
**Von Agenten, Altstadtbesuchern und Alpinisten.
Möglichkeiten und Grenzen von Multiagentensimulationen
in der Freizeit- und Tourismusgeographie
dargestellt an zwei Anwendungsbeispielen**

Anja Soboll

Dissertation
an der Fakultät für Geowissenschaften
der Ludwig-Maximilians-Universität
München

vorgelegt von
Anja Soboll
aus Schwabmünchen

München, den 13. Januar 2011

Erstgutachter: Prof. Dr. Jürgen Schmude
Zweitgutachter: Prof. Dr. Wolfram Mauser
Tag der mündlichen Prüfung: 02. März 2011

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich auf unterschiedliche Weise bei der Erstellung dieser Dissertation unterstützt haben:

Ich danke meinem Doktorvater, Prof. Dr. Jürgen Schmude, für die Möglichkeit, dieses interessante Thema als kumulative Dissertation bearbeiten zu können, für die vielen hilfreichen Diskussionen, die konstruktive Kritik und vor allem für den Freiraum, den er mir gewährte.

Meinen Dank möchte ich auch allen GLOWA-Danube Kollegen, besonders Dr. Alexander Dingeldey, Michael Elbers und Silke Kuhn aussprechen. Sie waren stets hilfreiche Inputgeber und kritische Diskussionspartner. Ich danke unserem GLOWA-Danube Hiwi Dennis Joswig für seine tatkräftige Unterstützung und die vielen kleinen guten Taten. Auch den Fachleuten, die für Expertengespräche zur Verfügung standen, danke ich für Ihre wertvollen praktischen Anregungen.

Darüber hinaus danke ich meinen Kollegen am Lehrstuhl für Wirtschaftsgeographie und Tourismusforschung für die angenehme Arbeitsatmosphäre und die Anregungen, die ich auf diversen Doktorandenkolloquien von ihnen erhalten habe. Besonderer Dank gebührt dabei meinem Büro-Mitbewohner Stefan Heumann, der Alles immer kritisch hinterfragte und jederzeit als Sparringspartner zur Verfügung stand sowie Antje Böttger, die sich auch nach Feierabend Ideen und Fragen zur Dissertation anhörte und dazu eine aufschlussreiche ‚Außensicht‘ lieferte.

Außerdem möchte ich mich bei den Co-Autoren der Publikationen, vor allem bei Tobias Klier, für die gute Zusammenarbeit bedanken. Mein Dank gilt auch den Editoren und anonymen Gutachtern der Journals für ihre zielführenden Hinweise und Empfehlungen. Herzlichen Dank auch an Dr. Gordon Winder für die sprachliche Durchsicht und Korrektur der englischen Publikationen.

Mein Dank gilt zudem Prof. Dr. Wolfram Mauser für seine Bereitschaft zur Erstellung des Zweitgutachtens. Meiner Mentorin, Prof. Dr. Bettina Reichenbacher, danke ich herzlich für die zahlreichen nützlichen Tipps und Einblicke, die ich von ihr erhalten habe. Nicht zuletzt danke ich meiner Familie und meinen Freunden, besonders Fons, für die moralische Unterstützung, umfangreiches Korrekturlesen und dafür, dass sie immer für mich da sind.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	IV
Inhaltsverzeichnis	V
1 Zur Relevanz der Thematik: Motivation und Anlage der Arbeit	1
2 Multiagentensimulation: Grundlagen und Potenziale	5
3 Multiagentensimulation: Anwendungsbeispiel Analyse des Erlebniseinkaufs als konsumorientierte Freizeitaktivität	9
4 Multiagentensimulation: Anwendungsbeispiel touristische Entwicklungsszenarien unter Global-Change-Bedingungen	12
4.1 Ableitung der Notwendigkeit integrativer Forschungsansätze für die Analyse von Folgen des globalen Wandels	12
4.2 GLOWA-Danube Modell <i>Tourism</i> und Szenarienentwicklung	15
4.2.1 Möglichkeiten und Grenzen des Modells <i>Tourism</i>	15
4.2.2 Szenarien zur Bewertung der Entwicklung des touristischen Angebots unter Global-Change-Bedingungen	17
4.3 Anwendungen und Erweiterungen des Modells <i>Tourism</i>	19
4.3.1 Analyse und Szenarien des touristischen Wertschöpfungsbeitrags in Bayern	19
4.3.2 ‚Christmas-Easter-Shift‘. Der Parameter ‚Optimaler Skitag‘ als Instrument zur Untersuchung der Entwicklung von Skigebieten unter Klimawandelbedingungen	21
5 Zusammenfassung und Ausblick	30

6 Langfassungen der Publikationen	33
Multiagentensysteme zur Simulation von Erlebniseinkauf und Gastronomiebesuch. Implementierung, Anwendung und Reflexion einer innovativen Methode zur Untersuchung konsumorientierter Freizeitaktivitäten	34
Mensch-Umwelt-Systeme unter dem Einfluss des globalen Wandels. Ein Ansatz zur integrierten regionalen Global-Change-Forschung am Beispiel des Themenkomplexes Tourismus und Klimawandel	61
Simulating tourism water consumption under climate change conditions using agent-based modeling. The example of ski areas	82
Integrated regional modelling and scenario development to evaluate future water demand under global change conditions	106
The prospective impact of climate change on tourism and regional economic development. A simulation study for Bavaria	131
 Literaturverzeichnis	 150
 Anhang	 VII
Weitere wissenschaftliche Aktivitäten	VIII
Publikationen	VIII
Internationale Tagungsbeiträge	IX
Tagungsorganisation	IX

1 Zur Relevanz der Thematik: Motivation und Anlage der Arbeit

Als generelles Ziel der Freizeit- und Tourismusgeographie lässt sich die Deskription, Analyse und Interpretation von Verbreitungs- und Interaktionsmustern verschiedener Akteure der touristischen Angebots- und Nachfrageseite auf unterschiedlichen raumzeitlichen Ebenen identifizieren (vgl. Steinecke 2006, 21). Unter der Annahme, dass Raumstrukturen nicht a priori gegeben, sondern Ergebnis individuellen Handelns sind, müssen Analysen dieser Strukturen über die Modellierung von Individualentscheidungen erfolgen (vgl. Schenk 2008, 17).

Dass bei der Analyse raumrelevanten Verhaltens die Berücksichtigung individueller Präferenzen in einer dynamischen Perspektive erforderlich ist, wird im Folgenden anhand eines Beispiels verdeutlicht:

In den letzten Jahrzehnten hat sich die Freizeit von einer Residualkategorie zum Alltagsmittelpunkt vieler Menschen entwickelt. Sie gilt heute vielfach als Selbstzweck und hedonistischer Ausdruck des eigenen Lebensstils (vgl. Albers 2006, 351; Weiermair 2006, 18). Seit Ende der 1980er Jahre ist dementsprechend eine enorme Ausdifferenzierung des Freizeit- und Tourismusmarktes zu beobachten, die sich in einer Vielzahl neuer Angebotsformen und Nachfragestrukturen widerspiegelt (vgl. Hopfinger 2007, 13). Zeigte der Konsument noch vor einigen Jahrzehnten ein mehrheitlich konstantes Verhalten, variiert dieses mittlerweile situations- und motivspezifisch deutlich, sodass vom ‚hybriden Konsumenten‘ (vgl. Müller 2001, 31ff.; Blank 2004, 239f.) gesprochen wird, der sich keiner eindeutigen Zielgruppe mehr zuordnen lässt.

Ein bedeutender Trend in diesem Kontext ist der Erlebniseinkauf, der die Befriedigung von Versorgungs- und Freizeitbedürfnissen in *einer* (touristischen) Aktivität kombiniert. Traditionelle Methoden der empirischen Sozialforschung greifen bei der nachfrageseitigen Analyse dieses Trends häufig zu kurz, da sie tendenziell statisch und verallgemeinernd arbeiten. Um auf räumlicher und zeitlicher Mikroebene das individuelle Konsumentenverhalten während des Erlebniseinkaufs adäquat analysieren zu können, muss jedoch zusätzlich eine dynamische Perspektive berücksichtigt werden, da u. a. Wechselwirkungen zwischen Angebot und Nachfrage bestehen und sich die persönliche Motivation während des Einkaufs ändert. Die Methode der Multiagentensimulation erlaubt es, derartige Prozesse in ihrer nichtlinearen Dynamik (vgl. Ratter/Treiling 2008, 37) adäquat nachzuvollziehen.

Wird der Tourismussektor auf einer größeren inhaltlichen, räumlichen und zeitlichen Ebene betrachtet, müssen in entsprechenden Analysen weitere Systemkomponenten berücksichtigt werden. Diese zusätzliche Erfordernis einer systemischen Perspektive lässt sich am Beispiel touristischer Entwicklungsszenarien unter Global-Change-Bedingungen illustrieren:

Die Tourismuswirtschaft wird als Bestandteil eines komplexen Mensch-Umwelt-Systems von zahlreichen Faktoren und deren Entwicklung beeinflusst. Änderungen dieser Treiber, beispielsweise gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen, führen

zu nachfrage- und angebotsseitigen Reaktionen (vgl. Freyer 2009, 68). Als einer der wichtigsten Einflussfaktoren auf die Entwicklung des Tourismussektors in den kommenden Jahrzehnten wird der Klimawandel gesehen (vgl. deFreitas 2005, 29ff.): Touristische Destinationen werden zum einen direkt von den Folgen des Klimawandels betroffen sein, etwa durch reduzierte Schneesicherheit oder temporären Wassermangel. Zum anderen werden sich durch die Umlenkung von Reiseströmen in Folge veränderter nachfrageseitiger Zielgebietspräferenzen Gewinner- und Verlierer-Destinationen herauskristallisieren. Der Tourismus stellt demnach einen besonders klimasensiblen und durch die Folgen des Klimawandels betroffenen Bereich menschlichen Handelns dar.

Um nachhaltige Adaptationsstrategien für den Tourismus hinsichtlich des Klimawandels bzw. des globalen Wandels zu identifizieren und zu bewerten, muss das zugrunde liegende System abgebildet, analysiert und verstanden werden. Die verschiedenen Akteure dieses Mensch-Umwelt-Systems dürfen daher nicht mehr isoliert betrachtet, sondern müssen in ihren Interaktionen miteinander und mit ihrer Umwelt untersucht werden. Diese systemische Perspektive beinhaltet die Berücksichtigung sich akkumulierender, wechselseitiger Beeinflussungen natürlicher und sozialer Komponenten (vgl. Egner/Ratter 2008, 11). Zugleich gilt es, bei derartigen Analysen eine regionale Differenzierung einzubeziehen, da davon auszugehen ist, dass der Klimawandel räumlich variable Konsequenzen induziert. Mit einer solchen Erhöhung der Granularität ändern sich wiederum relevante Prozesse und die erforderliche Komplexität zu entwickelnder Modelle nimmt zu (vgl. Elverfeldt/Keiler 2008, 95). Um diesen Aspekten gerecht zu werden, kann der Tourismus als Komponente menschlichen Handelns in Form eines Multiagentenmodells abgebildet und in ein übergeordnetes Simulationssystem eingebunden werden, das zugleich die Modellierung natürlicher Prozesse erlaubt.

Nach dieser kurzen thematischen Einführung werden im Folgenden Zielsetzungen und Aufbau der Arbeit dargelegt. Die vorliegende Arbeit gliedert sich, im Anschluss an eine kurze Einführung in die Methode der Multiagentensimulation (s. Kap. 2), in zwei Teile: In Kapitel 3 wird die Entwicklung und Anwendung eines Multiagentenmodells zur Analyse des Verhaltens von Erlebniseinkäufern vorgestellt. Simuliert wird jeweils ein Einkaufstag im Untersuchungsraum der Altstadt von Regensburg. Bei der Abbildung des Kaufentscheidungsprozesses ist die simultane Berücksichtigung nachfrageseitiger Präferenzen und angebotsseitiger Attribute von zentraler Bedeutung. Zielsetzung des Modells ist es, emergente Strukturen im raumwirksamen Verhalten, d. h. Konsumentenströme aufzudecken, um dadurch Gebiete unterschiedlicher Attraktivität zu identifizieren. In der Praxis lassen sich Modelle wie das vorgestellte beispielsweise einsetzen, um Standortentscheidungen in multifunktionalen Innenstädten oder Einkaufszentren zu optimieren.

Kapitel 4, das den Schwerpunkt der Arbeit darstellt, befasst sich mit der Multiagentensimulation touristischer Anbieter und Nachfrager unter Global-Change-Bedingungen im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojekts GLOWA-Danube (vgl. <http://www.glowa-danube.de>). Zielsetzung dieses Kapitels ist es, die zukünftige Entwicklung des Tourismussektors im Untersuchungsgebiet der Oberen Donau unter Berücksichtigung veränderter Rahmenbedingungen mittels Simulationen abzuschätzen, um daraus substantielle Handlungsempfehlungen ableiten zu können. Dazu wird zunächst die Notwendigkeit integrativer Forschungsansätze für die Analyse der Folgen des globalen Wandels wissenschaftstheoretisch hergeleitet. Dies erfolgt im Kontext des Konzepts der ‚gesell-

schaftlichen Naturverhältnisse' (vgl. Görg 2003, 25ff.) (s. Kap. 4.1). Ebenfalls vornehmlich dokumentierenden Charakter hat die Darstellung der methodischen und inhaltlichen Konzeption des Frameworks DANUBIA (vgl. Hennicker/Ludwig 2006) im Allgemeinen und des GLOWA-Danube Modells *Tourism* im Speziellen (vgl. Dingeldey 2008; Sax 2008) (s. Kap. 4.2.1). Im Anschluss an diese als ‚Proof of Concept‘ zu interpretierenden Ausführungen erfolgt mit der Entwicklung verschiedener Gesellschaftsszenarien eine inhaltlich-konzeptionelle Erweiterung des Modells *Tourism* (s. Kap. 4.2.2). Dieser Schritt schließt die im Jahr 2001 begonnene Projektentwicklung ab und erlaubt erstmals den Einsatz des Frameworks bzw. des Modells *Tourism* als praxistaugliches Entscheidungsunterstützungswerkzeug in seinem vollen Umfang. Basierend auf generierten Simulationsergebnissen wird daraufhin eine ‚touristische Wertschöpfungsstudie‘ (vgl. Harrer 2007, 149ff.) durchgeführt, um zukünftige Entwicklungen der regionalökonomischen Bedeutung des Tourismussektors unter Global-Change-Bedingungen aufzuzeigen (s. Kap. 4.3.1). Die Ausführungen schließen mit der noch unveröffentlichten Erweiterung des Modells *Tourism* um den Parameter ‚Optimaler Skitag‘, dessen Anwendung eine differenzierte Bewertung der wirtschaftlichen Entwicklung von Skigebieten unter Klimawandelbedingungen erlaubt (s. Kap. 4.3.2).

Im Gesamtbild machen die vorgestellten Untersuchungen deutlich, dass Multiagentensimulationen in der Freizeit- und Tourismusgeographie einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion bestehender Forschungsdefizite und zur Generierung von Informationen für Wirtschaft und Politik leisten können. Gleichzeitig wird ersichtlich, wo die Methode an ihre Grenzen stößt. Dementsprechend werden in Kapitel 5 die zentralen Ergebnisse der Arbeit resümiert. Zudem wird künftiger Forschungsbedarf bezüglich des Einsatzes von Multiagentensimulationen innerhalb der Freizeit- und Tourismusgeographie abgeleitet. Die Langfassungen der Publikationen finden sich schließlich in Kapitel 6.

Referenzen im Rahmen der kumulativen Dissertation

Dieser kumulativen Dissertation liegen folgende, in begutachteten Fachjournalen publizierte bzw. zum Druck angenommene Veröffentlichungen zugrunde:

Soboll, A. (2007): Multiagentensysteme zur Simulation von Erlebniseinkauf und Gastronomiebesuch. Implementierung, Anwendung und Reflexion einer innovativen Methode zur Untersuchung konsumorientierter Freizeitaktivitäten. In: Geographische Zeitschrift (Franz-Steiner-Verlag Stuttgart), 95/4, 231-253.

(eingereicht: 04.12.2008 | angenommen: 10.06.2009)

Soboll, A., Schmude, J. (2011): Mensch-Umwelt-Systeme unter dem Einfluss des globalen Wandels. Ein Ansatz zur integrierten regionalen Global-Change-Forschung am Beispiel des Themenkomplexes Tourismus und Klimawandel. In: Berichte zur deutschen Landeskunde. *Zum Druck angenommen.*

(eingereicht: 13.08.2010 | angenommen: 09.12.2010 | erscheint voraussichtlich: Heft 2/2011)

Soboll, A., Schmude, J. (2011): Simulating tourism water consumption under climate change conditions using agent-based modeling. The example of ski areas. In: Annals of the Association of American Geographers. *Zum Druck angenommen.*

(eingereicht: 19.08.2009 | angenommen: 21.04.2010 | erscheint voraussichtlich: Heft 2/2011)

Soboll, A., Elbers, M., Barthel, R., Schmude, J., Ernst, A., Ziller, R. (2011): Integrated regional modelling and scenario development to evaluate future water demand under global change conditions. In: Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 16/4, 477-498.

(eingereicht: 11.09.2010 | angenommen: 09.11.2010)

Soboll, A., Klier, T., Heumann, S. (2011): The prospective impact of climate change on tourism and regional economic development. A simulation study for Bavaria. In: Tourism Economics. *Zum Druck angenommen.*

(eingereicht: 01.08.2010 | angenommen: 13.09.2010 | erscheint voraussichtlich: Heft 3/2011)

2 Multiagentensimulation: Grundlagen und Potenziale

Mit der Multiagentensimulation hielt seit etwa Mitte der 1990er Jahre eine neue Modellierungstechnik Einzug in die Humanwissenschaften (vgl. Schenk 2008, 16). Der Ansatz folgt dem sozialwissenschaftlichen Konzept der Selbstorganisation von Gesellschaften und basiert auf der Überlegung, dass sich (Raum-)Strukturen als Summe individueller Entscheidungen und Verhaltensweisen ergeben (vgl. Openshaw/Openshaw 1997, 8). Entsprechend umfangreich sind auch die Anwendungsbereiche in der Humangeographie. „Als Beispiele seien die Entstehung, Erhaltung, Veränderung und Auflösung von sozialen Netzwerken, von Normen oder Religionen, die Bedeutung von Kooperation, Kommunikation und Aushandlungsvorgängen, die Veränderungen von Landnutzungen, Verkehrsprozesse, die räumliche Ausbreitung von Krankheitserregern oder Urbanisierungsprozesse genannt“ (Koch/Mandl 2003, 1). Um die Grundidee der Methode zu skizzieren, werden zunächst die relevanten Begriffe ‚Agent‘, ‚Multiagentensystem‘ und ‚Multiagentensimulation‘ für den Kontext der vorliegenden Arbeit eingeführt, um anschließend Möglichkeiten und Grenzen der Methode darzustellen.

Für den Terminus ‚Agent‘ existieren mehrere Definitionen, von denen keine Allgemeingültigkeit beanspruchen kann (vgl. Wooldridge/Jennings 1995, 116ff.). Eine in den Sozialwissenschaften verbreitete Begriffsbestimmung definiert den Agenten als Software-Entität, die in einer vorgegebenen Umwelt situiert ist und dort autonome Entscheidungen trifft, um reaktiv oder proaktiv vorgegebene Ziele zu erreichen (vgl. Bradshaw 1997, 7f.; Gilbert 2008, 5f.). Dazu durchläuft jeder Agent pro Zeittakt eine definierte Folge von Schritten: (i) Wahrnehmung der Umwelt, (ii) Bewertung aller zur Verfügung stehenden Handlungsoptionen, (iii) Entscheidung für die aktuell beste Option, (iv) Ausführen dieser Aktion und (v) ‚Merken‘ der ausgeführten Aktion, d. h. Abspeicherung entsprechender Daten. Die Umwelt stellt dabei die Rahmenbedingungen oder Einschränkungen für das Agentenverhalten dar und wird ihrerseits durch Aktionen der Agenten modifiziert. Wen oder was Agenten repräsentieren, ist je nach Zielsetzung der Modellierung unterschiedlich. Aus dieser Definition sind mehrere Eigenschaften von Agenten ableitbar, die ebenfalls entsprechend der jeweiligen Intention der Modellierung variieren. Die Interaktionen von Agenten reichen modellabhängig vom bloßen Konstatieren anderer Agenten über Kommunikation mittels Nachrichten bis hin zu Modifikationen einer gemeinsamen Umwelt (vgl. Klügl 2001, 32).

Ein System von interagierenden Agenten wird als ‚Multiagentensystem‘ bezeichnet. Grundgedanke von Multiagentensystemen ist die Abbildung eines Originalsystems aus der Individualperspektive mit dem Ziel, verschiedene Teilaspekte zu integrieren und somit auch komplexe Zusammenhänge und Rückkopplungen adäquat analysieren zu können (vgl. Schenk 2008, 51). Dabei ermöglicht die Kapselung von Entscheidungen und Aktionen in den einzelnen Agenten im Sinne der Objektorientierung (vgl. Balzert 1996, 168ff.) eine Abstraktion und vereinfachte Abbildung des Originalsystems. Dementsprechend besitzt jeder Agent nur unvollständige Informationen und verwaltet seine

Daten lokal, was im Idealfall in komplett asynchronen Berechnungen und der völligen Abwesenheit einer zentralen Kontrolle resultiert (vgl. Jennings et al. 1998, 17f.). Durch diesen im Forschungsgebiet der Künstlichen Intelligenz entwickelten bottom-up-Ansatz lassen sich aus simulierten Individualentscheidungen emergente Eigenschaften oder Strukturen des Systems auf der Makroebene aufdecken, die aus der isolierten Betrachtung der Individualentscheidungen nicht ableitbar sind (vgl. Sedlacek 2010, 44).

„Multiagentensimulation“ meint schließlich die konkrete Umsetzung eines Multiagentensystems. Als relevant identifizierte Eigenschaften eines physikalischen oder abstrakten Systems werden dazu reduktionistisch nachgebildet. So lassen sich auch komplexe Systeme konzeptionell umsetzen, wodurch der Modellierungsprozess gerade bezüglich der Nachbildung von Gesellschaften direkter zugänglich ist als etwa bei entsprechenden Makromodellen (vgl. Klügl 2001, 42).

Im Folgenden werden kurz einige der im Kontext der vorliegenden Arbeit relevanten Potenziale der Methode vorgestellt, bevor auf Aspekte eingegangen wird, die die Anwendung von Multiagentensimulationen erschweren.

- Berücksichtigung von Inhomogenitäten in Raum und Gesellschaft

Wie etablierte top-down Ansätze (z. B. Makromodelle wie der System-Dynamics-Ansatz oder Differenzialgleichungssysteme) haben auch die bottom-up orientierten Multiagentenmodelle generell das Ziel, Mensch-Umwelt-Systeme zu beschreiben und zu erklären. Multiagentensysteme basieren auf dem Konzept einer Gesellschaft und bestehen dementsprechend aus einer Vielzahl von miteinander und mit ihrer Umwelt interagierenden, individuellen Agenten. Aufgrund der expliziten Repräsentation des Raumes kann das Verhalten von Agenten auf der Grundlage lokaler Informationen modelliert werden (vgl. Klügl 2001, 81). Auf diese Weise kommt die Methode Multiagentensimulation der in der Wirtschaftsgeographie inzwischen geforderten, akteursorientierten Sichtweise entgegen (vgl. Schamp 2007, 244).

- Berücksichtigung dynamischer Prozesse

Darüber hinaus ermöglichen agentenbasierte Ansätze zusätzlich die Einbeziehung einer dynamischen Perspektive. Das heißt, das Verhalten eines Agenten ist nicht nur durch direkt vorgelagerte Ereignisse beeinflusst, sondern bedingt sich durch die Akkumulation mehrerer, vorangegangener Inputs im Sinne von Umweltveränderungen oder erfolgter eigener Handlungen. Auf diese Weise lassen sich nichtlineare, von Verzögerungen und Rückkopplungen bestimmte Prozesse modellieren, was zu einem besseren Verständnis von Mensch-Umwelt-Systemen beiträgt (vgl. Berardo Schneider 2009, 14).

- Analyse von komplexen Zusammenhängen und Emergenzen

Durch den individuenbasierten Ansatz lassen sich zum einen Systeme modellieren, die aus vielfältigen Entitäten bestehen, sodass auch komplexe Zusammenhänge analysiert werden können. Zum anderen resultiert die Dynamik des Gesamtsystems aus der Summe individuellen Verhaltens der Agenten, sodass keine Annahmen über das globale Verhalten getroffen werden müssen, wodurch sich auch emergente Phänomene aufdecken lassen (vgl. Klügl 2001, 82). Beispielsweise werden Populationsgrößen und andere abstrakte Zustandsvariablen des Gesamtsystems durch

die Simulation aller am System beteiligten Agenten erzeugt (vgl. Wagner et al. 2008, 47). So wird der Tatsache Rechnung getragen, dass zwischen individueller Motivation und kollektiver Struktur, d. h. zwischen Mikro- und Makroebene wechselseitige Abhängigkeiten bestehen (vgl. Sun 2006, 15). Dieser individuenzentrierte bottom-up Ansatz erlaubt zudem die Betrachtung eines Systems auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Aggregationsniveaus.

- Nachträgliche Modifizierbarkeit

Solange die grundlegende Systemarchitektur davon unberührt bleibt, lassen sich Agentenklassen aufgrund des modularen Designs von Multiagentenmodellen auch nachträglich beliebig modifizieren. Dies gilt einerseits für ganze Agentenklassen, die nach Abschluss der Modellentwicklung eingefügt oder entfernt werden können. Andererseits lassen sich ebenso definierte Entscheidungsregeln der Agenten abändern und erweitern.

Trotz der kurz umrissenen Potenziale von Multiagentensimulationen muss deren Einsatz im konkreten Fall in Abhängigkeit der generellen Eignung des zu untersuchenden Originalsystems abgewogen werden. Prinzipiell ist die Anwendung von Multiagentenansätzen immer dann sinnvoll, wenn (i) das Originalsystem aus Entitäten besteht, deren individuelle Unterschiede durch Makromodelle nivelliert würden, woraus unter Umständen verfälschte Ergebnisse resultieren, oder wenn (ii) Interaktionen zwischen den Entitäten zu komplex sind, um sie in linearen Gleichungssystemen auszudrücken, ohne gleichzeitig relevante Effekte zu vernachlässigen. Dies gilt vor allem dann, wenn Agenten auf ihre lokale Situation reagieren und sich so dynamisch an ihre Umwelt anpassen. Zudem bieten sich Multiagentensimulationen an, wenn (iii) der Raum hinsichtlich seiner Heterogenität von Bedeutung ist. Entsprechende Multiagentenmodelle erlauben das Einbeziehen von stark variierenden Umwelteinflüssen mit einer langfristigen Dynamik (vgl. Klügl 2001, 80).

Neben diesen vom Originalsystem zu erfüllenden Voraussetzungen sind auch gewisse, mit der Methode Multiagentensimulation verbundene Schwierigkeiten zu registrieren:

- Hoher Zeit- und Ressourcenaufwand

Sowohl die Entwicklung als auch die Simulation heterogener Systeme ist sehr zeit- und ressourcenaufwendig. Zunächst stellt die Beschaffung von Daten auf Individualebene sowohl hinsichtlich Kosten und Zeit als auch hinsichtlich Datenschutzbestimmungen eine deutlich größere Herausforderung dar als bei entsprechend aggregierten Daten (vgl. Schenk 2008, 57). Auch der Aufwand der Modellierung nimmt exponentiell zum steigenden Komplexitätsgrad zu. Da jeder einzelne Agent aktualisiert und im Speicher gehalten werden muss (vgl. Klügl 2001, 83f.), sind die Anforderungen an die Rechnerleistung zum Teil sehr hoch. Daher ist ab einem gewissen Komplexitätsgrad auch die Performanz der Simulation von Bedeutung, um die Simulationsdauer zu optimieren. Im Extremfall kann dieser Aspekt als limitierender Faktor hinsichtlich der eigentlich gewünschten Komplexität eines Modells fungieren. Eine mögliche Abhilfe bietet diesbezüglich die sogenannte holonische Multiagentensimulation, bei der im Gegensatz zur a priori definierten, statischen Vererbung zwischen Klassen die Zuweisung von Objekten dynamisch und varia-

bel zur Laufzeit erfolgt, was den möglichen Abstraktionsgrad des Modells erhöht (vgl. Fischer et al. 2003, 71ff.).

- Identifikation der kritischen Granularität

Zudem ist es ebenso relevant wie schwierig, die Granularität, die dem abzubildenden Originalsystem am besten gerecht wird, zu finden. Der ‚richtige‘ Detaillierungsgrad ist für die Modellentwicklung jedoch essenziell: Wird er zu hoch gewählt, ist das Modell nur noch schwer zu handhaben und sowohl Kalibrierung als auch Validierung werden äußerst aufwendig. Wird dagegen zu stark abstrahiert, besteht die Gefahr, dass nur triviales Globalverhalten erzeugt wird. Die Granularität darf also nicht als ‚Selbstzweck‘ betrachtet werden, sondern muss aus der Forschungsfrage abgeleitet werden (vgl. Klügl 2001, 83).

- Fehlende Standards

Bis dato existieren außerdem keine allgemeingültigen Standards für Multiagentensimulationen im Sinne von einheitlichen Sprachen, Entwicklungsumgebungen und Nomenklaturen. Eine Folge davon sind sogenannte ‚Insellösungen‘, die die Reproduzierbarkeit der gewonnenen Ergebnisse erschweren und dazu führen, dass eine Übertragbarkeit auf einen anderen Kontext (Fragestellung oder Raum) oft nicht möglich ist (vgl. Klügl 2000, 2).

Entsprechend der vorgestellten Potenziale und Grenzen gilt es, je nach Ausgangsbedingungen und Anlage der Fragestellung den Einsatz von Multiagentensimulationen abzuwägen. Im Folgenden werden zwei Anwendungsbeispiele der Methode vorgestellt.

3 Multiagentensimulation: Anwendungsbeispiel Analyse des Erlebniseinkaufs als konsumorientierte Freizeitaktivität

Referenz

Soboll, A. (2007): Multiagentensysteme zur Simulation von Erlebniseinkauf und Gastronomiebesuch. Implementierung, Anwendung und Reflexion einer innovativen Methode zur Untersuchung konsumorientierter Freizeitaktivitäten. In: Geographische Zeitschrift (Franz-Steiner-Verlag Stuttgart), 95/4, 231-253.

(eingereicht: 04.12.2008 | angenommen: 10.06.2009)

Einkaufen dient nicht mehr nur der Versorgung, sondern ist inzwischen auch eine beliebte Freizeitaktivität. In diesem Zusammenhang stellt der Erlebniseinkauf einen bedeutenden Trend dar (vgl. Frehn 1995). In Abgrenzung zum Versorgungseinkauf haben im Rahmen des Erlebniseinkaufs beispielsweise Spontankäufe, Gastronomiebesuche und eine ansprechende Atmosphäre große Bedeutung (vgl. Gerhard 1998, 31). Aus ökonomischer Sicht ist für Einzelhandel und Gastronomie sowohl der Erlebniseinkauf im eigenen Wohnumfeld als auch das Wachstumssegment Shoppingtourismus höchst relevant (vgl. Econ-Consult 2005).

Um das raumrelevante Verhalten von Erlebniseinkäufern zu analysieren, wird unter Anwendung des bottom-up-Ansatzes der Multiagentensimulation ein agentenbasiertes Mikromodell entwickelt, implementiert und simuliert. Als Untersuchungsraum dient dabei die Regensburger Altstadt, die aufgrund ihrer Größe (110 ha), ihres sehr gut erhaltenen mittelalterlichen Gebäudebestands, der kleinteiligen Nutzungsstruktur mit ausdifferenzierten Nebengeschäftslagen (vgl. Sedlmeier 2006, 68) und des vielseitigen gastronomischen Angebots (vgl. Kazig 2006, 70) eine optimale Kulisse für den Erlebniseinkauf darstellt (vgl. Monheim 2002, 27).

Im Modell ‚Erlebniseinkauf Altstadt Regensburg‘ (EAR) werden individuelle Einzelhandels- und Gastronomiebesuche eines Tages simuliert. Um dies zu realisieren, werden drei Agentenklassen, ‚Einkäufer‘, ‚Geschäft‘ und ‚Gastronomiebetrieb‘ konzipiert. Die Handlungsabfolge eines Agenten der Klasse ‚Einkäufer‘ folgt dabei den vier Phasen des Kaufentscheidungsprozesses (vgl. Engel et al. 1995, 472). Phase I dieses Prozesses, das Auftreten eines Anlasses oder Bedarfs, wird durch unterschiedliche Besuchsmotive, etwa ‚Shopping‘ oder ‚Freunde Treffen‘ abgebildet. Für Phase II, die Informationssuche, verfügt jeder Einkäufer-Agent über Kenntnisse bezüglich aller Geschäfts- und Gastronomie-Agenten in einem Umkreis von 100 m um seine aktuelle Position. Die vergleichende Bewertung dieser Betriebe (Phase III) erfolgt für Geschäfte und Lokale in unterschiedlicher Art und Weise. Kernidee der Modellkonzeption ist hierbei die gleichzeitige Berücksichtigung einkäufer-spezifischer Präferenzen und angebotsseitiger Attribute in sogenannten ‚Erlebniswertfunktionen‘, die für die Agentenklassen Geschäft und Gastronomiebetrieb verschiedenartig ausgestaltet sind. Der jeweilige Anbieter wird umso

positiver bewertet, je besser dessen Eigenschaften den Vorlieben des einzelnen Einkäufers entsprechen. Seitens der Einkäufer-Agenten fließen beispielsweise die bevorzugte Preiskategorie, die Affinität gegenüber Sonderaktionen und Besuchsmotive in das Ranking ein. Seitens der Geschäfts-Agenten werden u. a. die jeweilige Branchenzugehörigkeit, die Geschäftslage sowie die Anzahl umliegender Leerstände und Gastronomiebetriebe berücksichtigt. In die entsprechende Erlebniswertfunktion für Gastronomie-Agenten werden neben weiteren Attributen der Gastronomiebetriebstyp, das Preisniveau und der aktuelle Belegungsgrad einbezogen. Zudem ändert sich im Laufe der Simulationszeit die einkäuferspezifische Shoppingmotivation, die den Entscheidungsprozess zusätzlich beeinflusst. Der Betrieb, der vom jeweiligen Einkäufer-Agenten als attraktivster bewertet wird, wird anschließend aufgesucht (Phase IV). Der Kaufprozess als solcher ist nicht Bestandteil des Modells, sodass die Aktivität des Einkäufer-Agenten in einem Zeitschritt mit dem Betreten des ausgewählten Betriebs endet. Dieser Vorgang – Informationssuche, Bewertung, Entscheidung – wird in jedem Simulationstakt von allen Einkäufer-Agenten wiederholt.

Für die Implementierung sind entsprechende Daten von Erlebniseinkäufern sowie des Einzelhandels- und Gastronomiebestands erforderlich. Erstere werden mittels einer standardisierten Befragung zum aktuellen Besuch im Untersuchungsgebiet und zu generellen Einkaufs- und Gastronomiepräferenzen selbst erhoben. Für Letztere kann auf Sekundärdaten aus einer fortlaufenden Einzelhandelskartierung der Stadt Regensburg zurückgegriffen werden (vgl. Stadt Regensburg 2007); die Kartierung der Gastronomiebetriebe im Untersuchungsgebiet wird selbst vorgenommen. Aufgrund des qualitativen Charakters des Modells EAR wird nach Abschluss der Implementierung zur Kalibrierung eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Die anschließende Validierung des Modells erfolgt anhand eines Abgleichs mit einer anderen Teilpopulation der nachfrageseitigen Stichprobe.

Die generierten Simulationsergebnisse werden unter räumlichen und strukturellen Gesichtspunkten analysiert. Um die Güte des Modells zu beurteilen, werden die Simulationsergebnisse mit den in der Befragung erhobenen Daten verglichen. Von Interesse sind dabei vor allem räumliche Muster, die sich aus dem aggregierten Verhalten der Einkäufer-Agenten ergeben. Zu diesem Zweck wird der Untersuchungsraum u. a. basierend auf dem Einzelhandels- und Gastronomieangebot sowie dem Gebäudebestand (vgl. Monheim et al. 1998; Bödeker 2003) in elf Zonen unterschiedlicher Erlebnisqualität eingeteilt.

Räumliche Vergleiche der Simulation und der Befragung werden z. B. bezüglich der Weglängen und der Anzahl der Transits zwischen den Gebieten vorgenommen. Die Gegenüberstellung der Anzahl aufgesuchter Gebiete pro simuliertem und realem Einkäufer ergibt in beiden Fällen einen Median von 4, wobei der Mittelwert in der Simulation etwas niedriger ist als der in der Befragung (3,54 vs. 3,80). Die Einkäufer-Agenten durchqueren maximal sieben Gebiete, während die befragten Erlebniseinkäufer bis zu neun Gebiete besuchen. Diese Abweichung resultiert vornehmlich aus dem Umstand, dass die Agenten als idealtypische, ziellose Erlebniseinkäufer auftreten, die jeweils direkt das Geschäft aufsuchen, das ihnen im Umkreis von 100 m am attraktivsten erscheint. Die realen Vorbilder gehen dagegen bedingt zielgerichtet vor und wissen zumindest teilweise im Voraus, welche Geschäfte sie aufsuchen werden, wodurch etwas größere Distanzen zurückgelegt werden. Dieser Tatsache könnte in zukünftigen Erweiterungen des Modells beispielsweise

durch die Ausstattung der Einkäufer-Agenten mit Einkaufsplänen oder der Möglichkeit zur Kommunikation zwischen den simulierten Einkäufern Rechnung getragen werden.

Eine strukturelle Analyse der Simulationsergebnisse erfolgt u. a. hinsichtlich der Anzahl der Gastronomiebesuche nach Gastronomiebetriebstyp (z. B. Café, Restaurant, Handelsgastronomie), hinsichtlich der Anzahl der Geschäftsbesuche nach Branchen sowie pro Einkäufer-Agent. Letztere Auswertung ergibt beispielsweise durchschnittlich 5,4 Besuche pro simuliertem Erlebniseinkäufer, was sich weitgehend mit Angaben aus der Literatur (vgl. Monheim et al. 1998, 5) deckt, die für Besucher der Regensburger Altstadt im Mittel 4,2 Geschäftsbesuche an Werktagen bzw. 5,2 Besuche an Samstagen anführen. Die Werte liegen niedriger, da in der Referenzerhebung nicht nach Besuchsmotiven differenziert wird und u. a. auch Versorgungseinkäufer mit deutlich weniger Besuchen in der Stichprobe enthalten sind.

Zusammenfassend verdeutlichen die Auswertungen die generelle Eignung der Methode Multiagentensimulation für die Analyse des raumwirksamen Nachfrageverhaltens und belegen die Güte des Modells. Die Anwendung eines bottom-up orientierten Multiagentenmodells ermöglicht dabei das erforderliche Einbeziehen einer dynamischen Perspektive. Durch ein verbessertes Systemverständnis leistet das Modell EAR somit einen Beitrag zum Abbau entsprechender Forschungsdefizite. Für die Praxis liefert dieses Wissen über das nachfrageseitige Verhalten auf der Ebene individueller Anbieter nützliche Informationen für potenzielle Optimierungen. Auf stadtentwicklerischer Ebene können mithilfe des Modells Defizite erkannt und in Simulationen Konsequenzen vorab konzipierter Handlungsstrategien bewertet werden.

4 Multiagentensimulation: Anwendungsbeispiel touristische Entwicklungsszenarien unter Global-Change-Bedingungen

In diesem Kapitel wird das Freizeit- und Tourismusgeschehen auf einer größeren räumlichen, zeitlichen und kontextuellen Ebene betrachtet. Entwicklungen des Tourismussektors als Bestandteil eines komplexen Mensch-Umwelt-Systems unter Global-Change-Bedingungen werden auf einem mesoskaligen räumlichen Aggregationsniveau analysiert, wobei prospektive Simulationen für den Zeitraum 2011 bis 2060 zum Einsatz kommen.

In Kapitel 4.1 wird zunächst die Notwendigkeit integrativer Forschungsansätze im Rahmen der Analyse von Auswirkungen des globalen Wandels auf unterschiedliche Bereiche menschlichen Handelns dargelegt. Kapitel 4.2 geht näher auf das integrative Forschungsprojekt GLOWA-Danube, im Speziellen auf das Modell *Tourism* als Multiagentenmodell (s. Kap. 4.2.1) sowie die Entwicklung und Implementierung verschiedener Gesellschaftsszenarien (s. Kap. 4.2.2) ein. Ausgewählte Einsatzmöglichkeiten des Modells im Sinne einer Entscheidungsunterstützung für touristische Stakeholder werden schließlich in Kapitel 4.3 thematisiert.

An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass die enthaltenen Publikationen nicht überschneidungsfrei sind, denn der (internationalen) Fachleserschaft muss – unabhängig vom Fokus des jeweiligen Artikels – zunächst ein Kompendium der grundlegenden Ziele und Ansätze des gesamten Projekts GLOWA-Danube gegeben werden, da das Modell *Tourism* aufgrund der konzeptionellen Anlage des Verbundprojekts nicht losgelöst von diesem beurteilt werden kann.

4.1 Ableitung der Notwendigkeit integrativer Forschungsansätze für die Analyse von Folgen des globalen Wandels

Referenz

Soboll, A., Schmude, J. (2011): Mensch-Umwelt-Systeme unter dem Einfluss des globalen Wandels. Ein Ansatz zur integrierten regionalen Global-Change-Forschung am Beispiel des Projekts GLOWA-Danube. In: Berichte zur deutschen Landeskunde. *Zum Druck angenommen.*

(eingereicht: 13.08.2010 | angenommen: 09.12.2010 | erscheint voraussichtlich: Heft 2/2011)

Der Klimawandel gilt als eine der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts (vgl. Heinrichs/Grunenberg 2009, 21) und ist dementsprechend für Wissenschaft und Öffentlichkeit von großem Interesse. Wurde der Thematik zunächst vornehmlich in den Naturwissenschaften Relevanz beigemessen, beschäftigen sich seit einigen Jahren auch die Sozialwissenschaften mit dem Klimawandel, vor allem in Hinblick auf dessen Auswirkungen, resultierende Vulnerabilitäten und erforderliche Anpassungsstrategien. Im

Zuge dieser Erweiterung des Blickwinkels muss der Klimawandel selbst in den breiteren Kontext eines multidimensionalen globalen Wandels gestellt werden, der von zahlreichen Interaktionen im Mensch-Umwelt-System geprägt ist. Im Sinne des Konzepts der ‚gesellschaftlichen Naturverhältnisse‘ (vgl. Görg 2003, 25ff.) sind die beiden Systemkomponenten Gesellschaft und Umwelt strukturell gekoppelt und zeigen eine dynamische Koevolution. Daraus kann abgeleitet werden, dass effektive Klimafolgenforschung einen interdisziplinären Ansatz verfolgen muss, der ökologische, ökonomische und soziale Entwicklungsdimensionen integriert betrachtet. Nachdem der globale Wandel zudem räumlich variabel ausgeprägt ist, gilt es, die Analyse auf ein niedrigeres Aggregationsniveau zu transponieren, um regionalen Unterschieden adäquat Rechnung zu tragen.

Diesen Herausforderungen stellt sich das vom deutschen BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) geförderte, integrative Forschungsprojekt GLOWA-Danube (GLObaler WAnDel des Wasserkreislaufs; <http://www.glowa-danube.de>), das die regionalen Auswirkungen des globalen Wandels auf unterschiedliche Bereiche, beispielsweise den Tourismussektor, Industriebetriebe und private Haushalte analysiert. Als Untersuchungsgebiet dieses Verbundprojekts, das einen Fokus auf die Entwicklung der Verfügbarkeit und der Nutzung der Ressource Wasser richtet, dient das Wassereinzugsgebiet der Oberen Donau, das Teile von Süddeutschland, Österreich und der Schweiz (77.000 km², 11,5 Mio. Einwohner) umfasst. Das zentrale Forschungsziel des Projekts ist die Abschätzung regionaler Folgen des globalen Wandels für den Untersuchungsraum in den kommenden 50 Jahren (2011 bis 2060). Dafür ist die Entwicklung von Werkzeugen zur Simulation von Szenarien erforderlich, um daraus geeignete, nachhaltige Adaptationsmaßnahmen für verschiedene Akteure abzuleiten und zu bewerten (vgl. Mauser et al. 2008, E1).

