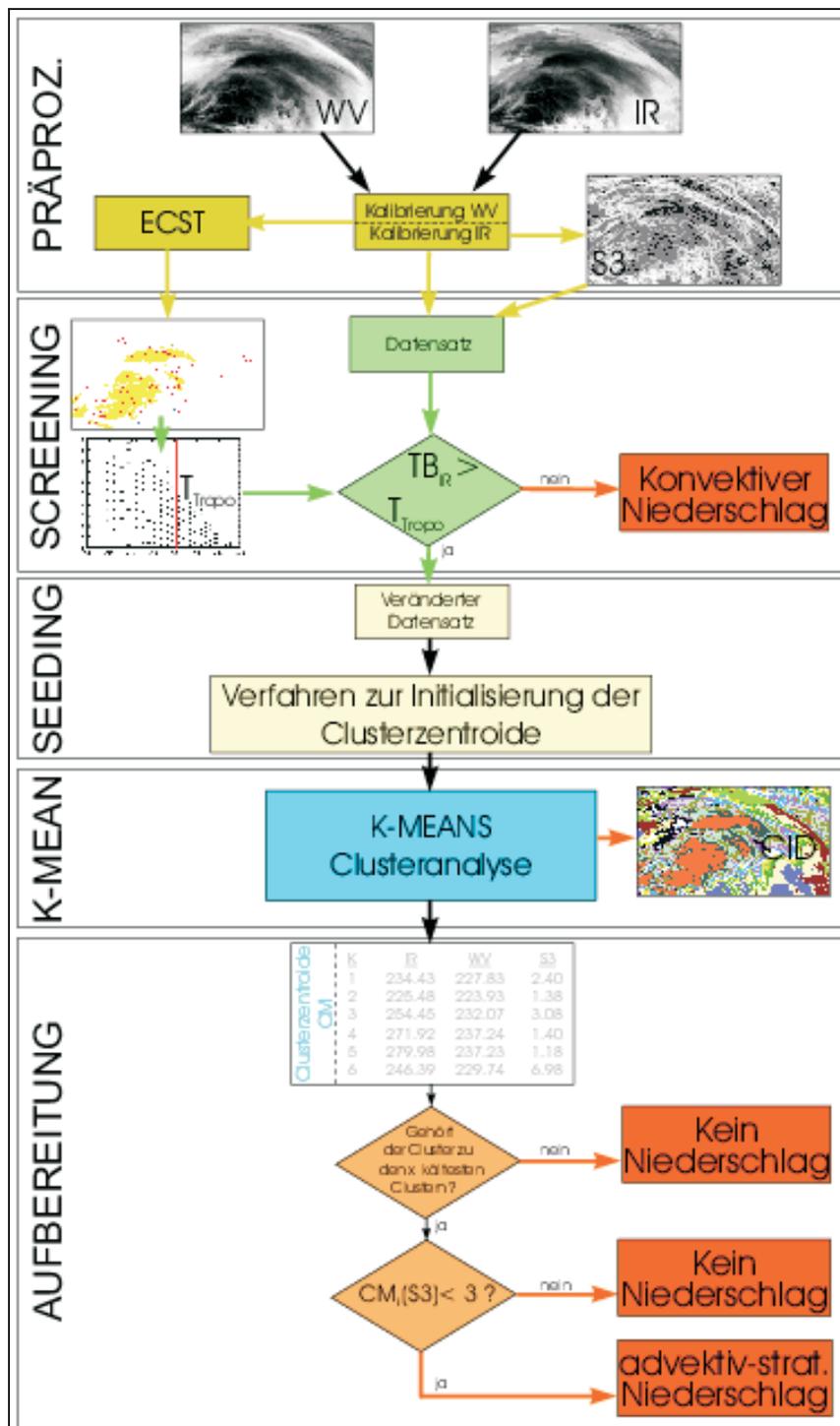


Abb. 2: ECST-ACE

2.1.3 AtmoObs

Das AtmoObs Objekt wurde bisher vom Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung implementiert und betreut. Es ist in Java implementiert und bereits umfangreich getestet worden. Die Struktur muss jedoch noch auf die DANUBIA 0.91 Version angepasst werden.

2.2 Niederschlagsretrieval

2.2.1 Erweiterung der ECST zur ECST-ACE

Die im letzten Jahresbericht vorgestellte Enhanced Convective Stratiform Technique (ECST), welche von Herrn Dr. Reudenbach entwickelt wurde (vgl. REUDENBACH 2002), konnte im Laufe des Jahres im Hinblick auf die verbesserte Ableitung advektiv-stratiformer Niederschläge in der komplexen Struktur des GLOWA-Danube Untersuchungsgebietes erweitert werden. Das Ablaufschema der ECST-Advective Cloud Extension (ECST-ACE) ist in Abbildung 2 dargestellt.

Aufbauend auf den Ergebnissen der ECST und einem synthetisch erzeugten Kanal S3 (Standardabweichung in 3 mal 3 Fenster) werden im Screening alle von der ECST bereits als regnend klassifizierte Pixel auf einen festen Wert gesetzt, um diese von der folgenden Clusteranalyse auszuschließen. Im anschließenden Seeding werden über verschiedene Stichproben Initialschätzungen für Clusterzentroide bestimmt um damit die K-means Clusteranalyse für den gesamte Datensatz zu starten. In der abschließenden Aufbereitung wird aufgrund der Lage der Clusterzentroide in den drei Input-Kanälen (IR, WV, S3) jedes Pixel als nicht-regnend bzw. advektiv-stratiform regnend klassifiziert.

Abbildung 3 zeigt den postfrontalen Bereich eines Tiefs, dass sich am 05.01.2001 von Mitteldeutschland bis Norditalien erstreckte und im Schwarzwald, in der Eifel und im Hunsrück zu 40 bis 60mm Niederschlag führte. Die roten und gelben Farben (rechtes Bild) zeigen die Niederschlagserkennung der bisherigen ECST. Die blau und grün eingefärbten Bereiche stellen die durch die ACE Erweiterung hinzugekommenen Niederschlagsflächen dar. Vergleiche mit Radardaten zeigen deutlich verbesserte Ergebnisse der Niederschlagsverteilung gegenüber der bisherigen ECST.

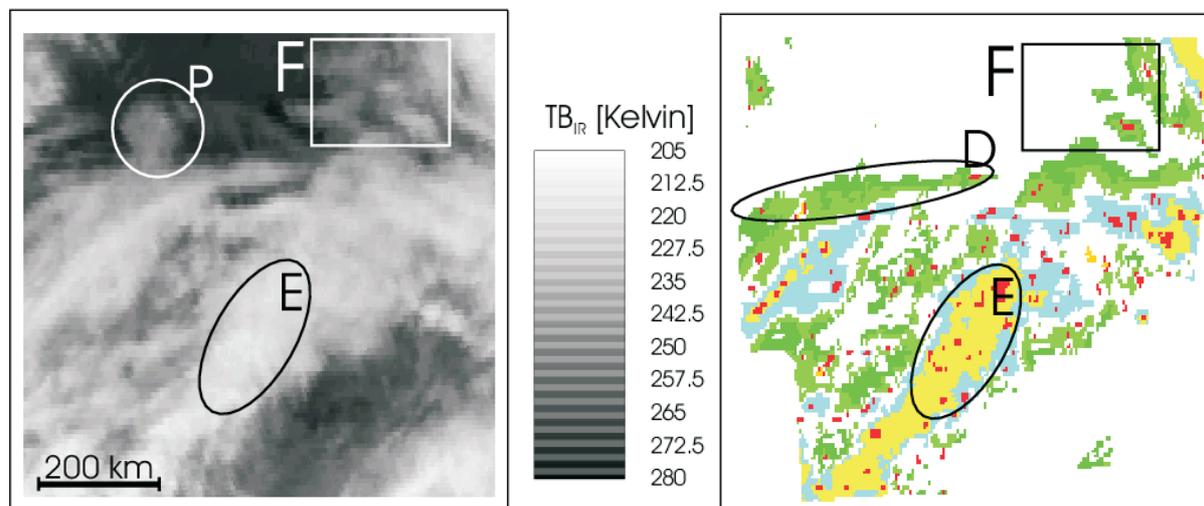


Abb. 3: Meteosat IR Kanal vom 05.01.2001 (links) und Niederschlagsflächen der ECST-ACE (rechts)

Für die Zukunft ist die Bearbeitung einer 10-jährigen Reihe von Meteosat Daten mit der ECST-ACE geplant, die als klimatologische Basis von global Change Szenarien im GLOWA-DANUBE Gebiet von großer Bedeutung ist. Erfreulich war die Zusage von EUMETSAT, diesen enorm umfangreichen Datensatz (halbstündige Daten WV, IR) ausschließlich diesem GLOWA Teilprojekt zur Verfügung zu stellen. Allerdings wird die Erschließung der Daten aus dem EUMETSAT- Archiv für die geplanten 10 Jahre nach Berechnungen von EUMETSAT-OP etwa ein Jahr in Anspruch nehmen, so dass die Arbeiten erst in der zweiten Phase abgeschlossen werden können.

2.2.2 Stand des Niederschlagsretrievals für MSG

Im Rahmen des DANUBIA Projekts wird ein Niederschlagsretrieval für das MSG-System von Herrn Nauß entwickelt. Die Entwicklungsarbeiten basieren dabei bisher auf den NOAA-AVHRR und Terra-MODIS Systemen unter Berücksichtigung der spektralen Eigenschaften des MSG.

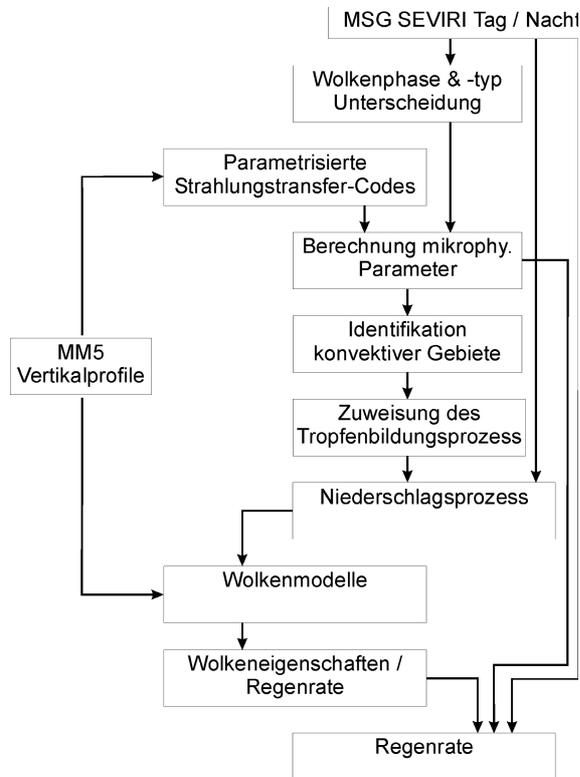


Abb. 4: Schematische Darstellung des in der Entwicklung befindlichen Niederschlagsretrievals für MSG

Abbildung 4 zeigt die geplante, überarbeitete Struktur des Niederschlagsretrievals.

Nach einem Wolkenerkennungstest und der Unterscheidung von reinen Wasser- bzw. Eiswolken werden die optische Dicke und der effektive Wolkentropfenradius mit Hilfe von Strahlungstransfersimulationen und aktuellen Atmosphärenprofilen (aus MM5 Modellläufen bzw. Radiosondendaten) abgeleitet und mit Hilfe der Temperaturinformationen aus den Split-Window und Wasserdampfkanälen konvektive und stratiforme Wolkenbereiche getrennt. Diese Bereiche werden auf der Basis von Wolkenmodellsimulationen spezifische Niederschlagsraten zugewiesen.

2.2.3 Ableitung mikrophysikalischer Parameter aus Tagaufnahmen

Der effektive Wolkentropfenradius (r_e) wird zusammen mit dem Flüssigwassergehalt und der optischen Dicke durch eine tri-spektrale Technik von NAKAJIMA et al. (1990) und KAWAMOTO et al. (2001) mittels Daten im Bereich von $0,7\mu\text{m}$, $3,9\mu\text{m}$ und $10,5\mu\text{m}$ abgeleitet. Hierzu wird zunächst die im Bereich von $0,7\mu\text{m}$ gemessene Strahlung der beobachteten Wolke (L_c) nach Gleichung 1 berechnet.

$$L_c = L_s - t \uparrow \cdot \frac{A_g}{1 - s \cdot A_g} \cdot t \downarrow \cdot \frac{\mu_0 \cdot F_0}{\pi} \quad (1)$$

L_s ist die gemessene Strahldichte des Pixels, t die Transmission der Atmosphäre, s die single-scattering Albedo der Atmosphäre, A_g die Bodenalbedo und F_0 die solare Einstrahlung. Die Transmission basiert auf Look-up Tabellen unter Berücksichtigung des aktuellen Atmosphärenprofils und die Bodenalbedo geht auf Minimum-Komposit Bilder zurück, welche mittels des 6s-Codes (TANRE et al. 1990) und einer Anisotropie-Korrektur nach TAYLOR et al. (1984) und SUTTLES et al. (1988) prozessiert wurden. Die optische Wolkendicke (τ) resultiert aus einer iterativen Angleichung dieser gemessenen Strahlungswerte mit theoretisch berechneten Werten basierend auf initialen Schätzungen von τ und r_e unter Berücksichtigung der Beobachtungsgeometrie (Sonnenzenit, Satellitenzenit etc.), des Wolkentyp und der Wolkenphase pro Pixel.

Die Ableitung von r_e erfolgt mit Hilfe der berechneten Wolkenstrahlung im Bereich von $3,9\mu\text{m}$ gemäß Gleichung 2.

$$L_c = L_s - t_u \uparrow \cdot (1 - t_c \uparrow - r_c) \cdot B(T_c) - t \uparrow \cdot \frac{1 - A_g}{1 - s \cdot A_g} \cdot B(T_g) - t \uparrow \cdot \frac{A_g}{1 - s \cdot A_g} \cdot t \downarrow \cdot \frac{\mu_0 \cdot F_0}{\pi} \quad (2)$$

B steht für die Planck Funktion, T_g für die Bodentemperatur unter der Wolke und t_c bzw. t_u für die Transmission in und über der Wolke. Die Wolkenoberflächentemperatur ist durch

$$T_c = B^{-1}\left(\frac{L_s - t_c \cdot (1 - A_g) B(T_g)}{1 - t_c}\right) \quad (3)$$

gegeben und die Wolkenalbedo kann mittels

$$r_c = \frac{L_3 - B_3(T_4)}{(t \cdot F_0 \cdot \mu_0 / \pi)} \quad (4)$$

berechnet werden. L_3 ist hier die Strahldichte bei $3,9\mu\text{m}$, T_4 die Schwarzkörpertemperatur bei $10,5\mu\text{m}$, t die gesamte Transmission und B_3 die Planck Funktion für eine Zentrale Wellenlänge von $3,9\mu\text{m}$.

Analog zur Bestimmung der optischen Dicke wird auch hier der berechnete Strahlungswert zur iterativen Angleichung der geschätzter Werte von r_c verwendet. Für die endgültige Bestimmung von r_c und τ wird die Iteration beider Werte so lange fortgeführt, bis die Abweichungen beider gemessener Werte von den geschätzten kleiner 0,1% ist.

2.2.4 Ableitung mikrophysikalischer Parameter aus Nachtaufnahmen

Die Entwicklung des Retrievals geht auf umfangreiche Streamer-Strahlungstransfermodellierungen zurück. Letztendlich zeigen Kombinationen der Terra-MODIS Kanäle 20, 31 und 32 die vielversprechendsten Möglichkeiten. Abbildung 5 zeigt die Temperaturdifferenz zwischen den Kanälen 20 und 31 für eine 4km hohe Wasser- bzw. eine 7km hohe Eiswolke im Nadir des Satelliten.

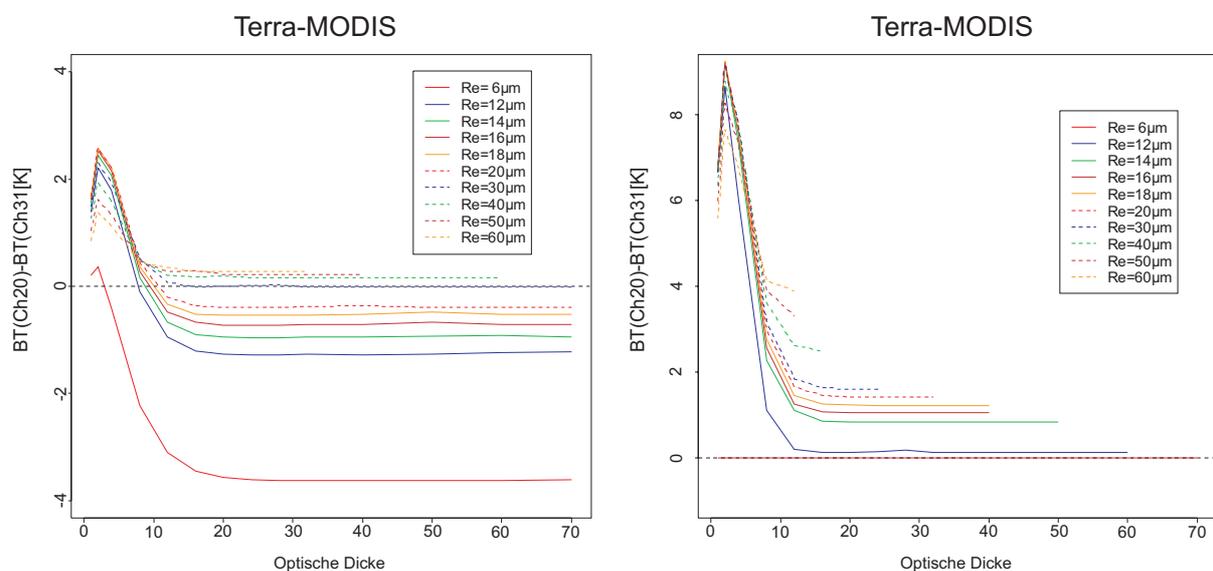


Abb. 5: Brightness-Temperature Differenzen in Abhängigkeit der optischen Dicke und des effektiven Radius für eine 4km hohe Wasserwolke (links) und eine 7km hohe Eiswolke (rechts)

Basierend auf einer initialen Schätzung der optischen Dicke mittels einer Regressionsbeziehung der Strahldichten im Split-Window Bereich werden Streamer-basierten Look-up Tabellen ausgewählt und deren Abweichung von den aktuellen Strahldichtenwerten mittels einer COST-Funktion minimiert. Die initiale Schätzung der optischen Dicke beruht auf einer Regressionsbeziehung zwischen optischer Dicke und den Quotienten der Strahldichten im Bereich von $3,9\mu\text{m}$ und $10,5\mu\text{m}$ (vgl. MANSCHKE 1991). Auf Basis dieser initialen Werte der optischen Dicke werden anschließend Look-up Tabellen ausgewählt, die die gemessenen Strahldichten mit dem effektiven Radius in Verbindung bringen. In Anlehnung an GONZALEZ et al. (2002) führt die Minimierung der Funktion

$$\text{cost} = \sum_{i=3,9\mu\text{m},10\mu\text{m},11\mu\text{m}} (T_{\text{model},i} - T_{\text{satellite},i})^2 \quad (5)$$

mit T gleich der modellierten bzw. gemessenen Schwarzkörpertemperatur zu den Werten der optischen Dicke und des effektiven Radius.

Die Entwicklung eines Retrievals mikrophysikalischer Parameter aus Nachtaufnahmen steht in der Endphase der Entwicklung und wird voraussichtlich bis Ende März abgeschlossen sein. Eine entsprechende Veröffentlichung wird unmittelbar daran anschließen.

2.2.5 Klassifikation der aktuellen Tropfenbildungsprozesse

Die Identifikation der Tropfenbildungsprozesse erfolgt in zwei Schritten:

- Identifikation konvektiver Bereich im Satellitenbild
- Analyse der Funktion $\Delta r_e / \Delta T_c$ in den konvektiven Bereichen
- Zuweisung von Tropfenwachstumsprozessen auf Pixelebene anhand der jeweiligen Kombination aus r_e und T_c .

Um stratiforme Bereiche von konvektiven zu trennen wird ein Konvektivitätsparameter nach LENSKEY et al. (1997) berechnet, der die Änderung des effektiven Radius in der Fläche beschreibt. Die Identifizierung der Tropfenwachstumsprozesse erfolgt anschließend durch einer Analyse des 3K Medians von $\Delta r_e / \Delta T_c$. Mittels der jeweiligen Kombinationen von r_e und T_c können die Tropfenwachstumsprozesse schließlich wieder zurück in das Satellitenbild gebracht werden. Abbildung 6 zeigt drei Beispiele. Die linke Spalte zeigt das Kölner Hagelunwetter von 1994 exemplarisch für ein stark konvektives Ereignis, die mittlere und rechte Spalte zwei Tage der Ammerflut von 1999, die auf eine Vb Lage in Verbindung mit wassergesättigten Böden und anhaltender Schneeschmelze zurückgeht (vgl. BENDIX et al. 2001). Abbildung 6a zeigt die Verteilung von r_e , 6b die abgeleiteten konvektiven Bereiche, 6c die Änderung von r_e mit T_c und 6d die Zuordnung der Tropfenwachstumsprozesse im Raum. Die folgende Tabelle zeigt die zu diesen Prozessen gehörenden Schwellwerte von r_e und ΔT_c .

Prozess	04.07.1994, 15:21 UTC		22.05.1999, 15:45 UTC		23.05.1999, 15:34 UTC	
	r_e [μm]	T_c [K]	r_e [μm]	T_c [K]	r_e [μm]	T_c [K]
Diffusion	< 14	> 242	< 8	> 263		
Koaleszenz			< 22	> 242	Alle Werte	Alle
Werte						
Mischphase		< 65	> 236	< 87	> 236	
Eisphase	> 65	< 236	> 87	< 236		

2.2.6 MRR Daten

Die minütlichen Daten der Niederschlagsrate, des Tropfenspektrums etc. des MRR-Radars in Wielenbach werden seit August 2002 von einer Diplomandin ausgewertet. Ziel dieser Auswertung ist es, mittels zusätzlich verwendeten Radiosondendaten und einer objektiven Wetterlagenklassifikation (vgl. 2.2.6) Korrelationen zwischen atmosphärischen Parametern (precipitable water, Konvektionsindizes, Anströmung) und der jeweiligen Niederschlagsrate zu untersuchen. Diese Korrelationen sollen anschließend in die Niederschlagsretrievalstruktur aufgenommen werden (vgl. 2.2.2).

Beim Vergleich der MRR-Daten mit der sich auf dem Gelände befindlichen Niederschlagsstation der Bayerischen Landesanstalt für Wasserwirtschaft sowie der Eddy-Korrelationsstation des Teilprojekts Hydrologie/Fernerkundung wurde jedoch eine niederschlagsintensitätsabhängige Unterschätzung der Regenrate seitens des MRR-Radars um den Faktor 5 bis 20 deutlich. Vergleichbare Unterschätzungen brachte auch ein Vergleich eines bau-

gleichen Radars in Ecuador mit dortigen konventionellen Niederschlagsmessern. Derzeit finden intensive Gespräche mit der Herstellerfirma Metek zur Ermittlung des Fehlers statt. Nach Ansicht des LCRS geht die signifikante Unterschätzung auf die von Metek zur Niederschlagsberechnung verwendete Marshall-Palmer Tropfenverteilung zurück, die in der heutigen Radarfernerkundung i.a. durch die modified-Gamma Verteilung ersetzt wird.

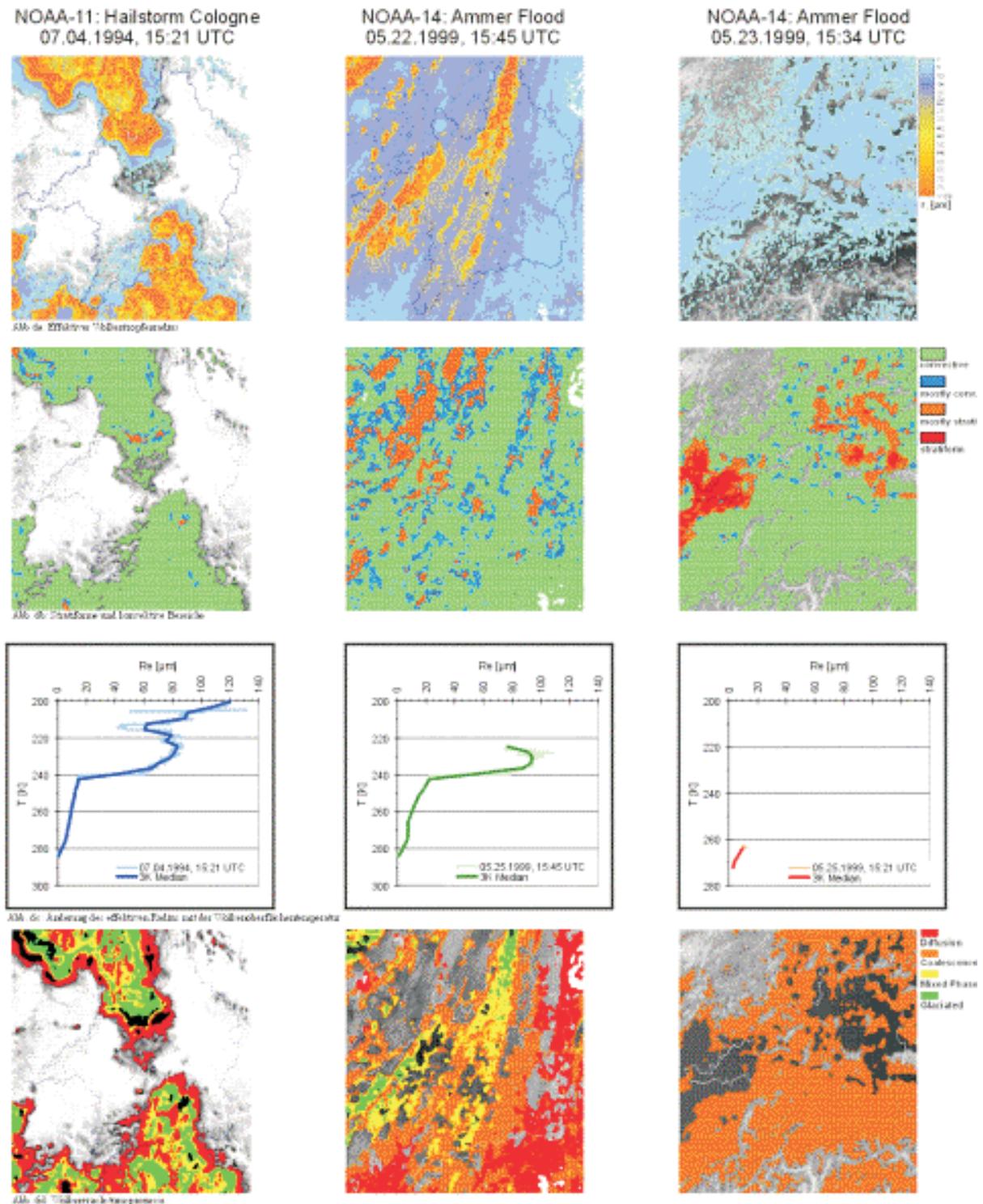


Abb. 6: Drei Beispiele zur Bestimmung der dominierenden Tropfenwachstumsprozesse

Für die parallel weitergehende Datenauswertung wurde aus diesem Grund eine logarithmische Anpassungsfunktion der MRR-Niederschlagsdaten verwendet. Die Arbeit soll bis März 2003 abgeschlossen sein.

2.2.7 Objektive Wetterlagenklassifikation

Zusätzlich zu den Radardaten und den mikrophysikalischen Parametern soll auch die aktuelle Wetterlage in der Niederschlagstransferfunktion berücksichtigt werden. Zu diesem Zweck wird an einer operationelle Wetterlagenklassifikation in Zusammenarbeit mit dem Amt für Wehrgeophysik BII3 und dem Geographischen Institut der Universität Würzburg gearbeitet. Grundlage ist die Analyse des Geopotentials im 500 hPa Niveau. Die Arbeiten an dieser Klassifikation haben gerade erst begonnen. Mit ersten Ergebnissen ist daher erst Mitte 2003 zu rechnen.

2.2.8 Ausblick

Für das Frühjahr 2003 ist die Initialisierung diverser 1 bis 3D Wolkenmodellläufe zur Bestimmung der notwendigen Transferfunktionen zwischen Wolkenoberflächenparametern und Niederschlagsrate am Boden geplant. Das 3D Bulk-Wolkenmodell wird dabei zur Erstellung der klimatologisch gemittelten Niederschlagsbeziehungen, das 1,5D spektrale Wolkenmodell zur Einbeziehung des effektiven Radius verwendet.

3. Veröffentlichungen

Die Ableitung der mikrophysikalischen Parameter aus Terra-MODIS Tagaufnahmen wurde in einer vorläufigen Version sowohl auf der Eumetsat Meteorological Satellite Data Users Conference in Dublin im September 2002 als auch im Rahmen des jährlichen Treffens des Arbeitskreises Klima des Deutschen Geographentages im November 2002 in Berlin vorgestellt. Eine erste Veröffentlichung erfolgte zur Zeit im Rahmen der Eumetsat Proceedings. Die endgültige, operationelle Version des Retrievals für Tag- (und u. U. auch für Nacht-) Aufnahmen am Beispiel des Elbehochwassers im August 2002 wird voraussichtlich Ende Februar eingereicht werden.

Literatur

- ACKERMANN, S.A., STRABALA, K.L., MENZEL P.W., FREY, R.A., MOELLER, CH. C. and GUMLEY, L.E. (1998): Discriminating clear sky from clouds with MODIS. *J. Geophys. Res.* 103, D24; p. 32141-32157.
- 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.
- GONZÁLEZ, A., PÉREZ, J. C., HERRERA, F., ROSA, F., WETZEL, M.A., BORYS, R.D. and LOWENTHAL, D.H. (2002): Stratocumulus properties retrieval method from NOAA-AVHRR data based on the discretization of cloud parameters. *International Journal of Remote Sensing* 23/4, p. 627-645.
- MANSCHEKE, A. (1991): Fernerkundung der Basistemperatur konvektiver Wolken über dem Ozean. *Berichte aus dem Zentrum für Meeres- und Klimaforschung der Universität Hamburg* 21.
- NAKAJIMA, T. and KING, M.D. (1990): Determination of the optical thickness and effective particle radius of clouds from reflected solar radiation measurements. Part I: Theory. *J. Atmos. Sci.* 47, p. 1878-1893.
- NAKAJIMA, T.Y. and 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., TRÄGER, Ch. and BENDIX, J. (2002): An operational cloud classification by means of microphysical properties derived from tri-spectral satellite data. Eumetsat (in press).
- REUDENBACH, C. (2002): Konvektive Sommerniederschläge in Mitteleuropa - Eine Kombination aus Satellitenfernerkundung und numerischer Modellierung zur automatischen Erfassung mesoskaliger Niederschlagsfelder, Bonner Geogr. Abh. (in Druck)
- ROSENFELD, D. and GUTMAN, G. (1994): Retrieving microphysical properties near the tops of potential rain clouds by multispectral analysis of AVHRR data. *Atmospheric Research* 34, p. 259-283.
- ROSENFELD, D. and LENSKY, I.M. (1998): Satellite-based insights into preprecipitation formation processes in continental and maritime convective clouds. *Bulletin of the American Meteorological Society* 79/11, p. 2457-2476.
- ROSENFELD, D. (2000): Application of the added MSG spectral information insights into cloud microstructure and precipitation processes. EUMETSAT Meteorological Satellite Data User's Conference Proceedings 2000, p. 253-261.
- SCHLESINGER, R.E. (1990): Overshooting thunderstorms cloud top dynamics as approximated by a linear Lagrangian parcel model with analytic exact solutions. *J. Atmos. Sci.*, 47, p. 988-998.
- SUTTLES, J.T., GREEN, R.N., MINNIS, P., SMITH, G.L., STAYLOR, W.F., WIELICKI, B.A., WALKER, I.J., YOUNG, D.F., TAYLOR, V.R. and STOWE, L.L. (1988): Angular radiation models for earth-atmosphere systems, Vol. I. NASA Ref. Pub. 1184.
- TAYLOR, V.R. and STOWE, L.L. (1984): Atlas of reflectance patterns for uniform earth and cloud surfaces. NOAA Tech. Rep. NESDIS 10, Washington.
- TJEMKES, S.A., van de BERG, L. and SCHMETZ, J. (1997): Warm water vapour pixels over high clouds as observed by METEOSAT. *Contr. Atmos. Phys.*, 70, p. 15-21.

Abflußsimulation - Gewässergütesimulation

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

1. Übersicht

Der vorliegende Bericht beschreibt den Stand der Arbeiten innerhalb des Teilprojektes „Oberirdische Gewässer“ zum Ende des Jahres 2002. Dieser lässt sich - getrennt für Wasserfluss- und Wasserbeschaffenheitsmodell - wie folgt zusammenfassen:

Das **Wasserflussmodell** wurde komplett umkodiert in JAVA, da die Einbindung in das GLOWA-Framework nur in dieser Form vollständig möglich war. Es wurde eine neue Kalibrierungsprozedur für das Wasserflussmodell konzipiert und implementiert. Die Anwendung des Wasserflussmodells auf den Validierungsdatensätze sowohl in Stunden- als auch in Tagesschrittweite zeigt, dass das Modell insgesamt sehr zufriedenstellend arbeitet. Dies wird sowohl durch hohe Effizienzmaße als auch gute Übereinstimmung zwischen nachgerechnete Wasserstands-Abflusskurven belegt, wobei letztere erzeugt wurden ohne Querprofile zu nutzen. Probleme bei der Nachrechnung gemessener Abflüsse ergeben sich nur in Bereichen des Gesamtgebietes, in denen anthropogene Eingriffe das natürlichen Abflussverhältnisse nachdrücklich verändern (Einflussbereich von Talsperren, Ab- und Überleitungen). Diese Effekte dieser Eingriffe sollen in der nächsten Projektphase behandelt werden. Die weiteren Arbeiten im Bereich der Wasserflussmodellierung bis zum Jahresende 2003 werden sich auf die Frage der Schnittstelle *Rivernetwork* - *Groundwater* konzentrieren.

Auch die Umkodierung des **Wasserbeschaffenheitsmodells** in JAVA ist nahezu beendet. Da dieses deterministische Modell an den Kopf- und Zwischengebietsknoten Randbedingungen für alle zu modellierenden Wasserbeschaffenheitsparameter benötigt, diese aber nur teilweise von den Objekten *Landsurface* und *Groundwater* (Exfiltration) bereitgestellt werden können, wurde ein multivariates statistisches Modell konzipiert und in einer ersten Variante implementiert. Die Auswahl der geeigneten Modellform und der dabei zu berücksichtigenden unabhängigen Variablen erfolgte mit Hilfe des aus der Klasse lernender Netze stammenden GMDH-Algorithmus. Erste Ergebnisse werden vorgestellt und sind ermutigend. Hinsichtlich der Wasserbeschaffenheitsmodellierung wird die bis Ende 2003 verbleibende zur Vervollständigung des automatisierten Kalibrierungsverfahrens genutzt. Dabei spielt die Integration eines effizienten globalen Optimierungsverfahrens zur Parametrisierung von Abbauraten des Modells eine zentrale Rolle.

2. Organisatorisches

2.1 Personal

Dipl.-Math. Sergio Mendez-Rueda ist am 31.5.2002 ausgeschieden. Seine Stelle wurde am 1.7.2002 durch Dipl.-Math Georg Kasper neu besetzt, so dass sich an der Zusammensetzung der Gruppe (ein Ingenieur, vornehmlich Wasserflussmodellierung und ein Mathematiker, vornehmlich Gütemodellierung) keine Änderungen ergeben haben. 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 im Zeitraum vom

01.09.2002 bis zum 31.10.2002 am IAWG und arbeitete vorzugsweise im Rahmen von GLOWA-Danube.

2.2 Vorträge

Am 5.12.2002 hielt Winfried Willems an der Universität der Bundeswehr München im Rahmen des Wasserwirtschaftlichen Kolloquiums den Vortrag „Wassermengen- und Wasserqualitätsmodellierung im Rahmen von GLOWA-Danube“.

3. Modellierung der Wasserflüsse

3.1 Aufgabe

Die Aufgabe des Teilprojektes Oberirdische Gewässer besteht darin, die im natürlichen Gewässernetz ablaufenden Prozesse der Wasserflüsse sowie des Transportes und der Umwandlung ausgewählter Wasserinhaltsstoffe durch Bereitstellung des Objektes „*Rivernetwork*“ modellierbar zu machen. Dabei sind geeignete Schnittstellen zu den Objekten „*Landsurface*“ und „*Groundwater*“ sowie „*Atmosphere*“ und „*Actor*“ bereitzustellen (Abb. 1).

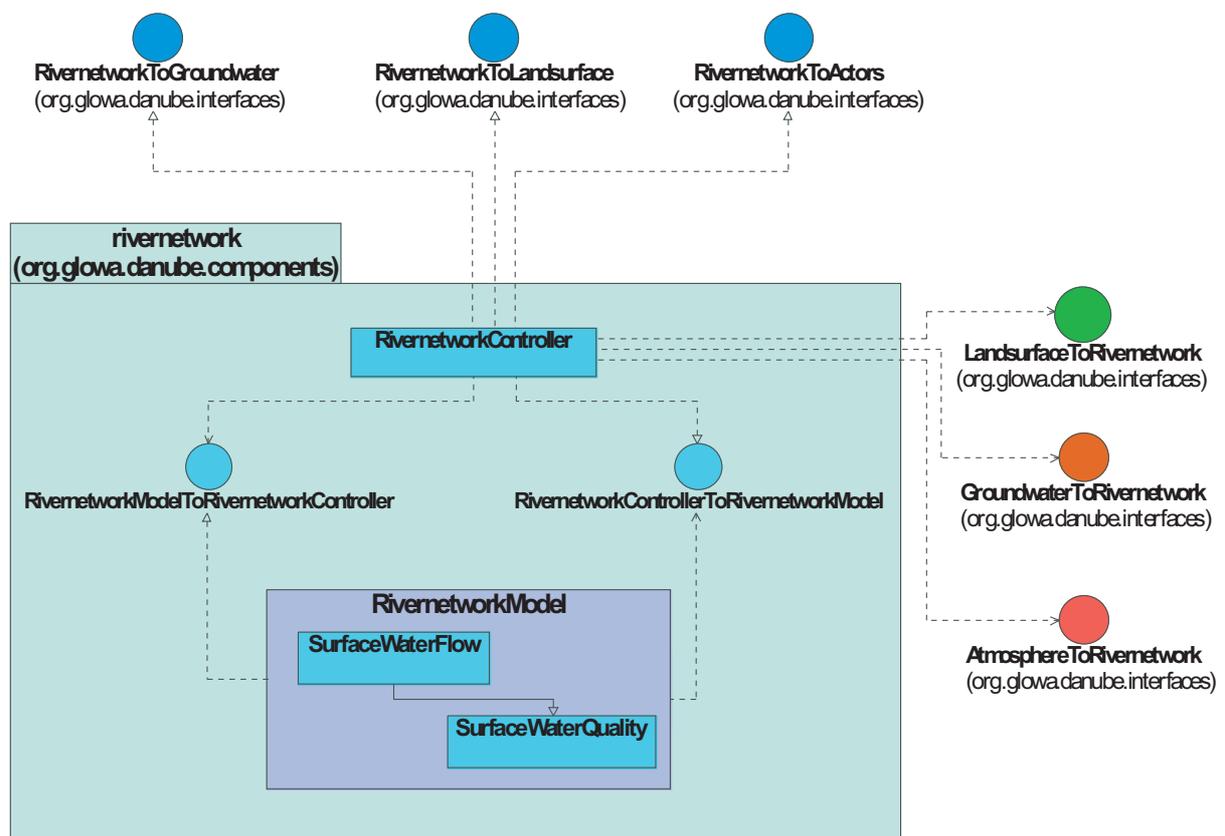


Abb. 1: Modifiziertes UML-Diagramm

Das gewählte Modellierungskonzept muss dabei an die Vorgaben des DANUBIA-Gesamtkonzept angepasst sein. Die für die Modellierung bedeutsamsten Vorgaben sind dabei insbesondere:

- der rasterbasierte (proxelorientierte) Ansatz von DANUBIA,
- der objektorientierte Ansatz von DANUBIA und

- die Behandlung der Zeitschleife: diese wird nicht innerhalb der Modelle der einzelnen Arbeitsgruppen aufgerufen, sondern vielmehr werden die Modelle über einen von zentralen TimeController getaktet.

Diese Vorgaben stellten das Teilprojekt „Oberirdische Gewässer“ vor Probleme, denn

- physikalisch begründete Modelle zur Abbildung der Wasserflüsse in Gewässernetzen sind in der Regel für die Integration in rasterbasierte Ansätze ungeeignet,
- die verfügbaren Modelle sind sequentiell, also nicht objektorientiert implementiert sind, was ihre Integration in einen objektorientierten „Framework“ zeitaufwendig macht; dabei steigt der Zeitaufwand mit zunehmender Komplexität des Modells,
- insbesondere die Vorgabe, dass der Berechnungszeitakt von außen kommt, muss mit wesentlichen Eingriffen in die Modellstruktur einhergehen, auch dies ist natürlich umso zeitaufwendiger, je komplexer der Modellierungsansatz ist.

Die ursprüngliche Vorstellung der Verwendung des ATV-Gütemodells zur Modellierung der Wasserflüsse sowie der Stoffströme und -umsetzungen musste aufgegeben werden. Wenngleich die Frage der Sourcecode-Verfügbarkeit möglicherweise hätte gelöst werden können, so stellte sich doch schnell heraus, dass die oben genannten Vorgaben schwerlich mit diesem Modell hätten umgesetzt werden können.

3.2 Das Flussnetz

Auch die Vorstellungen über die Gesamtgröße des zu modellierenden Flussnetzes musste gegenüber dem Antrag revidiert werden: Insgesamt modelliert das Teilprojekt Oberirdische Gewässer ein aus dem 1-km²-Höhenmodell extrahiertes Flussnetz der Gesamtlänge von 25.000km physikalisch begründet (Abb. 2).

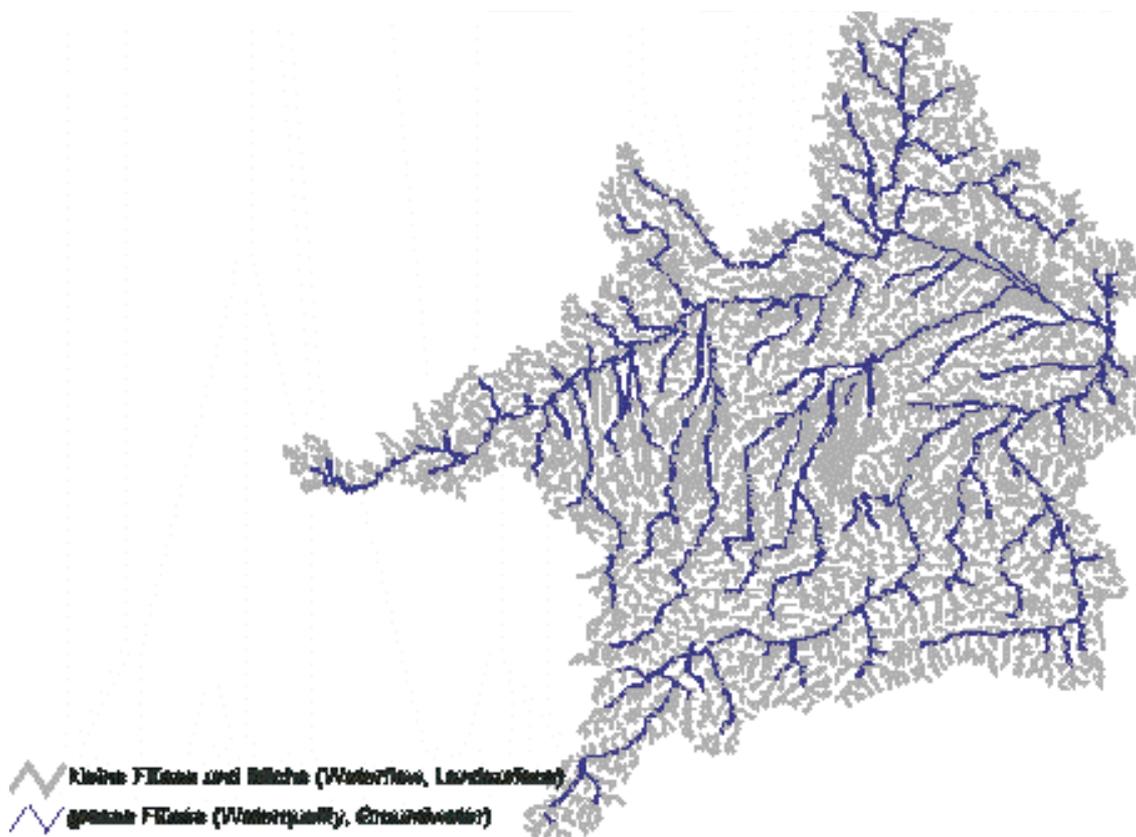


Abb. 2: Flussnetz zur Modellierung der Wasserflüsse (blau und grau) sowie der Wasserbeschaffenheit (nur blau)

Obwohl dabei im Vergleich mit dem ATKIS-Gewässernetz Abweichungen von bis 1,5 km auftreten, sind im Hinblick auf die realen und die berechneten Einzugsgebietsgrößen im Allgemeinen nur sehr geringe Unterschiede zu verzeichnen. Dies zeigt Abbildung 3.

