

## 3 GLOWA Fallstudien

### 3.1 Donau

#### Folgen des globalen Wandels an der Oberen Donau

Der globale Klimawandel wird langfristig beträchtliche Auswirkungen auf die Wasserressourcen haben. Dazu gehören die Zunahme der Extremereignisse (Hoch- und Niedrigwasser), der Rückgang der Schneedecke, das Abschmelzen der Gletscher in den Alpen sowie eine Veränderung der natürlichen Vegetation und der Landwirtschaft im Gebiet der Oberen Donau. Zur Planung künftiger Investitionen in den Bereichen Wasserwirtschaft, Energie, Landwirtschaft, Tourismus und Industrie ist eine detaillierte Analyse der Folgen des Klimawandels notwendig.

Das GLOWA-Projekt Donau ([www.glowa-danube.de](http://www.glowa-danube.de)) konzentriert sich auf die Gebirgsregionen der Alpen und die Vorländer der Oberen Donau. (Abbildung 3.1). Im Einzugsgebiet der Oberen Donau, dem Oberlauf des zweitgrößten europäischen Flusses, das sich von

der gemäßigten Zone der Tiefebene bis zu den mehr als 3500 m hohen, vergletscherten Gebirgszügen erstreckt, leben mehr als 11 Millionen Menschen. Weitere Angaben finden Sie in der Box 3.1.

Die Obere Donau verfügt derzeit über einen Wasserüberschuss, mit dem die großen, stromabwärts gelegenen Regionen der Donau versorgt werden.

Die Wasserressourcen sind durch extensive Wasserspeicherung- und Wasserüberleitungsmaßnahmen optimiert, um die Ansprüche aus Transport, Tourismus, Bewässerung, Energieerzeugung und Industrie zu befriedigen. Aufgrund des großen Höhenunterschiedes (ca. 3000 m), der Bedeutung von Schnee- und Gletscherschmelzwasser (Abbildung 3.2) und den voraussichtlich zu erwartenden Änderungen bei der saisonalen Wasserverfügbarkeit werden diese Ansprüche empfindlich durch den erwarteten Klimawandel berührt.



#### Box 3.1 Die Donau

- Gesamtlänge ca. 2850 km
- Gesamteinzugsgebiet 817.000 km<sup>2</sup>
- Größe des Projektgebiets Obere Donau 77.000 km<sup>2</sup>
- Derzeitige Bevölkerung im Einzugsgebiet Obere Donau ca. 11,2 Millionen (2006)
- Jahresmittel des Niederschlags im Einzugsgebiet 1240 mm (1971–2000)
- Mittlerer Jahresabfluss am Pegel Achleiten (nahe Passau) 1430 m<sup>3</sup>/s (1901–2005)
- Die Wasserqualität in der Region zählt gegenwärtig zu den besten in Europa
- Die Alpen sind die derzeit größte Wasserüberschussregion Europas

Abbildung 3.1 Das Einzugsgebiet der Oberen Donau



**Abbildung 3.2**  
*Zusammenfluss von Donau,  
Inn (grünes Gletscherwasser)  
und Ilz in Passau.*

Jede Veränderung in den Wasserressourcen der Oberen Donau wird auch die wachsende Bevölkerung in den stromabwärts gelegenen mittel- und osteuropäischen Staaten treffen, die vor kurzem der Europäischen Union beigetreten sind. Aufgrund dieser komplexen ökologischen, ökonomischen, sozialen und politischen Faktoren ist eine Analyse der Folgen des Klimawandels unverzichtbar.

Keine einzelne wissenschaftliche Disziplin ist in der Lage, diese vielschichtigen Wechselwirkungen zu erfassen. Im GLOWA-Projekt stellte man sich dieser Herausforderung durch Kooperation innerhalb einer Gruppe von Forschern verschiedener naturwissenschaftlicher und sozioökonomischer Disziplinen: Hydrologen, Wasserwirtschaftler, Meteorologen, Glaziologen, Geographen, Ökologen, Umweltökonom, Umweltpsychologen sowie Informatiker.