Aus diesen Anforderungen leiten sich vier integrative Aufgabenbereiche ab: (i) die Entwicklung natur- und humanwissenschaftlicher Teilmodelle, wobei letztere als Multiagentenmodelle anzulegen sind. (ii) Die Implementierung eines generischen Frameworks (DANUBIA; vgl. Hennicker/Ludwig 2006), das alle Teilmodelle zu einem funktionsfähigen Ganzen integriert, um ein vollgekoppeltes Simulationssystem zur Verfügung zu stellen. Zentrale Aspekte sind hierbei die Bereitstellung von Schnittstellen zum Datenaustausch, die Definition systemweit gültiger Regeln sowie die Entwicklung eines ‚Timecontrollers‘ (vgl. Hennicker/Ludwig 2006). (iii) Die Festlegung eines gemeinsamen Raumkonzepts für die beteiligten natur- und humanwissenschaftlichen Disziplinen (vgl. Ludwig et al. 2003) und (iv) die Entwicklung verschiedener Klima- und Gesellschaftsszenarien (vgl. Kuhn et al. 2010, S1), die v. a. aufgrund des prospektiven Charakters der Simulationen und dem damit verbundenen zunehmenden Grad der Unsicherheit erforderlich wird.

Um die unterschiedlichen Ansätze natur- und humanwissenschaftlicher Disziplinen bei der Entwicklung der GLOWA-Danube Teilmodelle zu verdeutlichen, werden die grundlegende Struktur und ausgewählte Ergebnisse der Modelle *Glaciology* (vgl. Weber/Prasch 2010, 3.1.5; Weber et al. 2010, 2.4.2) und *Tourism* (vgl. Dingeldey 2008; Sax 2008) vorgestellt.

Da Skigebiete einerseits besonders klimasensibel sind und der Wintertourismus im Untersuchungsgebiet andererseits von großer wirtschaftlicher Bedeutung ist, konzentriert

sich die Darstellung der Ergebnisse des Modells *Tourism* in diesem Fall auf die Skigebiets-Akteure. Konkret wird die prozentuale durchschnittliche Veränderung der Öffnungstage im Durchschnitt der Wintersaisons 2042/2043 bis 2050/2051 im Vergleich zum Durchschnitt der Periode 2012/2013 bis 2020/2021 auf Landkreisebene analysiert. Um besonders den Einfluss der gesellschaftlichen Rahmenbedingungen beurteilen zu können, werden zwei Simulationsläufe mit identischen Klimaszenarien (Klimatrend ‚REMO regional‘, Klimavariante ‚5 warme Winter‘) und den beiden gegenläufigen Gesellschaftsszenarien ‚Performance‘ und ‚Allgemeinwohl‘ durchgeführt (s. Kap. 4.2.2).

Die gewählte Klimavariante stellt gerade für Wintersport-Destinationen eine interessante Komponente dar, denn eine Folge von fünf Jahren mit überdurchschnittlich warmen Wintersaisons bedroht unter Umständen den wirtschaftlichen Betrieb von Bergbahnen. Die Auswertungen zeigen für das liberale Gesellschaftsszenario ‚Performance‘ eine geringere durchschnittliche Abnahme der Öffnungstage als für das Gesellschaftsszenario ‚Allgemeinwohl‘, was vornehmlich auf den unter ‚Performance‘-Annahmen forcierten Ausbau der Beschneidungskapazitäten zurückzuführen ist.

Unter beiden Szenarien verstärken sich bereits heute beginnende räumliche Konzentrationsprozesse, die besonders die großen, infrastrukturell gut ausgestatteten und hochgelegenen Skigebiete der österreichischen Teile des Untersuchungsgebiets begünstigen. Dort wird trotz des Klimawandels auch in Zukunft Wintersport noch nahezu uneingeschränkt möglich sein. In einigen Landkreisen lassen die Simulationen in Zukunft sogar Zunahmen der Öffnungstage erwarten. Dagegen erleben in beiden Simulationsläufen besonders die Mittelgebirgsregionen, z. B. der Bayerische Wald, zum Teil drastische Einbußen im Wintersporttourismus.

Während der Simulationen bezieht das Modell *Tourism* z. B. von den Modellen *Atmosphere*, *Snow*, *GroundWater* und *RiverWater* Daten wie die Tagesminimaltemperatur oder die Wasserverfügbarkeit. Die Entscheidungsprozesse der touristischen Anbieter als Akteure basieren u. a. auf diesen Input-Daten. Damit verdeutlichen die vorgestellten Ergebnisse, dass die Integration verschiedener Wissenschaftsdisziplinen unverzichtbar ist, da nur durch die Kopplung natur- und humanwissenschaftlicher Modelle zuverlässige Aussagen getroffen werden können.

Darüber hinaus wird GLOWA-Danube mit dem transdisziplinären Ansatz des Stakeholderdialogs (vgl. Büttner 2010, E5) auch der Anforderung gerecht, Praktiker und potenzielle Nutzer in die Modellkonzeption einzubeziehen und die erzielten Forschungsergebnisse plausibel zu ‚übersetzen‘, um auf diese Weise Entscheidungsunterstützung im Rahmen der Anwendung von Adaptationsstrategien zu leisten.

4.2 GLOWA-Danube Modell *Tourism* und Szenarienentwicklung

Im Folgenden wird zunächst die Konzeption des GLOWA-Danube Modells *Tourism* vorgestellt, um anschließend die Entwicklung, Implementierung und Anwendung verschiedener Gesellschaftsszenarien genauer zu beleuchten.

4.2.1 Möglichkeiten und Grenzen des Modells *Tourism*

Referenz

Soboll, A., Schmude, J. (2011): Simulating tourism water consumption under climate change conditions using agent-based modeling. The example of ski areas. In: *Annals of the Association of American Geographers*. *Zum Druck angenommen*.

(eingereicht: 19.08.2009 | angenommen: 21.04.2010 | erscheint voraussichtlich: Heft 2/2011)

Der Tourismus zählt zu den weltweiten Leitindustrien bezüglich Beschäftigung und ökonomischer Effekte (vgl. WTTC 2009, 8). Somit führt jede Änderung im Tourismussektor auch zu wirtschaftlichen, sozialen und politischen Konsequenzen in der jeweiligen Destination. Zahlreiche interne und externe Faktoren, unter denen Wetter und Klima eine bedeutende Rolle spielen (vgl. Cooper et al. 2008, 288ff.), beeinflussen den Tourismus.

Auch Wasser stellt für den Tourismus in zweierlei Hinsicht eine unverzichtbare Ressource dar: zum einen als Konsumgut für touristische Anbieter und Nachfrager, zum anderen in Hinblick auf seine ‚Kulissenfunktion‘ im Landschaftsbild (z. B. See, Meer). Während zum statischen Einfluss von Wetter bzw. Klima auf den Tourismus bereits umfangreiche und detaillierte Analysen vorliegen (vgl. z. B. Hall/Higham 2005; Aderhold 2009, 89ff.), wurden die Auswirkungen des Klimawandels auf den Tourismus bisher vornehmlich auf hohen zeitlichen und räumlichen Aggregationsniveaus, wie etwa Jahren und Nationalstaaten untersucht (vgl. z. B. Hamilton et al. 2005). Dadurch greifen bisher vorliegende Analysen jedoch häufig zu kurz, da verschiedene Regionen und touristische Marktsegmente unterschiedlich stark vom Klimawandel betroffen sind. Studien, die den Einfluss des Klimawandels auf den Tourismus in einzelnen Destinationen untersuchen (vgl. z. B. Abegg 1996; Feige et al. 1999; Matzarakis/Tinz 2008), werden dagegen dem hohen Komplexitätsgrad der Thematik oft nicht gerecht: Die von Interdependenzen und Adaptationen geprägten Prozesse sind naturgemäß keineswegs statisch und repetitiv, sondern zeichnen sich vielmehr durch eine inhärente Dynamik aus, die mit simplen Input-Output-Funktionen nicht beschrieben werden kann.

Für eine adäquate Analyse ist daher ein flexibles System erforderlich, das parallele, interaktive Simulationen von natürlichen und sozioökonomischen Prozessen sowie eine Betrachtung von Reaktionen auf der Individualebene ermöglicht. Für die gesellschaftlichen Systembestandteile bietet sich daher die Multiagentensimulation als Methode an, die auch in der Literatur (vgl. Parker et al. 2003, 314ff.) als geeignet für die Modellierung von Interaktionen zwischen biophysikalischen und sozioökonomischen Komponenten in Mensch-Umwelt-Systemen diskutiert wird.

Daher ist das GLOWA-Danube Modell *Tourism*, wie auch alle anderen sozialwissenschaftlichen Teilmodelle (*Household, WaterSupply, Economy, Farming*), als Multiagen-

tenmodell konzipiert, wobei in GLOWA-Danube der Begriff ‚Akteur‘ anstelle von ‚Agent‘ verwendet wird (vgl. Barthel et al. 2008, 1096). Das Modell *Tourism* analysiert den tourismusinduzierten Wasserbedarf und die Entwicklung touristischer Infra- und Superstruktureinrichtungen. Dabei umfassen letztere Beherbergungs- und Gastronomiebetriebe (vgl. Kaspar 1996, 68), während ersteren Skigebiete, Golfplätze und Schwimmbäder zuzurechnen sind. Diese Auswahl beruht einerseits auf der hohen Wasserbedarfsintensität und somit der Projektrelevanz der berücksichtigten Anbieter, andererseits auf der besonderen Vulnerabilität dieser gegenüber dem Klimawandel. Damit kann der Ansatz als primär angebotsorientiert bezeichnet werden.

Allerdings werden auch nachfrageseitige Reaktionen simuliert, weshalb das Modell *Tourism* in die drei Submodelle ‚Actors‘, ‚Attractiveness‘ und ‚WaterConsumption‘ untergliedert ist. Die Komponente ‚Actors‘ bildet alle aufgeführten touristischen Einrichtungen im Untersuchungsgebiet in ihrer geographischen Verortung und mit ihren spezifischen Attributen ab. Für jede Angebotsart wird eine gesonderte Akteursklasse angelegt, da beispielsweise ein Skigebiet und ein Golfplatz über unterschiedliche Attribute (z. B. Anzahl der Schneekanonen für Skigebiete; Flächengröße der Spielbahnen für Golfplätze) und Handlungsoptionen (z. B. Öffnen, Schließen, Beschneien für Skigebiete; Bewässern der Fairways für Golfplätze) verfügen.

Jeder Akteur selektiert aus seinen Handlungsoptionen diejenige, die aufgrund der wahrgenommenen Umweltbedingungen im aktuellen Simulationstakt als optimal bewertet wird. Die dafür benötigten Daten bezüglich der Umwelt werden zur Laufzeit von anderen GLOWA-Danube Teilmodellen (z. B. *Atmosphere*) importiert. Die gewählte Aktion wird anschließend ausgeführt und trägt ihrerseits zu Änderungen der Umwelt bei. So simuliert die Komponente ‚Actors‘ den Betriebszustand und den daraus resultierenden Wasserbedarf der touristischen Einrichtungen auf Tagesbasis. In der Komponente ‚Attractiveness‘ wird die Zahl der Übernachtungs- und Tagesgäste auf Gemeindeebene berechnet. Die Attraktivität einer Gemeinde für potenzielle Touristen wird dabei von den Betriebszuständen der umliegenden touristischen Anbieter, der gemeindespezifischen Saisonalität und der Vorjahreszahl der Übernachtungen beeinflusst (vgl. Dingeldey 2008, 63ff.). Der angebots- (Komponente ‚Actors‘) und nachfrageseitige (Komponente ‚Attractiveness‘) Wasserbedarf wird jeweils an die Komponente ‚WaterConsumption‘ übermittelt, die den gesamten touristischen Wasserverbrauch ermittelt und an andere GLOWA-Danube Modelle (z. B. *WaterSupply*) weitergibt. Die Entwicklung der grundlegenden Struktur des Modells *Tourism* wird ausführlich in Dingeldey (2008) und Sax (2008) dargestellt.

Die vergleichende Analyse der Wasserbedarfsentwicklung von Skigebieten im Untersuchungsraum sowie der Übernachtungszahlen in den Wintersaisons unter zwei ausgewählten Szenarien unterstreicht die Relevanz der räumlich und zeitlich differenzierten Betrachtung des Mensch-Umwelt-Systems im Kontext von Klimawandel und Tourismus. Nur so können Ergebnisse bereitgestellt werden, die beispielsweise als Entscheidungsunterstützung für potenzielle Investitionsüberlegungen dienen. Vor allem durch den prospektiven Charakter der Simulationen werden touristische Stakeholder für den bereits heute bestehenden Handlungsbedarf in Hinblick auf eine Klimafolgenanpassung sensibilisiert. Allerdings stellt auch das präsentierte Modell *Tourism* ein vereinfachtes Abbild der Realität dar, sodass bei der Interpretation der Ergebnisse in jedem Fall die zugrunde liegenden Restriktionen sowie nicht einbezogene Aspekte (etwa externe Schocks wie

Wirtschaftskrisen, politische und soziale Richtungsänderungen oder zukünftige, heute nicht absehbare Trends im Tourismus) berücksichtigt werden müssen.

4.2.2 Szenarien zur Bewertung der Entwicklung des touristischen Angebots unter Global-Change-Bedingungen

Referenz

Soboll, A., Elbers, M., Barthel, R., Schmude, J., Ernst, A., Ziller, R. (2011): Integrated regional modelling and scenario development to evaluate future water demand under global change conditions. In: Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 16/4, 477-498.

(eingereicht: 11.09.2010 | angenommen: 09.11.2010)

„Es kommt nicht darauf an, die Zukunft vorauszusagen, sondern auf die Zukunft vorbereitet zu sein“ (Perikles, 5. Jahrhundert v. Chr.). Diese Aussage gewinnt gerade im Kontext des globalen Wandels und seiner Auswirkungen vermehrt an Bedeutung. Um sich auf zukünftige Herausforderungen einzustellen und rechtzeitig sowie effektiv handeln zu können, ist eine möglichst umfassende Wissensbasis bezüglich des Mensch-Umwelt-Systems und impliziten Veränderungsprozessen erforderlich. Aufgrund der Komplexität des Systems und der wechselseitigen Abhängigkeiten und Interaktionen der Komponenten sind bisher verwendete, isolierte, monodisziplinäre Ansätze als nicht zielführend einzustufen. Stattdessen müssen interdisziplinär geeignete Instrumente für ein nachhaltiges Umweltmanagement (vgl. Mauser et al. 2008, E1) entwickelt werden, mit denen sich regionale Adaptationsstrategien testen und bewerten lassen.

Um dieses Forschungsdefizit zu reduzieren und ein Entscheidungsunterstützungssystem für betroffene Akteure bereitzustellen, werden im Projekt GLOWA-Danube Szenarien entwickelt, die eine detaillierte Analyse potenzieller regionaler Auswirkungen des globalen Wandels auf verschiedene Gesellschaftsbereiche sowie deren Vulnerabilität und Anpassungsfähigkeit erlauben. Szenarien sind im Unterschied zu Prognosen keine Vorhersage der Zukunft, sondern hypothetische Zukunftsbilder, die alternative Entwicklungsmöglichkeiten aufzeigen (vgl. Götze 1993, 38f.), um daraus sinnvolle Handlungsstrategien abzuleiten. Szenarien dienen der Orientierung und Entscheidungsvorbereitung und enthalten quantitative und/oder qualitative Aussagen über mögliche zukünftige Entwicklungen. So lässt sich mittels Szenarien ein Trichter aufspannen, in dem die ‚tatsächliche‘ Zukunft aller Wahrscheinlichkeit nach liegt. Für Szenarien werden keine Eintrittswahrscheinlichkeiten angegeben, sie müssen jedoch relevant und plausibel in Hinblick auf die Auswahl der berücksichtigten Faktoren und deren Ausprägungen sein. Darüber hinaus sind Szenarien systematisch zu entwickeln und müssen in ihrer Genese nachvollziehbar und transparent sein (vgl. ebd.). Zu diesem Zweck und um ihre Anwendbarkeit im Sinne einer Transformation von Orientierungs- in Verfügungswissen zu ermöglichen, ist bei der Ausarbeitung der Szenarien zudem die Einbindung von Stakeholdern opportun.

GLOWA-Danube-Szenarien kombinieren klimatische und gesellschaftliche Trends (vgl. Kuhn et al. 2010, S1). Dabei wird ein modularer Ansatz verfolgt, d. h. der Nutzer kann aus einem sogenannten ‚Szenarien-Baukasten‘ für ihn relevante Szenarien zusammen-

stellen. Ein komplettes Szenario umfasst (i) ein Klimaszenario, das aus einem von vier generellen Klimatrends (vgl. Mauser et al. 2009, S2) und einer von vier bzw. sechs spezifizierenden Klimavarianten (vgl. Mauser 2009, S4; Marke et al. 2009, S5) besteht, (ii) eines von drei Gesellschaftsszenarien sowie (iii) optionale Maßnahmen.

Neben der Bereitstellung der Klimaszenarien durch verschiedene naturwissenschaftliche Projektpartner (vgl. <http://www.glowa-danube.de>) stellt die Entwicklung und Implementierung von Gesellschaftsszenarien eine besondere Herausforderung dar. Wie in der Szenario-Technik üblich, werden zwei konträre Extrem-Szenarien (best-case-scenario und worst-case-scenario) sowie ein mittleres Trend-Szenario (business-as-usual) entworfen (vgl. Reibnitz 1987, 30). Die Realisierung der GLOWA-Danube-Szenarien erfolgt in fünf Schritten: (i) Eignungsprüfung, (ii) Szenarienbeschreibung, (iii) teilmodellspezifische Übersetzung, (iv) Identifikation der Szenarientreiber und (v) Implementierung (vgl. Kuhn/Ernst 2009, S6). Als Grundlage für die GLOWA-Danube Gesellschaftsszenarien dienen die von SinusSociovision entwickelten ‚Gesellschaftlichen Megatrends‘ (vgl. deVries/Perry 2007, 116f.). Die beiden diametralen Szenarien werden als ‚Performance‘ (*in engl. Publikationen ‚Open Competition‘*) und ‚Allgemeinwohl‘ (*in engl. Publikationen ‚Public Welfare‘*) bezeichnet, das mittlere Szenario als ‚Baseline‘.

‚Maßnahmen‘ als fakultative dritte Komponente eines GLOWA-Danube-Szenarios werden von allen Akteur-Modellen in unterschiedlichem Umfang angeboten. Sie stellen zielgerichtete, selektive, zeitlich und/oder räumlich begrenzte Eingriffe dar, die dazu dienen, der vorgegebenen Entwicklung im gewählten Gesellschaftsszenario entgegenzuwirken oder diese zu unterstützen. Dieser Szenarien-Baustein repräsentiert somit externe Eingriffe, wie etwa förderpolitische Bestimmungen, die sonst aufgrund des Modellkonzepts nicht berücksichtigt werden können. Im Modell *Tourism* werden für Skigebiet-Akteure drei verschiedene Maßnahmen bereitgestellt, die im Rahmen des Stakeholderdialogs (vgl. Büttner 2010, E5) als relevant identifiziert wurden. Unter Berücksichtigung der Maßnahmen wird z. B. jeweils verschiedenen, ausgewählten Skigebieten ab dem Jahr 2025 der Ausbau ihrer Beschneidungskapazitäten gestattet, was beispielsweise im Gesellschaftsszenario ‚Allgemeinwohl‘ ansonsten untersagt ist. Für Golfplatz-Akteure beinhaltet die Maßnahme die Freigabe zur vollständigen Bewässerung der Anlagen, was in der Tatsache begründet ist, dass Golftourismus als zu förderndes Wachstumssegment im Untersuchungsgebiet angesehen wird (vgl. DGV 2009, 3).

Die Akteure der fünf humanwissenschaftlichen Teilmodelle (*Economy, Farming, Household, Tourism, WaterSupply*) haben unterschiedliche Intentionen. Um diese Diversität zu verdeutlichen, werden in der Publikation exemplarisch die drei GLOWA-Danube Teilmodelle *Tourism* und *Household* als Wassernutzer sowie *WaterSupply* als Wasseranbieter gegenübergestellt. Während das Handeln der Akteure im Modell *Tourism* rein ökonomisch orientiert ist, wird das der *Household*-Akteure stark vom persönlichen Lebensstil geprägt. Die Wasserversorgungsunternehmen als Akteure des Modells *WaterSupply* haben dagegen teilweise politisch-administrative, teilweise ökonomische Vorgaben. Der Informationsaustausch bezüglich des Wasserdargebots von *WaterSupply* an die verschiedenen Nutzergruppen erfolgt über sogenannte ‚Flaggen‘, mit denen Qualität und Quantität der Ressource in einer fünfstufigen Skala bewertet werden (vgl. Barthel et al. 2008, 1104).

Nach der detaillierten Vorstellung der Gesellschaftsszenarien- und Maßnahmen-Entwicklung innerhalb der drei betrachteten Modelle werden teilmodellspezifisch Ergebnisse von fünf ausgewählten Szenarien diskutiert. Im Falle des Modells *Tourism* ist dies der simulierte durchschnittliche Wasserverbrauch von Golfplätzen im Untersuchungsgebiet auf Landkreisebene im Zeitraum 2020 bis 2029. Die Wahl der Zeitspanne begründet sich durch die Tatsache, dass ab dem Jahr 2025 die optionale ‚Maßnahme‘ für Golfplatz-Akteure realisiert wird. Die Auswirkungen dieser Maßnahme – ein erhöhter Wasserbedarf der Golfplätze – werden in der Übersicht über alle golftouristisch geprägten Landkreise des Untersuchungsgebiets deutlich. Unter allen fünf Szenarien weisen besonders die Landkreise im östlichen Teil des Untersuchungsraums einen höheren Wasserbedarf auf, was neben einer geringfügig höheren absoluten Zahl von Golfplätzen hauptsächlich auf mikroklimatische Bedingungen zurückzuführen ist. Besonders in der detaillierteren Betrachtung von zwei ausgewählten Landkreisen, Passau und Unterallgäu, wird ersichtlich, dass die klimatischen Bedingungen zwar den Haupttreiber des Wasserbedarfs repräsentieren. Gerade für sommertouristische Marktsegmente wie den Golfsport wird jedoch zudem der zum Teil enorme Einfluss gesellschaftlicher Rahmenbedingungen bzw. regulatorischer Eingriffe ersichtlich.

4.3 Anwendungen und Erweiterungen des Modells *Tourism*

Im Anschluss an die in Kapitel 4.2 erfolgte Vorstellung des Modells *Tourism* und der Gesellschaftsszenarien wird in diesem Kapitel eine auf Szenarioergebnissen basierende touristische Wertschöpfungsstudie präsentiert (s. Kap. 4.3.1). In der Folge thematisiert Kapitel 4.3.2 mit der Entwicklung des Parameters ‚Optimaler Skitag‘ eine Erweiterung des Modells *Tourism*.

4.3.1 Analyse und Szenarien des touristischen Wertschöpfungsbeitrags in Bayern

Referenz

Soboll, A., Klier, T., Heumann, S. (2011): The prospective impact of climate change on tourism and regional economic development. A simulation study for Bavaria. In: *Tourism Economics*. *Zum Druck angenommen*.

(eingereicht: 01.08.2010 | angenommen: 13.09.2010 | erscheint voraussichtlich: Heft 3/2011)

Der Tourismus beeinflusst die wirtschaftliche Entwicklung einer Region in unterschiedlicher Weise. In diesem Kontext wird zwischen ‚intangiblen‘ und ‚tangiblen‘ ökonomischen Effekten differenziert, wobei erstere schwer messbare, qualitative Impulse wie etwa Infrastruktur-, Image- und Kooperationseffekte umfassen (vgl. Schmude/Heumann 2010, 334f.). Dagegen werden unter tangiblen Effekten jene Auswirkungen verstanden, die sich beispielsweise anhand von Einkommen, Arbeitsplätzen oder Umsätzen quantifizieren lassen (vgl. Schmude/Namberger 2010, 87).

Für eine fundierte Tourismuspolitik ist die Bestimmung des touristischen Wertschöpfungsbeitrags unabdingbar. Da weder das touristische Angebot noch die touristische Nachfrage homogen über den Raum verteilt sind, sondern vielmehr eine stark aus-

geprägte Tendenz zur räumlichen Konzentration aufweisen (vgl. Schmude/Heumann 2010, 331f.), ist eine regional differenzierte Betrachtung erforderlich. Nur so können räumliche Disparitäten adäquat berücksichtigt werden. Dies gilt auch in Hinblick auf mögliche Entwicklungen der touristischen Wertschöpfung unter Global-Change-Bedingungen, um diesbezüglich potenzielle Gewinner- und Verlierer-Destinationen identifizieren zu können.

Die Publikation thematisiert die regionalökonomischen Effekte des Tourismus, die in facto auf die Ausgaben der Touristen in der Destination zurückzuführen sind. Da nicht nur der Tourismussektor im engeren Sinne, d. h. beispielsweise Beherbergungsbetriebe und Reiseveranstalter, sondern darüber hinaus zahlreiche weitere Wirtschaftszweige, wie das Baugewerbe oder Versicherungen von der touristischen Nachfrage (Tagestourismus und übernachtender Tourismus) profitieren, ist die Tourismuswirtschaft als Querschnittsbranche einzustufen (vgl. Fechner/Buer 2008, 133). Dementsprechend schwierig gestaltet sich die Bestimmung der ökonomischen Bedeutung des Tourismus. Das Tourismusaufkommen ruft direkte und indirekte ökonomische Effekte hervor (vgl. Cooper et al. 2008, 137). Direkte Effekte ergeben sich aus der unmittelbaren Interaktion zwischen Anbieter und Gast, bezeichnen also vom Touristen getätigte Ausgaben, z. B. für die Übernachtung. Diese Einkommen und Gewinne werden der ersten Umsatzstufe zugeordnet. Im Gegensatz dazu gehen indirekte Effekte auf Interaktionen zwischen touristischen Anbietern und Erbringern vor- bzw. nachgelagerter Leistungen zurück (zweite Umsatzstufe) (vgl. Schmude/Heumann 2010, 336). Diese umfassen beispielsweise Warenlieferungen an Hotels oder Entsorgungsleistungen. Etwa zwei Drittel des touristischen Umsatzes einer Destination werden durch direkte, rund ein Drittel durch indirekte Effekte erwirtschaftet (vgl. Harrer/Scherr 2002, 146). Beispielsweise wird die Höhe der direkten Ausgaben in Bayern für das Jahr 2009 mit über 24 Mrd. Euro angegeben (vgl. BayStMWIVT 2010, 3).

Ein Ansatz zur Abschätzung direkter und indirekter Einkommens- und Beschäftigungseffekte auf regionaler Ebene ist die ‚touristische Wertschöpfungsstudie‘ (vgl. Harrer 2007, 149ff.), die auf dem Nachfrageumfang unterschiedlicher Gruppen von Touristen und deren durchschnittlichen Tagesausgaben beruht. Diese wurden für Deutschland erstmals 2002 durch das dwif (Deutsches Wirtschaftswissenschaftliches Institut für Fremdenverkehr e.V. an der Universität München) für den übernachtenden Tourismus und 2004 für den Tagestourismus in ausgedehnten Zielgebietsbefragungen erhoben (vgl. Harrer/Scherr 2002; Maschke 2005). Die Ausgaben variieren abhängig von Reiseziel, Urlaubsart und Reisedauer zum Teil erheblich, sodass zwischen vier Arten von Besuchern und zehn Ausgabenkategorien differenziert wird. In einem ersten Schritt werden so die direkten Effekte der touristisch induzierten Wertschöpfung berechnet. Anschließend werden in einem zweiten Schritt die indirekten Effekte ermittelt, sodass sich unter Berücksichtigung aktivitätsspezifischer Steuersätze und Wertschöpfungsquoten die gesamtwirtschaftlichen Effekte des Tourismus relativ verlässlich abbilden lassen (vgl. Schmude/Heumann 2010, 336).

Zur Analyse der Auswirkungen des globalen Wandels auf den Tourismussektor und sein regionalökonomisches Gewicht auf Landkreisebene wird zunächst die gegenwärtige touristische Wertschöpfung (Stand: 2008) ermittelt. Da dafür auf Durchschnittswerte der Tagesausgaben aus den Studien des dwif zurückgegriffen wird, beschränkt sich der Un-

tersuchungsraum auf den deutschen, genauer den bayerischen Teil des GLOWA-Danube Untersuchungsgebiets. Anschließend werden drei Szenarien simuliert, die für den Tourismus ein optimistisches, ein pessimistisches sowie ein mittleres Szenario darstellen. Anhand der jeweils resultierenden Übernachtungs- und Tagesbesucherzahlen für die 2050er Jahre lassen sich mögliche Entwicklungstrends der ökonomischen Bedeutung des Tourismus abschätzen.

Das Benchmarking mit dem Referenzjahr 2008 zeigt dabei u. a., dass gerade die aktuell bedeutendsten touristischen Destinationen klimawandelbedingt mit schweren ökonomischen Verlusten zu rechnen haben. Dies wird sich nachteilig auf den Arbeitsplatzbesatz, die Kaufkraft und Steuereinnahmen in den betroffenen Regionen auswirken und, ohne das rechtzeitige Ergreifen von Anpassungsmaßnahmen, gravierende wirtschaftliche, infrastrukturelle und soziale Probleme zur Folge haben. Der Effekt verstärkt sich besonders in naturräumlich attraktiven, peripheren Regionen, die in besonderem Maße vom Tourismus abhängig sind (vgl. Schmude/Heumann 2010, 339ff.). Dagegen zeichnet sich besonders für städtetouristische Ziele in Bayern ein positiver Trend ab, sodass der globale Wandel in Bayern zukünftig zwar zu strukturellen Veränderungen des Reisemarktes führen wird, ohne jedoch insgesamt seinen ökonomischen Stellenwert entscheidend zu beeinflussen.

Die Ergebnisse unterstreichen erneut die Relevanz einer regional differenzierten Betrachtung für die Ableitung und Prüfung geeigneter, nachhaltiger Adaptationsstrategien. Allerdings sind bei der Interpretation auch in diesem Falle die Grenzen des Modells *Tourism* zu berücksichtigen. Beispielsweise kann das Modell den wahrscheinlich bestehenden Einfluss veränderter naturräumlicher Gegebenheiten, wie etwa der Landnutzung, auf die nachfrageseitige Wahrnehmung nicht berücksichtigen, obwohl dies zusätzliche zeitliche und/oder räumliche Verschiebungen des Tourismusaufkommens mit sich bringen kann. Gerade in Hinblick auf derartige nachfrageseitige Perzeptionsprozesse besteht daher zukünftig großer Forschungsbedarf.

4.3.2 ‚Christmas-Easter-Shift‘. Der Parameter ‚Optimaler Skitag‘ als Instrument zur Untersuchung der Entwicklung von Skigebieten unter Klimawandelbedingungen

Ausgangslage

Die skitouristische Anbieterseite stellt sich sowohl hinsichtlich der Größe, Struktur und Wirtschaftlichkeit der Skigebiete als auch hinsichtlich ihrer Anpassungsfähigkeit an beispielsweise klimatische Veränderungen sehr heterogen dar (vgl. Abegg/Elsasser 2007, 227): Während gut ausgebaute, hoch gelegene und damit als schneesicher geltende Skigebiete boomen, schreiben kleinere Liftbetreiber in benachteiligten Lagen häufig rote Zahlen. Da Skigebietsbetreiber besonders stark von der Qualität und der Quantität der Schneebedingungen abhängig sind und deshalb äußerst sensibel auf schneearme Wintersaisons reagieren, ist davon auszugehen, dass sich der bereits beginnende Konzentrationsprozess auf Skigebiete in Gunsträumen unter Klimawandelbedingungen zukünftig noch deutlicher manifestieren wird (vgl. Bloetzer et al. 1998, 101).

Eine weitere, klimawandelinduzierte Entwicklung im Kontext des Skitourismus ist eine intrasaisonale Postposition der Schneesicherheit. Bisher liegen die Saisonspitzen des

alpinen Skitourismus ferienbedingt um Weihnachten und im Februar (vgl. Bark et al. 2010, 469). Da Touristen nachweislich beginnen, den Zeitpunkt ihres Skiurlaubs zu verschieben, um unerwünschte Klimabedingungen zu umgehen, oder Destinationen, die über kein ausreichendes Maß an Schneesicherheit verfügen, zugunsten anderer Ziele gänzlich zu meiden (vgl. Harrer 1996, 201f.), ist mit zeitlichen und/oder räumlichen Verlagerungen von Touristenströmen zu rechnen.

Um derartigen nachfrageseitigen Anpassungen in Form von veränderten Reisezeiträumen, Destinationen und Reisehäufigkeiten (vgl. Hamilton et al. 2005; Berrittella et al. 2006) entgegenzuwirken und wettbewerbsfähig zu bleiben, versuchen Skigebietsbetreiber, auch unter sich wandelnden klimatischen Bedingungen für Touristen attraktiv zu bleiben. Zu diesem Zweck werden häufig technische Adaptationsmaßnahmen ergriffen, die vornehmlich künstliche Beschneigung, Pistenplanien und die Erschließung höher gelegenen Terrains umfassen (vgl. Scott et al. 2009, 179ff.). Durch solch kostenintensive Leistungen geraten vor allem kleine Liftbetreiber relativ rasch an ihre finanziellen Grenzen. Da sich die Skisaison in den Alpen zudem größtenteils auf vier bis fünf Monate (zwischen November und April) konzentriert, sind angebotsseitig Saisonkräfte in der Hotellerie und Gastronomie, bei Distributeuren und bei Verkehrsunternehmen erforderlich. Auch müssen Tourismusorganisationen ihre Werbebudgets möglichst präzise einsetzen, um Streuverluste zu minimieren.

In der Literatur wird zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von Skigebieten meist die ‚100-Tage-Regel‘ herangezogen (vgl. Witmer et al. 1986, 193). Diese besagt, dass ein Skigebiet die Rentabilitätsschwelle dann erreicht, wenn an mindestens 100 Tagen der Saison Schneesicherheit gegeben ist. Dies ist der Fall, wenn für Alpinski mindestens 30 cm Schnee liegen. Dabei muss die 100-Tage-Regel in mindestens sieben von zehn aufeinanderfolgenden Saisons erfüllt sein. Abegg (1996, 61f.) weist darauf hin, dass die Regel als Richtwert zu interpretieren ist, der einen akzeptierten Bezugspunkt für Praktiker bietet. Diese Faustregel wird räumlich undifferenziert für jedes Skigebiet als gültig betrachtet, unabhängig davon, ob die geographische Lage, Exposition sowie mikroklimatische und andere Faktoren für den Skitourismus als günstig zu werten sind. Da sich die Regel ausschließlich an der Schneehöhe orientiert und keine regionale Differenzierung erfolgt, kann angenommen werden, dass der Schwellenwert von 100 Tagen für wirtschaftlich erfolgreiche Skigebiete, die sich auf dem Markt auch mit einer geringeren Anzahl an Öffnungstagen behaupten könnten, zu hoch angesetzt ist, während für manche kleinere, weniger rentable Gebiete 100 Betriebstage auf Dauer unter Umständen nicht ausreichen.

Wenn zusätzlich das abzuschreibende Investitionsvolumen berücksichtigt wird, kann davon ausgegangen werden, dass gerade in modernen Skigebieten mit sehr guter Infrastruktur die Gewinnschwelle aufgrund dieser Abschreibungen oft höher liegt, sodass gegebenenfalls 100 Öffnungstage nicht genügen. Dagegen benötigen diverse kleine Skigebiete mit bereits amortisierten Anlagen und geringeren Fixkosten für einen rentablen Betrieb eventuell deutlich weniger Öffnungstage. Diesem Umstand wird im Modell *Tourism* bereits durch eine regionale Differenzierung der für einen langfristigen ökonomischen Betrieb erforderlichen Öffnungstage Rechnung getragen (vgl. Sax 2008, 170). So benötigen beispielsweise schweizerische Skigebiete durchschnittlich mindestens 107 Öffnungstage pro Saison, während für nordostbayerische Lifte im Durchschnitt 73 Öffnungstage ausreichen.

Aufgrund der aufgeführten Entwicklungen und des bisherigen Forschungsdefizits zeigten die im GLOWA-Danube Stakeholderdialog involvierten Touristiker (ein touristischer Unternehmensberater, mehrere Bergbahnbetreiber sowie ein Vertreter der Bayerischen Tourismus Marketing GmbH) Interesse an einem Parameter, der die Anzahl und saisonale Verteilung ‚optimaler‘ Skitage widerspiegelt, um so die wirtschaftliche Entwicklung von Skigebieten unter Klimawandelbedingungen realitätsnäher abschätzen zu können. Um als Entscheidungshilfe für Investitionen oder anderweitige Adaptationsstrategien zu dienen, wird an diesen Parameter zum einen die Anforderung gestellt, räumlich explizite Ergebnisse zu liefern. Zum anderen muss er in der Lage sein, zwischen ökonomisch ‚wertvollen‘ (etwa Ferientagen) und weniger ‚wertvollen‘ (Wochentagen) Öffnungstagen zu differenzieren (vgl. Scott et al. 2007, 187).

In diesem Kapitel werden grundsätzliche Überlegungen zur Entwicklung, Implementierung und Anwendung eines derartigen Parameters ‚Optimaler Skitag‘ (OST) vorgestellt, der eine umfassende Analyse optimaler Skifahrbedingungen erlaubt, um so quantitative und qualitative saisonale Verschiebungen im Skitourismus aufzudecken. Da eine Publikation hierzu noch nicht vorliegt (in Vorbereitung), werden die Überlegungen zum OST an dieser Stelle vergleichsweise ausführlich dargestellt.

Entwicklung, Implementierung und Simulation des Parameters ‚Optimaler Skitag‘

Basierend auf dem transdisziplinären Input der touristischen Stakeholder wird zunächst die Bedeutung der Qualität der Öffnungstage für den Umsatz eines Skigebiets als mathematische Gleichung abgeleitet, um anschließend die Ausgestaltung des Parameters OST im GLOWA-Danube Modell *Tourism* vorzunehmen.

Grundsätzlich entscheiden klimatische Faktoren darüber, ob der Betrieb eines Skigebiets an einem Tag überhaupt möglich ist. Wenn diese eine Öffnung generell erlauben, ist des Weiteren die Qualität des jeweiligen Tages von Bedeutung. Unter Annahme eines positiven linearen Zusammenhangs zwischen der Güte eines Öffnungstages und dem an diesem Tag generierten Umsatz wird in Erweiterung der 100-Tage-Regel folgende Gleichung aufgestellt:

$$f(x) = \left(1 + \frac{\text{OST} \cdot a}{X}\right) \cdot x \cdot k$$

mit:

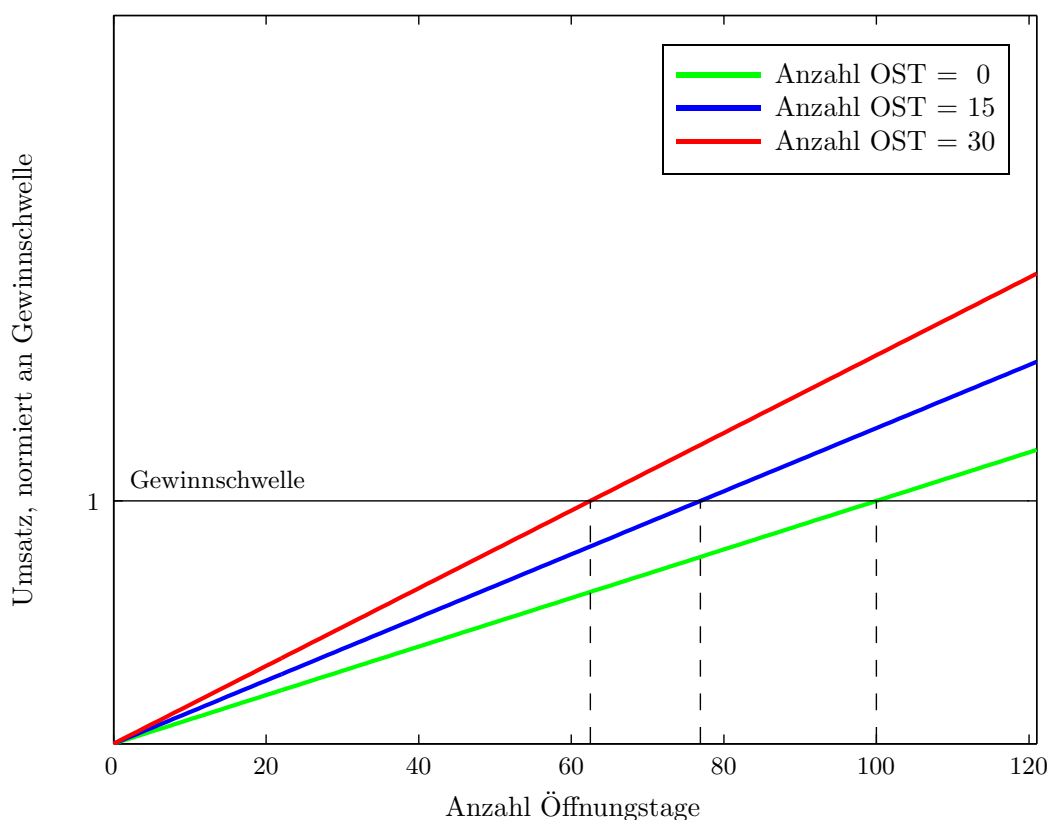
- OST = Anzahl OST,
- X = Anzahl Öffnungstage,
- a = Gewichtungsfaktor OST,
- x = Saisonlänge in Tagen,
- k = Umsatz pro Besucher und Tag

wobei:

$$a \geq 0, \in \mathbb{R}$$

Der Umsatz eines Skigebiets ist demnach abhängig von der Quantität *und* der Qualität der Öffnungstage, wobei der Gewichtungsfaktor a die durchschnittliche Umsatzsteigerung an einem OST gegenüber einem ‚normalen‘ Öffnungstag bestimmt. Abbildung 1 zeigt für drei unterschiedliche Anzahlen von OST (0, 15 und 30 OST) schematisch den Umsatz eines fiktiven Skigebiets in Abhängigkeit von der generellen Anzahl der Öffnungstage in einer Saison. Die grüne Gerade (0 OST) repräsentiert dabei die gebräuchliche 100-Tage-Regel. In diesem Fall kann davon ausgegangen werden, dass bei Erreichen der Gewinnschwelle am 100sten Öffnungstag pro Tag $1/100$ des erforderlichen Umsatzes erwirtschaftet wird.

Abb. 1 Schematischer Zusammenhang zwischen Anzahl der Öffnungstage, Anzahl ‚Optimaler Skitage‘ und Erreichen der Gewinnschwelle in einer Saison (exemplarisch für 0, 15 und 30 OST)



Quelle: Eigene Darstellung 2010

Unter der Annahme, dass die Qualität eines Öffnungstages einen entscheidenden Einfluss auf die Besucherzahlen und somit auf den Umsatz hat, ist ein OST für den jeweiligen Liftbetreiber ‚wertvoller‘ als ein ‚normaler‘ Öffnungstag. Bei einem gegebenem Gewichtungsfaktor von 2, der unterstellt, dass an einem OST doppelt so viel Umsatz generiert wird wie an einem ‚normalen‘ Öffnungstag, erreicht das fiktive Skigebiet in Abbildung 1 mit 15 OST (blaue Gerade) bereits nach ca. 77 Tagen den Break-Even-Point. Mit 30 OST (rote Gerade) verzeichnet das fiktive Skigebiet schon nach ca. 62 Öffnungstagen Gewinne.

Die schematische Darstellung verdeutlicht die grundlegende Idee, dass ein Skigebiet die Gewinnschwelle umso früher überschreitet, je mehr Öffnungstage als OST eingestuft werden können. Während also die 100-Tage-Regel von einer konstanten Profitabilitätsschwelle ausgeht, lassen sich durch die differenzierte Betrachtung der Qualität der Öffnungstage variable Gewinnschwellen berücksichtigen.