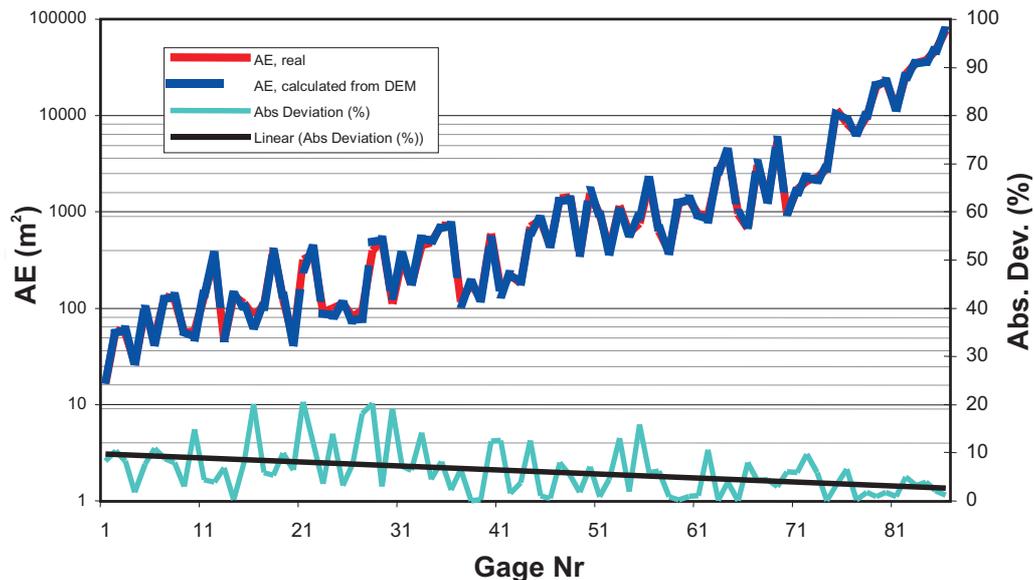


Abb. 3: Berechnete und reale Einzugsgebietsgrößen von 88 Pegeln im Donau-Einzugsgebiet, sortiert nach kumulativer Lauflänge

Darüber hinaus modelliert das Teilprojekt „Oberirdische Gewässer“ aufgrund von während der Projektbearbeitung getroffenen Festlegungen - in vereinfachter Weise auch die lateralen Fließbewegungen zwischen den Proxeln der Kopfgebiete. (Das Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung modelliert die lateralen Flüsse innerhalb der Proxel, das Teilprojekt Oberirdische Gewässer die lateralen Flüsse zwischen den Proxeln, dem Ansatz liegt die Annahme zugrunde, dass jedes Proxel zumindest an einen temporär existierenden Flusslauf angeschlossen ist).

3.3 Das Modell des Wasserflüsse

Zur Abbildung der Wasserflüsse wird das Modell der Diffusionsanalogie in einer vom US Geological Survey entwickelten Implementierung zugrunde gelegt (DAFLOW, s. JOBSON 1989). Das Wasserflussmodell DAFLOW wurde von dem Teilprojekt „Oberirdische Gewässer“ durch vollständig in JAVA umkodiert, da sich - trotz zunächst anderer Lösungsversuche- nur so die oben genannten DANUBIA-Vorgaben vollständig erfüllen ließen.

Kalibrierung

Zur Parametrisierung des Modells wurde eine neue, auf der Regimetheorie basierende Kalibrierungsprozedur entwickelt, die auf folgenden Teilschritten fußt:

- Regionalisierung von Niedrig-, Mittel- und Hochwasserabflüssen Q_T für das gesamte Donau-Einzugsgebiet bis zum Pegel Passau
- Bestimmung der „top-width“, d.h. der Gewässerbreite bei Mittelabfluss (s.u.)
- Bestimmung der kinematischen Wellengeschwindigkeit c_k für alle regionalisierten Abflüsse und Beschreibung der sich ergebenden Funktion $c_{k,T}=f(Q_T)$ durch log-log-Regression, also unter Annahme der Beziehung $c_{k,T}=c_1 \cdot Q^{c_2}$
- Ableitung der Parameter der Diffusionsanalogie auf Grundlage der Regressionsparameter c_1 und c_2 der log-log-Beziehung durch algebraische Umstellungen, die gültig sind, wenn die sogenannte Regime-Theorie als gültig betrachtet werden kann.

Der gesamte Algorithmus ist in WILLEMS (2002) im Detail beschrieben. Besonders bedeutsam für die Plausibilität der durch die Prozedur ermittelten Parameter ist die möglichst realitätsnahe Bereitstellung von Flussbreiten bei mittleren Abfluss. Daher wurden unter Zugrundelegung des ATKIS25 Flussnetzes des bayerischen Landesvermessungsamtes sämtliche Flüsse, die innerhalb mit rechtem und linkem Ufer erfasst sind, mittlere Breiten durch einen dafür hier entwickelten Algorithmus erfasst und den Proxeln zugeordnet.



Abb. 4: Schematische Darstellung der Ermittlung von Flussbrei-

Insgesamt konnten auf diese Weise für ca. 2500 Flusskilometer realistische mittlere Breiten ermittelt werden.

Für die restlichen Flussstrecken wurden die Breiten auf Basis des sogenannten Flussbreitengesetzes

$$W_i = \frac{W_n \sum_{j=1}^i LC_j}{\sum_{j=1}^n LC_j}$$

abgeschätzt. Dabei ist

- W_i = Breite im Flussegment der Strahler-Ordnung i
- LC_i = kumulative Lauflänge im Flussegment der Strahler-Ordnung i
- i = Strahler-Ordnung
- N = maximale Strahler-Ordnung

Die gesamte Kalibrierungsprozedur wurde als GIS-Applikation und ArcView implementiert, so dass ihre Anwendung auf das gesamte Donaeinzugsgebiet nun in einfacher Weise möglich ist. Einige Ergebnisse der Anwendung des Verfahrens im Rahmen der Validierung zeigen die folgenden Abbildungen.

Validierung

Die folgende Abbildung 5 zeigt für den Zeitabschnitt 1. März bis 30. April 1995 Stundenwerte des Abflusses am Donau-Pegel Achleiten ($A_E = 76.660 \text{ km}^2$, oberste Ganglinie) sowie allen zugehörigen unmittelbaren Oberliegerpegeln.

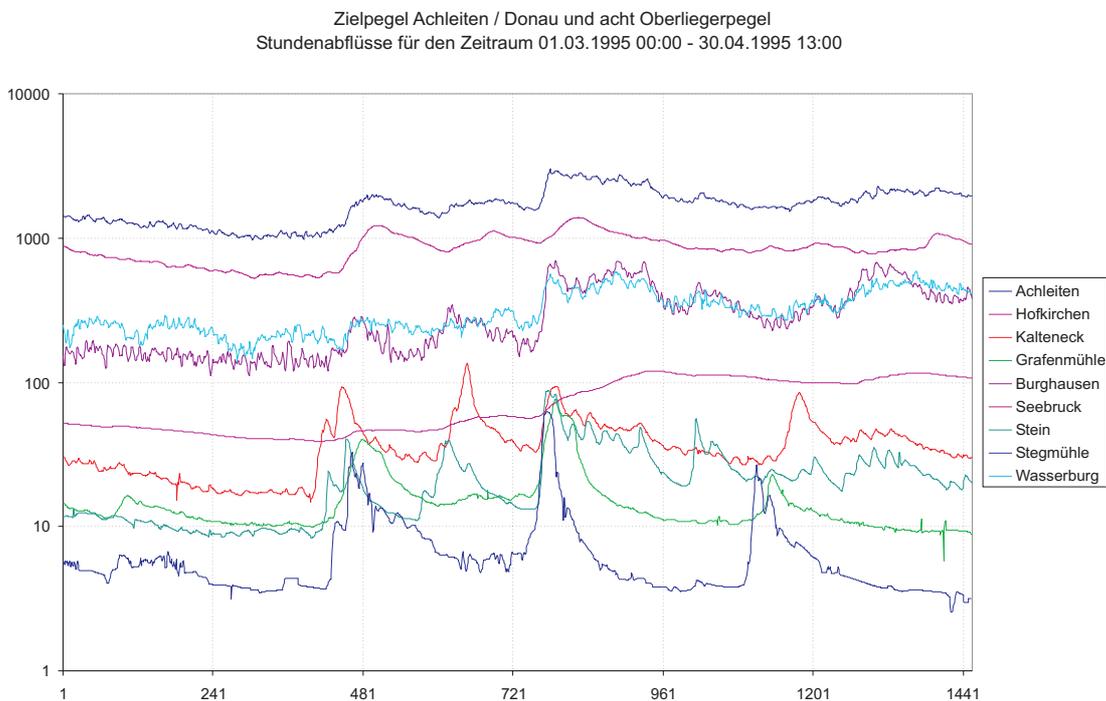


Abb. 5: Validierung: Inputdaten

Das Ergebnis der Wellenablaufberechnung der acht Oberliegerganglinien zum Zielpegel unter Zugrundelegung der sich aus dem oben skizzierten Kalibrierungsverfahren ergebenden Parametern zeigt Abbildung 6.

Achleiten / Donau, Messung vs. Berechnung mit acht Oberliegerpegeln

Nash-Sutcliff - Koeffizient = 0,99 für 2400 Stunden beginnend am 1.1.1995 01:00

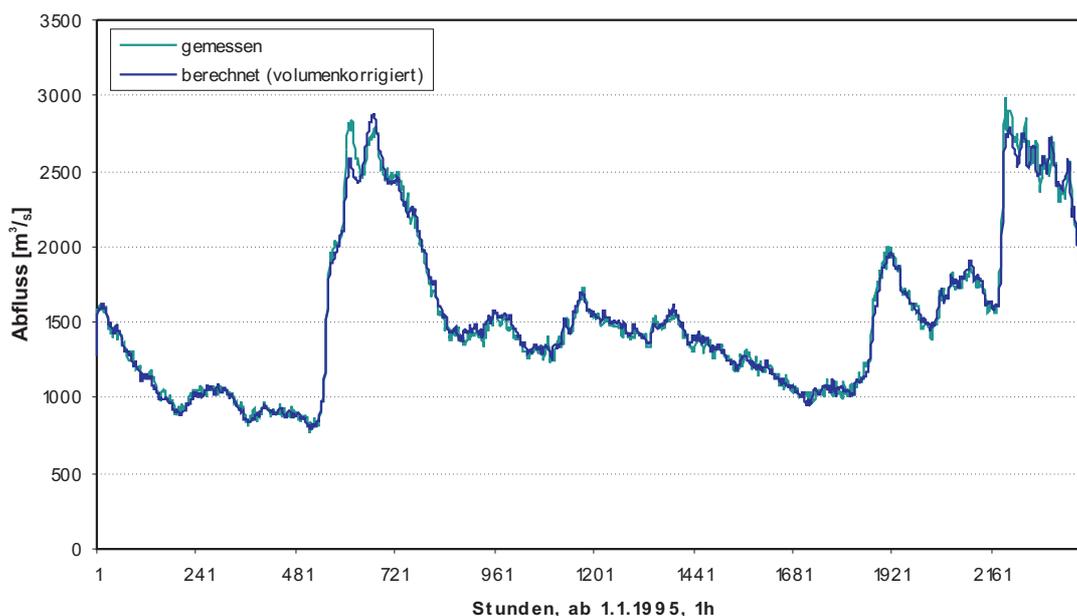


Abb. 6: Modellvalidierung für den Pegel Achleiten/Donau

Die berechnete Ganglinie am Pegel Achleiten wurde dabei volumenkorrigiert, um den bei reiner Wellenablaufberechnung nicht erfassbaren Zwischengebietszufluss zu berücksichtigen. Das für Achleiten erhaltene Nash-Sutcliff-Maß NS weist einen Wert von 0,99 auf. Der Nash-Sutcliff-Wert ist ein Effizienzmaß zwischen Minus Unendlich (keinerlei Übereinstimmung) und Plus Eins (völlige Übereinstimmung), das sich wie folgt berechnet:

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_{S_i} - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum x_i \right)^2}$$

mit NS = Nash-Sutcliff-Effizienz
 x_{S_i} = simulierte Werte
 x_i = gemessene Werte

Dabei ist zu beachten, dass nach Anwendung der Kalibrierungsprozedur keine „Nacheichung“ stattgefunden hat. Insbesondere sind also Abweichungen zwischen Messung und Berechnung in keiner Weise bei der Parameterbestimmung eingeflossen. Für das gesamte Donau-Einzugsgebiet lässt sich die Validierung wie folgt beschreiben: Von den insgesamt 57 validierbaren Flussabschnitten wird für 43 ein Effizienzmaß über 0,8 (davon 32 über 0,95) erreicht. Schlechte Anpassungen (< 0,4, 7 Strecken) findet man nur innerhalb von Teilstrecken, die von Talsperren oder Überleitungen beeinflusst sind. Dies wird anhand der Abbildung 3 verdeutlicht, in der die Validierungsergebnisse für sämtliche durch Pegel kontrollierten Flussabschnitte dargestellt ist, wobei die Berechnungen hier nicht auf Stunden- sondern auf Tagesschritten basiert.

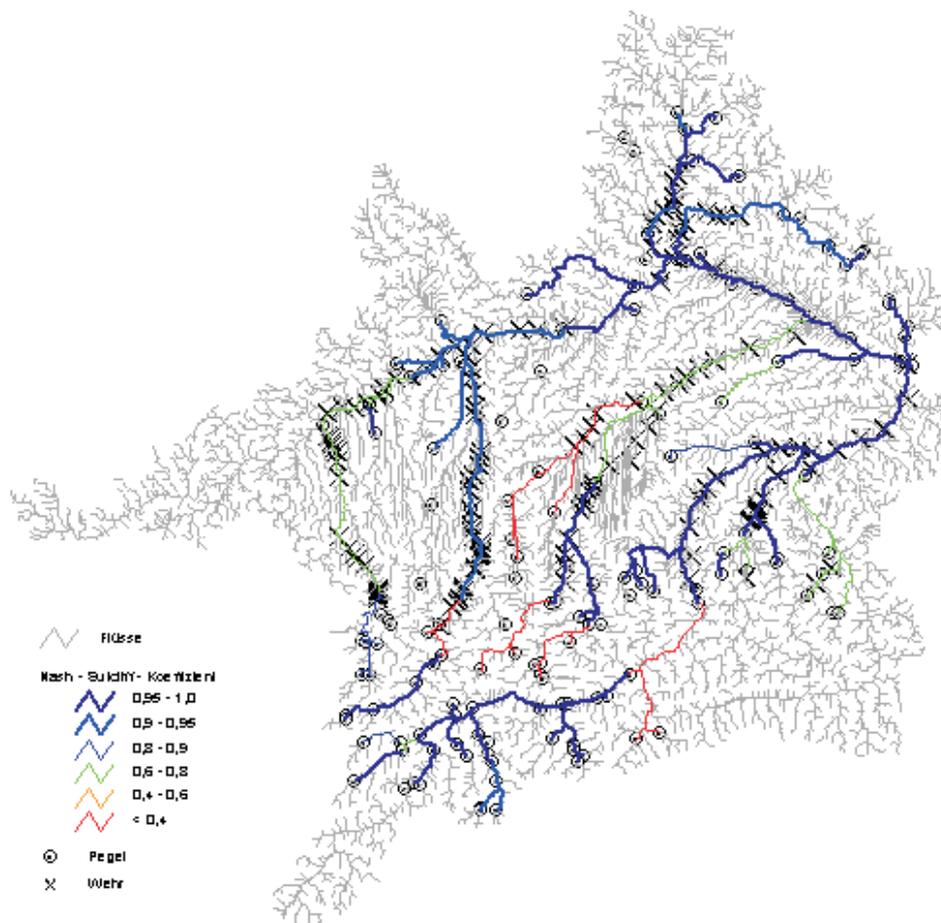


Abb. 7: Modellvalidierung für sämtliche durch Pegel kontrollierten Flussabschnitte

Zur Modellierung der Wasserbeschaffenheit muss das Wasserflussmodell in der Lage sein, zuverlässige hydraulische Parameter zu liefern, zum Beispiel Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten. Um auch dies zu validieren wurden die hier vorliegenden Abflusskurven an den Pegeln der Donau mit Hilfe des Wasserflussmodells nachgerechnet. Ein Beispiel zeigt Abbildung 8, bezogen auf den Pegel Pfelling/Donau. Wie zu erkennen, lässt sich die reale Abflusskurve näherungsweise abbilden, obwohl in hier keinerlei gemessene Querprofile zugrunde gelegt wurden.

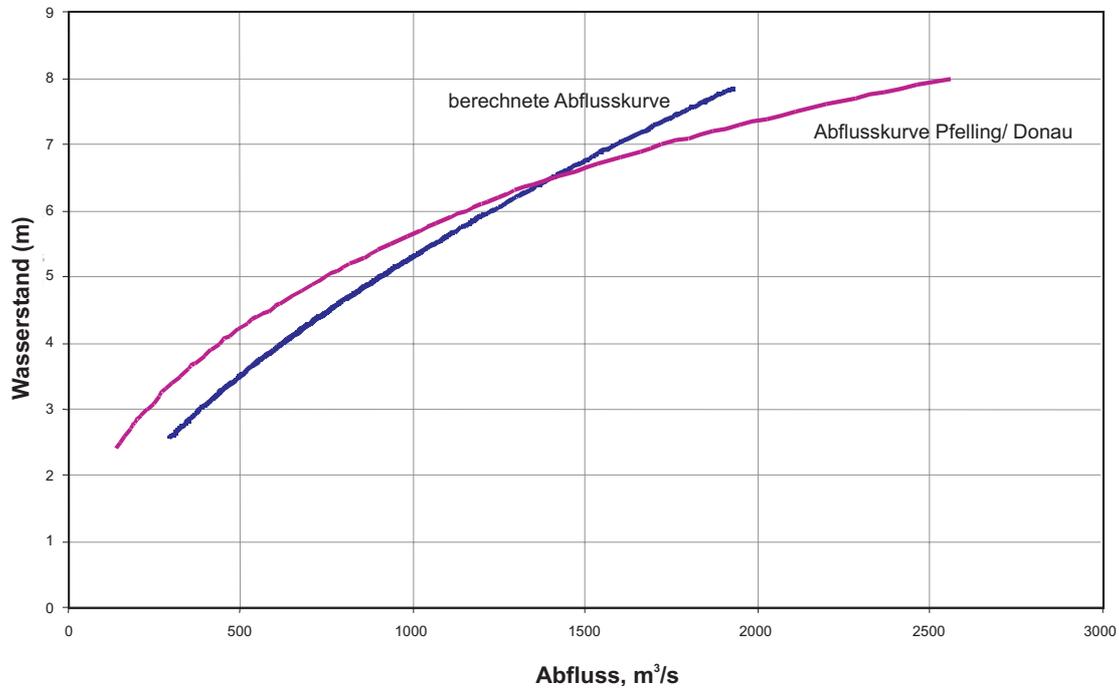


Abb. 8: Abflusskurve am Pegel Pfelling, gemessen und berechnet

Zusammenfassend lässt sich bezüglich der Wassermengenmodellierung festhalten:

- Die Kalibrierung und Validierung auf Stundenbasis ist abgeschlossen
- Die Kalibrierung und Validierung auf Tagesbasis ist bis auf Raum Baden-Württemberg abgeschlossen.

Probleme liegen ausschließlich in Flussabschnitten vor, die durch Talsperren beeinflusst sind (Abb.7). Deren Berücksichtigung ist in der nächsten Projektphase vorgesehen.

Damit werden sich die weiteren Arbeiten im Bereich der Wasserflussmodellierung im verbleibenden Jahr ausschließlich auf die Frage der Überprüfung der Schnittstelle zum Objekt *Groundwater* konzentrieren, denn die Schnittstelle zum Objekt *Landsurface* besteht alleine in der Übernahme der Werte an den Proxeln und dem Routen durch das Gewässernetz mit dem vollständig vorliegenden Parametersatz.

4. Modellierung der Wasserbeschaffenheit

Die Ergebnisse der Wasserflussmodellierung sind Grundlage für die Wasserbeschaffenheitsmodellierung mit BLTM. Zur Modellierung der Stoffströme und Umsetzungen wird das wesentlich vom gleichen Modellautor entwickelte Modell BLTM (JOBSON 1987) eingesetzt. BLTM ist eines der wenigen Modelle, mit dem räumlich und zeitlich hochaufgelöste Wasserqualitätsmodellierungen für Einzugsgebiete vergleichbarer Größenordnung durchgeführt wurden (JOBSON 1985). In der aktuellen Projektphase werden folgende sieben Wasserbeschaffenheitsparameter modelliert:

- Wassertemperatur,
- gelöster Sauerstoff,
- C-BSB₅,
- organischer Stickstoff,
- Nitrat,
- Nitrit sowie
- Ammonium.

Die zugrundeliegende Kinetik von BLTM zeigt Abbildung 9 (Wie im Folgeantrag näher ausgeführt, soll diese Kinetik in der nächsten Phase durch die bekanntere QUAL2E-Kinetik in einer dynamischen Form der Implementierung ersetzt werden).

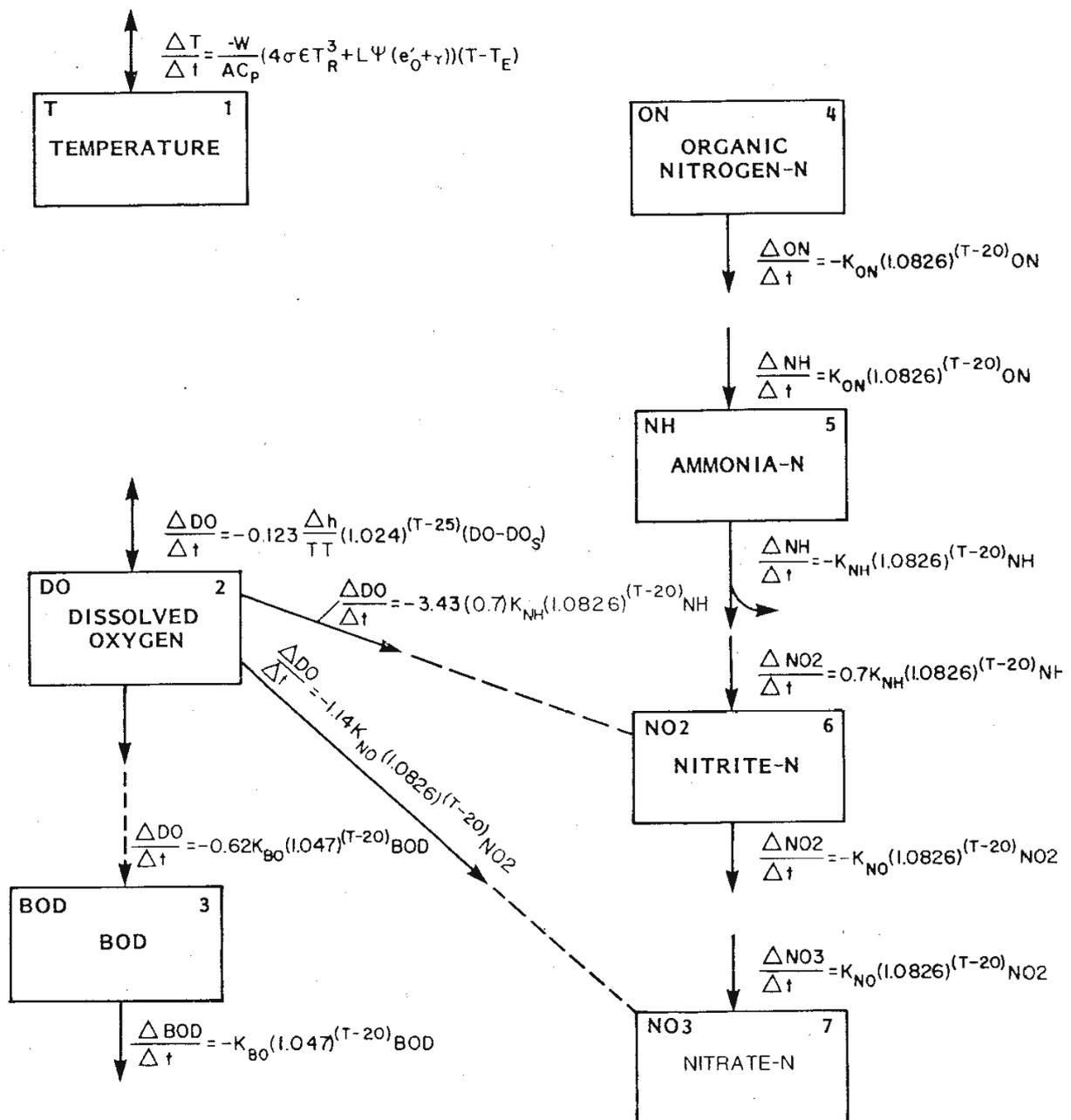


Abb. 9: "Jobson-Kinetik"

Ebenso wie DAFLOW muss auch BLTM in JAVA umkodiert werden. Dies und die Einbindung in das GLOWA-Framework sind nahezu abgeschlossen. Darüber hinaus sind bisher Berechnungen mit BLTM für den Donauabschnitt zwischen Kehlheim und Passau/Kachlet in Stundenschritten für das Jahr 1995 durchgeführt worden. Die relevanten punktuellen Einleiter entlang dieser Strecke, also speziell die Kläranlagen Regensburg und Straubing, wurden dabei berücksichtigt, indem als Zuflussmenge der jeweilige mittlere Trockenwetterabfluss und hinsichtlich der Belastungen mit BSB₅, Ammonium- und Gesamt-Stickstoff die Maximalwerte aus Anhang 1 der Abwasserverordnung angesetzt wurden.

Gütemodellierung mit Bltm
Kehlheim bis Kachlet 1.1.1995 - 31.12.1995

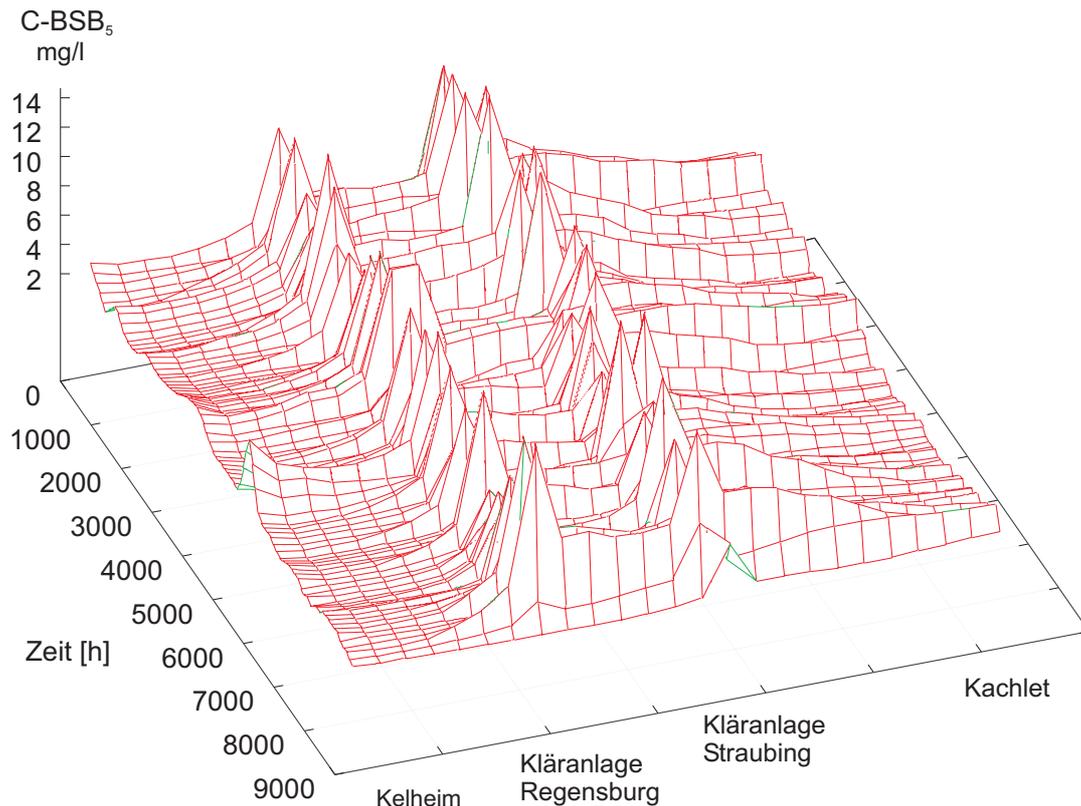


Abb. 10: Gütemodellierung mit BLTM, Donauabschnitt Kehlheim bis Kachlet

Derzeit wird eine GIS-basierte Kalibrierungsroutine für das Wasserbeschaffenheitsmodell entwickelt. Dabei werden

- alle größeren Kläranlagen und thermischen Kraftwerke nach Lage und Typ berücksichtigt, (die dazu notwendigen Informationen stehen durch das dem Gesamtprojekt zugängliche WASGIS der bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung zur Verfügung),
- deren Belastungen anhand der typabhängigen gesetzlichen Vorgaben abgebildet,
- Prozeduren zur automatisierten Kalibrierung (Optimierung) von Abbauraten innerhalb kinetisch sinnvoller Grenzen durch Vergleich mit Messwerten an den Gütemessstellen erstellt (anders als beim Wasserflussmodell ist die Entwicklung einer physikalisch, chemisch oder biologisch basierten Kalibrierungsprozedur kaum möglich) und
- geeignete Prozeduren zur Ermittlung der Rand- und Anfangsbedingungen erstellt, insbesondere Ansätze zur Ermittlung von mittleren Jahresgängen aller zu modellierenden Wasserbeschaffenheitsparameter für beliebige Punkte im Raum

Zu den letzten beiden Punkten werden im folgenden weitere Ausführungen gemacht.

Optimierung

Derzeit wird hier ein Optimierungsverfahren integriert. Zugrunde gelegt wird dabei der von der Arbeitsgruppe um Professor Sooroshian zur automatisierten Kalibrierung hydrologischer Modelle entwickelte „Shuffled Complex Evolution“ Algorithmus der University of Arizona (SCE-UA) (DUAN et al. 1992). Bei dieser Optimierungsstrategie wird versucht, die bekannte Simplex-Methode von NELDER und MEAD (1965) mit den beiden Prinzipien der kontrollierten Zufallssuche und der Evolutionsstrategie zusammenzuführen. Ziel ist es dabei, die Vorteile des ableitungsfreien Simplex-Optimierungsverfahrens, das - abhängig von den gewählten Anfangsschätzungen der n gesuchten Parameter - zur Aufdeckung lokaler Optima tendiert, zu höherer Effektivität und Effizienz zu verhelfen. Dazu werden zunächst mehrere zufällig erzeugte Anfangsschätzungen für die Parameter festgelegt (sogenannte Komplexe), für die die Simplex-Suche getrennt durchgeführt wird. Dabei tauschen die einzelnen Komplexe laufend Informationen über ihren jeweiligen Zustand aus. Wie die DUAN et al (1995) im Detail ausführen, können diese Informationen zu einer erheblichen Effizienzsteigerung bei der Suche nach dem globalen Optimum führen.

Der Sourcecode des SCE-UA-Ansatzes wurde dem IAWG von den Autoren zur Verfügung gestellt, so dass die Einbindung in die hier benötigte Entwicklungsumgebung auf einfache Art möglich wird. Ziel der Optimierung sind dabei Änderungsraten für die zu modellierenden Variablen, also zum Beispiel Abbauraten wie K_{BO} , K_{ON} , K_{NH} (s. Abb.9).

Bereitstellung der Randbedingungen mittels GMDH

Die Bereitstellung der Randbedingungen für die Gewässerbeschaffenheitsmodellierung, also Ganglinien der Gewässerbeschaffenheitsparameter an den Kopf- und Zwischengebietsknoten des Gewässernetzes kann nur zum Teil durch die Objekte *Landsurface* und *Groundwater* (über Exfiltration) erfolgen. Dafür liegen zwei Gründe vor:

- Innerhalb der Objekte *Landsurface* und *Groundwater* wird zwar Nitrat, aber nicht die anderen sechs hier modellierten Parameter behandelt.
- Die Gewässerbeschaffenheitsmodellierung wird nicht für das gesamte 25.000km lange Flussnetz durchgeführt sondern aus Rechenzeitgründen sowie wegen bestimmter BLTM-spezifischer Erfordernisse nur für die mittleren und größeren Flüsse innerhalb der Donaueinzugsgebietes mit einer Gesamtlänge von ca. 5.000km. Da *Landsurface* laterale Prozesse innerhalb aber nicht zwischen den Proxeln abbildet, müssen die im Kopfbereich der Flüsse mit lateralem Transport einhergehenden Umwandlungs- und Durchmischungsprozesse - wie im Weiteren beschrieben - anderweitig abgebildet werden.

Der dazu aktuell hier verfolgte Ansatz basiert auf der zeitvarianten (quasidynamischen) Erweiterung eines von KISHI (2000) vorgeschlagenen und auf dem sogenannten Group Method Data Handling-Verfahren (GMDH) aufsetzenden multivariaten statistischen Verfahren.

Das Group Method Data Handling Verfahren (GMDH) soll hier nicht im Detail erläutert werden (s. Übersicht z.B. in IVACHNENKO und IVACHNENKO 1995). GMDH gehört zu den Verfahren statistisch lernender Netze. Ein wesentlicher Unterschied zu dem bekannteren ebenfalls dazu gehörigen Neuronalen Netzen besteht darin, dass im Ergebnis der Lernphase eine explizite mathematische Formulierung zwischen den abhängigen und unabhängigen Variablen resultiert.

KISHI (2000) ermittelt mittlere Nitratkonzentrationen für beliebige Stellen im Einzugsgebiet des Neckar-Einzugsgebietes ($A_E=13.960\text{km}^2$) anhand multipler Regressionsmodelle, wobei sie die Modellidentifikation mit Hilfe des GMDH-Verfahrens durchführt. Sie erreicht dabei einen über alle 50 Pegel gemittelten prozentualen absoluten Fehler (MAPE) in der Validierungsmenge von 16,6%.

Das von KISHI (2000) vorgestellte Verfahren wird wie folgt erweitert

- neben Nitrat werden auch die $p=1, np$ anderen hier zu modellierende Variablen wie Wassertemperatur usw. modelliert
- zusätzlich zum Mittelwert \bar{x}_p der jeweiligen Variablen p wird die Standardabweichung s_p regionalisiert
- sofern die Variablen durch einen signifikanten Jahresgang charakterisiert sind, wird 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) werden ebenfalls mit Hilfe einer mittels GMDH identifizierten multiplen Regression regionalisiert

Insgesamt ergeben sich für jede abhängige Variable vier zu regionalisierende Parameter. Als unabhängige Variable sind Gebietsmerkmale GM sowie hydrometeorologische Merkmale HM denkbar:

$$\bar{x}_p, s_p, bs_p, bc_p = f(GM_1, \dots, GM_m, HM_1, \dots, HM_n), \quad p = 1, np$$

Die Anwendung der entstehenden Gleichungen erlaubt die Abschätzung der Randbedingungen für die zu modellierenden Variablen für jeden beliebigen Punkt im Einzugsgebiet und jeden beliebigen Zeitpunkt im Jahr.

Erste vorläufige Ergebnisse zeigen die folgenden drei Abbildungen. Datengrundlage sind dabei insgesamt 48 Pegel im gesamten Einzugsgebiet (davon 16 Donau-Pegel), wobei als mögliche unabhängige Variablen ermittelt wurden

- die Gebietsmerkmale Fläche, Bevölkerungsdichte, Ackerfläche, Grünland, Laubwald, Nadelwald, Siedlungsfläche, Höhe über NN, Rechtswert und Hochwert sowie
- das hydrometeorologische Merkmal mittlerer Jahresniederschlag.

Aus dieser Gesamtheit möglicher unabhängiger Variablen wurden dann mittels GMDH die geeigneten multivariaten Regressionsmodelle aufgestellt. Zur Umsetzung des GMDH-Verfahrens wurde auf ein kommerziell verfügbares Programmsystem eingesetzt. Da die Ergebnisse des Ansatzes vorläufigen Charakter haben, wird hier auf die explizite Darstellung der Regressionsgleichungen verzichtet. Gleichwohl soll mit den folgenden Abbildungen gezeigt werden, dass das Verfahren zu einer hinreichenden Nachbildung der tatsächlichen Werte führt. Dies gilt sowohl für die Mittelwerte (Abb. 11, Beispiel Nitrat), die Standardabweichungen (Abb. 12, Beispiel Wassertemperatur, wie Abb. 11 bezogen auf die Donaupegel) als auch für die Jahresschwingungen (Abb. 13, wiederum Nitrat).

Die bisher aufgestellten statistischen Modelle zur Bereitstellung von Randbedingungen für das deterministische Gewässerbeschaffenheitsmodell BLTM sollen in den verbleibenden Monaten durch folgende Maßnahmen weiter verbessert werden:

- Einbeziehung weiterer Gebietsmerkmale wie Grundwasserflurabstand, Entfernung zur nächsten Kläranlage,
- Einbeziehung weiterer Messstellen im bayerischen und österreichischen Teil des Donau-Einzugsgebietes und
- Einbeziehung weiterer hydrometeorologischer Merkmale, zum Beispiel zeitgemittelte Kennwerte zur Lufttemperatur und ggf. auch zum Abfluss

Gemessene und modellierte NO₃-Mittelwerte an Donaupegeln

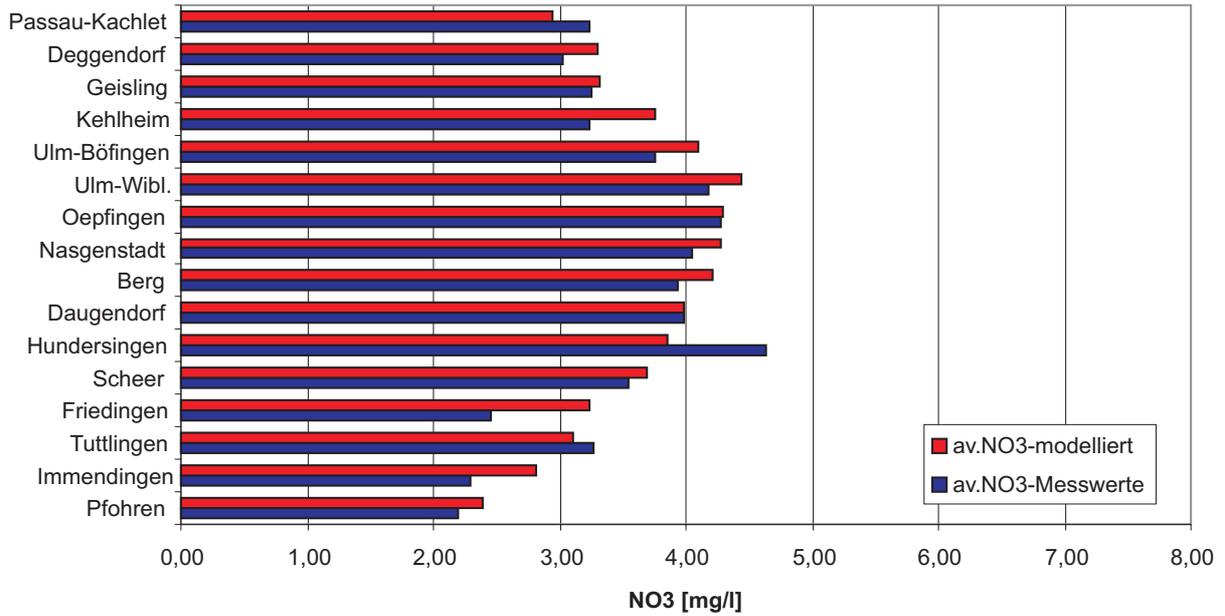


Abb. 11: GMDH-basierte Modellierung von Nitrat-Mittelwerten

Berechnete und modellierte Wassertemperatur-Standardabweichungen an Donau-Messstellen

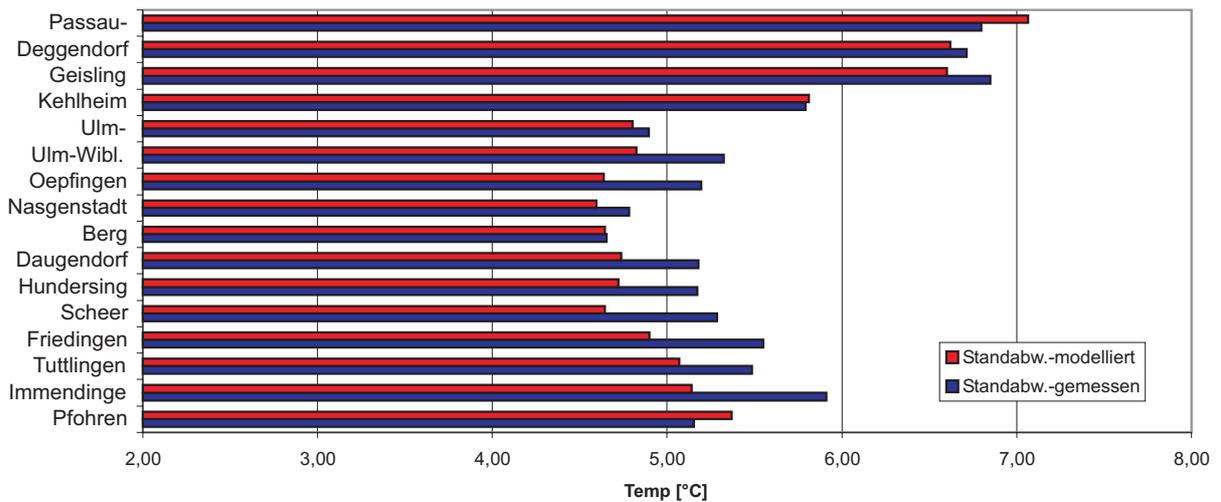


Abb. 12: GMDH-basierte Modellierung von Wassertemperatur-Standardabweichungen

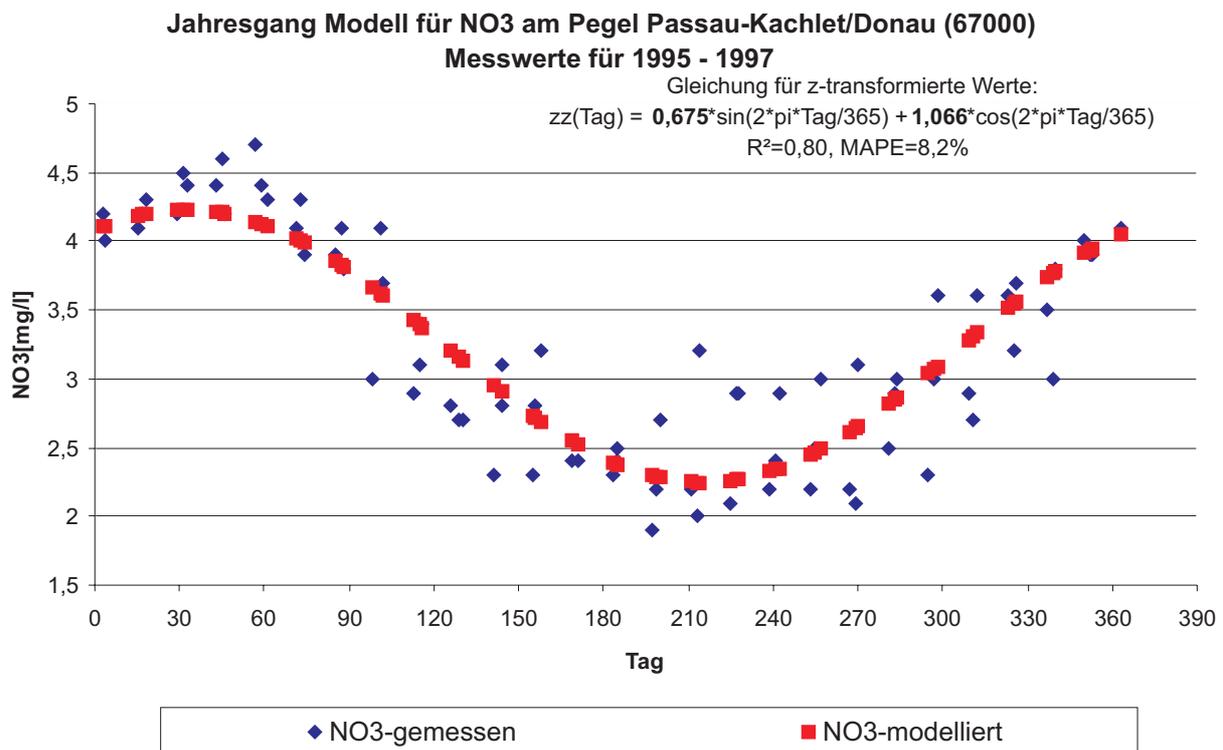


Abb. 13: GMDH-basierte Modellierung der Nitrat-Jahresschwingung, Pegel Kachlet

5. Weiteres Vorgehen

In den verbleibenden Monaten der ersten Phase von GLOWA-Danube werden innerhalb des Teilprojektes „Oberirdische Gewässer“ folgende Aufgaben bearbeitet:

- Hinsichtlich des Wasserflussmodells:
 - Parametrisierung der Schnittstelle zum Objekt *Groundwater* (zusammen mit dem Teilprojekt „Grundwasser“). In diesem Zusammenhang wird die von Herrn Schul an der Universität Stuttgart anzufertigende Diplomarbeit mit dem Arbeitstitel „Comparison of different baseflow separation approaches applied to sub-catchments of the Upper Danube Basin“ vom IAWG mit betreut.
 - Beschaffung von Abflussdaten für den baden-württembergischen Teil des Donau-Einzugsgebiet
- Hinsichtlich des Wasserbeschaffenheitsmodells:
 - Vervollständigung der JAVA-Konvertierung
 - Vervollständigung des GIS-basierten Kalibrierungsverfahrens mit
 - Verbesserung und Integration des Modells zur Bereitstellung von Randbedingungen
 - Integration des Optimierungsalgorithmus und Durchführung der Optimierung
 - Validierung des Wasserbeschaffenheitsmodells
 - Beschaffung von Wasserbeschaffenheitsdaten für den bayerischen und österreichischen Teil des Donau-Einzugsgebietes.

Die vom Teilprojekt „Oberirdische Gewässer“ implementierten Wasserfluss- und Wasserbeschaffenheitsmodelle werden es bis zum Jahresende 2003 erlauben, die modellierten, in den Fließgewässern ablaufenden natürlichen Prozesse in hinreichender Genauigkeit abzubilden.

6. Literatur

- AMBROSE, R.B., WOOL, T.A., and MARTIN, J.L. (1993): The Water Quality Analysis Simulation Program WASP5, Part A: Model Documentation, Version 5.10, US Environmental Protection Agency, Env. Research Lab., Athens Georgia.
- DUAN, Q. SOOROSHIAN, S. and GUPTA, V. (1992): Effective and Efficient Global Optimization for Conceptual Rainfall-Runoff-Models. *Water Resources Research*, Vol. 28, p. 1015-1031.
- IVACHNENKO, A.G. and 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. and 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, Band 99.
- NELDER, J.A. und MEAD, R. (1965): A simplex method for function Minimization. *Computational. Journal*, Vol. 7, p. 308-313.
- WILLEMS, W. (2002): DANUBIA Software-Dokumentation, GLOWA-Danube Papers Technical Release No. 12: Model water flow and constituents in the River network of the Upper Danube, June 2002.

Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung, Wasserversorgung

Teilprojekt: Grundwasser
Leiter: J. Braun, Ph.D.
Ausführende Stelle: Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau, Lehrstuhl für Hydraulik und Grundwasser

1. Übersicht

Die Arbeitsgruppe "Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung und Wasserversorgung" am Institut für Wasserbau der Universität Stuttgart (IWS) erstellt Teilmodelle für die Beschreibung der Grundwasserströmung und den Transport von Stickstoff im Grundwasser (Objekt *Groundwater*) sowie für die Wasserversorgung im Gebiet der Oberen Donau (Objekt *WaterSupplyActor*). Für das Objekt *Groundwater* wurde zunächst ein dreidimensionales hydrogeologisches Konzeptmodell des Einzugsgebiets auf der Basis geologischer und hydrogeologischer Messdaten erstellt. Das Konzeptmodell wurde durch eine horizontale und vertikale Diskretisierung in ein quasi-dreidimensionales, mehrschichtiges Finite-Differenzen-Modell überführt, das an die Erfordernisse des GLOWA-Danube-Konzeptes (Zellgröße, Übergabeparameter) angepasst und dementsprechend parametrisiert wurde. Zur Modellierung der Grundwasserströmung wird das Paket MODFLOW [1] verwendet, die Modellierung des Nitrattransports erfolgt mit MT3D [2]. Konzeptmodell und numerisches Modell werden fortlaufend verbessert.

Das Objekt *WaterSupplyActor* beinhaltet ein Bereitstellungs- und Verteilungsmodell für Wasserversorgung und -verbrauch, das zwischen den Verbrauchern, die im Objektverbund *Actors* zusammengefasst sind, und den Objekten „*Groundwater*“ und „*Rivernetzwerk*“ (Oberflächengewässer) vermittelt. Bisher wurden und werden vorwiegend Erhebungen zur Ist-Situation der Wasserversorgung durchgeführt. Die Daten werden zur Betreuung eines ersten, einfachen („flachen“) Akteursmodells verwendet. Das „tiefe“ Entscheidermodell soll in der zweiten Projektphase erstellt werden.

Die Objekte *Groundwater* und *WaterSupplyActor* werden Anfang 2003 erstmals vollständig in das Entscheidermodell DANUBIA integriert. Die technischen Voraussetzungen zum Lesen und Bereitstellen von Eingabedaten von und für andere Modelle bestehen bereits und sind getestet. Maßgeblich ist nun die Gewährleistung des technisch und physikalisch korrekten Zusammenwirkens der sektoralen Modelle.

Im Gegensatz zu früheren Berichten wird in diesem Jahresbericht für 2002 der Tatsache Rechnung getragen, dass aufgrund der konzeptionellen Entwicklung des Entscheidungsunterstützungssystems DANUBIA die Arbeiten des Teilprojekts „Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung, Wasserversorgung“ eindeutig in zwei Teilbereiche getrennt werden können: das Objekt *Groundwater* und das Objekt *WaterSupplyActor*, die im Folgenden getrennt behandelt werden.

2. Allgemeines

2.1 Personal

Seit dem 07.01.2002 komplettiert Ing. Vlad Rojanski, M.Sc., die Gruppe Grundwasser. Herr Rojanski hat bereits im Rahmen seiner Master's Thesis im GLOWA-Danube-Projekt mitgewirkt. Damit besteht die Arbeitsgruppe derzeit aus sechs Mitarbeitern, darunter der Projektleiter Jürgen Braun, Ph.D. (Grundausrüstung), der wissenschaftliche Leiter Dr. Roland Barthel

und vier Doktoranden. Daraus wird ein Doktorand aus Mitteln des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst des Landes Baden-Württemberg sowie aus Mitteln der Universität Stuttgart bezahlt.

2.1.1 Investitionen

Im Juli 2002 wurde zur Bearbeitung des inzwischen auf das gesamte Einzugsgebiet ausgedehnten und damit zunehmend rechenintensiven Grundwassermodells ein leistungsstarker Rechner mit zwei Prozessoren und zwei Gigabyte RAM angeschafft. Dieser Rechner, der durch die Dualprozessortechnik Modellierungsläufe im Hintergrund zulässt, dient zusätzlich allen Mitarbeitern der Arbeitsgruppe zur Bewältigung ressourcenintensiver Arbeiten und als File-Server für gemeinsam genutzte Dokumente.

2.2 Teilnahme an Tagungen und Kongressen, Veröffentlichungen

Die Mitglieder der Arbeitsgruppe waren im Jahr 2002 mit insgesamt sechs Tagungsbeiträgen zum Thema GLOWA auf drei nationalen und zwei internationalen Kongressen vertreten. Aus einem dieser Tagungsbeiträge ging eine Veröffentlichung in einer deutschsprachigen Fachzeitschrift hervor, die ein Review-Verfahren durchlaufen hat [3]. Für das Jahr 2003 wurden bislang sechs Tagungsbeiträge für vier internationale Tagungen eingereicht, von denen einer bereits akzeptiert wurde. Für nationale Tagungen sind derzeit drei Beiträge vorgesehen. Veröffentlichungen, Konferenzen und Beiträge sind im Anhang aufgeführt. Zwei Veröffentlichungen zur Einreichung in einer deutschsprachigen und einer internationalen Fachzeitschrift sind in für Anfang vorgesehen (s. Kap. 6).

3. Ergebnisse sektoraler Arbeiten

3.1 Sektorale Arbeiten: DANUBIA-Objekt *Groundwater*

Das Objekt *Groundwater* besteht grundsätzlich aus den Komponenten *GroundwaterFlow* (Grundwasserströmungsmodell) und *GroundwaterTransport* (Modell für den Nitrattransport im Grundwasser), weshalb die DANUBIA-Komponente *Groundwater* strenggenommen als „Verbundobjekt“ (analog zum Verbundobjekt „*Landsurface*“ oder „*Actors*“) zu bezeichnen wäre (vgl. auch Abb. 9). Diese Unterscheidung ist allerdings nur auf der Programmierungsebene des DANUBIA-Systems von Bedeutung, so dass an dieser Stelle, bei der Vorstellung sektoraler Arbeiten und Ergebnisse, grundsätzlich nur vom Objekt *Groundwater* als solchem gesprochen wird, ohne explizit auf diese Unterscheidungen einzugehen.

3.1.1 Hydrogeologisches Konzeptmodell

Ein hydrogeologisches Konzeptmodell mit vier Schichten („Malmkarst“, „Unteres Tertiär“, „Oberes Tertiär“ und „Quartär“; s. Abb. 2) wurde erstellt. Besondere Aufmerksamkeit wurde dabei den quartären Grundwasserleitern gewidmet, die für die kurz- und mittelfristigen Grundwasserbewegungen von höchster Bedeutung sind. Der obere tertiäre Anteil umfasst ein etwa 100m mächtiges Schichtpaket, in dem die Modellierung lokal bedeutsamer Strukturen erfolgt. Die untere Einheit zeigt eine starke Mächtigkeitszunahme nach Süden (Abb. 2). Das Quartär ist im wesentlichen horizontal durch das Auftreten lokaler, gut wasserwegsamere Strukturen (Talaquifere, Schotterebenen) gekennzeichnet. Als Modellbasis wurde die Basis des verkarsteten Jura-Aquifers festgelegt. Der alpine Anteil des Modellgebietes und das paläozoische Grundgebirge in Nordostbayern werden derzeit noch nicht explizit modelliert, sondern bilden Randbedingungen (Hinweis „Phase 1“ in Abb. 1) für das zentrale Modellgebiet (Abb. 1, 2). Das konzeptionelle Modell wird fortlaufend weiterentwickelt und verfeinert.

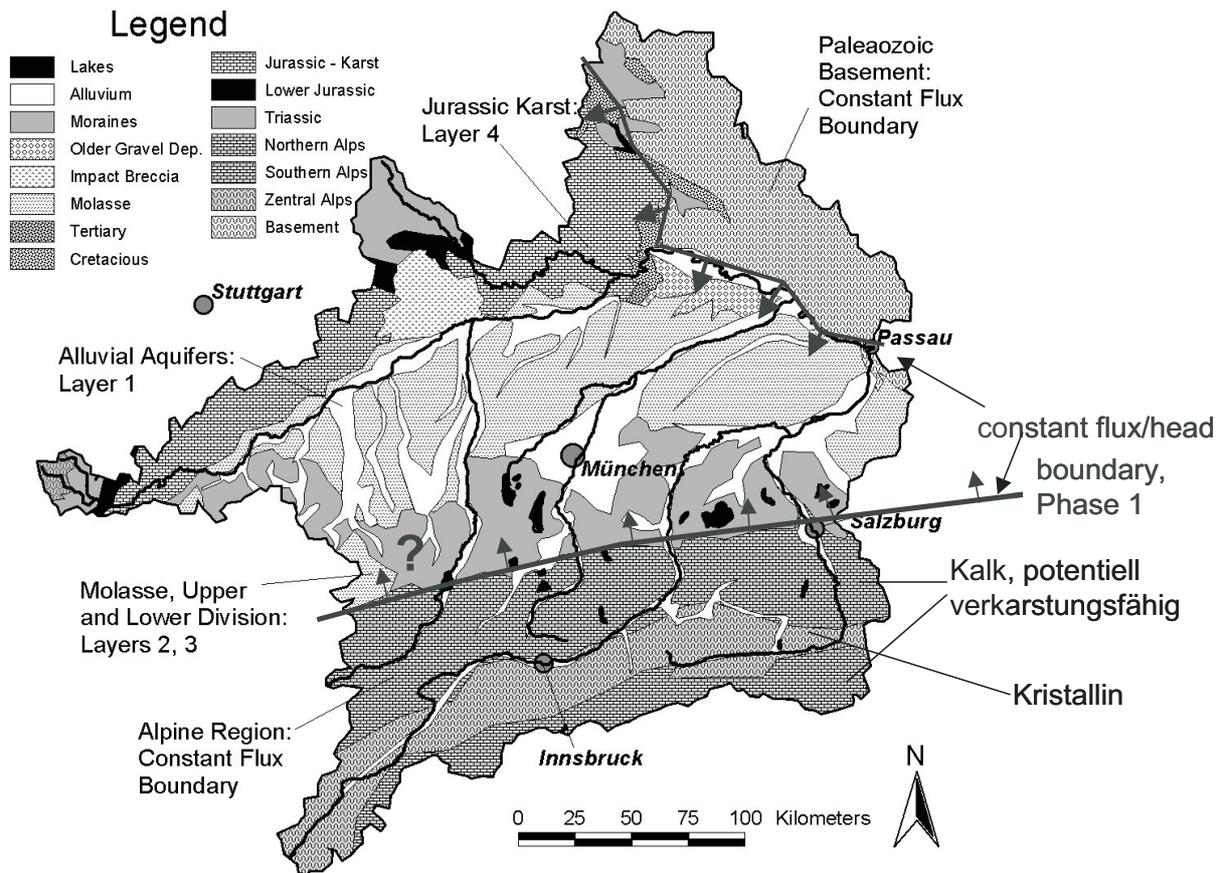


Abb. 1: Grob schematisierte geologische Karte des Einzugsgebiets. Der Alpenraum wird derzeit aufgrund seiner Komplexität aus der Modellierung ausgenommen. Die Grundwasserumsätze aus den Alpen werden als Randbedingung implementiert. Das Kristallingebiet im Nordosten des Einzugsgebiets wird dagegen auch in Zukunft als grundwasserfreies Areal betrachtet, die lokal auftretenden Grundwasservorkommen können im regionalen Massstab von GLOWA-Danube als unbedeutend angesehen werden

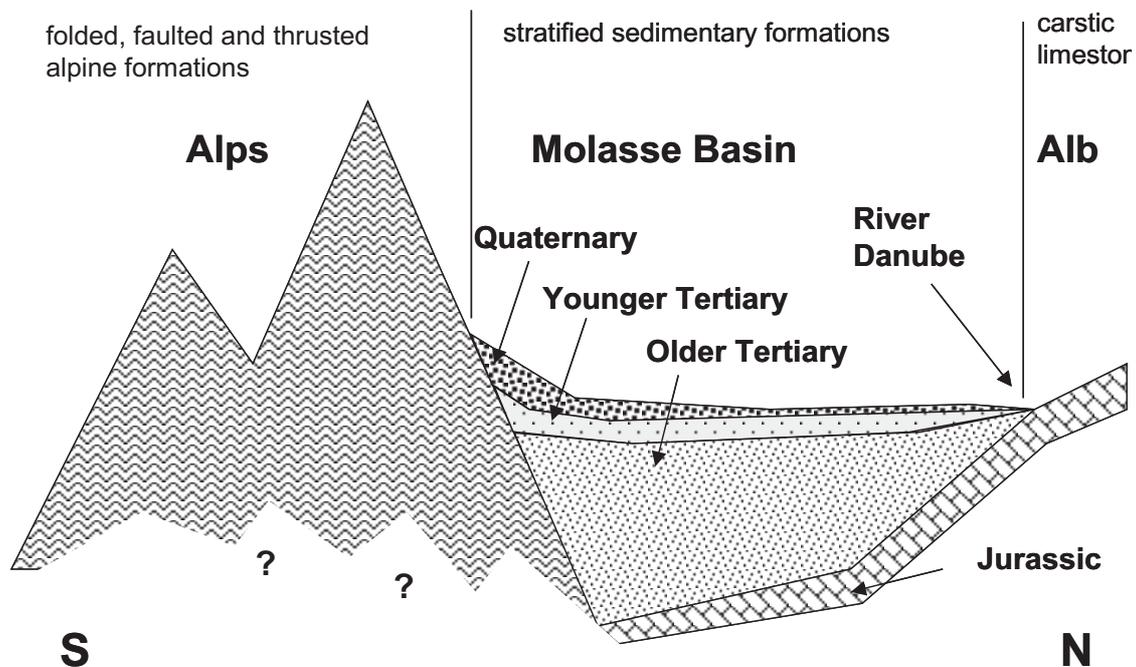


Abb. 2: Schematischer Süd-Nord-Schnitt durch das Einzugsgebiet der Donau, nicht maßstäblich. Explizit modelliert werden derzeit die geschichteten Bereiche im Molassebecken und der Karst (Abb. 1)

3.1.2 Datenbeschaffung und -aufbereitung

Wie bereits in den vorhergegangenen Berichten beschrieben, erfordert die Erstellung des konzeptionellen (hydrogeologischen) Modells 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; s. Abb. 1 und Abb. 5). Die Datenbeschaffung und Auswertung bildet nach wie vor einen wesentlichen Bestandteil der Arbeiten am Grundwassermodell, tritt aber zusehends gegenüber den Arbeiten am numerischen Modell in den Hintergrund.

3.1.3 Interpolation von Daten

Die Datenverfügbarkeit im Einzugsgebiet der Donau führt zu einer extrem heterogenen räumlichen Datenverteilung. Für einige Parameter, die man für das Grundwassermodell benötigt (z.B. Speicherkoeffizient), gibt es so gut wie keine verfügbaren Daten.

Vor allem zur Bestimmung der statischen Eingabeparameter für das Grundwassermodell bieten sich Interpolationsverfahren an, um die Lücken in den Daten zu schließen. So konnten in der zweiten Jahreshälfte 2002 mit Hilfe von geostatistischen Methoden (Ordinary und Universal Kriging) und der Methode des Inverse Distance Weighting trotz fehlender Daten alle vier Schichten des Konzeptmodells und die Startbedingungen für die Grundwasserhöhen in allen Schichten in das Grundwassermodell implementiert werden. Die Ergebnisse, die mit diesen Daten erzielt werden, sind ausgesprochen gut, auch wenn erwartungsgemäß die Ergebnisse einiger Zellen noch deutlich außerhalb des Toleranzbereiches liegen. Es ist demnach weiterhin erforderlich, Eingangsdaten zu sammeln, um die Schätzfehler der interpolierten Daten zu minimieren.

Die räumliche Verteilung der Permeabilitäten und Speicherkoeffizienten werden zur Zeit noch mittels einer einfachen inversen Trial-and-Error-Modellierung bestimmt. Als Grundlage dient dabei eine Zonierung des Einzugsgebietes in kleinere hydrologische Einzugsgebiete. Die möglichen Spannen für die eingesetzten Parameter in jedem Teileinzugsgebiet konnten durch eine intensive Literaturrecherche ermittelt werden. Für das erste Quartal 2003 ist geplant, das Trial-and-Error-Verfahren durch eine automatisierte indirekte inverse Modellierung, basierend auf dem Levenberg-Marquardt-Verfahren [4, 5], zu ersetzen und eine detaillierte Verteilung der Permeabilitäten und Speicherkoeffizienten zu erhalten.

3.1.4 Entwicklung von Upscaling-Methoden - Upscaling-Methoden, Arbeiten an Testgebieten

Die Diskretisierung der Modellparameter und Randbedingungen sowie die Festlegung von Kalibrierungsinformationen auf Basis des 1km² Proxels erfordern besondere Aufmerksamkeit. Verschiedene Detailfragen in diesem Zusammenhang wurden und werden in kleineren sektoralen Untersuchungsgebieten bearbeitet. Entsprechende Untersuchungen werden seit Sommer 2002 auf das integrative Testgebiet „Donauried“ ausgeweitet, das, um das ganze hydrologisch definierte Einzugsgebiet zu erfassen, auf das Gebiet „Donau-Ilser-Lech“ ausgedehnt wurde (s. Abb. 3).

Für das in Abbildung 3 gezeigte Gebiet wurde ein Grundwassermodell erstellt, das den Vorgaben des Gesamtprojekts entspricht (Raster, Orientierung). Das Modell des Ing. Büro kup wurde mit verschiedenen Rastergrößen aus den Originaleingangsdaten unter gewissen Modifikationen nachgebaut. Die Ergebnisse werden derzeit im Rahmen einer Studie, die kurz vor dem Abschluss steht, systematisch verglichen. Demnächst stehen weitere Untersuchungen an, in die auch Ergebnisse der *Modelle soil* und *RiverNetwork* stärker Eingang finden sollen.

Im Rahmen der Up-Scaling Problematik konzentrieren sich die Anstrengungen im Gegensatz zum ersten Projektjahr nicht mehr nur auf die Zuweisung von k_f -Werten, sondern wurden auf die Skalierung von Randbedingungen (Flüsse, Drainagen) sowie auf Fragen der Modellgeometrie ausgedehnt. Wesentliche Schwierigkeiten treten namentlich dort auf, wo die oberste, sehr gut durchlässige Modellschicht „Quartär“ horizontal stark gegliedert und gleichzeitig im Verhältnis zur Zellgröße von 1km nur sehr geringmächtig (0-50m; i.M. ca. 15m) ist. Das führt dazu, dass geringe Veränderungen der Randbedingungen, z.B. der Grundwasserneubildung, zu drastischen

Effekten führen können. Als Beispiel sei die in Abbildung 4 gezeigte Situation genannt. In den typischerweise sehr schmalen, diagonal zum Modell-Grid ausgerichteten quartären Aquiferen im Alpenvorland (vgl. Abb. 1, 5), muss der Aquifer im Modell grundsätzlich zwei Zellen breit ausgelegt werden, da der Grundwasserfluss zwischen zwei Zellen im Finite-Differenzen-Modell nicht diagonal (über die Ecken) der Zellen erfolgen kann. Selbst bei Talquerschnitten mit relativ kleinen Hangneigungen führt dies dazu, dass die Aquiferbasis in den Zellen, die nicht unmittelbare Flusszellen darstellen (Zelle 2), höher liegt als der Grundwasserspiegel in den Flusszellen selbst (Zelle 1 und 3). 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. Derzeit wird an einem Verfahren zur automatischen Anpassung von Aquifergeometrien zur Vermeidung solcher Fehlerquellen gearbeitet.

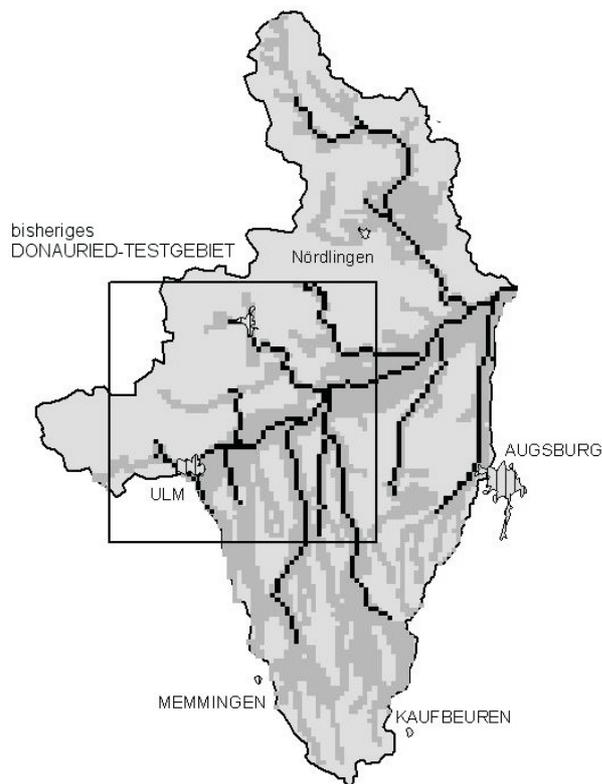


Abb. 3: Das erweiterte (hydrologisch definierte) Testgebiet „donauried“ (Dunkelgrau: Quartärer Aquifer; Hellgrau: Tertiärer Aquifer bzw. geringdurchlässige Tertiäre Gesteine; Rechteck: Begrenzung des GW-Modells Donauried des Büros kup, das der Arbeitsgruppe Grundwasser freundlicherweise durch den Auftraggeber) (Landeswasserversorgung Baden-Württemberg) zu Vergleichszwecken zur Verfügung gestellt wurde)

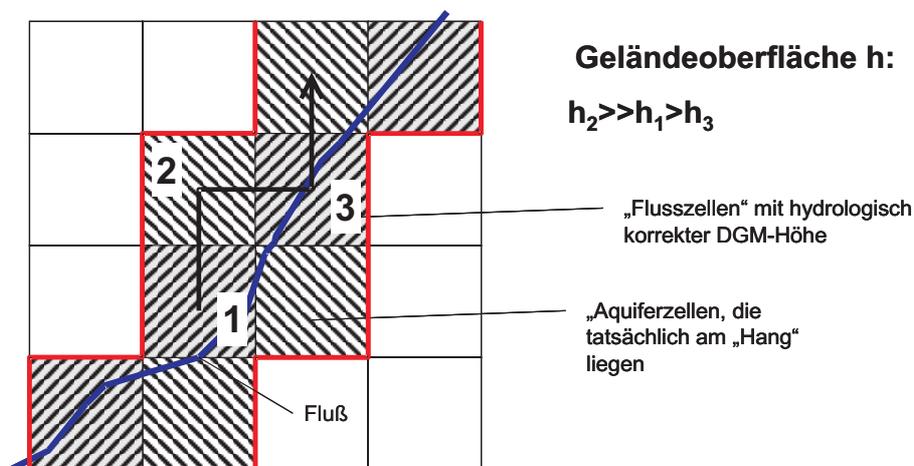


Abb. 4: Grundwasser-Fließpfade in schmalen Talaquiferen, schematisch

3.1.5 Nitrattransport

Die Transportmodellierung (DANUBIA-Objekt „*GroundwaterTransport*“) kann erst auf dem kalibrierten Strömungsmodell aufsetzen und steht deshalb weiterhin hinten an. Momentan wird eine umfassende Literatur-Studie zu den Themen „Upscaling von Transportprozessen“ und zu regionalen Untersuchungen im Bereich Nitratbelastung des Grundwassers im Einzugsgebiet durchgeführt. Begleitend findet eine Datensammlung zur Abbildung des aktuellen und früheren Belastungszustandes der Grundwasserleiter in Bayern, Baden-Württemberg und Österreich statt. Da das Strömungsmodell in nächster Zukunft in einer ersten Fassung praktikable Ergebnisse erwarten lässt, kann die Transportmodellierung bis Mitte des Jahres 2003 in Angriff genommen werden.

3.1.6 Numerische Modelle und erste Modellierungsergebnisse

Aus dem konzeptionellen Modell wurden zwei numerische Modelle abgeleitet. Eines davon betrachtet nur das Quartär als einzige Modellschicht und wird deshalb im Folgenden als „2D-Modell“ bezeichnet. Das 2D-Modell diente im wesentlichen dazu, Anfangs- und Randbedingungen für diese wichtige Schicht zu testen. Es hat sich gezeigt, dass die Verwendung nur einer Modellschicht die Modellierung grundsätzlich erleichtert. Allerdings lässt eine solche vereinfachte Betrachtung des Gebiets die Klärung zentraler Fragestellungen, z.B. die nach der nachhaltigen Bewirtschaftung der sauberen und wertvollen tieferen Aquifere, nicht zu. Das 2D-Modell stellt somit langfristig keine echte Alternative dar, da nur eine 3D-Diskretisierung die reale Situation annähernd korrekt beschreiben kann. Deswegen wurde dieser Ansatz relativ schnell durch ein 3D-Modell abgelöst bzw. ergänzt, das bereits alle Modellschichten beinhaltet. Hierbei müssen insbesondere für die tertiären Modellschichten aufgrund der derzeitigen Datenverfügbarkeit noch vereinfachte Annahmen getroffen werden. Zum Testen von Randbedingungen und vor allem auch für die DANUBIA-Einbindung ist das 2D-Modell derzeit allerdings noch sehr wertvoll und unverzichtbar.

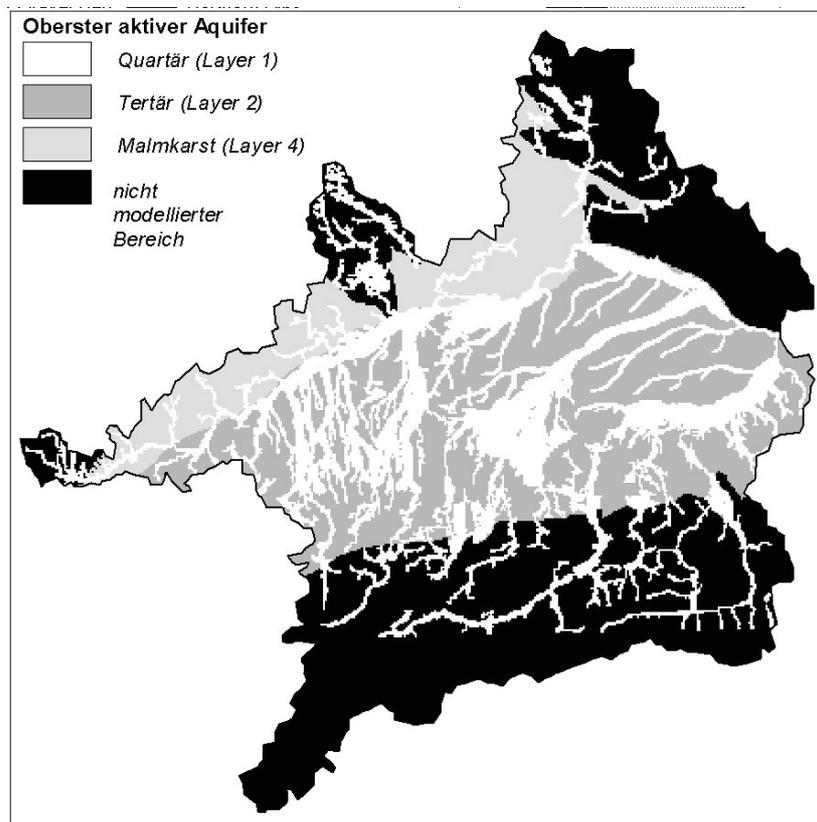


Abb. 5: Horizontale Verbreitung der aktiven Modellschichten im Einzugsgebiet. Aufgrund des generellen Einfalles der Schichten nach Süden (Abb. 2) und der starken horizontalen Gliederung des quartären Aquifers (Abb. 1), entsteht ein für Grundwassermodell eher ungewöhnliches, horizontal stark strukturiertes Bild

Beide Modelle (2D, 3D) verwenden als Modell-Input (Randbedingungen) Datensätze, die von den DANUBIA-Objekten bzw. Verbund-Objekten *Landsurface* (Objekt *Soil*), *Rivernetwork* und *Actors* berechnet wurden. Die vollständige Kopplung der Einzelobjekte wird bis zum Ende der ersten Projektphase fertiggestellt sein; erste Probeläufe sind ab Anfang 2003 geplant. Momentan werden die Grundwassermodelle stationär kalibriert, was aufgrund der Modellgröße, der Skalierungsproblematik und der immensen Anzahl an Kalibrierungsinformationen (mehrere tausend Grundwassermessstellen in unterschiedlichen Aquiferen) noch geraume Zeit in Anspruch nehmen wird.

Die bisherigen Modellierungsergebnisse zeigen, dass beide Modelle im Rahmen ihrer Möglichkeiten plausible Ergebnisse liefern können. Im Detail, also in lokal interessanten Bereichen, treten allerdings noch gravierende Abweichungen zu gemessenen Ergebnissen auf, die sowohl auf Fehler im Konzeptmodell als auch in einer mangelhaften Parametrisierung begründet sein können (Kap. 3.1.3). Die Analyse und Behebung dieser Fehler ist derzeit Hauptaufgabe bei der Bearbeitung des numerischen Modells. Plausibilitätsprüfungen werden zusätzlich unter Einbeziehung lokaler Wasserbilanzen für Teileinzugsgebiete durchgeführt.

Vorrangiges Ziel innerhalb der nächsten Monate muss sein zu prüfen, ob das Grundwassermodell instationär zu jedem Zeitschritt Ergebnisse liefern kann, die einen sinnvollen und reibungslosen Ablauf des DANUBIA-Gesamtmodells gewährleisten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Modellgeometrie eine hohe Sensitivität gegenüber kleinen Änderungen der Randbedingungen hervorruft (s.o.).

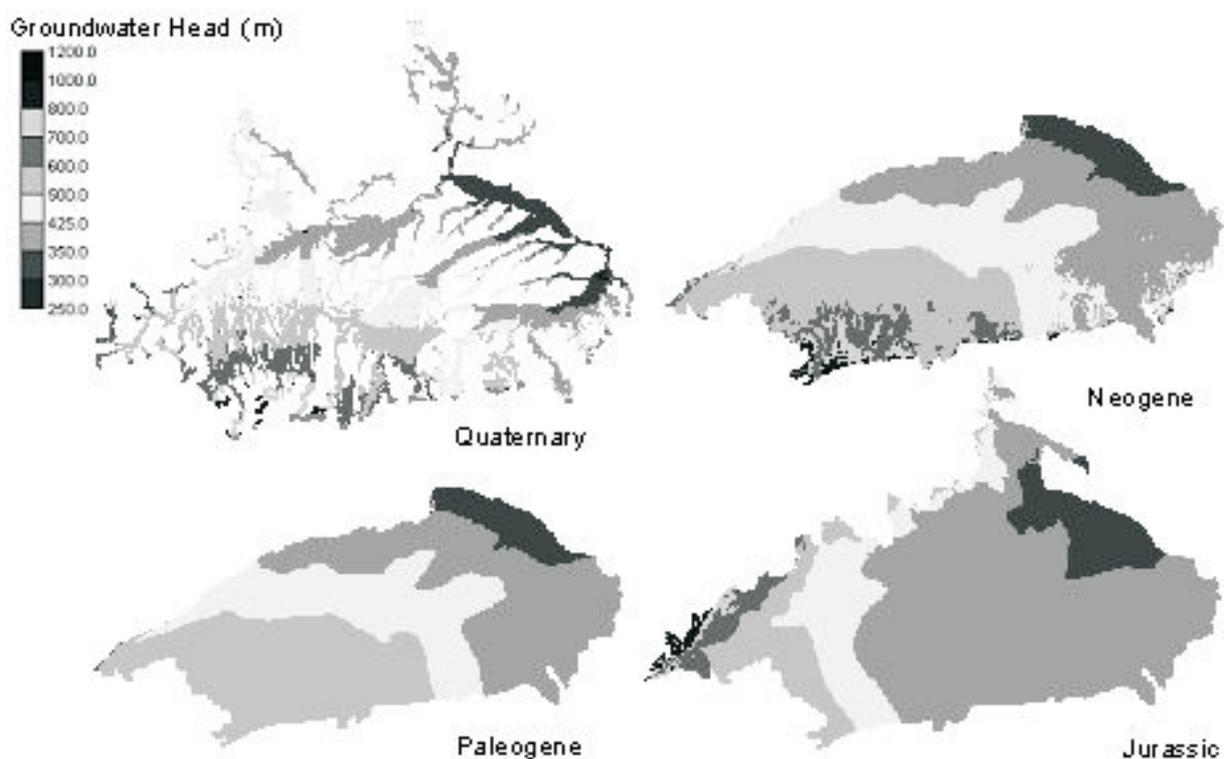


Abb. 6: Aus einer stationären Modellierung hervorgegangene Verteilung der piezometrischen Höhe für das zentrale Modellgebiet (vgl. Abb. 5) für die vier betrachteten Aquifere. Man beachte die starke horizontale Gliederung des quartären Aquifers, der bei gleichzeitiger geringer vertikaler Erstreckung zu einem gegenüber Änderungen der Randbedingungen sehr sensiblen System führt

3.1.7 Objekt *Groundwater*: Ausblick sektoral

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt bestehen zwei lauffähige Modellversionen für die Grundwasserströmung im Donau-Einzugsgebiet nördlich der Alpen. Die bestehenden Modelle werden nun schrittweise durch die Komplettierung der Datenbasis verfeinert und durch methodische Weiterentwicklung verbessert. Als Herausforderung erweist sich dabei insbesondere die Einbeziehung

hung der alpinen Bereiche als Randbedingung für das Modell, nicht nur wegen der Komplexität der geologischen Verhältnisse, sondern auch im Hinblick auf die Modellkopplungen. Die Möglichkeiten zu einer aussagekräftigen Parametrisierung der Randbedingungen (constant head/constant flux) am südlichen Modellrand sind momentan noch sehr begrenzt. Hier soll mit Blick auf die in der zweiten Projektphase geplante vollständige Modellierung des Alpenraums mit Lösungsansätzen experimentiert werden. Weiterhin ist eine Verbesserung beider Modelle durch die Erweiterung der Randbedingungen (MODFLOW Stream Flow Routing Package, Drainage Package, Lake Package) vorgesehen.

Die Modellierungsergebnisse sind inzwischen geeignet, an die anderen Objekte weitergegeben zu werden. Demnächst wird das 3D-Modell in das DANUBIA-Gesamtsystem eingebunden. Es ist absehbar, dass die ersten Testläufe eine Vielzahl von Fehlern und Empfindlichkeiten zeigen werden, die Anpassungen und Verbesserungen erfordern. Bis zum Ende der Laufzeit der Projektphase 1 werden technisch und physikalisch einwandfreie Läufe des Grundwassermodells in der DANUBIA Umgebung erwartet. Ebenfalls zum Ende der Projektphase 1 soll auf Basis einer Zustandsanalyse und des kalibrierten Grundwassermodells ein konservatives Stickstofftransportmodell erstellt und in DANUBIA integriert werden.

3.2 Sektorale Arbeiten DANUBIA-Objekt *WaterSupplyActor*

Die Aufgabe des Objekts *WatersupplyActor* ist es, die Nachfrage und das Angebot an verfügbarem Trink- und Brauchwasser zunächst auf Basis der bestehenden Infrastruktur (Wassergewinnungsanlagen, Versorgungsnetze) modellhaft abzubilden. Die Bedarfswerte der anderen Objekte des Verbundobjekts *Actors*, das sind: der Trinkwasserbedarf der Objekte *HouseholdActor* und *Tourism* und der Wasserbedarf bzw. gewünschte Eigenförderung der Objekte *Farming* und *Economy*, werden im Objekt *WaterSupplyActor* proxelweise zu einem Gesamtwasserbedarf aggregiert. Von den Objekten *Groundwater* und *Rivernetzwerk* werden Daten zur Qualität und Quantität der Wasserressourcen geliefert. Mit Hilfe von Berechnungen zu Aufbereitungs- und Transportkosten und unter Beachtung weiterer Randbedingungen (z.B. bevorzugte Nutzung lokaler Ressourcen) wird eine Versorgungsstrategie entwickelt und die berechneten Entnahmeraten an die Objekte *Groundwater* und *Rivernetzwerk* weitergegeben.

Daten zur Wassergewinnung werden von den Statistischen Landesämtern nur räumlich (auf Gemeindeebene) und zeitlich (Jahreswerte) aggregiert abgegeben. Sie müssen deshalb auf die Proxel und in den DANUBIA-Zeittakt disaggregiert werden. Dies wird derzeit noch „manuell“ nach einfachen Kriterien gemacht, es wird aber angestrebt, analog zu den Arbeiten der Gruppe Agrarökonomie (Disaggregationstool), eine geeignete standardisierte und parametrisierbare Methode zu entwickeln.

3.2.1 Objekt *WaterSupplyActor*: Modellkonzeption

Die Arbeiten zur Erstellung des Objekts *WaterSupplyActor* stellen derzeit einen Schwerpunkt der Tätigkeiten der Projektgruppe dar. Die Modellentwicklung für das Objekt *WaterSupplyActor* wurde ab Jahresmitte 2002 konkretisiert und wird derzeit umgesetzt. Das konzeptionelle Modell besteht in einem rasterbasierten Netzwerk aus Versorgern und Verbrauchern, deren Verbindungen zueinander durch ihre Proxelattribute festgelegt sind. Die umfassende Implementierung wird in der verbleibenden Zeit der ersten Projektphase erfolgen.

Die grundsätzliche Konzeption des Modells beinhaltet drei Schritte (vereinfacht):

1. Aggregation und Zuweisung des von anderen Actors-Objekten berechneten Bedarfs an Trink- und Brauchwasser an die individuellen Proxel.
2. Ermittlung der günstigsten Strategie zur Deckung des Bedarfs für dieses Proxel unter Einhaltung der vorgegebenen Randbedingungen (Kosten, Qualität, Prioritäten etc.) sowie unter Berücksichtigung möglicher Proxel-Cluster (Kernmodul des Modells).
3. Weitergabe der ermittelten Entnahmen pro Proxel an die Objekte *Groundwater* und *Rivernetzwerk*.

In den Schritten 1 und 3 vermittelt das Objekt *WaterSupplyActor* zwischen den sozioökonomischen Objekten, die den Bedarf festlegen, und den naturwissenschaftlichen Objekten, die das Wasserangebot und dessen Qualität ermitteln (Schritt 1: Ermittlung des Bedarfs; Schritt 2: Ermittlung des Angebots). Hier findet ein Pre- und Postprocessing statt, das die Übergabeparameter von und zu anderen Objekten und den Modell-In- und Output aneinander anpasst. In Schritt 2 (Kernmodul) werden die im folgenden beschriebenen Algorithmen zur Fallunterscheidung und zur Ermittlung von Handlungsalternativen aufgerufen. Zunächst werden einige zum Verständnis notwendige Begriffsdefinitionen vorgestellt:

Source: Proxel, das eine bestehende (zur Initialisierung oder zu einem vorherigen Berechnungszeitschritt aktivierte) Wasserquelle enthält (Brunnen/Oberflächengewässer); Attribute: maximale Liefermenge pro Zeiteinheit (m^3/t), Stickstoffkonzentration (kg/m^3), Kosten für die Förderung (beinhaltet Instandhaltung der Quelle, Personalkosten, Wasseraufbreitungsgrundkosten) (EURO/m^3);

Source-Typen

- **GroundwaterSource:** Brunnen oder Quelle mit Grundwasserförderung;
- **RiverSource:** Wasserentnahme aus Fluss, See oder Talsperre;
- **AgriculturalSource:** optionale Source, die zur Bewässerung genutzt werden kann (AgriculturalIrrigation); wird erst in Phase II konkretisiert.

Resource: Potentielle \rightarrow Source, die initial nicht als Wasserentnahme genutzt wird und für die auch keine entsprechende Infrastruktur besteht (\rightarrow Pipeline). Im Unterschied zur \rightarrow Source hat die Resource u.a. ein zusätzliches Attribut "Erschließungskosten".

Waterworks: Wasserwerk, an das ein oder mehrere Sources angeschlossen sind und das Wasser aufbereitet. "Waterworks" repräsentiert dem \rightarrow Consumer gegenüber eine \rightarrow Source, die aber die Fähigkeit hat Kosten und Wasserqualität durch Mischen zu verändern.

WaterSupplyCompany: Wasserversorgungsunternehmen, kann ein oder mehrere, eventuell auch nicht physikalisch (per \rightarrow Pipeline) miteinander verbundene, \rightarrow Waterworks betreiben. Teil dieses Objektes ist ein Akteursmodell, das die notwendigen wirtschaftlichen Entscheidungen (auf der Versorgerseite) trifft .

Consumer: Wasserverbraucher in einem Proxel. Consumertypen werden nach Qualitätsanforderungen (Trink-/Brauchwasser) unterschieden.

SubCommunity: Strukturelle Einheit durch Zusammenschluss von benachbarten \rightarrow Consumern (\cong Stadtteil, Gemeindeteil). Umfasst Consumer, die durch ein gemeinsames Ortsnetz versorgt werden. Eine SubCommunity ist die kleinste Einheit, für die eine Entscheidung bezüglich der Versorgung getroffen werden kann (von der \rightarrow Community, der \rightarrow WaterSupplyCompany).

Community: Verwaltungseinheit (\cong Gemeinde), umfasst ein oder mehrere \rightarrow SubCommunities und trifft Entscheidungen für diese. Bestandteil dieses Objektes ist das Akteursmodell, das die Versorgungsalternativen und wirtschaftlichen Aspekte abwägt, d.h. die Entscheidungen auf der Verbraucherseite trifft.

Pipeline: Rohrleitung zwischen einer \rightarrow Source und einem \rightarrow Consumer; Eigenschaften sind maximale Durchsatzmenge pro Zeiteinheit (m^3/t) und Kosten für den Transport des Wassers ($\text{EURO}/\text{Volumen}$). Für jedes Proxel sind die Kosten für das Verlegen einer Pipeline durch dieses Proxel festlegt.

AccessPoint: Zu einer \rightarrow Pipeline gehöriger Proxel, an dem Wasser von einer Aufbereitungsanlage oder aus einer Pipeline entnommen werden kann. An diesen Punkten können sich (neue) Verbraucher anschließen.

Cluster: lokale Versorgungsstruktur aus → Sources und → Consumers, bzw. → Waterworks und → Communities, die über → Pipelines miteinander verbunden sind.

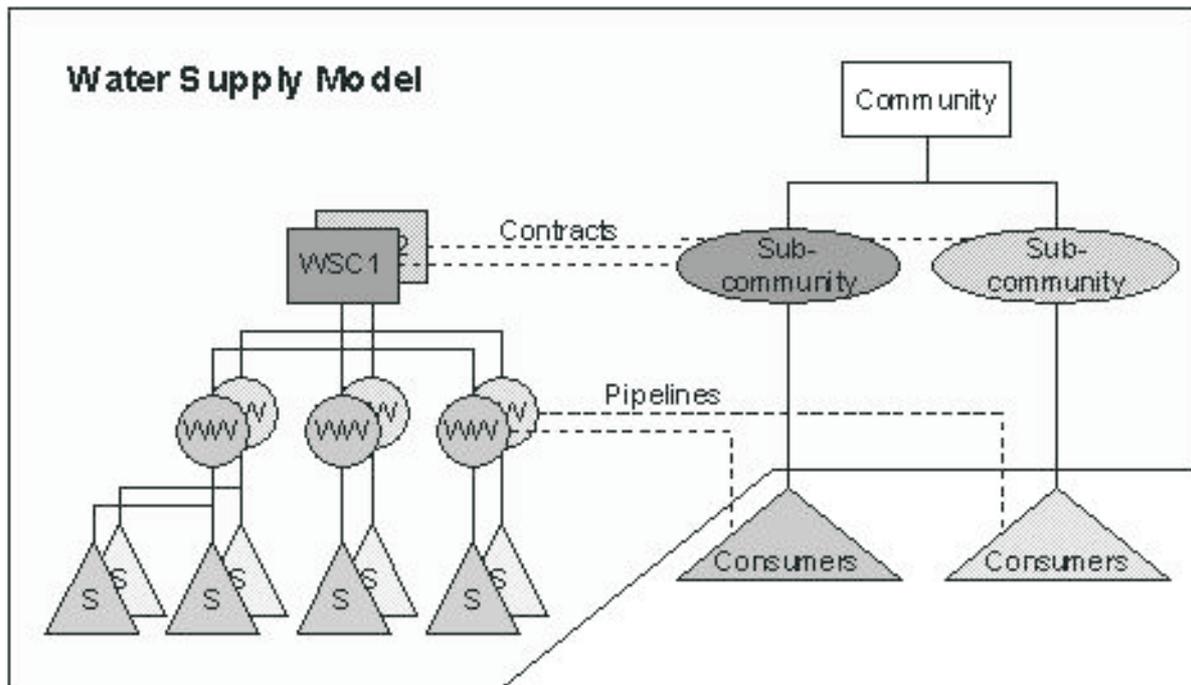


Abb. 7: Hierarchische Struktur und Verknüpfung der Objekte im Watersupply-Modell; links: Angebots-, rechts: Verbrauchenseite (S: Source; WW: Waterworks; WSC: WaterSupplyCompany)

Die Programmkonzeption sieht folgende Schritte und Entscheidungsalternativen vor:

Zunächst wird ermittelt, ob die initial (bzw. zum letzten Modellzeitschritt) festgelegte Versorgungsstruktur in der Lage ist, den Bedarf zu bedienen.

- Wenn ja, so wird ermittelt, ob - sofern Alternativen innerhalb der bestehenden Struktur (Cluster, Pipelines) verfügbar sind - durch eine Veränderung der Anteile der einzelnen Sources an der Gesamtförderung eine Senkung der Kosten erreicht werden kann. Dabei müssen Qualitätskriterien und andere Randbedingungen (maximale Förderleistung, Transportkapazitäten) eingehalten werden.
- Für den Fall, dass der Bedarf durch die bestehende Struktur nicht gedeckt werden kann (Wasserknappheit), werden die günstigsten Maßnahmen zur Erweiterung der Struktur ermittelt. Es sind dies: a) Erschließung neuer Sources (Resources), b) Anschluss an Fernwasserversorger (Pipelines, AccessPoints) oder c) Zusammenschluss mit benachbarten Versorgungsstrukturen (technisch: Waterworks, verwaltungsmäßig: WaterSupplyCompanies). Die mögliche Dynamik dieser Prozesse und insbesondere die Planung und zeitlichen Umsetzungen solcher Maßnahmen wird in der 2. Projektphase detailliert untersucht.
- Für den Fall, dass der Bedarf auch 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 *WaterSupplyActor* in der Projektphase 1 wird in der Projektphase 2 aufgrund des Stakeholderinputs erweitert und verbessert.

Die Dynamik des Systems, die einzuhaltenen Kriterien (z.B. Qualität, Grad der Ausnutzung eines Aquifers) und 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 ebenfalls für die zweite Projektphase vorgesehen. Derzeit werden die oben aufgeführten Elemente des Modells (Objekte) in JAVA implementiert. Die endgültige Umsetzung in ein tiefes Akteursmodell (Implementierung der Entscheidungs- und Optimierungsalgorithmen) soll aber erst in der zweiten Projektphase in Angriff genommen werden.