## 4 Die Herausforderungen des GLOWA-Programmes bewältigen

### 4.1 Donau: Zukünftige Entwicklungstendenzen der Niedrigwassercharakteristik im Einzugsgebiet der Oberen Donau

#### Einleitung

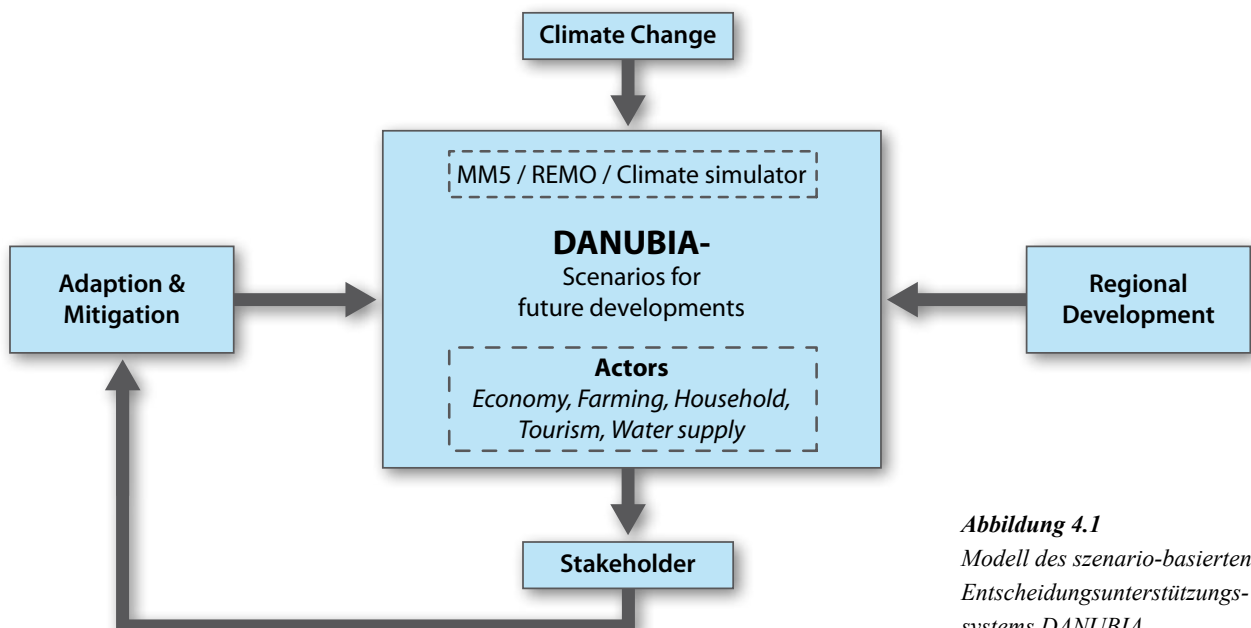
Das Ziel von GLOWA-Danube besteht in der Entwicklung und Validierung von Integrationsansätzen, Modellen und neuen Monitoringverfahren zur Beurteilung der Folgen des globalen Wandels für die Wasserressourcen des mit 77.000 km<sup>2</sup> mittelgroßen Einzugsgebietes der Oberen Donau. Im Rahmen des Projektes wurde hierzu das netzwerkbasierte Entscheidungsunterstützungssystem DANUBIA (Abbildung 4.1) entwickelt, um Strategien zur Wasserbewirtschaftung zu ermitteln, die auf den Analysen verschiedener Szenarien des globalen Wandels für den Zeitraum 2011–2060 beruhen. Die Ergebnisse werden schrittweise mit den wesentlichen Interessenvertretern diskutiert, um alternative Lösungen und Folgen für die Wasserverteilung und -nutzung abzuschätzen.

Folgende Forschungsschwerpunkte wurden untersucht:

- Wie groß sind die erwarteten Auswirkungen des Klimawandels auf die Wassernutzung?
- Welche Folgen hat eine veränderte Wasserverfügbarkeit für die Landwirtschaft?
- Wie beeinflusst der demographische und technologische Wandel den Wasserverbrauch der Bevölkerung?

Die natürlichen Gegebenheiten der Oberen Donau sind vergleichbar mit denen in vielen anderen Gebirgsregionen. Daher lässt sich der gewählte Ansatz prinzipiell auf andere Regionen wie Pyrenäen, Himalaja, Anden, Kaukasus und das Äthiopische Hochland übertragen.

**Das Entscheidungsunterstützungssystem DANUBIA**  
DANUBIA ist ein gekoppeltes prognosefähiges Simulationsmodell. Zum ersten Mal werden Modell-



**Abbildung 4.1**  
Modell des szenario-basierten Entscheidungsunterstützungssystems DANUBIA

komponenten für naturwissenschaftliche und sozio-ökonomische Prozesse sowie deren Wechselwirkungen einbezogen. Die hydrologische Komponente beruht auf einem räumlich verteilten, physikalisch basierten hydrologischen Modell, das den Input aus regionalen Klimamodellen zur Prognose der Folgen des Klimawandels verwendet. Physikalisch basierte Komponenten beschreiben die Naturdynamik in den Teilbereichen Hydrologie, Hydrogeologie, Pflanzenökologie und Glaziologie.

Das Modell erlaubt die Einschätzung der Folgen verschiedener Bedarfszenarien und Entscheidungen in den Sektoren Landwirtschaft, Wirtschaft, Wasserversorgung, private Haushalte und Tourismus durch die Simulation der Entscheidungsfindungsprozesse auf Grundlage von gesellschaftlichen Strukturen, ihren Rahmenbedingungen und Prioritätssetzungen (Abbildung 4.1).

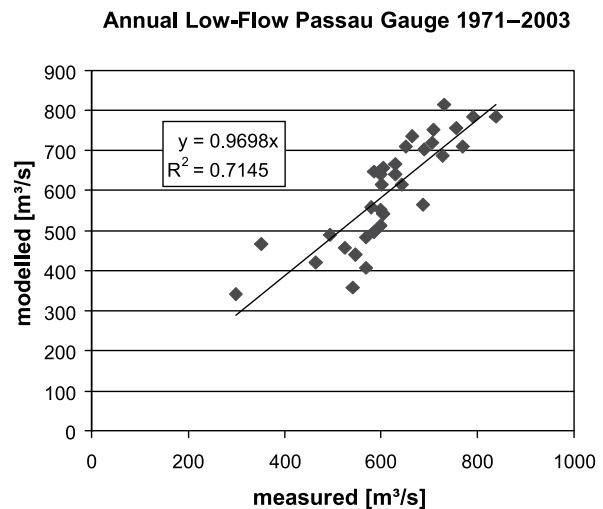
Alle Komponenten von DANUBIA laufen parallel auf einem kostengünstigen LINUX Cluster. DANUBIA wurde eingehend und erfolgreich mit umfangreichen Datensätzen aus dem Zeitraum 1970–2005 validiert.