Im nächsten Schritt wird der Parameter OST entwickelt, um im Modell *Tourism* jene Tage zu identifizieren, die unter gegebenen Szenario-Annahmen bestmögliche Bedingungen zum Skifahren bieten. Die Auswahl der in den Parameter einfließenden Variablen basiert auf einer umfangreichen Literaturrecherche sowie auf modelltechnischen Überlegungen und wurde im Rahmen von 15 Expertengesprächen (mit Bergbahnbetreibern, Vorständen von Skiclubs, Skilehrern und Vertretern von Tourismusverbänden) validiert. In Tabelle 1 sind zusammenfassend alle im Parameter OST berücksichtigten Variablen und deren Ausprägungen aufgeführt. Diese werden im Folgenden näher betrachtet.

Tab. 1 Parameter ‚Optimaler Skitag‘: Berücksichtigte Variablen, deren geforderte Ausprägung und resultierender Pseudocode im Modell *Tourism*

Variable	Ausprägung	Pseudocode: WENN
Niederschlag	Kein Niederschlag	Tagesniederschlags- summe = 0 WAHR
Betriebszustand	Skigebiet vollständig in Betrieb	Skigebiet offen = WAHR
Schnee- oder Kunstschneehöhe auf Pisten	Ausreichend Schnee oder Kunstschnee vorhanden	Schneehöhe ≥ 30 cm (entspricht 12 mm SWE) WAHR
Schneedecke in der Umgebung	Geschlossene Schneedecke	Schneehöhe ≥ 0 cm (entspricht > 0 mm SWE) WAHR
Gefühlte Temperatur	Thermisches Empfinden leicht kühl	Feuchttemperatur von -5 bis +5 °C WAHR
Sonnenscheindauer	Mindestens 5 Stunden/Tag	Sonnenscheindauer ≥ 5 h WAHR
Windgeschwindigkeit	Maximal 5 Meter/Sekunde	Windgeschwindigkeit ≤ 5 m/s WAHR
Tagesart	Wochenend-/Ferien-/ Feiertag	Tag = Wochenende WAHR ODER Tag = Ferientag WAHR ODER Tag = Feiertag WAHR

Quelle: Eigene Darstellung 2010

Es wird angenommen, dass Niederschlag von Skifahrern als störend empfunden wird.

Daher ist eine Bedingung für einen OST, dass dieser niederschlagsfrei ist. Im Modell muss der entsprechende Tag daher eine Niederschlagssumme von 0 mm aufweisen.

Ein weiteres Kriterium ist der Betriebszustand des jeweiligen Skigebiets. Die Experteninterviews ergaben diesbezüglich uneinheitliche Resultate, einige der Befragten erachteten es gerade für große Skigebiete nicht als zwingend erforderlich, dass das Skigebiet vollständig in Betrieb ist. Die Mehrheit der Experten erwartet an einem OST jedoch ein gänzlich geöffnetes Gebiet. Aufgrund modelltechnischer Anforderungen wird dieses Kriterium dementsprechend implementiert.

Hall und Higham (2005, 11ff.) listen idealtypische klimatische Anforderungen für verschiedene wintersporttouristische Aktivitäten auf. Eine der Variablen ist die Schneehöhe, die für Alpinski mit mindestens 20 bis 30 cm angegeben wird. Diese Höhe (30 cm) wird im Modell *Tourism* ebenfalls verwendet. Da Skigebiete im Modell erst ab dieser Schneehöhe (implementiert als Schneewasseräquivalent, Snow Water Equivalent, SWE [mm]) öffnen, erfüllt jedes in Betrieb befindliche Skigebiet diese Bedingung.

Für eine ansprechende Kulisse ist neben ausreichend beschneiten Pisten auch eine geschlossene Schneedecke in der Umgebung des Skigebiets erwünscht. Dieser Aspekt ist zwar eher psychologischer Natur, hat jedoch nach einstimmiger Meinung der befragten Experten große Bedeutung für das Empfinden eines Tages als optimalem Skitag. Dies wird besonders deutlich, wenn man das extreme Gegenteil – eine künstliche Skipiste in ansonsten grüner Umgebung – betrachtet. Dementsprechend müssen die an das jeweilige Skigebiet angrenzenden DANUBIA-Rasterzellen, die sogenannten Proxel (= Process Pixel, Größe 1 km²; vgl. Ludwig et al. 2003), im Modell *Tourism* eine Schneehöhe von über 0 cm aufweisen, damit ein Tag als OST gewertet wird.

Es existieren verschiedene Ansätze zur Bestimmung der Wärmebilanz. Einer davon ist die ‚Gefühlte Temperatur‘ (Physiological Equivalent Temperature, PET) nach Matzarakis et al. (1999). Diese vergleicht die realen Bedingungen mit der Temperatur, die in einer Standardumgebung (tiefer Schatten, z. B. im Wald, Windzug von 0,1 m/s) herrschen müsste, um ein identisches Empfinden zu haben. Den unterschiedlichen Klassen dieser Skalen sind adjektivisch Empfindungen zugeordnet. Die befragten Experten geben im Mittel einen Bereich von -5 bis +5 °C an, in dem Skifahren als angenehm empfunden wird, was in der PET-Skala einem leicht kühlen thermischen Empfinden entspricht. Im Modell *Tourism* gilt diese Bedingung als erfüllt, wenn die Feuchtkugeltemperatur zwischen -5 und +5 °C liegt.

Weiterhin muss eine gegebene Anzahl von Sonnenstunden erreicht werden, d. h., die Bewölkung muss so gering sein, dass die Einstrahlung mindestens 120 W/m² beträgt (vgl. Leser 2001, 791). Diese tatsächliche Sonnenscheindauer muss an einem OST den Schwellenwert von fünf Stunden überschreiten.

Die Windgeschwindigkeit darf an einem OST maximal 5 m/s betragen. Dieser Wert ist der Literatur (vgl. Hall/Higham 2005, 11) entnommen und wird von allen befragten Experten bestätigt. Wie alle übrigen berücksichtigten Klimadaten wird auch die Windgeschwindigkeit von anderen GLOWA-Danube Modellen (z. B. *Atmosphere*) über entsprechende Schnittstellen in das Modell *Tourism* importiert (vgl. Dingeldey 2008, 116ff.).

Schließlich bestätigen alle befragten Experten die Bedeutung der Tagesart für den Para-

meter OST, da an Tagen, die alle vorher aufgeführten Bedingungen erfüllen und gleichzeitig auf einen Wochenend-, Ferien- oder Feiertag fallen, mit deutlich mehr Besuchern und dementsprechend mit mehr Umsatz zu rechnen ist als an einem Werktag. Um diesen Aspekt im Modell *Tourism* berücksichtigen zu können, wird eine Kalenderfunktion integriert, die zudem variable Ferienzeiten in den beteiligten Bundesländern einbezieht.

Die Implementierung des Parameters OST im Modell *Tourism* wird anhand des entsprechenden Pseudocodes (s. Tab. 1) veranschaulicht. Dabei wird eine ‚Und-Verknüpfung‘ umgesetzt, d. h., ein Tag wird genau dann als OST gewertet, wenn alle geforderten Variablenausprägungen gleichzeitig erfüllt sind.

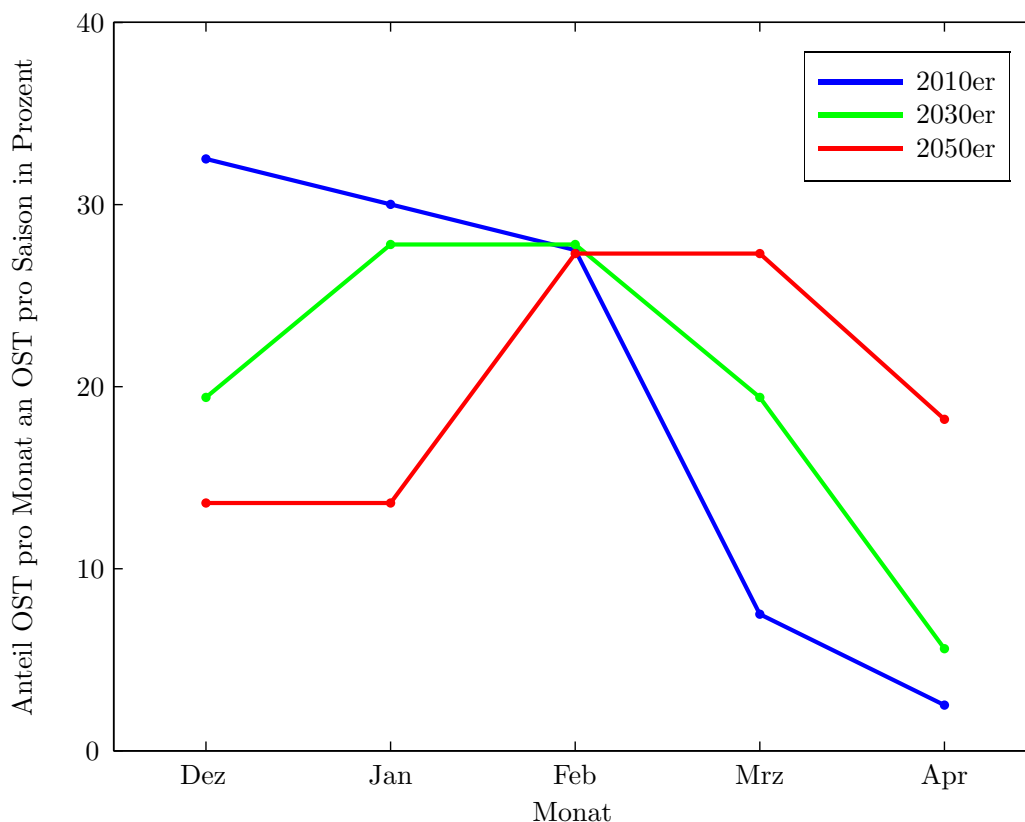
Nach Abschluss der Implementierung wird der Ergebnisbereich des Parameters OST mittels Hindcasting-Vergleich mit Daten des Deutschen Wetterdienstes (vgl. DWD 2010) validiert. So erreicht beispielsweise das Skigebiet Zugspitze (Landkreis Garmisch-Partenkirchen) in der Simulation für den Zeitraum 2006 bis 2009 durchschnittlich 32 OST pro Saison. Die Referenzdaten des DWD ergeben hierfür im Mittel 30 OST-Äquivalente pro Saison. Da die Überprüfung anderer Skigebiete ähnlich gute Ergebnisse liefert, können die einbezogenen Variablen und ihre Ausprägungen als bestätigt betrachtet werden. Durch die Einbindung in Auswerteroutinen der Simulationsläufe lässt sich die Entwicklung von Skigebieten im GLOWA-Danube Untersuchungsraum unter gegebenen Szenario-Bedingungen nun auch in Hinblick auf OST analysieren.

Erste Ergebnisse von Simulationsläufen zeigen bereits im Startjahr ein räumlich stark ausdifferenziertes Bild des Auftretens von OST. Im Laufe der Simulationsperiode reduziert sich je nach gewähltem Szenario die absolute Anzahl der OST im gesamten Untersuchungsgebiet, wobei deren Verteilung über den Raum relativ stabil bleibt (Spearman Koeffizient 0,92 für $p < 0,01$). Auch der skigebietsspezifische Anteil von OST an den gesamten Öffnungstagen pro Saison ändert sich kaum. Das heißt, dass Skigebiete, die aktuell die meisten OST erreichen, vermutlich auch in Zukunft in der Spitzengruppe liegen werden. In diesem Kontext stellt der Parameter OST eine Präzisierung der bloßen Anzahl zu erwartender Öffnungstage dar.

Neben der intersaisonalen Entwicklung der OST über den Simulationszeitraum ist auch deren intrasaisonale Verteilung von Interesse. Abbildung 2 zeigt beispielhaft für die Skigebiete im Landkreis Oberallgäu (19 Skigebiete, Höhenlagen zwischen 800 und 2.000 m) den mittleren Anteil von OST pro Monat an allen OST der Skisaison (Dezember bis April) für das Szenario Klimatrend ‚REMO regional‘ – Klimavariante ‚Baseline‘ – Gesellschaftsszenario ‚Baseline‘. Um den Einfluss von eventuellen Extremwerten zu minimieren, wurden die Ergebnisse jeweils über Dekaden gemittelt. Zur Verdeutlichung sind nur die 2010er, 2030er und 2050er Jahre abgebildet.

Bereits innerhalb der relativ kurzen Zeitspanne der kommenden 50 Jahre ist ein Trend zu einer zeitlichen Verschiebung der OST im Sinne einer intrasaisonalen Postposition zu erkennen: Gemittelt über die 2010er Skisaisons liegt der Peak mit ca. einem Drittel der OST im Dezember, wobei auch der Januar und der Februar noch relativ hohe Anteilswerte aufweisen. In der zweiten Saisonhälfte bricht der Anteil der OST jedoch merklich ein. Die 2030er Saisons zeigen dagegen bereits eine breitere Verteilung mit annähernd gleichen Anteilen der OST im Dezember und März sowie im Januar und Februar. Die durchschnittlichen Monatsanteile innerhalb der 2050er Saisons demons-

Abb. 2 Simulierte monatliche Anteilswerte ‚Optimaler Skitage‘ innerhalb der Skisaison im Landkreis Oberallgäu für die Dekaden 2010er, 2030er und 2050er Jahre im Szenario ‚REMO regional‘ - ‚Baseline‘ - ‚Baseline‘



Quelle: Eigene Darstellung 2010

trieren mit Höchstwerten im Februar und März eine intrasaisonale Verschiebung des Anteils der OST in Richtung der zweiten Saisonhälfte.

Dieser Trend, auf den auch Analysen der anderen untersuchten Skigebiete hinweisen, lässt sich als ‚Christmas-Easter-Shift‘ bezeichnen, denn der bisherige Saison-Schwerpunkt um Weihnachten tendiert immer weiter Richtung Ostern.

Diskussion der Ergebnisse

Im Gegensatz zur bisher in der Praxis angewendeten 100-Tage-Regel, die eine eindimensionale Verknüpfung von Schneesicherheit und Rentabilität impliziert und keine regionale Differenzierung vornimmt, erlaubt der Parameter OST eine räumlich explizite Bewertung der Entwicklung von Skigebieten unter Einbeziehen mehrerer Klimaparameter sowie der wirtschaftlichen Wertigkeit der Tagesart. Dadurch wird die Aussagekraft des Modells *Tourism* als Entscheidungshilfe ausgeweitet. In Kombination mit Simulationsergebnissen hinsichtlich der zukünftig zu erwartenden Anzahl von Öffnungstagen für Skigebiete trägt der Parameter OST zur Identifikation sinnvoll zu bewerbender Saisonzeiten sowie zur Entscheidungsunterstützung hinsichtlich Investitionen und eventuell

vorzunehmenden Diversifikationen des touristischen Angebots bei. Die vorgestellten Ergebnisse deuten an, dass der Skitourismus vor allem in den Regionen gesichert und gefördert werden sollte, die diesbezüglich schon heute als Gunsträume einzustufen sind. Andernorts empfiehlt es sich, die Abhängigkeit von schneegebundenen Angebotsformen zu verringern. Dafür müssen gerade (zukünftig) benachteiligte wintertouristische Zielgebiete ihr Portfolio um alternative Marktsegmente erweitern. Besonders für Destinationen, die eine hohe wirtschaftliche Abhängigkeit vom Tourismus aufweisen, ist eine rasche Umorientierung jedoch als unrealistisch bzw. riskant zu werten. Daher sollten derartige Angebotsformen zunächst etabliert werden, um die Saisonalität der Destinationen zu reduzieren und zumindest kurz- bis mittelfristig komplementär und nicht substituierend eingebunden werden.

Die im Rahmen der Entwicklung des Parameters OST geführten Experteninterviews ergaben zusätzliche relevante Faktoren, die allerdings aus modelltechnischen Gründen im Moment nicht berücksichtigt werden können. Dies sind unter anderem die Schneequalität (z. B. Pulverschnee, Firn, Nassschnee, Vereisungen), das Gastronomieangebot im Skigebiet sowie Sonderaktionen und Rabatte (z. B. Ladies' Day). In zukünftigen Erweiterungen des Modells *Tourism* bzw. möglichen Folgeprojekten wäre die Berücksichtigung dieser Aspekte wünschenswert, da sie die Realitätsnähe des Parameters OST erhöhen und dadurch zu einer Optimierung der Ergebnisse beitragen können.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Das abschließende Kapitel fasst methodische Aspekte und inhaltliche Befunde der vorliegenden Arbeit zusammen und identifiziert zukünftigen Forschungsbedarf bezüglich Multiagentensimulationen in der Freizeit- und Tourismusgeographie.

Die in der Einleitung geschilderten und in den Kapiteln 3 und 4 näher betrachteten Entwicklungen des Freizeit- und Tourismussektors zeigen die Notwendigkeit der Berücksichtigung einer dynamischen bzw. systemischen Perspektive für aussagekräftige Analysen des Tourismusgeschehens.

Auf einer räumlichen (Altstadt von Regensburg) und zeitlichen (ein Tag) Mikroebene bei gleichzeitig geringer Anzahl von Systembestandteilen (Erlebniseinkäufer als Nachfrager, Geschäfte und Gastronomiebetriebe als Anbieter) wird das individuelle Verhalten von Shoppern modelliert und simuliert.

Im Gegensatz zu Urban Entertainment Centern (vgl. Vogelbacher 1998, 317ff.), die ausschließlich für Freizeitzwecke errichtet und genutzt werden, stellen Freizeit und Tourismus in multifunktionalen Innenstädten zwar neben beispielsweise ‚Arbeiten‘ und ‚Sich Versorgen‘ nur eine Ergänzungsfunktion dar. Aufgrund der zu beobachtenden hedonistischen Tendenzen in der Gesellschaft nimmt jedoch die Bedeutung von Freizeit zu, sodass derartige Nutzungen für die (über-)regionale Bedeutung einer Innenstadt, die städtische Identität und vor allem als Wirtschaftsfaktor immer wichtiger werden (vgl. Monheim 2007, 818). Umso bedeutender wird es daher, das raumrelevante Verhalten von Touristen und Naherholern zu analysieren. Durch die gleichzeitige Berücksichtigung nachfrageseitiger Präferenzen und angebotsseitiger Attribute sowie unter Einbezug einer dynamischen Perspektive zeigt das Modell EAR, welche Bereiche der Regensburger Altstadt derzeit für den Erlebniseinkauf besonders attraktiv sind und wo diesbezüglich Defizite vorliegen. Mit diesem Wissen lassen sich unter anderem Standortentscheidungen von Einzelhändlern und Gastronomen optimieren, aber auch Stadtplanung nachhaltig gestalten, indem etwa Standortverlagerungen von Betrieben oder nachfrageseitige Reaktionen auf Angebotserweiterungen simuliert werden.

Das entwickelte Modell belegt die generelle Eignung der Methode für eine derartige Anwendung und zeigt, dass sich das Konsumentenverhalten bis zu einem gewissen Grad durch Multiagentensimulation realistisch operationalisieren und abbilden lässt. Als Einschränkung ist dabei jedoch zu beachten, dass das komplexe menschliche Verhalten auch mit dieser Methode nicht vollständig erfasst werden kann (vgl. Hesse/Rauh 2003, 86). Dies gilt es bei der Interpretation und Nutzung der Ergebnisse unbedingt zu berücksichtigen.

Um die Realitätsnähe des Modells EAR zu erhöhen, wäre für potenzielle Erweiterungen eine intensivere Interaktion der simulierten Einkäufer wünschenswert, da Erlebniseinkäufer häufig in Begleitung unterwegs sind (vgl. Gerhard 1998, 31) und die Wahl der zu besuchenden Betriebe daher vermutlich oft gemeinsam getroffen wird. Durch Erweite-

rungen um angebotsseitige Agentenklassen wie z. B. kulturelle Einrichtungen könnte das Modell EAR darüber hinaus eingesetzt werden, um weitere Fragestellungen mit einem Fokus auf dem Individualverhalten und daraus resultierenden Raumstrukturen zu untersuchen. Auch eine Übertragung auf andere Innenstädte oder auf Einkaufszentren wäre denkbar, vorausgesetzt, es liegen entsprechende Daten für die alternative Fragestellung bzw. den zu analysierenden Raum vor.

Die Anwendung von Multiagentensimulationen ist jedoch nicht auf Räume der Größe einer Innenstadt beschränkt, sondern zeigt gerade im größeren inhaltlichen, räumlichen und zeitlichen Kontext ihre Stärken. Dies verdeutlicht die in Kapitel 4 vorgestellte Simulation touristischer Entwicklungsszenarien unter Global-Change-Bedingungen. Der globale Wandel konstituiert sich aus zahlreichen Interaktionen einzelner Systemelemente und weist eine dynamische, nichtlineare Entwicklung auf. Vor diesem Hintergrund stehen in Hinblick auf den Umgang mit dem globalen Wandel nicht mehr nur die physikalischen, sondern vermehrt auch die sozialen und ökonomischen Folgen im Mittelpunkt des Interesses (vgl. Weber 2008, 59ff.). Aufgrund seiner ausgeprägten Klimasensibilität ist besonders für den Tourismussektor die Ableitung räumlich expliziter und nachhaltiger Adaptationsstrategien erforderlich. Um derartige Maßnahmen entwickeln und bewerten zu können, muss das Tourismusgeschehen prospektiv auf einer größeren räumlichen Ebene und in seinen Wechselwirkungen mit verschiedenen natürlichen und gesellschaftlichen Systemkomponenten analysiert werden. Dafür erweist sich die interdisziplinäre Anlage des Projekts GLOWA-Danube als unbedingt erforderlich. Auf diese Weise wird es möglich, die zukünftige Entwicklung des Tourismussektors im Untersuchungsgebiet unter verschiedenen klimatischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen mittels Simulationen abzuschätzen.

Die weiterführende Anwendung der Ergebnisse in einer touristischen Wertschöpfungsstudie zeigt mögliche Entwicklungslinien des Tourismussektors in Bayern auf. Die Ergebnisse zeichnen ein Bild der zukünftigen regionalökonomischen Bedeutung des Tourismus und implizieren Anpassungsmaßnahmen, um die Zukunft aktiv zu gestalten und im Sinne der Nutzung sich ergebender Chancen positiv zu beeinflussen. In Bezug auf die Bewertung der wirtschaftlichen Entwicklung von Skigebieten bietet der in der vorliegenden Arbeit eingeführte Parameter ‚Optimaler Skitag‘ ein im Vergleich zur bisher in der Praxis angewendeten 100-Tage-Regel differenzierteres Analysewerkzeug. Somit trägt der Parameter einerseits zur Reduktion bestehenden Forschungsdefizits bei und macht andererseits die Relevanz der transdisziplinären Einbindung von Stakeholdern deutlich. Auf diese Weise kann der Forderung nach praxisorientierter Klimafolgenforschung entsprochen werden.

Gerade das Beispiel des ‚Optimalen Skitags‘ verdeutlicht aber auch, dass häufig ein noch höherer Detaillierungsgrad sowie das Einbeziehen weiterer Variablen in das Modell wünschenswert wären. In einem sehr umfangreichen Framework wie DANUBIA würde eine Erhöhung der Granularität jedoch zu einer Potenzierung des Komplexitätsgrades führen, wodurch Aufwand und Nutzen aus der Balance geraten würden, sodass in der momentanen Konzeption derartige Erweiterungen nicht sinnvoll erscheinen. Für eine korrekte Interpretation der generierten Ergebnisse müssen die dem Modell zugrunde liegenden Strukturen, Restriktionen und Unsicherheiten daher zwingend berücksichtigt werden. Zudem gilt für das Modell *Tourism* wie für alle (Multiagenten-)Modelle, dass

die Qualität der Ergebnisse sowohl von der Qualität als auch von der Quantität der Eingangsdaten abhängig ist.

Das Modell *Tourism* ist wie das gesamte Framework DANUBIA den spezifischen Bedingungen im Untersuchungsgebiet der Oberen Donau entsprechend angelegt. Durch die objektorientierte Struktur sowie durch die Trennung von Daten und Funktionen lässt sich das gesamte Konzept prinzipiell auf andere Untersuchungsgebiete oder Problemstellungen übertragen. Aufgrund des enormen Umfangs der zur Parametrisierung der Modelle erforderlichen Daten sind derartige Übertragungen jedoch nur mit großem finanziellem, personellem und zeitlichem Aufwand realisierbar. Zudem stellt die Verfügbarkeit entsprechender Daten häufig einen limitierenden Faktor dar. Auch ist darauf zu achten, dass alle einfließenden Daten in zumindest ähnlicher Auflösung verfügbar sind. Dies ist jedoch häufig gerade in interdisziplinären Projekten wie GLOWA-Danube nicht zu bewerkstelligen. Daher besteht eine besondere Herausforderung darin, das Framework und die Schnittstellen zwischen den einzelnen Modellen so zu konzipieren, dass räumlich und zeitlich heterogene Daten ausgetauscht werden können (für detaillierte Informationen zur Realisation in GLOWA-Danube, s. Hennicker/Ludwig 2006).

Ogleich im Modell *Tourism* auch nachfrageseitige Entwicklungen abgebildet werden, ist das Modell als primär angebotsorientiert einzustufen (vgl. Sax 2008, 52ff.). Zudem ist es zielgebietsorientiert angelegt, d. h., im Fokus der Analysen steht die Sensibilität von Destinationen (etwa Skigebieten, Landkreisen oder Regionen) gegenüber veränderten Rahmenbedingungen. Um die humanwissenschaftliche Kompetenz in Hinblick auf den Umgang mit dem globalen Wandel bzw. dem Klimawandel weiter zu stärken, sollten zukünftige Untersuchungen noch stärker auf die nachfrageseitige Wahrnehmung und daraus resultierende Verhaltensänderungen eingehen. Entsprechende perceptionsgeographische Studien bieten sich besonders im Bereich der Wahrnehmung von Landnutzungsänderungen an, um zu ergründen, wie sich beispielsweise großflächiger Anbau von Monokulturen oder freie im Vergleich zu bewachsenen Flächen auf die empfundene Attraktivität einer Destination auswirken. Auch sollte detaillierter beleuchtet werden, wie sich die individuelle Sensibilität von Touristen gegenüber Veränderungen von Klima und Umwelt auf ihr Reiseentscheidungsverhalten auswirkt. Sich daraus potenziell ergebende, zeitliche und/oder räumliche Umlenkungen von Reiseströmen hätten aufgrund der ökonomischen Bedeutung des Tourismussektors eine Dislokation wirtschaftlichen Wohlstands zur Folge. Untersuchungen in den genannten Bereichen würden zu einer notwendigen Verbreiterung der Wissensbasis bezüglich der Folgen des globalen Wandels beitragen. In Ergänzung bereits gewonnener Erkenntnisse würde dadurch eine umfassendere Bewertung nachhaltiger Adaptationsstrategien an diese wahrscheinlich größte Herausforderung des 21. Jahrhunderts ermöglicht.

6 Langfassungen der Publikationen

Soboll, A. (2007): Multiagentensysteme zur Simulation von Erlebniseinkauf und Gastronomiebesuch. Implementierung, Anwendung und Reflexion einer innovativen Methode zur Untersuchung konsumorientierter Freizeitaktivitäten. In: Geographische Zeitschrift (Franz-Steiner-Verlag Stuttgart), 95/4, 231-253.

(eingereicht: 04.12.2008 | angenommen: 10.06.2009)

Soboll, A., Schmude, J. (2011): Mensch-Umwelt-Systeme unter dem Einfluss des Globalen Wandels. Ein Ansatz zur integrierten regionalen Global-Change-Forschung am Beispiel des Themenkomplexes Tourismus und Klimawandel. In: Berichte zur deutschen Landeskunde. *Zum Druck angenommen.*

(eingereicht: 13.08.2010 | angenommen: 09.12.2010 | erscheint voraussichtlich: Heft 2/2011)

Soboll, A., Schmude, J. (2011): Simulating tourism water consumption under climate change conditions using agent-based modeling. The example of ski areas. In: Annals of the Association of American Geographers. *Zum Druck angenommen.*

(eingereicht: 19.08.2009 | angenommen: 21.04.2010 | erscheint voraussichtlich: Heft 2/2011)

Soboll, A., Elbers, M., Barthel, R., Schmude, J., Ernst, A., Ziller, R. (2011): Integrated regional modelling and scenario development to evaluate future water demand under global change conditions. In: Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 16/4, 477-498.

(eingereicht: 11.09.2010 | angenommen: 09.11.2010)

Soboll, A., Klier, T., Heumann, S. (2011): The prospective impact of climate change on tourism and regional economic development. A simulation study for Bavaria. In: Tourism Economics. *Zum Druck angenommen.*

(eingereicht: 01.08.2010 | angenommen: 13.09.2010 | erscheint voraussichtlich: Heft 3/2011)

Multiagentensysteme zur Simulation von Erlebniseinkauf und Gastronomiebesuch. Implementierung, Anwendung und Reflexion einer innovativen Methode zur Untersuchung konsumorientierter Freizeitaktivitäten

Autorin:
Anja Soboll

Summary

The 'hybrid consumer' requires new methods of analysing individual consumer behaviour. This paper aims to improve the understanding of consumer shopping behaviour by applying the bottom-up approach of multi-agent simulation. The implementation and application of an agent-based micro model is described and analysed. The model was designed using data relating to visitor behaviour in the Regensburg city centre and corresponding data for the retail and catering sectors. In the area under investigation, individual retail shop and restaurant visits on one specific day were simulated within the context of the preferences and attributes on both the demand and supply sides. In order to validate the performance of this quality-oriented model, the simulation results were compared to data collected in the course of a sensitivity analysis. To detect emergent structures, the simulation results are evaluated for spatial and structural purposes. The behaviour of the simulated consumers corresponds largely to that of the respondents. In practice, models like the one presented here can be applied to optimise location decisions in multifunctional city centres or shopping centres.

1 Einleitung

Das Konsumentenverhalten wandelt sich kontinuierlich. Es zeigen sich zahlreiche neue, teilweise gegenläufige Entwicklungstendenzen, durch die auch der eigene Lebensstil inszeniert wird. Ein besonders erfolgreicher Trend, der Erlebniseinkauf, resultiert u. a. aus einer hedonistischen Orientierung der Gesellschaft, die seit einigen Jahren zu beobachten ist. Erlebnis, Spaß und Konsum haben inzwischen eine zentrale Bedeutung und sind fester Bestandteil des Alltags vieler Menschen. Auch das Einkaufengehen dient nicht mehr nur der Versorgung, es ist auch eine beliebte Freizeitaktivität. Destinationen sind dabei sowohl neuartige Einkaufszentren als auch Innenstädte. Der Erlebniseinkauf wurde aus Anbietersicht bereits recht umfangreich untersucht (vgl. Romeiß-Stracke 2000; Heinritz et al. 2003; Frehn 2004). Dagegen existieren bisher nur wenige Studien zum Nachfrageverhalten von Erlebniseinkäufern, v. a. in Innenstädten, was hauptsächlich auf methodische Probleme bei der Analyse dieses Verhaltens zurückzuführen ist (vgl. Pieper 2002). Ziel des vorliegenden Beitrags ist es, diese Wissenslücke zu reduzieren, indem mit der Multiagentensimulation ein neuartiger Ansatz angewendet wird, der es erlaubt,

individuelles Konsumentenverhalten zu berücksichtigen. Aufbauend auf der Darstellung neuer Entwicklungen im Verbraucherverhalten und der Methodik der Multiagentensimulation wird die Konzeption und Funktionsweise des Modells ‚Erlebniseinkauf Altstadt Regensburg‘ (EAR) detailliert dargelegt. Nach der Auswertung der generierten Simulationsergebnisse aus räumlicher und struktureller Sicht werden Methode und Resultate abschließend kritisch diskutiert.

2 Konsumentenverhalten und Erlebniseinkauf – Konzeptionelle Überlegungen

Im Folgenden wird zunächst dargelegt, welche Determinanten das Konsumentenverhalten beeinflussen und von welchen Entwicklungstendenzen es in jüngerer Zeit geprägt ist. Daraus ergibt sich der Bedarf nach einer neuartigen Untersuchungsmethode, die den auftretenden Individualisierungstendenzen im Käuferverhalten gerecht wird. Bevor in Kapitel 3 detaillierter auf die Konzeption und Entwicklung des Modells eingegangen wird, werden im zweiten Teil dieses Abschnittes Grundprinzipien und Methodik des *bottom-up*-orientierten Ansatzes der Multiagentensimulation dargestellt.

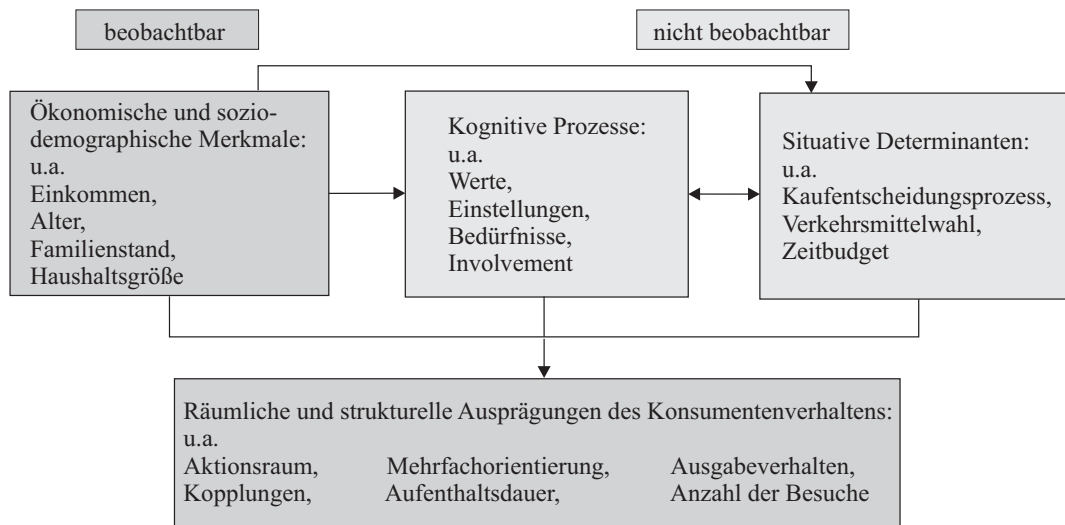
2.1 Determinanten und Entwicklung des Konsumentenverhaltens unter besonderer Berücksichtigung des Erlebniseinkaufs

Konsum bietet über die Befriedigung von Grundbedürfnissen hinaus immer häufiger einen Zusatznutzen, d. h. ein durch den Erwerb entstehendes Gefühl (z. B. Freude, Dazugehörigkeit, Frustrationsabbau) (vgl. Heinritz et al. 2003, S. 34). Daher wird bei der Betrachtung des Konsumentenverhaltens in diesem Beitrag „[...] unter Konsum nicht die aus der Ökonomie stammende punktuelle Zurechnung auf den Kaufakt verstanden, sondern Konsum – soziologischen Ansätzen folgend – als ein mehrphasiger Prozess angesehen“ (Hüttner 2005, S. 6).

2.1.1 Strukturmodell des Konsumentenverhaltens

Es lassen sich verschiedene Faktoren ausmachen, die auf das Konsumentenverhalten einwirken. Dabei sind neben den in der Literatur vorherrschenden Aspekten aus den Wirtschaftswissenschaften, der Psychologie und der Soziologie auch räumlich definierte Einflussgrößen von Interesse. Diese wurden bislang eher vernachlässigt, ergänzen aber das Strukturmodell des Konsumentenverhaltens (vgl. Abb. 1) und sind nicht nur für die Geographie relevant. Die Determinanten werden in soziodemographische/ökonomische Merkmale, kognitive Prozesse sowie situative Einflussgrößen untergliedert, wobei sich die drei Gruppen z. T. gegenseitig beeinflussen. Gemeinsam wirken sie auf das individuelle Kaufverhalten, das sich in unterschiedlichen räumlichen und strukturellen Ausprägungen manifestiert. In der Literatur (vgl. Schmitz/Kölzer 1996; Heinritz et al. 2003) hat sich eine Unterteilung der Determinanten des Konsumentenverhaltens in beobachtbare und nicht-beobachtbare, d. h. nur über Indikatoren erfassbare, Einflussgrößen etabliert. Auch dieser Aspekt ist im dargestellten Strukturmodell des Konsumentenverhaltens berücksichtigt.

Abb. 1 Strukturmodell des Konsumentenverhaltens



Quelle: Eigene Darstellung nach Heinritz et al. 2003, S. 127.

Neben dem Einkommen werden als beobachtbare Einflussgrößen soziodemographische Merkmale der Verbraucher zur Erklärung typischer Konsumentenverhaltensmuster herangezogen. Diese Kenngrößen sind wie das Einkommen beobachtbar und umfassen beispielsweise Geschlecht, Haushaltsgröße, Familienstand und Bildungsniveau. Stärker als durch ökonomische und soziodemographische Merkmale wird das Käuferverhalten mittlerweile jedoch durch psychische Merkmale des Konsumenten beeinflusst. Inzwischen werden Veränderungen der persönlichen Verhaltensweise der Konsumenten als stärkster struktur- und standortprägender Faktor für den Einzelhandel bezeichnet (vgl. Kulke 2004). Diesen kognitiven Prozessen sind u. a. Bedürfnisse, Involvement, Werte und Einstellungen zuzuordnen.

Als situationsabhängige Einflussgrößen auf das Käuferverhalten gelten u. a. die Verkehrsmittelwahl, das Zeitbudget und der Kaufentscheidungsprozess. Letzterer ist zur Erklärung des Konsumentenverhaltens im Modell EAR von besonderer Bedeutung, weshalb er im Folgenden vorgestellt wird. Der Kaufentscheidungsprozess gliedert sich in vier Phasen (vgl. Engel et al. 1995):

- *Phase I:* Zunächst muss in einer ersten Phase ein Anlass, d. h. ein konkreter Bedarf, vorliegen. Die nachfolgende Kaufentscheidung und die Wahl der Einkaufsstätte variieren je nach benötigtem Produkt und Zeitpunkt des Auftretens dieses Bedarfs. Ist nicht der geplante Kauf selbst Anlass für das Aufsuchen eines Standorts, sondern der „Wunsch, Einkaufsstätten als Freizeit und Erlebniskulisse zu benutzen“ (Heinritz et al. 2003, S. 125), so wird von einem sekundären Anlass gesprochen.
- *Phase II:* Im persönlichen Kontaktfeld und im Informationsfeld des Käufers findet in der zweiten Prozessphase die Informationssuche statt. Dabei ruft der Konsument Produkt- und Geschäftsinformationen ab, die er während bisheriger Einkäufe (Kontaktfeld), bei Tätigkeiten in seinem Aktionsraum, bei Gesprächen sowie der Wahrnehmung von Werbebotschaften gesammelt hat. Die Größe beider Felder nimmt mit steigendem Sozialstatus zu und ist umso kleiner, je älter der Konsu-

ment ist (vgl. Kulke 2005, S. 15 f.). Gerade in dieser zweiten Prozessphase wird der Raumbezug besonders deutlich, da sich der begrenzte Aktionsraum eines Konsumenten lokalisieren lässt. Neben der persönlichen *mental map* kommt dabei auch der individuell wahrgenommenen Attraktivität des (Einzelhandels-)Angebots eine große Bedeutung zu.

- *Phase III*: In Abhängigkeit der Anforderungen des Konsumenten an das Produkt und die Einkaufsstätte erfolgt in der dritten Prozessphase eine vergleichende Bewertung aller verfügbaren Informationen. Während dieser Beurteilung sind v. a. die kognitiven Determinanten des Käuferverhaltens wirksam.
- *Phase IV*: Abschließend resultiert aus der Entscheidung für ein konkretes Produkt (Kauf) in der vierten Prozessphase die Evaluation der getroffenen Wahl. Stellt sich Zufriedenheit ein, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, beim nächsten Mal am selben Standort auf das gleiche Produkt zurückzugreifen (vgl. Garnefeld 2008, S. 17 ff.).

Die vorgestellten Determinanten beeinflussen sich einerseits z. T. gegenseitig, andererseits nehmen sie Einfluss auf das Konsumentenverhalten. Allerdings ist der Wirkungsgrad der einzelnen Faktoren nicht bekannt, sodass bisher kein umfassender Ansatz zur Erklärung des Konsumentenverhaltens existiert. Zudem weicht das Verhalten der Käufer immer mehr von planerischen Idealvorstellungen ab (vgl. Heinritz et al. 2003, S. 143 f.). Es lassen sich jedoch verschiedene räumliche und strukturelle Für die Anbieter ist es enorm wichtig, diese Ausprägungen des Nachfrageverhaltens zu kennen. Auch Raumplanung kann „[...] nur dann sinnvoll betrieben werden, wenn ausreichend Kenntnis besteht über Art und Umfang, Zustandekommen und Ausprägung menschlichen Verhaltens, insbesondere im Hinblick auf seine räumliche Manifestation“ (Quack 2000, S. 140 f.). Diese Verhaltensausprägungen sind beispielsweise die Aufenthaltsdauer, die Anzahl der aufgesuchten Geschäfte, das Ausgabeverhalten, die Mehrfachorientierung, das Kopplungsverhalten und der Aktionsraum.

2.1.2 Neuere Entwicklungen des Konsumentenverhaltens

Das Konsumentenverhalten verändert sich kontinuierlich, wobei sich mehrere unterschiedliche Entwicklungstendenzen zeigen. Im Folgenden werden neuere Entwicklungen, hervorgerufen durch veränderte Rahmenbedingungen des Einzelnen und durch den Wertewandel in der Gesellschaft dargestellt.

Bis in die frühen 1980er Jahre orientierte sich der mehrheitlich konsistente Konsument an eindimensionalen, rationalen Konsummotiven, weswegen das Kaufverhalten anhand soziodemographischer Merkmale relativ gut vorhersagbar war. Heute ist dagegen eine Vielzahl von Kundentypen bekannt und vom multioptionalen Konsumenten die Rede. Dieser zeigt je nach Bedürfnis und Motiv ein anderes Verhalten und ist dadurch schwer greifbar.

Die Gründe für dieses nicht-stringente Verhalten der Nachfrager sind in den gewandelten ökonomischen und soziodemographischen Verhältnissen zu suchen, die sich beispielsweise in flexibleren Arbeitszeiten und in einer wachsenden Zahl von Single-Haushalten manifestieren. Dadurch kommt es u. a. zu höheren Anforderungen an die eigene Mobilität sowie zu einer Zunahme der Bedeutung von „[...] öffentlichen und damit innenstadtorien-

tierten Lebensstilen“ (Florian 1990, S. 49), die einer sozialen Isolierung entgegenwirken. Vor diesem Hintergrund vollzieht sich ein gesellschaftlicher Wertewandel mit einer zunehmenden Ausrichtung des Lebens auf Freizeit, Konsum und Erlebnis.

Aus den skizzierten Entwicklungen ergeben sich neue Formen des Konsumentenverhaltens. Dazu zählen u. a. der Smart Shopper, der Convenience-Einkäufer und der Erlebniseinkäufer. Während der Smart Shopper seine Cleverness durch den Erwerb qualitativ hochwertiger Waren zu günstigen Preisen unter Beweis stellen will und der unter Zeitnot leidende Convenience-Einkäufer seine Konsumbedürfnisse spontan und jederzeit erfüllen möchte, gewinnt für den Erlebniseinkäufer der Zusatznutzen von Einkäufen eine immer größere Bedeutung: Einkaufen gilt hier als Freizeitaktivität. Eine eindeutige Definition des Begriffs Erlebniseinkauf existiert bislang nicht, verschiedene Autoren versuchen jedoch, den Begriff im Vergleich zu anderen Formen des Einkaufens oder anhand bestimmter Attribute zu beschreiben (vgl. Gerhard 1998; Frehn 1998; Diller 2001). Typisch für einen Freizeitbummel sind demnach beispielsweise eine längere Verweildauer und geringere Ausgaben im Vergleich zum Versorgungseinkauf. Beim Shopping (in diesem Beitrag synonym zu Erlebniseinkauf verwendet) ist darüber hinaus der Besuch einer gastronomischen Einrichtung von zentraler Bedeutung. Der Erlebniseinkauf ist zudem deutlich auf Einzelhandelsbranchen ausgerichtet, deren Warengruppen über einen Zusatznutzen verfügen. Gerhard (1998, S. 30) nennt in diesem Zusammenhang die Branchen Bekleidung, Schmuck, Antiquitäten und Geschenkartikel. Erlebniseinkauf erfolgt dabei nicht nur in Wohnortnähe, sondern gilt heute auch bei Tagesausflügen, Urlaubs- und Geschäftsreisen als wichtiges Motiv. Sowohl das Wachstumssegment Shoppingtourismus als auch der Erlebniseinkauf der ortsansässigen Bevölkerung sind für Einzelhandel und Gastronomie ökonomisch von großer Bedeutung (vgl. Econ-Consult 2005).