Das für die erste Projektphase vorgesehene flache Akteursmodell wurde als „Dummyversion“ für DANUBIA 0.9+ im September 2002 implementiert. Derzeit wird eine lauffähige, mit einer minimalen Funktionalität ausgestattete, Version für DANUBIA 0.91 fertiggestellt. Diese wird innerhalb der ersten Projektphase soweit fortentwickelt sein, dass das Modell bei fest vorgegebenen Randbedingungen (Modellierungsergebnisse der anderen Projektgruppen) zu sinnvollen Ergebnissen kommt.

3.2.2 Objekt *WaterSupplyActor*: Datenerhebung

Wie bereits in früheren Berichten ausgeführt, ist die Datenerhebung für die Abbildung des Ist-Zustands der Wasserversorgung im Gebiet der Oberen Donau in der für die grundsätzliche Ausrichtung des Modells erforderlichen Detailtreue äußerst schwierig. Obwohl die Modellkonzeption bereits die schlechte Datensituation berücksichtigt, wird die Befriedigung selbst der Minimalanforderungen des Modells dadurch erschwert. Die folgenden Punkte verdeutlichen das Problem:

- Messgrößen, wie die Förderung von Grundwasser, liegen aufgrund von Datenschutzbestimmungen nur räumlich und zeitlich aggregiert vor,
- technische Angaben zur Wasserversorgung, z.B. zur Aufbereitung von Trinkwasser, werden nicht bzw. nicht mehr flächendeckend zentral erfasst (z.B. durch die Wasserwirtschaftsämter),
- die zunehmende Privatisierung im Wassersektor, bzw. die anhaltenden Diskussionen darüber, führen dazu, dass Wasserversorgungsunternehmen immer weniger bereit sind, ihre Daten offen zu legen,
- die kleinräumige dezentrale Struktur der Wasserversorgung, insbesondere in Bayern, macht die individuelle Abfrage von Informationen zeitraubend und kostenintensiv.

Aus den genannten Gründen hat sich die Arbeitsgruppe *Watersupply* mit Unterstützung der Arbeitsgruppen *Ökonomie* und *Umweltpsychologie* im Herbst 2002 entschlossen, eine minimale Auswahl an notwendigen Daten durch einen Fragebogen, der im Februar 2003 an alle Wasserversorgungsunternehmen im Einzugsgebiet verschickt wird, zu erheben.

Er enthält ca. 20 Fragen zu kaufmännischen Themen (allgemeine Angaben zur Unternehmensstruktur, Umsatz und Investitionen, Wasserpreis, Verträge mit Zweckverbänden, Fernversorgern und anderen Kommunen) und ca. 30 technische Fragen (Förderung, Aufbereitung, Qualität, Verteilung und geplante Maßnahmen). Um den Fragebogen möglichst zielgerichtet und verständlich zu gestalten, wurde er verschiedenen Vertretern von Wasserversorgungsunternehmen, Interessensverbänden und öffentlichen Institutionen vorgelegt und auf deren Vorschläge hin verbessert. Darüberhinaus ist gezielt um die Unterstützung insbesondere von Interessensverbänden geworben worden, um die Unternehmen dazu zu bewegen, den sehr umfangreichen Fragebogen auszufüllen, zumal die Unternehmen in den letzten Jahren immer wieder mit solchen Umfragen konfrontiert waren. Diesbezüglich wurden Ende 2002 erfolversprechende Gespräche mit dem Verband der Wasserwerksnachbarschaften in Bayern, der mit ähnlichen Aufgaben befassten WAVE GmbH in Baden-Württemberg, dem Landesamt für Wasserwirtschaft und der bayerischen und baden-württembergischen Landesabteilung des DVGW geführt.

Die Auswertung des Fragebogens soll bis Mitte 2003 abgeschlossen werden. Ein Teil der Ergebnisse wird in das Modell der ersten Projektphase (flaches Akteursmodell) einfließen. Ein Teil wird zur Vorbereitung des Regelwerkes, welches in der zweiten Projektphase mit den Stakeholdern und den Actors-Gruppen abgestimmt werden soll, dienen.

3.2.3 Objekt *WaterSupplyActor*: Ausblick sektoral

Im Jahr 2002 wurde sowohl an der Datenerhebung und der Diskretisierungs- und Aggregierungs-Problematik als auch an der Modellkonzeption gearbeitet. Diese Arbeiten sind noch nicht abgeschlossen. Aussagekräftige Daten, die unter anderem auch für das in der Projektphase 2 geplante tiefe Akteursmodell erforderlich sind, werden in einer Fragebogenaktion erhoben (s.o.). Die festgelegte Modellkonzeption wird derzeit in einer ersten JAVA-Modellversion implementiert. Im Bereich der Aggregation und Disaggregation werden gemeinsame Anstrengungen mit den anderen Akteursgruppen verfolgt.

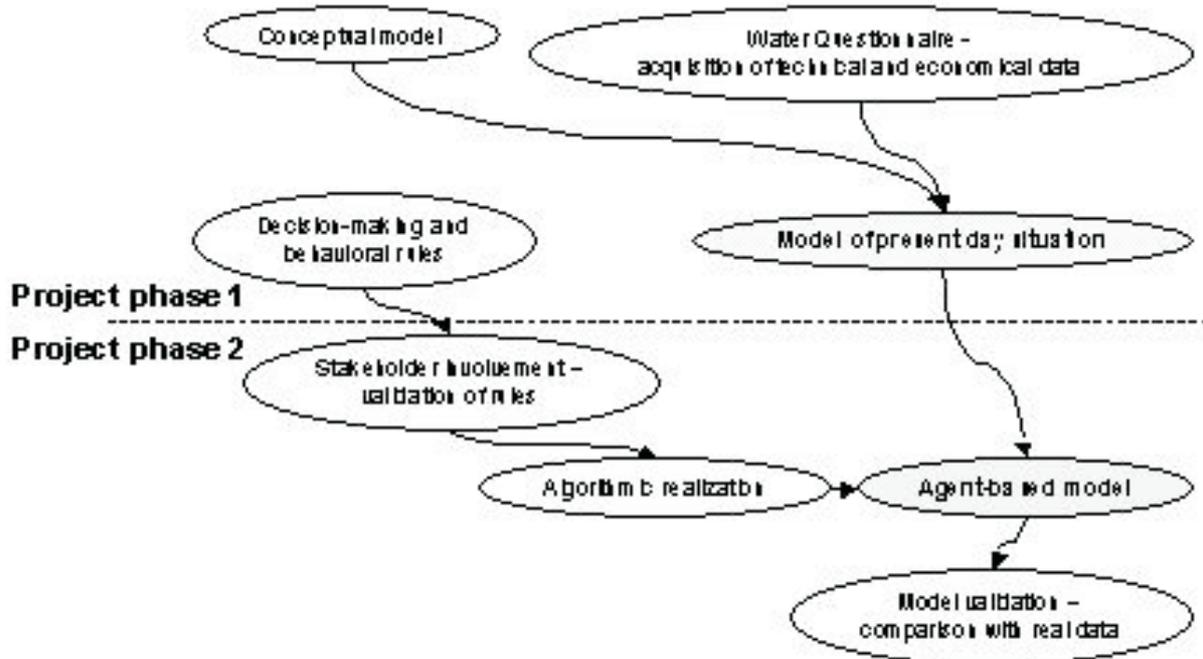


Abb. 8: Übersicht über die Planungen für die verbleibende Zeit der Projektphase 1 und Übergang zur Projektphase 2

4. Ergebnisse integrativer Arbeiten

4.1 Allgemein

Im Rahmen der Schnittstellen-Diskussion im Entscheidermodell DANUBIA wurde festgelegt, den Teilbereich Wasserversorger vom Grundwassermodell zu trennen. Der Teilbereich „Wasserversorger“ (jetzt Objekt *WaterSupplyActor*) 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 die Umstrukturierung und in Folge weiterer Diskussionen im Jahresverlauf haben sich die zu übergebenden Parameter zwischen den Gruppen gegenüber dem Stand des Jahres 2001 teilweise geändert. In Abbildungen 9 und 10 sind die Schnittstellen des aktuellen UML-Diagramms zu sehen.

Die Integration und die interne Vernetzung werden in beiden Bereichen, dem Objekt *Groundwater* und dem Objekt *WaterSupplyActor*, intensiv unter Einsatz der bewährten Methoden und Hilfsmittel (UML, JAVA) fortgesetzt. Beide Objekte werden bis zum Ende der ersten Projektphase in der Lage sein, physikalisch bzw. inhaltlich stimmige Modellierungsergebnisse zu den vorgesehenen DANUBIA-Testläufen beizusteuern. Im verbleibenden Teil der ersten Pro-

jektphase soll die Bearbeitung von Testgebieten, die bisher nur sektoral vorangetrieben wurde, in Zusammenarbeit mit anderen Arbeitsgruppen intensiviert werden. Weiterhin werden insbesondere mit dem Verbundobjekt *Actors* Rahmenbedingungen für die Entscheidungsfindung innerhalb des Objekts *WaterSupplyActor* erarbeitet und implementiert.

4.2 Integrative Arbeiten und Ergebnisse: Objekt *Groundwater*

Das (Verbund-)Objekt *Groundwater* besteht, wie oben erwähnt, aus den Objekten *GroundwaterFlow* und *GroundwaterTransport*. Da das Objekt *GroundwaterTransport* bisher nicht realisiert ist (vgl. Kap. 3.1), beschränken sich die folgenden Ausführungen auf das Objekt *GroundwaterFlow*. Zur Vereinfachung wird hier grundsätzlich nur vom Objekt *Groundwater*, unter Auslassung des Präfix „Verbund“, gesprochen.

Als erstes wesentliches Resultat der Integration im Jahr 2002 ist die Festlegung der Austauschparameter mit den anderen DANUBIA-Objekten zu bezeichnen. Zur Verdeutlichung der Modellbeziehungen des Objekts *Groundwater* zeigt Abbildung 9 den gegenwärtigen Stand des UML-Diagramms. Tabelle 1 zeigt die Austauschparameter und die Objekte, mit denen sie korrespondieren.

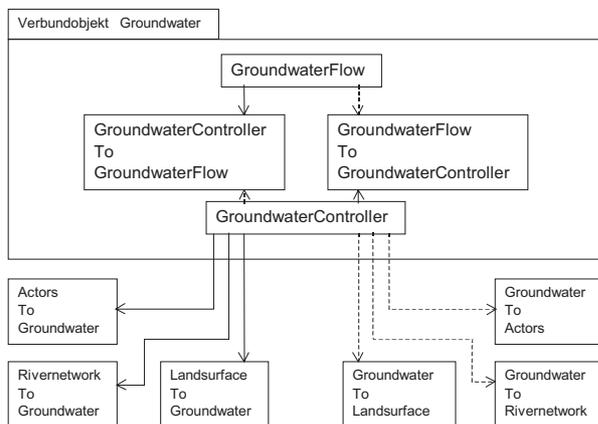


Abb. 9: UML-Diagramm des Objekts *GroundwaterFlow* (vereinfacht). Das Objekt *GroundwaterTransport* sähe analog aus

Tab. 1: Übergabeparameter des Objekts *GroundwaterFlow*

Parameter	Verbundobjekt	VerbundobjektToGroundwater Objekt
GroundwaterWithdrawal	Actors	WaterSupplyActor
RiverLevel	Rivernetwork	SurfaceWaterFlow
NRiver	Rivernetwork	SurfaceWaterQuality
GroundwaterRecharge	Landsurface	Soil
NLeaching	Landsurface	Soil
Parameter	GroundwaterToVerbundobjekt	Verbundobjekt Objekt
GroundwaterLevel	Landsurface	Soil
NGroundwater	Landsurface Rivernetwork Actors	Soil SurfaceWaterQuality WaterSupplyActor
InExfiltration	Rivernetwork	SurfaceWaterFlow
MaximumGroundwaterWithdrawal	Actors	WaterSupplyActor

Das Objekt *Groundwater* war im Frühjahr 2002 bei der Implementierung des Prototypen DANUBIA 0.9 beteiligt. Die Übergabewerte waren dabei allerdings noch statisch, d.h. nicht Ergebnisse einer transienten Modellierung. Dies war notwendig, da die Erstellung und Parametrisierung eines Grundwassermodells, das plausible Grundwasserstände liefern kann, zum betreffenden Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen war. Dennoch ließen sich - dank der objektorientierten Programmstruktur von DANUBIA - alle für das Objekt *Groundwater* programmierten Java-Klassen und Schnittstellen in DANUBIA 0.9 auch zu diesem Zeitpunkt an die Gesamtstruktur anbinden. Mit der Implementierung der Klassen und Schnittstellen wurde Ende 2001 anlässlich eines Arbeitstreffens mit Vertretern der Gruppe Informatik in Stuttgart begonnen. Sie konnte bis April 2002 in weiterer Zusammenarbeit mit der Gruppe Informatik weitgehend abgeschlossen werden. Im Jahr 2003 soll die zum Stand DANUBIA 0.9 (Statuskonferenz) verwirklichte Modellanbindung weiterentwickelt werden, so dass bis zum Ende der ersten Projektphase das Grundwassermodell vollständig implementiert sein wird.

Um die Anbindung von FORTRAN-Routinen wie z.B. MODFLOW an einen Java-Code zu verwirklichen, sollte ursprünglich ein Wrapper programmiert werden um FORTRAN-Routinen von Java aus zu steuern. Diese Lösung würde einen erheblichen Eingriff in den FORTRAN-Programmcode erfordern. Zwischenzeitlich wurde eine alternative Vorgehensweise erarbeitet, die nur minimale Eingriffe in die Programmstruktur von MODFLOW erforderlich macht

und eine Verlagerung der maßgeblichen Datentransferroutinen in Java ermöglicht. Eine solche Vorgehensweise ist aus Gründen der Performance von MODFLOW in hohem Maße wünschenswert und wird deshalb beibehalten.

4.3 Integrative Arbeiten und Ergebnisse: Objekt *WaterSupplyActor*

Wie oben beschrieben, wurde das Objekt *WaterSupplyActor* inhaltlich und konzeptionell vom Objekt Groundwater entkoppelt. Es stellt nun einen Teil des Verbund-Objekts *Actors* dar. Mit den naturwissenschaftlichen Komponenten kommuniziert das Objekt *WaterSupplyActor* durch einen gemeinsamen Actors-Controller (Abb. 10). Dies reduziert den Datenaustausch zwischen den *Actors* und den anderen Objekten auf einige wenige Parameter und vereinfacht das Schnittstellenkonzept wesentlich.

Im Interface "ActorToGroundwater" war bis DANUBIA 0.9 nur der Parameter "Domestic-DrinkingWaterDemand" (Trinkwasserbedarf der Haushalte) realisiert, was ab September 2002 geändert wurde. Das Objekt *HouseholdActor* wird nun direkt vom *WaterSupplyActor* bedient, das in der Prototyp-Version seit Herbst 2002 implementiert ist. Zu Beginn des Jahres 2003 ist die Einbindung des Objekts *WaterSupplyActor* in das DANUBIA-System vorgesehen, um die Wasserbedarfswerte der bis dahin integrierten Actors-Gruppen aufsummiert an die betreffenden Brunnen zu leiten. In Tabelle 2 sind lediglich die Austauschparameter mit den Objekten außerhalb des Verbund-Objekts *Actors* dargestellt. Innerhalb des Verbund-Objekts werden zusätzlich Parameter mit den einzelnen Objekten ausgetauscht.

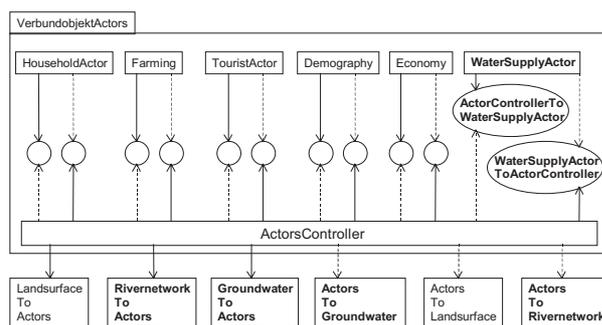


Abb. 10: UML-Diagramm des Objekts *WaterSupplyActor* (vereinfacht)

Tab. 2: Übergabeparameter des Objekts *WaterSupplyActor*

Parameter	Verbundobjekt	VerbundobjektToWatersupply Objekt
MaximumGroundwater Withdrawal	Groundwater	GroundwaterFlow
NGroundwater	Groundwater	GroundwaterFlow
MaximumRiverWater- Withdrawal	Rivernetwork	SurfaceWaterFlow
NRiverWater	Rivernetwork	SurfaceWaterQuality
BODRiver	Rivernetwork	SurfaceWaterQuality
DORiver	Rivernetwork	SurfaceWaterQuality
Parameter	WatersupplyToVerbundobjekt Verbundobjekt	Objekt
GroundwaterWithdrawal	Groundwater	GroundwaterFlow
RiverWaterWithdrawal	Rivernetwork	SurfaceWaterFlow

4.4 Weitere integrative Aktivitäten

4.4.1 Netzknotentreffen

Im Frühjahr 2002 wurde, wie schon im vorausgegangen Jahr, ein Informationstreffen für die durch die GLOWA-Thematik betroffenen Institutionen und Hochschulen in Baden-Württemberg durchgeführt, insbesondere auch deshalb, weil viele dieser Institutionen wesentliche Daten für die Modelle bereitstellen. Zu diesem Treffen wurden in 2002 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. Fünf Vorträge aus der Arbeitsgruppe GLOWA-Stuttgart, zwei aus den anderen Arbeitsgruppen und fünf von Behördenvertretern bildeten das Gerüst für die Diskussionen. Eine Nachfolgeveranstaltung für 2003 ist in Planung.

4.4.2 Skalierungsworkshop

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 wurde im Dezember 2002 durch die Projektgruppe „Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung, Wasserversorgung“ ein Skalierungsworkshop in Stuttgart durchgeführt. 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.

5. Ausblick und weitere Vorgehensweise

Planungen für die sektoralen und integrativen Arbeiten an den beiden Objekten *Groundwater* und *WaterSupplyActor* wurden in den betreffenden Kapiteln ausführlich beschrieben. Zusammenfassend ergeben sich folgende Schwerpunktziele bis zum Ende der zweiten Projektphase:

- Vollständige Einbindung des Verbund-Objekts *Groundwater* in das System DANUBIA unter Gewährleistung physikalisch sinnvoller Modellierungsergebnisse für die Objekte *GroundwaterFlow* und *GroundwaterTransport*.
- Einbindung des Objekts *WaterSupplyActor* unter Deckung der Mindestansprüche der Partnerobjekte im Verbundobjekt *Actors* und der Objekte *Groundwater* und *RiverNetwork*.
- Vorbereitung der Implementierung eines tiefen Entscheidermodells *WaterSupplyActor* durch Aufbereitung der erforderlichen Basisdaten und Erstellung eines grundlegenden Regelwerks.

6. Publikationen und Tagungsbeiträge GLOWA-Danube, IWS

Veröffentlichungen (mit Review):

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 - "Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung", Heft 1, Hennef, GfA, S. 89-94.

Tagungsbeiträge 2002:

BRAUN, J. (2002): GLOWA-Danube: Nutzung der Wasserressourcen im Rahmen des globalen klimatischen und sozio-ökonomischen Wandels. - Tag des Wassers, 22.3.2002, Freiburg.

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. - Tag der Hydrologie 2002, 20. bis 22. März 2002 in Suderburg, Lüneburger, Wechselwirkungen zwischen Grundwasserleitern und Oberflächengewässern.

ROJANSCHI, V., BRAUN, J. and BARTHEL, R. (2002): Effects of Upscaling for a Finite-Difference Flow Model: A Methodological Investigation within the Framework of the GLOWA-Danube Project (1 page). - Tag der Hydrologie 2002, 20. bis 22. März 2002 in Suderburg, Lüneburger, Wechselwirkungen zwischen Grundwasserleitern und Oberflächengewässern.

ROJANSCHI, V., BARTHEL, R., BRAUN, J., WOLF, J., SCHMID, C. and NICKEL, D. (2002): Modelling Groundwater Flow And Nitrogen Transport In The Upper Danube Catchment (Gauge Passau) With Regard To Global Change And The Development Of Sustainable Water Management Scenarios And Strategies. - XXIst Conference Of The Danubian Countries On The Hydrological Forecasting And Hydrological Bases Of Water Management, 2-6 September 2002, Bucharest, Romania.

BARTHEL, R., BRAUN, J., ROJANSCHI, V., WOLF, J., SCHMID, C. and NICKEL, D. (2002): Global Change and Sustainable Groundwater Management in the Upper Danube Catchment - Groundwater Flow and Transport Modelling within the framework of the GLOWA-Danube project. - 5th International Conference on Hydroscience and -Engineering (ICHE-2002) September 18-21, 2002, Warsaw, Poland.

BARTHEL, R., BRAUN, J., ROJANSCHI, V., WOLF, J., SCHMID, C. and NICKEL, D. (2002): Modelling Groundwater Flow and Nitrogen Transport in the Upper Danube Catchment (Gauge Passau) with regard to Global Change and the Development of Sustainable Water Management Scenarios and Strategies. - GEO 2002, Würzburg Planet Erde: Vergangenheit, Entwicklung, Zukunft, 1.-5. Oktober 2002, Gemeinschaftstagung von 13 wissenschaftlichen Gesellschaften der Festen Erde. - Schriftenreihe DGG, Band 21, S. 66, Hannover.

Eingereichte und/oder akzeptierte Tagungsbeiträge in 2003

BARTHEL, R., BRAUN, J., ROJANSCHI, V., WOLF, J., SCHMID, C., NICKEL, D.: Modelling groundwater flux rates from small sub-catchments in alpine regions into the Danube catchment basin to set up boundary conditions for a large scale groundwater flow and transport model within the framework of the GLOWA-Danube project. - International Workshop on Mountain Hydrology, April 2-4, 2003 Einsiedeln, Switzerland; accepted.

NICKEL, D., BARTHEL, R., SCHMID, C., BRAUN, J.: A large-scale water supply model for the Upper Danube basin. - XXX IAHR Congress 24.-29.08.2003, Thessaloniki, Greece (full paper submitted).

WOLF, J., ROJANSCHI, V., BARTHEL, R., BRAUN, J.: Data management and conditioning for a large-scale groundwater model in the Upper Danube catchment. - XXX IAHR Congress 24.-29.08.2003, Thessaloniki, Greece (full paper submitted).

BARTHEL, R., BRAUN, J., ROJANSCHI, V., WOLF, J., SCHMID, C., NICKEL, D.: Sustainable Groundwater Management in the Upper Danube Basin considering Global Change - GLOWA-Danube. - XI WORLD WATER CONGRESS WATER RESOURCES MANAGEMENT IN THE 21ST CENTURY, Madrid, 5-9 October 2003 (abstract submitted).

BARTHEL, R., NICKEL, D., SCHMID, C., BRAUN, J.: Modelling: Water Supply on a large Scale - GLOWA-Danube XI WORLD WATER CONGRESS WATER RESOURCES MANAGEMENT IN THE 21ST CENTURY, Madrid, 5-9 October 2003 (abstract submitted).

BARTHEL, R., BRAUN, J., NICKEL, D., ROJANSCHI, V., SCHMID, C., WOLF, J.: Large-scale Groundwater Resources Management within the framework of GLOWA-Danube. - "RESEARCH BASINS AND THE HYDROLOGIC PLANNING" -Huangshan City (Tunxi), China - 14.-22. October 2003 (abstract accepted).

NICKEL, D., SCHMID, C., BARTHEL, R., BRAUN, J.: An Agent-based Water Supply Model for the Upper Danube Basin. - 19.-21.3.2003: Tag der Hydrologie: Klima - Hydrologie - Flussgebietsmanagement im Lichte der Flut 2002 (abstract eingereicht).

BARTHEL, R., ROJANSCHI, V., WOLF, J., BRAUN, J.: Grundwassermodellierung im Einzugsgebiet der oberen Donau: Fortschritte und Probleme im Bereich des Teilprojekts „GLOWA-Danube Grundwasser“ - 19.-21.3.2003: Tag der Hydrologie: Klima - Hydrologie - Flussgebietsmanagement im Lichte der Flut 2002 (abstract eingereicht).

WOLF, J., ROJANSCHI, V., BARTHEL, R., BRAUN, J.: Konzeption eines regionalen Grundwassermodells für das Einzugsgebiet der Oberen Donau im Rahmen des Forschungs-Projektes Glowa-Danube - 19.-21.3.2003: Tag der Hydrologie: Klima - Hydrologie - Flussgebietsmanagement im Lichte der Flut 2002 (abstract eingereicht).

Sonstige Schriften:

ROJANSCHI, V. (2001): Effects of Upscaling for a Finite-Difference Flow Model. - Master's Thesis, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart.

ROJANSCHI, V., BARTHEL, R. und BRAUN, J. (2002): Danubia Software Documentation (Groundwater). GLOWA-Danube Papers, Technical Release NO. 13, unpublished.

7. Danksagungen

Der Dank der Arbeitsgruppe für die Bereitstellung von Daten, einen intensiven Gedankenaustausch und andere Hilfestellungen gilt den Mitarbeitern folgenden 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
- Ing.-Büro Dr. Stadler
- Ingenieurbüro Kobus und Partner (kup)
- Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Baden-Württemberg
- Landesamt für Umweltschutz, Baden-Württemberg
- Landesvermessungsamt Baden-Württemberg
- Österreichisches Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft
- Österreichisches Umweltbundesamt
- Schweizer Bundesamt für Wasser und Geologie
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg
- Technologieberatung Grundwasser und Umwelt GmbH
- Zweckverband Landeswasserversorgung

Wir bedanken uns weiterhin beim Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst des Landes Baden-Württemberg sowie bei der Universität Stuttgart für die zu Verfügung gestellten Zusatzmittel.

8. Literatur

- [1] 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.
- [2] ZHENG-CHUNMIAO and HATHAWAY, D-L. (1991): MT3D; a new modular three-dimensional transport model and its application in predicting the persistence and transport of dissolved compounds from a gasoline spill, with implications for remediation. In: Association of Ground Water Scientists and Engineers annual meeting on innovative ground water technologies for the '90s. Ground Water. 29; 5, 755 p.
- [4] LEVENBERG, K. (1944): A method for the solution of certain problems in least squares. - Quart. Appl. Math. 2, pp. 164-168.
- [5] MARQUARDT, D. (1963): An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. - SIAM J. Appl. Math. 11, pp. 431-441.

Modellierung typischer Wassernutzer im Einzugsgebiet der Donau

Teilprojekt: Umweltpsychologie
Leiter: Prof. Dr. Andreas Ernst
Ausführende Stellen: Psychologisches Institut der Universität Freiburg, 79085 Freiburg
ab 2003: Wissenschaftliches Zentrum für Umweltsystemforschung
der Universität Kassel, 34109 Kassel

1. Allgemeines

Der Antragsteller Prof. Dr. Ernst hat einen Ruf auf die C4-Professur „Umweltsystemanalyse“ am Wissenschaftlichen Zentrum für Umweltsystemforschung der Universität Kassel angenommen. Die im Projekt beschäftigten wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und studentischen Hilfskräfte sind derzeit noch an der Universität Freiburg tätig. Die Abwicklung des Projektumzugs sowie die Gewinnung weiterer Mitarbeiter/innen an der Universität Kassel sind für die verbleibende Laufzeit der ersten Antragsphase vorgesehen.

1.1 Personal

Im Jahr 2002 waren folgende Personen weiterhin bzw. neu im psychologischen Teilprojekt beschäftigt:

Name	Vergütungsgruppe	Dauer in 2002	Vertragszeitraum	Finanzierung
Dr. Renate Eisentraut	BAT IIa	12 Monate	1.7.2001-31.12.2003	BMBF
Dipl.-Psych. Julia Kneer	BAT IIa/2	12 Monate	15.10.2001-31.12.2002	BMBF
Dipl.-Psych. Matthias Mauerer	BAT IIa/2	5,75 Monate	22.4.2002-13.10.2002	Zusatzmittel ¹
Dipl.-Geogr. Monika Nethe	BAT IIa/2	12 Monate	1.12.2001-30.6.2003	Zusatzmittel ¹
Dipl.-Psych. Anke Raschke	BAT IIa/2	2,5	15.1.2002- 31.3.2002	Zusatzmittel ¹
cand. psych. Anne Klein	ungeprüfte Hilfskraft	8 Monate à 30 Std./M.; 3 Monate à 20 Std./M.	15.11.2001-30.9.2002; 1.11.2002-31.12.2002	BMBF
cand. inf. Thomas Keller	ungeprüfte Hilfskraft	9 Monate à 30 Std./M.	15.12.2001-30.9.2002	BMBF
cand. inf. Benjamin Lempp	ungeprüfte Hilfskraft	5,5 Monate à 30 Std./M.	15.7.2002-31.3.2003	BMBF
cand. psych. Juliane Wilcke	ungeprüfte Hilfskraft	2 Monate à 25 Std./M.	1.8.2002-30.9.2002	BMBF
Dipl.-Inf. Daniel Gunkel	Werkvertrag	5 Monate	1.12.2001-31.5.2002	Zusatzmittel ¹

¹ Hierbei handelt es sich um projektbezogene Zusatzmittel der Universität Freiburg und des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg.

1.2 Anschaffungen

Im Jahr 2002 wurden ein weiterer Monitor sowie ein Software-Update für MagicDraw UML angeschafft.

1.3 Teilnahme an Workshops und Konferenzen sowie Gastvorträge

Das psychologische Teilprojekt wurde im Jahr 2002 in folgenden Vorträgen vorgestellt:

- ERNST, A. (2002, Januar): *Wassernutzung im Einzugsgebiet der Donau: Eine Computermmodellierung*. Institut für Psychologie der Universität Magdeburg.
- 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.
- ERNST, A. (2002, Juni): *Psychologische Struktur und Wahrnehmung von Umweltrisiken*. Ludwigs-Maximilians-Universität München, Ringvorlesung „Erde - Umwelt des Menschen“.
- 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 Theorie der Wassernutzung im Donauraum*. 43. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie, Berlin.
- ERNST, A. (2002, November): *Die Psychologie des Umweltverhaltens: Von Fallen und ihrer Bewältigung*. Umwelttreffen der Max-Planck-Gesellschaft, Hohenroda.

1.4 Veröffentlichungen

Im folgenden sind die im Jahr 2002 erfolgten bzw. vorbereiteten Veröffentlichungen aufgeführt:

- ERNST, A.M. (2002). Modellierung der Trinkwassernutzung bei globalen Umweltveränderungen - erste Schritte. *Umweltpsychologie*, 6 (1), 62-76.
- KNEER, J., ERNST, A., EISENTRAUT, R., NETHE, M. und MAUSER, W. (zur Veröffentlichung eingereicht). *Interdisziplinäre Modellbildung und Simulation: Das Beispiel GLOWA-Danube*.

2. Ergebnisse

2.1 Integrativ

Die integrativen Arbeiten des psychologischen Teilprojekts umfassten im Jahr 2002 die weitere Zusammenarbeit innerhalb der bereits bestehenden Arbeitsgruppe *Actors* sowie die Mitarbeit bei der Entwicklung einer Vorgehensweise zur räumlichen Disaggregation statistischer Daten. Beides wird nachfolgend beschrieben.

2.1.1 Arbeitsgruppe Actors: Verbundobjekt und ActorController

Das psychologische Teilprojekt war auch im Jahr 2002 federführend an der Zusammenarbeit der *Actors*-Arbeitsgruppe (Umweltpsychologie, Tourismus, Agrarökonomie, Wasserversorgung, Ökonomie; siehe auch abstrakte UML-Darstellung des *Actors*-Verbundobjekts in Abb. 1) sowie an der Erarbeitung und Durchsetzung unifizierender Konstrukte zur räumlichen und zeitlichen Integration beteiligt. Zur Diskussion und Koordination der Aktivitäten der Teilprojekte innerhalb der *Actors*-Arbeitsgruppe wurden zwei eintägige und ein zweitägiges Treffen in Freiburg organisiert.

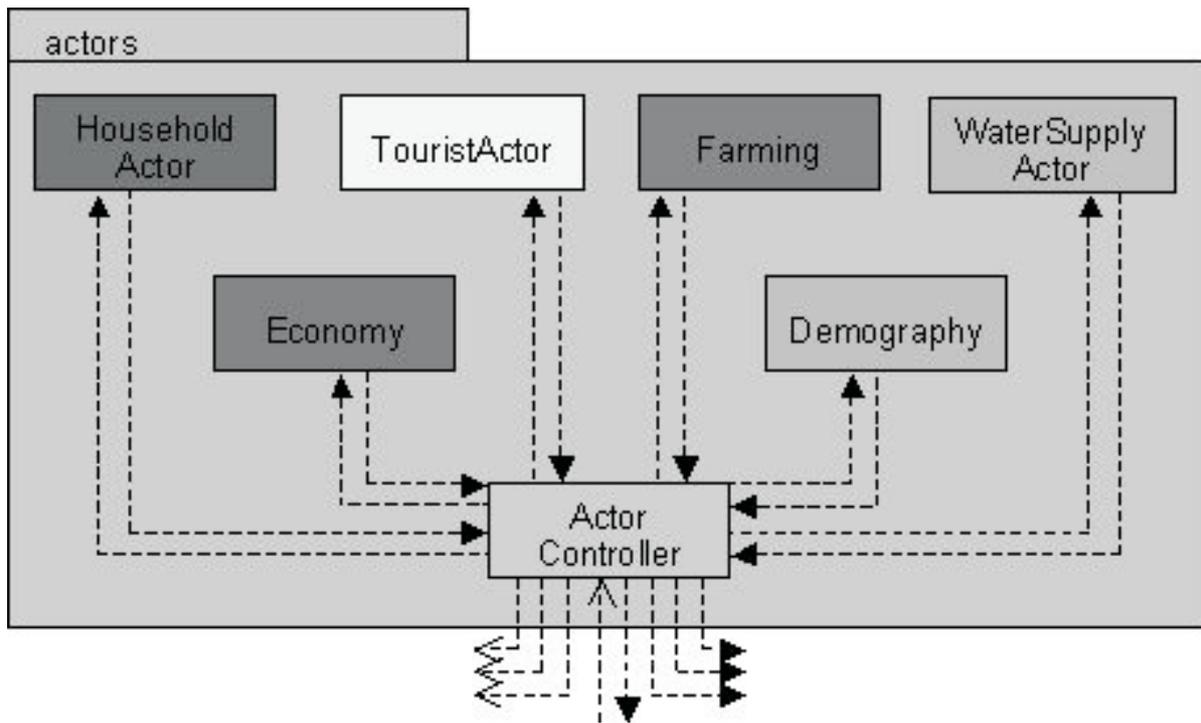


Abb. 1: Abstrakte UML-Darstellung des *Actors*-Verbundobjekts

Im psychologischen Teilprojekt wurde der sog. *ActorController* implementiert, über den die *Actors*-Objekte zur Laufzeit sowohl untereinander als auch mit den anderen Verbundobjekten des DANUBIA-Modells und der zentralen Datenbank kommunizieren. Weiterhin wurden die für die Kopplung der einzelnen Modelle erforderlichen Schnittstellen aller *Actors*-Modelle und die noch fehlenden Datentypen (z.B. *WaterPrice*, *WaterQuality*) implementiert. Damit wurden die Voraussetzungen für die Einbindung der anderen *Actors*- Objekte in DANUBIA geschaffen.

Derzeit wird in Zusammenarbeit zwischen den *Actors*-Teilprojekten und dem Teilprojekt Informatik eine technische Lösung für die Problematik zeitlicher Rückkopplungen zwischen den *Actors*-Modellen erarbeitet. Erste Grundlage hierfür war die Erstellung von sog. Sequenzdiagrammen zur Darstellung des zeitlichen Ablaufs der Datenübergabe innerhalb des *Actors*-Verbundobjekts.

2.1.2 Räumliche Disaggregation statistischer Daten

Um die Genauigkeit der Modellrechnungen zu verbessern, wurde in Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung und den anderen *Actors*-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 mithilfe der Landnutzungsinformation „städtische Bebauung“ aus dem Fernerkundungsdatensatz CORINE auf Proxelebene 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 2 zeigt, konnte die Genauigkeit des DUNE-Modells hinsichtlich der Lokalisation des Wasserverbrauchs durch das beschriebene Verfahren um ein Vielfaches gesteigert werden.

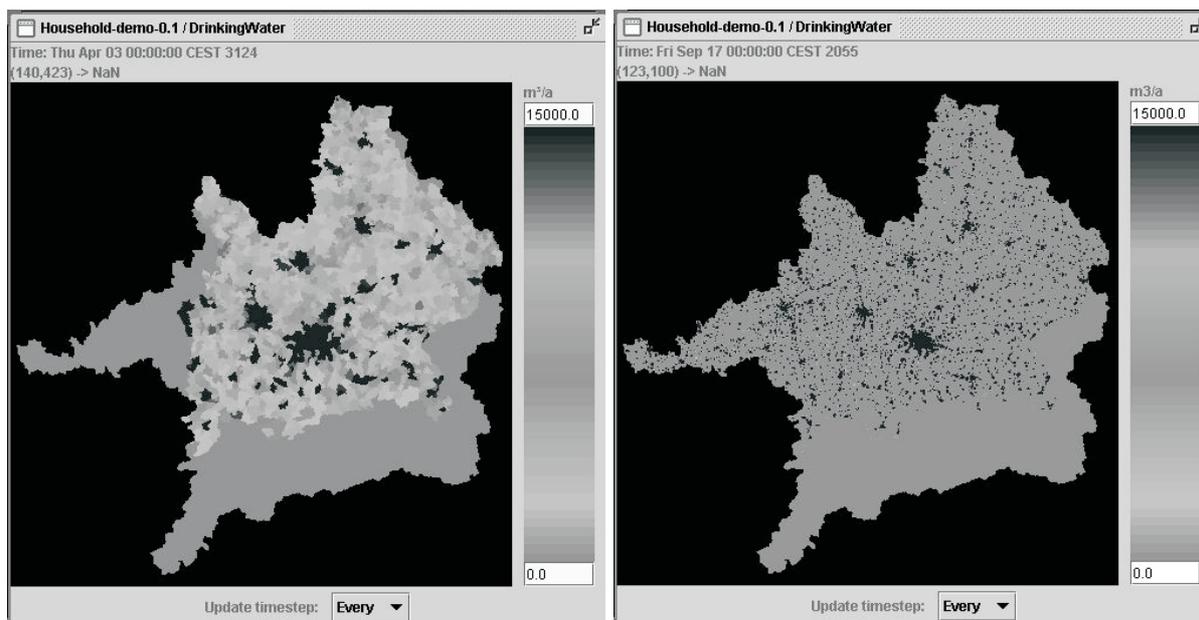


Abb. 2: Mit dem DUNE-Modell berechneter Trinkwasserverbrauch. Links: Auf der Grundlage von statistischen Daten auf Gemeindeebene (Stand des Modells Mai 2002; nur bayerisches Einzugsgebiet). Rechts: Unter zusätzlichem Einbezug der Siedlungsfläche aus Fernerkundungsdaten (Stand des Modells September 2002; bayerisches und baden-württembergisches Einzugsgebiet)

Die aus der Entwicklung des beschriebenen Disaggregierungsverfahrens hervorgegangene Arbeitsgruppe *Downscaling* (Hydrologie/Fernerkundung, Umweltpsychologie, Tourismus, Agrarökonomie, Wasserversorgung, Ökonomie) wird sich auch in der verbleibenden Zeit der ersten Antragsphase mit der Optimierung des Verfahrens und der verwendeten Datengrundlagen beschäftigen. Weiterhin ist geplant, den bisher zur Disaggregation verwendeten CORINE-Datensatz durch bessere Satellitendaten neueren Datums zu ersetzen.

2.2 Sektoral

Kernstück der sektoralen Arbeiten ist das Akteurmodell DUNE (**D**omestic water **U**se and **N**eeds), das Teil des DANUBIA-Gesamtmodells ist und den Trinkwasserverbrauch, die Abwassermenge sowie wasserbezogene Zufriedenheitswerte privater Haushalte berechnet. Nachfolgend wird zunächst beschrieben, welche Arbeiten im Jahr 2002 zur Beschaffung, Eigenerhebung und Auswertung der vom Modell DUNE benötigten Daten ausgeführt wurden, bevor auf die Weiterentwicklung des Modells selbst eingegangen wird. Abschließend wird über Arbeiten zur Entwicklung von Szenarien berichtet.

2.2.1 Beschaffung und Aufbereitung statistisch-demographischer Daten

Um bei der Erstellung und Prüfung des DUNE-Modells über erste Näherungen der zur Laufzeit aus anderen Teilmodellen importierten Daten zu verfügen, wurde bereits 2001 mit der Beschaffung statistisch-demographischer Daten zu Bevölkerung, Wasserverbrauch, Wohnen sowie deren Trends seit 1990 vom Bayerischen Statistischen Landesamt begonnen. Weiterhin wurden erste Näherungswerte für Daten bestimmt, die nicht in der vom Modell benötigten Auflösung verfügbar sind (z.B. Abschätzung der in den jüngeren statistischen Daten nicht vorhandenen Haushaltsgröße anhand der Anzahl der Wohnräume; siehe dazu auch Abschnitt 2.2.3). Alle vorhandenen Daten wurden zudem mit Hilfe eines Java-Programms von der Gemeindeebene auf Proxel als räumliche Grundeinheit der Modellläufe umgerechnet.

Im Jahr 2002 wurden korrespondierende Daten vom Statistischen Landesamt Baden-Württemberg sowie ergänzende Daten aus Bayern beschafft. Zur Umrechnung der statistischen Daten von der Gemeindeebene auf die Proxelebene wurde ein erweitertes Verfahren eingesetzt, das die im CORINE-Datensatz ausgewiesene Siedlungsfläche berücksichtigt. Für die Anzahl der Wohnräume wurde dazu beispielsweise ein Algorithmus verwendet, der für jedes Proxel einer Gemein-

de den Prozentsatz der dort lebenden Einwohner berechnet und dem Proxel anschließend den gleichen prozentualen Anteil der Wohnungen zuweist. Die eingesetzten Verfahren zur Bestimmung von Näherungswerten wurden im Zusammenhang mit der Weiterentwicklung des Modells DUNE fortlaufend verbessert (s. dazu Abschnitt 2.2.3).

Die Entwicklung von halbautomatischen Programmen zur Einbindung von statistischen Daten in eine detaillierte und für verhaltenswissenschaftliche Zwecke aufbereitete flächenorientierte Darstellung als Basis für die Akteursmodellierung ist ein wichtiges Produkt des psychologischen Teilprojekts. Die Programme können für gleichartige Aufgaben in anderen Teilprojekten und für andere Einzugsgebiete angewendet bzw. adaptiert werden.

Mit der Beschaffung vergleichbarer statistisch-demographischer Daten aus Österreich wurde ebenfalls begonnen. Betroffen davon sind die Bundesländer Oberösterreich, Salzburg und Tirol. Die demographische Daten wurden zum Teil schon in das Modell eingebaut sowie dem Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung zur Disaggregation zur Verfügung gestellt.

Die Beschaffung von wasserbezogenen Daten gestaltet sich in Österreich 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.

Deswegen wird momentan versucht, in Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt Wasserversorgung der Universität Stuttgart über einen detaillierten Fragebogen für das gesamte Einzugsgebiet auch an bessere Daten in Österreich zu kommen. Weitere Datenquellen werden über persönliche Kontakte eruiert. Sie sollen unter anderem bereits Daten über das für die eigenen Datenerhebungen der zweiten Antragsphase vorgesehene Detailuntersuchungsgebiet Ötztal/Kaunertal liefern.

2.2.2 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 DUNE-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.

Zu Beginn des Jahres 2002 wurde eine zweite Pilotstudie in vier unterschiedlich großen Gemeinden außerhalb des Donaueinzugsgebiets durchgeführt, bei der der 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 Donaueinzugsgebiet 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 jedoch 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. Nach der Eingabe und Aufbereitung der Daten aus beiden Erhebungen wurde im Herbst 2002 mit ihrer Auswertung begonnen.

Abbildung 3 zeigt den aus den Trinkwasserverbrauchsangaben der Befragten berechneten jährlichen Pro-Kopf-Wasserverbrauch in beiden Stichproben. Die Befragten der Telefonumfrage verbrauchen nach eigenen Angaben durchschnittlich $51,33\text{m}^3$ Wasser pro Person und Jahr ($140,6\text{ l}$ pro Tag), die Befragten der schriftlichen Befragung durchschnittlich $47,16\text{m}^3$ Wasser pro Person und Jahr ($129,2\text{ l}$ pro Tag). In beiden Stichproben ist zudem die große Varianz der Messwerte zu beachten, die vor allem durch einzelne Haushalte mit hohen Verbräuchen bedingt ist

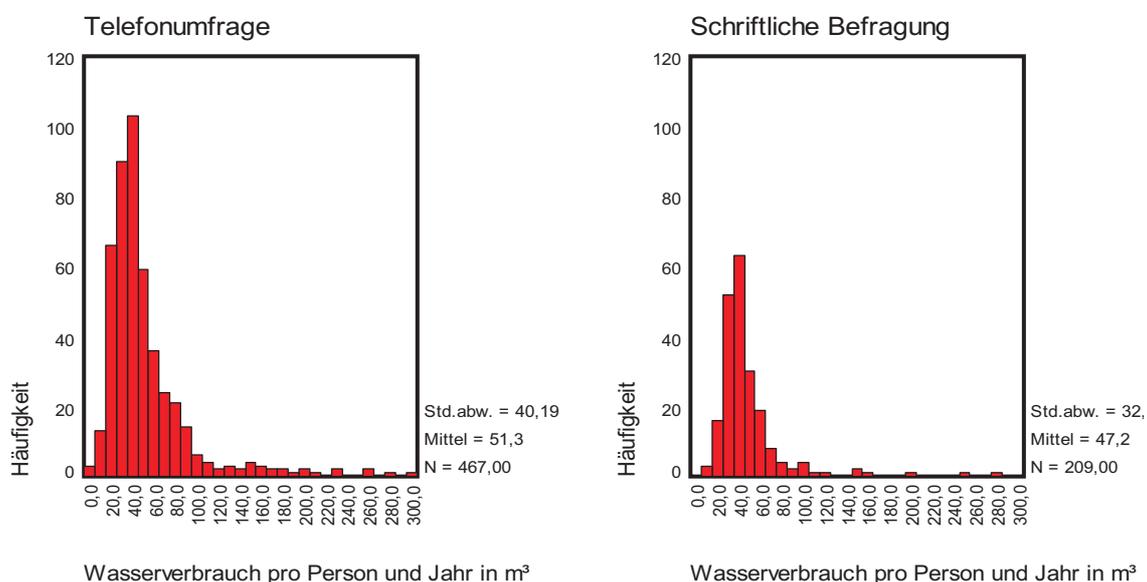


Abb. 3: Jährlicher Pro-Kopf-Wasserverbrauch in beiden Stichproben¹⁾ (Links: Telefonumfrage. Rechts: Schriftliche Befragung)

Statistisch gesehen wurden 1998 in Bayern 136 l Trinkwasser pro Person und Tag verbraucht und in Baden-Württemberg 127 l (Statistische Ämter des Bundes und der Länder, 2001). Selbst wenn aufgrund längerfristiger Trends von einem leichten Absinken dieser Durchschnittswerte seit 1998 ausgegangen werden kann, so dürften die Verbrauchswerte der schriftlichen Befragung immer noch etwa im Bereich dieser statistischen Daten liegen, die Verbrauchswerte der Telefonumfrage hingegen etwas höher als die Statistiken erwarten ließen. Zwischen den beiden Stichproben besteht jedoch kein signifikanter Unterschied hinsichtlich des durchschnittlichen Wasserverbrauchs.