DANUBIA wird 2010, nach Ablauf der 3. Projektphase, als „Open Source“ zur Verfügung gestellt und wird insbesondere für Entscheidungsträger in Politik, Wirtschaft und Verwaltung von großem Nutzen sein.

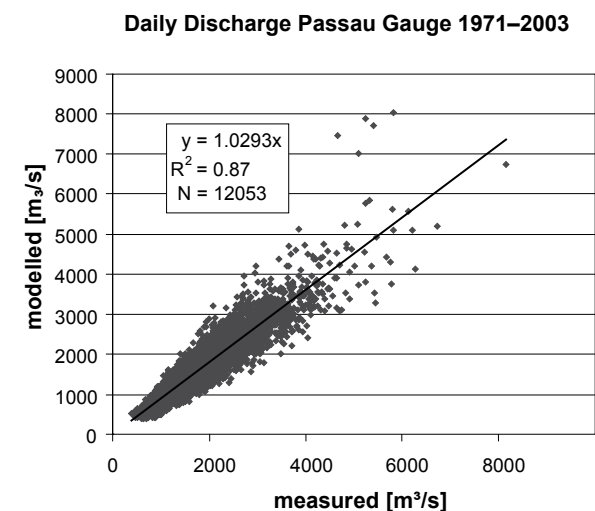
#### Szenarien künftiger Niedrigwasserereignisse im Einzugsgebiet der Oberen Donau

Niedrigwasser wird durch eine andauernde Abflusssituation unterhalb des jahreszeitlichen Mittels beschrieben. Es ist ein entscheidender begrenzender Faktor für die Nutzung von Wasserressourcen. Niedrigwasserzeiten sind die Folge verminderter Wasserspeicherung in Böden, Festgestein, Schneedecken, Gletschern und Seen und werden durch anhaltende Trockenperioden, erhöhte Evaporation und Frost verlängert. Sie schränken die Wasserkraft-erzeugung sowie die Verfügbarkeit von Kühlwasser für thermische Kraftwerke ein, behindern die Schifffahrt und verursachen beträchtliche Kosten.

Die Auswirkungen von Niedrigwasser sind durch den Bau von Talsperren abgeschwächt worden, die die Speicherung von Überschusswasser in Zeiten hoher Abflüsse ermöglichen, das dann in Trockenzeiten wieder abgegeben werden kann. Außerdem kann Wasser aus Überschussregionen in trockenere Gebiete übergeleitet werden.



**Abbildung 4.2** Gemessenes und modelliertes jährliches Niedrigwasser (NM7Q) für den Vergleichszeitraum 1971–2003 am Pegel Achleiten unterhalb Passau, Obere Donau.



**Abbildung 4.3** Gemessener und modellierter täglicher Abfluss für den Vergleichszeitraum 1971–2003 am Pegel Achleiten unterhalb Passau, Obere Donau.

Global gesehen wird Klimawandel gewöhnlich als erwarteter langfristiger Anstieg der mittleren Lufttemperatur verstanden. Es wird angenommen, dass die Lufttemperatur mit geringer Unsicherheit in Bezug auf Größe und räumliche Verteilung abgeschätzt werden kann. Prognostizierte Veränderungen bei den Niederschlägen sind jedoch weit weniger sicher. Für Mitteleuropa erwartet der IPCC keine bedeutenden Änderungen des Jahresniederschlagsmittels, aber beträchtliche Anstiege im Winter, einhergehend mit einem entsprechenden Rückgang der Sommerniederschläge.