Vermehrt tritt der hybride Konsument auf, der Luxus genießt und an anderer Stelle spart, um sich diesen Luxus leisten zu können. Einerseits handelt dieser Käufertyp extrem rational und erwirbt Waren des Grundbedarfs möglichst günstig. Andererseits ist er gerne bereit, für Güter mit Zusatznutzen viel Geld auszugeben. Durch dieses Verhalten schwindet seine Marken- und Einkaufsstättentreue, er lässt sich keiner eindeutigen Zielgruppe mehr zuordnen und sein Kaufverhalten ist kaum noch vorhersagbar (vgl. Kreutzer 2006, S. 106 ff.). Die Konsequenz ist die Auflösung früher ausgemachter Zielgruppen, der Konsument wird multioptional. Konsumentenverhaltenstypologien, die davon ausgehen, dass sich eine Person genau einem Typ zuordnen lässt und sich konsequent dementsprechend verhält (vgl. Bellenger et al. 1977; Bloch et al. 1994; Frehn 1996; alle zit. n. Gerhard 1998, S. 35 ff.), sind daher nicht mehr zeitgemäß. Die Existenz des multioptionalen Verbrauchers bedingt auch, dass traditionelle Segmentierungsmethoden nicht mehr greifen. Diese etablierten, rein quantitativen Analyseverfahren machen Gruppen aus, die untereinander möglichst verschieden, in sich jedoch homogen sind. Unterschiedliche Konsumentenverhaltensweisen finden sich aber nicht mehr in verschiedenen sozialen Schichten oder Altersklassen, sondern je nach Einkaufszusammenhang in jedem einzelnen Konsumenten selbst. Der Konsument folgt inzwischen einem mehrdimensionalen Handlungsprinzip. Statt nach Nachfragegruppen muss also nach Nachfragemotiven differenziert werden (vgl. Quack 2000, S. 41). Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, neue Analyse- und Prognoseverfahren anzuwenden.

2.2 Multiagentensimulation in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften – Grundprinzipien und Methodik

Das hier vorgestellte agentenbasierte Simulationsmodell EAR wird der oben skizzierten Anforderung gerecht und betrachtet das Einkaufsverhalten während des Erlebniseinkaufs auf Individualebene. Als Untersuchungsraum dient die Altstadt (rund 110 ha) von Regensburg, der viertgrößten Stadt Bayerns. Regensburg fungiert als Oberzentrum im Osten des Freistaats. Im Rahmen der Modellkonzeption wird festgelegt, mit welchen Eigenschaften die simulierten Einkäufer und Betriebe ausgestattet werden und welche empirischen Erhebungen dafür erforderlich sind. Anhand des Abgleichs der Simulationsergebnisse mit den empirisch erhobenen Daten kann die Modellgüte bewertet werden. Bevor die Modellkonzeption sowie Ergebnisse der Simulation dargestellt und diskutiert werden, erfolgt ein kurzer Überblick über die Methodik der Agentensimulation, einer Form der Computersimulation. Diese erlaubt eine adäquate Berücksichtigung der Individualisierungstendenzen, die sich aufgrund der oben erwähnten Multioptionalität der Verbraucher ergeben.

Das Instrument der Computersimulation wird in den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften bereits seit Längerem angewendet. So bedienen sich beispielsweise die Soziologie oder die Ökonomie dieser Methode zur Problemlösung und Betrachtung von Fragestellungen aus der Individualperspektive. Dabei eröffnet gerade die dynamische Perspektive bei der Untersuchung von Interaktionszusammenhängen Möglichkeiten, die weit über die Entwicklung von Modellen zur Beschreibung des Mensch-Umwelt-Verhältnisses hinausgehen (vgl. Klügl 2001).

Die wichtigsten Simulationsformen sind der System-Dynamics-Ansatz, mikroanalytische Modelle, zelluläre Automaten und Multiagentenmodelle. Der deterministische System-Dynamics-Ansatz ist ein Makromodell, der Systemzustand wird hierbei allein durch globale Parameter beschrieben. Individuenbasierte Modelle, denen alle weiteren der genannten Simulationsmethoden zuzurechnen sind, bilden die Komponenten des Systems einzeln ab, sie werden auch als Mikromodelle bezeichnet (vgl. Löffler et al. 2005). Im Mittelpunkt des Interesses stehen dabei die Muster und Strukturen auf aggregierter Ebene, die sich aus den Handlungen und Interaktionen der einzelnen Agenten ergeben (vgl. Troitzsch 2000). Im Gegensatz zu Makromodellen lassen sich in individuenbasierten Modellen Attribute problemlos nachträglich einfügen, da keine komplexen Differentialgleichungssysteme zur Anwendung kommen, sondern die Aktionen separat programmiert und mittels Bedingungen verknüpft werden. Darüber hinaus ermöglichen mikroanalytische Modelle die Darstellung von Inhomogenitäten in Raum und Gesellschaft. Im Bereich der sozialwissenschaftlichen Simulation entwickeln sich Multiagentenmodelle daher seit einigen Jahren zum vorherrschenden Paradigma (vgl. Gilbert/Doran 1994; Conte et al. 1997; Gilbert/Troitzsch 1999).

Ein Multiagentenmodell besteht aus verschiedenen Komponenten. Dazu zählen eine systemimmanente Umwelt, verschiedene Agentenklassen, die die aktiven Teile des Systems repräsentieren sowie passive Ressourcen, die von den Agenten wahrgenommen und in festgelegter Weise verändert werden können.

In den letzten Jahrzehnten entstand mit der Weiterentwicklung der Agententechnologie auch eine Fülle von Auffassungen zum Wesen des Agenten. Die in der Literatur vorhan-

denen Definitionen weichen z. T. stark voneinander ab (vgl. Klügl 2001, S. 13 ff.), eine allgemein gültige Begriffsbestimmung der Modellkomponente Agent existiert bislang nicht. „An agent is a computer system that is situated in some environment, and that is capable of autonomous action in this environment in order to meet its design objects“ (Woolridge 2002, S. 15). Der Agent handelt und bewegt sich also zielorientiert und autonom in einer vorgegebenen Umwelt, die ihrerseits über verschiedene Merkmale verfügt, die die Handlungsweise des Agenten beeinflussen. Der Agent handelt situationsabhängig, was eine gewisse Verhaltensflexibilität voraussetzt. Zudem ist das Verhaltensrepertoire des Agenten nicht auf Reaktionen beschränkt, sondern lässt sich vielmehr als proaktiv bezeichnen (vgl. Klügl 2001; Urban 2004). Welche der genannten Attribute der Agent innerhalb einer Simulation besitzt, ist sowohl von der inhaltlichen Abstraktionsebene des Modells als auch von den Anforderungen des abgebildeten Systems abhängig. Auch die Frage, wen oder was Agenten repräsentieren, ist je nach Zielsetzung der Modellierung unterschiedlich. Die Individuen lassen sich mit einem breiten Verhaltensrepertoire ausstatten. Dazu müssen ihnen Regeln vorgegeben werden, die allerdings keinesfalls Informationen über zu erwartende emergente Strukturen enthalten dürfen, da es sonst zu Zirkelschlüssen und Modellartefakten kommen kann.

3 Konzeption, Entwicklung und Simulation des Modells ,Erlebniseinkauf Altstadt Regensburg'

Aggregierte Ansätze arbeiten mit Durchschnittswerten und müssen Raum und Gesellschaft daher als homogen voraussetzen. Im Falle der Untersuchung des Verhaltens beim Erlebniseinkauf können damit nur kollektive Präferenzen angenommen werden. Mittels der gewählten *bottom-up*-Methode können die Agenten dagegen sinnvoller Weise unabhängig voneinander handeln. Globale Muster ergeben sich ohne zentrale Kontrolle aus dem Verhalten der Individuen, was für die Nachbildung des Erlebniseinkaufs ebenfalls von Bedeutung ist. Die angewendete Methode ist demnach für die Modellierung des Konsumentenverhaltens gerade in einem Raum der Größe des Untersuchungsgebiets prinzipiell gut geeignet. Die Multiagentenmethode geht davon aus, dass das Verhalten von Individuen mittels verschiedener Parameter bis zu einem gewissen Grad reproduzierbar ist. Das in der Theorie beschriebene Verhalten wird durch individuelle Präferenzen bestimmt und entspricht im Ergebnis weitgehend dem Verhalten der realen Einkäufer. Dabei ist die Verknüpfung von angebots- und nachfrageseitigen Attributen zur Berechnung des jeweiligen Erlebnisfunktionswerts von zentraler Bedeutung. Zunächst ist es das Ziel des Modells, die empirische Realität unter Einbeziehung einer dynamischen Perspektive bestmöglich abzubilden, um sie zu beschreiben und zu erklären. Bis modelltheoretisch ein noch höherer Individualisierungsgrad des Verhaltens der Agenten realisiert werden kann, wird teilweise pauschalisierend auf Plausibilitätsregeln für das Verhalten während des Erlebniseinkaufs (z. B. Gastronomiebesuch als fester Bestandteil der simulierten Erlebniseinkäufe) zurückgegriffen.

Im Folgenden werden die Konzeption, Entwicklung und Simulation des Modells EAR erläutert.

3.1 Datenerhebung und Modellkonzeption

Das Einkaufsverhalten wird unter Berücksichtigung der Erlebniseinkäufer als Nachfrager sowie der Einzelhandelsgeschäfte und Gastronomiebetriebe als Anbieter auf dem Markt als Interaktionsplattform simuliert. Dafür wurden Daten sämtlicher Gastronomiebetriebe und Einzelhandelsgeschäfte der Regensburger Altstadt erhoben sowie eine Befragung von Erlebniseinkäufern durchgeführt.

3.1.1 Datenerhebung

Die Regensburger Altstadt wurde als Untersuchungsraum ausgewählt, da sie mit ihrem in Deutschland einzigartig gut erhaltenen mittelalterlichen Gebäudebestand über ein besonders image- und identifikationsförderndes Alleinstellungsmerkmal verfügt. Zahlreiche Besucher und Bewohner nutzen gerade die Innenstadt als Freizeit- und Erlebnisraum, sodass von einem ausreichenden Umfang modellrelevanter Kopplungen konsumorientierter Freizeitaktivitäten ausgegangen werden kann. Der Einzelhandel stellt in der Altstadt nach wie vor die Leitfunktion dar und verfügt über rund 80.000 m² Verkaufsfläche (vgl. Sedlmeier 2006, S. 68). Aufgrund des baulichen Erbes konnte sich eine vielseitige Einzelhandelslandschaft entwickeln. Zudem sorgen die kleinteilige Nutzungsstruktur und die umfangreichen Nebengeschäftslagen für ein individuelles Angebot. Dies lässt sich in dem zu entwickelnden Modell weitaus besser differenzieren als das uniformierte Angebot einer Stadt mit hohem Filialisierungsgrad. Das Branchenspektrum der Regensburger Altstadt weist zahlreiche erlebniseinkaufsrelevante Geschäfte auf, was für die Modellierung von Shopping unbedingt erforderlich ist. Die Altstadt verfügt zudem über ein enorm vielfältiges gastronomisches Angebot mit rund 240 Betrieben. Schließlich eignet sich die Regensburger Altstadt auch aufgrund ihrer Größe als Modellraum. Einerseits findet der Erlebniseinkäufer hier das gesamte Angebot in fußläufiger Entfernung. Andererseits reicht die Größe der Altstadt aus, um Gebiete unterschiedlicher Attraktivität auszumachen. Das Modell EAR simuliert das Zusammentreffen von Angebot und Nachfrage auf dem Markt. Dafür werden auf Anbieterseite Informationen über sämtliche gastronomische Betriebe und Einzelhandelsgeschäfte der Regensburger Altstadt benötigt. Die Vollerhebung der Gastronomiebetriebe erfolgte mittels eigener Kartierung, bei der u. a. der Standort, das Preisniveau und angebotene Sonderaktionen wie ‚All You Can Eat‘ oder ‚Happy Hour‘ von Interesse waren. Für Informationen bezüglich der Geschäfte konnte auf aktuelle Daten aus der fortlaufenden Einzelhandelskartierung der Stadt Regensburg zurückgegriffen werden.

Da dem Gastronomiebesuch im Rahmen des Erlebniseinkaufs in der Literatur eine zentrale Bedeutung beigemessen wird, wurde dieser auch in der empirischen Erhebung zur vorliegenden Untersuchung als Identifikationsmerkmal von Erlebniseinkäufern herangezogen. Um nachfrageseitig Informationen über das Kopplungsverhalten bei Einkauf und Gastronomiebesuch zu gewinnen, musste demnach entweder in Lokalen, in Geschäften oder auf der Straße befragt werden. Es ist anzunehmen, dass die bedingte Wahrscheinlichkeit, einen Probanden zu finden, der mehrere Aktivitäten koppelt, in Lokalen höher ist als in Einzelhandelsgeschäften. So hätte die Stichprobe bei einer Befragung in Geschäften eine zu geringe Fallzahl aufgewiesen. Gleiches galt für die Positionierung der

Interviewer auf Straßen, zumal diese Standorte aufgrund der Anforderung, den zurückgelegten Weg nebst Stationen möglichst exakt in einen Stadtplan einzuzeichnen, nicht praktikabel waren. Sicherlich hätte eine Befragung in Einzelhandelsgeschäften und/oder an weiteren Orten zusätzlich interessante Aspekte des Erlebniseinkaufs aufgedeckt, aus Wirtschaftlichkeitsüberlegungen fiel die Wahl jedoch auf Gastronomiebetriebe.

Die konkrete Auswahl der Befragungsstandorte erfolgte zunächst unter zwei Gesichtspunkten. Einerseits sollte sie die Anteilswerte der Gastronomietypen (vgl. 3.1.2) an der Gesamtzahl der Lokale widerspiegeln. Andererseits sollten die Standorte über den gesamten Untersuchungsraum streuen, beides mit dem Ziel, ein möglichst repräsentatives Ergebnis zu erhalten. Vor diesem Hintergrund wurden an 53 Standorten an zwei Tagen (Dienstag und Samstag) insgesamt 733 Personen befragt, wodurch davon auszugehen ist, dass die Repräsentativität der Erhebung unter den gegebenen Rahmenbedingungen gewährleistet ist.

Bei der Erhebung zeichneten die Probanden zum einen den von ihnen bis dato in der Altstadt zurückgelegten Weg nebst allen aufgesuchten Stationen in einen Stadtplan ein. Zum anderen wurden Daten zum Besucherverhalten im Untersuchungsraum sowie zu generellen Einkaufs- und Gastronomiepräferenzen erhoben.

3.1.2 Modellkonzeption

Im Modell sind drei Agentenklassen – Einkäufer, Geschäft und Gastronomie – angelegt. Ihnen werden spezifische Attribute zugeordnet. Die Attributauswahl für jede Agentenklasse orientierte sich am Phasenmodell des Kaufentscheidungsprozesses nach Engel et al. (1995).

Zunächst gehen die Besuchsmotive der Konsumenten in das Modell ein, sodass individuelle Besuchentscheidungen nachgebildet werden (*Phase I*). Die in der Simulation getätigten Geschäfts- bzw. Gastronomiebesuche werden im Rahmen der Bewertung der Modellgüte mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen bzw. den realen Besuchen verglichen, sodass keine Informationen über Art und Anzahl der in der Realität aufgesuchten Einrichtungen in das Modell eingehen dürfen. In *Phase II* des Kaufentscheidungsprozesses steht die Informationssuche im Mittelpunkt des Interesses. Den simulierten Einkäufern liegen jeweils Informationen zu allen Geschäften und Gastronomiebetrieben im Umkreis von 100 m um ihren aktuellen Standpunkt vor. Die vergleichende Bewertung der verfügbaren Informationen, die in *Phase III* des Kaufentscheidungsprozesses stattfindet, erfolgt für Geschäfte und Gastronomiebetriebe auf unterschiedliche Weise (vgl. 3.2.3). In jede Bewertung gehen sowohl Attribute des Einkäufers als auch Attribute des Geschäfts bzw. Gastronomiebetriebs ein. Für die Nachfrageseite fließen die Preispräferenz, die Präferenz von Freisitzen, die Präferenz von Sonderaktionen, die Präferenz hinsichtlich der Nähe des Lokals zum Einzelhandel, die Besuchsmotive sowie das Interesse an ausgewählten Straßen in die Bewertungen des Angebots ein.

Basierend auf aus Expertengesprächen und Literaturhinweisen (z. B. Gerhard 1998) abgeleiteten Plausibilitätsüberlegungen werden angebotsseitig folgende Attribute bei der Bewertung von Geschäften berücksichtigt: Branche, Bedarfsstufe, Geschäftslage, Leerstände im Umkreis von 100 m, Gastronomiebetriebe im Umkreis von 50 m und Lage zu

ausgewählten Straßen. Die Auswahl dieser Kriterien wird im Folgenden begründet.

Die Branchenzugehörigkeit lässt Aussagen über das Kopplungspotenzial und die Erlebnisrelevanz des Betriebs zu. Es werden Branchen bestimmt, die über ein Angebot mit hohem Zusatznutzen verfügen, da diesen eine besonders hohe Affinität zum Erlebniseinkauf zugeordnet wird. Jede Branche lässt sich einer von drei Bedarfsstufen (kurz-, mittel- und langfristiger Bedarf) zuordnen. Auch ihnen werden im Hinblick auf die Erlebniseinkaufsrelevanz unterschiedlich starke Einflüsse zugeschrieben. In Innenstadtlagen finden sich hauptsächlich Güter des mittelfristigen Bedarfs. Daher werden die Bedarfsstufe 2 sowie SB-/Warenhäuser, da diese eine Kombination verschiedener Bedarfsstufen repräsentieren, am besten bewertet. Geschäfte der Bedarfsstufe 3 werden, v. a. da sie kaum innenstadtrelevant sind, tendenziell schlechter eingestuft und Branchen des kurzfristigen Bedarfs werden am niedrigsten gewichtet.

Je besser die Geschäftslage eingestuft wird, desto höher liegt der Mietpreis und dementsprechend hoch ist auch die Leistungsorientierung des Betriebs. Der Einzelhändler versucht, seinen Gewinn über den Zusatznutzen seines Angebots zu optimieren. Daher wird Geschäften in der besten Lage (1a) im Modell EAR die größte Erlebnisaffinität zugesprochen. Bleiben Passanten aus, da sie ihre Freizeit- und Versorgungseinkäufe an konkurrierenden Standorten tätigen, sind nicht selten Geschäftsaufgaben die Folge. Leerstehende Geschäftsräume wirken sich negativ auf Qualität und Image des direkten Umfelds und sogar des übergeordneten Standortraums aus (vgl. Mensing/Albers 2006). Wachsende Leerstandszahlen verschlechtern die Einkaufsatmosphäre und lassen die Attraktivität der Innenstadt schwinden, sodass sich eine Spirale aus weiter abnehmenden Kundenfrequenzen, sinkenden Umsätzen und in der Konsequenz neuen Leerständen und einer weiteren Abwertung des Standortes ergibt. In jedem Fall wirken sich Leerstände ohne Übergangsnutzung negativ auf die Attraktivität von multifunktionalen, erlebnisorientierten Innenstädten aus. Deshalb werden sie im Modell berücksichtigt. Je nach Anzahl der Leerstände im Umkreis von 100 m um ein Geschäft reduziert sich dessen Erlebniswert. Der Durchmesser ist nach Plausibilitätsüberlegungen gewählt, denn eine solche Entfernung kann noch als Nachbarschaft betrachtet und somit für direkte negative Auswirkungen als relevant angesehen werden, v. a., wenn Leerstände gehäuft auftreten.

Außerdem wird die Anzahl der Gastronomiebetriebe im Umkreis von 50 m berücksichtigt, da der Kopplung von Einzelhandel und Gastronomie im Rahmen des Erlebniseinkaufs eine besonders große Bedeutung zukommt. Der Radius ist mit 50 m relativ gering gewählt, da einige Bereiche der Altstadt über eine sehr hohe Gastronomiedichte verfügen und somit Einzelhändler in diesen Lagen bei einem größeren Umkreis zu hohe Werte erhalten würden.

Schließlich wird, um den Raumbezug stärker zu betonen, die Lage des Geschäfts in Relation zu sechs ausgewählten Straßen einbezogen. Für dieses Attribut spielt auch das Interesse des jeweiligen Besuchers an den Straßen eine Rolle.

Die Auswahl der zur Bewertung der Gastronomiebetriebe einzubeziehenden Kriterien erfolgt analog zum Vorgehen bei Geschäften unter den beiden Gesichtspunkten Erlebniseinkaufsrelevanz und Raumbezug. Nach Plausibilitätsüberlegungen werden die Attribute Gastronomietyp, Freisitze, Sonderaktionen, Preisniveau, Leerstände im Umkreis von 100 m, Anzahl der Einzelhändler im Umkreis von 50 m und Belegung herangezo-

gen. Für die Agentenklasse Gastronomie wird zudem das Attribut Start- und Stopptakt berücksichtigt, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass alle berücksichtigten Betriebe von 8.00 Uhr bis 18.00 Uhr geöffnet haben. Auf diese Weise ergeben sich für jeden Betrieb individuelle Öffnungszeiten, die für die Einkäufer wahrnehmbar sind. Ist das Lokal geschlossen, wird es in den entsprechenden Takten nicht in die Bewertungsaktion der Einkäufer einbezogen. Die Variablen Gastronometyp, Freisitze und Sonderaktionen werden als erlebniseinkaufsrelevant betrachtet.

Die Klassifikation der Wirtschaftszweige des Statistischen Bundesamtes Deutschland (2002) unterscheidet verschiedene Betriebsarten des Gastronomiegewerbes. Die Einteilung erweist sich allerdings für diesen Beitrag als nicht anwendbar, da sie nach anderen als den hier relevanten Kriterien differenziert. Daher wird eine eigene Klassifikation gastronomischer Einrichtungen vorgenommen. Das Attribut Gastronometyp wird hier aus denselben Gründen einbezogen wie die Branche bei Einzelhändlern. Gastronomische Einrichtungen bezeichnen im Rahmen dieser Arbeit gastgewerbliche Betriebe ohne Beherbergungsfunktion, die Speisen und/oder Getränke abgeben und Serviceleistungen erbringen. Diese werden entsprechend ihrer Relevanz für den Erlebniseinkauf in neun Typen unterteilt (vgl. Tab. 1).

Tab. 1 Typisierung gastronomischer Einrichtungen

Typ Nr.	Bezeichnung	Formen (Beispiele)
1	Restaurant/Gaststätte	Individual-, System-, Erlebnisgastronomie
2	Café/Bistro	Café, Bistro, Teehaus, Eisdielen
3	Fast Food	Schnellverpflegungsrestaurant, Food Court
4	Imbiss	stationärer Grillstand, Snackbar, Imbiss
5	Vergnügungsgastronomie	Bar, Kneipe, Disco
6	Handelsgastronomie	Restaurant/Café in SB-/Warenhaus
7	Nahrungsmittelhandwerk	Stehcafé o. Ä. in Metzgerei, Bäckerei
8	Einzelhandel-Mischform	Café in Buchhandlung
9	Kiosk	Kiosk

Quelle: Eigene Darstellung 2009.

Von besonderer Bedeutung für eine Pause während des Shoppings sind Cafés/Bistros (Typ 2) und Restaurants/Gaststätten (Typ 1) (vgl. Gerhard 1998, S. 144). Dabei gelten Betriebe mit Freisitzen als besonders attraktiv, da sie eine ansprechende Atmosphäre schaffen (vgl. Schmitz 2001, S. 392). Durch die wachsende Mobilitätsbereitschaft und die Auflösung klassischer Familienstrukturen nimmt auch der Außer-Haus-Verzehr von Speisen und Getränken zu. Daraus resultiert u. a. die Zunahme von Betrieben des Nahrungsmittelhandwerks (Typ 7), die ihre Erzeugnisse über den direkten Verkauf hinaus

auch in veredelter Form anbieten (vgl. Tenberg 1999). Allerdings verfügen die meisten Betriebe des Typs Nahrungsmittelhandwerk ebenso wie Imbiss-Einrichtungen (Typ 4) nur über Stehplätze, was sie für eine Rast während des Erlebniseinkaufs etwas weniger interessant macht. Als besonders erlebniseinkaufsaffin wird der Typ Einzelhandel-Mischform angesehen. Sie fungieren als ‚Third Places‘ (vgl. Schwarzenegger 2008) und stellen eine Reaktion des Einzelhandels auf veränderte Nachfrageformen dar. Aus der Idee der räumlichen Verknüpfung von Einzelhandel und Gastronomie sind auch die seit längerem bekannten Betriebe der Handelsgastronomie (Typ 6) entstanden. Lokale der Vergnügungsgastronomie (Typ 5) sind für den Erlebniseinkauf aufgrund von ‚coupling constraints‘¹ weniger bedeutend.

Da die Attraktivität der Altstadt als Erlebnisraum stark von ihrem physischen Erscheinungsbild geprägt wird, liegt es nahe, auch das Vorhandensein von Freisitzen als Kriterium heranzuziehen. Ist die Möglichkeit gegeben, beispielsweise während des Cafébesuchs in der Altstadt draußen zu sitzen, trägt die attraktive Umgebung zur Erhöhung des Erlebnisempfindens bei. Die Gewichtung dieses Faktors fällt jedoch eher gering aus, da er wetter- und jahreszeitenabhängig ist. Als weiteres Bewertungskriterium von Lokalen wird das Angebot von Sonderaktionen ausgewählt, da dies von über einem Drittel der Befragten als sehr wichtig oder wichtig eingestuft wurde. Zudem belegt Schreck (2000, S. 50) in einer Untersuchung der Gastronomiebetriebe in Regensburg hinsichtlich dieses Merkmals signifikante Unterschiede zwischen verschiedenen Betriebsformen und weist für die Altstadt einen besonders hohen Anteil von Sonderaktionsangeboten (z. B. Mittagmenüs, ‚Happy Hour‘) nach. Zusätzlich bietet es sich an, das Preisniveau der Gastronomiebetriebe in das Modell aufzunehmen, da sich in der Befragung herausstellte, dass dieses Kriterium den Besuchern besonders wichtig ist. Den erforderlichen Raumbezug liefern wiederum die Attribute Leerstände im Umkreis von 100 m und Einzelhändler im Umkreis von 50 m.

Messungen der tatsächlichen Besucherzahl der Altstadt an einem Werktag sind schwierig, wenn nicht gar unmöglich, sodass darüber keine gesicherten Zahlen vorliegen. Nach Auskunft der Stadt Regensburg kann als Anhaltspunkt von 50.000 Bewegungen pro Tag ausgegangen werden. Eine Bewegung bezeichnet einen Gang (Hin- und Rückweg). Erfasst werden damit die im Rahmen der Erfüllung von Daseinsgrundfunktionen entstehenden Ströme von außerhalb in die Regensburger Altstadt sowie Aktionen der Bewohner der Altstadt innerhalb dieser. Somit entsprechen die simulierten Einkäufer einem geringen Anteil der täglichen Besucherzahl der Regensburger Altstadt. Im Modell ist deswegen eine Grundbelegung jedes Gastronomiebetriebes festzusetzen. Diese repräsentiert Lokalaufenthalte von Besuchern der Altstadt, die nicht in die Stichprobe eingehen. Sie liegt zufällig zwischen 10 und 50 Prozent der absoluten Sitzplatzzahl. Dieser Wert ändert sich alle sechs Takte (\cong 30 Minuten), was der im Modell angenommenen Dauer eines Gastronomiebesuchs entspricht.

Es wird unterstellt, dass sich die Attraktivität eines Gastronomiebetriebs auch in Abhängigkeit von der Besucherzahl ändert. Danach wirkt ein zu drei Vierteln volles Lokal auf Passanten anziehender als ein fast leeres Lokal. Allerdings kehrt sich diese Wirkung ab einem gewissen Wert um und das Lokal wird als überfüllt empfunden. Die maximale Belegungsattraktivität wird deswegen für eine Auslastung von 80 Prozent festgesetzt. Ist ein Lokal zu 100 Prozent ausgelastet, wird es von den Einkäufern so lange nicht

wahrgenommen, bis wieder Plätze frei sind.

Der Kaufvorgang selbst wird im Modell nicht berücksichtigt, relevant ist allein das Betreten des Geschäfts. Damit endet im Modell EAR der Kaufentscheidungsprozess, die in der vierten Prozessphase stattfindende Evaluation der getroffenen Wahl spielt keine Rolle.

3.2 Entwicklung des Modells EAR

Nach der Festlegung der zu implementierenden Attribute werden im Anschluss die Regeln und Beschränkungen für die Operationalisierung des Marktes dargelegt. Das Modell EAR wurde in der Entwicklungs- und Simulationsumgebung SeSAM umgesetzt (siehe <http://www.simsesam.de>). Die Software SeSAM orientiert sich am Paradigma des visuellen Modellierens in einer an die Modellierungssprache UML angelehnten Verhaltensbeschreibung. SeSAM arbeitet mit einer rundenbasierten Simulation, besitzt also eine interne Taktung. In einem Takt wird dabei für jeden in der Simulationsumwelt verorteten Agenten eine für seine Agentenklasse festgelegte Menge von Aktionen abgearbeitet.

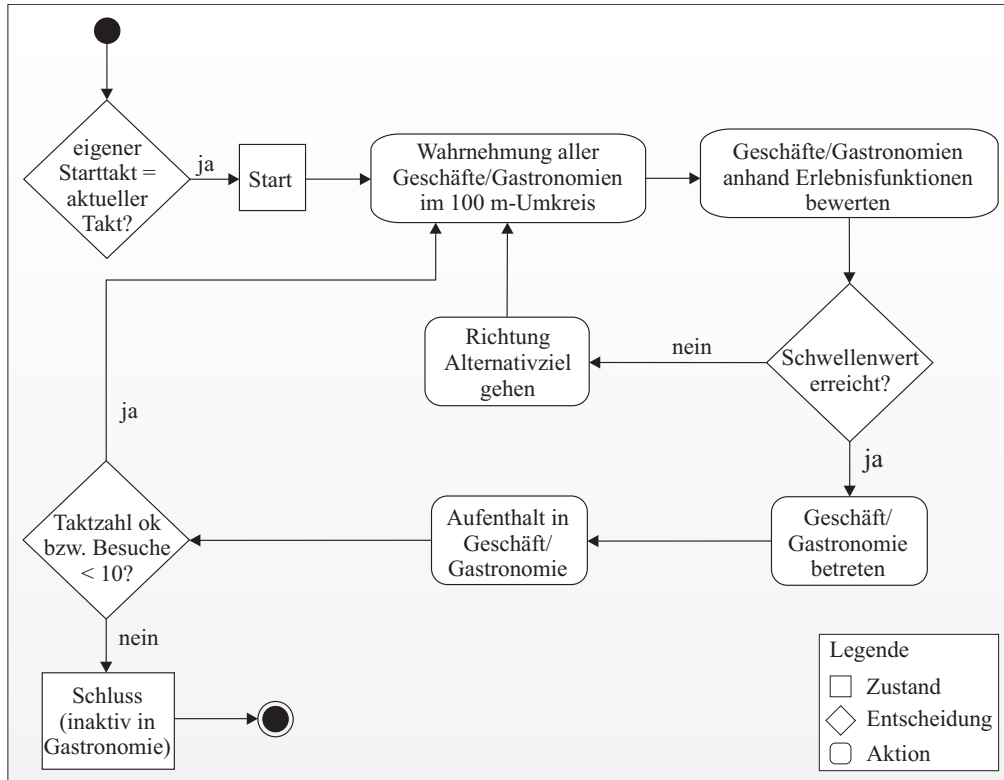
3.2.1 Modellierung der Grundlagen im Modell EAR

Zunächst ist die Ausdehnung der Umwelt festzulegen. Der Ursprung des Koordinatensystems (4.506.000 / 5.430.400) und die Ausdehnung von 2.000 m nach Osten und 1.500 m nach Norden sind so gewählt, dass die gesamte Regensburger Altstadt enthalten ist. Da SeSAM über eine interne Taktung verfügt, ist festzulegen, welchen Zeitabschnitt ein Takt und welchen Zeitraum eine Runde repräsentiert. Ein Takt simuliert per Definition fünf Minuten, ein Durchlauf in 120 Takten zehn Stunden. Die Aufenthaltszeit eines Einkäufers in einem Einzelhandelsbetrieb ist nach Abwägungen auf drei Takte ($\hat{=}$ 15 Minuten) festgelegt. Der Besuch eines Gastronomiebetriebs dauert im Modell sechs Takte ($\hat{=}$ 30 Minuten). Der Umwelt wird zu Beginn jedes Simulationslaufs die Aufgabe der Erzeugung der drei Agentenklassen (Einkäufer, Geschäft, Gastronomie) und der Ressource (Knoten) übertragen. Nach Ablauf der vorgesehenen Simulationsdauer beendet die Umwelt den Durchlauf und somit die Aktivitäten aller Agenten. Der Ausgangspunkt der realen Besucher ist aus der Befragung bekannt und in ArcMap im Knotennetz der Straßen in der Altstadt digitalisiert. Die Knoten dieses Netzes sind in der Simulationsumgebung als Ressourcen modelliert, sodass jedem virtuellen Einkäufer sein entsprechender Startpunkt in SeSAM zugewiesen werden kann. Von diesem Startpunkt aus sieht der Einkäufer 100 m weit und bewertet die in diesem Umkreis befindlichen Geschäfte und Gastronomiebetriebe auf Basis seiner persönlichen Präferenzen und der Eigenschaften des jeweiligen Betriebs. Das Unternehmen mit dem höchsten Erlebniswert wird aufgesucht, sofern es einen bestimmten Schwellenwert der Attraktivität überschreitet. Dort hält sich der Einkäufer im Anschluss für eine vorgegebene Anzahl von Takten auf und verlässt diesen Betrieb daraufhin wieder, um von neuem mit der Wahrnehmungsaktion zu beginnen. Dieses Vorgehen wird nun genauer beschrieben.

3.2.2 Wahrnehmungsaktion im Modell EAR

Während eines Simulationslaufs führen die Einkäufer in regelmäßigen Abständen jeweils mehrere Schritte aus. Abbildung 2 zeigt das UML-Aktionsdiagramm (vgl. Booch et al. 1999) der Agentenklasse Einkäufer.

Abb. 2 Aktionsdiagramm der Agentenklasse Einkäufer im Modell EAR



Quelle: Eigene Darstellung 2009.

Jeder Agent prüft zunächst, ob sein Starttakt der aktuellen Taktzahl entspricht. Trifft dies zu, arbeitet er in jedem folgenden Takt eine Reihe von Aktionen ab. Er beginnt seine Aktionen mit einer Wahrnehmungsaktivität, während der er im Umkreis von 100 m nach Geschäften und Gastronomiebetrieben sucht. Die Größe dieses Sichtfelds reicht einerseits aus, um neben dem *generated business*² auch das *shared business* und das *susceptible business* zu berücksichtigen, denn gerade die beiden letztgenannten Formen spielen in kopplungsaffinen Erlebniseinkaufsbranchen eine große Rolle. Andererseits ist der Umkreis so angelegt, dass die Anzahl der wahrgenommenen Geschäfte nicht zu groß wird, denn ein größeres Sichtfeld hätte einen enormen Rechenaufwand und Unübersichtlichkeit zur Folge. Befindet sich im Blickfeld des Einkäufers kein ausreichend attraktiver Betrieb, läuft er zufällig in Richtung eines Alternativziels weiter und fährt mit seiner Suche fort. Falls mindestens ein attraktives Geschäft oder Lokal wahrgenommen wird, beginnt der Einkäufer mit der Bewertung. Dazu überprüft er, ob es sich bei der Einrichtung um ein Geschäft oder einen Gastronomiebetrieb handelt und bewertet sie anhand der entsprechenden Formel.

3.2.3 Bewertungsaktion im Modell EAR

Die Bewertung des Erlebniswertes eines Betriebs aus Sicht eines Einkäufers erfolgt für die Agentenklassen Geschäft und Gastronomie nach unterschiedlichen Formeln. Dies wird einerseits eingeführt, um deutlich zu machen, dass die Attraktivität von Geschäften nach anderen Kriterien beurteilt wird als die Attraktivität von Gastronomiebetrieben. Andererseits wird auf diese Weise sichergestellt, dass Geschäfte häufiger aufgesucht werden, denn der Ergebnisbereich der Funktion von Geschäften liegt höher als jener der Funktion von Lokalen.

Die Entscheidung für ein bestimmtes Angebot wird durch die Anwendung von Regeln getroffen, welche die Reaktion des Einkäufers von der individuell wahrgenommenen Höhe des Erlebniswertes abhängig machen. Die Erlebnisfunktionen berücksichtigen also jeweils Angebots- und Nachfrageattribute, was deren wechselseitige Beeinflussung hervorhebt. Die Erlebnisfunktion der Agentenklasse Geschäft lautet:

$$E_{i,e} = \left[\sqrt{O_i} \cdot \left(\sum_{k=1}^6 A_{e,k} \right) + \frac{1}{6} \cdot \left(\sum_{s=1}^6 P_{i,s} \cdot L_{e,s} \right) \right] \cdot V_E$$

mit:

- $E_{i,e}$ Erlebniswert des Geschäfts e aus Sicht des Einkäufers i ,
- O_i Erlebnisorientierung des Einkäufers i ,
- k Bewertungskriterium,
- $A_{e,k}$ Ausprägung des Geschäfts e bezüglich Kriterium k ,
- s Straße,
- $P_{i,s}$ Interesse des Einkäufers i an der Straße s ,
- $L_{e,s}$ Lage des Geschäfts e zur Straße s ,
- V_E Verrechnungswert für die Agentenklasse E (Geschäft)

In dieser Formel ergibt sich für jedes einzelne Geschäft ein fester Wert $A_{e,k}$. Dieser wird mit der Erlebnisorientierung O des Einkäufers i kombiniert. Das aus der Multiplikation der Erlebnisorientierung mit der Summe der Kriterienausprägungen resultierende Produkt wird zum arithmetischen Mittel der mit den einkäufer-spezifischen Straßenpräferenzen $P_{i,s}$ gewichteten Lageinformationen des jeweiligen Geschäfts $L_{e,s}$ addiert. Der gesamte Term wird schließlich mit dem Verrechnungswert V_e multipliziert. Dieser Wert drückt die aktuelle Einkaufsmotivation des Besuchers aus.

Analog zur Vorgehensweise bei der Konstruktion der Erlebnisfunktion für die Agentenklasse Geschäft wird eine Erlebnisfunktion für die Agentenklasse Gastronomiebetrieb entwickelt. Diese lautet:

$$E_{i,g} = \left[\left(\sum_{k=1}^4 P_{i,k} \cdot A_{g,k} \right) - L_g + T_g \right] \cdot B_g \cdot V_G$$

mit:

$E_{i,g}$	Erlebniswert des Gastronomiebetriebs g aus Sicht des Einkäufers i ,
k	Bewertungskriterium,
$P_{i,k}$	Präferenz des Einkäufers i für Kriterium k ,
$A_{g,k}$	Ausprägung des Gastronomiebetriebs g bezüglich Kriterium k ,
L_g	Anzahl der Leerstände im Umkreis von 100 m um den Gastronomiebetrieb g ,
T_g	Typ des Gastronomiebetriebs g ,
B_g	Belegung des Gastronomiebetriebs g ,
V_G	Verrechnungswert für die Agentenklasse G (Gastronomie)

Bei der Erlebnisfunktion der Agentenklasse Gastronomie handelt es sich um eine mit den Komponenten Anzahl der Leerstände L_g und Gastronomietyp T_g gewichtete Linearkombination. In dieser wird die individuelle Präferenz $P_{i,k}$ des Einkäufers i mit dem Attributwert $A_{g,k}$ des betrachteten Gastronomiebetriebs g multipliziert. Der sich ergebende Wert wird mit der Belegung B_g multipliziert und schließlich mit dem Verrechnungswert V_G gewichtet.

3.2.4 Schwellenwert und Verrechnungswert im Modell EAR

Anhand der beschriebenen Funktionen beurteilt der Einkäufer die von ihm wahrgenommenen Einrichtungen. Um zu vermeiden, dass Betriebe aufgesucht werden, deren Erlebnisfunktionswert zu gering ist, wird ein Schwellenwert eingeführt, der überschritten werden muss, damit eine Einrichtung betreten wird. Welchen Wert dieser annimmt, wird im Rahmen der Sensitivitätsanalyse (vgl. 3.3) festgelegt und begründet. Den während der aktuellen Bewertungsaktion am höchsten eingestuften Betrieb, dessen Wert zudem über dem Schwellenwert liegt, sucht der Einkäufer auf. Das betretene Geschäft oder Lokal wird in die einkäuferspezifische Liste ‚besuchte Objekte‘ eingetragen, wodurch sichergestellt wird, dass dieser Betrieb bei späteren Bewertungen nicht mehr berücksichtigt wird. Zusätzlich dienen die Listen der Besuche aller Einkäufer den anschließenden Auswertungen. Nach dem Betreten einer Einrichtung hält sich der Einkäufer die vorgegebene Taktzahl darin auf. Im Takt, in dem der Besucher den Betrieb verlässt, ändern sich seine individuell wahrgenommenen Erlebniswerte von Gastronomiebetrieben und Geschäften. Verallgemeinernd wird angenommen, dass nach dem Besuch eines Geschäfts die Einkaufsmotivation des jeweiligen Einkäufers um einen gewissen Anteil sinkt und dagegen seine Bereitschaft, einen Gastronomiebetrieb aufzusuchen zunimmt. (Natürlich wäre eine stärkere Individualisierung der Agenten wünschenswert, wie dies auch in Kapitel 5 diskutiert wird. Mit der verwendeten Software war modelltheoretisch eine Umsetzung wie die vorgenommene jedoch die einzig praktikable Lösung.) Umgekehrt verhalten sich die Motivationen nach dem Besuch eines Lokals. Der diese Motivation ausdrückende Prozentsatz wird als Verrechnungswert (V_E bzw. V_G) bezeichnet. Mit ihm werden die Erlebnisfunktionen gewichtet.

Der Verrechnungswert von Gastronomiebetrieben variiert jeweils um den festen Betrag von fünf Prozentpunkten. Eine veränderliche Größe ist in diesem Fall nicht notwendig, da die Anzahl der Gastronomiebesuche auf maximal drei festgelegt ist, wobei der letzte aufgesuchte Betrieb dem Gastronomiegewerbe angehören muss, um sicherzustellen, dass mindestens ein Lokal besucht wird, sodass ein anschließender Vergleich mit den empiri-

schen Daten gewährleistet bleibt. Dagegen wird der Verrechnungswert von Geschäften variabel angelegt. Ausgangsbasis (100 Prozent) der Berechnungen ist für Geschäfte und Gastronomiebetriebe jeweils der Wert der Einrichtung zum Zeitpunkt der vorhergehenden Bewertungsaktion.

3.3 Sensitivitätsanalyse und Simulation des Modells EAR

Im Anschluss an die Konzeption und Entwicklung des Modells ist eine Kalibrierung der einzelnen Parameter erforderlich, um optimale Simulationsergebnisse zu erhalten. In Modellen, die den Versorgungseinkauf thematisieren (vgl. Löffler et al. 2005; Rauh et al. 2007) und quantitativ angelegt sind, lassen sich Umsatzzahlen, die mittels Regressionsanalyse angepasst werden, als Gütemaß zur Kalibrierung verwenden. Das Modell EAR ist dagegen stark verhaltensbasiert umgesetzt. Im Vergleich zum rationalen Verhalten beim Versorgungseinkauf spielen während des Erlebniseinkaufs kognitive Determinanten eine entscheidende Rolle. Persönliche Einstellungen und die momentane Erlebnisaffinität prägen das Konsumentenverhalten in der Simulation. Alle Einkäufer handeln dem idealtypischen Erlebniseinkäufer entsprechend absolut spontan, da sie für ihren Besuch nicht mit einem zuvor festgelegten Plan für bestimmte Geschäftsbesuche ausgestattet sind.