Zur Überprüfung der im Modell DUNE angenommenen Zusammenhänge zwischen den im Fragebogen erhobenen Variablen und ihrer Bedeutung für die Höhe des Wasserverbrauchs wurden erste Berechnungen mit Hilfe linearer Regressionen durchgeführt. Ihre Ergebnisse deuten 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. Auf der Ebene des Pro-Kopf-Verbrauchs scheint weiterhin die Intention

¹⁾ Die gegenüber den Stichprobengrößen deutlich geringeren Anzahlen der Antworten (N) ergeben sich daraus,

zur Anschaffung von Spartechnologie bezüglich Maschinen - also eine psychologische Variable - eine Rolle zu spielen.

Des Weiteren wird derzeit eine verlässliche (regionale) Datenbasis für den Zusammenhang zwischen Wasserverbrauch und Wasserpreis (Preiselastizität des Trinkwasserverbrauchs) gesucht, um sie in das Modell aufzunehmen.

Für die erste Hälfte des Jahres 2003 sind weitere statistische Auswertungen zur Prüfung des DUNE-Modells geplant. Dabei sollen neben Regressionsmodellen auch Strukturgleichungsmodelle zum Einsatz kommen, um auch mehrstufige Abhängigkeiten zwischen den Variablen des Modells (sog. Pfadabhängigkeiten) berücksichtigen zu können. Weiterhin werden anhand der Daten Haushaltstypen identifiziert werden, die die Stichproben in mehrere, sich beispielsweise in relevanten demographischen Variablen unterscheidende Untergruppen unterteilt werden können. Für diese Untergruppen werden weitere Modellprüfungen vorgenommen. Hiervon wird erwartet, dass die Bedeutung v.a. der psychologischen Modellvariablen deutlicher sichtbar wird als bei Modellprüfungen in der Gesamtgruppe, bei denen Unterschiede zwischen Teilgruppen vernachlässigt werden. Weiterhin werden die Haushaltstypen in die Java-Implementierung des Modells eingehen.

2.2.3 Weiterentwicklung des Modells DUNE

Der Schwerpunkt der Modellbildung lag im Jahr 2002 antragsgemäß auf der Entwicklung eines flachen Akteurmodells, das im weiteren Projektverlauf schrittweise zu einem tiefen Modell weiterentwickelt werden wird. Entsprechend dem Konzept eines Akteurmodells werden die einzelnen Haushalte als kleinste betrachtete Einheit und ihr Verhalten in DUNE individuell modelliert.

Die Berechnung geschieht in drei aufeinander aufbauenden Schritten, die auch in Abbildung 4 ersichtlich sind, nämlich (1) ausschließlich aufgrund objektiver Variablen (*WaterUseConstraintsOnly*), (2) aufgrund objektiver und ökonomischer Variablen (*WaterUseEconomicModel*) und (3) aufgrund objektiver, ökonomischer und psychologischer Variablen (*WaterUseFullModel*). Die ersten beiden dieser Berechnungsschritte sind bereits implementiert und daher in Abbildung 4 als durchgezogene Kästchen dargestellt. Der dritte Berechnungsschritt sowie die wasserbezogenen Zufriedenheitswerte (*WaterQualitySatisfaction*, *WaterQuantitySatisfaction*, *WaterRelatedSatisfaction*) sind in der Implementierung zwar bereits vorgesehen, sie enthalten derzeit aber noch keine Berechnungen und sind daher in Abbildung 4 als gestrichelte Kästchen dargestellt. Die Abwassermenge wird im Modell mit dem Trinkwasserverbrauch gleich gesetzt.

Weiterhin ist in DUNE eine Schleife implementiert, die über mehrere oder alle Proxel sequenzierte und kumulierte Abfragen ermöglicht. Entsprechende Schnittstellen ermöglichen es, mit Hilfe von ArcView bzw. eines Java-Applets sowohl die Inputvariablen (z.B. Bevölkerungsdichte) als auch die Outputvariablen des Modells (z.B. Wasserverbrauch) zu visualisieren. Die erste Version des flachen Akteurmodells DUNE, die bereits alle Schnittstellen für die Kommunikation mit anderen DANUBIA-Teilmodellen enthält, wurde im Jahr 2002 kontinuierlich erweitert und verfeinert.

dass nicht alle Befragten Angaben zum Wasserverbrauch machten. Dies betraf u.a. diejenigen Befragten, die keine eigene Wasserrechnung erhalten und stattdessen einen Pauschalpreis an ihren Vermieter bezahlen.

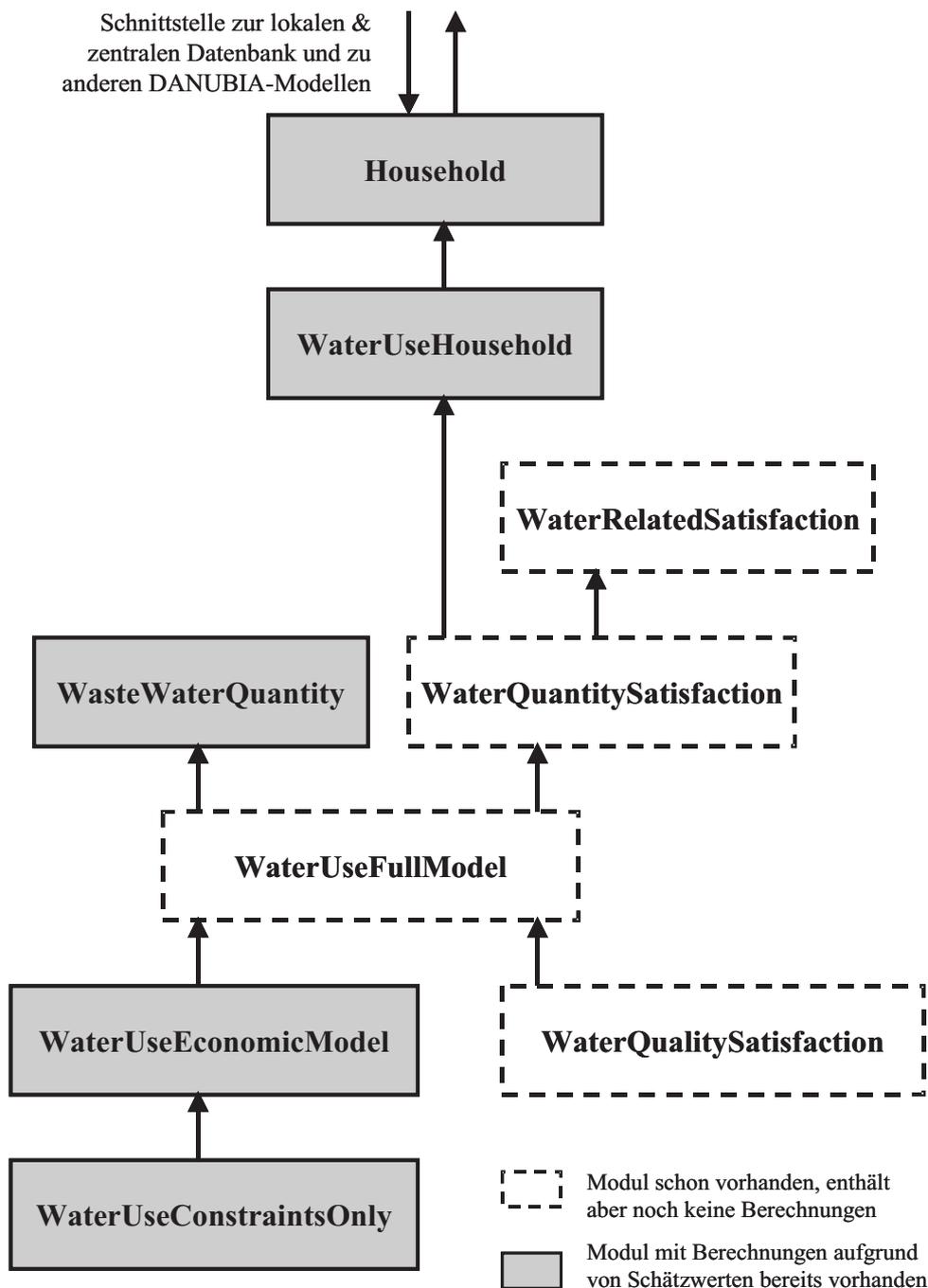


Abb. 4: Das Modell DUNE und seine Schnittstellen

Seit Mai 2002 ist DUNE voll in das DANUBIA-Gesamtmodell integriert und lief zu diesem Zeitpunkt bereits im Prototyp (Version 0.9) mit, der anlässlich der Statuskonferenz in München präsentiert wurde. Da die anderen Teilmodelle des *Actors*-Verbundobjekts zu diesem Zeitpunkt noch keine flächendeckenden Daten zur Laufzeit liefern konnten, wurden diese vorläufig durch Daten aus der lokalen Datenbank ersetzt. Durch die Einbindung der anderen *Actors*-Modelle in das DANUBIA-Gesamtmodell (Version 0.91) ergab sich dementsprechend in der Folgezeit weiterer Anpassungsbedarf für das Modell DUNE, der im wesentlichen in der Implementierung von Schnittstellen und weiteren Datentypen bestand (siehe auch Abschnitt 2.2.1).

Abbildung 5 zeigt, wie in DUNE der Trinkwasserverbrauch und die Abwassermenge für jedes Proxel des Einzugsgebiets pro Jahr berechnet werden. Die Berechnungen beruhen auf der Annahme unterschiedlicher Haushaltstypen. In jedem Proxel wird der Trinkwasserverbrauch und die Abwassermenge eines jeden Haushaltstyps separat bestimmt.

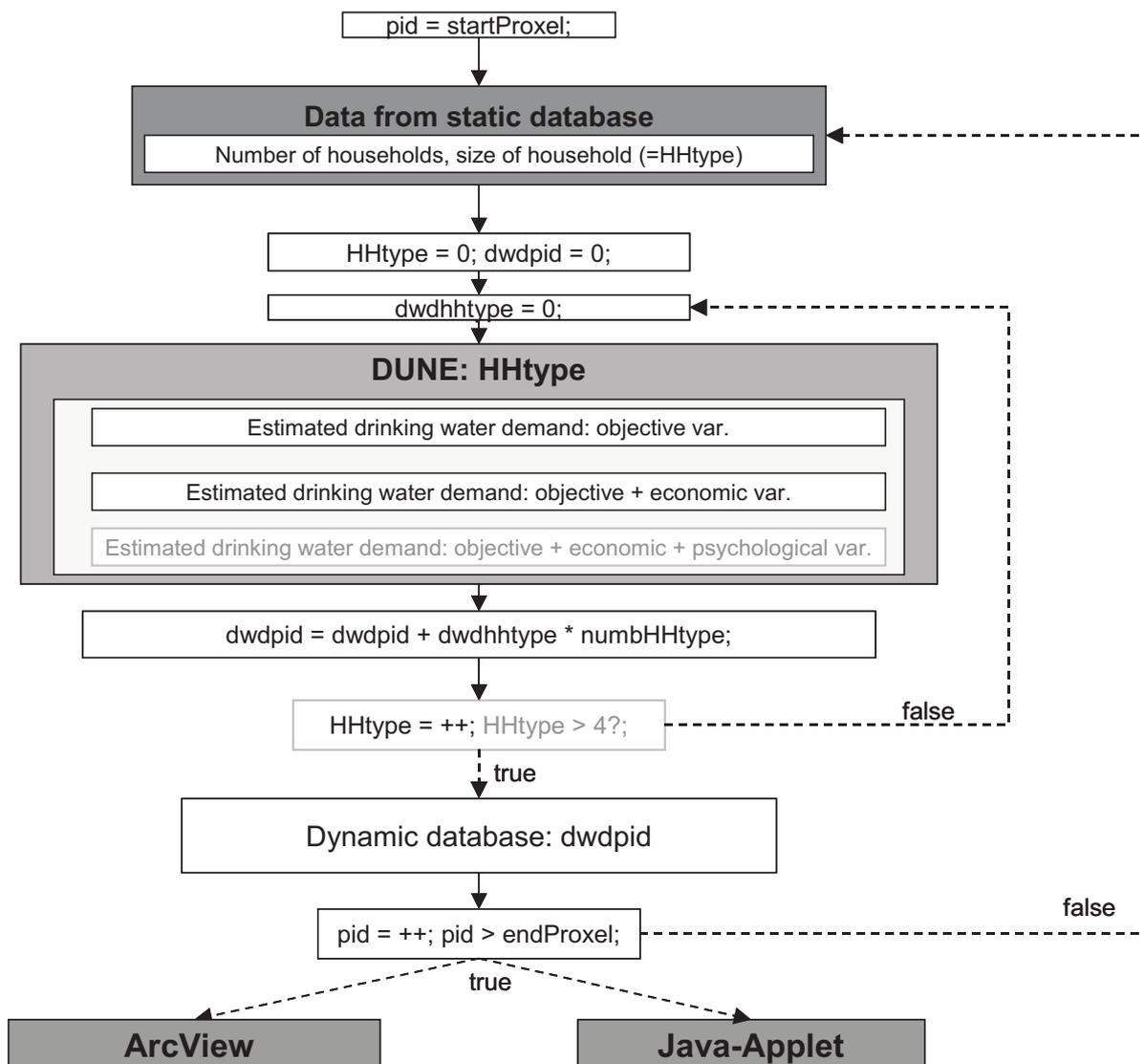


Abb. 5: Berechnung des Trinkwasserverbrauchs und der Abwassermenge pro Proxel (pid=Proxel-ID; HHtype=Haushaltstyp; dwdpid=Trinkwasserverbrauch des Proxels; dwdhhtype=Trinkwasserverbrauch des Haushaltstyps; numbHHtype=Anzahl des Haushaltstyps)

Der gesamte Trinkwasserverbrauch bzw. die gesamte Abwassermenge eines Proxels ergeben sich dann durch Multiplikation mit der Anzahl des Haushaltstyps und Aufsummierung über die verschiedenen Haushaltstypen:

$$twv_{pid} = \sum_i n_i twv_i$$

$$awm_{pid} = \sum_i n_i awm_i$$

Wobei twv = Trinkwasserverbrauch
 awm = Abwassermenge
 pid = ProxelID
 i = Haushaltstyp
 n_i = Anzahl des Haushaltstyps i

Schätzung von Haushaltsgrößen und Haushaltseinkommen

In einer späteren Phase der Modellentwicklung werden die jeweiligen Anzahlen der Haushaltstypen, bei denen die Haushalte dann sowohl nach ihrer Größe als auch ihrem monatlichen Einkommen klassifiziert werden, vom DANUBIA-Modell *Demography* geliefert. Derzeit wird die entsprechende Anzahl der Haushaltstypen jedoch noch durch Daten aus der lokalen Datenbank ersetzt, bei denen der Haushaltstyp ausschließlich von der Größe eines Haushalts bestimmt wird. In Abhängigkeit von der Anzahl der Haushaltsmitglieder werden dabei Ein-, Zwei-, Drei-, Vier- und Fünf-oder-mehr-Personenhaushalte unterschieden.

Da aktuelle statistische Daten zur Haushaltsgröße nicht vorliegen, wurde die Haushaltsgröße zunächst mit Hilfe eines einfachen Algorithmus anhand der Anzahl der Räume einer Wohnung geschätzt. Um eine größere Genauigkeit der Schätzung zu erreichen, wurde dieses Vorgehen im Jahr 2002 jedoch durch folgendes Verfahren ersetzt: Anhand des Datensatzes der Volkszählung von 1987, der sowohl Daten zur Haushaltsgröße als auch zur Wohnungsgröße (Anzahl der Räume) enthält, wurden Regressionsgleichungen bestimmt, mit denen die Anzahlen der einzelnen Haushaltstypen (beruhend auf Haushaltsgrößen) aufgrund der Wohnungsgrößen vorhergesagt werden können. Diese Regressionsgleichungen wurden verwendet, um für aktuellere Datensätze (1991, 1998) die nicht vorliegenden Anzahlen der einzelnen Haushaltstypen aufgrund der vorliegenden Wohnungsgrößen zu berechnen. Um den Fehler möglichst gering zu halten, wurde die berechneten Anzahlen zudem um den Faktor *tatsächliche Einwohnerzahl / berechnete Einwohnerzahl* korrigiert. Weitere Berechnungen ergaben, dass eine ursprünglich vorgesehene Unterscheidung von Gemeinden nach ihrer Größe und eine Anwendung unterschiedlicher Regressionsgleichungen je nach Städtetyp die Genauigkeit der Vorhersage der Haushaltstypen eher verschlechterte. Auf sie wurde daher verzichtet.

Da derzeit noch keine verlässlichen Daten über das monatliche Haushaltsnettoeinkommen vorliegen, diese Variable in der Implementierung von DUNE jedoch bereits vorgesehen ist, werden für die einzelnen Haushaltstypen vorläufig feste Einkommenswerte angenommen. Einkommensunterschiede innerhalb eines Haushaltstyps sind in der derzeitigen Implementierung von DUNE also noch nicht vorgesehen. Den einzelnen Haushaltstypen sind folgende Einkommenswerte zugeordnet:

- Einpersonenhaushalt: 1.000 €
- Zweipersonenhaushalt: 1.500 €
- Dreipersonenhaushalt: 2.000 €
- Vierpersonenhaushalt: 2.500 €
- Fünf-oder-mehr-Personenhaushalt: 3.000 €

Das Verfahren wird bei Vorliegen besserer Datenquellen umgestellt.

Berechnung des Trinkwasserverbrauchs aufgrund objektiver Variablen (*WaterUseConstraintsOnly*)

Die in der Java-Implementierung vorhandene Klasse *WaterUseConstraintsOnly* entspricht dem ersten Berechnungsschritt des DUNE-Modells, bei dem der Trinkwasserverbrauch ausschließlich aufgrund objektiver Variablen berechnet wird (s. Abb. 6). Als objektive Variablen sind im Modell die Haushaltsgröße, eine mögliche Mengenbeschränkung sowie vorhandene Spartechnologie bezüglich Einrichtung (z.B. Durchflussmengenbegrenzer) vorgesehen.

Die Variable „Mengenbeschränkung“ dürfte unter derzeitigen Bedingungen im Donaueinzugsgebiet zwar noch bedeutungslos sein. In Zukunftsszenarien wird sie aber eine starke Rolle spielen, sollte eine Wasserknappheit zu einer Verknappung des verfügbaren Trinkwassers führen. Bei der Implementation des DUNE-Modells wurde sie daher bereits vorgesehen, ihr wurde aber ein so hoher Wert zugewiesen, dass sie zunächst keine Auswirkung auf den tatsächlichen Trinkwasserverbrauch hat und damit die gegenwärtige Situation repräsentiert ist. In zukünfti-

gen Szenarien, die eine Wasserverknappung beinhalten, kann die Mengenbeschränkung jedoch dazu führen, dass jeder Haushalt beispielsweise nur noch eine festgesetzte Maximalmenge an Trinkwasser erhält, auch wenn sein Bedarf eigentlich höher wäre. Damit sind also Situationen simulierbar, in denen der Wasserbedarf einzelner (oder auch aller) privaten Haushalte nicht mehr gedeckt werden kann (was nachfolgend im Modell zu simulierter Unzufriedenheit führen würde).

Die Variable „Spartechnologie bzgl. Einrichtung“ wurde in der ersten Implementation des DUNE-Modells noch vernachlässigt. Hier müssen die Ergebnisse der eigenen Datenerhebungen (Fragebogenuntersuchung und repräsentative Telefonumfrage) erst zeigen, welche Auswirkungen vorhandene Spartechnologien bezüglich der Einsparung von Trinkwasser tatsächlich haben.

In der derzeitigen Version des DUNE-Modells ist somit die Haushaltsgröße die zentrale objektive Variable, auf die sich die Berechnung des Trinkwasserverbrauchs und der Abwassermenge stützt. Zur Vereinfachung der Berechnung wird derzeit ein durchschnittlicher Trinkwasserverbrauch von 120 l pro Person und Tag angenommen. Der Trinkwasserverbrauch eines Haushaltstyps pro Jahr errechnet sich damit derzeit noch als $twv_i = n_i * 120 * 365$, wobei n_i = Anzahl der Haushaltsmitglieder.

Berechnung des Trinkwasserverbrauchs aufgrund objektiver und ökonomischer Variablen (*WaterUseEconomicModel*)

Analog zum zweiten Schritt der Trinkwasserverbrauchs- und Abwassermengenberechnung des DUNE-Modells, bei dem die Berechnung aufgrund objektiver und ökonomischer Variablen geschieht, wurde die Klasse *WaterUseEconomicModel* implementiert (s. Abb. 7).

Der durch die Klasse *WaterUseConstraintsOnly* berechnete Trinkwasserbedarf wird an dieser Stelle Einflüssen des Wasserpreises und des Haushaltseinkommens unterworfen. In der ersten Phase von DANUBIA wurde ein Trinkwasserpreis von 3,03 €/l für das gesamte Donau-Einzugsgebiet angenommen, zur späteren Laufzeit wird der Trinkwasserpreis für jedes Proxel vom *Actors-Modell WaterSupply* geliefert. Wie bereits oben beschrieben, wurden den einzelnen Haushaltstypen für die ersten Modellrechnungen zunächst feste Einkommenswerte zugewiesen.

Die Auswirkung des Wasserpreises und des Haushaltseinkommens auf den Trinkwasserverbrauch ist im Modell folgendermaßen vorgesehen: Es wird aufgrund einer datenbasierten Schätzung zunächst davon ausgegangen, dass ein Haushalt ca. 1/80 seines monatlichen Einkommens für Trinkwasser ausgibt. Steigt der Wasserpreis (twp), wird der Haushalt weniger Trinkwasser verbrauchen um Kosten einzusparen. Wenn die Kosten des Trinkwasserbedarfs 1/80 des monatlichen Haushaltseinkommens überschreiten, also

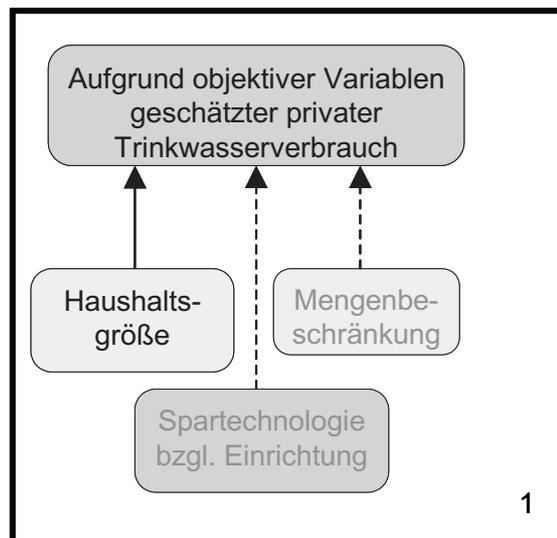


Abb. 6: Berechnung des Trinkwasserverbrauchs und der Abwassermenge aufgrund objektiver Variablen (erster Berechnungsschritt des DUNE-Modells)

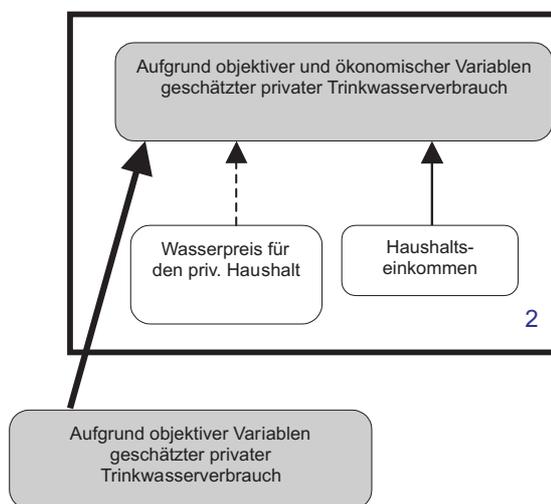


Abb. 7: Berechnung des Trinkwasserverbrauchs und der Abwassermenge aufgrund objektiver und ökonomischer Variablen (zweiter Berechnungsschritt des DUNE-Modells)

$$twv / 12 * twp > householdincome / 80,$$

dann wird der Trinkwasserverbrauch pro Jahr so weit reduziert, bis nur noch 1/80 des monatlichen Haushaltseinkommens für Wasser ausgegeben wird:

$$twv = \frac{householdincome / 80}{twp} * 12.$$

Berechnung des Trinkwasserverbrauchs aufgrund objektiver, ökonomischer und psychologischer Variablen (*WaterUseFullModel*)

Die Klasse *WaterUseFullModel* ist analog dem dritten Berechnungsschritt des DUNE-Modells konzipiert, bei dem die Berechnung des Trinkwasserverbrauchs und der Abwassermenge aufgrund objektiver, ökonomischer und psychologischer Variablen geschieht (s. Abb. 8). Sie beinhaltet derzeit noch keine eigenen Berechnungen. In den folgenden Monaten werden hier jedoch die Auswirkungen der psychologischen Variablen auf den Wasserverbrauch dahingehend integriert, dass aufgrund der Ergebnisse der eigenen Datenerhebungen exemplarisch mit der Formulierung und Implementierung eines Systems von Entscheidungsregeln begonnen wird. Dies stellt zudem einen wichtigen Schritt auf dem Weg hin zu einem tiefen Modell der Wassernutzung dar.

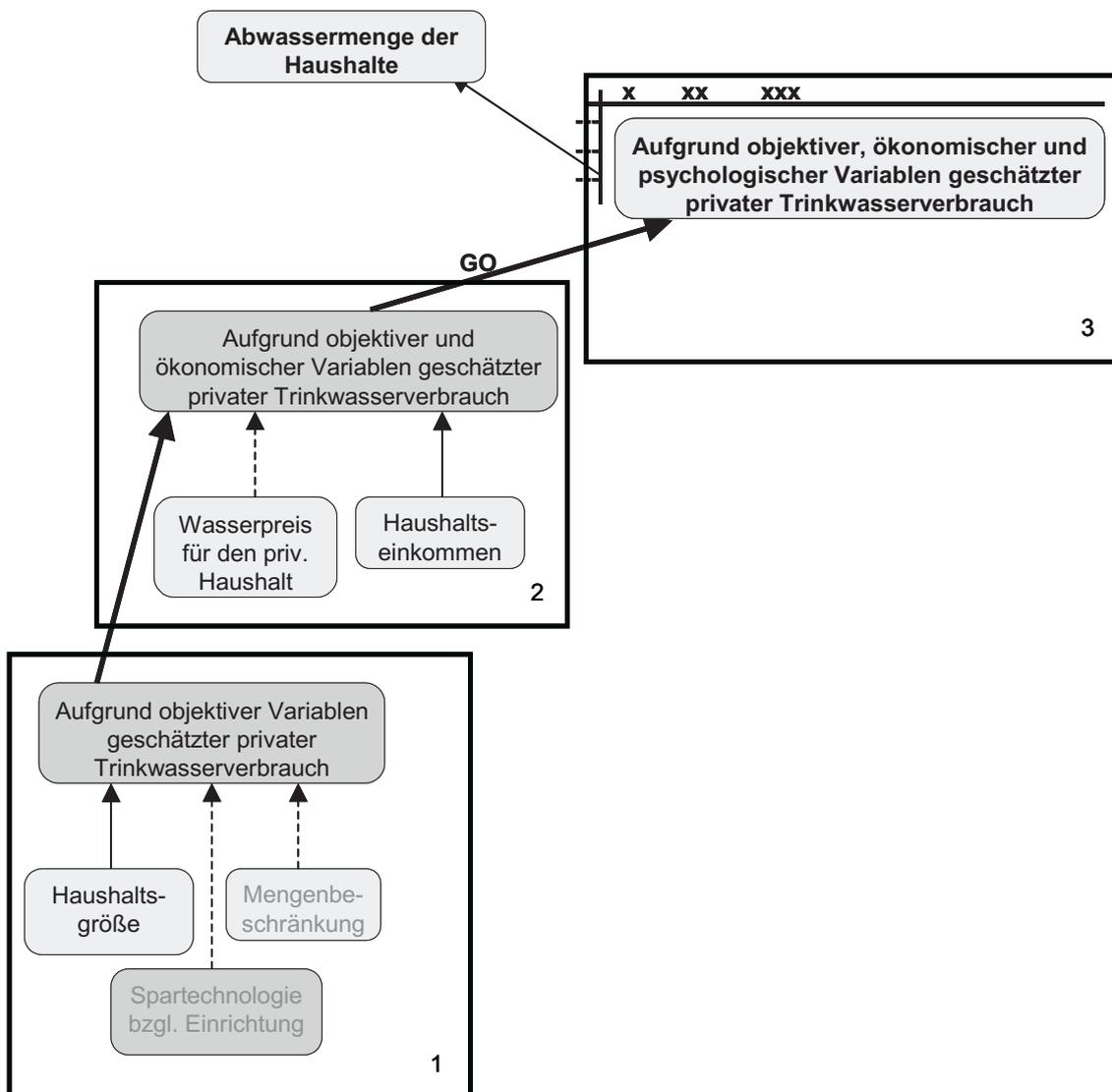


Abb. 8: Berechnung des Trinkwasserverbrauchs und der Abwassermenge aufgrund objektiver, ökonomischer und psychologischer Variablen (dritter Berechnungsschritt des DUNE-Modells)

Als weiterer Schritt zur Modellprüfung ist für die nächsten Monate die retrospektive Modellierung der Leitvariable Trinkwasserverbrauch in den Jahren 1990 bis 1999 geplant. Hier sind weiterhin geeignete Algorithmen zur Kalibrierung des Modells zu adaptieren.

2.2.4 Szenarienbildung

Die Bildung von Szenarien ist im Arbeitsplan erst für das letzte Halbjahr der ersten Antragsphase vorgesehen. Dennoch wurde bereits mit einer Sichtung und Klassifizierung einschlägiger Beispiele aus der Literatur begonnen und ein Projektbericht dazu erstellt.

Aus den möglichen Themenkomplexen Wasserknappheit, Wasserverschmutzung, Privatisierung/Liberalisierung, Innovationen und Einstellungsänderungen wurden die Szenarien Wasserknappheit und Wasserverschmutzung ausgewählt. Dabei wurden zwei Zeiträume beleuchtet, von denen einer in der nahen und einer in der fernerer Zukunft liegt. Zur Wasserknappheit wurde für den Zeitraum 2002-2007 das Szenario einer lokal und zeitlich begrenzten Wasserknappheit konstruiert, für den Zeitraum 2020-2025 das eines chronischen Wassermangels. Die zwei Szenarien zur Wasserverschmutzung behandeln einen Industrieunfall (Zeitraum 2002-2007) und hohe Nitratgehalte im Trinkwasser (Zeitraum 2020-2025). Nächste Aufgaben zur Szenarienbildung sind die gemeinsame Validierung möglicher Szenarien im Austausch mit den anderen Teilprojekten, Stakeholdern und interessierten Experten sowie die Erarbeitung einer tiefergehenden psychologischen Fundierung der Szenarien für die Haushalte im Donau Einzugsgebiet.

3. Weiteres Vorgehen

Im folgenden werden die in den einzelnen Abschnitten dieses Berichts detailliert beschriebenen Arbeitsschritte für den nächste Berichtszeitraum (Januar-Juni 2003) stichpunktartig zusammengefasst und um weitere geplante Aktivitäten ergänzt:

- *Arbeitsgruppe Actors*: Technische Lösung der Problematik zeitlicher Rückkopplungen zwischen den *Actors*-Objekten in Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt Informatik; technische Lösung der Anforderungen der *Actors*-Objekte an den *TimeController* (erheblich längere Zeittakte als in den Naturwissenschaften) in Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt Informatik.
- Beginn der Entwicklung einer unifizierten Akteurarchitektur in Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt Informatik (siehe Ziele des Fortsetzungsantrags).
- Einbezug von Landnutzungsdaten: Optimierung des *Downscaling*-Verfahrens und der verwendeten Zuordnungsfunktion in Zusammenarbeit mit den anderen Mitgliedern der AG *Downscaling*; Ersetzen des CORINE-Datensatzes durch Satellitendaten.
- Beschaffung und Aufbereitung statistisch-demographischer Daten: Beschaffung weiterer Daten aus Österreich einschließlich weiterer Recherchen im für die Datenerhebung der zweiten Antragsphase vorgesehenen Testgebiet Ötztal/Kaunertal; Beschaffung verbesserter wasserbezogener Daten in Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt Wasserversorgung.
- Erhebung und Auswertung empirischer Daten: Weitere Auswertung zur statistischen Prüfung des DUNE-Modells und seiner Gültigkeit für Untergruppen der befragten Stichproben (Haushaltstypen).
- Weiterentwicklung des Modells DUNE: Exemplarische Formulierung und Implementierung eines Systems von Entscheidungsregeln für den dritten Berechnungsschritt des Modells; retrospektive Modellierung der Leitvariable Trinkwasserverbrauch zur Modellprüfung.

- Szenarienbildung: Gemeinsame Validierung möglicher Szenarien im Austausch mit anderen Teilprojekten, Stakeholdern und interessierten Experten; tiefgehende psychologische Fundierung der Szenarien.
- Weitere Zeitschriftenpublikationen und Vorträge.

4. Literatur

STATISTISCHE ÄMTER DES BUNDES UND DER LÄNDER (2001): Öffentliche Wasserversorgung: Anschlussgrad, Wasserabgabe (Bayern, Baden-Württemberg, 1998) [On-line]. Verfügbar unter: http://www.brandenburg.de/statreg/daten_09/514-32.htm [17.1.2003].

Sozioökonomische Analyse und Modellierung von Wassernutzung und Landnutzung durch Landwirtschaft

Teilprojekt: Agrarökonomie
Leiter: Prof. Dr. Stephan Dabbert
Ausführende Stelle: Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre (410A),
Universität Hohenheim, Schloss Osthof-Süd, 70593 Stuttgart

1. Organisatorisches

1.1 Stellenbesetzung

Das Teilprojekt hat am 1. Oktober 2001 seine Arbeit aufgenommen. Inzwischen wurden folgende Stellen besetzt:

PD Dr. Sylvia Herrmann: Projektintegration, Landschaftsaspekte, GIS (10/2001-10/2002)

Dr. Tatjana Vogel: Projektverwaltung, UML, Datenbeschaffung (10/2001-11/2003)

Dipl. Ing. sc. agr. Thomas Winter: Ökonomische Modellierung (10/2001-11/2003)

Dipl. Geogr. Johannes Max: GIS, EDV, technische Modellintegration (11/2001-4/2002)

Dipl. Geogr. Hartmut Schuster: GIS, EDV, technische Modellintegration (5/2002- 11/2003)

1.2 Anschaffungen

Es wurden bislang Software (UML-Lizenz, GIS-Lizenz, GAMS-Lizenz) und im Bereich Daten die "Agrarstatistischen Daten" von Bayern (1995 und 1999) und teilweise für Österreich (1995 und 1999) sowie 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.

2. Schaffung der Datengrundlage

2.1 Agrarstatistik

Die Basisdaten für das Optimierungsmodell, wie die Landnutzung, Erträge landwirtschaftlicher Kulturen, sowie die Daten zur Tierhaltung wurden bei den statistischen Landesämtern beschafft. Die 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 die Definition der Produktionsverfahren im ökonomischen Modell wurden die Datensammlungen für die Betriebsplanung verwendet, wobei regionale Besonderheiten berücksichtigt wurden.

2.2 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. Bei Vorliegen einer zufriedenstellenden Klassifikation auf der Basis von Satellitendaten (Zentralprojekt) wird dieser Datensatz ersetzt werden. Um die Verteilung der verschiedenen Ackerkulturen und von Grünland sowie eine Zuordnung ggf. vorhandener Intensitätsunterschiede beim Anbau einzelner Kulturarten gewährleisten zu können, würden 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 Bayerischen 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.

2.3 Agrarstrukturelle und landnutzungsbezogene Landkreischarakterisierung

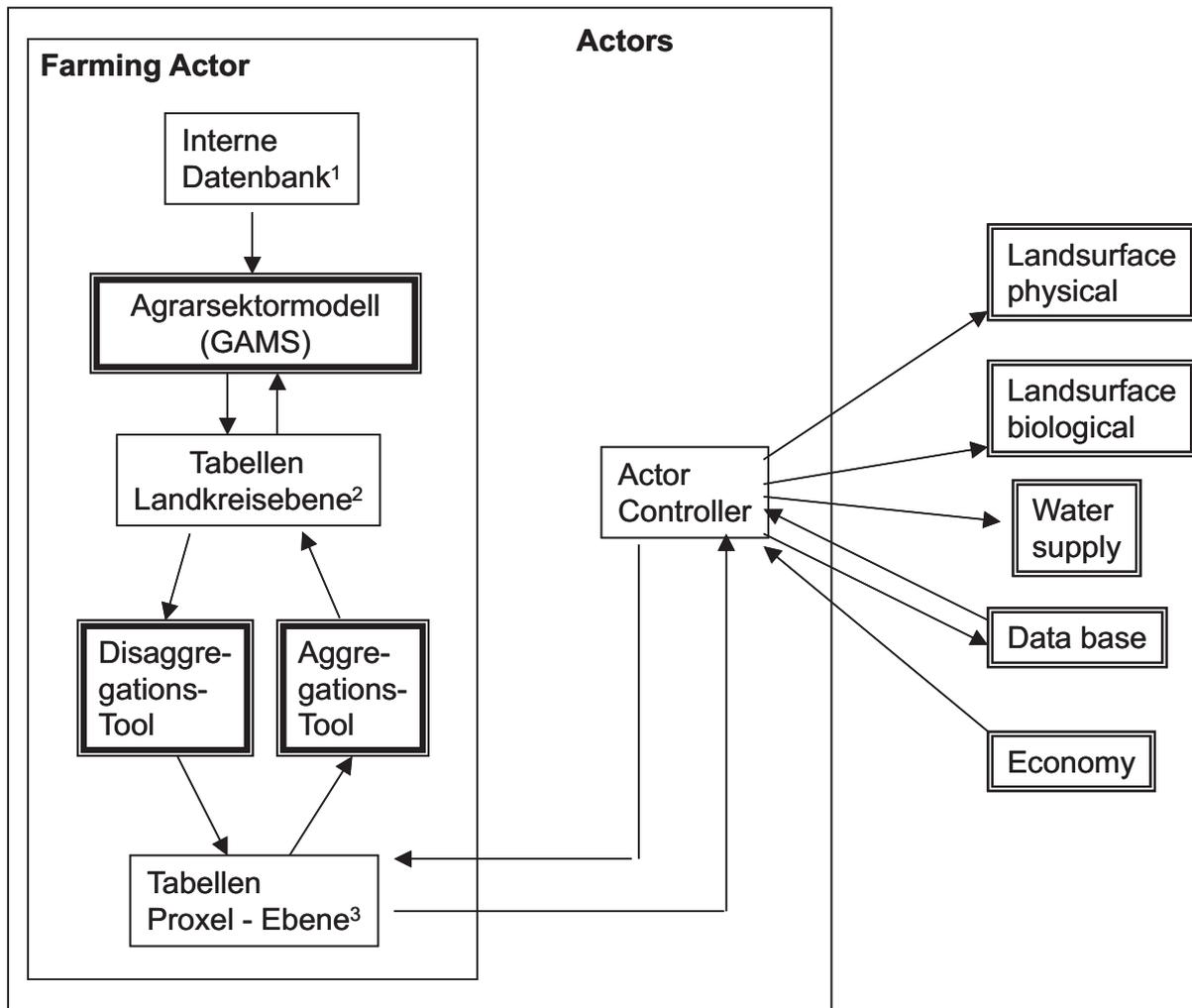
Um die regionalen und kleinräumigeren Unterschiede in der landwirtschaftlichen Produktion berücksichtigen zu können, wurden zusätzlich zu den oben genannten generellen Informationen zur Produktivität Daten aus Befragungen gewonnen. Grundlage dafür stellt eine regelbasierte Ableitung von Landnutzungskategorien 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 die Entwicklung von vier repräsentativen landwirtschaftlichen Gemeinden beschrieben und die verantwortlichen Faktoren und Rahmenbedingungen abgeleitet. Neben der Auswertung von statistischem Material und Literatur gründete sich die Arbeit auf Befragungen in den einzelnen Gemeinden.

3. Generelle Modellarchitektur des TP Agrarökonomie

Der so genannte Farming Actor besteht aus verschiedenen Modulen (Einzelmodellen), die miteinander gekoppelt sind und über eine Schnittstelle mit anderen Partnern in DANUBIA kommunizieren (s. Abb. 1).

Das Agrarsektormodell (s. Kap. 4) wird durch eine direkt gekoppelte interne Datenbank gespeist. Nach der Berechnung der ökonomischen Kenngrößen für den aktuellen Zustand bzw. die Szenariobedingungen werden die Ergebnisse in einer landkreisbezogenen Tabelle abgelegt. Diese Daten werden mittels eines Disaggregations-Tools (s. Kap. 5) regelbasiert auf die Proxelstruktur verteilt. Anschließend werden die proxelbezogenen Informationen über die entsprechende Schnittstelle und den Actor Controller an DANUBIA weitergegeben, um sie den übrigen TP zur Verfügung zu stellen. Die Datenlieferung von DANUBIA verläuft in umgekehrter Richtung. Das Aggregations-Tool bereitet die Daten entsprechend für die Verwendung im Agrarsektormodell auf.



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 TP Agrarökonomie

4. Weiterentwicklung des Agrarsektormodells

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. Es wird der Ansatz der Positiven Quadratischen Programmierung (PQP) verwendet, um die landwirtschaftliche Produktion zu optimieren (RÖHM 2001). Das ökonomische Modell kann als Landkreis basiertes, komparativ-statisches regionales Optimierungsmodell charakterisiert werden. Das Modell soll zur kurz- und mittelfristigen Analyse eingesetzt werden, weswegen als ökonomische Erfolgsgröße (Zielfunktion) der Deckungsbeitrag der Landwirte maximiert wird:

$$GDB = \sum_r \left\{ \begin{array}{l} \sum_i \left[X_{i,r} * (y_{i,r} * p_{i,r} + PR_{i,r} - vk_i * (\beta_{i,r} + \delta_{i,r} * X_{i,r})) \right] \\ + \sum_t \left[XT_{t,r} * (y_{t,r} * p_{t,r} + PR_{t,r} - vk_t * (\beta_{t,r} + \delta_{t,r} * XT_{t,r})) \right] \end{array} \right\}$$

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
	Vk_t	= variable Kosten (vk) der Tierart t
	$\beta_i, \delta_i, r, \beta_t, r, \beta_{i,r}$	= 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
	$aspf_{(af,v,r)}$	= 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
	$aspf_{(gl,v,r)}$	= Beobachteter Anbauumfang einzelner Grünlandverfahren in der Ausgangssituation

Bestandesergänzung in der Tierhaltung

$$\sum_t XT_{(t,r)} * \text{Bes tan dsänderung}_{(zpt,t)} \geq 0$$

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
 $=$ Fütterungsaktivität

Futterbilanz

$$\sum_t XF_{(f,t,r)} \leq \sum_{\text{fpf},v} \left[X_{(\text{fpf},v,r)} * \begin{pmatrix} yivf_{(\text{fpf},v,f,r)} + (\text{ertragi}_{(\text{fpf},r)} + \text{ertragv}_{(\text{fpf},v,r)}) \\ -\text{ertragip}_{(\text{fpf},r)} * X_{ges}(\text{fpf},r) \\ -\text{ertragvp}_{(\text{fpf},v,r)} * X_{(\text{fpf},v,r)} \\ * \text{fut}_{(\text{fpf},f)} \end{pmatrix} + XZ_{(f,r)} \right]$$

mit: fpf = Kulturen, die an Tiere verfüttert werden können
 $\text{ertragi}_{(\text{fpf},r)}$ $\text{ertragi}_{(\text{fpf},v,r)}$, $\text{ertragi}_{(\text{fpf},r)}$, $\text{ertragi}_{(\text{fpf},v,r)}$ = Kalibrierungsterme
 $yivf_{(\text{fpf},v,f,r)}$ = Ertrag des Futtermittels nach Abzug der Konservierungsverluste
 $\text{fut}_{(\text{fpf},f)}$ = Futtermittelferlustkoeffizient in Abhängigkeit vom der Kultur und Konservierungsverfahren
 $XZ_{(f,r)}$ = Zukaufsaktivität von marktgängigen Futtermittel
 $X_{ges}(\text{fpf},v,r)$ = Anbauumfang einer Kultur (ohne Berücksichtigung der Anbauintensität)

Quotenbegrenzungen

$$\text{regionale_Quote}_{(qi,r)} \geq \sum_v \left[X_{(qi,v,r)} * \begin{pmatrix} yiv(qi,v,r) + \text{ertragi}_{(qi,r)} + \text{ertragv}_{(qi,v,r)} \\ -\text{ertragip}_{(qi,r)} * X_{ges}(qi,r) \\ -\text{ertragvp}_{(qi,v,r)} * X_{(qi,v,r)} \end{pmatrix} \right]$$

mit: qi = Kulturen die Anbaubegrenzungen in Form von Quoten unterliegen
 $yiv(qi,v,r)$ = Bruttoertrag
 $\text{Regionale_Quote}_{(qi,r)}$ = regionale Produktionsquoten

Flächenstilllegungsverpflichtung

$$\sum_{mf,v} X_{(mf,v,r)} * \text{Stilllegungsquote} \leq \sum_{\text{still},v} X_{(\text{still},v,r)}$$

mit: mf = Marktfrüchte für die im Rahmen der Preisausgleichszahlungen Flächenprämien gewährt werden
 $still$ = Verfahren der Flächenstilllegung

Das ökonomische Modells, das bisher für den baden-württembergischen und bayrischen Teil des Einzugsgebietes der Oberen Donau formuliert wurde, setzt sich aus 57 Regionshöfen zusammen, wobei jeder Regionshof einen Landkreis repräsentiert. Die Stadtkreise wur-

den 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 Wintergerste Roggen Triticale	Hafer Sommergerste Sommerweizen	Frühkartoffeln Spätkartoffeln Zuckerrübe Winterraps	Klee und Klee gras Silomais	Körnermais Corn-Cob-Mix Hülsenfrüchte Gemüse Obst Hopfen Sonstige Hanels- gewächse Gründüngung Flächenstill- legung

Die Definition der Produktionsverfahren wurde nach der Datenerhebung für das deutsche Untersuchungsgebiet abgeschlossen. Insgesamt wurden 23 Produktionsverfahren mit 2 verschiedenen Intensitätsstufen im Pflanzenbau berücksichtigt. 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 Erkenntnis wurde nach einem Vergleich der Ergebnisse aus der Expertenbefragung und den Landwirtschaftlichen Vergleichszahlen auf Gemeindeebene erzielt. 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 2 dargestellt.