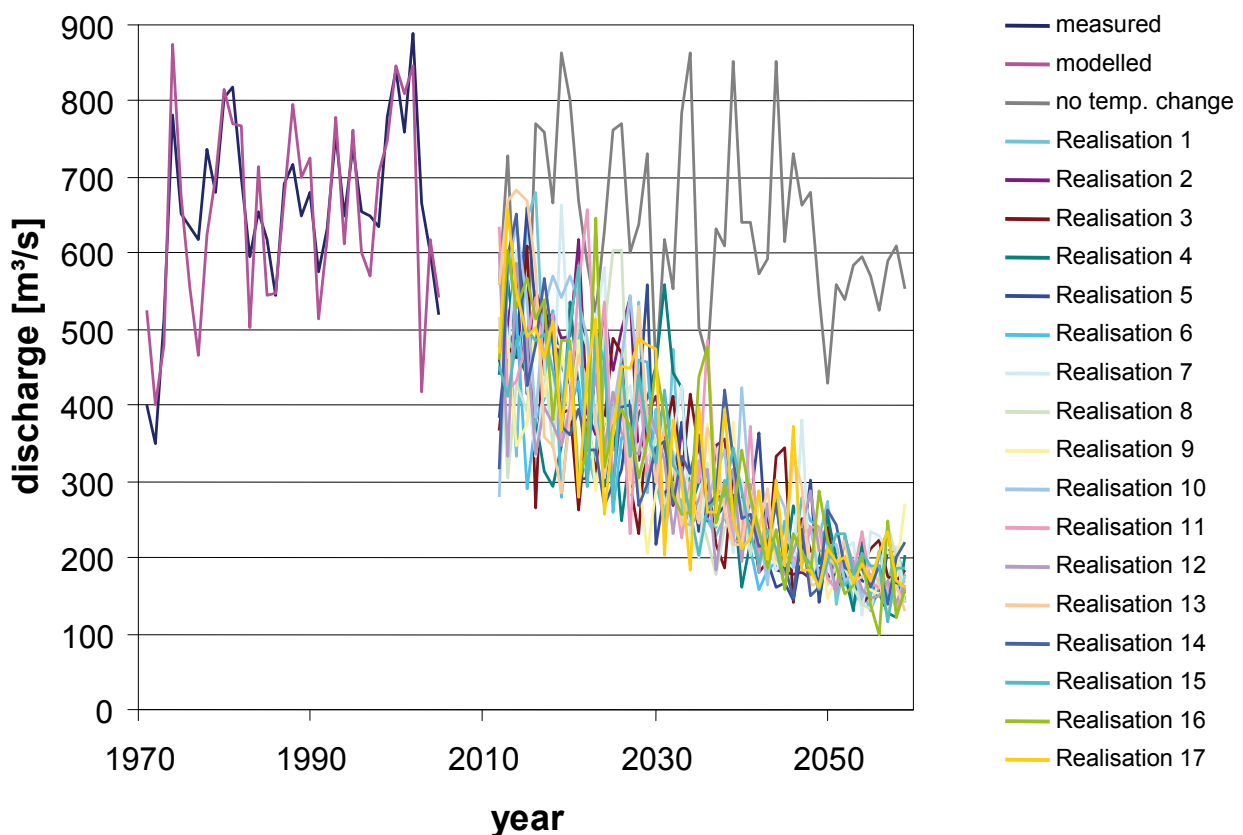
Eine Kernfrage von globaler Bedeutung, mit der sich GLOWA unter Verwendung von DANUBIA befasst hat, ist: „Wie gravierend sind die Auswirkungen des Klimawandels auf das Niedrigwasserverhalten und welche Anpassungsstrategien sind geeignet, um negative Auswirkungen zu mindern?“ (Mauser 2008). Abbildung 4.2 und Abbildung 4.3 zeigen die Ergebnisse, die nicht mit historischen Abflussdaten kalibriert sind für den Zeitraum 1971–2003 am Pegel Achleiten unterhalb von Passau (in der Nähe des Auslaufs des 77000 km<sup>2</sup> großen Einzugsgebietes der Oberen Donau).

Im Vergleich zu den historischen Daten werden der tägliche Abfluss, das niedrigste jährliche arithmetische Mittel des Abflusses an 7 aufeinander folgenden Tagen (NM7Q) und die jährliche Variabilität des Niedrigwasserverhaltens von dem Modell gut erfasst.

Das Modell wurde auf der Grundlage dieser Ergebnisse zur Abschätzung von Abfluss-Szenarien für den

Zeitraum 2011–2060 benutzt, wobei die Ergebnisse eines stochastischen Klimagenerators eingeflossen sind. Hierbei kam das IPCC-A1B-Szenario zur Anwendung, das für das Einzugsgebiet der Oberen Donau einen Temperaturanstieg von 3 Grad bis zum Jahr 2060 vorhersagt.

Unter Verwendung gemessener meteorologischer Daten wurde eine Vielzahl an möglichen Niederschlags- und Temperaturreihen entsprechend des prognostizierten langfristigen Temperaturtrends abgeleitet. Diese wurden dann benutzt, um Ensembles von prognostizierten Abflüssen zu modellieren. Hiervon wurden 17 auf der Grundlage von Kriterien wie dem trockensten 5-Jahres-Zeitraum der ersten 25 Jahre oder dem heißesten Sommer von 2035–2060 ausgewählt. Alle ausgewählten Szenarien wurden mit einem Szenario verglichen, das von der Annahme ausgeht, dass keine weitere Temperaturänderung eintreten wird. Abbildung 4.4 zeigt die Ergebnisse der Ensemble-Modellläufe.



**Abbildung 4.4** Gemessenes und modelliertes (linke Seite des Diagramms) sowie prognostiziertes jährliches Niedrigwasser (NM7Q) für ein Szenario ohne weitere Temperaturänderung (graue Kurve auf der rechten Seite des Diagramms) und ein Ensemble von 17 statistisch äquivalenten Umsetzungen des IPCC-A1B Szenarios am Pegel Achleiten unterhalb Passau im Einzugsgebiet der Oberen Donau.