Der Kaufvorgang als solcher wird nicht simuliert, sodass keine quantitativ kalibrierbaren Ergebnisse wie Umsatzzahlen resultieren. Um die Gewichtungen der einzelnen Attribute dennoch optimieren zu können, wird anstelle der Kalibrierung eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, die modellintern erfolgt. Um die nach Plausibilitätsüberlegungen und Ergebnissen der Literaturrecherche voreingestellten Einflussgrößen der Attribute zu verifizieren, werden ihre Gewichtungen einzeln und in Kombination variiert. Auf diese Weise wird ein Eindruck der Schwankungsbereiche der Erlebnisfunktionen gewonnen. Auf der Angebotsseite ergeben beispielsweise Testläufe mit einem relativ großen Einfluss der Geschäftslage eindeutig zu hohe Besuchszahlen für Betriebe in 1a-Lage. Als Anhaltspunkt für die Sensitivitätsanalyse dient hier u. a. der Anteil der Besuche in erlebniseinkaufsrelevanten Branchen an allen Besuchen im Modell. Dementsprechend wird das Gewicht dieses Attributs reduziert. Auf der Nachfrageseite wird auch der Einfluss der einkäuferspezifischen Präferenzen mittels Vergleichen von Besuchsfolgen von Einkäufern mit demselben Startpunkt überprüft. Identische Besuchsfolgen belegen eine zu geringe Gewichtung individueller Einstellungen der Einkäufer. Dies ist im Modell nicht der Fall, sodass die einkäuferspezifischen Präferenzen in ihrer ursprünglichen Gewichtung beibehalten werden.

Im Anschluss an die Sensitivitätsanalyse werden mehrere Simulationsläufe durchgeführt. Während in die Bewertung von Modellen mit quantitativem Gütemaß in Abhängigkeit von der Modellbeschaffenheit statistische Kenngrößen mehrerer Läufe eingehen, wird bei qualitativen Modellen wie diesem der realitätsnächste Lauf ausgewählt. Die Auswahl erfolgt mittels visueller Kontrolle in einer GIS-Software, wobei sich die Vermutung bestätigt, dass die Resultate der einzelnen Simulationsläufe kaum voneinander abweichen. Alle Auswertungen erfolgen ausschließlich auf Basis des ausgewählten Laufs.

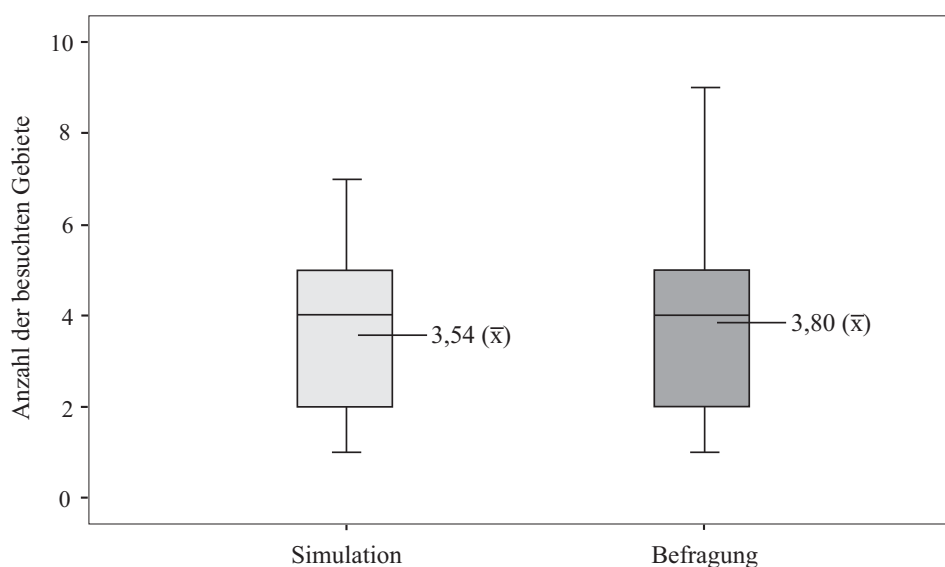
4 Ergebnisse der Simulation

Für den Vergleich der Simulationsergebnisse mit den Befragungsergebnissen zur Bewertung der Modelleistung bieten sich traditionelle Methodiken an, weswegen eine Kombination dieser mit innovativen Ansätzen zu empfehlen ist. Multiagentensimulationen eröffnen neue Möglichkeiten und erweitern herkömmliche Methoden, können aber umgekehrt auch durch Erkenntnisse aus diesen ergänzt und verbessert werden (vgl. Mandl 2003; Gilbert 2006). Zur Bewertung der analytischen Qualität des Modells werden daher die Simulationsergebnisse mit den Resultaten der Erhebung verglichen. Dieser Vergleich erfolgt aus räumlicher und struktureller Sicht. Eine Auswertung auf Individualebene wäre zu kleinteilig, da es ein Ziel von Multiagentensimulationen ist, potenzielle emergente Strukturen aufzudecken. Von Interesse sind räumliche und strukturelle Muster, die sich aus dem aggregierten Verhalten der simulierten Individuen ergeben. Um Aussagen auf aggregierter Ebene treffen zu können, wird die Regensburger Altstadt vorab in Gebiete unterschiedlicher Erlebnisqualität eingeteilt. Bei der Differenzierung werden u. a. das Einzelhandelsangebot, das Gastronomieangebot, die Atmosphäre und der Gebäudebestand (Monheim et al. 1998; Bödeker 2003) berücksichtigt.

4.1 Darstellung und Bewertung der Simulationsergebnisse aus räumlicher Sicht

Der Vergleich empirischer und simulierter Gebietsbesuche erfolgt nach Einkäufern differenziert. Von Interesse ist die Anzahl aufgesuchter Gebiete. Anhand der Gegenüberstellung der Simulations- und Erhebungsergebnisse zeigt sich, inwieweit das Modell das Einkaufsverhalten im Untersuchungsraum diesbezüglich korrekt abbildet. Abbildung 3 veranschaulicht die Resultate als Boxplot-Diagramme.

Abb. 3 Anzahl der simuliert und real besuchten Gebiete ($n = 331$)

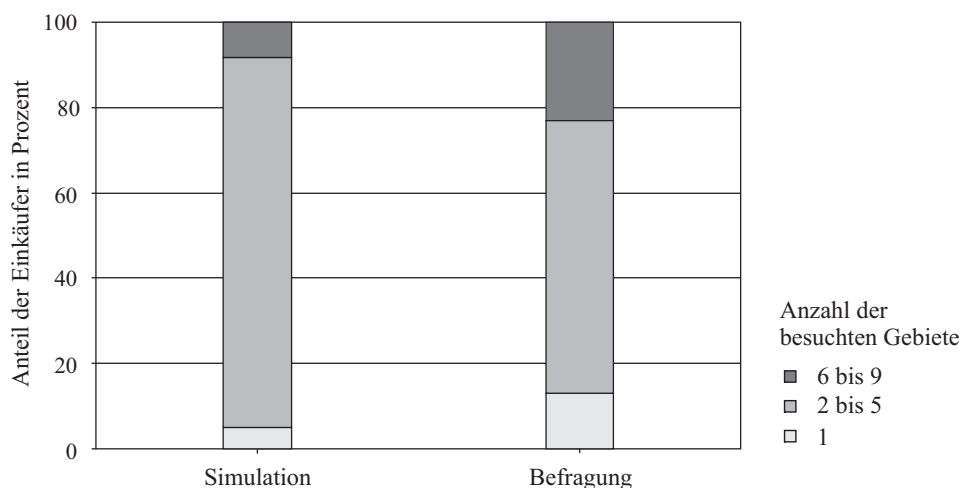


Quelle: Eigene Darstellung 2009.

Die beiden Boxen sind nahezu identisch. Der Median der geordneten Verteilungen liegt bei 4, in beiden Fällen haben also 50 Prozent der Einkäufer ein bis vier Gebiete aufgesucht. Die zusätzlich dargestellten Mittelwerte unterscheiden sich allein aufgrund der oberhalb des 75 Prozent-Quartils gelegenen Werte. In der Realität werden bis zu neun Gebiete aufgesucht, in der Simulation maximal sieben. Dies liegt vermutlich daran, dass der simulierte Einkäufer den idealtypischen, ziellosen Erlebniseinkäufer darstellt, denn er sucht direkt das Geschäft auf, das für ihn im Umkreis von 100 m am attraktivsten ist. Dieses Vorgehen setzt er kontinuierlich fort. Der reale Erlebniseinkäufer geht dagegen bedingt zielgerichtet vor und weiß zumindest teilweise im Voraus, welche Geschäfte er aufsuchen wird. Dafür legt er tendenziell größere Distanzen zurück und durchquert dadurch mehrere Gebiete. Abgesehen von der leichten Abweichung der Maxima liefert die Simulation bezüglich der Anzahl der aufgesuchten Gebiete sehr gute Ergebnisse.

Betrachtet man die Verteilung der gruppierten Anzahl besuchter Gebiete (vgl. Abb. 4), wird deutlich, dass sich die simulierten Einkäufer untereinander etwas gleichartiger verhalten als ihre realen Vorbilder.

Abb. 4 Kumulierte gruppierte Anzahl der besuchten Gebiete in der Simulation und in der Befragung (n = 331)



Quelle: Eigene Darstellung 2009.

Eine in der Befragung auftretende, geringe Gebietsbesuchsanzahl wird durch die Simulation eher überschätzt, eine hohe Gebietsbesuchsanzahl eher unterschätzt. Rund 90 Prozent der simulierten Einkäufer betreten zwei bis fünf Gebiete. Auch die empirische Erhebung ergibt überwiegend zwei bis fünf Gebietsbesuche, allerdings nur für rund zwei Drittel (64 Prozent) der Einkäufer. Darüber hinaus besuchen 13 Prozent der Befragten ein Gebiet und 23 Prozent gehen sogar in sechs bis neun Gebiete.

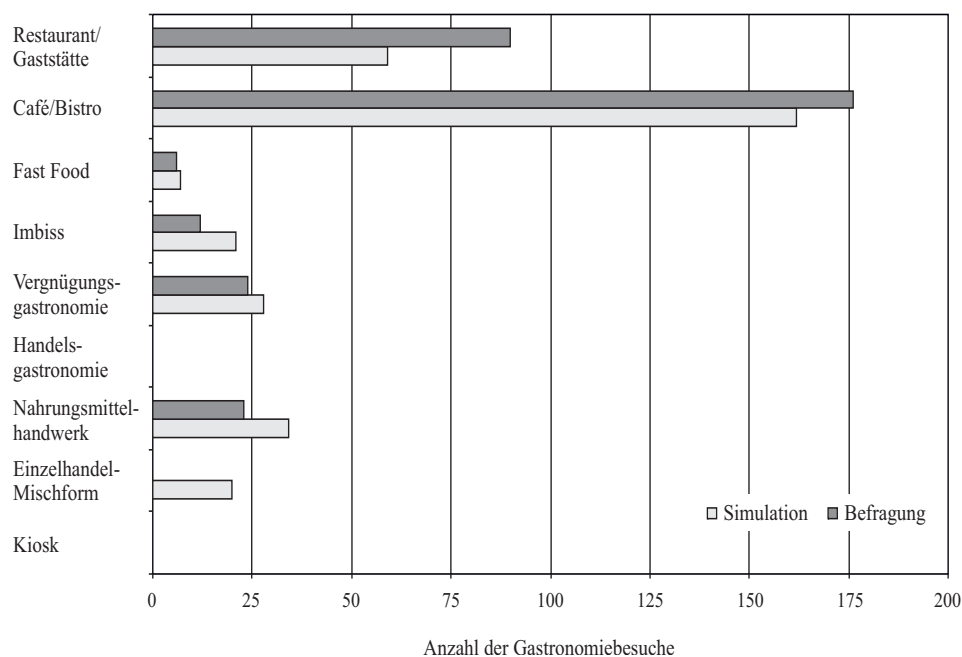
4.2 Darstellung und Bewertung der Simulationsergebnisse aus struktureller Sicht

Für die Bewertung der Modellqualität aus struktureller Sicht werden die Geschäfts- und Gastronomiebesuche in der Simulation und in der Realität auf aggregierter Ebene

gegenübergestellt. Das bedeutet, dass die Modellqualität nun danach beurteilt wird, wie gut die Verteilung der Besuche auf die einzelnen Gastronomietypen bzw. Branchen und nicht auf konkrete Lokale bzw. Geschäfte simuliert wird.

Hinsichtlich des Vergleichs der Anzahl der Gastronomiebesuche bildet das Modell die Realität sehr gut ab. Da die Erhebung in Lokalen stattfand, wird durch die obligatorische letzte Station der Einkäufer in einem Gastronomiebetrieb sichergestellt, dass auch sie mindestens ein Lokal aufsuchen. In der Befragung legen darüber hinaus nur zwölf Personen (3,6 Prozent) eine weitere und zwei Personen (0,6 Prozent) zwei weitere Pausen in Lokalen ein. In der Simulation gehen sechs Einkäufer (1,8 Prozent) in zwei Lokale, keiner in drei. Damit trifft die Simulation auch diesen Sachverhalt sehr gut, was für die richtige Relation der Wertebereiche der Erlebnisfunktionen von Geschäft und Gastronomie spricht. Auch hinsichtlich des Gastronomiebesuchs, den modellbedingt jeweils alle 331 Agenten bzw. Personen erleben, liefert die Simulation gute Ergebnisse (vgl. Abb. 5).

Abb. 5 Gastronomiebesuche in der Simulation und der Befragung nach Gastronomietypen (n = 331)

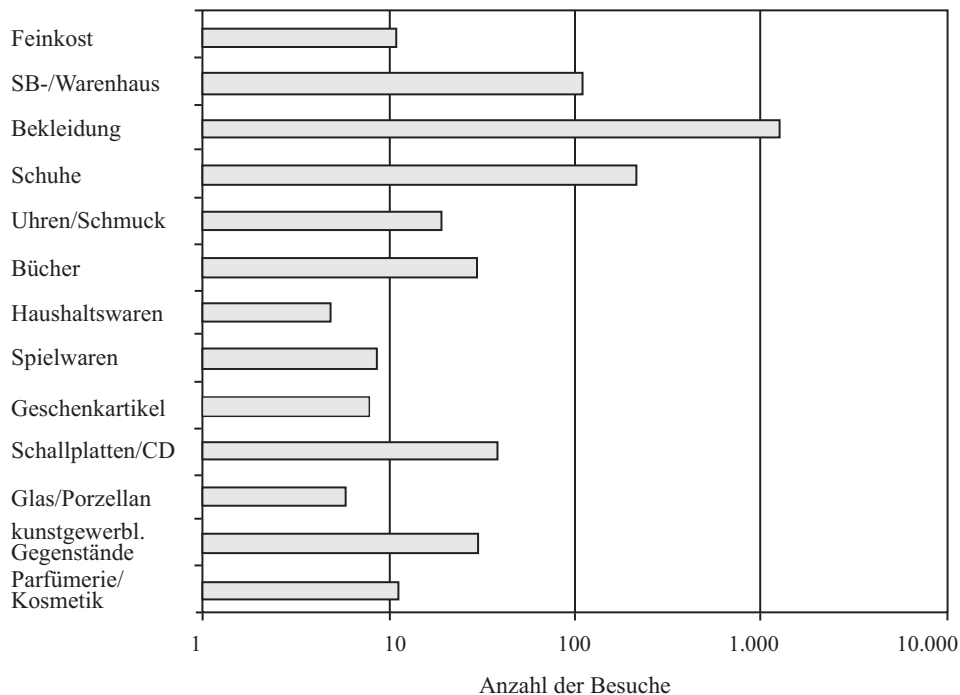


Quelle: Eigene Darstellung 2009.

Die Zahl der Besuche in Restaurants/Gaststätten fällt in der Simulation etwas zu gering aus, obwohl dieser Typ innerhalb des Attributs Gastronomietyp hoch gewichtet ist. Niedrige Werte anderer berücksichtigter Attribute fallen hier stärker ins Gewicht, weil die meisten Restaurants/Gaststätten keine Sonderaktionen anbieten. Der Gastronomietyp Einzelhandel-Mischform (Typ 8) wird nur im Simulationslauf aufgesucht, nicht aber in der Realität, da im Untersuchungsraum nur ein Lokal des Typs 8 existiert, in dem allerdings keine Befragungen durchgeführt wurden. Die Anzahl der Besuche in allen anderen Lokaltypen wird sehr gut nachgebildet.

Während des Simulationslaufs werden Geschäfte aus 21 verschiedenen Branchen aufgesucht. In Abbildung 6 sind nur die Branchen berücksichtigt, die mindestens fünf Besu-

Abb. 6 Anzahl der Geschäftsbesuche in der Simulation nach Branchen (n = 331, logarithmierte Darstellung)



Quelle: Eigene Darstellung 2009.

che verzeichnen können. Der Wert der Branche Bekleidung liegt sechsmal höher als der höchste Wert aller übrigen Branchen. Daher wird die Skala logarithmiert. Nach Monheim et al. (1998, S. 5) sind die Besucher der Regensburger Altstadt von allen Branchen am stärksten an Bekleidung, Büchern und CDs interessiert. Dies trifft für die Simulation nur z. T. zu. Zwar dominiert auch hier die Branche Bekleidung deutlich, dann folgen jedoch Schuhe und SB-/Warenhäuser. Die übrigen Branchen werden von einem relativ geringen Teil der Agenten (max. 40) aufgesucht. Diese Verteilung lässt sich z. T. anhand der Gewichtungen der Ausprägungen des Attributs Branche begründen. Dies kann allerdings nicht der einzige Grund für den enorm hohen Wert der Bekleidungsbranche (1.273 Besuche, durchschnittlich 3,8 Besuche pro simuliertem Einkäufer) sein. Auch im Rahmen der Sensitivitätsanalyse ergeben sich hinsichtlich der Anteile der Besuchszahlen pro Branche kaum Änderungen. Der Hauptgrund für dieses Ergebnis ist daher eher modellextern im Untersuchungsraum zu suchen, denn rund 20 Prozent der Geschäfte der Altstadt gehören der Branche Bekleidung an. Die anderen Branchen sind deutlich seltener vertreten. Den Anteilen im Branchenspektrum entsprechend liefert die Simulation zu Recht für Bekleidung die höchsten Besuchszahlen.

5 Diskussion und Schlussfolgerungen

Ziel des Modells EAR ist es, das Verhalten von Erlebniseinkäufern zu analysieren und emergente Strukturen zu erzeugen. Die Anwendung eines *bottom-up*-orientierten Mul-

tiagentenmodells ermöglicht es, die hierfür erforderliche dynamische Perspektive mit einzubeziehen und bietet daher enorme Vorteile gegenüber Ansätzen, die rein statisch arbeiten.

Darüber hinaus ergeben sich bei der Multiagentensimulation emergente Strukturen aus dem Verhalten der Individuen ohne zentrale Kontrolle, während aggregierte Ansätze mit Durchschnittswerten arbeiten und Raum und Gesellschaft daher als homogen voraussetzen müssen. Im Falle der Untersuchung des Verhaltens beim Erlebniseinkauf können damit nur kollektive Präferenzen angenommen werden. Mittels der vorgestellten Methode können die Agenten dagegen sinnvoller Weise unabhängig voneinander handeln, was für die Nachbildung des Erlebniseinkaufs ebenfalls von Bedeutung ist. Die angewendete Methode ist demnach für die Modellierung des Konsumentenverhaltens gerade in einem Raum der Größe der Regensburger Altstadt prinzipiell gut geeignet. Das Konsumentenverhalten wird exemplarisch im gewählten Untersuchungsgebiet analysiert, das Modell ist aber prinzipiell nicht auf den gewählten Beispielraum beschränkt. Mittels einiger Adaptionen ließe sich die Simulation auch auf andere Räume, d. h. auf andere Städte oder Einkaufszentren übertragen.

Für den Vergleich der Simulationsergebnisse mit den Befragungsergebnissen zur Bewertung der Modelleistung bieten sich traditionelle Methoden an, weswegen eine Kombination dieser mit innovativen Ansätzen zu empfehlen ist. Mandl (2003, S. 6) befürwortet derartige methodische Verknüpfungen, da er davon ausgeht, dass das „integrale ‚qualitativ-ganzheitliche‘ Denken die Komplexität der Welt besser repräsentiert als ein rein ‚quantitativ-analytischer‘ Ansatz“.

Das in der Theorie beschriebene Verhalten wird durch individuelle Präferenzen bestimmt und entspricht im Ergebnis mit einigen Ausnahmen dem Verhalten der realen Einkäufer. Dabei ist die Verknüpfung von angebots- und nachfrageseitigen Attributen von zentraler Bedeutung und unterstreicht die gegenseitige Beeinflussung beider Marktkomponenten.

Es deuten sich aber auch einige Grenzen der angewendeten Methode an. Diese Aspekte werden nun zusammenfassend dargestellt, um daraus schließlich potenzielle Erweiterungen des Modells abzuleiten. Bezüglich der Modellierung des Konsumentenverhaltens ist anzumerken, dass sich dieses nachweislich bis zu einem gewissen Grad operationalisieren und vorhersagen lässt. Es bleibt jedoch immer ein Verhaltensanteil, der nicht integriert werden kann. Die Methode der Multiagentensimulation kommt der Realität zwar näher als andere Ansätze (vgl. Hesse/Rauh 2003, S. 86), wird jedoch das komplexe menschliche Verhalten nie vollständig abbilden können. „Im Unterschied zum Lebensmitteleinkauf, bei dem von einer weitgehend rational getroffenen Konsumentenentscheidung ausgegangen werden kann“ (Schenk et al. 2004, S. 128), spielen beim Erlebniseinkauf persönliche Einstellungen, Fragen des Lebensstils und das Image des Geschäfts eine große Rolle. Um das Verhalten noch realitätsnäher zu modellieren, wäre beispielsweise die Berücksichtigung weiterer individueller Präferenzen oder einer *mental map* der Altstadt wünschenswert. Unter Einbeziehung einer größeren Zahl von Attributen wäre das Modell jedoch schnell zu komplex und könnte seiner eigentlichen Aufgabe, ein vereinfachtes Abbild der Wirklichkeit darzustellen, nicht mehr gerecht werden. Zudem können nur operationalisierbare Attribute in das Modell eingehen. Es ist beispielsweise nicht möglich, die Vorlieben jedes einzelnen Befragten für bestimmte Branchen oder gar

eine Rangliste konkreter Geschäfte zu berücksichtigen. Stattdessen können durch entsprechende Gewichtungen des Attributs Branche nur generell von Erlebniseinkäufern bevorzugte Branchen umgesetzt werden. Zudem müssen die modellierten Präferenzen der Einkäufer auf der Angebotsseite ihre Entsprechung finden. Somit lassen sich z. B. die Entscheidungskriterien ‚gute Küche‘ oder ‚angenehmes Publikum‘ für die Wahl eines Lokals nicht einbeziehen, da eine Beurteilung der Gastronomiebetriebe hinsichtlich dieser Kriterien nicht objektiv ist. Diese Aspekte schränken die Auswahl möglicher Attribute ein. Weiterhin ist die Richtigkeit der Gewichtungen der Attributsausprägungen und der Verknüpfung der gewählten Attribute spekulativ. Die Ergebnisse sprechen zwar für deren Qualität, es gibt jedoch keine Anhaltspunkte dafür, in welcher Form der Besucher die Kriterien gedanklich verbindet, um zu seinem Gesamturteil zu gelangen. Daher muss die mittels Sensitivitätsanalyse optimierte Bewertungsweise „[...] bis zu ihrer empirischen Falsifizierung als die vom Nachfrager wahrgenommene Attraktivität angesehen werden“ (Löffler et al. 2005, S. 169).

Eine Linearkombination von Attributen, wie sie in den Erlebniswertfunktionen für die Agentenklassen Geschäft und Gastronomie angewendet wird, setzt zudem die Unabhängigkeit der einzelnen Attribute voraus. Das ist zwar eine Restriktion, sie bringt aber den Vorteil mit sich, die unterschiedlichen Attribute einheitlich behandeln zu können. Die Summenbildung bietet die Möglichkeit, die Gewichtungen der Attributsausprägungen problemlos zu variieren, die Attribute kurzfristig ganz von der Berechnung auszuschließen und weitere Attribute nachträglich aufzunehmen. Daher wird die einschränkende Bedingung der Unabhängigkeit als erfüllt betrachtet.

Eine weitere Schwäche des Modells EAR bezieht sich auf den gewählten Untersuchungsraum. Da Innenstädte im Gegensatz zu Einkaufszentren keine festen Ein- und Ausgänge besitzen, kann kein Einfluss darauf genommen werden, zu welchem Zeitpunkt seines Aufenthalts der Befragte angetroffen wird. Dies führt v. a. hinsichtlich der ungeplanten Geschäftsbesuche zu inkonsistenten Ergebnissen, was eine verminderte Qualität der Vergleichsdaten zur Folge hat und somit eine realitätsnahe Simulation erschwert.

Momentan sind die Gewichtungen eines Attributs entsprechend der jeweiligen Ausprägung für alle Agenten identisch. Ein Beispiel veranschaulicht dies: Eine Variable V liegt in den drei Ausprägungen V_a , V_b und V_c vor. Jedem Einkäufer ist eine Merkmalsausprägung zugewiesen. Die Gewichtung der Ausprägungen ist jedoch global festgelegt, d. h. jeder Agent, der die Ausprägung V_a aufweist, erhält den Wert x , jeder, der V_b zeigt, den Wert y und jeder Agent mit V_c den Wert z . Es bestünde nun die Möglichkeit, diese Gewichtungen individueller zu gestalten, beispielsweise indem jeder der drei Merkmalsausprägungen ein Wertebereich zugeteilt wird. Der exakte Variablenwert könnte dann innerhalb dieses Bereichs von Agent zu Agent variieren. Dadurch wäre das Verhalten noch differenzierter darstellbar, die Datenerhebung jedoch auch deutlich schwieriger und umfangreicher. Denkbar wäre darüber hinaus in begrenztem Umfang die Aufnahme weiterer Attribute, etwa, um zusätzlich Präferenzen hinsichtlich des angebotenen Sortiments oder der Verkaufsfläche einzubinden.

Das Vorgehen der simulierten Einkäufer entspricht dem idealtypischen Bummeln, denn sie lassen sich ohne Ziel von für sie attraktiven Geschäften in ihrer Umgebung anziehen. Ein gewisses Konzept liegt nach empirischen Erkenntnissen aber auch beim Erlebnisein-

kauf vor (vgl. Frehn 1996, S. 4 ff.). Der reale Einkäufer sucht ihm bekannte, bevorzugte Läden auf und ist ferner gegenüber weiteren Geschäften aufgeschlossen, die Abwechslung und Erlebnis versprechen. Außerdem ist der Erlebniseinkäufer häufig in Begleitung unterwegs, weswegen den Agenten in einer Erweiterung des Modells die Möglichkeit zur Kommunikation, gewissermaßen zum Erfahrungsaustausch, gegeben werden könnte. Auf diese Weise ließe sich die Informationssuche realistischer gestalten. Je nach Fragestellung und Anwendung könnten auch die Angebotsseite im Modell ausgebaut und beispielsweise weitere Freizeitaktivitäten im multifunktionalen Untersuchungsraum simuliert werden. Möglich wäre z. B. die Modellierung bereits vorhandener kultureller Angebote oder – im Rahmen einer Prognose – die Einbeziehung geplanter Projekte.

¹ Die Aktionsraumforschung kennt verschiedene Formen von Handlungsbegrenzungen. Dazu gehören *capability constraints*, d. h. psychologische und technische Reichweitenbegrenzungen (z. B. die Verfügbarkeit von Verkehrsmitteln), *coupling constraints*, so genannte Kopplungsbegrenzungen (z. B. die Öffnungszeiten des Geschäfts und das Zeitbudget des Konsumenten) sowie *authority constraints*, sozialnormative oder juristische Restriktionen (z. B. der auf Werksangehörige beschränkte Fabrikverkauf) (vgl. Hägerstrand 1970, S. 7 ff.).

² Das Umsatzvolumen eines Betriebs setzt sich nach Nelson (1958, S. 45 ff.) aus drei Teilen zusammen. Das *generated business* ist der Anteil, der sich aus der Anziehungskraft des Betriebs selbst ergibt. Den Anteil des *shared business* generieren Kunden, die von benachbarten Betrieben angezogen wurden, und den Anteil des *suscipient business* erzeugen zufällig vorbeikommende Passanten.

Literatur

- Bödeker, B. (2003): Städtetourismus in Regensburg. Images, Motive und Verhaltensweisen von Altstadttouristen. Dissertation Universität Bayreuth. <http://opus.uni-bayreuth.de/volltexte/2003/37/index.html>, Stand: 04.09.2008.
- Booch, C., Rumbaugh, J. und Jacobson, I. (1999): Das UML-Benutzerhandbuch. München u.a.
- Conte, R., Hegselmann, R. und Terna, P. (Hrsg.) (1997): Simulating Social Phenomena. –Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems 456. Berlin.
- Diller, H. (2001): Kundenbindung im Lebensmitteleinzelhandel. Grundlagen und empirische Befunde. Diller, H. (Hrsg.): Der moderne Verbraucher. Neue Befunde zum Einkaufsverhalten. Nürnberg. S. 53-86.
- Econ-Consult, EuroHandelsinstitut GmbH (EHI), Universität Trier und Institut für Sozialforschung und Gesellschaftspolitik (ISG) (Hrsg.) (2005): Shoppingtourismus im internationalen Vergleich. Wachstumsimpulse für Tourismus und Einzelhandel in Deutschland. <http://www.isg-institut.de/download/Shoppingtourismus.pdf>, Stand: 24.07.2008.
- Engel, J. F., Blackwell, R. D. und Miniard P. W. (1995): Consumer Behavior. Fort Worth u. a.
- Florian, A.-J., (1990): Passagen. Ein Beispiel innerstädtischer Revitalisierung im Interessenkonflikt zwischen Stadtentwicklung und Einzelhandel. - Kölner Geographische Arbeiten 53. Köln.
- Frehn, M. (1996): Erlebniseinkauf in Kunstwelten (Shopping-Malls) und in Realkulissen (City-Einkauf) vor dem Hintergrund einer ökologisch verträglichen Mobilität. Teil 1: Stand der Diskussion und Sekundäranalysen. Wuppertal.
- Frehn, M. (1998): Wenn der Einkauf zum Erlebnis wird. Die verkehrlichen und raumstrukturellen Auswirkungen des Erlebniseinkaufs in Shopping-Malls und Innenstädten. –Wuppertal Papers 80. Wuppertal.
- Frehn, M. (2004): Innenstädte auf dem Weg zu mehr Funktionalität. Chancen von Kopplungsmodellen und einer Integration zusätzlicher Nutzungen. RaumPlanung 116, S. 211-216.
- Garnefeld, I. (2008): Kundenbindung durch Weiterempfehlung. Eine experimentelle Untersuchung der Wirkung positiver Kundenempfehlungen auf die Bindung des Empfehlenden. Wiesbaden.
- Gerhard, U. (1998): Erlebnis-Shopping oder Versorgungseinkauf? Eine Untersuchung über den Zusammenhang von Freizeit und Einzelhandel am Beispiel der Stadt Edmonton, Kanada. –Marburger Geographische Schriften 133. Marburg.
- Gilbert, N. und Doran, J. E. (1994): Simulating Societies. The Computer Simulation of Social Phenomena. London.
- Gilbert, N. und Troitzsch, K. G. (1999): Simulation for the Social Scientist. London.

- Gilbert, N. (2006): When Does Social Simulation Need Cognitive Models? Sun, R. (ed.): Cognition and Multi-Agent Interaction. From Cognitive Modeling to Social Simulation. Cambridge. S. 428-434.
- Hägerstrand, T. (1970): What About People in Regional Sciences? Papers of the Regional Science Association 24, S. 7-21.
- Heinritz, G., Klein, K. E. und Popp, M. (2003): Geographische Handelsforschung. Berlin, Stuttgart.
- Hesse, R. und Rauh, J. (2003): Angebot und Nachfrage im Einzelhandel. Multiagentensysteme zur Simulation von Konsumentenverhalten und der Shopping-Center-Planungen. Koch, A. und Mandl, P. (Hrsg.): Multi-Agenten-Systeme in der Geographie. –Klagenfurter Geographische Schriften 23. Klagenfurt. S. 65-88.
- Hüttner, T. (2005): Factory Outlet Center. Destination im Shopping Tourismus und Potenzial für die regionale Tourismuswirtschaft. –Beiträge zur Wirtschaftsgeographie Regensburg 7. Regensburg.
- Klügl, F. (2001): Multiagentensimulation. Konzepte, Werkzeuge, Anwendungen. München u.a.
- Kreutzer, R. T. (2006): Praxisorientiertes Marketing. Grundlagen, Instrumente, Fallbeispiele. Wiesbaden.
- Kulke, E. (2004): Neue Konsumentenverhaltensweisen. Auswirkungen auf Angebot und Standort. Petermanns Geographische Mitteilungen 5/2004, S. 88-91.
- Kulke, E. (2005): Räumliche Konsumentenverhaltensweisen. Kulke, E. (Hrsg.): Dem Konsumenten auf der Spur. Neue Angebotsstrategien und Nachfragemuster. – Geographische Handelsforschung 11. Passau. S. 9-26.
- Löffler, G., Rauh, J. und Schenk, T. (2005): Von der Einzelhandelsgravitation zum Multi-Agenten-System. Modelltheoretische Überlegungen und erste Ergebnisse einer Simulation von Kaufkraftströmen im Lebensmitteleinzelhandel. Seminarberichte der Gesellschaft für Regionalforschung 48. Heidelberg, Wien. S. 160-183.
- Mandl, P. (2003): Multi-Agenten-Simulation und Raum. Spielwiese oder tragfähiger Modellierungsansatz in der Geographie? Koch, A. und Mandl, P. (Hrsg.): Multi-Agenten-Systeme in der Geographie. –Klagenfurter Geographische Schriften 23. Klagenfurt. S. 5-34.
- Mensing, M. S., Albers, M. (2006): Umsetzungskonzepte für erfolgreiche Vitalisierungsstrategien. Public-Private-Partnership, Business-Improvement-Districts und Quartiersmanagement. J. Zentes (Hrsg.): Handbuch Handel. Strategien, Perspektiven, Internationaler Wettbewerb. Wiesbaden. S. 986-1005.
- Monheim, R., Heller, J. und Sedlmeier, A. (1998): Erlebniseinkauf in Regensburg. Nicht nur in der Altstadt. Informationen zur Stadtentwicklung 2/1998, S. 3-11.
- Nelson, R. L. (1958): The Selection of Retail Locations. New York.
- Pieper, C. (2002): Konsumentenverhalten im Wandel. Methodische Herausforderungen und mögliche Antworten. Ein empirisches Beispiel. <http://www2.hu-berlin.de/geo/>

- hu/wigeo/ak/bericht11.pdf, Stand:01.09.2008.
- Quack, H.-D. (2000): Freizeit und Konsum im inszenierten Raum. Eine Untersuchung räumlicher Implikationen neuer Orte des Konsums, dargestellt am Beispiel des CentrO Oberhausen. –Paderborner Geographische Studien, 14. Paderborn.
- Rauh, J., Schenk, T., Klügl, F., Fehler, M., Puppe, F. (2007): Der simulierte Konsument. Klein, R., Rauh, J. (Hrsg.): Analysemethodik und Modellierung in der geographischen Handelsforschung. –Schriftenreihe Geographische Handelsforschung, 13. Passau.
- Romeiß-Stracke, F. (2000): Erlebnis- und Konsumwelten. Herausforderungen für die Innenstädte. Steinecke, A. (Hrsg.): Erlebnis- und Konsumwelten. München, Wien. S. 76-83.
- Schenk, T., Klügl, F., Löffler, G., Puppe, F. und Rauh, J. (2004): Multiagentensysteme zur Simulation von Konsumentenverhalten. Institut für Geologische Wissenschaften der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (Hrsg.): Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften A/26. Halle. S. 117-130.
- Schmitz, C. A. und Kölzer, B. (1996): Einkaufsverhalten im Handel. Ansätze zu einer kundenorientierten Handelsmarketingplanung. München.
- Schmitz, C. A. (2001): Charismating. Einkauf als Erlebnis. So kitzeln Sie die Sinne Ihrer Kunden. München.
- Schreck, T. (2000): Regionaler Wirtschaftsfaktor Gastronomie. Eine Standortbestimmung für Regensburg. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Regensburg.
- Schwarzenegger, C. (2008): Das „Verräumen“ der Orte. Konsum Dritter Orte als Ikonophagie. K.-U. Hellmann, G. Zurstiege (Hrsg.): Räume des Konsums. Über den Funktionswandel von Räumlichkeit im Zeitalter des Konsumismus. Wiesbaden. S. 142-155.
- Sedlmeier, A. (2006): Einkaufen als Erlebnis... im größten Einkaufszentrum Ostbayerns. Sedlmeier, A. und Vossen, J. (Hrsg.): Stadtatlas Regensburg. Regensburg. S. 68-69.
- Statistisches Bundesamt Deutschland (Hrsg.) (2002): Übersicht über die Klassifikation der Wirtschaftszweige mit Erläuterungen. Ausgabe 2003. Wiesbaden.
- Tenberg, I. (1999): Gastronomie im Handel. Eine institutionenorientierte Analyse. –Arbeitspapiere des Lehrstuhls für Marketing und Handel an der Universität GH Essen 5. http://www.marketing.uni-essen.de/praxis/publikationen/download/MH_Arbeitspapier5_Gastronomie-EH.pdf, Stand: 27.04.2006.
- Troitzsch, K. G. (2000): Computersimulationen in den Sozialwissenschaften. Herz, D. und Blätte, A. (Hrsg.): Simulation und Planspiel in den Sozialwissenschaften. Eine Bestandsaufnahme der internationalen Diskussion. Münster u.a. S. 181-203.
- Urban, C. (2004): Das Referenzmodell PECS. Agentenbasierte Modellierung menschlichen Handelns, Entscheidens und Verhaltens. http://www.opus-bayern.de/uni-passau/volltexte/2005/47/pdf/Dissertation_Ch_Urban_Hauptteil.pdf, Stand: 13.08.2008.
- Woolridge, M. (2002): An Introduction to Multiagent Systems. Chichester.

Mensch-Umwelt-Systeme unter dem Einfluss des globalen Wandels. Ein Ansatz zur integrierten regionalen Global-Change-Forschung am Beispiel des Themenkomplexes Tourismus und Klimawandel

Autoren:

Anja Soboll, Jürgen Schmude

Summary

Climate change is one of the most important challenges of the 21st century. Global change is constituted by numerous interactions within the human-environment-system and shows a dynamic and spatially differentiated development. Therefore, climate impact research has to adopt an interdisciplinary approach to consider the ecological, economic and social dimension as well as regional differences in terms of varying framework conditions, vulnerabilities and reasonable adaptation measures to be adopted. This is realised in the integrative research project GLOWA-Danube (GLObal change of the WAter cycle; <http://www.glowa-danube.de>), which analyses the influence of climate change on various sectors, such as industry, tourism or households by means of climate and societal scenarios in the Upper Danube catchment (77.000 km²). Thus, GLOWA-Danube offers a decision-support-system for stakeholders in terms of developing and assessing different regional sustainable adaptation strategies.

Der Klimawandel ist seit einigen Jahren in Wissenschaft und Praxis prominentes Thema. Während er zunächst aus rein naturwissenschaftlicher Sicht hinsichtlich des ‚ob‘ und ‚wie‘ eines Wandels betrachtet wurde, erweiterte sich der Blickwinkel in den letzten Jahren auch auf die sozialwissenschaftliche Perspektive und bezog potenzielle Folgen und Auswirkungen sowie mögliche Anpassungsstrategien im Sinne einer Identifikation von Adaptationsmaßnahmen ein.

Neben dieser inhaltlichen Ausweitung des Themas wird inzwischen auch der Klimawandel selbst nicht mehr als singuläres Phänomen betrachtet, das mit einer bloßen Erhöhung der Durchschnittstemperaturen und veränderten Niederschlagsverhältnissen einhergeht. Vielmehr wird der Klimawandel in den breiteren Kontext eines multidimensionalen Globalen Wandels gestellt, der von einer Vielzahl anthropogener Prozesse beeinflusst wird und seinerseits Auswirkungen auf das menschliche Handeln hat. Das heißt, es müssen Wechselwirkungen und positive sowie negative Rückkopplungen zwischen Natur und Gesellschaft als Teile eines komplexen Systems berücksichtigt und adäquat analysiert werden. In diesem Sinne muss einerseits die Natur als gesellschaftlich transformiert verstanden werden, andererseits resultieren aus Veränderungen der Umwelt modifizierte soziale Vulnerabilitäten (Görg 2008, 96ff.). Diese dialektische Verknüpfung von Natur und Gesellschaft ist Grundlage des Konzepts der gesellschaftlichen Naturverhältnisse, des grundlegenden Ansatzes der Sozialen Ökologie (Görg 2003; Becker u. Jahn 2006). Dabei bestimmt die Interdependenz von Gesellschaft und Umwelt konstitutiv deren Entwicklung. Die beiden strukturell gekoppelten Systembestandteile sind nicht klar ab-

grenzbar und befinden sich in einer dynamischen Koevolution.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass eine isolierte Betrachtung von Klimawandel und globalem Wandel nicht zielführend sein kann. Da Interaktionen zwischen Gesellschaft und Umwelt stattfinden, darf deren Analyse nicht sektoral einzelnen Wissenschaftsdisziplinen vorbehalten bleiben, sondern muss vielmehr interdisziplinär erfolgen (Fuchs 2010, 46). Darüber hinaus ist eine klare Risikokommunikation gegenüber der Bevölkerung wesentlich, da klimatische Änderungsprozesse der menschlichen Wahrnehmung nicht unmittelbar zugänglich sind. Um die Kenntnisnahme und Umsetzung wissenschaftlicher Ergebnisse in einer möglichst breiten Öffentlichkeit zu gewährleisten, muss sich zudem das politische Engagement von einzelnen Politikfeldern, wie etwa Raumplanung, Verkehr oder Energie auf einen deutlich breiteren Fokus einstellen und eine Vielzahl gesellschaftlicher Bereiche einbeziehen (Mickwitz et al. 2009). Auf diese Weise lässt sich eine Wissensbasis schaffen, auf deren Grundlage von der Gesellschaft zukünftig existenzielle Entscheidungen getroffen werden können und müssen, um dieser enormen Herausforderung erfolgreich zu begegnen (Beyerl 2010, 260).

Vom globalen zum regionalen Wandel

Zur Entwicklung von globalen Klimamodellen (Global Climate Models = GCM) wird der Globus mit einem dreidimensionalen Gitter überzogen und Gleichungen werden ausschließlich für dynamische Prozesse an den Gitterlinien erstellt. Dieses Vorgehen ermöglicht eine modellhafte Nachbildung klimatischer Prozesse, die allgemeine Aussagen zu potenziellen klimatischen Veränderungen erlaubt. Aufgrund der Größe der Gitterzellen sind jedoch regional differenzierte Analysen nicht möglich. Um eine realistischere Abschätzung der Klimaentwicklung zu erreichen, bedarf es einer weiteren räumlichen Aufgliederung.