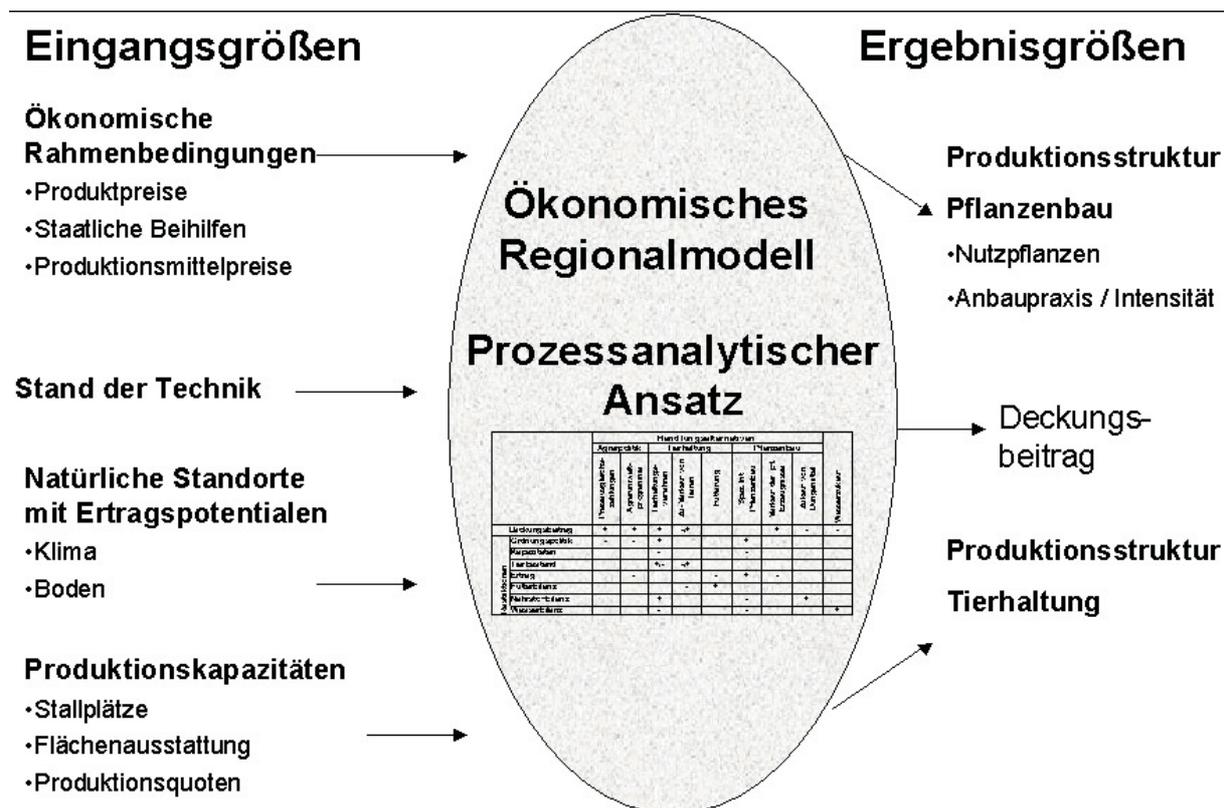


Abb. 2: Methodisches Konzept des agrarökonomischen Regionalmodells

Die Berechnung der Koeffizienten für das Nichtlineare Modell wurde durchgeführt. Es hat sich gezeigt, dass für bestimmte Produktionsverfahren, die Mengenbegrenzungen unterliegen, die Nutzungskosten für die Quoten bei der Berechnung der Koeffizienten zu berücksichtigen sind. Eine weitere Modifikation betrifft die Nebenbedingungen des prozessanalytischen Ansatzes, da sie teilweise nichtlinear zu formulieren sind. So sind im ertragsseitigen Ansatz bei den Quotenbegrenzungen die abnehmenden Grenzerträge zu berücksichtigen. Ebenso sind im nichtlinearen Modellansatz die abnehmenden Erträge bei der Futterbereitstellung für die Tiere zu berücksichtigen.

Das Modell ist bereits erfolgreich in GAMS implementiert. Hierbei wurde ein modularer Aufbau zugrunde gelegt. Die Datenbasis befindet sich in einer separaten Datenbank, auf die das Modell nach dem Start der Berechnung automatisch zugreift. Die Modellgleichungen, also der prozessanalytische Ansatz sowie Daten, die von anderen Modellen nicht benötigt werden, befinden sich in einer weiteren Datei. Die Ergebnisse werden automatisch aufbereitet und in entsprechende Dateien, mit denen zuvor definierten Ausgabeformaten, ausgegeben. Die Dateien, die die Ergebnisse des ökonomischen Modells auf Landkreisebene enthalten, stehen damit dem Disaggregationstool zur Verteilung auf die Proxel zur Verfügung.

Das Basisergebnis des nichtlinearen Modells stimmt mit dem Modellergebnis des Linearen Programmierungsmodells überein. Damit konnte die Phase der Kalibrierung erfolgreich ab-

geschlossen werden. Das Modell wurde bisher für eine Ex-Post-Analyse und für Sensitivitätsanalysen eingesetzt und kann bereits für die Berechnung disziplinärer Szenarien herangezogen werden. Die Berechnung von Szenarien ist für das kommende Jahr geplant. Die Ergebnisse der bisherigen Berechnungen sind noch nicht vollständig ausgewertet und werden derzeit auf Ihre Plausibilität hin überprüft. Auszüge aus den landkreisbasierten Ergebnistabellen des ökonomischen Regionalmodells zeigt Tabelle 2.

Tab. 2: Auszüge aus den Ergebnistabellen des ökonomischen Regionalmodells

Anbauumfang in Hektar						
Landkreis	Winterweizen	Sommerweizen	Hülsenfrüchte	Wintergerste	Körnermais	...
Altottin	2301	49	41	934	1257	
Berchtes	302	0	0	142	26	
BadToelz	186	32	0	16	0	
Dachau	7451	253	48	2885	863	
...						

Landkreis	Deckungsbeitrag (€)	Arbeitskräfte (Ak)	...
Altottin	49552322	2162	...
Berchtes	26387524	771	...
BadToelz	34209822	1042	...
Dachau	45849972	1392	...
...			

In Abbildung 3 sind die ersten vorläufigen Ergebnisse der Berechnungen für das Basisjahr 1995 in graphischer Form am Beispiel des Zuckerrübenanbaus dargestellt.

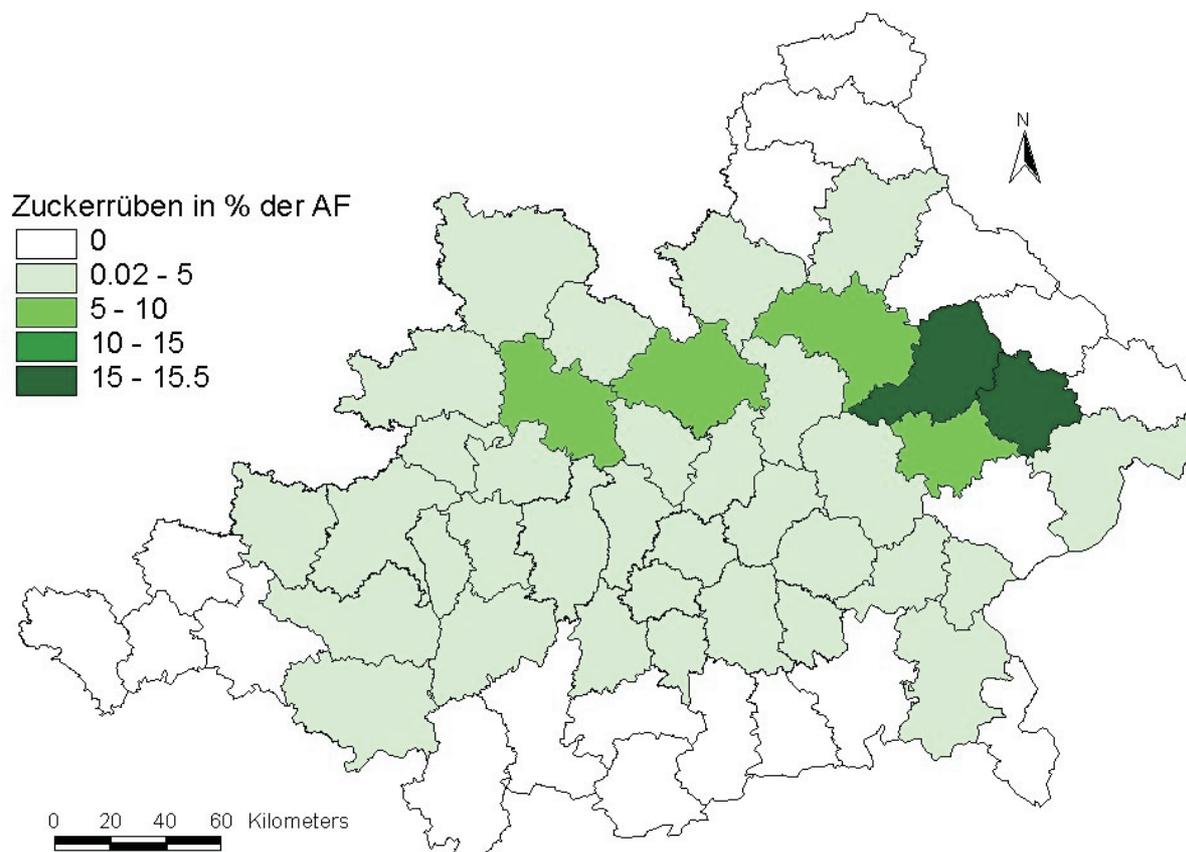


Abb. 3: Anteil des Anbaus von Zuckerrüben an der Ackerfläche (AF) pro Landkreis im deutschen Teil des Einzugsgebietes der Oberen Donau

5. Entwicklung des Disaggregations-Tools

Um die agrarökonomischen Modellergebnisse, die auf Landkreisebene vorliegen, auf die Proxel zu verteilen, wurde von der Projektgruppe Agrarökonomie ein Disaggregations-Tool entwickelt. Bisher wurde mit Hilfe des Disaggregations-Tools die Verteilung der agrarischen Landnutzung realisiert. In einem nächsten Schritt sollen Verteilungsalgorithmen für die organische Düngung und den Wasserverbrauch entwickelt und eingearbeitet werden. Zudem wird das Disaggregations-Tool zukünftig noch weiter verfeinert und automatisiert.

5.1 Das Regelwerk

Die Disaggregation der agrarökonomischen Modellergebnisse 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, sowie LVZ/EMZ) wurden die einzelnen Landkreise in Gebiete unterschiedlicher Bonität eingeteilt (vgl. Abb. 4). 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. wird 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%.

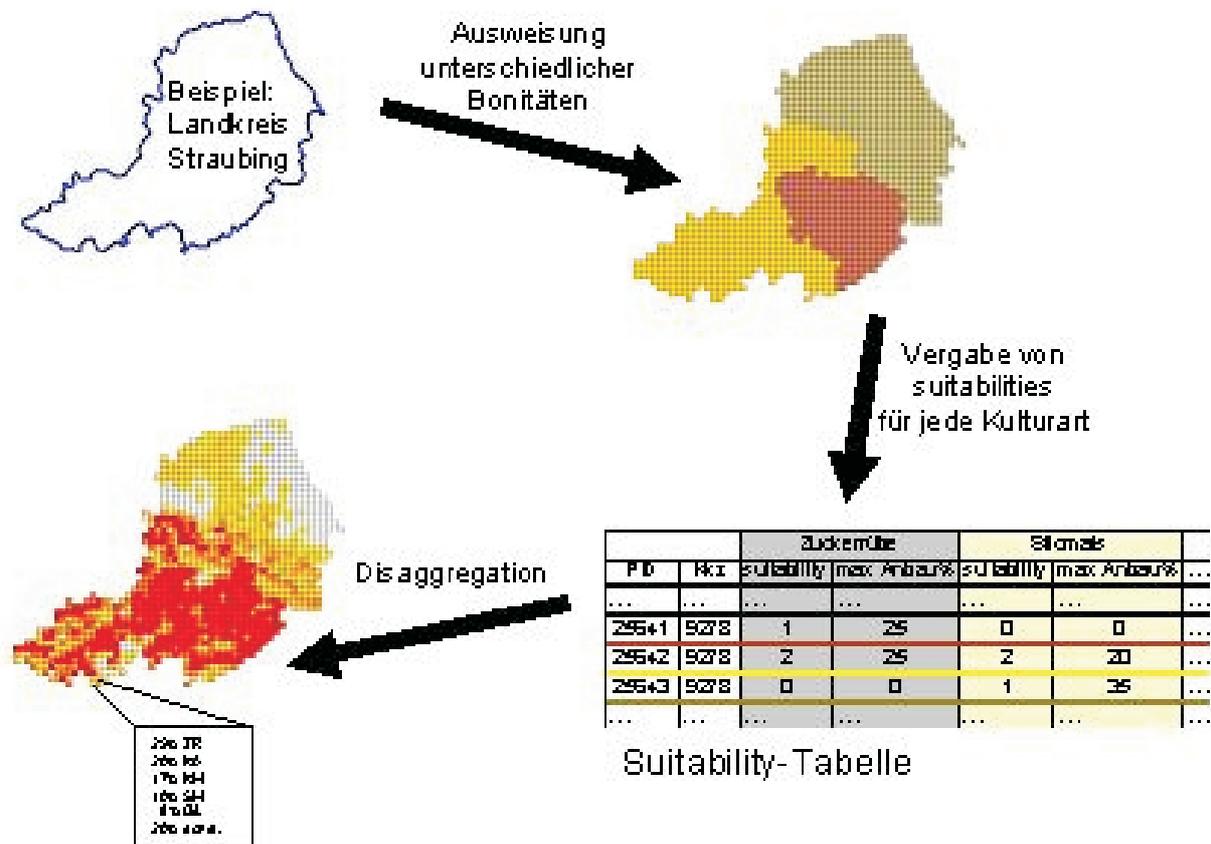


Abb. 4: Schema der Ableitung des Regelwerkes für die Disaggregation

5.2 Disaggregations-Prozedur

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 (vgl. Abb. 5). 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.

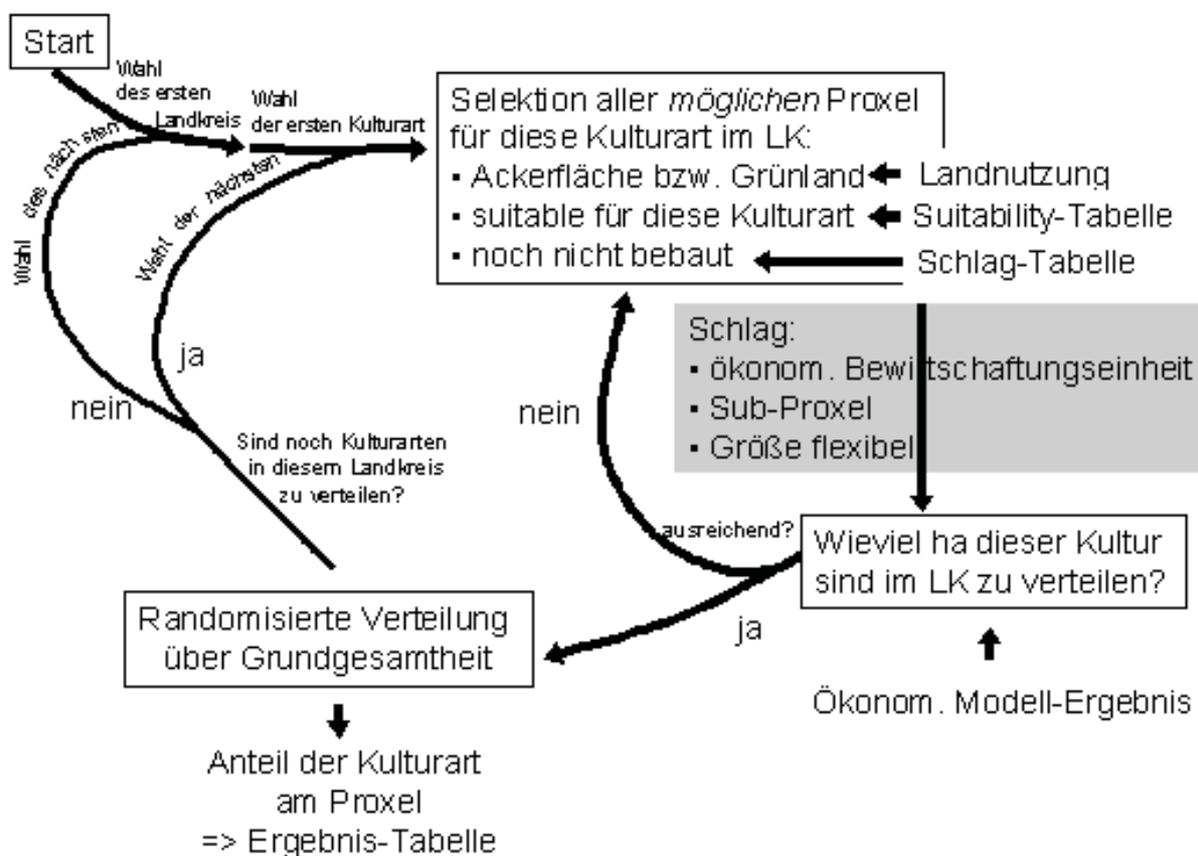


Abb. 5: Abschlussschema des Disaggregationstools

Erste Disaggregationsergebnisse zeigen, dass einzelne Kulturarten nur oder gehäuft in bestimmten Gebieten vorkommen, während andere nur wenig vertreten sind (vgl. Abb. 6). So ist z.B. das Allgäu dominant von der Grünlandnutzung bestimmt, wohingegen in den Gäugebieten Bayerns Zuckerrübe und Kartoffel verstärkt angebaut werden.

Im Vergleich zu den Ergebnissen auf Landkreisebene aus dem ökonomischen Regionalmodell (vgl. Abb. 3) 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.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der Disaggregation der Landnutzung für das Basisjahr 1995 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.

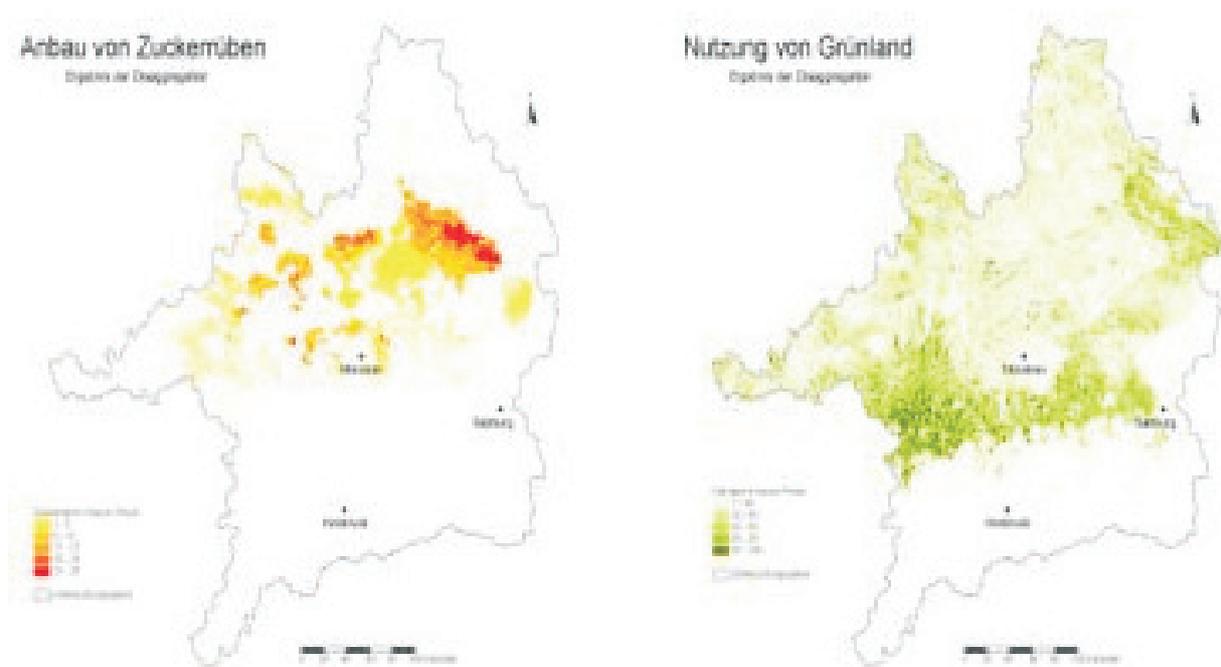


Abb. 8: Erste Ergebnisse der Disaggregation für die Kulturarten Zuckerrübe und Grünland

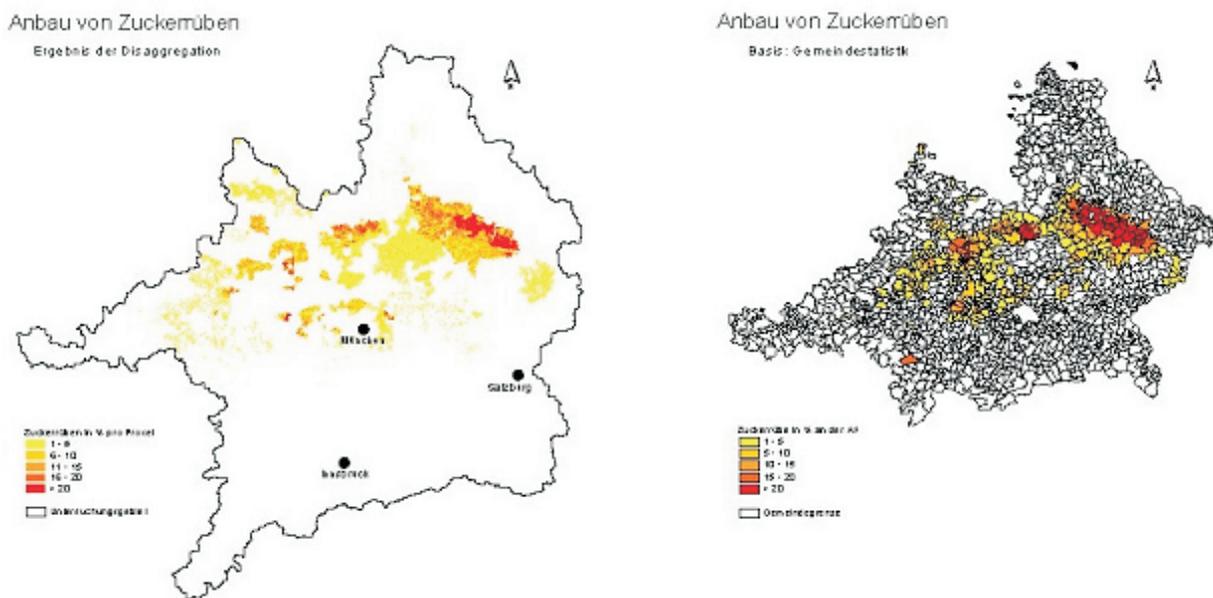


Abb. 6: Vergleich der Verteilung der Zuckerrübenfläche anhand des Disaggregationstools und der Gemeindestatistik von Bayern und Baden-Württemberg

6. Einbindung des Teilprojekts in das Gesamtvorhaben

6.1 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, aber auch für die Kommunalverwaltung ländlicher Gemeinden und die Planungsbehörden mit Schwerpunkt im Ländlichen Raum dar.

Die Verbindung zum Gesamtprojekt erfolgt einerseits über den Austausch der Informationen zur agrarischen Landnutzung. Dies erfolgt in zweifacher Weise: einerseits werden für das Basisjahr 1995 die Daten zur Landnutzung (Ackerfläche und Grünland) aus den zentralen Proxel tables entnommen. Da dort aber aufgrund der begrenzten Aussagefähigkeit der Fernerkundungsdaten wahrscheinlich nicht alle relevanten landwirtschaftlichen Kulturen bereit gestellt werden können, werden diese Angaben durch die Daten aus der Agrarstatistik ergänzt werden. Andererseits kann das Ergebnis der Optimierungsläufe des Agrarsektormodells als Grundlage für den landwirtschaftlichen Teil einer neuen Landnutzung im Rahmen von Szenarien dienen. Durch die Verbindung des agrarökonomischen Teilprojektes zu der Gruppe „Atmosphäre“, die insbesondere den Niederschlag innerhalb des Gesamtprojektes modelliert, und der Umweltökonomie, die Entwicklungen des Wasserpreises abbildet, wird zudem eine wesentliche Grundlage für die gemeinsame Berechnung von Global Change als auch politischen Szenarien ermöglicht.

Eine weitere Verbindung besteht durch den direkten Austausch von einzelnen Parametern. Diese werden unter 6.2 bei der Erläuterung der technischen Umsetzung in UML vorgestellt.

6.2 Schnittstellen in UML

Daten zur Landnutzung auf der Proxelebene liefern wertvolle Zusatzinformationen, die mit Partnern in DANUBIA ausgetauscht werden können. Es ist unumstritten, dass Veränderungen in der Landnutzung ganz wesentlich durch anthropogene Eingriffe und insbesondere durch landwirtschaftliche Aktivitäten beeinflusst werden. Aufgrund zahlreicher Interaktionen sind sie die wesentlichen Bestimmungsfaktoren für Veränderungen unserer natürlichen Umwelt, die sowohl positiver als auch negativer Art sein können (VERBURG et al. 2000). Die Wirkungen auf die Ressource Wasser sind vielfältig. Einerseits hat die Düngung einen Einfluss auf die Grundwasserqualität. Die Verteilung der agrarischen Landnutzung und der Anbau unterschiedlicher Kulturarten haben Auswirkungen auf die Grundwasserneubildung sowie andere hydrologische Faktoren, und die Bewässerung beeinflusst den Anspruch an die Wasserversorgung. Auf der anderen Seite ist die Landwirtschaft von natürlichen Standortbedingungen abhängig (z.B. Niederschlag).

Um diese Beziehungen innerhalb von DANUBIA zu realisieren, wurde die Einbindung des Teilprojektes 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.

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 8 dargestellt. Die Schnittstellen repräsentieren den derzeitigen Wissensstand hinsichtlich des Datenaustauschs zwischen den einzelnen Arbeitsgruppen und können bei Bedarf erweitert werden.

Innerhalb des Objektes „Actors“ wurde der Datenaustausch mit dem Teilobjekt „WaterSupplyActor“ stärker differenziert. Da ein möglicherweise zukünftig notwendiger Wasserbedarf zur Bewässerung nicht aus dem Trinkwasser entnommen wird, sondern beispielsweise direkt aus angrenzenden Fließgewässern, wurde zusätzlich ein „AgriculturalIrrigationWaterDemand“ bzw. „-Supply“ formuliert.

Der Düngungszeitpunkt und die Höhe der Düngergaben (N) wird zur Bestimmung des Nitratgehaltes an das Teilobjekt „LandSurfacePhysical“ übermittelt. Dieses wiederum liefert die im Herbst ermittelten Nitratgehalte „SoilNitrateConcentration“ zurück, um auf mögliche überhöhte Nitratgehalte in bestimmten Proxeln hinzuweisen. Diese Information kann von dem in der zweiten Projektphase zu entwickelnden Farming Decider dazu verwendet werden, um Maßnahmen zur Verringerung des Nitratgehaltes einzuleiten. Zudem wird von „LandSurfacePhysical“ eine „SoilWaterSaturation“ für jedes Proxel bereitgestellt. Dies ermöglicht in Verbindung mit den Niederschlagsereignissen, die vom „Atmosphäre“ Objekt geliefert werden, eine Ein-

schätzung der Befahrbarkeit der Flächen in den verschiedenen Bearbeitungszeiträumen. Die Daten zur Bewirtschaftung der landwirtschaftlich genutzten Flächen, wie Angaben zum Saat- und Erntezeitpunkt für die verschiedenen Kulturarten im Ackerbau sowie die Nutzungszeitpunkte des Grünlandes, werden an das Teilobjekt „LandSurfaceBiological“ übergeben und gehen in deren Wachstumsmodelle ein. Nach der Ernte bzw. dem Schnitt liefert dieses „Teilobjekt“ durch eine Rückkopplung den erzielten Ertrag zurück.

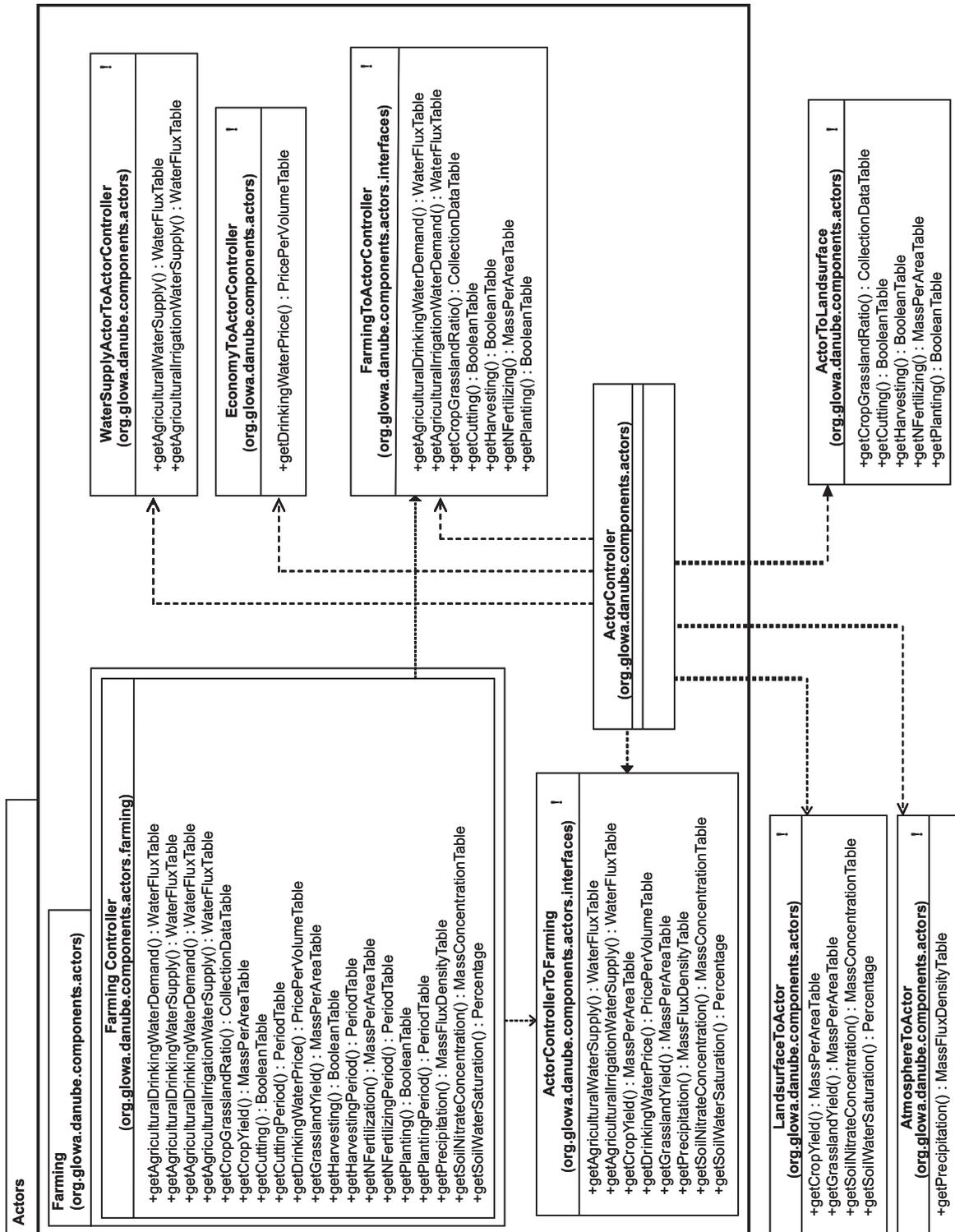


Abb. 9: UML Umsetzung der Schnittstellendefinitionen der Klasse „Farming“

7. Nächste Schritte

Folgende Arbeiten sollen bis zum Ende der ersten Phase des GLOWA-Danube Projektes durchgeführt werden. Es werden erste Entwicklungsansätze des Farming Deciders ausgearbeitet: Gemeinsam mit den TP Meteorologie und Hydrologie wird die Niederschlags- und boden-feuchteabhängige Verteilung der Verfahrensschritte der pflanzlichen Produktion erarbeitet. Dabei reagiert der Farming Decider auf die Rückmeldungen hinsichtlich Niederschlag und Bodenfeuchte, um über die Durchführung von pflanzenbaulichen Maßnahmen (Saat, Dünung, Ernte,...) zu entscheiden.

Das Transformations-Tool wird um eine Komponente zur Verteilung des organischen Düngers aus der Viehhaltung und der damit verbundenen Stickstoffmengen erweitert.

Die Daten des österreichischen Teils des Einzugsgebietes der Oberen Donau sollen, sobald sie vollständig zur Verfügung stehen, ausgewertet werden, und das Agrarsektormodell um diese Regionen erweitert werden.

Ein weiterer Schwerpunkt ist die Verbesserung der Beziehungen zwischen dem regionalen ökonomischen Modell und dem Disaggregations-Tool. Um die Kopplung des Agrarsektormodells mit dem Disaggregations-Tool zu verbessern, muss das vorliegende Agrarsektormodell so umgeschrieben werden, dass der lineare Teil (für die Berechnung der Schattenpreise) nicht mehr zuerst berechnet werden muss. Hierfür müssen die Ergebnisse des linearen Programmierungsmodells in Datenbanktabellen abgespeichert werden, die bei den anschließenden Szenarienläufen des nichtlinearen Modells automatisch aufgerufen werden. Zudem wird die Reaktion der Verteilung auf die im ökonomischen Modell unterstellten Annahmen zum Verhalten der Landwirte durch den Vergleich eines kostenseitigen bzw. ertragsseitigen Optimierungsansatzes eine zentrale Rolle spielen.

Außerdem wird das Objekt „Farming“ über die Anbindung an den „ActorController“, der die zentrale Schnittstelle des Verbundobjekt „Actors“ an die anderen Verbundobjekte („Landsurface“, „Atmosphäre“, etc.) darstellt, in das Entscheidungsunterstützungssystem DANUBIA implementiert.

8. Veröffentlichungen, Webdarstellung, Vorträge

Vorträge:

Das Forschungskonzept von GLOWA-Danube und des agrarökonomischen Teilprojekts wurde in verschiedenen Vorträgen der Fachöffentlichkeit vorgestellt:

- 13. 11. 2001: Präsentation des Forschungskonzepts von GLOWA-Danube im Rahmen des Umweltstudiengangs der Universität Südböhmen in České Budějovice (Herrmann).
- 29.11. 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 (Herrmann).
- 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) (Herrmann)
- 25.1.2002: Präsentation des Forschungskonzeptes von GLOWA-Danube auf einem Poster im Rahmen des Hohenheimer Umwelttages zum Thema „Globale Klimaänderung und Ernährungssicherung“ (DABBERT et al.).

- 17.5.2002: Präsentation des Forschungs- und Integrationskonzeptes von GLOWA-Danube beim Sonderforschungsbereich „The Uplands Program“, Universität Hohenheim (Vogel).
- 28.-31.8.2002: Poster presentation “Socio economic analysis and modelling of agricultural water and land use” on the 10th EAAE Congress “Exploring Biodiversity in the European Agri-Food System”, Zaragoza, Spain. (Vogel).
- 26.-27.9.2002: Vortrag auf der Tagung der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie, Wien. Titel: „Wie kommt die Landwirtschaft aufs Proxel?“ (Herrmann).
- 16.-22.8.2003: Contributed paper “Integrative techniques to connect economic, social and natural science aspects for sustainable water use”, 25th International Conference of Agricultural Economists, Durban/Südafrika, in review. (Vogel).

Veröffentlichungen:

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. Stuttgart: Günter Heimbach, S. 157-163.

VOGEL, T., HERRMANN, S., DABBERT, S. and 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.

HERRMANN, S. (eingereicht): Wie kommt die Landwirtschaft aufs Proxel? Integration ökonomisch relevanter Information in naturwissenschaftliche Modellsysteme. Landnutzung und Landentwicklung.

Laufende und abgeschlossene Diplom- und Doktorarbeiten:

• Doktorarbeiten

Hartmut Schuster: GIS-basierte räumliche Verteilung statistischer Daten auf verschiedenen Skalenebenen am Beispiel der Landwirtschaft im Einzugsgebiet der oberen Donau (laufend).

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 (laufend).

Julia Kolanowski: Ökonomische Bewertung der einzelbetrieblichen Entwicklung unter erhöhten Grundwasserschutzanforderungen am Beispiel des württembergischen Donaurieds (laufend).

Internetpräsentation:

Eine Präsentation des agrarökonomischen Teils des GLOWA-Danube-Projektes der Universität Hohenheim im Internet existiert unter: <http://www.uni-hohenheim.de/i410a/~glowa/>.

9. Literatur

- RÖHM, O., (2001): Analyse der Produktions- und Einkommenseffekte von Agrarumweltprogrammen unter Verwendung einer weiterentwickelten Form der Positiven Quadratischen Programmierung. Shaker, Aachen.
- RÖHM, O. and DABBERT, S. (2003): Integrating agri-environmental programs into regional production models: An Extension of Positive Mathematical Programming. American Journal of Agricultural Economics, forthcoming.
- VERBURG, P.-H., CHEN, Y., SOEPBOER, W. and 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.

Wintertourismus im Mittelpunkt. Zusätzlich präsentierte die Forschergruppe Tourismus den Stand ihrer Arbeiten und die vorgesehenen nächsten Arbeitsschritte. Bei den nächsten drei Arbeitstreffen der einzelnen Gruppen von GLOWA-Danube in München (1./2. August 2002), Freiburg (29./30. August 2002) und Stuttgart (19./20. September 2002) wurde die Vorgehensweise zur Anfertigung des Förderantrages für die zweite Phase von GLOWA-Danube von 2004 bis 2006 koordiniert. Beim Treffen in Freiburg wurde von der Arbeitsgruppe Tourismus zudem das neu entwickelte touristische Akteurmodell zur Ermittlung des touristischen Wasserverbrauches mit seinen theoretischen Grundlagen vorgestellt. Ende des Jahres fand schließlich ein weiterer Doktoranden-Workshop am 10./11. Dezember 2002 in Stuttgart statt, bei dem in verschiedenen Vorträgen die Problematik von Scalingprozessen dargestellt und gemeinsam Lösungswege erarbeitet wurden. Dabei wurden von der Forschergruppe Tourismus die aus ihrer Sicht entscheidenden Probleme der Disaggregation von auf Gemeindeebene zusammengefassten Daten auf die Ebene der Untersuchungseinheit der Proxel und der proxelgenauen Verortung flächenhafter wasserintensiver Infrastruktureinrichtungen (z.B. Golfplätze oder künstlich beschneite Skipisten) dargestellt.

Zudem wurde die Arbeit der Forschergruppe Tourismus beim Tag der offenen Tür der Bayerischen Akademie der Wissenschaften zum Thema „Jahr der Berge“ am 19. Oktober 2002 in München der Öffentlichkeit präsentiert. Bei dieser Veranstaltung wurden die Besucher anhand eines Posters und im persönlichen Gespräch mit Dipl.-Geogr. Stefan Neumayr über die Untersuchungsansätze zur Ermittlung des touristischen Wasserverbrauches, das angebotsorientierte touristische Akteurmodell und bereits vorliegende Ergebnisse aus dem Detailuntersuchungsgebiet Landkreis Miesbach informiert.

Beim gleichzeitig auch von der Bayerischen Akademie der Wissenschaften durchgeführten wissenschaftlichen Rundgespräch zum Internationalen Jahr der Berge wurde von der Forschergruppe Tourismus ein Vortrag zum Thema „Skitourismus im Spannungsfeld von Alpen und Indoor-Ski-Hallen“ gehalten. Dabei wurde die Wahrnehmung und Einstellung von Skifahrern gegenüber diesen Anlagen anhand der Ergebnisse von verschiedenen Befragungen analysiert. Im Rahmen des Forschungsvorhabens GLOWA-Danube ist diese Fragestellung in der zweiten Förderphase von Interesse, in der u.a. verschiedene klimatische Szenarien simuliert werden, die mit einem Anstieg der Höhengrenze für eine für die Ausübung des Wintersports ausreichende Schneedecke verbunden sind und Indoor-Ski-Hallen verstärkt als Alternativen zu traditionellen Skigebieten beachtet werden müssen.

Arbeitsschritte im abgelaufenen Kalenderjahr 2002

Im abgelaufenen Kalenderjahr 2002 hat sich die Forschergruppe Tourismus (BATIIa/2-Stelle) im wesentlichen mit der Entwicklung des angebotsorientierten Akteurmodells, mit der Beschaffung und Eingabe relevanter touristischer und demographischer Kennziffern als Grundlage für die Berechnung des touristischen Wasserverbrauches pro Proxel, mit der Abstimmung neuer Schnittstellen mit anderen GLOWA-Danube Forschergruppen für die zweite Förderphase (2004 bis 2006) und mit der für das Submodell „Übernachtung“ notwendigen Typisierung der Gemeinden im Untersuchungsraum beschäftigt.

Schließlich wurde von der Forschergruppe Tourismus der Antrag für die zweite Förderphase des Forschungsvorhabens GLOWA-Danube angefertigt.

Entwicklung des Modells der Forschergruppe Tourismus

Im vergangenen Jahr wurde von der Forschergruppe Tourismus ein touristisches Akteurmodell zur Integration in das Entscheidungs-Unterstützungssystem DANUBIA entwickelt. In diesem Zusammenhang ist anzumerken, daß die Gruppe Tourismus mit dieser Modellierung - wissenschaftlich gesehen - Neuland betreten hat, weil Modellierungsversuche zur Quantifizierung des Touristenaufkommens und ihres Wasserbedarfs bzw. -verbrauchs in der Tourismusforschung bisher noch nicht unternommen worden sind. Es gibt zwar einige Modellansätze auf der Mikroebene, wie beispielsweise der Entwurf eines nachfrageorientierten Modells zur Umwelt-

kennzeichnung touristischer Leistungen von LÜBBERT (1999), der jedoch von der Autorin nicht empirisch überprüft worden ist. Generell existieren in der Tourismusforschung bis heute fast ausschließlich Modelle auf der Makroebene, wie beispielsweise das ökonomische Modell des Tourismus von FREYER (1998, S. 38 f.), in denen das System des Tourismus in seiner Gesamtheit erklärt wird. Dagegen gibt es aber kaum Ansätze auf der Mikroebene, die den Touristen bzw. den Anbieter touristischer Infra- und Suprastruktureinrichtungen als handelnden Akteur in den Mittelpunkt der Modellierung rücken. Im Rahmen der Ermittlung des touristischen Wasserverbrauchs innerhalb des Forschungsvorhabens GLOWA-Danube ist dieser Ansatz jedoch unbedingt erforderlich, da sich der touristisch verursachte Wasserverbrauch aus der Summe des individuellen Verhaltens der einzelnen Akteure auf der Angebots- und Nachfrageseite zusammensetzt.

Im Vergleich dazu können viele naturwissenschaftliche Disziplinen, in denen bereits seit Jahrzehnten verschiedene Prozesse und Abläufe (z.B. Niederschlags- oder Verdunstungsabläufe) modelliert werden, auf einen wesentlich umfangreicheren Erfahrungsschatz bei der Modellbildung auf der Mikroebene zurückgreifen.

Im Bereich der Tourismusforschung ist ein entscheidendes Problem darin zu sehen, dass die Reiseentscheidung der Touristen ein sehr komplexes System darstellt, das von einer Vielzahl verschiedener Kriterien wie z.B. gesellschaftlichen und touristischen Trends oder ökonomischen Rahmenbedingungen beeinflusst wird, die in vergleichsweise kurzer Zeit deutlichen Schwankungen unterliegen und daher nur schwer modellhaft beschrieben werden können. Die zukünftig zu erwartenden Zahl von Touristen in bestimmten Regionen kann - aus den oben genannten Gründen - nur sehr ungenau prognostiziert werden. Generell ist es nur möglich, die Übernachtungszahlen anhand der Analyse der Entwicklung der letzten Jahrzehnte fortzuschreiben, wobei jedoch die ökonomischen Rahmenbedingungen nur unzureichend, die gesellschaftlichen und touristischen Trends kaum in die Prognose integriert werden können. Daher kann auch der im Rahmen des Forschungsvorhabens GLOWA-Danube für die Untersuchungseinheit der Proxel zu bestimmende touristische Wasserverbrauch nur abgeschätzt werden.

Die Forschergruppe Tourismus hat den Versuch unternommen, mit einem einfachen Modell das Verhalten von Touristen funktional zu beschreiben und zu formalisieren (vgl. Abb. 1). Bei der Entwicklung dieses Modells erfolgte in Anlehnung an das ökonomische Grundmodell des Tourismus von FREYER (1998, S. 38 f.). Dieses Grundmodell wurde vereinfacht und dahin gehend weiterentwickelt, dass im Modell der Forschergruppe Tourismus der nachfragende Touristentyp die zentrale Rolle im Zusammenspiel von Angebot und Nachfrage einnimmt. Ausgehend von diesem Ansatz wurde bereits im Jahr 2001 eine Modellierung verschiedener Touristentypen hinsichtlich ihres Wasserverbrauchsverhaltens und der Bedeutung der Ressource Wasser für ihre Reiseentscheidung angestrebt.

Diese Touristentypen sollten durch „personenspezifische“ Eigenschaften über das individuelle Verhalten (z.B. Reiseverhalten) und soziodemographische Merkmale der Touristen (z.B. Nettoeinkommen) bestimmt werden. Die hierzu benötigten Informationen wurden durch eine primärstatistische Erhebung im Detailuntersuchungsgebiet der Forschergruppe Tourismus, dem Landkreis Miesbach, mit ca. 600 Probanden erhoben. Die nach der Auswertung der Interviews von KEGLMAIER (2002) durchgeführten clusteranalytischen Verfahren zur Touristentypisierung führten jedoch nur zu unbefriedigenden Ergebnissen, da keine trennscharfen Touristentypen ermittelt werden konnten.