Die gemessenen und modellierten historischen jährlichen Niedrigwasserabflüsse werden im linken Teil der Abbildung 4.4 verglichen. Wie bereits in Abbildung 4.2 dargestellt, gelang mit DANUBIA eine gute Übereinstimmung von beobachtetem und modelliertem Abfluss.

Der rechte Teil der Abbildung 4.4 zeigt die Ergebnisse einer großen Spannweite an möglichen zukünftigen Szenarien jährlicher Niedrigwasserabflüsse. Es ist klar erkennbar, dass das „Kein-Klimawandel-Szenario“ (graue Linie) eine Zukunft prognostiziert, die der Vergangenheit stark ähnelt. Das Ensemble der A1B-Szenarien zeigt eine fortschreitende starke Abnahme der Jahresniedrigstflüsse für alle Mitglieder des Ensembles, bei gleichzeitiger Abnahme der Unsicherheit der durch die klimatischen Eingangswerte verursachten statistischen Schwankungen. Die statistischen Variationen weisen eine starke Ähnlichkeit mit aktuell beobachteten Schwankungen auf.

Man erwartet, dass künftige Niedrigwasserabflüsse nur etwa ein Drittel der heutigen Werte erreichen werden – ein beachtlicher Rückgang. Diese zentralen Ergebnisse werden derzeit mit lokalen Interessenvertretern diskutiert, um mögliche Anpassungsstrategien zu finden, die dann in DANUBIA umgesetzt und im Hinblick auf ihre Effizienz erprobt werden können

#### Box 4.1 Zusammenfassung

Szenarien zu den regionalen Folgen des Klimawandels für die Wasserressourcen bilden die Grundlage für einen strukturierten Dialog mit den Interessenvertretern im Einzugsgebiet und auch für die simulierten Entscheidungen von Akteuren im Kontext der sozialwissenschaftlichen Untersuchungen im Rahmen von GLOWA-Donau.

Dabei ist von zentraler Bedeutung, nichtkalibrierte, aber validierte Modelle der hydrologischen Prozesse zu entwickeln, um die gesamte Bandbreite des zukünftig zu erwartenden hydrologischen Wandels abdecken zu können.

Das Beispiel unterstreicht die Leistungsfähigkeit des entwickelten Modells und beschreibt eine Analyse der künftigen Niedrigwasserentwicklung im Einzugsgebiet der Oberen Donau auf der Grundlage eines Ensembles von 17 Realisationen des IPCC-A1B-Klimaszenarios. Die Ergebnisse wurden mit Interessenvertretern diskutiert, die Strategien für Investitionsmaßnahmen im Bereich wassergebundener Infrastruktur entwickeln.

## 4.2 Donau: Modellierung der Wechselwirkung von Mensch und Natur mit DANUBIA

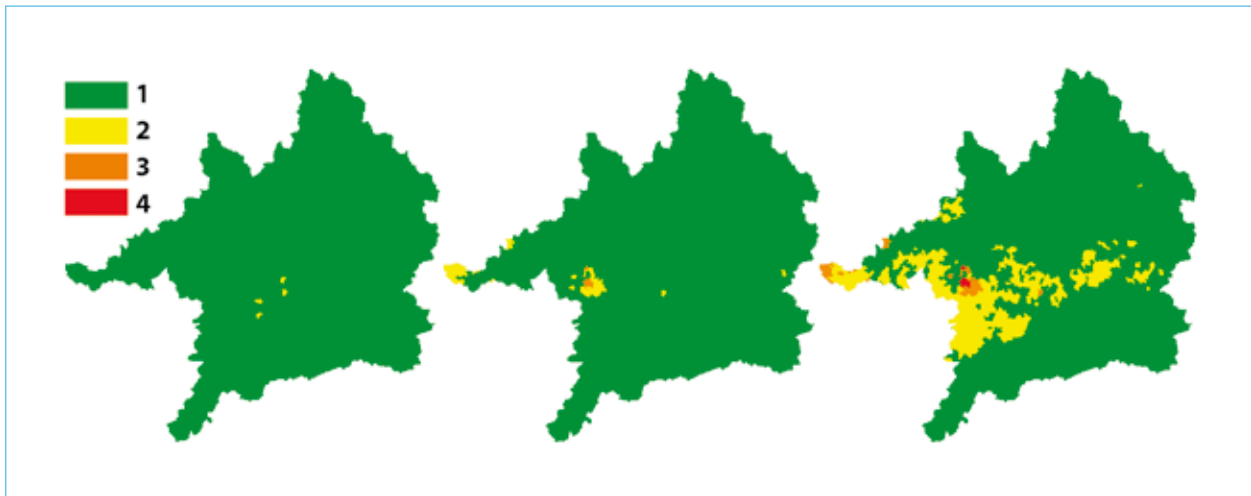
Forschungen zu den Auswirkungen des globalen Wandels auf den Wasserkreislauf stellen eine besondere Herausforderung dar, d.h. die detaillierte Beschreibung der Verflechtung natürlicher und gesellschaftlicher Prozesse. Veränderungen natürlicher Antriebskräfte führen zu Anpassungszwängen und lösen gesellschaftliche Reaktionen aus, die wiederum auf einer Vielzahl individueller Präferenzen, Entscheidungen und Lernprozessen beruhen, die sich gegenseitig beeinflussen.