Hinsichtlich der Auflösung des Gitternetzes sind aufgrund verbesserter Rechnerleistungen in den vergangenen Jahren deutliche Fortschritte zu verzeichnen. Die Maschenweite des GCM betrug im Ersten Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Houghton et al. 1990) ca. 500 km, während das dem Vierten Sachstandsbericht des IPCC (Solomon et al. 2007) zugrunde liegende GCM bereits mit einer Auflösung von rund 110 km arbeitet. Dennoch finden notwendige regionale Differenzierungen in GCM nach wie vor nicht ausreichend Beachtung. Um die Wissenslücke hinsichtlich regionalspezifischer Entwicklungen zu schließen, kommen seit einigen Jahren statische und dynamische Downscaling-Verfahren zum Einsatz, die eine Entwicklung regionaler Klimamodelle (Regional Climate Models = RCM) ermöglichen. Beispiele hierfür sind etwa REMO, das REgionale KlimaMOdell des Max-Planck-Instituts für Meteorologie für Deutschland, Österreich und die Schweiz (Jacob et al. 2008) oder MM5, das fünfte Mesoskalige Meteorologiemodell der Pennsylvania State University (Chen u. Dudhia 2001). Allerdings basieren RCM auf GCM, sodass ihre Qualität von den globalen Input-Daten abhängt. Gerade im Kontext von Mensch-Umwelt-Systemen ist die Unsicherheitsdiskussion von großer Bedeutung, da Daten über klimatische Rahmenbedingungen häufig ungenau, unsicher und zum Teil fehlerbehaftet sind. Obwohl die Forschung in diesem Bereich große Fortschritte macht und der Grad der Unsicherheit somit reduziert werden kann, scheint ihre vollständige Eliminierung gänzlich unwahrscheinlich (Aulinas et al. 2009, 6f.).

Dennoch muss sich eine anwendungsorientierte Klimafolgenforschung mit regionalen Entwicklungen auseinandersetzen, denn Ziel dieser interdisziplinären Forschung ist neben einem Beitrag zum wissenschaftlichen Diskurs die Ableitung politischer und handlungspraktischer Schlussfolgerungen. Nur auf diese Weise lässt sich die Lücke zwischen Wissenschaft und öffentlicher Entscheidungsfindung im Bereich der Klimafolgenthematik sukzessive schließen (Liu et al. 2008, 846f.).

Aus diesen Überlegungen lassen sich hinsichtlich einer notwendigen Übertragung von Tendenzen des globalen Wandels auf die regionale Ebene zwei Aufgabenkomplexe ableiten: – Einerseits stehen die konkreten Auswirkungen globaler Zukunftstrends auf einzelne Regionen im Mittelpunkt des Interesses. Hierbei gilt es zu analysieren, wie sich der Klimawandel und andere Prozesse des globalen Wandels in einzelnen Regionen auf unterschiedliche Bereiche (z. B. verschiedene Wirtschaftszweige, Politik oder Privatpersonen) potenziell auswirken. Konkret muss sich die Klimafolgenforschung mit dem Grad der Betroffenheit auseinandersetzen und plausible Annahmen bezüglich des regionalen Wandels ermöglichen. – Andererseits ist eine Einordnung der Qualität und Quantität von Adaptationsmöglichkeiten innerhalb von Regionen erforderlich. Es gilt zu überprüfen, wie die jeweiligen regionalen Akteure mit dem Wandel umgehen. Hierbei stellt sich die Frage, wie sich die Gesellschaft anpasst und darüber hinaus sich eventuell ergebende Chancen nutzen kann.

Um beide Aufgaben zu bewältigen, muss zunächst geklärt werden, welche Wissensgrundlagen und Instrumentarien zur Erreichung dieser Ziele benötigt werden. Ferner ist festzustellen, wie Wissenschaft dazu beitragen kann, zukünftig nachhaltige Entscheidungen zu unterstützen.

GLOWA-Danube: Pionier der integrierten regionalen Global-Change-Forschung

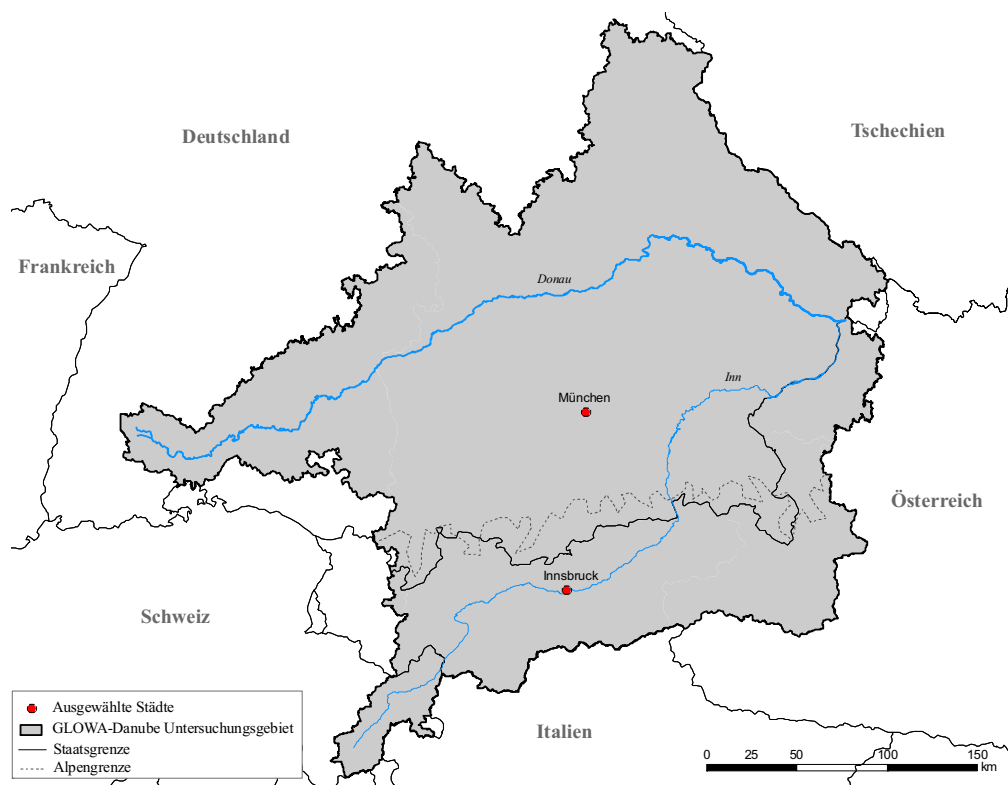
Die erforderliche regional differenzierte Betrachtungsweise der Themenkomplexe Klimawandel bzw. globaler Wandel, die gleichzeitig wechselseitige Abhängigkeiten im Mensch-Umwelt-System berücksichtigt, wird im integrativen Projekt GLOWA-Danube (GLOBALER WANDEL DES WASSERKREISLAUFS; <http://www.glowa-danube.de>) umgesetzt. GLOWA-Danube ist Teil des Projektverbundes GLOWA, der die regionalen Folgen des globalen Wandels anhand fünf ausgewählter Wassereinzugsgebiete in Mitteleuropa, dem Nahen Osten und Westafrika analysiert (<http://www.glowa.org>).

Zentrale Forschungsziele des Projekts

Im Rahmen von GLOWA-Danube werden regionale Auswirkungen des globalen Wandels mit dem Fokus auf der Ressource Wasser analysiert. Der Wassereinzugsbereich der Oberen Donau (77.000 km², über 11,5 Mio. Einwohner) bietet dabei besondere Herausforderungen, da die hydrologischen und klimatologischen Verhältnisse aufgrund des alpinen Einflusses äußerst komplex sind. Das Gebiet weist in Vorländern und Hochgebirgen Höhen zwischen 280 und 3.600 m über NN auf und ist geprägt von starken topographischen und meteorologischen Gradienten sowie der Schnee- und Eisdynamik der Alpen (Weber et al. 2010b, 1.8). Daher ist zu erwarten, dass sich Klimaänderun-

gen im Untersuchungsgebiet von GLOWA-Danube besonders stark bemerkbar machen werden, woraus sich unter anderem Veränderungen der natürlichen Vegetation sowie Nutzungsänderungen und Nutzungskonflikte zwischen unterschiedlichen Akteursgruppen (z. B. Privathaushalte, Industriebetriebe, Landwirtschaft und Tourismus) ergeben werden. Derzeit gilt der Untersuchungsraum als Wasserüberschussgebiet, was für die verschiedenen Nutzergruppen von großer Bedeutung ist. Über 2.000 kommunale Wasserversorger stellen die Wasserversorgung sicher, die nahezu ausschließlich auf der Entnahme von Grund- und Quellwasser basiert (Barthel et al. 2010, 1.16). Zudem ist der Abfluss aus dem Raum der Oberen Donau Lebens- und Wirtschaftsgrundlage für Unterliegerstaaten wie die Slowakei, Ungarn und Kroatien. Diese Aspekte und die Tatsache, dass in den verschiedenen betrachteten natur- und humanwissenschaftlichen Bereichen (z. B. Klimastationsdaten, hydrologische Daten, Informationen über Wirtschaftssektoren und Haushalte) eine umfassende Datengrundlage existiert, machen die Obere Donau zu einem besonders geeigneten mesoskaligen Untersuchungsgebiet (Abb. 1), das als repräsentativ für Gebirgsvorland-Regionen in den gemäßigten Breiten zu werten ist.

Abb. 1 GLOWA-Danube Untersuchungsgebiet



Quelle: Eigene Darstellung 2010

Das inter- und transdisziplinäre Konsortium von GLOWA-Danube untersucht an der Oberen Donau explizit regionale Auswirkungen des globalen Wandels, d. h. nicht nur des Klimawandels, sondern auch des demographischen, ökonomischen und politischen Wandels, um den angesprochenen Interdependenzen Rechnung zu tragen. Zentrale Forschungsziele sind hierbei:

- die Entwicklung von Methoden zur Abschätzung von Konsequenzen, die sich aus

dem globalen Wandel für das Gebiet der Oberen Donau in den kommenden 50 Jahren ergeben,

- die Entwicklung anwendbarer Werkzeuge zur Simulation regionaler Szenarien sowie
- der Entwurf und die Evaluation geeigneter regionaler Adaptationsmaßnahmen für verschiedene betroffene Akteure.

Diese Zielsetzungen waren zu Beginn des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekts im Jahr 2001 neuartig, denn bis dato existiert keine anwendbare Methode zur prospektiven, szenariogestützten Analyse gekoppelter Mensch-Umwelt-Systeme.

Um zur Schließung dieser Wissenslücken beizutragen, arbeiten im GLOWA-Danube Forschungsnetzwerk rund 40 Wissenschaftler aus acht Universitätsinstituten, zwei außeruniversitären Forschungsinstituten, einer wissenschaftlichen Kommission, einer Landesbehörde sowie zwei Firmen aus den Fachdisziplinen Hydrologie, Fernerkundung, Grundwasserwirtschaft und Wasserversorgung, Wasserwirtschaft, Glaziologie, Informatik, Meteorologie, Regionale Klimamodellierung, Pflanzenökologie, Agrarökonomie, Umweltpsychologie, Tourismusforschung und Umweltökonomie zusammen (Mauser et al. 2010, E1). Die integrative Kooperation dieser Disziplinen ermöglicht die Einbindung naturwissenschaftlicher und humanwissenschaftlicher Kenntnisse und Methoden. Somit lassen sich im Projekt einerseits die Ursachen des Klimawandels, natürliche Wirkungsketten und Konsequenzen für die Umwelt identifizieren. Andererseits werden die notwendigen Kompetenzen zur Abschätzung der gesellschaftlichen Wirkungsketten, klimawandelbedingter Folgen für die Gesellschaft, potenzieller Verhaltensänderungen, etwa durch Mitigation und Adaptation sowie deren Effekte auf die Umwelt eingebracht.

Aus der Erkenntnis, dass der Umgang mit dem globalen Wandel eine der größten Herausforderungen der Menschheit im 21. Jahrhundert darstellt (Beyerl 2010, 260), ergibt sich unter anderem die Notwendigkeit, die Forschungsergebnisse Stakeholdern zur Verfügung zu stellen bzw. mit ihnen zu diskutieren. Nur durch diesen Brückenschlag zwischen Wissenschaft und Praxis kann theoretisches Wissen praktisch nutzbar gemacht werden. Allerdings gestaltet sich diese Verknüpfung zum Teil äußerst schwierig, da die beiden Bereiche aufgrund unterschiedlicher Perspektiven verschiedene Ziele und Interessen verfolgen. Dies führt häufig zu einem gegenseitigen Missverständnis der Wissenssysteme (McNie 2007, 18). Deswegen steht die Forschung vor der Herausforderung, Informationen bereitzustellen, die den drei Kriterien Plausibilität (credibility; von Nutzern als verlässlich und qualitativ hochwertig wahrgenommene Informationen), Legitimität (legitimacy; transparente und verständliche Informationen) und Salienz (saliency; kontextuell relevante Informationen) gerecht werden (Cash et al. 2003, 8088). Daher empfehlen verschiedene Autoren (u. a. Dilling 2007, 56; Sarewitz u. Pielke 2007, 10) die frühzeitige Einbindung von und iterative Abstimmung mit Stakeholdern in klimafolgenorientierten Forschungsprojekten. Dies erfolgt in GLOWA-Danube zum einen in Form des Entscheidungs-Unterstützungs-Systems (Decision Support System = DSS) DANUBIA. Zum anderen wird bereits in der Konzeptionsphase durch die Einbindung von Stakeholdern eine transdisziplinäre Problemanalyse vorgenommen, um die Anwendbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse im Sinne einer Transformation von Orientierungs- in Verfü-

gungswissen zu ermöglichen. Beteiligte Stakeholder aus verschiedenen Wirtschafts- und Politikbereichen erhalten dabei Einblick in das Forschungsdesign und beurteilen den Realitätsbezug der zu entwickelnden Szenarien. Zudem werden im Laufe des Projekts generierte Ergebnisse immer wieder mit Stakeholdern diskutiert und weiterführende Fragestellungen entwickelt. Dieses Vorgehen stellt sicher, dass die generierten Ergebnisse Lösungsmöglichkeiten für konkrete sozio-ökologische und sozio-ökonomische Problemfelder eröffnen.

Integrative Aufgabenbereiche des Projekts

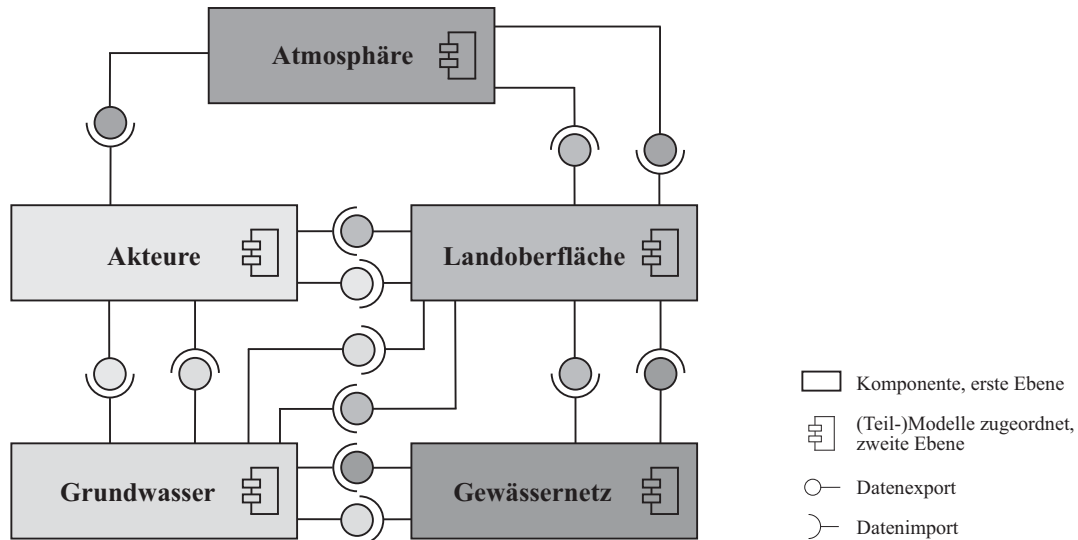
Aus den oben formulierten Forschungszielen ergeben sich vier zentrale Aufgabenbereiche, die im Folgenden näher betrachtet werden:

1. Zunächst müssen einzelne natur- und humanwissenschaftliche (Teil-)Modelle entwickelt werden. Die natürlichen und gesellschaftlichen Systemkomponenten werden in einzelnen Modellen abgebildet, die zu einem funktionsfähigen Ganzen integriert werden. Daher entwickelt zunächst jedes Teilprojekt ein Simulationsmodell, beispielsweise auf das Untersuchungsgebiet herunter skalierte regionale Klimamodelle oder Gletscher- und Grundwassermodelle seitens der naturwissenschaftlichen Disziplinen. Die Modelle folgen dabei den Vorgaben, dass Naturgesetze und Erhaltungssätze streng gelten. Erhaltungssätze betreffen die Bilanz eingebrachter und ausgebrachter Stoffmengen (z. B. Wasser), die ausgeglichen sein muss (Strebel 2003, 314). Die humanwissenschaftlichen Modelle sind als sogenannte Akteursmodelle konzipiert. Sie basieren auf Ansätzen der Multiagentenmodellierung, d. h. räumliche Muster ergeben sich in den Modellen aufgrund der Emergenz individuellen Verhaltens (Klügl 2001, 13ff.). Auf diese Weise lassen sich Entwicklung und Verhaltensänderungen verschiedener Akteure mittels Simulationsläufen prospektiv analysieren. Ein Akteur kann dabei jede beliebige soziale Entität darstellen, etwa einen Haushalt, einen Industriebetrieb, einen landwirtschaftlichen Betrieb, ein Wasserversorgungsunternehmen oder einen touristischen Anbieter, z. B. ein Skigebiet. Die Akteure sind entscheidungsfähig, d. h. sie wählen aus mehreren ihnen zur Verfügung stehenden Optionen diejenige aus, die aufgrund ihrer jeweiligen Umweltbedingungen aktuell am zielführendsten ist. So kann beispielsweise ein Skigebiets-Akteur aus den Alternativen ‚öffnen‘, ‚schließen‘ und ‚künstlich beschneien‘ wählen. Je nach Temperatur, vorhandener Schneehöhe und Datum entscheidet sich jeder einzelne Skigebiets-Akteur täglich für die aus individueller Rationalität sinnvollste Aktion. Dies setzt voraus, dass der Skigebiets-Akteur, der dem Tourismus-Modell angehört, zur Simulationslaufzeit Daten anderer Modelle (z. B. Meteorologie) empfängt, auf deren Basis er seine Entscheidung treffen kann.

2. Um diesen Datenaustausch zwischen den (Teil-)Modellen zu ermöglichen, ist als zweite zentrale Aufgabe die Implementierung eines generischen Frameworks erforderlich. Dafür wird in GLOWA-Danube das Framework DANUBIA, ein vollgekoppeltes Simulationssystem entwickelt, das die relevanten Wechselwirkungen zwischen den eingebundenen physikalischen und gesellschaftlichen Modellen abbildet und globale Regeln zum Datenaustausch vorgibt (Abb. 2) (Hennicker et al. 2010). Herzstück des Frameworks ist der sogenannte Timecontroller, durch den Modelle trotz unterschiedlicher interner Zeitskalen (physikalische Modelle arbeiten auf Stunden- oder Tagesbasis, gesellschaftliche

Modelle auf Tages- oder Monatsbasis) zur Laufzeit Daten austauschen können (Henninger u. Ludwig 2006, 88ff.). Dafür strukturiert DANUBIA alle integrierten Modelle auf zwei Ebenen.

Abb. 2 Struktur des GLOWA-Danube Frameworks DANUBIA



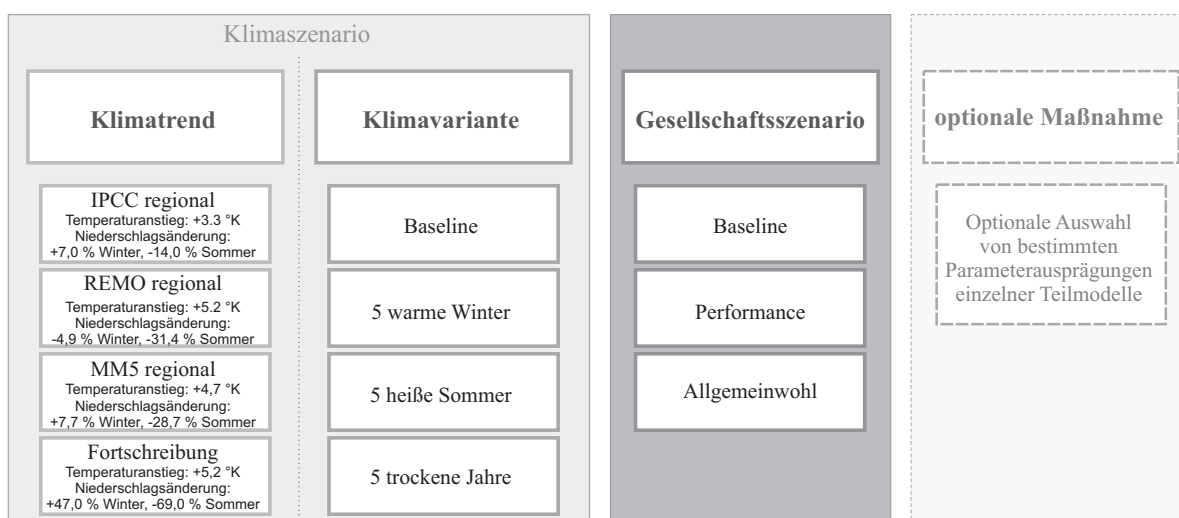
Quelle: Eigene Darstellung 2010

Auf der in Abbildung 2 dargestellten ersten Ebene finden sich die fünf Komponenten Akteure, Atmosphäre, Landoberfläche, Gewässernetz und Grundwasser. Auf der untergeordneten zweiten Ebene sind innerhalb der einzelnen Komponenten die einzelnen Modelle der Teilprojekte verortet, beispielsweise finden sich innerhalb der Komponente Akteure sämtliche Akteursmodelle, die Haushalte, touristische Anbieter, Landwirte, Industriebetriebe sowie Wasserversorgungsunternehmen simulieren. Datenflüsse zwischen Modellen einer Komponente finden auf dieser Ebene statt. Werden Informationen zwischen Modellen verschiedener Komponenten ausgetauscht, erfolgt dies über die erste Ebene.

3. Neben der Festlegung zeitlicher Rahmenbedingungen des Datenaustausches stellt die Erarbeitung eines die Anforderungen aller (Teil-)Modelle erfüllenden Raumkonzepts einen dritten zentralen Aufgabenbereich dar. In DANUBIA wird die Entwicklung natürlicher und gesellschaftlicher Prozesse räumlich in einem drei-dimensionalen Gitter simuliert. Diesem liegt eine konforme konische Lambert-Projektion zugrunde. Die Maschenweite beträgt 1 km^2 , was in der regionalen Klimamodellierung eine einzigartig genaue Auflösung darstellt. Somit unterteilt sich das Untersuchungsgebiet in 182.478 eindeutig identifizierbare Zellen, sogenannte Proxel. Der Begriff Proxel ist ein Akronym aus Process und Pixel und betont die Einbeziehung dynamischer Strukturen, kleinskaliger Prozessabläufe im Sinne der objektorientierten Programmierung. Zu diesem Zweck ist jedes Proxel als Quader angelegt. So lassen sich beispielsweise Massentransfers, Wasserabflüsse oder Bevölkerungsbewegungen simulieren (Ludwig et al. 2003). Jedes Proxel enthält also alle relevanten Informationen der abgebildeten Fläche wie Koordinaten und Höhenlage sowie teilmodellspezifische Angaben wie die Flächennutzung oder die Einwohnerzahl.

4. Der Simulationszeitraum deckt die Periode 2011 bis 2060 ab. Da sämtliche Aussagen für die Zukunft gemacht werden, nimmt der Grad ihrer Unsicherheit zu, je weiter der betrachtete Zeitpunkt von der Gegenwart entfernt ist. Daher ist die Entwicklung verschiedener klimatischer und gesellschaftlicher Szenarien der vierte zentrale Aufgabenbereich von GLOWA-Danube. Szenarien beschreiben hypothetische Zukunftsbilder (Götze 1991, 38), die zwar keinen prognostischen Anspruch haben, jedoch plausibel, schlüssig und relevant sein müssen. Letzteres bedeutet, dass Szenarien Dilemmata und Imponderabilitäten aufzeigen, mit denen sich die Gesellschaft künftig auseinandersetzen muss. Zu diesem Zweck enthalten Szenarien quantitative und/oder qualitative Annahmen über mögliche Zustände der Zukunft und unterstützen die Entscheidungsvorbereitung durch Kombination verschiedener Elemente. Im Rahmen von GLOWA-Danube sind dies die Ausprägungen verschiedener Schlüsselfaktoren in den einzelnen Modellen. Um ein Höchstmaß an Anwendungsorientierung zu bieten, steht in GLOWA-Danube ein Ensemble von Szenarien zur zukünftigen Entwicklung von Klima und Gesellschaft zur Verfügung, das nach dem Baukastenprinzip konzipiert ist (Abb. 3). Demnach besteht ein GLOWA-Danube Szenario aus einem Klimatrend, einer Klimavariante, einem Gesellschaftsszenario sowie optionalen Maßnahmen. Je nach Fragestellung kann ein Simulationslauf durch Auswahl je einer Ausprägung dieser Baukastenbestandteile kombiniert werden. So lassen sich auf transparente Weise aus globalen klimatischen und gesellschaftlichen Trends verschiedene regionale Szenarien ableiten und mit Stakeholdern diskutieren. Die je nach Fragestellung wählbare Kombination eines GLOWA-Danube Szenarios erlaubt dabei eine eindeutige Form der Dokumentation und Kommunikation im Sinne von ‚Unter den Szenariobedingungen Klimatrend *w*, Klimavariante *x*, Gesellschaftsszenario *y* und Maßnahme/n *z* liefert die Modellrechnung die Ergebnisse *u*‘. Zum anderen können so die Auswirkungen des globalen Wandels auf ein breites Spektrum von gesellschaftlichen Bereichen analysiert sowie nachhaltige regionale Adaptationsstrategien entwickelt und bewertet werden (Kuhn et al. 2010, S1).

Abb. 3 GLOWA-Danube Szenarienbaukasten



Quelle: Eigene Darstellung 2010

Die erste Auswahl betrifft den Klimatrend. Die vier für das Untersuchungsgebiet angebotenen Trends basieren auf dem gemäßigten globalen IPCC Emissionsszenario A1B, das für Europa hinsichtlich der Qualität und des Unsicherheitsgrades als das bewährteste und am weitesten entwickelte gilt (Solomon et al. 2007). Dieses GCM skizziert eine Entwicklung, die von einer bis zur Mitte dieses Jahrhunderts wachsenden, danach abnehmenden weltweiten Bevölkerung, raschem wirtschaftlichem Wachstum und einer schnellen Ausbreitung neuer effizienter Technologien geprägt ist. Bezüglich der Energieversorgung wird von nahezu gleich hohen Anteilen fossiler und erneuerbarer Energien ausgegangen. Basierend auf diesem GCM wurden für das Untersuchungsgebiet der Oberen Donau vier RCM entwickelt, die sich hinsichtlich des Grades der Temperaturerhöhung sowie des Verteilungsmusters und Ausmaßes der Niederschlagsänderungen unterscheiden. Diese vier Klimatrends – IPCC regional, REMO regional, MM5 regional und Fortschreibung – legen die generelle Klimaentwicklung fest.

Um spezielle klimatische Phänomene, die für einzelne Nutzergruppen von besonderer Relevanz sind, berücksichtigen zu können, steht als zweites Auswahlmodul die Klimavariante in vier Ausprägungen zur Verfügung. Die Klimavarianten spezifizieren den jeweiligen Klimatrend und entstammen einem statistischen Klimaantriebs-Generator (Mauser 2010a, S3), der nach stochastischen Regeln aus historischen meteorologischen Messreihen synthetische meteorologische Zeitreihen erzeugt. Aus der Vielzahl der realisierten Reihen (jeweils 5.000) werden Klimavarianten als Extrema ausgewählt, die mit einer Wahrscheinlichkeit von 5 Prozent eintreten. In GLOWA-Danube stehen vier dieser Varianten, die in Abstimmung mit den Stakeholdern als besonders relevant identifiziert wurden, zur Auswahl. Dies sind neben der ‚Baseline‘-Variante, die eine durchschnittliche Temperaturerhöhung vorgibt und somit einen sehr wahrscheinlich auftretenden Witterungsverlauf abbildet, die Varianten ‚5 warme Winter‘, ‚5 heiße Sommer‘ und ‚5 trockene Jahre‘. Die drei letztgenannten implizieren das Auftreten des jeweiligen klimatischen Phänomens in fünf aufeinanderfolgenden Jahren, da davon auszugehen ist, dass verschiedene Akteure beispielsweise ein trockenes Jahr relativ problemlos kompensieren können, bei fünf konsekutiven Jahren jedoch mit ernsthaften Schwierigkeiten konfrontiert sind. So erlaubt etwa die Klimavariante ‚5 warme Winter‘, die Auswirkungen fünf überdurchschnittlich warmer Winter in Folge beispielsweise auf Skigebiete als touristische Anbieter oder die Energieversorgung zu untersuchen, während ‚5 heiße Sommer‘ unter anderem für die Gletscherentwicklung, die Waldbrandgefahr und die Landwirtschaft von besonderem Interesse sind (Mauser 2010b, S4).

In Kombination bilden Klimatrend und Klimavariante ein Klimaszenario, das die physikalische Komponente des Mensch-Umwelt-Systems darstellt. Ein komplettes GLOWA-Danube Szenario setzt sich aus einem Klimaszenario und einem Gesellschaftsszenario als drittes Auswahlmodul sowie optionalen Maßnahmen zusammen (Abb. 3). Die Gesellschaftsszenarien gründen auf der Überlegung, dass sich neben der Umwelt auch die Gesellschaft in einem stetigen Wandel befindet, sodass Paradigmen und Mentalitäten zu identifizieren sind, die sich in der Zukunft als Trend durchsetzen könnten. Es wird angenommen, dass sich zukünftig verschiedene gesellschaftliche Strömungen und Entwicklungen in ihrer Gewichtung untereinander verändern (Kuhn u. Ernst 2010, S6). Auf Grundlage dieser Überlegungen werden in GLOWA-Danube zwei gegensätzliche Szenarien entwickelt, die um ein gemäßigtes ‚Baseline-Szenario‘, das einen business-as-usual Trend im Sinne einer Fortschreibung des Status quo etablierter Verhaltensmuster be-

schreibt, ergänzt werden. Das letztgenannte ist vor allem bezüglich der Interpretation der beiden anderen Szenarien als Referenztrend von Bedeutung.

Die beiden dialektischen Szenarien ‚Performance‘ und ‚Allgemeinwohl‘ sind den Gesellschaftlichen Megatrends ‚Free is fair‘ (Vorbild für Gesellschaftsszenario ‚Performance‘) und ‚Shared Destiny‘ (Vorbild für Gesellschaftsszenario ‚Allgemeinwohl‘) von Sinus-Sociovision entlehnt (De Vries u. Perry 2007). Auf einem hohen Abstraktionsniveau beschreibt das Szenario ‚Performance‘ eine Gesellschaft, in der sich der freie Wettbewerb in fast allen Lebensbereichen durchsetzt. Die vorherrschende Denkweise wird hedonistischer, materialistischer und marktwirtschaftlicher. Ein hohes Maß an individueller Freiheit und Leistungsdenken bringt es mit sich, dass der Sozialstaat auf eine Grundversorgung reduziert wird, staatliche Eingriffe werden als hemmend bewertet. Folglich wächst die Kluft zwischen arm und reich, und auch die Machtverhältnisse werden ungleicher. Demgegenüber dominiert im Szenario ‚Allgemeinwohl‘ gesellschaftspolitisch die Ansicht, dass sich ungebremsstes wirtschaftliches Wachstum zunehmend nachteilig auswirkt. Gesamtgesellschaftliche Verantwortung erlebt eine Renaissance, die Bedeutung sozialer Gerechtigkeit, nicht-materieller Werte und Chancengleichheit nimmt zu. Von Politik und Wirtschaft werden Verantwortungsbewusstsein, Nachhaltigkeit und Orientierung am Allgemeinwohl erwartet.

Zur Umsetzung dieser Beschreibungen in Szenarien muss die Eignung der Trends für jedes (Teil-)Modell geprüft werden. Die Prüfung erfolgt (teil-)modellspezifisch hinsichtlich der Fragestellung, ob jedes (Teil-)Modell mindestens einen Parameter enthält, der je nach Gesellschaftsszenario plausible, divergierende Ausprägungen aufweist. Diese Anforderung wird von jedem (Teil-)Modell erfüllt. Im Anschluss müssen die allgemein formulierten Szenarien in den (Teil-)Modellen konkretisiert werden. Dazu arbeitet jedes Akteurs-Teilprojekt sogenannte Storylines aus, d. h. textuelle Beschreibungen der konkreten modellspezifischen Inhalte der drei Gesellschaftsszenarien (für weitere Informationen s. Soboll et al. 2011).

Der vorgestellte Ansatz zur Implementierung der Gesellschaftsszenarien erlaubt sowohl eine heterogene Betrachtung möglicher Entwicklungstendenzen als auch eine differenzierte Darstellung gesellschaftspolitischer Prozesse in den einzelnen Akteursmodellen. Um zusätzlich einzelne Akteure gesondert behandeln zu können, stehen in einem GLOWA-Danube Szenario sogenannte ‚Maßnahmen‘ als vierte, optionale Auswahl zur Verfügung. Eine Maßnahme ist definiert als ein gezielter, räumlich und/oder zeitlich punktueller Eingriff, um einer Entwicklung im ausgewählten Gesellschaftsszenario entgegenzuwirken oder sie zu verstärken. Maßnahmen gelten als extern vorgegeben, das heißt, über ihren Einsatz können nicht die Akteure in den GLOWA-Danube (Teil-)Modellen selbst entscheiden. Sie umfassen beispielsweise regulatorische Eingriffe territorialer Gebietskörperschaften, um einen wettbewerbspolitischen Sonderstatus zu schaffen. Dies trifft im Falle der Skigebiets-Akteure im Tourismus-Modell zu, wenn etwa im Rahmen des Gesellschaftsszenarios ‚Allgemeinwohl‘, in dem der Ausbau künstlicher Beschneiungsinfrastruktur generell untersagt ist, eine bestimmte Anzahl nach räumlicher Lage oder wirtschaftlicher Leistungsfähigkeit ausgewählter Skigebiete dennoch die Genehmigung zum Ausbau erhält. Auf diese Weise lassen sich gezielt regionale/lokale Differenzen und resultierende Allokationen berücksichtigen. Vor allem bei der Implementierung der Maßnahmen spielen Stakeholder aus Politik und Wirtschaft als Impulsgeber eine entscheidende Rolle, um Plausibilität und Relevanz sicherzustellen.

Struktur und ausgewählte Ergebnisse zweier GLOWA-Danube (Teil-)Modelle

Im Folgenden werden Struktur und ausgewählte Ergebnisse von zwei der 16 GLOWA-Danube (Teil-)Modelle vorgestellt: Glaziologie als Beispiel für naturwissenschaftliche Modelle und Tourismus als Beispiel für humanwissenschaftliche Modelle.

Struktur des GLOWA-Danube Glaziologie Modells

Das Wassereinzugsgebiet der Oberen Donau weist im Jahr 2000 556 alpine Gletscher auf, die eine Fläche von rund 360 km² bedecken und deren Eisreserve ein Volumen von 16,4 km³ hat (Weber et al. 2009, 7). Für den Wasserhaushalt des Gebiets ist die temporäre Speicherung von Niederschlägen, entweder kurzfristig in der Schneedecke oder längerfristig in Form von Gletschereis von Bedeutung. Wenngleich die Gletscherschmelze hauptsächlich in den Kopfeinzugsgebieten während der Sommermonate einen nennenswerten Beitrag zum Abflussregime liefert und für die Unterlieger verhältnismäßig wenig Wasser bringt, wird sich das durch den Klimawandel erwartete, drastische Abschmelzen der Gletscher deutlich auf die Oberflächenbedeckung und somit auf die potenzielle Landnutzung auswirken. Die Speicherung von Niederschlägen in einer geschlossenen Schneedecke spielt dagegen nicht nur für den Wasserhaushalt im Alpenraum, sondern auch für die Flüsse in der Molasse und den Mittelgebirgen mit Gebirgsanschluss eine wesentliche Rolle. Darüber hinaus bedingt die Schneedeckendauer die Abschmelzperiode des Gletschereises während der aperen Phasen im Sommer. Aufgrund dieser Relevanz für das Untersuchungsgebiet werden im Teilprojekt Glaziologie sowohl die Schneeakkumulation und -ablation als auch Veränderungen der Masse und Gestalt der Gletscher modelliert. Diese Daten, stündliche Werte der Schneedicke sowie des gebildeten Schmelzwassers, dienen wiederum anderen GLOWA-Danube (Teil-)Modellen, darunter Agrarwirtschaft, Tourismus und Wasserwirtschaft, als Grundlage für weitere Berechnungen (Weber u. Kuhn 2010, 2.4.1).

Eine detaillierte und realistische Modellierung schneehydrologischer und glazialer Entwicklungen kann sich dabei nicht auf ein simples Massenbilanzmodell beschränken, da zwar die Gesamtmasse innerhalb eines Areals relativ konstant bleibt, sich dahinter jedoch starke lokale Variationen der Schneedistribution und auch der Eisreserve verbergen können. Der unter Klimawandelbedingungen erwartete drastische Gletscherrückgang ist vielmehr ein dynamischer Prozess, der im Wesentlichen durch die drei Vorgänge Akkumulation von Schnee, Ablation von Eis und Schnee sowie Fließen des Eisstroms Richtung Tal geprägt ist (Weber et al. 2010a, 2.4.2). Während letzterer den gesamten Eiskörper betrifft, lassen sich Akkumulation und Ablation hauptsächlich an der Gletscheroberfläche verorten. Um Veränderungen der Eisreserve und der Schneedeckendauer zu simulieren, müssen Schneefall und Schneeschmelze, aber auch Lawinenabgänge und Schneeverwehungen modelliert werden. Diese Prozesse sind unter anderem abhängig von der bodennahen Lufttemperatur, dem Niederschlag, der Strahlung, der Luftfeuchtigkeit, den Windverhältnissen und dem Relief. Naturgemäß sind diese Parameter als nichtlinear zu betrachten, weshalb eine Modellierung auf Proxel-Ebene zu ungenau wäre. Daher sind die Modellalgorithmen subskalig zu implementieren, d. h., die Gletscher müssen in einer höheren als der gewöhnlichen DANUBIA Auflösung von 1 km² abgebildet werden. Zu

diesem Zweck nähert das glaziologische Submodell SURGES (Subscale Regional Glacier Extension Simulator) den Eiskörper durch ein Stufenmodell an, sodass auf 1 km² zur gleichen Zeit in höheren Stufen Schnee und in niedrigeren Stufen Regen fallen bzw. Schmelzprozesse stattfinden können (Weber et al. 2010a, 2.4.2). Zudem wird subskalig, also pro Stufe, zwischen Schnee- und Eisoberflächen differenziert, da Ablationsprozesse, die mit einem Energiebilanzmodell simuliert werden, aufgrund unterschiedlicher Albedo in ihrer Effizienz variieren. Weiterhin ist SURGES in der Lage, Massen- und Flächenänderungen zu simulieren, sodass etwa Schnee, der auf einer Stufe ein Jahr überdauert, zum Teil in Eis umgewandelt und dem Eiskörper zugerechnet wird. Meist sind die Massenbilanzen der obersten Stufen positiv, die der untersten negativ, was bis zu einem gewissen Grad durch Eisbewegung ausgeglichen wird.

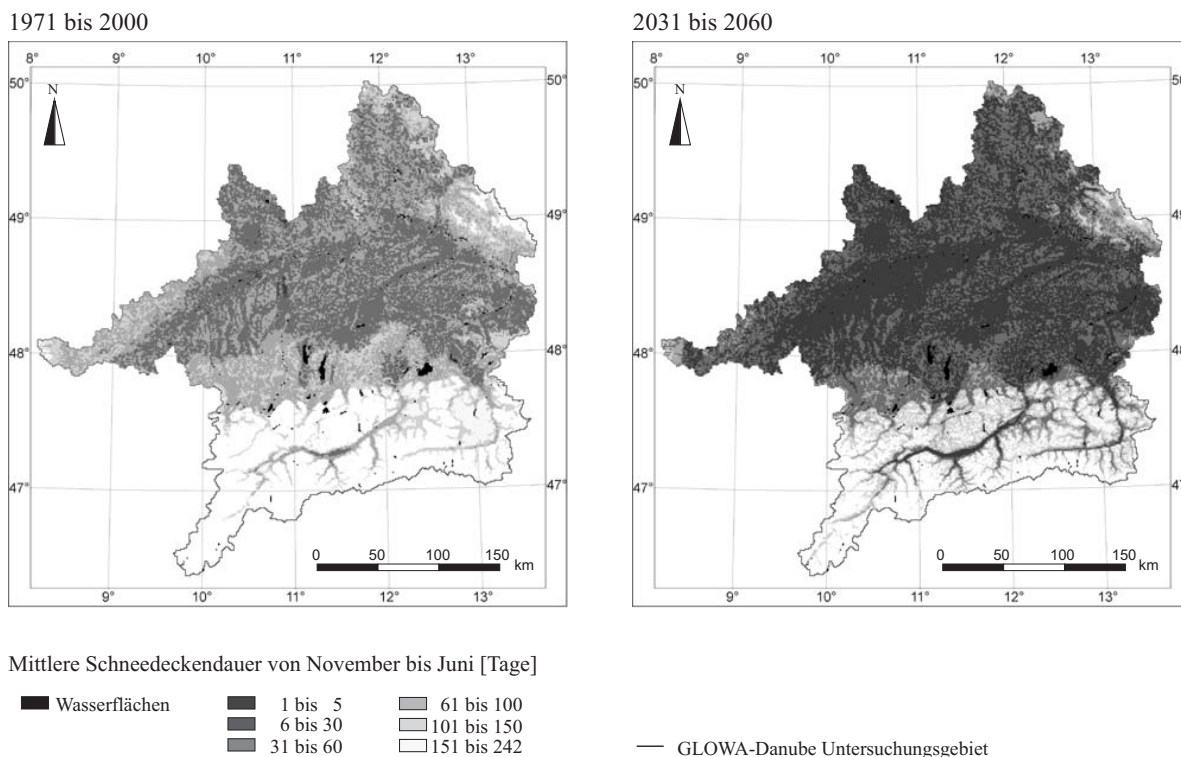
Ausgewählte Ergebnisse des GLOWA-Danube Glaziologie Modells

Klimawandelbedingte Veränderungen der Schneedecke haben im Wassereinzugsgebiet der Oberen Donau enormen Einfluss auf das Mensch-Umwelt-System. Als Kenngrößen sind dabei die räumlich sehr heterogen verteilte Schneehöhe und die Schneedeckendauer, die Anzahl der Tage mit einer Schneedecke von mindestens 1 mm Schneewasseräquivalent (SWE) während der Wintersaison, die in den Alpen in der Regel von November bis Juni reicht und 242 Tage umfasst, von Bedeutung (Weber u. Prasch 2010, 3.1.5). Alterationen der Schneedecke prägen nicht nur die hydrologischen Verhältnisse, die Gletschermassenbilanz und die Dauer der Vegetationsphase im Untersuchungsgebiet, sondern wirken sich auch in Form von Einschränkungen und Konzentrationsprozessen im Wintertourismus oder von Instandhaltungs- und Betriebskosten für die Verkehrsinfrastruktur aus.

Abbildung 4 zeigt die mittlere Veränderung der Schneedeckendauer in der Simulationsperiode 2031 bis 2060 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1971 bis 2000 im Szenario Klimatrend ‚REMO regional‘ mit der Klimavariante ‚Baseline‘ und dem Gesellschaftsszenario ‚Baseline‘. Im Simulationszeitraum nimmt die Schneedeckendauer mit dem Anstieg des Temperaturniveaus in allen Höhenlagen ab, sodass die Schneeverhältnisse, die sich heute in einer Höhe von 1.000 m über NN zeigen, zukünftig erst in etwa 2.000 m über NN zu finden sein werden (Prasch u. Mauser 2010, 298). Während im gesamten Gebiet zwischen 1971 und 1990 an durchschnittlich 101 Tagen Schnee lag, ist dies im Mittel der Periode 2031 bis 2060 nur noch an 59 Tagen der Fall (Weber u. Prasch 2010, 3.1.5). Dies wirkt sich vor allem auf die Betriebsfähigkeit von Skigebieten negativ aus und wird vermutlich räumliche Konzentrationsprozesse, die sich heute bereits abzeichnen, weiter verstärken. Unter den gegebenen Simulationsbedingungen tritt im Flachland Schnee zwar noch seltener auf, Schneefreiheit ist aber auch in diesen Gebieten nicht zu erwarten, sodass zukünftig beispielsweise nach wie vor die Bereitstellung eines Straßenwinterdienstes erforderlich ist.