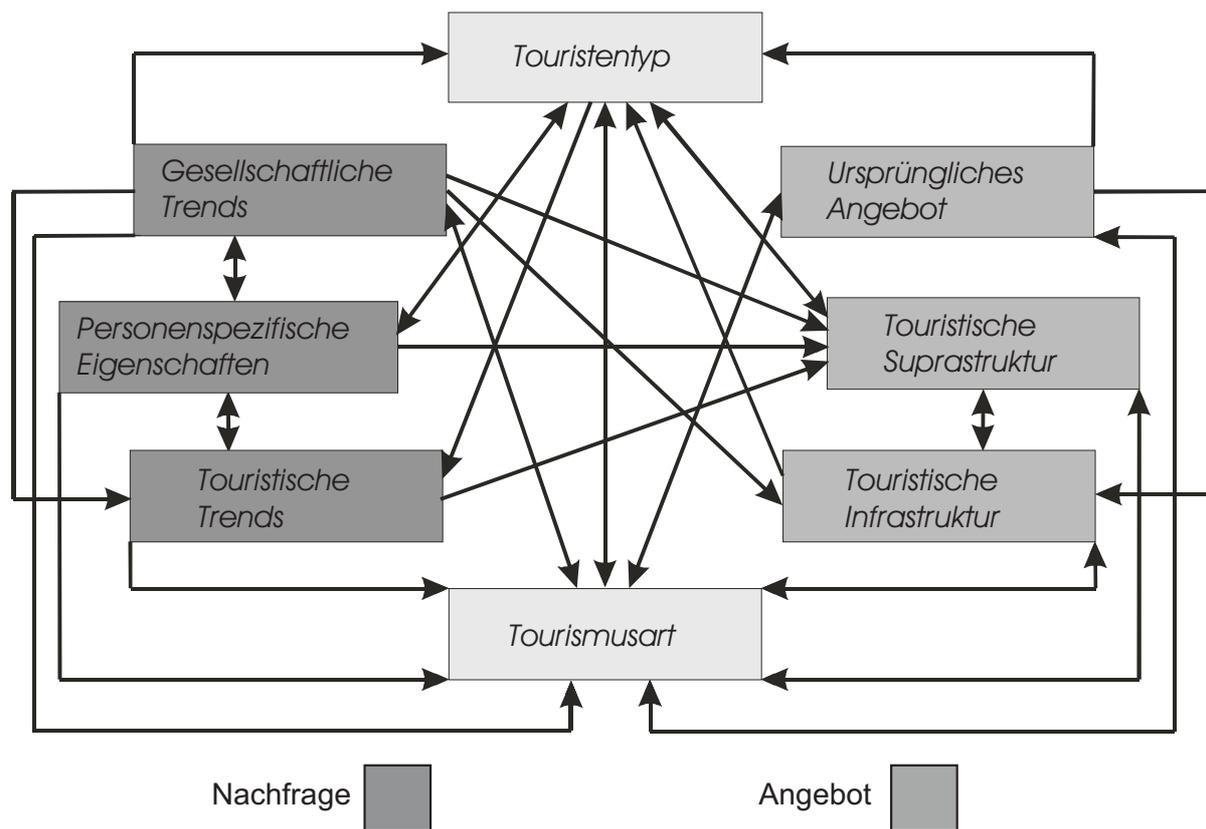


Abb. 1: Einfaches Modell des Tourismus

Aus diesem Grund wurde die nachfragebasierte Entwicklung eines touristischen Akteurmodells zugunsten eines angebotsorientierten Akteurmodells (vgl. Abb. 2) verworfen. Das angebotsorientierte touristische Akteurmodell berücksichtigt, dass auf der Angebotsseite ein Wasserverbrauch sowohl im Bereich der touristischen Infra- als auch der Suprastruktur stattfindet, wobei sich quantitative Unterschiede bereits aus der Art des Tourismus(-segments) ergeben können. Innerhalb des Modells werden daher die Leistungen der anbietenden Akteurgruppen, wie Beherbergung und Gastronomie, sowie die Akteure als Anbieter diverser Infrastruktureinrichtungen (z.B. Bergbahn- oder Skiliftbetreiber) berücksichtigt. Die Operationalisierung dieses touristischen Angebots erfolgt kleinräumig (z.B. innerhalb der Siedlungsflächen eines Proxel) bzw. punktgenau (z.B. Schneekanonen).

Die Quantifizierung des durch diese Akteure „verursachten“ Wasserverbrauchs wird dabei über einen konstanten und einen variablen Anteil (tatsächliche Nachfrage) modelliert. Es ist davon auszugehen, dass fast alle Einrichtungen der touristischen Infra- bzw. Suprastruktur einen konstanten Wasserverbrauch aufweisen, der unabhängig davon entsteht, ob bzw. wie viele Touristen diese Anlagen nutzen. So muß beispielsweise ein Golfplatz bei trockener Witterung auch dann bewässert werden, wenn er nicht genutzt wird, um die Einrichtung in einem intakten Zustand zu erhalten. Ebenso ist für die Pflege der Außenanlagen eines Beherbergungsbetriebes - vor allem in den Sommermonaten - ein Wasserbedarf zu berücksichtigen, der unabhängig von der Zahl der Gäste ist. Gleiches gilt z.B. auch für Swimmingpools, die einen Wasserbedarf haben, auch wenn keine oder nur wenige Gäste diese Infrastruktur nutzen. Die Forschergruppe Tourismus wird diese konstanten Wasserverbrauchswerte für die verschiedenartigen touristischen Infra- und Suprastruktureinrichtungen durch Expertengespräche mit deren Betreiber ermitteln und in die Berechnungen des touristischen Akteurmodells integrieren (vgl. Arbeitsschritte 2003).

Auf der anderen Seite ist offensichtlich, dass der touristisch verursachte Wasserverbrauch vieler Infra- und Suprastruktureinrichtungen mit der Anzahl der Nutzer ansteigt. Beispielsweise muss in den Beherbergungsbetrieben und Gaststätten mit einer zunehmenden Zahl von Gästen mehr Wasser für die Reinigung der Bettwäsche oder für das Spülen des Ge-

schirrs bereitgestellt werden. In öffentlichen Hallen- und Freibädern muss bei einer höheren Zahl von Nutzern mit einem deutlich höheren Wasserverbrauch durch den häufiger erforderlichen Wasseraustausch in den Becken und für die Körperpflege der Gäste gerechnet werden. Diese variablen Anteile verschiedener touristischer Einrichtungen werden bei der Modellierung des touristischen Wasserverbrauches durch Berücksichtigung der tatsächlichen Gästezahlen ebenfalls berücksichtigt.

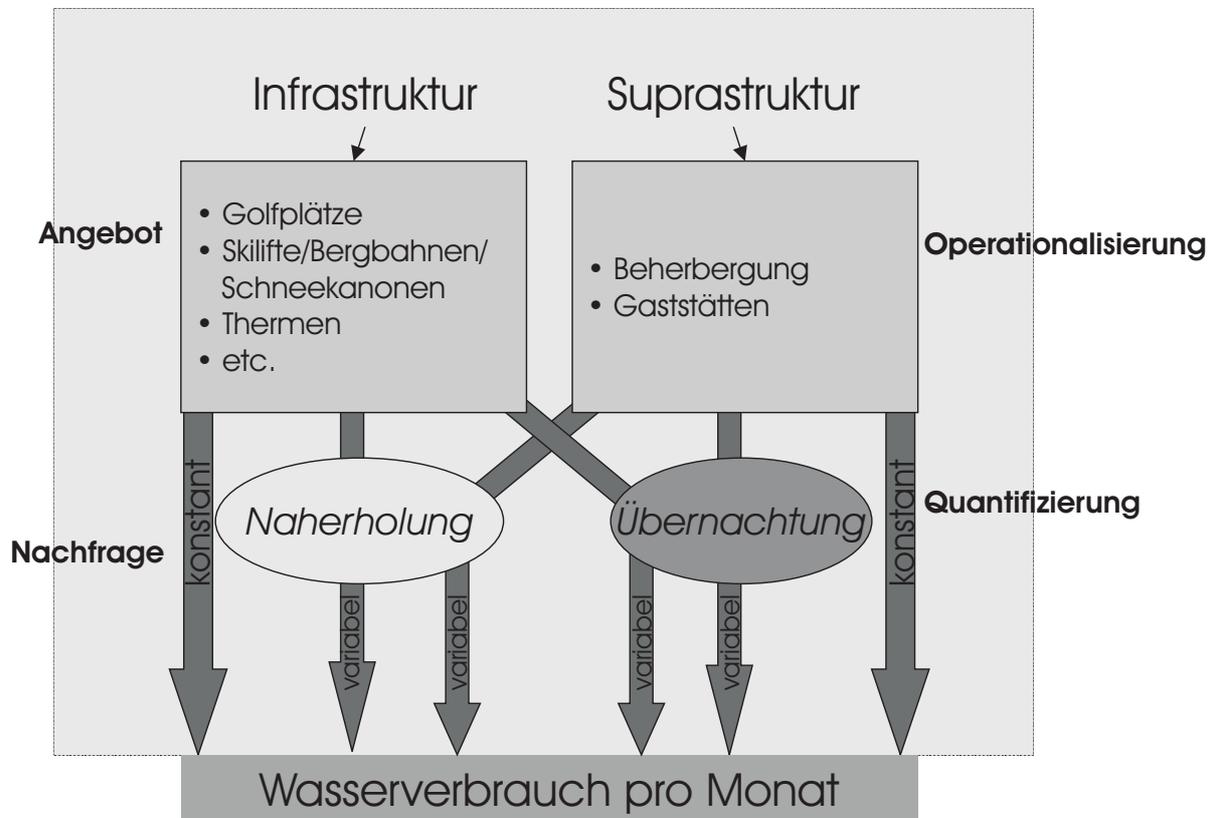


Abb. 2: Angebotsorientiertes touristisches Akteurmodell

Da Naherholer und übernachtende Touristen sich in ihrem Wasserverbrauch deutlich unterscheiden, werden diese beiden Segmente bei den Berechnungen im angebotsorientierten Akteurmodell der Forschergruppe Tourismus getrennt voneinander behandelt. Diese Trennung ist deshalb erforderlich, weil von Naherholer z.T. andere touristische Aktivitäten als von übernachtenden Touristen bevorzugt genutzt werden. Generell müssen beispielsweise für die Teilnehmer an der Naherholung keine Beherbergungsbetriebe zur Übernachtung bereitgestellt werden. Andere touristische Infra- bzw. Suprastruktureinrichtungen (z.B. Thermen oder Golfplätze) werden von Naherholern und übernachtenden Touristen in einer unterschiedlichen Intensität genutzt. Diese Überlegungen finden durch die Aufnahme der beiden nachfrageorientierten Submodelle „Übernachtung“ bzw. „Naherholung“ Eingang in das von der Anlage her angebotsorientierte touristische Akteurmodell.

Aufgrund der Tatsache, dass sich der touristische Wasserverbrauch zwischen der großbetrieblichen Hotellerie (Außenanlagen, Wellness-Bereiche usw.) und der kleinbetrieblichen Parahotellerie deutlich unterscheidet, wird im Submodell „Übernachtung“ das Einzugsgebiet von GLOWA-Danube in eher groß- bzw. kleinbetrieblich strukturierte Räume unterschieden. Als Grundlage für diese Differenzierung dient der Abgleich der amtlichen Beherbergungsstatistik (Übernachtungen nur in Betrieben mit mehr als 8 Betten) mit den Verbandsstatistiken (alle Übernachtungen), mit dem die Gemeinden im Einzugsbereich in verschiedene Typen hinsichtlich ihres Anteiles an gewerblichen Übernachtungen eingeteilt werden. Die durch dieses Verfahren ermittelten raumstrukturellen Unterschiede der Beherbergungsinfrastruktur sind wesentlich für die Quantifizierung des touristischen Wasserverbrauchs durch den übernachtenden Tourismus.

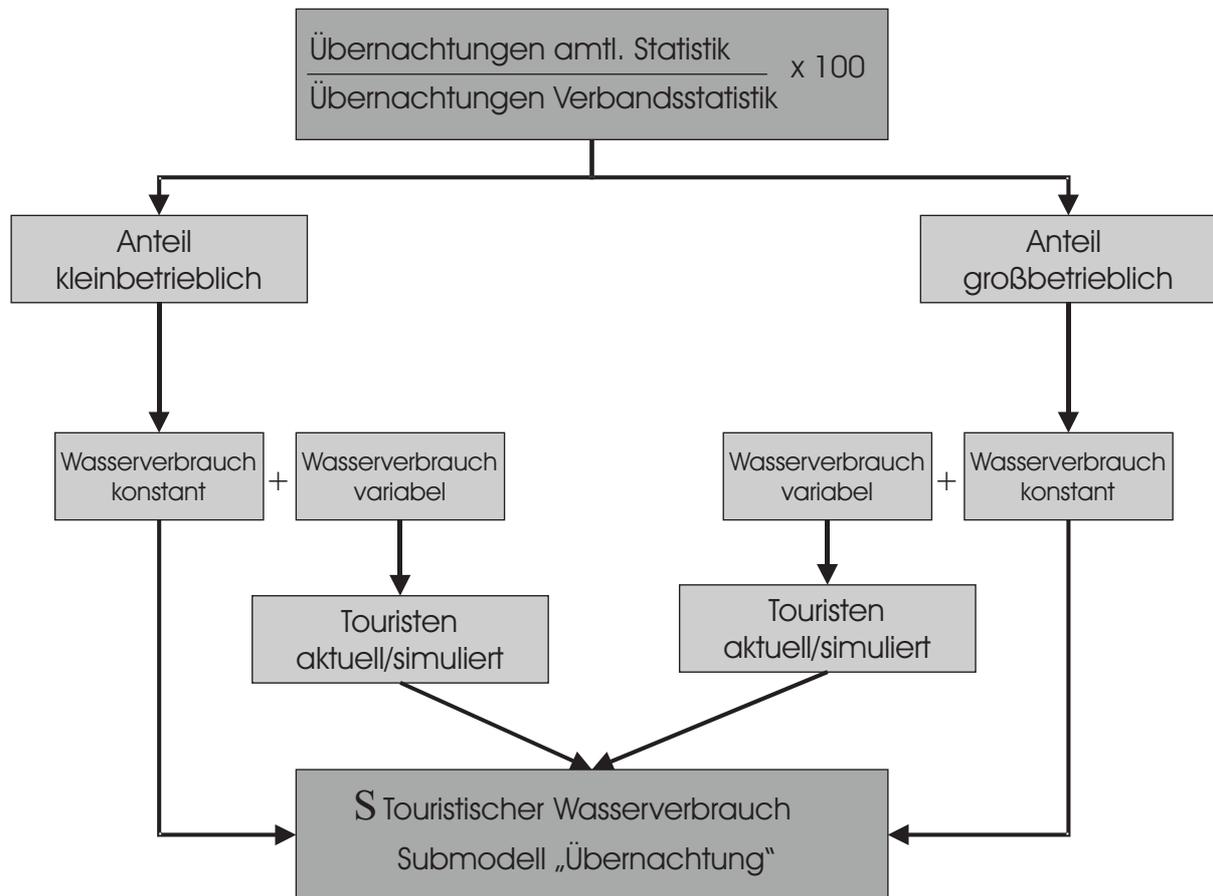


Abb. 3: Submodell „Übernachtung“

Die Entwicklung des Submodells „Naherholung“ wird in der nächsten Förderphase von GLOWA-Danube zwischen 2004 und 2006 in Angriff genommen. Dabei werden neben Aspekten der Bevölkerungsverteilung und der Witterungsbedingungen auch die landschaftlichen Attraktivität und die Erreichbarkeit der Naherholungsräume bei der Modellierung des touristischen Wasserverbrauches durch Naherholer berücksichtigt. Bis zur Entwicklung des Submodells „Naherholung“ verwendet die Forschergruppe Tourismus zunächst Schätzwerte für den durch die Naherholung induzierten Wasserverbrauch, die als grobe Annäherung in die Berechnung einfließen.

Typisierung der Gemeinden im bayerischen Untersuchungsraum von GLOWA-Danube hinsichtlich ihres Anteils an gewerblichen Übernachtungen

Aufgrund der verschiedenartigen Ausstattung der privaten und gewerblichen Beherbergungsbetriebe (z.B. Swimmingpool, Sauna, Außenanlagen) unterscheidet sich sowohl der konstante Wasserverbrauch als auch der - in Abhängigkeit von der Zahl der Übernachtungen - variable touristische Wasserverbrauch nach Größe der Übernachtungsbetriebe deutlich. Für die Berechnung des proxelgenauen touristischen Wasserverbrauches innerhalb des Submodells „Übernachtung“ (vgl. Abb. 3) wurde eine Typisierung entwickelt, die es erlaubt, jede Gemeinde im Einzugsbereich von GLOWA-Danube anhand mehrerer tourismusrelevanter Kriterien zu charakterisieren.

Ziel der Typisierung ist es, eine für den Wasserverbrauch im Beherbergungssektor notwendige Differenzierung des Einzugsgebietes von GLOWA-Danube herzuleiten, ohne eine flächendeckende, arbeitsökonomisch auch nicht zu leistende Bestandsaufnahme der gesamten touristischen Beherbergungsstruktur durchzuführen. Dabei werden die Gemeinden verschiedenen Typen mit einem bestimmten Verhältnis von gewerblichen und privaten Übernachtungen zugeordnet, das für die Berechnung des konstanten Wasserverbrauches in den Beherbergungsbetrieben erforderlich ist, der mit folgender Formel ermittelt wird:

$$\text{Wasserverbrauch} = \ddot{U}_G \times K_{GR} + \ddot{U}_P \times K_{KL}$$

\ddot{U}_G = Anteil an gewerblichen Übernachtungen in Prozent

\ddot{U}_P = Anteil an privaten Übernachtungen in Prozent

K_{GR} = Konstante für Großbetriebe in Liter

K_{KL} = Konstante für Kleinbetriebe in Liter

Die beiden Konstanten für die Groß- bzw. Kleinbetriebe werden von der Forschergruppe Tourismus durch Expertengespräche mit den Anbietern der entsprechenden Beherbergungsbetriebe ermittelt und festgelegt.

Die Typisierung der Gemeinden wurde in einem Ausschnitt des Untersuchungsgebietes von GLOWA-Danube anhand von 144 Beispielgemeinden aus dem Raum Ostbayern und Oberbayern durchgeführt. Diese Fremdenverkehrsregionen wurden ausgewählt, weil sie zum einen eine heterogene Struktur des Tourismus hinsichtlich seiner ökonomischen Bedeutung für die Gemeinden aufweisen und zum anderen neben den Daten der amtlichen Statistik auch die der Fremdenverkehrsverbände für diese Gemeinden zur Verfügung standen. Nach Abschluss der Analyse wurde die anhand der Beispielregionen durchgeführte Typisierung auf den gesamten bayerischen Einzugsbereich von GLOWA-Danube übertragen.

Für die Typisierung der ausgewählten Gemeinden wurden zunächst die Zahlen der amtlichen Fremdenverkehrstatistik 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. Im Gegensatz zur amtlichen Statistik werden in den Verbandsstatistiken auch Übernachtungen von Betrieben aufgeführt, die weniger als 9 Betten anbieten und daher überwiegend dem privaten Übernachtungssektor zugerechnet werden können. Multipliziert man das Verhältnis der Übernachtungszahlen der amtlichen und der Verbandsstatistik mit dem Faktor 100, so erhält man den Anteil der gewerblichen Übernachtungen an allen Übernachtungen der jeweiligen Gemeinde. 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 Jahrgängen für die einzelnen Gemeinden gebildet, der im weiteren als Grundlage für die Typisierung der Beispielgemeinden diente. Auf diese Weise konnte für insgesamt 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 ($r=,445$, Irrtumswahrscheinlichkeit 1%). Im Gegensatz dazu war jedoch nur ein deutlich geringerer Zusammenhang mit anderen Kriterien wie der Tourismusintensität ($r=-,177$, Irrtumswahrscheinlichkeit 5%), der durchschnittlichen Aufenthaltsdauer ($r=-,159$, Irrtumswahrscheinlichkeit 5%) und der Gesamtzahl der Übernachtungen ($r=,156$, Irrtumswahrscheinlichkeit 5%) nachweisbar. Aufgrund dieser Ergebnisse ist die Einwohnerzahl der jeweiligen Gemeinden als wichtigstes Kriterium für die Zuordnung zu einem bestimmten Typ anzusehen.

Neben der Einwohnerzahl werden für die Typisierung der Gemeinden hinsichtlich ihres Anteil 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 indirekte und induzierte ökonomische Effekte nicht in die Berechnung eingehen. Aus diesem Grund hat die Bundesregierung 1997 beim Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung ein Gutachten in Auftrag gegeben, das die wirtschaftlichen Effekte des gesamten Tourismus quantifizieren sollte (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung 1999). 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 ist 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 kann 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 gehen schließlich als beschreibende Charakteristika in die Typisierung der Gemeinden hinsichtlich ihres Anteiles an gewerblichen Übernachtungen ein. Sie dienen also im wesentlichen zur „Abrundung“ des Erscheinungsbildes der vier ermittelten Gemeindetypen. Die verwendeten touristischen und demographischen Variablen werden nicht nur für die Typisierung der Gemeinden im Einzugsbereich von GLOWA-Danube verwendet, sondern zum Teil auch für die Ermittlung des touristischen Wasserverbrauches im Akteurmodell der Forschergruppe Tourismus benötigt.

In der folgenden Tabelle ist die Typisierung nach dem Anteil der gewerblichen Übernachtungen für die vier definierten Gemeindetypen sowie die zur Typisierung verwendeten Kriterien (Einwohnerzahl, Tourismusintensität, durchschnittliche Aufenthaltsdauer) bzw. weitere beschreibende Charakteristika (Lage und eventuelle Prädikatisierungen der Gemeinden) dargestellt.

Typ A kann 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 Wasserverbrauch 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. Im Gegensatz dazu weist 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 können 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 hat der Tourismus für die Gemeinden des Typs C (z.B. Tegernsee, Schliersee). 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).

Tab. 1: Katalog der Kriterien und Charakteristika für die Typisierung der Gemeinden hinsichtlich ihres Anteiles an gewerblichen Übernachtungen

Typ A	Typ B
<ul style="list-style-type: none"> · Hohe Einwohnerzahl (> 10.000) · Geringe Tourismusintensität (< 1.000 Punkte) · Geringe durchschnittliche Aufenthaltsdauer (< 2 Tage) 	<ul style="list-style-type: none"> · Mittlere Einwohnerzahl (5.000 bis 10.000) · Sehr hohe Tourismusintensität (> 7.500 Punkte) · Sehr hohe durchschnittliche Aufenthaltsdauer (> 7 Tage)
<ul style="list-style-type: none"> · Keine Prädikatisierung · Lage außerhalb tourist. Kerngebiete 	<ul style="list-style-type: none"> · Prädikate: Heilbad, Luftkurort · Lage innerhalb tourist. Kerngebiete
Typ C	Typ D
<ul style="list-style-type: none"> · Niedrige bis mittlere Einwohnerzahl (3.000 bis 7.500) · Mittlere bis hohe Tourismusintensität (3.000 bis 7.500 Punkte) · Hohe durchschnittliche Aufenthaltsdauer (4 bis 7 Tage) 	<ul style="list-style-type: none"> · Geringe Einwohnerzahl (< 3.000) · Mittlere Tourismusintensität (1.000 bis 3.000 Punkte) · Mittlere durchschnittliche Aufenthaltsdauer (2 bis 4 Tage)
<ul style="list-style-type: none"> · Prädikate: Luftkurort, Erholungsort, heilklimatischer Kurort · Lage innerhalb tourist. Kerngebiete 	<ul style="list-style-type: none"> · Prädikate: Erholungsort, ohne Prädikat · Lage innerhalb tourist. Kerngebiete

Kriterien
 Charakteristika

In der folgenden Tabelle ist die Anzahl der Gemeinden pro Gemeindetyp und der Mittelwert bzw. der gewichtete Mittelwert des Anteils an gewerblichen Übernachtungen der einzelnen Gruppen zusammengefassten Gemeinden dargestellt (vgl. Tab.2).

Tab. 2: :Statistische Maßzahlen der verschiedenen Gemeindetypen für den Anteil der gewerblichen Übernachtungen an allen Übernachtungen

Gemeindetyp	Anzahl der Gemeinden	Mittelwert	Gewichteter Mittelwert	Standardabweichung	Variationskoeffizient
A	51	91,1%	96,1%	16,9	17,6%
B	18	77,1%	78,0%	17,3	22,2%
C	40	61,7%	61,8%	14,1	22,8%
D	35	53,6%	54,4%	15,2	27,9%

Für die weiteren Berechnungen im touristischen Akteurmodell wird der gewichtete Mittelwert des Anteils an gewerblichen Übernachtungen für die jeweiligen Gemeindetypen verwendet, da bei diesem Wert auch die absolute Anzahl der Übernachtungen in den einzelnen Gemeinden berücksichtigt wird. Anhand der Variationskoeffizienten der einzelnen Gruppen wird deutlich, dass die Streuung um den Mittelwert in den Gemeinden insgesamt recht niedrig ausfällt (bei allen vier Typen $< 30\%$). Die geringste relative Streuung weist der Typ A auf, der Gemeinden mit einer hohen Einwohnerzahl subsummiert, in denen der private Sektor der Übernachtungsbetriebe traditionell nur eine geringe Rolle spielt. Die vergleichsweise hohe Streuung in der Gruppe D lässt sich dadurch erklären, dass in Typ D viele Gemeinden mit einer niedrigen Einwohnerzahl und einem oft auch sehr niedrigen Anteil an gewerblichen Übernachtungen (z.T. unter 30%) zusammengefasst wurden.

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 (vgl. Abb. 4).

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 ist darauf zurückzuführen, dass zum einen in insgesamt 347 Gemeinden (ca. 24% der bayerischen Gemeinden im Einzugsbereich von GLOWA-Danube) tatsächlich keine Übernachtungen durch Touristen beim Bayerischen Landesamt für Statistik registriert wurden. Auf der anderen Seite gibt es eine Pflicht zur Geheimhaltung der Übernachtungszahlen durch die amtliche Statistik, wenn nur eine geringe Zahl von touristischen Betrieben innerhalb einer Gemeinde im Untersuchungszeitraum geöffnet war und daher u.U. Rückschlüsse auf die Übernachtungszahlen einzelner Betriebe möglich wäre. Dies traf auf insgesamt 399 Gemeinden (rund 27%) des bayerischen Untersuchungsgebietes von GLOWA-Danube zu. Obwohl somit 746 bayerische Gemeinden nicht in die Typisierung einbezogen werden konnten, ergeben sich dadurch keine schwerwiegenden Folgen für die Genauigkeit des touristischen Akteurmodell, weil in diesen Gemeinden kein bzw. nur ein zu vernachlässigender touristisch induzierter Wasserverbrauch stattfindet.

Die für das Forschungsvorhabens GLOWA-Danube wegen des verursachten touristischen Wasserverbrauches 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. Um diese Typisierung für die weiteren Analysen im touristischen Akteurmodell sinnvoll einsetzen zu können, wurde die regionale Verteilung der einzelnen Gemeindetypen im bayerischen Raum auf die Untersuchungseinheit der Proxel umgerechnet (vgl. Abb. 4).

Auf der Karte ist eine deutliche Konzentration der Gemeinden vom Typ C im Bereich der Alpen und des Bayerischen Waldes zu erkennen. In diesen Regionen befinden sich auch die meisten Gemeinden vom Typ B; nur wenige Ausnahmen vom Typ B (z.B. Bad Füssing, Bad Abbach und Bad Wörishofen) liegen nicht in den oben genannten touristischen Kerngebieten. Gemeinden vom Typ A sind vor allem in den wenig vom Tourismus geprägten Verdichtungsräumen um die Großstädte zu finden, die selbst ausnahmslos dieser Kategorie zugeordnet wurden. Die Gemeinden vom Typ D befinden sich dagegen überwiegend in den ländlich geprägten Regionen zwischen den touristischen Kerngebieten (Alpen und Bayerischer Wald) und den Verdichtungsräumen.

Sobald die in Tabelle 1 dargestellten erforderlichen touristischen und demographischen Kennziffern für die Gemeinden im österreichischen und baden-württembergischen Einzugsgebiet von GLOWA-Danube erfasst, eingegeben und berechnet worden sind, kann die Gemeindetypisierung hinsichtlich des Anteiles der gewerblichen und privaten Übernachtungszahlen auch auf diese Regionen des Einzugsbereiches von GLOWA-Danube übertragen werden.

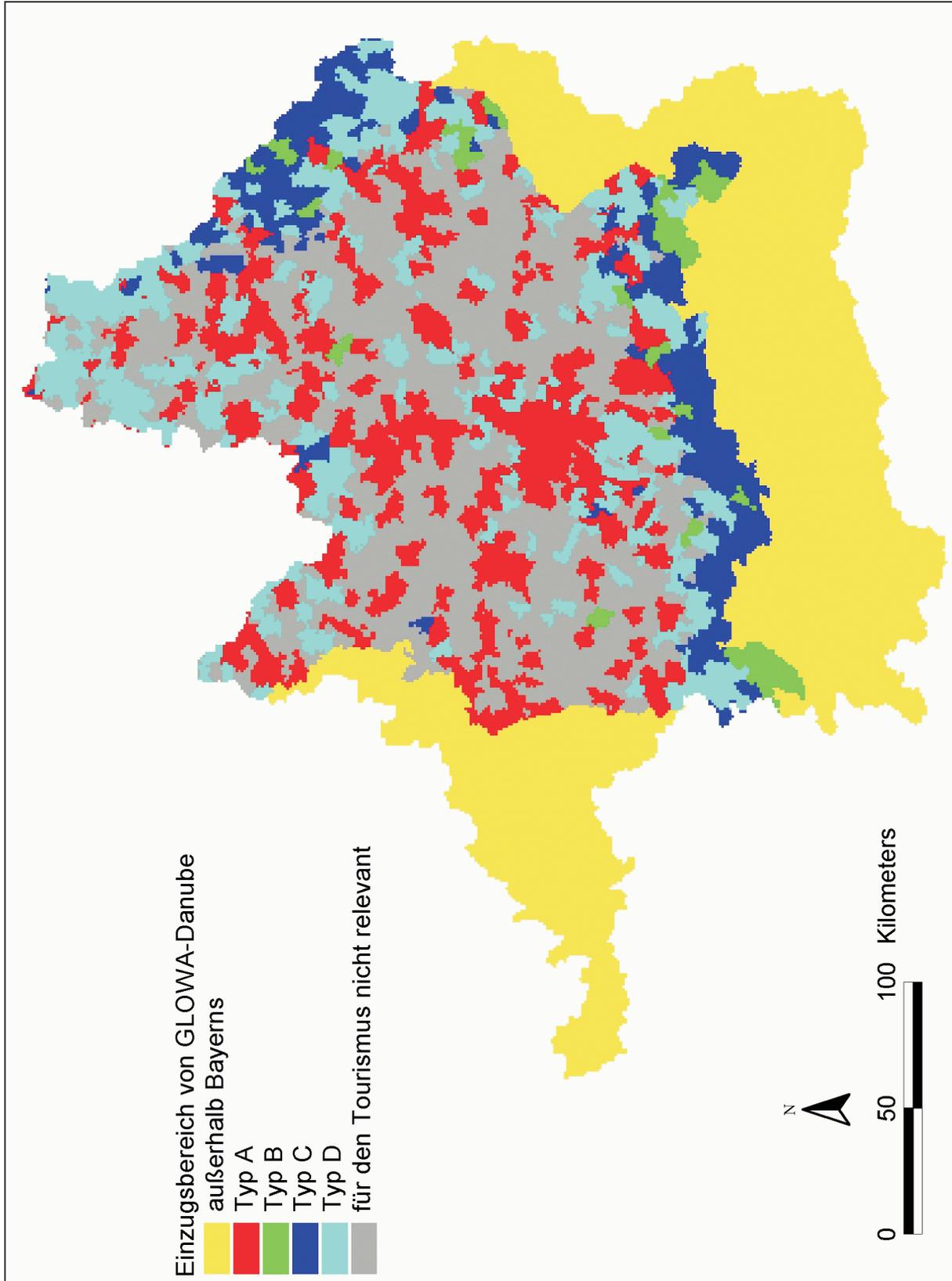


Abb. 4: Darstellung der Gemeindetypisierung im bayerischen Einzugsbereich von GLOWA-Danube auf Proxelebene

Datengrundlage für das touristische Akteurmodell

Als Datengrundlage für die Berechnungen des angebotsorientierten touristischen Akteurmodells wird neben verschiedenen touristischen Kennziffern (z.B. Übernachtungen, Ankünfte, Tourismusintensität und der durchschnittlichen Aufenthaltsdauer) auch der Bevölkerungsstand der Gemeinden im Untersuchungsraum von GLOWA-Danube benötigt, um damit mit dem Modell proxelgenau den touristischen Wasserverbrauch berechnen zu können. Nachdem diese Daten bisher nur für das Untersuchungsgebiet auf Gemeindeebene vorlagen, wurden im Kalenderjahr 2002 diese Kennziffern für die bayerischen Gemeinden des Untersuchungsraumes für die Jahre 1990 bis 2001 auf Monatsbasis beschafft und mit dem Aufbau einer zentralen - hinter dem Akteurmodell stehenden - umfangreichen Datenbank begonnen.

In diesem Zusammenhang ist auf die Problematik des „Herunterbrechens“ von aggregierten Werten für administrative Einheiten (z.B. Gemeinden) auf die Ebene der Untersuchungseinheit Proxel hinzuweisen. Da sich fast alle Forschergruppen von GLOWA-Danube (v.a. die sozioökonomischen Gruppen) mit der Disaggregation von Daten auf einzelne Proxel auseinandersetzen, wurde auf dem letzten Workshop am 10./11. Dezember 2002 in Stuttgart eine Arbeitsgruppe „Downscaling“ eingesetzt, die sich im Jahr 2003 mit der Lösung dieser Problematik beschäftigen wird. Bisher existiert kein exaktes Verfahren, mit dessen Hilfe beispielsweise Einwohner- oder Übernachtungszahlen, die aggregiert für verschiedene administrative Einheiten wie Landkreise oder Gemeinden vorliegen, auf die Proxel der jeweiligen Untersuchungseinheit verteilt werden können (vgl. Arbeitsschritte 2003).

Abstimmung neuer Schnittstellen mit anderen Forschergruppen von GLOWA-Danube

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 wird. Aufgrund der Tatsache, dass die Bildung der zunächst vorgesehenen wasserspezifischen Touristentypen nicht die gewünschten Ergebnisse erzielte und daher das touristische Modell inzwischen stärker von den Anbietern verschiedener Supra- und Infrastruktureinrichtungen geprägt wird, kommt der anfangs vorgesehenen Bereitstellung psychologischer Eigenschaften der Touristen durch die Arbeitsgruppe Psychologie nur noch eine untergeordnete Rolle zu und wird daher in Zukunft 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 Tal-

sperren 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 Kunstschnee 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.

Arbeitsschritte im Jahr 2003

Im Jahr 2003 werden von der Forschergruppe Tourismus innerhalb des Forschungsvorhabens GLOWA-Danube folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

- Beschaffung touristischer und demographischer Kennziffern für den bayerischen Einzugsbereich von GLOWA-Danube und Eingabe in eine Datenbank,
- Erfassung der wasserintensiven touristischen Infrastruktureinrichtungen in den bayerischen Gemeinden des Einzugsbereiches von GLOWA-Danube,
- Durchführung von Expertengesprächen zur Verbesserung der Genauigkeit des touristischen Akteurmodells,
- Lösung der Probleme bei der Disaggregation von Daten auf die Proxelebene.

Beschaffung touristischer und demographischer Kennziffern und Eingabe in eine Datenbank

Als wesentlicher Arbeitsschritt der Forschergruppe Tourismus im Jahr 2003 ist die Eingabe touristischer Kennziffern (z.B. Übernachtungen, angebotene Betten) auf Monatsbasis und des Bevölkerungsstandes (Jahreswert) für die bayerischen Gemeinden von GLOWA-Danube für die Jahre 1990 bis 2001 anzusehen, da diese für die prozelgenaue Bestimmung des touristischen Wasserverbrauches benötigt werden. Ergänzend dazu werden aus den Grunddaten weitere touristische Werte wie die Tourismusintensität und die durchschnittliche Aufenthaltsdauer berechnet sowie zur weiteren Verfügung in einer Datenbank abgelegt.

Für die zweite Phase des Forschungsprojektes GLOWA-Danube werden diese touristischen und demographischen Kennziffern auch für die Gemeinden im Österreichischen und baden-württembergischen Teil des Einzugsbereiches der Oberen Donau für die Jahre 1990 bis 2001 von den jeweiligen statistischen Ämtern beschafft und in die Datenbank eingegeben.

Erfassung der wasserintensiven touristischen Infrastruktureinrichtungen in den bayerischen Gemeinden des Einzugsbereiches von GLOWA-Danube

Aufgrund der Umorientierung des Ansatzes für das touristische Akteurmodell der Forschergruppe Tourismus durch eine stärkere Betonung der Angebotsseite ist als Grundlage für die Umsetzung des Modells eine geocodierte und damit prozelgenaue Erfassung der wasserintensiven touristischen Infrastruktureinrichtungen (z.B. Schneekanonen, Beschneiungsanlagen, Thermen etc.) erforderlich. Zunächst werden diese Einrichtungen im Detailuntersuchungsgebiet der Forschergruppe Tourismus (Landkreis Miesbach) erhoben und in einem Geographischen Informationssystem erfasst. Bis zum Abschluß der ersten Förderphase von GLOWA-Danube Ende

2003 wird diese Erhebung für den gesamten bayerischen Untersuchungsraum durchgeführt, die Gemeinden in Baden-Württemberg und Österreich werden schließlich ab 2004 in diese Untersuchung mit einbezogen. Die unterschiedlichen touristischen Infrastruktureinrichtungen werden dem jeweiligen Proxel durch eine bestimmte ID in einer Datenbank zugeordnet, womit diese Information auch anderen Forschergruppen von GLOWA-Danube zur Verfügung steht.

Durchführung von Expertengesprächen zur Verbesserung der Genauigkeit im touristischen Akteurmodell

Weiterhin führt die Forschergruppe Tourismus bis zum Ende der ersten Förderphase Expertengespräche mit verschiedenen touristischen Akteuren durch. Durch diese Gespräche mit Betreibern von Beherbergungsbetrieben der großbetrieblichen Hotellerie und der kleinbetrieblichen Parahotellerie kann z.B. der konstante Anteil und der - in Abhängigkeit von der Zahl der Touristen - variable Anteil des touristischen Wasserverbrauches in Übernachtungsbetrieben näher bestimmt und damit die Genauigkeit des touristischen Akteurmodells erheblich verbessert werden. Bei Gesprächen mit Anbietern künstlich beschneiter Skipisten wird neben der Ermittlung des durchschnittlichen Wasserbedarfes der Schneekanonen zusätzlich abgefragt, mit welchen Maßnahmen die Anbieter auf mögliche Klimaveränderungen und ein damit verbundenes Ansteigen der Höhe der Schneegrenze reagieren können und wollen oder in welchem Umfang touristische Ersatzangebote für die Touristen zur Verfügung gestellt werden. Diese Aussagen sind für die innerhalb des Forschungsvorhabens GLOWA-Danube für die zweite Förderphase vorgesehene Berechnung verschiedener Szenarien von entscheidender Bedeutung. Schließlich werden bei den Expertengesprächen auch touristische Trends und Neuerungen auf der touristischen Angebotsseite erfasst, die ebenfalls in die Szenarien eingebunden werden. In der nächsten Förderphase von GLOWA-Danube ist von der Forschergruppe Tourismus weiterhin die Befragung von Touristen in verschiedenen Fremdenverkehrsregionen vorgesehen, mit denen neben der Ermittlung gesellschaftlicher und touristischer Trends auch überprüft wird, wie die Touristen auf die mögliche Strukturveränderungen im touristischen Angebot reagieren.

Lösung der Probleme bei der Disaggregation von Daten auf die Proxelebene

Bei den für 2003 vorgesehenen Treffen der Arbeitsgruppe „Downscaling“ wird die Entwicklung von Lösungsansätzen für die Disaggregation von Daten auf die Ebene der Untersuchungseinheit der Proxel im Mittelpunkt stehen. Bisher gibt es einige Gemeinden im Untersuchungsraum von GLOWA-Danube, für die zwar eine Angabe der Einwohnerzahl vorliegt, jedoch - zumindest nach den aus der Fernerkundung gewonnenen Daten - keine „besiedelten“ Proxel im Gemeindegebiet zu finden sind. Die Forschergruppe Tourismus ist aber auf die „besiedelten“ Proxel der jeweiligen Gemeinde angewiesen, da die Übernachtungszahlen nur auf Proxel verteilt werden können, die eine besiedelte Fläche aufweisen, auf denen die Beherbergungsbetriebe verortet werden können. Daneben muss auch folgende Situation als problematisch betrachtet werden: Den Gemeinden im Einzugsbereich von GLOWA-Danube wird aus den Daten der Fernerkundung eine bestimmte Anzahl „besiedelter“ Proxel zugeordnet. In der Realität existiert jedoch in vielen Fällen in den jeweiligen Gemeinden eine höhere Anzahl von Siedlungen, als „besiedelte“ Proxel von der Fernerkundung bestimmt werden konnten. Damit wird beispielsweise der gesamte touristische, industrielle und private Wasserverbrauch einer Gemeinde an zu wenigen Stellen im Vergleich zur tatsächlichen Verteilung der Siedlungen konzentriert. Die Lösung der oben dargestellten Probleme der Disaggregation von Daten auf die Proxelebene wird im Jahr 2003 gemeinsam von der der Forschergruppe Fernerkundung und den sozioökonomischen Gruppen in Angriff genommen. Unter Umständen ist eine Kartierung aller Siedlungen, die eine bestimmte - gemeinsam festgelegte - Zahl von Einwohnern überschreitet, im gesamten Untersuchungsraum von GLOWA-Danube erforderlich.

Literatur

- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK UND DATENVERARBEITUNG (Hrsg.) (2002): Gemeindedaten 2002. München.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR WIRTSCHAFTSFORSCHUNG (DIW) (1999): Wirtschaftsfaktor Tourismus - Gutachten im Auftrag des Bundesministers für Wirtschaft und Technologie. Berlin.
- EISENSTEIN, B. (1995): Wirtschaftliche Effekte des Fremdenverkehrs (= Trierer Tourismusbibliographien Bd. 4). Trier.
- FREYER, W. (1998): Einführung in die Fremdenverkehrsökonomie. München.
- KEGLMAIER, P. (2002): Wasser als touristische Ressource - eine empirische Untersuchung am Beispiel des Tegernseer Tales und der Gemeinde Schliersee. Unveröffentlichte Diplomarbeit am Institut für Wirtschaftsgeographie der Universität Regensburg. Regensburg.
- KOCH, A. (1966): Die gegenwärtige wirtschaftliche Bedeutung des Fremdenverkehrs unter besonderer Berücksichtigung der im Fremdenverkehr erzielten Umsätze und der Wertschöpfung. In: Deutsches Wirtschaftswissenschaftliches Institut für Fremdenverkehr an der Universität München (DWIF) (1966): Jahrbuch für Fremdenverkehr, 11./12. Jahrgang. S. 27-34.
- LÜBBERT, C. (1999): Qualitätsorientiertes Umweltschutzmanagement im Tourismus. Empirische Untersuchung und Entwurf eines nachfrageorientierten Modells zur Umweltkennzeichnung touristischer Leistungen. München.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.) (2001): Tourismus in Zahlen 2000/2001. Wiesbaden.
- TOURISMUSVERBAND OBERBAYERN-MÜNCHEN (Hrsg.) (2002): Geschäftsbericht 2001. München.
- TOURISMUSVERBAND OSTBAYERN (Hrsg.) (2002): Jahresbericht 2001. Regensburg.

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
Poschingerstraße 5, 81679 München
Bereich Umwelt, Regionen, Verkehr

1. Überblick

Inhaltlich standen im Teilprojekt Umweltökonomie im Jahr 2002 die Weiterentwicklung des regionalökonomischen Modells RIWU sowie seine Integration in DANUBIA im Mittelpunkt der Arbeiten. Das Modell RIWU (Regional Industrial Water Use) wurde im Rahmen des Forschungsprojektes GLOWA-Danube neu entwickelt und dient der Modellierung der wirtschaftlichen und demographischen Entwicklung sowie des industriellen Wasserverbrauchs auf der kleinräumlichen Ebene. In sektoraler Hinsicht wurde das Modell bei verschiedenen internen und externen Vortragsveranstaltungen vorgestellt, diskutiert, und darauf hin im Hinblick auf die daraus gewonnenen Ergebnisse verbessert. In interdisziplinärer Hinsicht wurde im Jahr 2002 das Modell RIWU in des Gesamtmodell DANUBIA integriert, wobei vor allem die Definition der räumlichen Einheiten und die zeitliche Taktung im Vordergrund standen. Die Implementierung der ersten Version des Actors „Economy“ in DANUBIA 0.9 konnte im September 2002 erfolgreich umgesetzt werden.

2. Organisatorisches

2.1 Personalien

Die volle Wissenschaftlerstelle ist seit 01.01.2001 besetzt und teilt sich auf 3 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
- Die halbe Doktorandenstelle ist seit 01.06.2001 besetzt mit:
Dipl.Volkswirt Matthias Egerer

2.2 Veranstaltungen

Das Teilprojekt Ökonomie hat an allen internen Veranstaltungen des Projekts (siehe Jahresbericht 2002 des Zentralprojekts) 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:

16. April 2002: ifo Lunchtime-Seminar

Erich Langmantel Szenarien für die Wirtschaftsentwicklung und den Wasserverbrauch im Einzugsgebiet der oberen Donau.