Zur Darstellung einer derartigen Vielschichtigkeit und um eine integrierte Simulation gesellschaftlicher und natürlicher Abläufe in DANUBIA zu ermöglichen, wurde das „DEEPACTOR“-System entwickelt. Es stellt eine gemeinsame konzeptionelle und gestalterische Basis für die Modellierung und Implementierung von sozioökonomischen Simulationsmodellen in GLOWA-Donau zur Verfügung. Das System verwendet den „agentenbasierten“ Simulationsansatz aus den modernen Sozialwissenschaften, der auf Konzepten verteilter künstlicher Intelligenz beruht.

Entscheidungsträger wie Einzelpersonen, Organisationen und Firmen werden detailliert modelliert und als „Akteure“ simuliert. Ein Akteur beobachtet sein gesellschaftliches, wirtschaftliches und materielles Umfeld und wählt als Reaktion auf seine Beobachtungen eine Handlung aus einer Reihe von Alternativen aus. Die Handlungen wiederum verursachen Folgen für die Umwelt und andere Interessenvertreter. Unterschiedliche Akteure können jeweils anders reagieren, abhängig von ihrem Wissen oder ihrem Zugang zu Daten, ihrer Aufnahmefähigkeit, ihren Präferenzen, dem verfügbaren Budget und dem Standort. Einige dieser Parameter können im Verlauf der Zeit variieren, wobei agentenbasierte Modelle in realistische sozialwissenschaftliche Prozess-Modelle umgewandelt werden.

Zur Illustration des Zusammenspiels natürlicher und gesellschaftlicher Prozesse ist es aufschlussreich, die DANUBIA Grundwasser-, Wasserversorgungs- und Privathaushaltsmodelle zu betrachten.

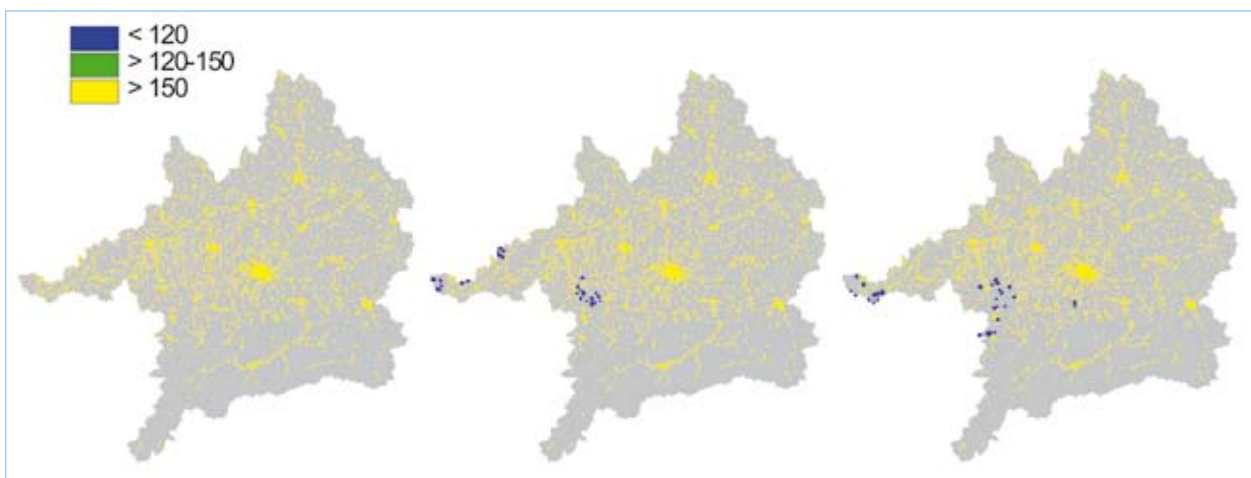
Wasserversorgung ist ein Akteurmodell des Wasserversorgungsbereichs, zu dem Wasserentnahme, -behandlung und -verteilung gehören. Privathaushalt ist ein weiteres Akteurmodell zur detaillierten Modellierung der Wassernutzung in privaten Haushalten.



**Abbildung 4.5** Räumliche Verteilung der modellierten Trinkwassermenge-Flags [von 1 (gut) bis 4 (katastrophal)] im Einzugsgebiet der Oberen Donau im Juli 2038 für das Klimaszenario „Business as usual“ sowie für folgende Verhaltensweisen der Wasserversorger: nicht-sensitiv (links), mittlere Sensitivität (Mitte) und sensitiv (rechts).

Während die Versorger in der Regel gut über die Verfügbarkeit von Grundwasser informiert sind, konsumieren die einzelnen Verbraucher lediglich, ohne wirkliche Kenntnisse über die technischen Hintergründe der Grundwasserverteilung und -verfügbarkeit zu haben. Abgesehen von der Wasserversorgung der modellierten Verbraucher in DANUBIA stellt das Wasserversorgungsmodell Informationen über den Zustand des Wasserversorgungssystems bereit (Barthel, Mauser & Braun, 2008; Barthel, Nickel, Meleg, Trifkovic & Braun, 2005).