Über alle Höhenlagen nehmen die Niederschläge bis zum Ende der Simulation im Mittel um ca. 6 Prozent ab. Diese Abnahme betrifft vor allem die Sommermonate und führt dazu, dass das ‚Wasserschloss Alpen‘ für Molasse und Mittelgebirge an Bedeutung verliert. In Lagen unterhalb 2.000 m über NN taut der Schnee zunehmend schneller ab, was zu einer deutlich früher einsetzenden Schneeschmelze führt. In Lagen über 3.000 m über NN treten im Referenzzeitraum noch relativ häufig Sommerschneefälle auf, mit denen

Abb. 4 Simulierte mittlere Schneedeckendauer 1971 bis 2000 und 2031 bis 2060 (Klimatrend ‚REMO regional‘ – Klimavariante ‚Baseline‘ – Gesellschaftsszenario ‚Baseline‘)



Quelle: Eigene Darstellung 2010

in Zukunft nicht mehr zu rechnen ist. Dadurch reduziert sich der Anteil des Schnees am Gesamtniederschlag in diesen Höhenlagen im Durchschnitt von rund 80 Prozent auf unter 70 Prozent (Weber u. Prasch 2010, 3.1.5). Die jährliche Schneeakkumulation geht dort bis zum Ende des Simulationszeitraums bezogen auf den Referenzzeitraum um rund 250 mm SWE zurück. Schneefreie Areale haben besonders in den Gletschergebieten gravierende Auswirkungen, da sie längere Ablationsperioden verursachen, was zukünftig zu stark negativen Massenbilanzen und einem beschleunigten Gletscherschwund führt. Es ist daher davon auszugehen, dass bereits zur Mitte des 21. Jahrhunderts die Gletscherflächen im Einzugsgebiet der Oberen Donau weitgehend verschwunden sind (Prasch u. Mauser 2010, 300).

Struktur des GLOWA-Danube Tourismus Modells

Stellvertretend für die humanwissenschaftlichen GLOWA-Danube (Teil-)Modelle wird an dieser Stelle die konzeptionelle Struktur des Tourismus Modells vorgestellt. Dieses Modell quantifiziert den touristischen Wasserverbrauch, eine Größe, die weder in der amtlichen noch in nicht-amtlichen Statistiken angegeben wird. Darüber hinaus werden der Betriebszustand verschiedener touristischer Infra- und Suprastruktureinrichtungen (Mundt 1998, 287) sowie daraus resultierende nachfrageseitige Volumenänderungen und

Dislokationen unter Klimawandelbedingungen auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen analysiert. So lässt sich v. a. die touristische Angebotsseite detailliert untersuchen, was beispielsweise Entwicklungsstudien für einzelne Kommunen oder Landkreise ermöglicht. Zu diesem Zweck ist das Tourismus Modell hauptsächlich angebotsorientiert konzipiert und besteht aus den drei Submodellen ‚Akteure-Modell‘, ‚Attraktivitätsmodell‘ und ‚Wasserverbrauchsmodell‘. Das ‚Akteure-Modell‘ enthält verschiedene Klassen wasserbedarfsintensiver touristischer Infra- und Suprastruktur-Einrichtungen, darunter Skigebiete mit künstlicher Beschneigung, Golfplätze, Schwimmbäder, Hotels und Gastronomiebetriebe. Jede dieser Klassen verfügt über spezielle Attribute, wie die Anzahl an Schneekanonen für die Klasse Skigebiet oder die Flächengröße der Spielbahnen für die Klasse Golfplatz. Zudem kann jeder Akteur aus einer Reihe von Handlungsoptionen diejenige auswählen, die aufgrund der wahrgenommenen Umweltbedingungen im aktuellen Simulationstakt als optimal bewertet wird. Die gewählte Aktion wird durchgeführt und trägt ihrerseits zu Änderungen der Umwelt bei (Rauh u. Hesse 2002, 10ff.).

Jeder im Modell implementierte Akteur hat eine Entsprechung in der Realität, sodass in Vollerhebungen alle relevanten touristischen Einrichtungen mit ihren individuellen Parameterausprägungen sowie der expliziten räumlichen Verortung im Untersuchungsgebiet erhoben wurden (Sax 2008, 52ff.). Das ‚Akteure-Modell‘ simuliert dementsprechend 253 Skigebiete, 145 Golfplätze, 662 Schwimmbäder, rund 50.000 Beherbergungs- und 30.000 Gastronomiebetriebe, die über verschiedene, für die Modellierung wesentlichen Attribute verfügen.

Die aufgeführten touristischen Einrichtungen fungieren als touristische Attraktionen eines Gebiets. Wenn zum Beispiel ein Skigebiet aufgrund klimatischer Bedingungen vorübergehend oder dauerhaft schließen muss, wirkt sich dies negativ auf die touristische Anziehungskraft der Destination aus. Potenzielle Touristen würden dann unter Umständen auf schneesicherere Gebiete in höheren Lagen ausweichen. Derartige nachfrageseitige Reaktionen werden im ‚Attraktivitätsmodell‘ berücksichtigt. Dieses berechnet basierend auf den Betriebszuständen der touristischen Anbieter aus dem ‚Akteure-Modell‘, der gemeindespezifischen Saisonalität und der Vorjahreszahl der Übernachtungen die touristische Attraktivität jeder der über 2.100 Gemeinden im Untersuchungsgebiet mittels Regressionsgleichungen (Dingeldey 2008, 63ff.). Je reizvoller eine Gemeinde von Touristen empfunden wird, desto mehr Übernachtungen werden generiert. Da Tagesbesucher beachtlich zum gesamten Tourismusaufkommen beitragen (Maschke 2005), schätzt das Modell zusätzlich deren Anzahl auf Basis der jeweiligen Übernachtungszahl.

Durch jede Übernachtung und jede Tagesreise entsteht nachfrageseitig ein Wasserbedarf, etwa durch den Aufenthalt in einem Hotel (Sax 2008, 84ff.). Ebenso weist jede in Betrieb befindliche touristische Einrichtung einen Wasserbedarf auf, beispielweise für die künstliche Beschneigung von Skigebieten oder die Bewässerung der Greens auf Golfplätzen. Diese Bedarfe werden modellintern simuliert. Um den gesamten touristischen Wasserbedarf im Untersuchungsgebiet zu berechnen, liefern das ‚Akteure-Modell‘ und das ‚Attraktivitätsmodell‘ angebots- und nachfrageseitige Wasserbedarfswerte an das dritte Submodell, das ‚Wasserverbrauchsmodell‘. Neben der Anzahl der Übernachtungen und Tagesbesuche ist der touristische Wasserverbrauch eine Information, die anderen GLOWA-Danube (Teil-)Modellen, etwa dem Wasserversorgermodell über Schnittstellen für weitere Berechnungen zur Verfügung gestellt wird. Das Tourismus Modell reagiert als Akteursmodell zudem auf die vorgestellten Gesellschaftsszenarien, indem die Aus-

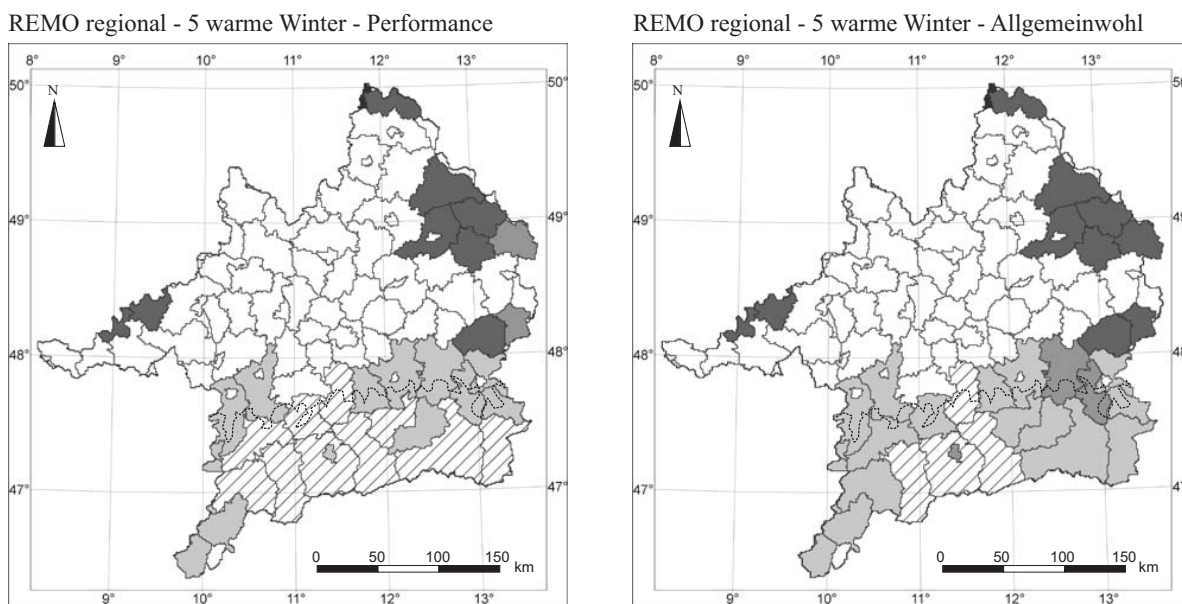
prägungen ausgewählter Modellparameter variiert werden. Hierdurch werden u. a. die Entwicklung der Übernachtungsnachfrage, der Wasserbedarf im Beherbergungs- und Gastronomiewesen, der Ausbau der Beschneidungskapazitäten von Skigebieten, die Maximaltemperatur für künstliche Beschneidung sowie die Fairwaybewässerung und das Irrigationsintervall von Golfplätzen beeinflusst. Je nach gewähltem Gesellschaftsszenario nehmen diese Parameter unterschiedliche Werte an. Darüber hinaus besteht für Stakeholder die Möglichkeit, jeden der im Modell implementierten Parameter individuell einzustellen, um etwa Simulationen, die als Entscheidungshilfe für Investitionsüberlegungen dienen, präziser zu gestalten. So lässt sich beispielsweise prospektiv der ökonomische Nutzen eines Ausbaus der Beschneidungsinfrastruktur analysieren, indem ein Simulationslauf mit dem gegenwärtigen Bestand der Schneekanonen einem Lauf mit potenziell anzuschaffenden Schneekanonen gegenübergestellt wird.

Ausgewählte Ergebnisse des GLOWA-Danube Tourismus Modells

Aus der Vielzahl der Ergebnisse im Bereich Tourismus (Soboll et al. 2010a; Soboll et al. 2010b; Dingeldey u. Soboll 2010; Soboll u. Schmude 2011) wird die Entwicklung der Öffnungstage von Skigebieten herausgegriffen, da diese zum einen besonders stark von Klimawandel beeinflusst werden und der Wintertourismus im Untersuchungsgebiet zum anderen einen bedeutenden Wirtschaftsfaktor darstellt. Um den Einfluss der gesellschaftlichen Entwicklung beurteilen zu können, werden zwei Simulationsläufe mit identischen Klimaszenarien und den beiden gegenläufigen Gesellschaftsszenarien ‚Performance‘ und ‚Allgemeinwohl‘ durchgeführt. Als Klimatrend wird ‚REMO regional‘ gewählt, als Klimavariante ‚5 warme Winter‘, denn eine Folge von fünf Jahren mit überdurchschnittlich warmen Wintersaisons stellt für den ökonomischen Betrieb von Bergbahnen eine enorme Bedrohung dar. Von besonderem Interesse sind in diesem Kontext die Betriebsfähigkeit und die Gewinnschwelle von Skigebieten. Letztere erhöht sich, wenn beispielsweise klimawandelbedingt Investitionen in Beförderungs- und Beschneidungsinfrastruktur erforderlich werden, um konkurrenzfähig zu bleiben. Dadurch werden zur Deckung der Investitionskosten entweder mehr oder umsatzstärkere Öffnungstage pro Saison benötigt.

Die linke Karte in Abbildung 5 (Gesellschaftsszenario ‚Performance‘) weist im Vergleich zur rechten Karte (Gesellschaftsszenario ‚Allgemeinwohl‘) einen geringeren Rückgang der Öffnungstage auf, was auf den Ausbau der Beschneidungskapazitäten zurückzuführen ist. Bei beiden Szenarien verstärken sich bereits heute beginnende räumliche Konzentrationsprozesse, die vor allem die großen und hochgelegenen Skigebiete der österreichischen Teile des Untersuchungsgebiets begünstigen. Dort wird trotz des Klimawandels auch in Zukunft Wintersport noch nahezu uneingeschränkt möglich sein. Dagegen werden in beiden Simulationsläufen besonders die Mittelgebirgsregionen, wie etwa der Bayerische Wald, zum Teil drastische Einbußen im Wintersporttourismus erleben. Auch im Gesellschaftsszenario ‚Performance‘ wird jedoch in einigen Landkreisen die gegenwärtige Gewinnschwelle der Öffnungstage unterschritten. Diese Tendenz stellt sich noch verschärfter bei der Betrachtung der Entwicklung der Zahl optimaler Skitage dar. Dieser Parameter wurde in Kooperation mit Stakeholdern ausgearbeitet. Die Stakeholder zeigten Interesse an der Implementierung dieses Parameters, der Tage identifiziert, die optimale Bedingungen für das Skifahren bieten, da bei der bereits heute beginnenden,

Abb. 5 Simulierte prozentuale Veränderung der möglichen Betriebstage von Skigebieten auf Landkreisebene 2042 bis 2050 im Vergleich zu 2012 bis 2020



Veränderung der durchschnittlichen Betriebstage 2042 bis 2050 im Vergleich zu 2012 bis 2020 auf Landkreisebene [%]

- ▨ mehr als 0
- 0 bis < -25
- -25 bis < -50
- -50 bis < -75
- -75 und weniger
- keine Daten
- Landkreisgrenze
- ⋯ Alpengrenze

Quelle: Eigene Darstellung 2010

klimatisch bedingten Verkürzung der Wintersaison der erforderliche Umsatz an weniger Tagen generiert werden muss. Der optimale Skitag berücksichtigt neun Variablen, darunter die gefühlte Temperatur, die Windgeschwindigkeit, die Sonnenscheindauer, die Niederschlagsmenge und die Information, ob es sich um einen Werktag, Wochenend- oder Ferientag handelt. Es zeigt sich, dass in allen Szenarien zum einen die Anzahl optimaler Skitage abnimmt und zum anderen eine zeitliche Verschiebung in Richtung Frühjahr (Ostern) stattfindet. Daraus ist für Bergbahnbetreiber und Tourismusorganisationen abzuleiten, dass beispielsweise künstliche Beschneieung länger, d. h. bis einschließlich April vorgenommen oder Werbemaßnahmen gezielt später in der Saison durchgeführt werden sollten.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Klimafolgenforschung steht vor der Aufgabe, komplexe Mensch-Umwelt-Systeme adäquat zu analysieren, auch um das Informationsbedürfnis einer breiten Öffentlichkeit zu bedienen (Glaeser 2002, 65). Hierzu sind Methoden und Instrumente zu entwickeln, die eine integrierte Problembetrachtung inklusive der umfassenden Wechselwirkungen zwischen Umwelt und Gesellschaft erlauben, was gleichzeitig das Erfordernis inter- und intradisziplinärer Ansätze mit sich bringt. Darüber hinaus müssen gegenwärtige und po-

tenzielle zukünftige Prozessabläufe in ihrer spezifischen räumlichen Disposition bewertet werden (Borsdorf 2002, 34), sodass eine regionale Differenzierung für die Generierung relevanter Ergebnisse unumgänglich ist. Schließlich liegt eine weitere wesentliche Aufgabe in der plausiblen ‚Übersetzung‘ der Forschungsergebnisse für Stakeholder, die auf diese Weise Entscheidungsunterstützung im Rahmen der Anwendung von Adaptationsstrategien erhalten.

Diese Zielsetzungen verfolgt das Projekt GLOWA-Danube mit einem integrativen Modellierungssystem und der Anwendung verschiedener Klima- und Gesellschaftsszenarien. Die vorgestellten Ergebnisse des Tourismus-Modells verdeutlichen, dass für die Generierung zuverlässiger und qualitativ hochwertiger Aussagen die Kopplung natur- und humanwissenschaftlicher Modelle und somit die Integration verschiedener Wissenschaftsdisziplinen unverzichtbar ist. Ein monodisziplinär angelegtes Projekt könnte diesen Anforderungen schwerlich gerecht werden, da zwar Wissen über den Tourismussektor vorhanden ist, die Expertise hinsichtlich Klimamodellierung, hydrologischer Verhältnisse etc. in einem rein humanwissenschaftlichen Projekt jedoch nicht ausreicht. Der Framework-Ansatz von DANUBIA erlaubt durch die Implementierung systemweit gültiger Regeln die Einbindung zahlreicher (Teil-)Modelle, wodurch auch nachträgliche Erweiterungen problemlos möglich sind.

Darüber hinaus erweist sich die Einbindung der Stakeholder in den Forschungsprozess als äußerst zielführend, da auf diese Weise die Entwicklung und Bewertung realistischer Adaptationsmaßnahmen garantiert wird. Das Entscheidungsunterstützungssystem DANUBIA bietet Stakeholdern aus Politik und Wirtschaft zudem die Möglichkeit, individualisierte Einstellungen vorzunehmen und ermöglicht durch seine Transparenz die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse. Der erfolgreiche Brückenschlag zwischen Wissenschaft und Praxis zeigt sich beispielsweise in der Ausarbeitung des Parameters ‚optimaler Skitag‘, dessen Relevanz und Erforderlichkeit durch Stakeholder-Anfragen deutlich wurde.

Nach Abschluss des Projekts GLOWA-Danube wird DANUBIA als Open-Source Software zur Verfügung gestellt, um das gewonnene Wissen einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen und Weiterentwicklungen des Systems zu ermöglichen.

Literatur

- Aulinas, M., C. Turon u. M. Sánchez-Marrè 2009: Agents as a decision support tool in environmental processes. The state of the art. In: U. Cortés u. M. Poch (Hrsg.): *Advanced agent-based environmental management systems*. Basel, Boston, Berlin, S. 5-35.
- Barthel, R., A. Meleg, D. Nickel u. A. Trifkovic 2010: Wasserentnahmen der öffentlichen Trinkwasserversorgung. Teilprojekt Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung und Wasserversorgung. In: *GLOWA-Danube Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas Einzugsgebiet Obere Donau*. München, 1.16, http://www.glowa-danube.de/atlas/texte/t1_16.pdf (11.12.2010).
- Becker, E. u. T. Jahn 2006: *Soziale Ökologie: Grundzüge einer Wissenschaft von den gesellschaftlichen Naturverhältnissen*. Frankfurt/Main.
- Beyerl, K. 2010: Der Klimawandel in der psychologischen Forschung. In: Voss, M. (Hrsg.): *Der Klimawandel. Sozialwissenschaftliche Perspektiven*. Wiesbaden, S. 247-266.
- Borsdorf, A. 2002: Die Mensch-Umwelt-Beziehung. Ein zentrales Forschungsthema der Geographie. In: V. Winiwarter u. H. Wilfing (Hrsg.): *Historische Humanökologie. Interdisziplinäre Zugänge zu Menschen und ihrer Umwelt*. Wien. S. 27-58.
- Cash, D. W., W. C. Clark, F. Alcock, N. M. Dickson, N. Eckley, D. H. Guston, J. Jäger, u. R. B. Mitchell 2003: Knowledge systems for sustainable development. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100/14, S. 8086-8091.
- Chen, F. u. J. Dudhia 2001: Coupling an advanced land-surface/hydrology model with the Penn State/NCAR MM5 modeling system. Part I: Model implementation and sensitivity. In: *Monthly Weather Review*, 129, S. 569-585.
- de Vries, J. u. T. Perry 2007: Der demografische Wandel und die Zukunft der Gesellschaft. Szenarien für den Umgang mit einer alternden und schrumpfenden Bevölkerung. In: *Den demografischen Wandel gestalten!, Forum Wohnen und Stadtentwicklung*, 3/2007, S. 115-119, <http://www.vhw.de/publikationen/verbandszeitschrift/archiv/2007/heft-3> (11.12.2010).
- Dilling, L. 2007: Towards science in support of decision making. Characterizing the supply of carbon cycle science. In: *Environmental Science and Policy*, 10, S. 48-61.
- Dingeldey, A. 2008: Modellierung der touristischen Attraktivität zur Bestimmung der Übernachtungsnachfrage im Einzugsbereich der Oberen Donau unter Berücksichtigung von Umwelteinflüssen. München.
- Dingeldey, A. u. A. Soboll 2010: The Impact of Climate Change on Alpine Leisure Tourism in Germany and Austria. In: A. Hergesell u. J. J. Liburd (Hrsg.): *Proceedings of BEST EN Think Tank X. Networking for Sustainable Tourism, 27-30 June, Vienna, Austria*. Sydney. S. 101-115.
- Fuchs, A. 2010: Klima und Gesellschaft. In: Voss, M. (Hrsg.): *Der Klimawandel. Sozialwissenschaftliche Perspektiven*. Wiesbaden, S. 41-48.

- Glaeser, B. 2002: Der humanökologische Baustein zur interdisziplinären Theoriebildung und zur transdisziplinären Forschung. In: V. Winiwarter u. H. Wilfing (Hrsg.): Historische Humanökologie. Interdisziplinäre Zugänge zu Menschen und ihrer Umwelt. Wien. S. 59-86.
- Görg, C. 2003: Regulation der Naturverhältnisse. Zu einer kritischen Theorie der ökologischen Krise. Münster.
- Görg, C. 2008: Regulation globaler Naturverhältnisse. Zur Vermittlung von Umwelt und Gesellschaft im globalen Wandel. In: Berichte zur deutschen Landeskunde, 82/2, S. 95-113.
- Götze, U. 1991: Szenario-Technik in der strategischen Unternehmensplanung. Wiesbaden.
- Hennicker, R. u. M. Ludwig 2006: Design and Implementation of a Coordination Model for Distributed Simulations. In: Mayr, H. C. u. R. Breu (Hrsg.): MOD'06, Lecture Notes Informatics P-82, S. 83-97, <http://www.pst.ifi.lmu.de/veroeffentlichungen/hennicker-ludwig:modellierung:2006.pdf> (11.12.2010).
- Hennicker, R., S. S. Bauer, S. Janisch u. M. Ludwig 2010: A Generic Framework for Multi-Disciplinary Environmental Modelling. In: Swayne, D. A., W. Yang, A. A. Voinov, A. Rizzoli u. A. Filatova (Hrsg.): Proceedings of the iEMSs Fifth Biennial Meeting: International Congress on Environmental Modelling and Software (iEMSs 2010). Ottawa, 14 Seiten.
- Houghton, J. T., G. J. Jenkins u. J. J. Ephraums (Hrsg.) 1990: Climate Change. The IPCC Scientific Assessment. New York, Port Chester, Melbourne, Sydney.
- Jacob, D., H. Göttel, S. Kotlarski, P. Lorenz u. K. Sieck 2008: Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland. Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Climate Change 11/08, <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3513.pdf> (11.12.2010).
- Klügl, F. 2001: Multiagentensimulation. Konzepte, Werkzeuge, Anwendung. München.
- Kuhn, S. u. A. Ernst 2010: Gesellschaftsszenarien in GLOWA-Danube. In: GLOWA-Danube Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas Einzugsgebiet Obere Donau. München, S6, <http://www.glowa-danube.de/atlas/s6.php> (11.12.2010).
- Kuhn, S., A. Ernst u. W. Mauser 2010: GLOWA-Danube-Szenarien. In: GLOWA-Danube Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas Einzugsgebiet Obere Donau. München, S1, <http://www.glowa-danube.de/atlas/s1.php> (11.12.2010).
- Liu, Y., H. Gupta, E. Springer u. T. Wagener 2008: Linking science with environmental decision making. Experiences from an integrated modeling approach to supporting sustainable water resources management. In: Environmental Modelling and Software, 23, S. 846-858.
- Ludwig, R., W. Mauser, S. Niemeyer, A. Colgan, R. Stolz, H. Escher-Vetter, M. Kuhn, M. Reichstein, J. Tenhunen, A. Kraus, M. Ludwig, M. Barth u. R. Hennicker 2003: Web-based modeling of energy, water and matter fluxes to support decision making of mesoscale catchments. The integrative perspective of GLOWA-Danube. In:

Physics and Chemistry of the Earth 28, S. 621-634.

- Maschke, J. 2005: Tagesreisen der Deutschen. In: dwif (Deutsches Wirtschaftswissenschaftliches Institut für Fremdenverkehr e.V.) (Hrsg.): Schriftenreihe des dwif, 50. München.
- Mauser, W., R. Weidinger u. S. Stöber 2010: Einleitung. In: GLOWA-Danube Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas Einzugsgebiet Obere Donau. München, E1, <http://www.glowa-danube.de/atlas/e1.php> (11.12.2010).
- Mauser, W. 2010a: Der statistische Klimaantriebs-Generator. In: GLOWA-Danube Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas Einzugsgebiet Obere Donau. München, S3, <http://www.glowa-danube.de/atlas/s3.php> (11.12.2010).
- Mauser, W. 2010b: Die GLOWA-Danube Klimavarianten aus dem statistischen Klimaantriebs-Generator. In: GLOWA-Danube Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas Einzugsgebiet Obere Donau. München, S4, , <http://www.glowa-danube.de/atlas/s4.php> (11.12.2010).
- McNie, E. C. 2007: Reconciling the supply of scientific information with use demands. An analysis of the problem and review of the literature. In: Environmental Science and Policy, 10, S. 17-38.
- Mickwitz, P., F. Aix, S. Beck, D. Carss, N. Ferrand, C. Görg, A. Jensen, P. Kivimaa, C. Kuhlike, W. Kuindersma, M. Mánez, M. Melanen, S. Monni, A. B. Pedersen, H. Reinert u. S. v. Bommel 2009: Climate policy integration, coherence and governance. Peer Report 2, http://www.peer.eu/fileadmin/user_upload/publications/PEER_Report2.pdf (11.12.2010).
- Mundt, J. W. 1998: Einführung in den Tourismus. München, Wien.
- Prasch, M. u. W. Mauser 2010: Globaler Wandel des Wasserkreislaufs am Beispiel der Oberen Donau. In: Arbeitskreis KLIWA (Klimaveränderung und Wasserwirtschaft) (Hrsg.): 4. KLIWA-Symposium Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft. (= KLIWA-Berichte, 15). Karlsruhe. S. 293-302.
- Rauh J. u. R. Hesse 2002: Agentenbasiertes geographisches Informations- und Simulationssystem als Werkzeug zur Shopping-Center-Planung. In: Geoinformationssysteme. Zeitschrift für raumbezogene Informationen und Entscheidungen, 12, S. 10-15.
- Sarewitz, D. u. R. A. Pielke 2007: The neglected heart of science policy: reconciling supply of and demand for science. In: Environmental Science and Policy, 10, S. 5-16.
- Sax, M. 2008: Entwicklung eines Konzepts zur computergestützten Modellierung der touristischen Wassernutzung im Einzugsgebiet der Oberen Donau unter Berücksichtigung des Klimawandels. In: Beiträge zur Wirtschaftsgeographie Regensburg, 11. Regensburg.
- Soboll, A., J. Schmude u. A. Dingeldey 2010a: Teilprojekt Tourismusforschung. Auswirkungen unterschiedlicher Szenarien auf die Öffnungstage von Skigebieten. In: GLOWA-Danube Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas Einzugsgebiet Obere Donau. München, 3.2.1, http://www.glowa-danube.de/atlas/texte/t3_2_1.pdf (11.12.2010).
- Soboll, A., J. Schmude u. A. Dingeldey 2010b: Teilprojekt Tourismusforschung. Aus-

- wirkungen unterschiedlicher Szenarien auf den Wasserbedarf von Golfplätzen. In: GLOWA-Danube Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas Einzugsgebiet Obere Donau. München, 3.2.2, http://www.glowa-danube.de/atlas/texte/t3_2_2.pdf (11.12.2010).
- Soboll, A, M. Elbers, R. Barthel, J. Schmude, A. Ernst u. R. Ziller 2011: Integrated regional modelling and scenario development to evaluate future water demand under global change conditions. In: Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. Zum Druck angenommen, erscheint 1. Quartal 2011.
- Soboll, A. u. J. Schmude 2011: Simulating Tourism Water Consumption under Climate Change Conditions Using Agent-Based Modeling. The Example of Ski Areas. In: Annals of the Association of American Geographers. Zum Druck angenommen, erscheint 1. Quartal 2011. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, H. L. Miller u. Z. Chen (Hrsg.) 2007: Climate Change 2007. The physical science basis. Contribution of working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York.
- Strebel, H. 2003: Umweltorientierung in betrieblichen Querschnittsbereichen. In: M. Kramer, H. Strebel u. G. Kayser (Hrsg.): Internationales Umweltmanagement Band III. Operatives Umweltmanagement im internationalen und interdisziplinären Kontext. Wiesbaden.
- Weber, M., L. Braun, W. Mauser u. M. Prasch 2009: Die Bedeutung der Gletscherschmelze für den Abfluss der Donau gegenwärtig und in der Zukunft. In: Mitteilungsblatt des hydrographischen Dienstes in Österreich, 86, S. 1-30.
- Weber, M. u. M. Kuhn 2010: Teilprojekt Glaziologie. Mittlere Schneedeckendauer. In: GLOWA-Danube Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas Einzugsgebiet Obere Donau. München, 2.4.1, http://www.glowa-danube.de/atlas/texte/t2_4_1.pdf (11.12.2010).
- Weber, M. u. M. Prasch 2010: Teilprojekt Glaziologie. Mittlere Schneedeckendauer von November bis Juni unter dem Klimatrend REMO regional und der Klimavariante Baseline. In: GLOWA-Danube Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas Einzugsgebiet Obere Donau. München, 3.1.5, http://www.glowa-danube.de/atlas/texte/t3_1_5.pdf (11.12.2010).
- Weber, M., M. Prasch, M. Kuhn u. A. Lambrecht 2010a: Teilprojekt Glaziologie. Veränderung der Eisreserve in der Zukunft. In: GLOWA-Danube Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas Einzugsgebiet Obere Donau. München, 2.4.2, http://www.glowa-danube.de/atlas/texte/t2_4_2.pdf (11.12.2010).
- Weber, M., M. Prasch, M. Kuhn, A. Lambrecht u. W. Hagg 2010b: Eisreserve. Teilprojekt Glaziologie. In: GLOWA-Danube Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas Einzugsgebiet Obere Donau. München, 1.8, <http://www.glowa-danube.de/atlas/texte/eisreserve.pdf> (11.12.2010).

Simulating tourism water consumption under climate change conditions using agent-based modeling. The example of ski areas

Authors:

Anja Soboll, Jürgen Schmude

Abstract

This article presents a new method of examining the impact of climate change on tourism using the example of ski areas. To date the consequences of climate change have mostly been investigated at high levels of aggregation in space and time, such as countries and years. Detailed analyses are essential, however, because different regions are affected to varying degrees. Within a complex model incorporating feedback between various system components, such as hydrological and climatic processes as well as demography, and economy, possible developments of various sectors are simulated in the Upper Danube watershed in Central Europe. Using a multi-agent approach, we rise to the challenge to take both socioeconomic and natural aspects into account and enable the simulation of human system reaction and adaptation to climate change. The presented approach is an adequate way to consider the fact that within human-environment-systems, environmental changes influence human living conditions and vice versa. We use a multi-agent system, in combination with different climate and societal scenarios to investigate the supply-side operating ability of tourism facilities and the demand-side reactions. Thus, we can calculate the tourism water demand, which is not recorded in official statistics. We present and discuss selected results for ski areas, such as the regionally differentiated development of tourism water consumption and overnight stays' trends. With their high level of individualization, the Tourism Model simulation results foster the finding of economically reasonable investment strategies. In addition, the Tourism Model results give rise to future research, such as tourism demand-side examinations concerning the perception of climate change, and resulting behavioral shifts.

Key Words: agent-based modeling, scenario technique, tourism, ski areas, climate change.

Tourism is considered one of the world's leading industries in terms of both employment and economic effects (WTTC 2009). For this reason, any kind of impact on tourism will also have serious economic, social, and political consequences. The tourism industry is influenced by a complex interaction of different internal factors, including the generation of new tourism market segments, and external factors, particularly changing economic conditions, and price development. Among these, weather and climate are natural factors, which are fundamental to both the tourist supply side as well as to the demand side. On the supply side, weather and climate are part of the natural resources and environment (Cooper et al. 2008). For many tourist destinations, climate is one of the attractors for guests. Market segments like sea-sand-sun tourism, and activity vacations are dependent on weather and climate.

The water balance of individual destinations or of a tourism region is vital to sustainable tourism, where water not only serves as a piece of scenery but also as a consumer good. Climate change may have a significant impact on the water balance not only in terms of altered water availability but also in terms of the frequency and intensity of floods and low waters. Therefore, any climatic change will affect destination areas and likewise the resulting tourist behavior, as climate/environment is a relevant travel motivation. More than fifty percent of German tourists regard 'sun, warm weather' as particularly important for their destination choice (Hall and Higham 2005), and 'sane climate' is of similar significance (Aderhold 2008). If climate conditions of a tourist destination change and no longer accord with demand-side preferences, this will cause substitutional effects and hence a spatial and/or temporal shift of travel flows.

While the impact of weather and climate on tourism has been investigated in detail, the influence of climate change has to date barely been researched because of the complexity of this critical issue. The effect of climate change is difficult to quantify due to interdependences between numerous factors affecting tourism supply and demand. It has to be regarded that human activities adapt to change. Thus, they cannot be described as static, repetitive process sequences determined by trivial input-output-functions. Instead, a flexible system allowing parallel interactive simulation of natural and socioeconomic processes is required, which enables reactions to changes by making decisions on the individual level (Barthel et al. 2008). Thus, for the purposes of integrative research projects, like the one presented here, which investigate such human-environment interactions, the approach of a dynamic, agent-based spatial simulation model is conceivable. In geography, as in many other disciplines, multi-agent system models have recently become established. One advantage is that they offer high flexibility by being able to model decentralized, autonomous decision making. A second benefit is that interactions among agents and between agents and their environment do not assume equilibrium conditions in multi-agent systems. Socioeconomic processes are delineated as the summation of the individual behavior of a multitude of agents (Auyang 1998). The observed phenomena are emergent structures resulting from the singular actions of the system (Herrler and Klügl 2007).

Different actor classes, such as ski areas, households, or industrial enterprises will react varyingly on climate change conditions, depending on their specific location, options for action, and preferences. Hence, an attempt to model such a system has to allow for a differentiated treatment and realistic representation of actors to consider feedbacks between supply and demand. Climate change will not only influence the state of resources like water but also the type and extent of consumption including additional irrigation or water use restrictions. Moreover, the quantity of water consuming actors may vary, as among others some ski areas might have to close down due to climatic changes. In turn, environment and the resources state are further amended by changing consumption patterns (Barthel et al. 2008). Correspondingly, Parker et al. (2003) evaluate multi-agent systems as suitable for modeling interactions between biophysical and socioeconomic environments. For these reasons, the multi-agent system approach was identified as most appropriate for analyzing the complex impact of climate change on the investigation area of the project presented in this article.

Superior Modeling Concept

The project's investigation area is the Upper Danube watershed. With its more than 11 million inhabitants and an area of 77,000 km² (Figure 1), it represents one of the largest and most important Alpine catchments in Europe.

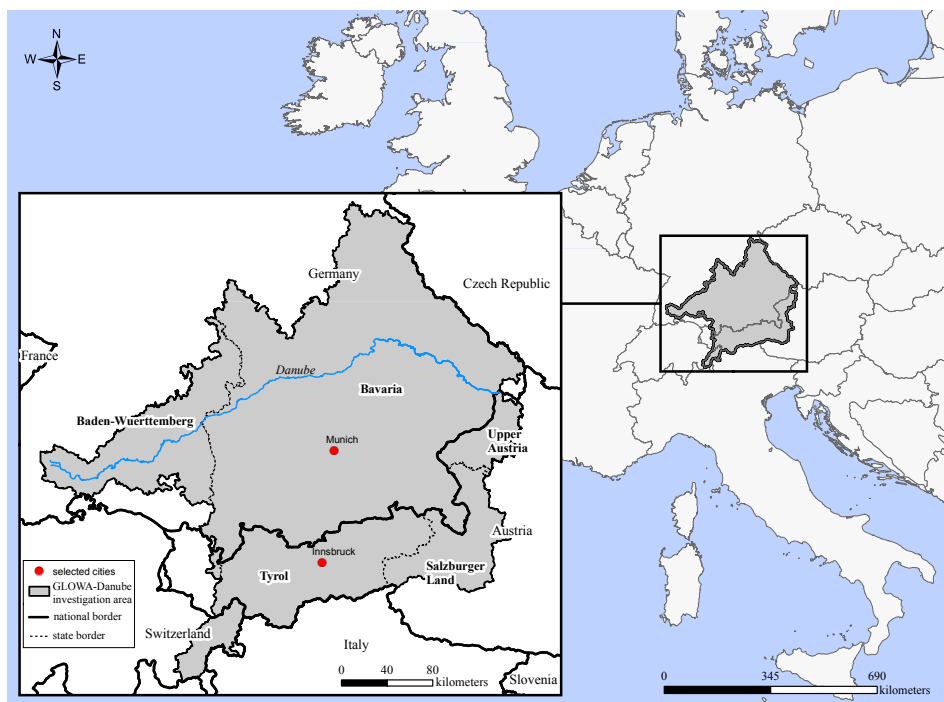


Figure 1: GLOWA-Danube investigation area (Spatial data sources: ESRI Geoinformatik; AGIS GmbH, Vienna, Austria; GG25[©] swisstopo)

Altitudes range from 280 to 3,600 m above sea level causing strong spatial, topographical, and meteorological gradients. Precipitation varies from 650 to 2,000 mm/a, evaporation from 450 to 550 mm/a, discharge from 150 to 1,600 mm/a, and average annual temperature from -4.8 to $+9.0$ °C. In addition, there is a distinctive differentiation in land cover and land use. Due to this, the catchment is particularly vulnerable to climate change and can be provided as an example of various water use problems relevant to Central Europe, though perhaps not those of other mountainous areas in the world, such as the Pyrenees, or Caucasus Mountains.

Increasingly, attention is being directed to regional level analysis of climate change with a focus on water resources and competing forms of land use. Hence, the project GLOWA-Danube (GLObal change of the WAtercycle; <http://www.glowa-danube.de>) was established with the objective of investigating the impact of climate change on a broad range of sectors and scales, including water supply, farming, tourism, economy, and households. The aim is to develop effective adaptation strategies in terms of a decision support system for scientists and related stakeholders. In order to take sensible counter measures, decision makers need various reliable instruments to predict the development of the actor-specific water demands, the respective operating ability and the catchment's water resources state under climate change conditions. These ratings have

to be spatially and temporally explicit to enable individual decisions, such as for investment or strategic planning. Thus far, mainly methods like regressions analysis, time series analysis, or trend extrapolation have been applied for predicting demands, including water consumption. In case of coupled human-environment-systems, approaches neglecting existing feedbacks have to be rated unrealistic and therefore inept.

GLOWA-Danube allows for verification and evaluation of strategic, long-term investment decisions. The project helps to maintain the decision process of policy makers by simulating the consequences of different chosen courses of action and thus making the process more effective, efficient, and transparent.

For this purpose an integrative simulation system was evolved as an open, distributed network. This UML-based (Booch, Rumbaugh, and Jacobson 1999) framework DANUBIA allows water-related global change scenarios to be analyzed under ecological and economic considerations including both components of natural as well as of socioeconomic sciences (Hennicker and Ludwig 2005). Therefore, on the top or framework level, the four main components *Atmosphere*, *Landsurface*, *Groundwater*, and *Actors* have been embedded (Figure 2).

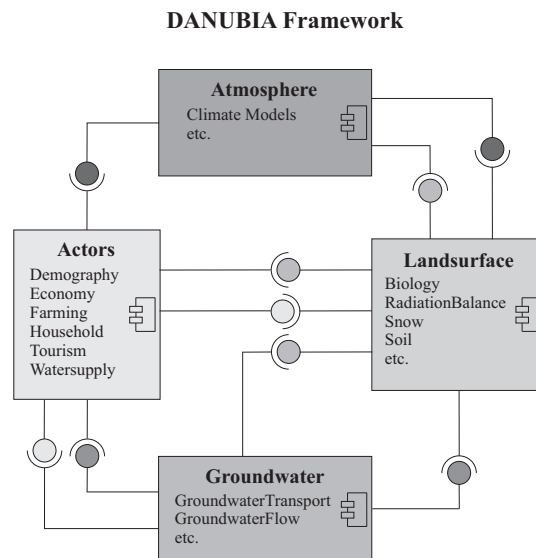


Figure 2: DANUBIA framework with its four main components

On the one hand, the framework approach allows us to set universal rules such as the working principle of the interfaces between the components and a global timecontroller. On the other hand, sixteen different simulation models are mounted in the four main components. These models may freely define individual rules as long as they remain within the scope of the global rules, for example an individual local time step can be used in which computations are periodically executed ranging from hours, like in *Climate Models*, to months, like in *Economy*. Even on this subordinate level, interfaces for data exchange between the models are implemented. In order to ensure that the distributed models work properly together, they are coordinated by the framework, which guarantees that all values taken hold by the model interfaces are in a stable state, and that each model is provided with valid data that corresponds to the local time of the importing model. The global timecontroller stores the current status of all models participating

in the integrative simulation so that they run contemporaneously and exchange data at runtime. By this means, transdisciplinary effects of interacting processes can be analyzed and evaluated (Hennicker and Ludwig 2006). For instance, dependent on a temporally risen temperature simulated by a *Climate Model*, the households show an increased water consumption, which has to be signaled to the water suppliers immediately.

Spatial Concept

The development of these natural and social processes within the next fifty years (2011 to 2060) is simulated in a two-dimensional grid. The rows and columns of this lattice are related to geographic coordinates by a conformal, conical Lambert projection. The length and the width of the cells, which are called proxels (an acronym of process pixels) are 1,000 m, thus the grid area amounts to 1 km² (investigation area in total 182,478 proxels; Figure 3). Applying the object-oriented paradigm, the simulation scope preserves a dynamic structure in addition to the static structure. The dynamic aspect consists in the processes running at the appropriate location. Each proxel has the three-dimensional form of a cube and a distinct identification number (proxel ID, PID). A proxel stores all relevant attributes of the described point like coordinates, ground level elevation, and land use as well as specific submodel information like the location of a ski area in case of the *Tourism Model*. Beyond that, processes like mass transfer, water flows or population movements within the grid are simulated via proxels (Ludwig et al. 2003).

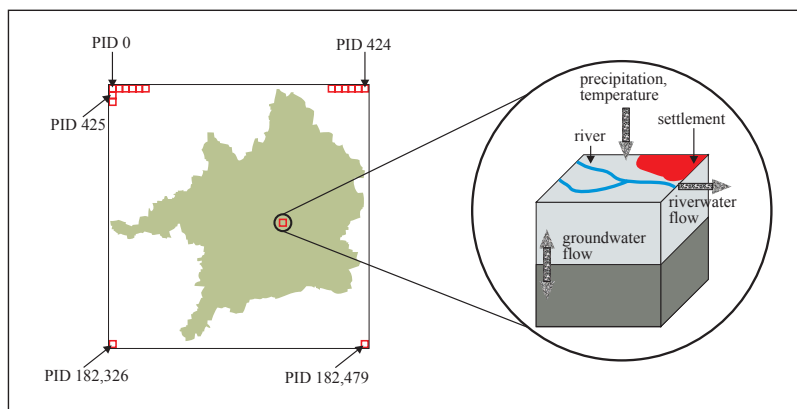


Figure 3: Proxel architecture example (Source: Own depiction based on Dingeldey 2008, p. 4)

Actor Approach

Based on this spatial concept, the submodels operate in the DANUBIA framework. Each model within this framework is designed as an actor-model, since the integration of such a concept provides a general basis which allows modeling decision processes explicitly within the socioeconomic submodels. This method maps emergent social phenomena originating from individual behavior. Socioeconomic processes are described as the sum of the individual actions of numerous singular agents. In general, agents are

thought to behave largely autonomously, be able to learn and adapt, react situationally on environmental changes, and act in targeted ways (Gilbert and Troitzsch 2005).