4. Juli 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. November 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. Dezember 2002: GLOWA-Doktoranden-Workshop in Stuttgart

Matthias Egerer: Das Skalierungsproblem aus der Sicht der Ökonomie

19./20. Dezember 2002: ifo Konferenz zur Vorbereitung referierter Artikel

Matthias Egerer, Erich Langmantel, Johann Wackerbauer, Regionalökonomische Entwicklung und industrieller Wasserverbrauch auf der Basis von Prozess Pixel

3. Modellstruktur und Datengrundlage

Die Basis für die Quantifizierung des Modells RIWU bilden vorläufig 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:

- Wertschöpfung der Industrie (WI) - Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes zu Marktpreisen
- Bruttoinlandsprodukt (BIP) - Summe der Bruttowertschöpfung aller Wirtschaftszweige
- Auslandsumsatz (UMSA) - Auslandsumsatz des Verarbeitenden Gewerbes,
- Haushaltseinkommen (YH) - Verfügbares Einkommen der privaten Haushalte
- Baulandpreis (BLAP) - Durchschnittlicher Kaufwert für baureifes Land
- Bevölkerung (B) - Einwohner
- Fläche - in km²
- Wasseraufkommen (WA) - Wasseraufkommen bei den Betrieben des Bergbaus u. Verarbeitenden Gewerbes
- In industriellen Wasserkreislaufsystemen genutztes Wasser (WK)
- Gesamtnutzung des Wasseraufkommens in der Industrie (WAN)
- Wasserpreis für Grundwasser (WAP)
- Wasserpreis für Oberflächenwasser (WAPO)

- D1 - Dummy München
- D2 - Dummy Augsburg, Nürnberg, Würzburg, LK Freising, LK München.
- D3 - Dummy Eichstätt, Pfaffenhofen, Kelheim, Bayreuth.
- D4 - Dummy Oberbayern
- D5 - Dummy Oberfranken
- DS - Strukturwandel: Durchschnittliche Erhöhung des Anteils des Dienstleistungssektors pro Jahr in den 15 Jahren von 1980 bis 1996.

Die exogenen Variablen sind die Exporte (UMS^A), 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 = (UMS^A)^{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) UMS^A = UMS^A₀(1 + TRENDRATE + Δπ/π_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 (UMS^A) 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 ($B/\text{Fläche}$) 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 D_4 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/km^2) 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 Kreislaufumführung 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) auf, wie in Gleichung (7) dargestellt.

4. Die Integration des regionalökonomischen Modells in DANUBIA

4.1 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 et al. 1999; CHROMITZ 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 Gemeinde- oder Landkreisgrenzen. Im integrativen Kontext ist es 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 Teilprojekts 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. Im folgenden werden die möglichen Methoden, ihre Stärken und Schwächen, exemplarisch anhand der Landeshauptstadt München als städtische Agglomeration und dem Landkreis Deggendorf als ländliches Pendant und nur am Beispiel des Parameters Bevölkerung (B) demonstriert.

4.2 Ansätze zur Disaggregation der gewonnenen Ergebnisse

4.2.1 Gleichverteilung über alle Proxel

Abbildung 1 zeigt den Bevölkerungsstand des bayerischen Teiles des Einzugsgebietes im Jahre 1995 auf Landkreisebene. Der rechte Teil der Abbildung verdeutlicht noch einmal das Konzept der Proxel. Die einzelnen Proxel der Stadt München (314 Proxel) und des Landkreises Deggendorf (869 Proxel) sind hier über die jeweiligen realen administrativen Grenzen gelegt. Man sieht deutlich, dass die Proxelgrenzen mit den tatsächlichen Grenzen nicht exakt übereinstimmen. Die Differenzen resultieren daraus, dass Proxel nicht zwischen mehreren Landkreisen aufgeteilt, sondern eindeutig einem Landkreis zugeordnet werden. Die Zuordnung erfolgt dabei zu dem Landkreis in dem der Mittelpunkt des Proxels liegt.

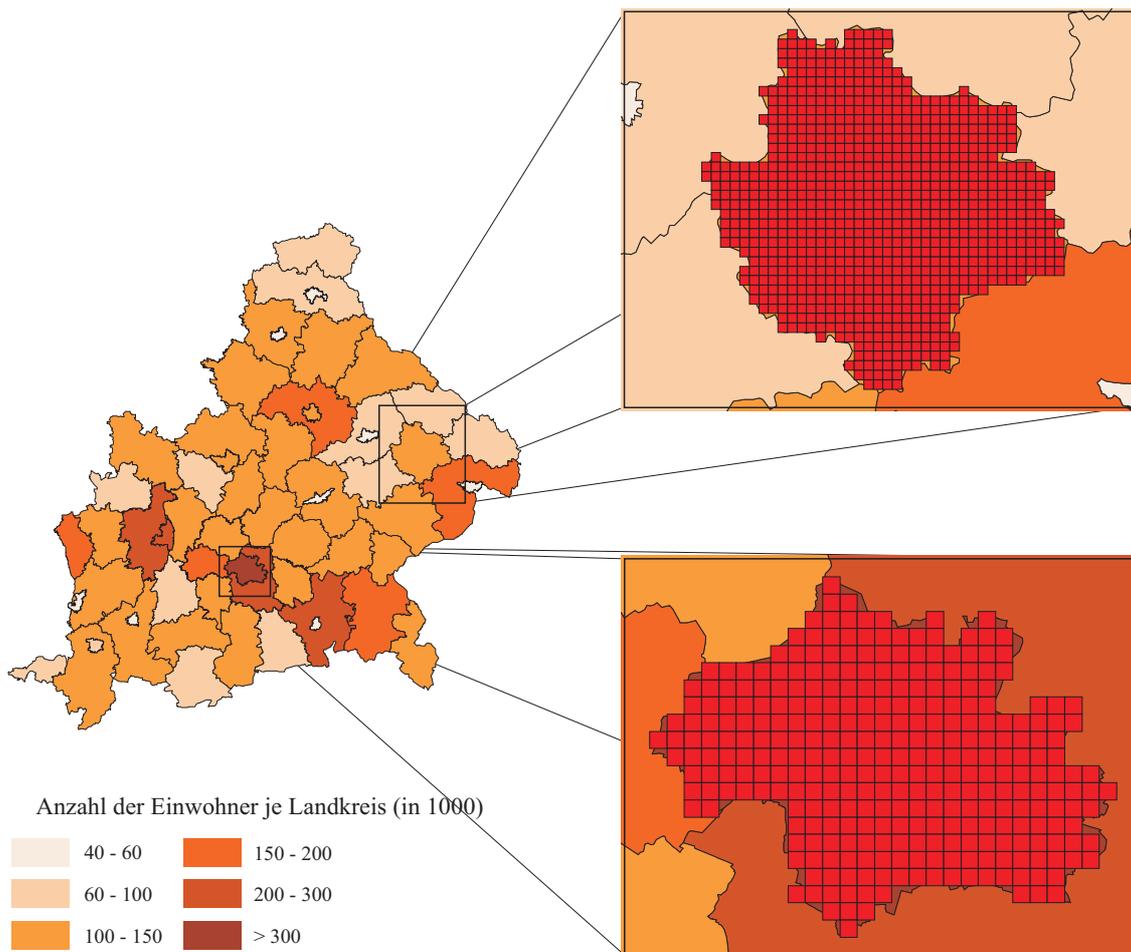


Abb. 1: München und Deggendorf in Proxelform (Quelle: Darstellung des ifo-Instituts)

Das einfachste Verfahren Landkreiswerte auf Proxel herunterzubrechen ist die gleichmäßige Verteilung auf alle Proxel. Die Bevölkerung pro Proxel ergibt sich als Bevölkerung pro Landkreis dividiert durch die Anzahl der Proxel pro Landkreis. Für die Stadt München und den Landkreis Deggendorf resultieren daraus 3.979 bzw. 131 Einwohner pro Proxel (Tab.1).

Tab. 1: Gleichverteilung über alle Proxel (Quelle: Berechnungen des ifo-Instituts)

Landkreis	Bevölkerung 1995	Anzahl der Proxel	Bevölkerung pro Proxel
München Stadt	1.249.546	314	3.979
Deggendorf	113.462	869	131

Die gleichmäßige Verteilung der Landkreisergebnisse auf alle Proxel ist jedoch 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.

4.2.2 Die Rolle der Fernerkundung

Somit ist es notwendig, Verfahren zu entwickeln, die die tatsächliche Verteilung der Bevölkerung auf die Proxel besser schätzen können. Die feinste Skalierungsebene amtlicher Daten ist die Gemeindeebene. Da Informationen für den einzelnen Quadratkilometer auf diesem Wege nicht verfügbar sind, bedarf es eines Hilfsmittels um sie zu approximieren. Ein mögliches Werkzeug ist die Fernerkundung. Mit ihrer Hilfe ist es möglich, über den Weg der Landnutzungs-klassifizierung, den Bevölkerungsstand und die industrielle Wassernachfrage auf der Ebene eines einzelnen Proxels besser zu schätzen.

Im Rahmen von GLOWA-Danube liegen hierzu zwei unterschiedliche Fernerkundungsdatensätze vor. Ein Datensatz basiert auf CORINE-Landnutzungsdaten.¹⁾ 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 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.

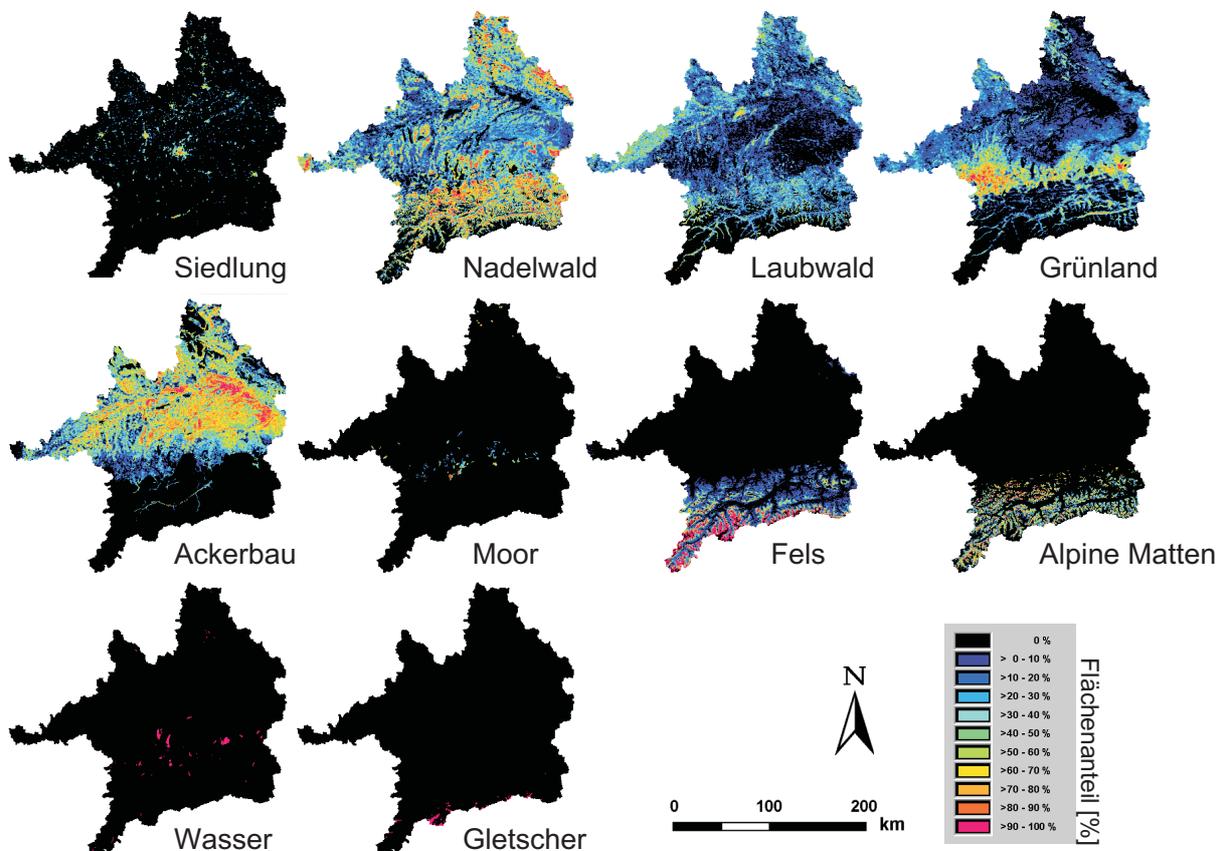


Abb. 2: Spektrale Entmischung (Quelle: PROBECK und LUDWIG et al., voraussichtlich 2003)

¹⁾ CORINE Coordination of Information on the Environment.

Der zweite Datensatz basiert auf NOAA/AVHRR Daten.²⁾ 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 Landnutzungsklassen zugewiesen: Gletscher, Wasser, Alpine Matten, Fels, Moor, Ackerbau, Grünland, Laubwald, Nadelwald und Siedlung (Probeck, Ludwig, et al., voraussichtlich 2003). Die Ergebnisse der spektralen Entmischung für das GLOWA-Einzugsgebiet zeigt Abbildung 2.

Aus Sicht der Ökonomie ist dabei die Landnutzungsklasse „Siedlung“ besonders relevant. Eine weitere Untergliederung dieser Landnutzungsklasse, ähnlich den CORINE-Daten, erfolgt nicht. Das Bild links oben in Abbildung 2 zeigt deutlich, dass nur wenige Proxel im Einzugsgebiet überhaupt besiedelt sind. Städte wie München, Augsburg oder Passau sind deutlich zu erkennen.

4.2.3 Proportionale Verteilung nach Siedlungsfläche

Diese Landnutzungsinformationen können für die Disaggregation der von RIWU auf Landkreisebene berechneten Werte für die Bevölkerung genutzt werden. Ein mögliches Verfahren für die Bildung von Proxel-Werten ist die lineare Verteilung der Bevölkerung je Landkreis im Verhältnis zur Siedlungsfläche pro Proxel. Im Falle der CORINE-Daten bezieht sich dies auf die Landnutzungsklasse „urban fabric“, im Falle der entmischten Daten auf die Klasse „Siedlung“. Dies bedeutet, ein Proxel mit 0% der jeweiligen Landnutzungsklasse ist unbewohnt, ein Proxel mit 50% Flächenanteil hat 5 mal so viele Einwohner wie ein Proxel mit 10% (Abb. 3).

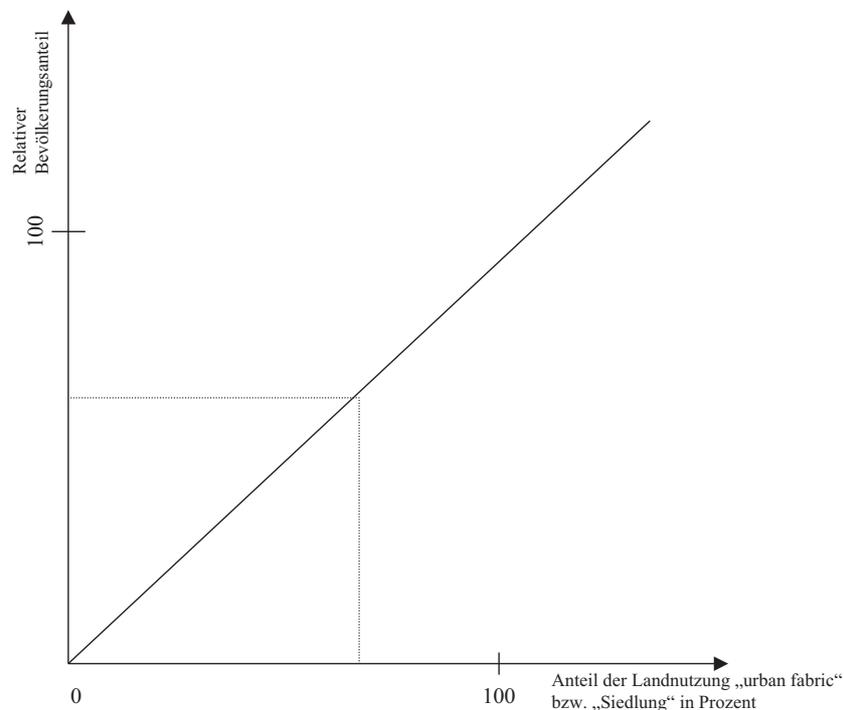


Abb. 3: Lineare Verbindung zwischen Landnutzung und Bevölkerungsdichte (Quelle: ifo-Institut)

²⁾ NOAA/AVHRR steht für National Oceanic and Atmospheric Administration/ Advanced Very High Resolution Radiometer.

Die Bevölkerung pro Proxel errechnet sich somit nach folgender Formel:

$$B_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} B_j$$

Die Bevölkerung B für Proxel i in Landkreis j ergibt sich als Quotient aus dem Anteil der relevanten Landnutzungsklasse a des zu berechnenden Proxels i und der Summe der Landnutzungsanteile aller Proxel des Landkreises j , multipliziert mit der Bevölkerung dieses Landkreises. Die Ergebnisse dieser Berechnungen für München und den Landkreis Deggendorf zeigen die Abbildung 4 und Abbildung 5.

Die linken Graphiken verdeutlichen noch einmal die Ergebnisse der Verteilung ohne Berücksichtigung der Informationen der Fernerkundung. In jedem Proxel wohnt die identische Zahl an Einwohnern. Die beiden anderen Graphiken zeigen jeweils die Ergebnisse der linearen Verteilung, in der Mitte auf Basis der CORINE-Landnutzungsdaten, rechts mit Hilfe der spektralen Entmischungsdaten.

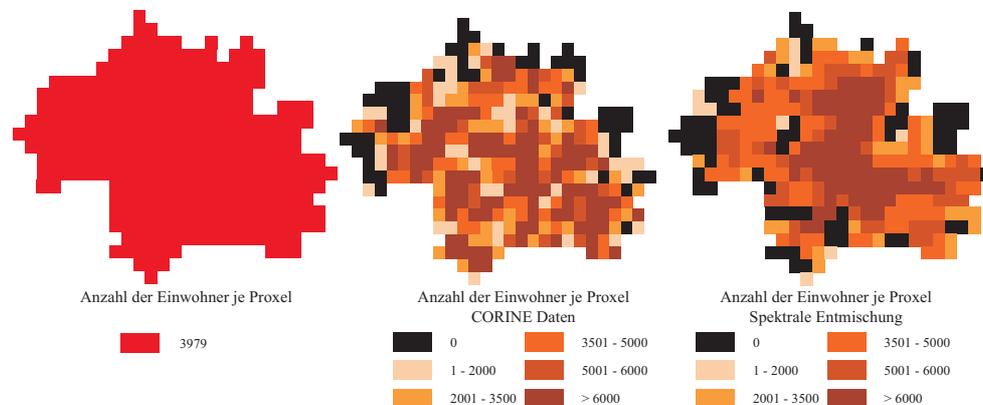


Abb. 4: Proportionale Verteilung der Bevölkerung nach Siedlungsfläche für München (Quelle: Berechnungen des ifo Instituts auf Basis der Daten des Teilprojekts Hydrologie/Fernerkundung)

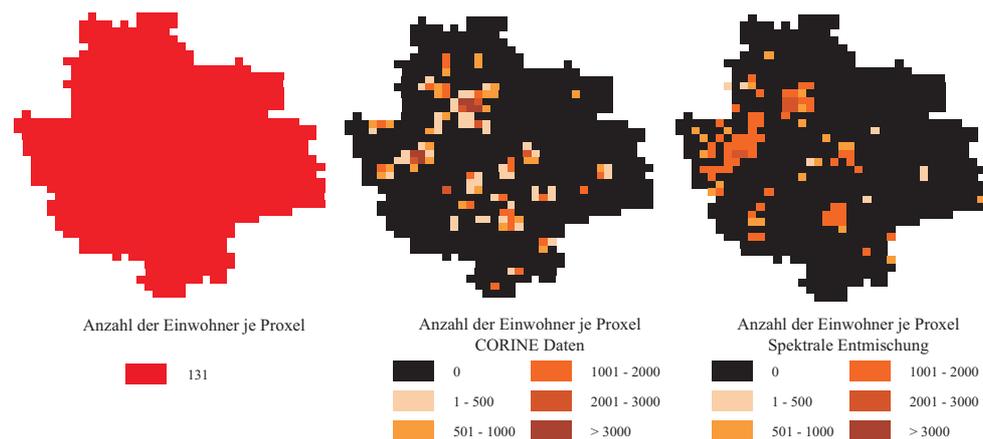


Abb. 5: Proportionale Verteilung der Bevölkerung nach Siedlungsfläche für den Landkreis Deggendorf (Quelle: Berechnungen des ifo Instituts auf Basis der Daten des Teilprojekts Hydrologie/Fernerkundung)

Am Beispiel Münchens sieht man sehr deutlich, dass die beiden Datengrundlagen keine identischen Ergebnisse generieren. 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 unbewohnt. Die stärkere Konzentration lässt sich zum Teil durch die Systematik der Landnutzungsclassen in den beiden Datensätzen erklären. Bei der spektralen

Entmischung gibt es lediglich die eine Klasse „Siedlung“, in der CORINE-Datenbank wird zwischen „urban fabric“ und „industrial, commercial and transport units“ unterschieden. Industrie- und Geschäftsflächen werden bei der spektralen Entmischung nicht als solche erkannt und statt dessen besiedelt. Viele Proxel weisen dadurch eine zu hohe Bevölkerungsdichte auf, Proxel mit tatsächlichen Wohnsiedlungen erhalten zu wenig Einwohner. Dieser Fehler kann zum Teil die dichte Besiedlung in den Innenstadtlagen erklären. Gerade dort befinden sich viele Geschäfte, die bei der spektralen Entmischung nicht erkannt werden. Im Falle der CORINE-Daten wird dieses Problem durch die Unterteilung der Landnutzungsklassen reduziert. In dieser Hinsicht ist somit die CORINE-Datenbank der spektralen Entmischung vorzuziehen.

4.2.4 Probleme und Alternativen der linearen Verteilung

Im Landkreis Deggendorf ist eine starke Konzentration der Bevölkerung auf die drei größeren Gemeinden Deggendorf, Plattling und Osterhofen zu erkennen. Problematisch ist, dass die Siedlungsflächen einiger kleiner Gemeinden, wie in anderen Landkreisen auch, auf den Bildern der Fernerkundung nicht erkannt werden; es wird keine Siedlungsfläche ausgewiesen. Diese Gemeinden werden somit bei der Disaggregation der Landkreiswerte nicht berücksichtigt, die Konzentration in den als besiedelt erkannten Proxeln ist zu hoch.

Für dieses Problem wurde vom Teilprojekt Hydrologie/Fernerkundung ein Lösungsverfahren entwickelt. Für nicht identifizierte Gemeinden wird mit Hilfe eines GIS (Geographisches Informationssystem) und Entscheidungsregeln ein optimales Proxel als alleinige Siedlungsfläche identifiziert. Bei den Entscheidungsregeln wird das Proxel mit den günstigsten topographischen Eigenschaften (z.B. Gefälle) und den geeignetsten Landnutzungen (z.B. Ausschluss von Proxeln mit einem zu hohem Felsen- oder Wasseranteil) als „künstliches“ Siedlungsproxel ausgewählt. Dadurch entstehen im gesamten Einzugsgebiet 593 (CORINE-Datensatz) bzw. 1575 (Spektrale Entmischung) künstliche Siedlungsproxel (PROBECK 2002). Durch dieses Verfahren reduziert sich die Bevölkerung in den Proxeln, die ursprünglich als besiedelt erkannt wurden, da die gesamte Landkreisbevölkerung auf eine größere Fläche verteilt werden muss. Die Ergebnisse dieser Änderung für den Landkreis Deggendorf zeigt Abbildung 6.

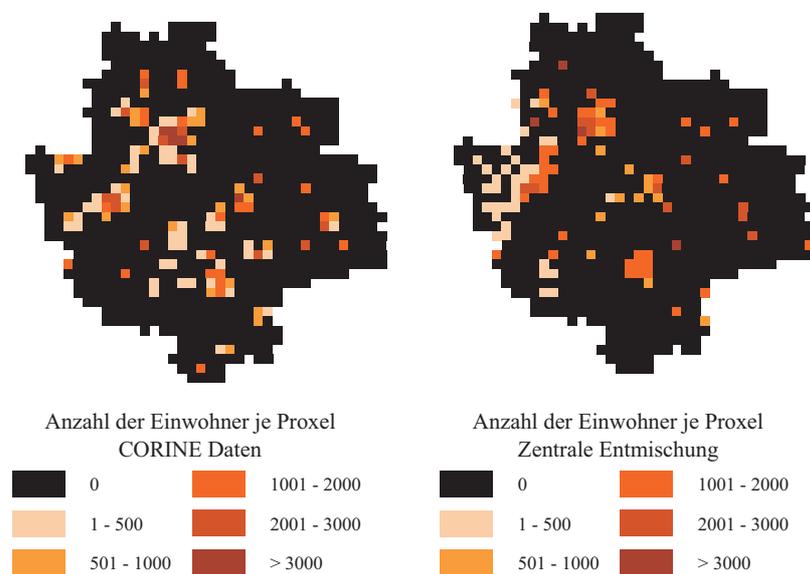


Abb. 6: Modifizierte Bevölkerung (Quelle: Illustration ifo Institut; Berechnungen PROBECK 2002)

Man erkennt deutlich, dass neue, künstlich besiedelte Proxel im Nordosten des Landkreises, aber auch in anderen Gebieten hinzugekommen sind. Die lineare Verteilung der Bevölkerung wird um das Konstrukt der künstlichen Proxel ergänzt.

Ein weiteres, bisher unberücksichtigtes Problem ergibt sich aus der Prognose in die Zukunft. Veränderung der Bevölkerung beeinflusst die Landnutzung. Wächst eine Gemeinde, werden neue Häuser gebaut, Einkaufs- und Freizeitstätten errichtet, neue Wohngebiete erschlossen. Bisher freie Fläche wird versiegelt. In der bisherigen Modellierung führt Bevölkerungswachstum oder -rückgang hingegen zu keiner Variation der Landnutzung; diesbezügliche Veränderungen werden „vertikal“ modelliert. Die Bevölkerung wächst bzw. schrumpft gleichmäßig auf den bisher besiedelten Flächen ohne die Landnutzung zu beeinflussen. Ein Anstieg der Bevölkerung, beispielsweise um 2%, wird gleichmäßig auf alle bisher besiedelten Proxel heruntergebrochen. Die Linearität zwischen Landnutzung und Einwohnerzahl bleibt erhalten, die bisherige Landnutzung dient als konstanter „Verteilungsschlüssel“. Dies ist jedoch keine gute Approximation an die Realität. Verändert sich eine Stadt oder ein Landkreis, sind davon nicht alle Proxel in gleichem Maße betroffen. In der weiteren Projektentwicklung muss die Persistenz von besiedelter und nicht-besiedelter Fläche und die gleichmäßige Verteilung von Bevölkerungsveränderungen auf alle Proxel aufgehoben werden. Bevölkerung wächst und schrumpft in erster Linie „horizontal“ und beeinflusst somit Landnutzungsentscheidungen. Um sinnvolle Aussagen über den Flächenbedarf von Bevölkerung und Muster von Gemeinde- bzw. Stadtveränderungsstrukturen zu treffen, ist es notwendig, Koeffizienten für ihren spezifischen Flächenbedarf zu entwickeln. Auch bei der Lösung dieses Problems könnten die Informationen der Fernerkundung helfen. Betrachtet man beispielsweise eine 10 Jahre alte Landnutzungsklassifizierung im Vergleich zu einer aktuellen und stellt diesen beiden Karten die Bevölkerungszahlen der einzelnen Landkreise bzw. Gemeinden gegenüber, könnte es möglich sein, Flächenbedarfskoeffizienten zu entwickeln, aber auch die Frage zu beantworten, ob es in der Vergangenheit innerhalb des Einzugsgebietes typische Muster gab, nach denen sich Städte und Landkreise entwickelt haben, die für die Prognose der zukünftigen Entwicklung angewandt werden können. Es könnte Muster geben, die bei der Entwicklung einer Stadt eine bessere Approximation an die Realität darstellen als die Beibehaltung der linearen Beziehung.

Ein drittes Problem ist die grundsätzliche Annahme der Linearität zwischen der Siedlungsfläche aus den Bildern der Fernerkundung und der Bevölkerungszahl. Wie oben beschrieben sind hierbei die Daten der CORINE-Landnutzung gegenüber den spektralen Entmischungsdaten im Vorteil, das sie explizit städtische Bebauung gegenüber industriellen Ansiedlungen ausweisen. Trotzdem bleibt das Problem, dass zwei Proxel in einem Landkreis oder einer Stadt, die den identischen prozentualen Anteil der Siedlungsklasse „urban fabric“ aufweisen, bei weitem nicht die gleiche Zahl an Einwohnern aufweisen müssen. Dieses grundsätzliche Problem tritt sowohl in kreisfreien Städten als auch in Landkreisen auf. Auf der einen Seite verfügen die Städte des Einzugsgebietes über höchst unterschiedliche Stadtviertel, die sich in ihrer Bauungs- und Wohnstruktur sehr stark unterscheiden und trotzdem eine identische bzw. ähnliche Landnutzung aufweisen können. Ein Proxel in einer Großwohnsiedlung in München weist in etwa den gleichen Anteil an Siedlungsfläche auf wie eines in einem noblen Villenviertel. Die Zahl der Einwohner variiert jedoch enorm. Auf der anderen Seite weisen die ländlicher geprägte Landkreise das selbe Problem auf. Verteilt man die Bevölkerung linear, vernachlässigt man, dass größeren, städtischen Ortschaften ländlich strukturierte kleinere Gemeinden gegenüberstehen. Ein Lösungsansatz für dieses Problem ist noch zu entwickeln. Denkbar wäre es beispielsweise die Bevölkerung in Landkreisen nicht linear sondern in Form einer Exponentialfunktion zu verteilen. Auf diese Art und Weise würde Proxeln mit einem höheren prozentualen Anteil an bebauter Fläche relativ mehr Einwohner zugewiesen. Eine mögliche Begründung hierfür ist die Überlegung, dass Hochhäuser o.ä. in ländlich geprägten Landkreisen lediglich in größeren Städten mit stark bebauten Proxeln auftreten, wohingegen kleinere Gemeinden eine traditionelle Dorfstruktur mit einem hohen Anteil an Einfamilienhäusern u.ä. aufweisen (Abb. 7).

Für größere Städte wie München oder Augsburg wäre eine relative Verteilung der Bevölkerung in Abhängigkeit der Entfernung vom Stadtzentrum denkbar. Innenstadtlagen weisen ein geringe Bevölkerungsdichte auf, der sogenannte Citykrater (ZEHNER 2001), die zentrumsnahen Gebiete sind relativ dicht besiedelt, mit zunehmender Entfernung vom Stadtzentrum nimmt die Bevölkerungsdichte jedoch weiter ab (Abb. 8).

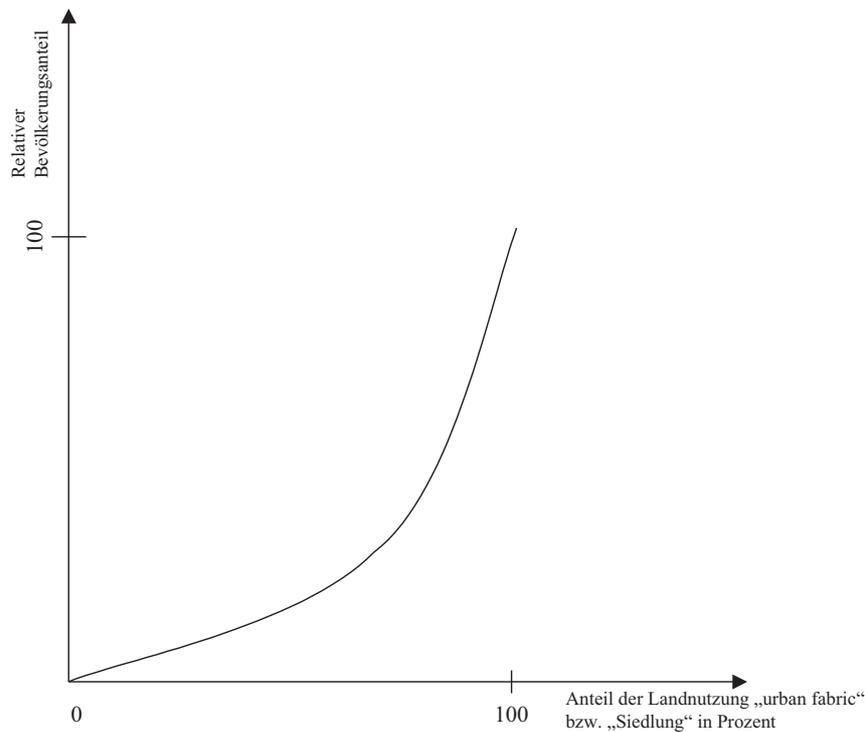


Abb. 7: Exponentielle Verteilung (Quelle: ifo Institut)

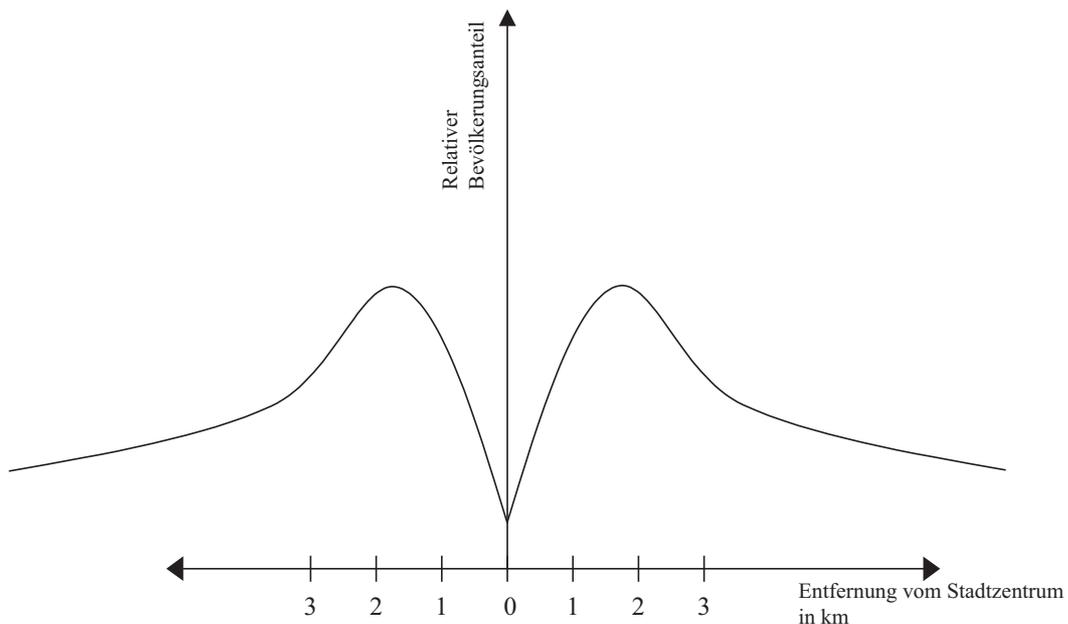


Abb. 8: Verteilung nach der Entfernung zum Stadtzentrum (Quelle: Zehner 2001)

Inwieweit diese Annahme verallgemeinerbar und auf die Städte des Einzugsgebietes anwendbar sind, bleibt noch zu untersuchen.

5. Weitere Vorgehensweise

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. Durch die undifferenzierte Ausweisung der industriellen Landnutzung eines Landkreises kann nicht bestimmt werden, auf welchem der angegebenen Proxel die einzelnen Branchen bzw. Unternehmen des Landkreises niedergelassen sind und wie viel Wasser sie verbrauchen. Durch eine lineare Disaggregation, ähnlich dem gezeigten Verfahren bei der Variable Bevölkerung, würden diese Unterschiede vernachlässigt und falsche Werte berechnet werden. Um diesen Fehler zu vermeiden, ist es notwendig, ein Verfahren zu entwickeln, 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 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.

6. Literatur

- BORTS, G.H. and STEIN, J.L. (1964): Economic growth in free markets, Columbia University Press: New York.
- BOSSARD, M., FERANEC, J. et al. (2000): CORINE Land Cover Technical Guide - Addendum 2000, European Environment Agency, Technical Report No 40.
- CHROMITZ, K.M. and 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).
- DIXON, R. and THIRLWALL, A.P. (1975): A model of regional growth-rate differences on Kaldorian lines, Oxford Economic Papers 27, p. 210-214.
- 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, p. 35-38.
- IFO (2001): Auswirkungen der EU-Osterweiterung auf Wirtschaft und Arbeitsmarkt in Bayern, ifo Forschungsberichte, ifo Institut für Wirtschaftsforschung: München.
- 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, p. 49-58.
- MATHUR, V.K. and SONG, F.M. (1995): The Dynamics of Regional Population and Employment Growth, Review of Urban and Regional Development Studies 7, p.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, German Programme on Globale Change in the Hydrological Cycle (Phase I, 2000-2003), Status Report, p. 31-34.

- MUTH, R.F. (1991): Supply-Side Regional Economics, *Journal of Urban Economics* 29, p. 63-69.
- PROBECK, M. (2002): Projektinterne Dokumentation zu den Datensätzen der disaggregierten Bevölkerung im Einzugsgebiet, Version 3.0.
- PROBECK, M., LUDWIG, R. and MAUSER, W. (2003): Fusion of NOAA/AVHRR Imagery and GIS Techniques to Derive Sub-Scale Land Cover Information for the Upper Danube Watershed. Accepted in: *DIE ERDE*.
- TERKLA, D.G. and DOERINGER, P.B. (1991): Explaining Variations in Employment Growth: Structural and Cyclical Change among States and Local Areas, *Journal of Urban Economics* 29, p. 329-348.
- ZEHNER, K. (2001): *Stadtgeographie*, Klett-Pertheses: Gotha, Stuttgart.

Human Capacity Building

Teilprojekt: Human Capacity Building
Leiter: Prof. Dr.h.c. Dr.-Ing.E.h. H. Kobus, Ph.D.
Ausführende Stelle: Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau
Keplerstr. 7, 70174 Stuttgart

1. Ziele

Im Teilprojekt „Human Capacity Building“ werden einerseits hochqualifizierte Nachwuchswissenschaftler aus Drittländern mittels Stipendien gefördert und andererseits wird der wissenschaftliche Austausch zwischen den an GLOWA-Danube beteiligten Nachwuchswissenschaftlern, den GLOWA-Danube-Stipendiaten und den Studierenden des auslandsorientierten Studiengangs 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.

2. Derzeitiger Stand

2.1 Stipendiaten

In vorherigen Berichten wurde auf das Auswahlverfahren für die Stipendiaten ausführlich eingegangen. Derzeit werden sechs Stipendiaten aus den Projektmitteln gefördert. Davon befinden sich drei im zweiten Fachsemester und drei weitere im Vorbereitungssemester (s. Zwischenbericht 2001).

2.1.1 Stipendiaten im zweiten Fachsemester

Nach Abschluss des Vorbereitungssemesters müssen die Studierenden aus nachfolgenden fünf möglichen Vertiefungsrichtungen zwei bis vier auswählen:

- S1: "Modeling of Hydrosystems and Hydroinformatics"
- S2: "Groundwater Resources Management"
- S3: "Ecohydraulics and Hydraulic Engineering"
- S4: "Urban Hydraulics and Sanitary Engineering"
- S5: "Integrated Water Resources Planning and Management"

Alejandro Meleg (Kolumbien) hat die Vertiefungsrichtungen S2, S3 und S5 gewählt. Seine bisher erbrachten Studienleistungen sind im oberen Drittel angesiedelt. Herr Meleg besucht neben den Fachvorlesungen regelmäßig Deutschkurse und ist auch aktiv im IAHR-Student Chapter involviert. Durch seine Tätigkeiten als wissenschaftliche Hilfskraft im GLOWA-Danube Teilprojekt „Groundwater“ erhält er einen guten Einblick in die Grundwassermodellierung sowie in den Einsatz von GIS (Geographic Information Systems). Es ist zu erwarten, dass er sein Studium innerhalb der Regelstudienzeit mit gutem bis sehr gutem Ergebnis abschließen wird.

Nikolay Chalakov (Bulgarien) vertieft in denselben Schwerpunkten. Seine Studienleistungen sind, obwohl immer noch überdurchschnittlich, allgemein etwas schwächer als die von Herrn Meleg. Auch er widmet sich neben den Fachvorlesungen dem Erlernen der deutschen Sprache. Herr Chalakov nimmt derzeit keine Tätigkeit als wissenschaftliche Hilfskraft wahr, um sich in

vollem Umfang seinem Fachstudium widmen zu können. Auch bei ihm ist zu erwarten, dass das Studium termingerecht mit gutem Ergebnis abgeschlossen wird.

Richard Asuming (Ghana) vertieft die Schwerpunkte S2, S4, S5. Seine Studienleistungen sind wie die der beiden anderen Stipendiaten überdurchschnittlich. Auch er ist im Rahmen des GLOWA-Teilprojekts „Groundwater“ als wissenschaftliche Hilfskraft beschäftigt und ist dabei insbesondere mit der Aufarbeitung und Digitalisierung von Daten betraut. Wie bei seinen Kollegen kann auch bei ihm von einem erfolgreichen Abschluss des Studiums im Oktober 2003 ausgegangen werden.

2.1.2 Stipendiaten im Vorsemester

Zum WS 2002/03 wurden drei weitere Stipendien vergeben: Diese gingen an K.A. Addai (Ghana), S.A. Tetteyfio (Ghana) und M. Vasin (Serbien). Diese drei Stipendiaten sind derzeit im Vorbereitungssemester und nehmen parallel dazu an Deutschkursen teil. Die Prüfungen werden Ende Februar abgelegt, so dass zu diesem Zeitpunkt noch keine Angaben über die Studienleistungen gemacht werden können.

Insgesamt reflektieren die Heimatländer der Stipendiaten in etwa die Verteilung der Studierenden des Studiengangs WAREM. Allerdings ist anzumerken, dass Stipendien bevorzugt an Studierende aus Ghana vergeben wurden. Damit ist es vielleicht mittelfristig möglich, die Querverbindungen zu GLOWA-Volta zu verstärken. So wurde bereits in Jahr 2002 eine Master's Thesis zur Untersuchung der Grundwasserverfügbarkeit im Einzugsgebiet der Volta im Rahmen des GLOWA-Volta Projekts durchgeführt (ACQUAH 2002).

2.2 Disziplinärer Wissenstransfer

Im Jahre 2002 wurde damit begonnen, sowohl die Stipendiaten, als auch ihre Kommilitonen im Studiengang WAREM über die verschiedenen Forschungsdisziplinen in GLOWA-Danube zu informieren. Dies geschah vor allem vor dem Hintergrund, disziplinäres Fachwissen einzelner Forschungsgruppen direkt an die Studierenden weiterzugeben. Sei es durch Vorträge oder durch die Anfertigung einer Independent Study oder Master's Thesis direkt bei den Projektpartnern.

Im Oktober wurde, um die GLOWA-Forschung für die Studierenden in Perspektive zu setzen und auch um zukünftige Arbeitsmöglichkeiten für die Absolventen aufzuzeigen, Prof. Mauser nach Stuttgart zu einer Festvorlesung im Rahmen der WAREM-Commencement Feier eingeladen (MAUSER 2002).

Inzwischen wurden von einigen der disziplinären Forschungsgruppen Themen für Independent Studies oder Master's Thesis angeboten:

“Snow” (*Kommission für Glaziologie, München*)

“Development of the Bavarian Glaciers over the last 150 years”

“Glacier Mass Balance Determination (Field Work)”

“Hydrologic Components of Glaciers Based on Calibration of Run-Off Gages”

“Farming(actor)” (*Universität Hohenheim*)

“Effects of climate change on agricultural productivity in Europe (effects of droughts)”

“Effects of flooding on agricultural crop yield (sugar beet, maize, cereals)”

“Evaluation of potential contribution of agricultural management practises to water retention and flood prevention”

“Costs of agricultural irrigation (technical costs, investment, subsidies) - examples in Europe”

„Rivernetzwerk“ (IAWG München)

Im Berichtszeitraum wurde bereits beim *Ingenieurbüro IAWG* eine Master's Thesis angefertigt. Die Arbeit beschäftigt sich mit der Interaktion zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser und steht derzeit vor der Abgabe (SCHUOL 2003).

Der Zeitraum für die Bearbeitung der Master's Thesis beginnt im März jedes Jahres und somit ist zu erwarten, dass rechtzeitig vor diesem Termin weitere Angebote der anderen Forschergruppen eingehen werden. In den nächsten Wochen ist geplant, die „Primary Investigators“ dieser Gruppen nach Stuttgart einzuladen, damit diese ihre Arbeiten detailliert vorstellen und somit das Interesse der Studierenden für diese Arbeiten wecken können.

3. Ausbildungs- und Austauschforum

Im Berichtszeitraum wurde an der Universität Stuttgart ein Scaling-Workshop organisiert (10./11.Dez.2002). 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. Innerhalb dieser Gruppen werden in den nächsten Monaten weitere Besprechungen stattfinden. Dadurch soll und darf jedoch die Diskussion zwischen den Sub-Gruppen Up- bzw. Down-Scaling nicht vernachlässigt werden. Deshalb soll sich diese integrative Gruppe mindestens einmal jährlich zum Austausch treffen.

Die studentische Beteiligung an diesem interessanten Angebot war nicht übermäßig groß. Das lag jedoch vor allem daran, dass das Treffen während der Vorlesungszeit stattfand und somit mit den Fachvorlesungen im Rahmen des M.Sc.-Programms konkurrierte. Mittelfristig sollen solche Veranstaltungen jedoch regelmäßig angeboten werden. Mit der weiteren Integration der Studierenden in die disziplinären Forschungsarbeiten (s. 2.2.1) ist zu erwarten, dass das Interesse und die Teilnahme der Studierenden zukünftig zunehmen wird. Insbesondere auch, wenn durch eine günstigere Wahl des Termins eine Teilnahme ohne Überschneidung mit anderen Veranstaltungen möglich sein wird.

4. Ausblick

Im Projektjahr 2003 soll die Integration der Stipendiaten und Studierenden in die einzelnen an GLOWA-Danube beteiligten Teilgruppen verstärkt vorangetrieben werden. Insbesondere soll versucht werden, die Studierenden dazu zu animieren, in anderen Teilprojekten ihre Independent Study oder Master's Thesis anzufertigen. Somit werden mittelfristig mehrere Ziele erreicht:

Die Studierenden erhalten eine Ausbildung, die breiter und interdisziplinärer ist, als sie von WAREM allein angeboten werden könnte.

Die Studierenden werden mit verschiedenen Forschungseinrichtungen und Universitäten Süddeutschlands vertraut und können somit Beziehungen aufbauen, 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 solch interdisziplinären Ausbildung, die WAREM nur im Verbund mit den anderen Teilprojekten bieten kann, wird mittelfristig ein Wissenstransfer in Schwellen- und Entwicklungsländer sichergestellt.

Literatur

ACQUAH, B.K.P. (2002): Investigation of Groundwater Availability in the Volta Basin of Ghana, based on Hydrological Field Data and Geological Maps using GIS. Master's Thesis, Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau.

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, unveröffentlicht (voraussichtliches Veröffentlichungsdatum: März 2003).

MAUSER, W. (2002): "Future Water Availability - Regional and Global Aspects", Festvortrag anlässlich der Graduierungsfeier des Studiengangs WAREM, Universität Stuttgart, 18.10.2002.