Diese Information wird in verdichteter Form unter Verwendung von „Flags“ bereitgestellt. Flags nehmen ganzzahlige Werte von 1 (gut) bis 4 (katastrophal) an. Das Wasserversorgungsmodell berechnet bei jedem Zeitschritt zwei Flags auf der Grundlage einer Reihe von physikalischen Parametern, wobei die Modelle „Grundwasser“ und „Privathaushalte“ gekoppelt werden. Die „Grundwassermenge“- und „Grundwassergüte“-Flags beschreiben den Systemzustand der Grundwasserressourcen in einem definierten Gebiet.



**Abbildung 4.6** Räumliche Verteilung der modellierten Wassernutzung von Privathaushalten (in Liter pro Haushalt und Tag) im Einzugsgebiet der Oberen Donau im Juli 2038 für das Klimaszenario „Business as usual“. Wie in Abbildung 4.5 beziehen sich die Rechenläufe auf folgende Verhaltensweisen der Wasserversorger: nicht-sensitiv (links), mittlere Sensitivität (Mitte) und sensitiv (rechts). Die Haushalte weisen einen hohen Wasserverbrauch (Juli) auf, außer in den Regionen, in denen Flags angezeigt worden waren.

„Trinkwasserqualität“-Flag stellt eine Bewertung der Wasserversorgung auf Grund der quantitativen Änderungen in der Verfügbarkeit von Trinkwasserressourcen dar, bezogen auf die Wassernutzer.

Die Veränderungen im Zustand der Grundwasservorkommen werden von den Wasserversorgern unterschiedlich interpretiert, je nachdem wie sensitiv diese auf Gefährdungen der Nachhaltigkeit reagieren und wie hoch deren Bereitschaft ist, diese Informationen an die Wassernutzer weiterzugeben.

Aktuell werden drei solcher Ausprägungen betrachtet, die im Bereich von „nicht-sensitiv“ (d.h. missachtet Veränderungen, teilt diese nicht mit und versucht, den Bedarf durch den Einsatz versorgungsseitiger technischer Maßnahmen mit dem Ziel höherer Entnahmeraten zu befriedigen) über „mittlere Sensitivität“ (d.h. pragmatische und wirtschaftliche Einstellung) bis zu „sensitiv“ (d.h. räumt der Nachhaltigkeit einen höheren Stellenwert ein, gibt Informationen sofort weiter und ergreift geeignete Maßnahmen). Abbildung 4.5 zeigt für ein Klimaszenario des Typs „Business as usual“ einen Vergleich der resultierenden räumlichen Verteilung der Trinkwassermengen-Flags.

Die von den Wasserversorgern übermittelten Trinkwassermengen-Flags können als unterschiedliche Grade des öffentlichen Bewusstseins in Bezug auf die Wasserverfügbarkeit interpretiert werden. Sie beeinflussen die Wassernutzung von Privathaushalten. Das Ausmaß dieses Einflusses hängt von der Art der Lebensführung, den finanziellen Verhältnissen, dem Ort und der technischen Infrastruktur des jeweiligen Privathaushalts ab (Ernst, Schulz, Schwarz & Janisch, 2008). Wie aus Abbildung 4.6 ersichtlich ist, schränken die betroffenen Haushalte ihre Wassernutzung entsprechend der erlangten Informationen ein.

Zusätzlich zu den gesellschaftlichen Reaktionen auf Veränderungen im Bereich der Wasserversorgung berücksichtigt das Privathaushaltsmodell die zunehmende Verbreitung wassersparender Einrichtungen in Haushalten, wie z.B. den Einsatz von wassersparenden Duschköpfen oder Regenwassersammelsystemen. Auch politische Szenarien (wie die Subventionierung von Technologien) sind berücksichtigt worden. Sie zeigen die mit der Zeit zunehmende Verbreitung der Innovationen im Einzugsgebiet, die somit zu einer weiteren Senkung des häuslichen Wasserverbrauchs beitragen (Schwarz & Ernst, im Druck).

#### Box 4.2 Zusammenfassung

Zu den zentralen Bestandteilen von DANUBIA gehört die Modellierung der Wechselwirkungen von Mensch und Natur. Bei den sozialwissenschaftlichen Prozessmodellen wird die Methode der agentenbasierten Modellierung verwendet und direkt mit den naturwissenschaftlichen Prozessmodellen gekoppelt.

Das hier angeführte Beispiel stellt ein Wasserversorgungsmodell vor, das Informationen zur Nachhaltigkeit der Ressourcen an die häuslichen Wassernutzer weitergibt, z.B. in Form von öffentlichen Bekanntgaben oder Empfehlungen. Diese Informationen ergeben sich aus der Auswertung der Naturzustände in Abhängigkeit von den Prioritäten des jeweiligen Wasserversorgers. Die im Privathaushaltsmodell vertretenen Endverbraucher interpretieren wiederum die erhaltenen Informationen und setzen sie in individuelles Verhalten um, z.B. Veränderung der Gewohnheiten bei der Wassernutzung. Die Informationen beeinflussen auch ihre Investitionen in häusliche Wasserspartechnik.



## 5 Erfahrungen in der nachhaltigen Entwicklung

### 5.1 Donau: Folgen des Klimawandels auf die Niedrigwasserführung in Gebirgsregionen

Der Klimawandel in der Gebirgsregion der Oberen Donau wird zu einem beträchtlichen Rückgang der Oberflächenabflüsse aus Schnee- und Gletscherschmelze sowie zu verminderten Sommerniederschlägen führen (Abbildung 5.1). Mittels einer detaillierten Analyse wurden Umfang, saisonale und räumliche Verteilung der Auswirkungen auf verschiedene Bereiche der Wassernutzung ermittelt. Beispielsweise hängen 70 % der österreichischen Stromversorgung von der Wasserkraft ab, die zum Teil in der Oberen Donau erzeugt wird. Der prognostizierte Wandel im hydro-

logischen Regime wird die Energieinfrastruktur der Region sowie Konstruktion und Betrieb von Wasserkraftprojekten in den Alpen stark prägen.

Diese Schlussfolgerung regte die Diskussion mit Interessenvertretern über eine effiziente künftige Implementierung von Bewirtschaftungsinstrumenten und langfristigen Investitionen zur Anpassung an die Veränderungen der Oberflächenabflüsse an.

### 5.2 Donau: Die komplexen Wechselwirkungen zwischen Klimawandel und landwirtschaftlicher Erzeugung

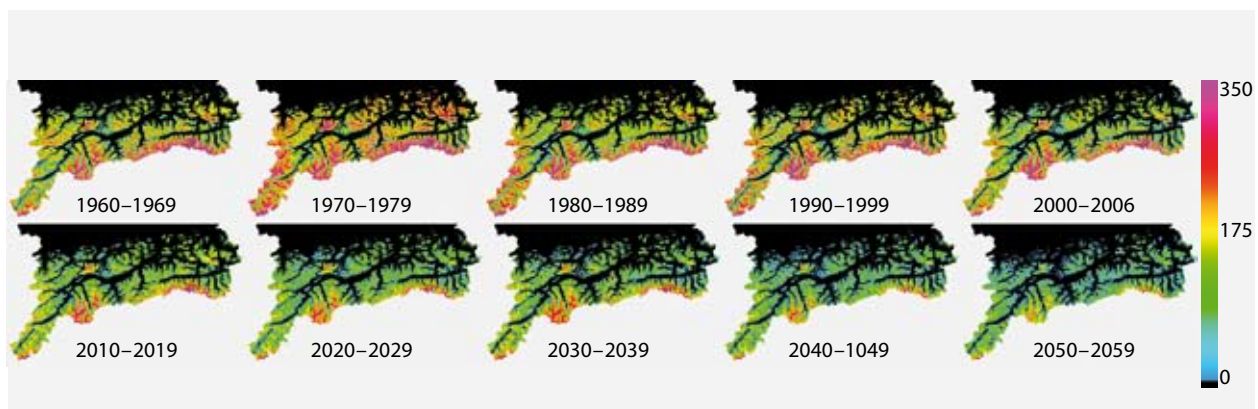
Der Rückgang der Niederschläge und zunehmende Evapotranspiration werden zu einem Rückgang der für die landwirtschaftliche Erzeugung verfügbaren Bodenfeuchte führen. Es ist zu erwarten, dass ausgedehnte Gebiete in den trockeneren Regionen der Oberen Donau bewässert werden müssen, um die derzeitigen Ernteerträge zu erzielen.

Gleichzeitig werden die feuchteren Gebiete in der Nähe der Alpen ihre landwirtschaftliche Produktion umstellen müssen. Nach den Vorhersagen werden die derzeit als Wiesen und Wälder genutzten Flächen potentielle Weizen- und Maisanbaugebiete ohne Bewässerung.

#### Box 5.1 Zusammenfassung

Reduzierte Wasserspeicherung in Form von Schnee, Sommerniederschläge, Rückgang der Gletscher und eine steigende Evapotranspiration werden zu einem verminderten Sommerabfluss führen.

Als Folge müssen die Handlungsoptionen bei der Bewirtschaftung der Wasserressourcen dem Klimawandel angepasst werden.



**Abbildung 5.1** Szenario-Simulationen der mittleren jährlichen Schneebedeckung in den deutschen und österreichischen Alpen im Einzugsgebiet der Oberen Donau. Die Simulationen zeigen den dekadischen Wandel in der Anzahl von Tagen mit einer Schneespeicherung von mehr als 50 mm im Verlauf eines Jahrhunderts (1961–2060).

Zusammen mit der Bewässerung in den trockeneren Regionen wird dieser Landnutzungswandel zu einer vermehrten Grundwasserentnahme und einer weiteren Verschärfung der sommerlichen Niedrigwassersituation führen. Infolgedessen wird es zu einer erheblichen Abnahme des Wasserexports in stromabwärts gelegene Länder kommen.

#### Box 5.2 Zusammenfassung

Der Temperaturanstieg und Rückgang des Niederschlags im Sommer wird sich stark auf die Landwirtschaft auswirken. Große Teile des Einzugsgebiets der Oberen Donau werden auf Bewässerung angewiesen sein, um die derzeitigen landwirtschaftlichen Erträge aufrecht-erhalten zu können. Bei anderen Flächen kann es zu einem Landnutzungswandel von Grünland zu Ackerland kommen.