The actor approach concretizes the agent-based simulation method of the social sciences based on artificial intelligence concepts (Fujita and Zualkernan 2008). It is for this reason that we use the term 'actor' instead of 'agent'. An actor represents any kind of social entity, such as a household, an enterprise or a ski area that has individual characteristics, behavior, and interacting abilities with both its environment and other actors. Any actor is located exactly in its physical environment on one proxel. According to its specific design, an actor processes different options for action, besides sensors to perceive its environment. Moreover, each actor is basically ascribed a behavior pattern, which it applies according to the particular time step of the simulation. The steps of this process are as follows: first the use of sensors, second the filter of options for decision-making, third the decision for an action, fourth the execution of the action, and fifth the listing and export of data for both own use and use by other models. An actor's interacting ability reveals itself on the one hand in its perception of the environment by its sensors and on the other hand in its change of the environment by its actions (Schenk et al. 2007). This general actor is therefore specified according to the requirements of each submodel.

The implementation of the *Tourism Model* is described below. Before this, we give a short overview of the scenarios applied in GLOWA-Danube.

Scenarios

Scenarios are defined as hypothetical pictures of the future (Goetze 1991). They contain quantitative and/or qualitative assumptions about possible future states and support the preparation of decisions. However, a scenario is not a prediction and need not come true, but must be plausible and coherent (Graf 2002). The idea of a scenario can be visualized in terms of a funnel including a regarded time period where the bottleneck symbolizes the present point of time. On the one hand, this scenario funnel illustrates different possible trajectories and thus contains the 'real future' with the utmost probability as it is delimited at the top and bottom by a positive and negative extreme scenario (Jakeman et al. 2008). On the other hand, the dilating form underlines the increasing degree of uncertainty the further the contemplated point of time is in the future.

A *GLOWA-Danube scenario* describes a potential evolution of both climate and society within the period of 2011 to 2060. Therefore, we have developed a bundle of *GLOWA-Danube scenarios* following a modular design principle (Barthel et al. 2008; Kuhn, Ernst, and Mauser 2009). As a result, one can choose the scenario by combining a *climate trend*, a *climate variant*, and a *societal scenario* (Figure 4).

The first criterion (choice 1) concerns the *climate trend*. Currently, for Europe and thus for the GLOWA-Danube investigation area, the global IPCC emission scenario A1B is considered to be the most established and sophisticated model concerning quality and degree of uncertainty (IPCC 2007). This scenario predicts a development which is characterized by a fast economic growth, a pattern of global population peaking in midcentury and declining subsequently, as well as a rapid spreading of new efficient

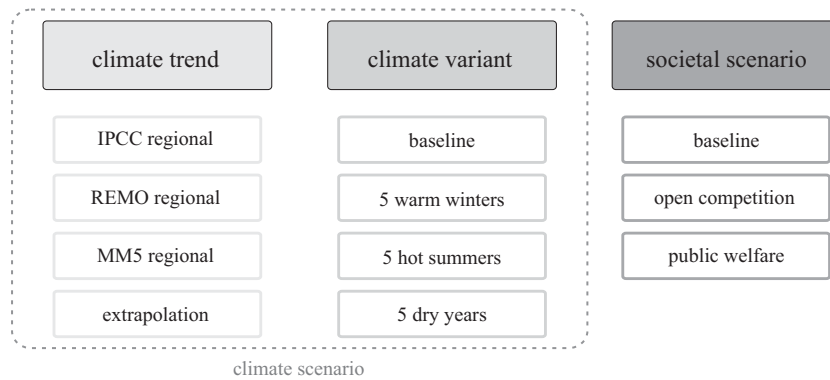


Figure 4: GLOWA-Danube scenario kit

technologies. The latter point also concerns technological changes in the energy system. In this scenario, all kinds of energy sources (fossil intensive and non-fossil energy) are used approximately to the same degree.

In order to account for the uncertainty inherent in any predictive model, the IPCC uses a set of terms to describe uncertainties as degrees of confidence differing for each parameter. In general, the width of these confidence intervals increases with the distance to the initial point. The confidence is higher for some variables, notably the temperature, than for others, such as precipitation, for larger spatial scales than for smaller ones, and for longer temporal averaged periods than for shorter ones (for detailed information, see IPCC 2007).

Similarly to other global climate models, the IPCC A1B scenario uses a coarse 100 km²-grid. Subsequently, these models cannot render regional trends in a detailed way, especially in regions with a high relief ratio like the investigation area. For this reason, for any kind of regional impact research, regional climate trends have to be deduced. To date, regional climate models are implemented by downscaling global climate models using various dynamic or statistic approaches. Therefore, the global climate model performance is determining the quality of the derived regional climate models.

Four regional *climate trends* are relevant and available in GLOWA-Danube, each has been validated through hindcasting, and each one differs with reference to the strength of temperature increase and the percentage changes in precipitation amounts. The *IPCC regional* trend for the Upper Danube catchment assumes an average temperature increase of +3.3 °C until 2100, while precipitation will augment by 7 percent in winter and abate by 14 percent during summer. In contrast, the *REMO* (REgional MOdel) *regional* trend, developed by the German Max Planck Institute for Meteorology, presumes an increase in temperature of +5.2 °C, a reduction of winter precipitation of -4.9 percent and of summer precipitation of -31.4 percent (Jacob et al. 2001; Jacob et al. 2008). The third possible trend is *MM5 regional* (Fifth Mesoscale Meteorology Model, developed inter alia by the Pennsylvania State University). It supposes an average temperature rise of +4.7 °C in the investigation area. Rainfall will increase in winter (+7.7 percent) and decrease in summer (-28.7 percent) (<http://www.mmm.ucar.edu/mm5>). Based on historic climate data of the period 1960 to 2006, the fourth trend *extrapolation* assumes an increase in temperature of +5.2 °C, coupled with an enormous change in precipitati-

on of +47 percent in winter and -69 percent in summer. Hence, the four *climate trends* offer a wide range of possible general climate developments.

For the examination of any special kind of question, such as the impact of five consecutive dry years on the groundwater level, a *GLOWA-Danube scenario* also includes four different *climate variants*. They can be considered as a specification of the chosen *climate trend*, and illustrate outstanding challenges in terms of extreme climate conditions in five subsequent years (Marke 2008; Mauser et al. 2009).

The two presented criteria *climate trend* and *climate variant* constitute a *climate scenario*, which makes a complete *GLOWA-Danube scenario* in combination with a *societal scenario*. This third option deals with the demographic, economic, and political development, but also with mindsets, mentalities, and paradigms. According to 'societal megatrends' defined by SinusSociovision (de Vries and Perry 2007), we designed three different *societal scenarios*. The *baseline* trend describes a continuance of the corporate status quo. Meanwhile, the *open competition* trend envisages a more hedonistic, market-oriented, and materialist orientation, focusing on profit maximization. In contrast, the *public welfare* trend foresees a concentration on societal responsibility. Non-economic dimensions, including balance and faith become more important (Kuhn and Ernst 2009).

Tourism Model

After having presented general aspects of DANUBIA, we now focus on one submodel, the *Tourism Model*. It analyzes the tourism-induced demand for drinking, ground, and river water as well as the economic development of tourism supply and resulting shifts in demand, where tourism as an economic sector is not considered in isolation but interdependent on other components represented in DANUBIA. Hence, the *GLOWA-Danube Tourism Model* offers decision support to tourism policy makers in order to make informed long-term strategic arbitrations in light of changed climate conditions, and the simulated courses of action. For example, since the economic rationality of an investment in snow-making facilities depends on both the future climatic situation of the ski area, and the economic framework conditions for skiing, including the depreciation period of the facility to be acquired, it would be useful to know more than is available in conventional cost-benefit calculations. The advance of the *GLOWA-Danube Tourism Model* is the consideration of different interacting aspects affecting the quality of an entrepreneurial or political decision.

Tourism supply can be classified into natural resources and environment on the one side, and built environment with hospitality resources on the other hand (Goeldner and Ritchie 2008). The latter is frequently taken into account, whereas the integrated examination of the natural resources and environment is mostly lacking in tourism studies. Since these natural resources of the tourism supply are directly affected by climate change, the *Tourism Model* investigates the correlation of tourism supply with the regional impacts of climate change. This is implemented in the DANUBIA framework by the import of climate data during simulation runtime. Thus, the *Tourism Model* accesses to temporal and spatial high-resolution data, processes them, and provides data, for example the tourism water demand, to other models like the *Water Supply Model*. By this means, the complex interaction system of natural and societal aspects

can be taken into account and reflected adequately.

The *Tourism Model* is based on the tourism infra- and suprastructure, whereas the precondition is the quantification of tourism water consumption. The approach concerning this matter is specified below after presenting the *Tourism Model's* main features.

Tourism Model Description

We consider as tourism infrastructure facilities ski areas, golf courses, and swimming pools. Tourism suprastructure relates to the accommodation and restaurant industry. Within the tourism sector, water is used as a consumer good for the tourism infra- and suprastructure. Thus, the operating ability of the tourism infrastructure facilities can be affected by climate change-induced temporary shortages in the water supply and, therefore, the regions concerned might suffer from economic losses. Thereby, different tourism market segments will be impacted to a greater or lesser extent. For example, the winter sports tourism will be notably affected if the increasing global warming leads to a rise of the snow line on the one hand, and to a locally and temporally changed distribution of snowfalls on the other hand (Becken and Hay 2007). Already today the natural amount of snow during the winter sports season is barely sufficient. As an assured snow cover is required for ski tourism, operators increasingly attempt to compensate for these deficits of snow by artificial snow production (Müller 2007). In Bavaria, Germany for instance, an extension of snow-making facilities may be anticipated for the near future, as the state government tends to facilitate the approval of these in ski areas (CIPRA 2004; Bundi 2010). In these circumstances, the estimation of potential changes of the tourism water use in conjunction with alterations of water supply caused by global change is important for the decision makers in the tourist sector with regard to the economic consequences.

Using scenarios, we can calculate regionally differentiated simulations of the total water balance development and of the tourism water consumption coverage. This is essential because data concerning the tourism water consumption are recorded neither by official nor by non-official statistics. A supply-side multi-actors model was developed to analyze the tourism-induced demand for drinking, ground, and river water consumption at a small spatial scale, and to calculate the amount of this water consumption in different scenarios.

In the GLOWA-Danube subproject *Tourism*, tourism demand and supply converge. The tourism demand is represented by all visitors to the investigation area (both same-day and overnight visitors) (Sax 2008). The tourism supply contains the features of a destination that have been established for visitors, and thus all relevant tourism services. The supply (built environment) can be divided into infra- and suprastructure. The model considers infrastructure facilities with high water consumption, such as ski areas with artificial snow-making, swimming pools, and golf courses. Accommodation establishments, restaurants, and catering businesses are counted among suprastructure. Each of the mentioned infra- and suprastructure facilities in the investigation area is recorded accurately, and relevant specific attributes are collected. Figure 5 shows an example of the georeferenced ski areas and their carriage capacity measured in persons per hour

as one specific attribute. By this means, a highly detailed examination of the tourism supply is possible, as the model represents a bottom-up approach allowing development studies of single ski areas as well as of different levels of aggregation, especially districts or states.

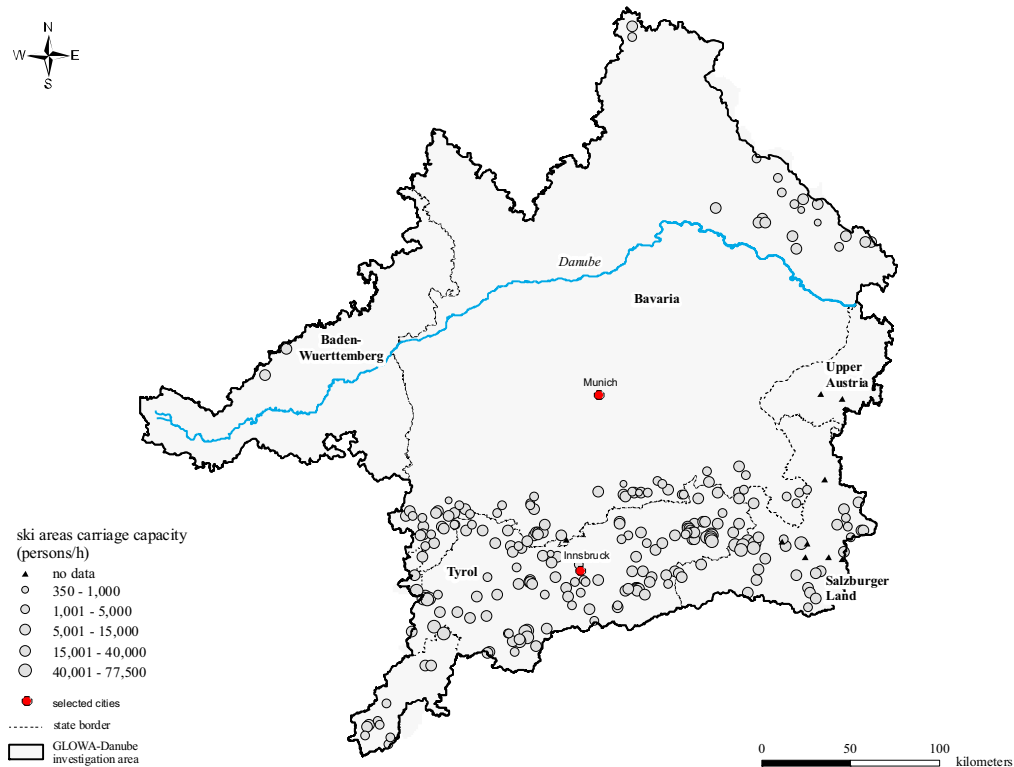


Figure 5: Ski areas and their carriage capacity [persons/h] in the Upper Danube catchment (Spatial data source: AGIS GmbH, Vienna, Austria)

The composition of three interacting submodels is important to describe the functionality of the *Tourism Model* (Figure 6). These three submodels are: the *Actors model*, the *Attractiveness model*, and the *Water Consumption model*. The submodel *Actors* contains all tourism infra- and suprastructure elements in terms of actor classes.

As for instance ski areas have other attributes and options for action than swimming pools, they belong to different actor classes. Within each actor class, every real facility is represented by one actor. Each actor is able to perceive its environment, and possesses different options for action and preferences according to its actor class. Based on individual, relevant, and current environmental parameters, each actor decides on one option for action. Performing this action, it modifies in turn its environment. This course (perception – decision – action – modification) is repeated at each local time step of the simulation model, basically daily.

This principle is illustrated by the example of the actor class *ski areas*. Following the proxel concept, each ski area situated in the investigation area is located exactly on one proxel, even if it possibly has a greater spatial extension in reality. The proxel's attributes, like the consistent altitude, apply to whole the ski area. The actor *ski area*

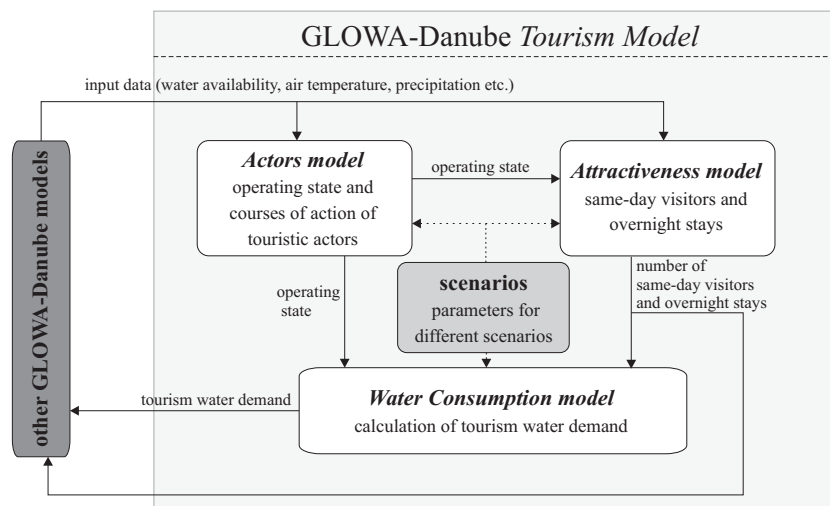


Figure 6: Model structure of the GLOWA-Danube *Tourism Model*

disposes of the options for action *open*, *close* and *snow-making*. The *ski area* opens once a predetermined minimum of snow depth exists, and the ski season has started. If there is in contrast not enough snow or the current date is out of season, the *ski area* closes temporarily. The option *snow-making* can be executed in addition to the options *open* or *close*, as long as the defined wet-bulb temperature critical value is achieved. Thus, the combinations *open*, *open* and *snow-making*, *close* plus *close* and *snow-making* are possible. The last option to be mentioned can be characterized as exit-option and means the irrevocable closing of the *ski area*. This alternative is applied if the 100-day-rule is violated. This rule states that a ski lift has to be opened for at least 100 days per season to permit a profitable business. This condition has to be fulfilled in seven of ten consecutive years (Agrawala 2007).

A ski area serves as a tourist attraction for a region. If the ski area is no longer able to operate to the full extent, this has an adverse effect on the attractiveness of the winter sports community or region: potential visitors might switch to more snow-reliable ski areas in higher mountain areas. Such demand-side reactions that can be ascribed to the particular operating state of the existing tourism infrastructure are factored in the second submodel, the *Attractiveness model*. With this model, the number of overnight stays is calculated for each populated proxel considering the community-specific annual number of overnight stays and its average distribution during the course of the year. The relative number of same-day visitors is estimated based on the number of overnight stays as same-day visitors account for a considerable quota of the overall tourism.

In addition to the operating state of the tourism infrastructure, which is regarded as a significant pull-factor, the water availability and climate data like the monthly mean temperature play an important role in the *Attractiveness model*. The model verifies for each tourism community, amongst others, if there is any ski area within a radius of 20 km. This maximum distance between hotel and ski area that a tourist is willing to cover was ascertained in nine expert meetings with tourism professionals (hotel managers, ski lift operators, CEO of tourism associations, and tour operators). Due to their practical experience and awareness of current tourism trends and demand-side behavior, they

contributed to the adjustment of single parameter values. As the operating condition of each ski area influences the tourism attractiveness of the community, an inoperable ski area can cause up to 10 percent losses in terms of the number of overnight stays. The number of overnight stays in communities with no ski area within a 20 km-distance is assumed not to be influenced by winter sport tourism (Dingeldey 2008). The same applies to golf courses and swimming pools during the summer season. Each of the operating facilities exhibits a specific water demand. Therefore, both the *Actors model* and the *Attractiveness model* impact on the third submodel, the *Water Consumption model*, in which the tourism water demand is calculated.

To quantify the tourism water demand, two strategies are generally conceivable: On the one hand, a purely demand-oriented approach based on the individual required water quantity of a same-day visitor or overnight visitor can be used. To fulfill this task, however, the usage pattern of every single tourist has to be recorded, which incurs extraordinary survey costs. Besides, the proportionate attribution of the water demand of each tourism facility per tourist raises difficulties, in particular the water amount needed for artificial snow-making in a region has to be prorated to all visitors (Schmude and Sax 2004). Similarly, the operationalization of water demand by 'water consumption types' renders no selective types and consequently no satisfactory results. On the other hand, a supply-side approach for determining the tourism water consumption would be possible. This requires recording the water consumption rates of all relevant facilities in the investigated area. Due to the enormous survey charges, such an approach is solely appropriate for comparatively small investigation areas, especially since a high temporal resolution as well as the respective operation time would have to be collected. Moreover, variations of water consumption values caused by fluctuations in demand are neglected, if for instance the varying degree of capacity utilization in an accommodation establishment is unaccounted (Vanham, Fleischhacker, and Rauch 2008).

Consequential to these considerations, a primary supply-side oriented approach is chosen to quantify the tourism water use but with addition of demand-side parameters. Thus, the method includes components of both described strategies. Thereby, we focus on the calculation of the direct infrastructure and suprastructure facilities' water consumption, such as for artificial snow-making, or irrigating golf greens. To obtain a more realistic estimation of the factual on-site claiming of water, the tourism demand-side water consumption, comprising the utilized capacity by same-day and overnight visitors in restaurants and hotels, is included (Schmude and Sax 2004).

Excursus Flag Concept

The tourism water demand, which is calculated in the *Water Consumption submodel*, is notified to the *Water Supply Model*, which also receives the water demand from other actor classes (household, economy, and farming). On the part of the Water Supply model and other components of DANUBIA, the availability of water is signaled to the actor classes in terms of so-called flags. A flag pictures a classified notification about the quantitative state of water supply (Barthel 2005). Thereby, the classes range from 1 (kilter, no indication) to 5 (poor condition, preliminary shortages). First, the GLOWA-Danube groundwater quantity flags are displayed for several groundwater bodies, as an array

of proxels with similar hydrogeological properties. Second, the models share drinking water quantity flags. These describe the state of the water supply system. A drinking water quantity flag is valid for the supply area of a water supply company. Comparing the present supplies and demands needed at each time step, a flag is displayed in order to respond to actual current or potential future problems. Basically, the drinking water quantity flags depict a standardized way for transferring information about the state of the resources and the available supplies, which are re-leased by public media or governmental announcements in reality (Barthel et al. 2008). The reactions on a particular flag vary according to the actor class. In the real world, analogies to the GLOWA-Danube flag concept can be found for instance in Australia. There, the government of the federal state of Victoria decreed a four-stage system concerning the restrictiveness of water use (Holding 1989).

Tourism Model and Data Analysis

All tourism infra- and suprastructure facilities in the investigation area have been mapped. We established the quantities of water consumption of the relevant forms of facilities. Through survey-work (93 ski areas, 154 swimming pools, 31 golf courses, 46 hotels, 28 restaurants), and expert opinion (e.g., the chairman of a golf association, and technical managers of snow-making facilities), including data in the literature, our investigations showed that ski areas with artificial snow-making spend on average 2,400 m^3 water per hectare and season (Schmude and Sax 2004). This value approximates the values ascertained by other authors (Hahn 2004; Agrawala 2007), and is used in the full amount because of its proper reference to the investigation area. As artificial snow-making starts already in November to prepare the slopes for the season (Steiger and Mayer 2008) and usually lasts until March, the water demand is evenly distributed over these five months. Surface water supplies 75 percent of the water demand, with groundwater supplying 20 percent, and the remaining 5 percent is met with drinking water. This method is similarly applied for the evaluation of the actual water demand of golf courses and swimming pools.

To rate the water consumption of accomodation establishments as well as restaurant and catering businesses, the tourism demand is taken into account as it has a great influence on the water consumption of these facilities. The bulk of the water requirement of a hotel is generated in the hotel rooms (ca. 37 percent) and in the kitchen (ca. 21 percent) (Möller 2001). Consequently, the number of overnight stays is a key determining factor. Schmude and Sax (2004) averaged the consumption value of all kinds of accommodation establishments to the amount of 168 liters per visitor and day. In the gastronomy business, a project internal mean value of 14 liters per person and day has been collected (Schmude and Sax 2004), which coincides to a large extent with data from the literature.

Having ascertained the water consumption of the facilities, the future demand can be calculated in the various scenarios. To reveal the funnel which arises for the *Tourism Model*, two extreme scenarios are estimated. Run No. 1 is a simulation with maximum utilization of the given resources (*societal scenario open competition*) and a *baseline climate variant*. Run No. 2 is a simulation with the *societal scenario public welfare* and

the *climate variant five warm winters*. This *climate variant* is selected because of its particular relevance for ski areas. The *climate trend IPCC regional* forms the basis of both simulation runs.

In run No. 1, there are no restrictions on water use for tourism purposes, thus the water demand of tourism facilities rises. There will be more and larger scaled artificial snow-making in several ski areas. This necessitates initially an increase of the break-even-point at which income equals costs, to cover the investment costs. The considerable enhanced water utilization might lead to local or regional water shortages, and is only handled restrictively in case of serious environmental detractions.

In contrast, the tourism induced water demand values in run No. 2 correspond to a large extent to those of the beginning of the twenty-first century, which results from the explicitly accentuated sustainability aspect. However, the model parameters rather remain on the status quo. Hence also the capacities of artificial snow-making in the ski areas remain unaltered as the opinion predominates that it is not possible to brave the climate change durably by technical means, and thus an increased capital and resources expenditure does not pay off. Water demand will alter only marginally: the operating ability of the ski areas might be shortened according to the circumstances.

Tourism Modeling Results

As tourist attractions, ski areas have an impact on the surrounding municipalities. In case of temporary shortages in the water supply, tourism providers have to react. They shut down their business partially or completely. An analogous proportional connection between the water availability and the tourism demand is not documented in the literature. Hence, for the GLOWA-Danube *Tourism Model* nine experts were questioned on this issue. The experts largely agreed about the two parameters being considerably linked. According to the unanimous experts' opinion, this would be the case within the GLOWA-Danube flag concept for flags 4 or 5. The flags 1 to 3, however, would not have a noteworthy bearing on the tourism demand. If flag 4 or 5 is shown, this would cause a decline of overnight stays in the affected target area. Therefore, in the Tourism Model, the display of flag 4 causes a decline of the number of overnight stays amounting to 10 percent, the display of flag 5 up to one third (Dingeldey 2008).

For this reason, it is assumed that, indirectly, the operating state of the ski areas exerts influence on the number of overnight stays in the communities or districts. In each case, the number of overnight stays during the winter seasons (December to March) is estimated, because this period equates to the basic ski season. As individual municipalities or single years might be outliers, the simulated numbers of overnight stays per community were averaged on the period of winter season 2050/2051 to 2058/2059 and aggregated at the district level. The resulting values were compared to the mean of the first simulated decade (2011/2012 to 2019/2020). The percentage deviations of the average numbers of overnight stays for the two simulation runs are pictured in Figures 7 and 8. Several peripheral areas are accounted as 'no data'-areas, if the district or community ground is only a fractional part of the investigation area. Similarly, the major cities Munich and Innsbruck are excluded from the illustration as their results cannot be regarded as significant, given that the market segment city tourism will hardly be affected by climate

change. The interpretation focus is on the winter sports regions of the Alpine foothills, the Alps and the German low mountain ranges (Bavarian Forest, Palatinate Forest).

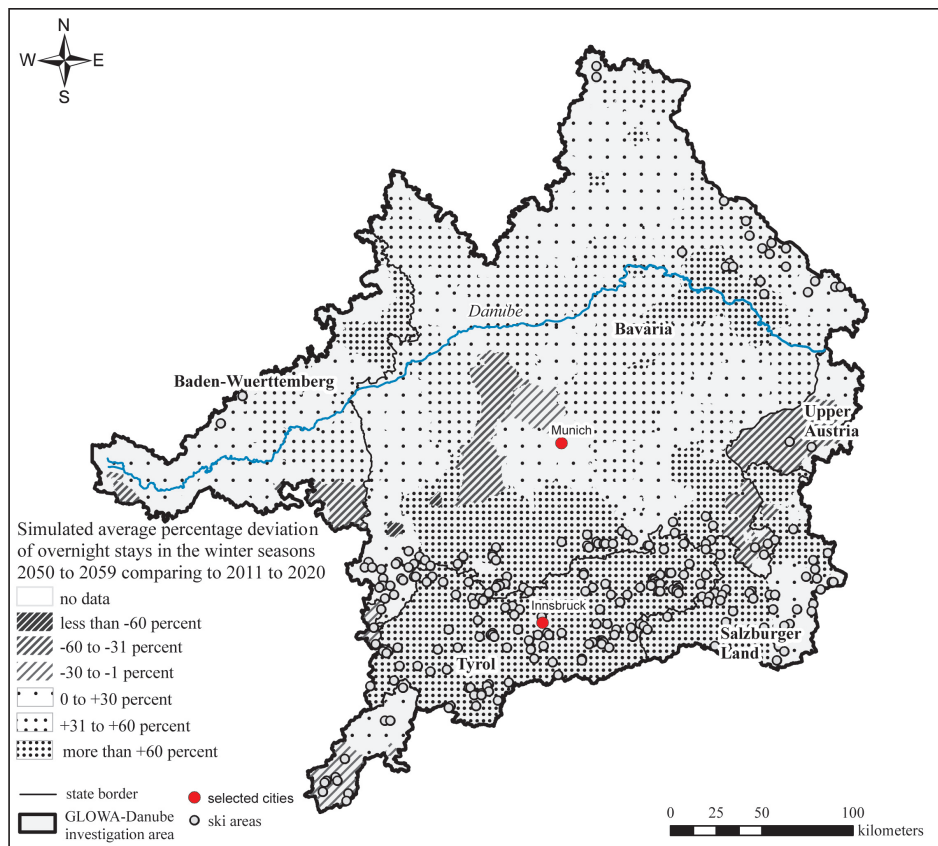


Figure 7: Run No. 1 - Simulated average percentage deviation of overnight stays in the winter seasons 2050 to 2059 compared to 2011 to 2020 (Spatial data source: AGIS GmbH, Vienna, Austria)

Figure 7 shows the results of run No. 1 (*climate trend IPCC regional, climate variant baseline, societal scenario open competition*). The hatched districts show negative average percentage deviations of overnight stays in the winter seasons of the 2050s compared to the 2010s. The gray scaled districts implicate positive deviations. For example, the districts belonging to the second class register loss given defaults of overnight stays between -60 and -31 percent. Across the investigation area, a very heterogeneous picture in the response to overnight tourism development emerges. A band of regions with a rather unfavorable development can be spotted in the middle of the investigation area. This fact is attributed to the lower altitudes up to a maximum of 700 m above sea level and the resulting reduced attractiveness for winter tourism. These results suggest that a concentration on other tourism market segments, for example on summer tourism, is necessary if businesses in this band are to survive. Meanwhile, the Bavarian Forest, located in the north-eastern part of the investigation area, shows an increase of the winter season overnight stays. In the same way, nearly all winter tourism-oriented regions in the Bavarian Alpine foothills, the Bavarian Alps, Tyrol and Salzburger Land in the southern part of the catchment feature a considerably increased number of overnight stays in the 2050s compared to the first simulation decade. This can be ascribed to the fact that the local altitudes are sufficient for winter sports using the *climate variant ba-*

seline, and that within the *societal scenario open competition* the application of artificial snow-making is intensified. Subsequently, these regions denote an enormously increased water consumption, which is discussed further below.

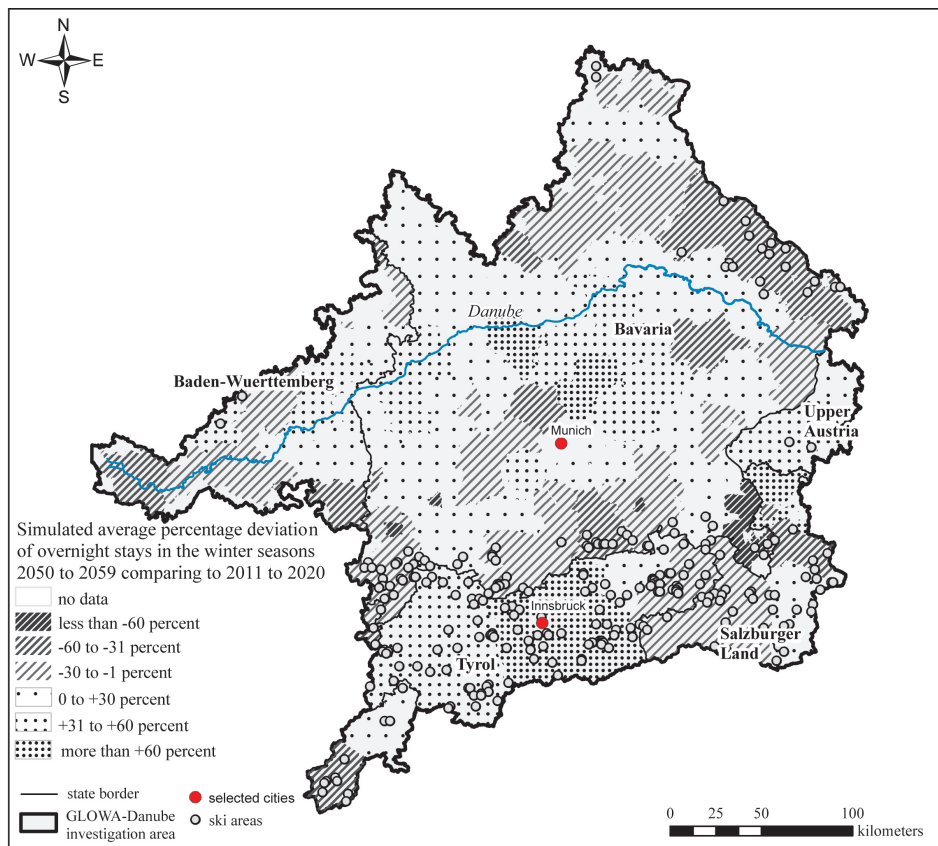


Figure 8: Run No. 2 - Simulated average percentage deviation of overnight stays in the winter seasons 2050 to 2059 compared to 2011 to 2020 (Spatial data source: AGIS GmbH, Vienna, Austria)

Over the entire investigation area, run No. 1 (Figure 7) shows more positive results than run No. 2 (Figure 8) concerning the number of overnight stays during the winter season. In run No. 2 (*climate trend IPCC regional, climate variant five warm winters, societal scenario public welfare*), primarily the regions in the Bavarian Forest and the Bavarian Alps, which are highly dependent on winter sports tourism, register heavy losses in relation to the number of overnight stays. Due to the limited expansion of snow cannons capacity, their altitude does not suffice to label them a snow-reliable tourism region and thus to attract visitors. The tourists adapt to these circumstances and switch to higher altitude and more snow-reliable areas. Hence, mainly the winter sport regions in Tyrol, Austria experience a great rise in their number of overnight stays as these areas meet the criterion of snow-reliability even in the future.

A considerably less favorable development than in run No. 1 emerges over the whole investigation area in run No. 2, and so adaptation strategies, designed to keep the tourism sector from heavy losses caused by climate change, are in demand. It would be conceivable to orientate to more climate-independent forms of tourism, such as business tourism, or to take advantage of the elevated temperatures during the summer season. Figure 8 indicates already a lower water demand for run No. 2 than for run No. 1 (Figure

7). The following two figures (Figures 9 and 10) confirm this presumption, in which the development of the water consumption in the ski areas in selected regions during the simulation period is pictured for both runs.

To interpret the figures, the trend lines have to be to the fore. The readable variations can mainly be traced back to varying climate factors. During a winter with minor snowfall, fluctuations of temperature or temporally unequally distributed snowfall occurrence, for instance, comparatively more artificial snow has to be produced. Although it is very likely that variations like in Figures 9 and 10 arise, however, one has to keep in mind that these are results of simulations. Thus, it would not be permissible to make a point about the exact water consumption of ski areas in one region in a particular year.

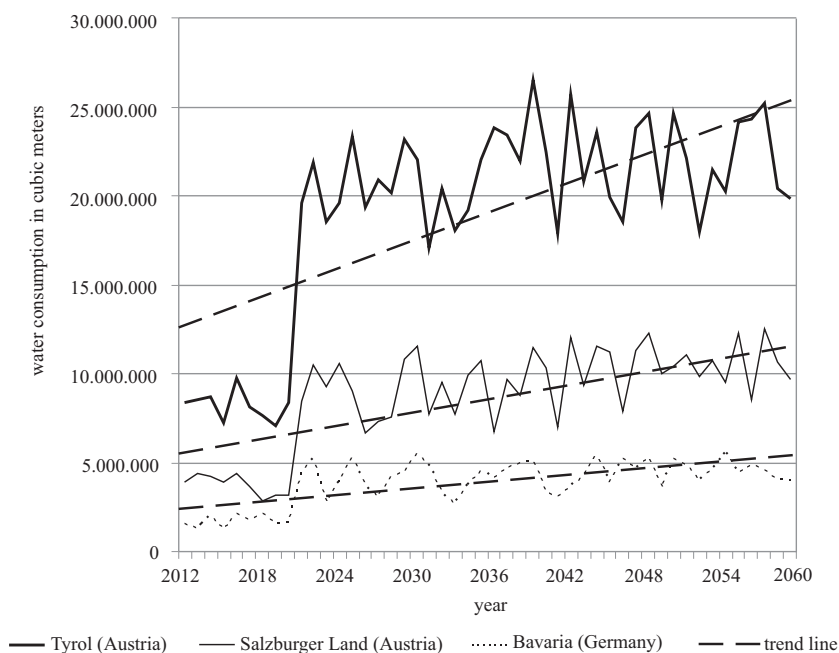


Figure 9: Run No. 1 - Water consumption of ski areas with artificial snow-making (November to March) 2011 to 2060, broken down by regions

The distinctive, escalating water demand of the ski areas in the three selected federal states (Tyrol, Austria; Salzburger Land, Austria; Bavaria, Germany; Figure 9) is caused by partially massive investments into artificial snow-making. Overall, the simulated extension of artificial snow-making reproduces a realistic image of the current plans of many ski areas according to the statements of the ski lift operators, who were interviewed. The water demand will generally increase, being particularly large in Tyrol. This trend continues in all regions until the end of the simulation period and might, in case of temporary water shortages, lead to conflicts of interest with other actor groups, such as farmers or industrial enterprises, or to temporary supply problems in the ski areas.

The trend lines in run No. 2 (Figure 10) show a comparatively constant water usage during the next fifty years. However, since, as Figure 8 shows, some districts experience considerable reductions in overnight stays in run No. 2, almost just as much water is wasted for a continuously decreasing number of visitors. Consequently, the water consumption per tourist actually increases.

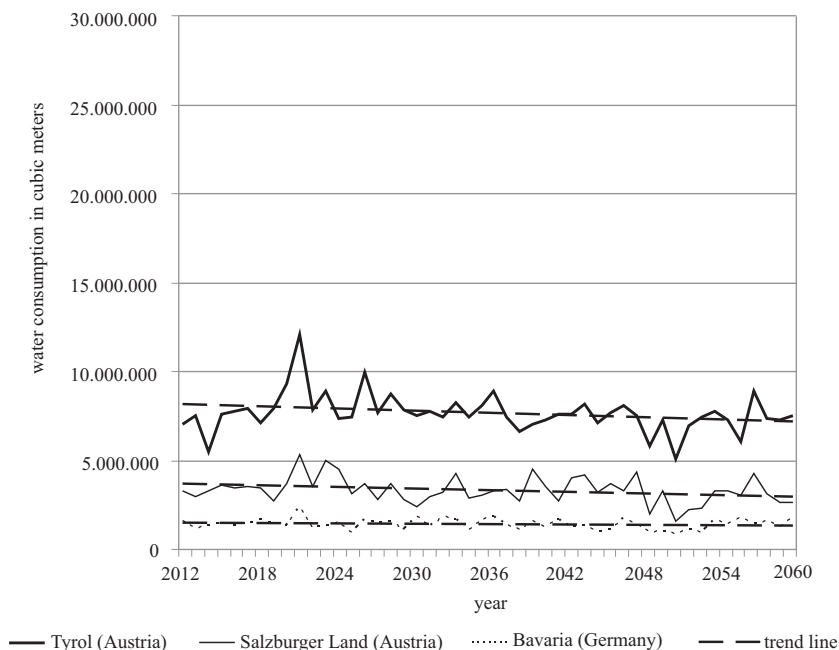


Figure 10: Run No. 2 - Water consumption of ski areas with artificial snow-making (November to March) 2011 to 2060, broken down by regions

Discussion and Conclusions

The results from the two scenarios clarify that simulation in multi-actors models can produce plausible statements with spatially and temporally high resolution regarding different questions (Mauser et al. 2009). Interpreting the results of the two presented simulation runs, it has to be taken into account that they were both computed on the basis of the *climate trend IPCC regional*. This is the most moderate one of the four available GLOWA-Danube *climate trends* (see Scenarios). Thus, the results would be even more accentuated using another *climate trend*.

The development of water consumption in run No. 1 shows a serious increase distributed very differencing within the considered districts also resulting in the necessity of installing further reservoirs. In this regard, the discret integration of the reservoirs into the landscape poses a particular challenge. Otherwise, the image of the environment is rapidly disfigured, which will negatively affect the tourists' perception as an intact nature is a relevant travel motivation. If persons responsible succeed in integrating the reservoirs into the scenery, the reservoirs may even be advantageous and used to generate value as a tourist attraction during summer. Run No. 1 also shows considerably higher water demand in the regarded Austrian states (Tyrol, Salzburger Land) than in Bavaria, Germany. This is partly due to the fact that artificial snow-making is handled more restrictively in Germany than in Austria or Switzerland. Thus, Austrian ski areas gain additional economic leverage beyond what is explained by their generally higher altitude. This fact facilitates the concentration process on larger, higher located, and thereby more snow-reliable ski areas, which has in fact already begun. This process results in temporal and/or spatial shifts of travel flows, a key component which has to be considered during strategic decision making.

Owing to its high resolution, the GLOWA-Danube *Tourism Model* can reveal possible future paths of tourism development in singular ski areas, districts, or states and thus contribute to economically reasonable decisions. Therefore, set screws such as the minimum snow depth for skiing, or the maximum wet-bulb temperature for the application of snow cannons can be regulated according to the individual question of the stakeholders, so that the *Tourism Model* allows an unprecedented integration of individual preconditions. Though, by default, the minimum snow depth for skiing is set at 30 cm, a ski lift operator may adapt this value accordingly. Because of this possibility, the *Tourism Model* is already in great demand among tourism policy makers in the area under investigation and has proved successful in several investment decision processes concerning ski areas. Moreover, the *Tourism Model* contributes to a clearer argumentation and more transparent decision finding, which helps establishing far reaching investment decisions.

To date and likely in the future, the Upper Danube catchment is not suffering from general water deficiency. Even so, it may be confronted with temporary and local water shortages. Thus, many persons responsible do currently not see any need for action concerning climate change adaptation measures like water conservation. By this means, the *Tourism Model* plays an important role by calling attention to the topic and sensitizes the tourism representatives to the already existing need for action. This concerns also the domain of upcoming water and land use conflicts with other actors, including industry and agriculture. Being prepared for such trends possibly provides a crucial competitive advantage.

As part of a complex modeling system, the *Tourism Model* is reliant on data computed by other integrated models. This requires a framework managing the data exchange. In projects meeting complex questions by integrated modeling, the spatial and temporal implementation of these data exchange processes is one of the major challenges. For the integrated consideration of global change impacts, the involvement of both natural and socioeconomic scientific disciplines is essential. In that context, models do not only act as management support tools, but also as instrument to create awareness of the functionality of human-environment-systems and the resulting accruing social, environmental, and economic costs. Thereby, it is particularly important to strike the balance between the actualization of a realistic and appropriate model of the real system on the one side, and to meet the requirements of expert scientists as well as of related stakeholders on the other side (Barthel et al. 2008).

Due to the discipline distinct normally used scales, such as cubic meters and hours in physical geography, and the community-level and months in human geography, it was primarily necessary to establish a spatial size, which is acceptable to each of the models. This succeeded by the implementation of the proxel-concept in the DANUBIA framework. Concerning the temporal component, the global timecontroller is the heart of the framework, as it allows the integrated models to execute calculations according to their local time scales by concurrently coordinating the correct data exchange at runtime.

Admittedly, both this runtime data communication and the high resolution level lead to very long computing times and require powerful servers. Furthermore, it has to be

considered that the scenarios represent simplified images of reality or of potential future developments. They therefore comprehend simplifications, which have to be factored in when interpreting the particular results. For instance, external shocks such as economic crises, terrorist attacks, or political/social diversions cannot be included. Nevertheless, the *Tourism Model* simulation runs calibrated for the reference period (1990s) reflect the existing statistical data in an excellent way (Schmude and Sax 2004). The available official statistics concerning tourism demand values (such as number of overnight stays) of the administrative units of the investigation area are realistically reproduced (Sax 2008). The estimation of tourism water demand has in contrast the character of an extrapolation on the basis of an appraisal, as no statistical data exist in this regard. Hence, it has to be pointed out that some imprecision appears because of the application of means instead of specific water consumption values. In this manner, both undercoverages, and overcoverages ensue, for example caused by the exclusive assignment of ski areas to the tourism infrastructure, although these are also used to a certain degree by the local population (Cornelissen 2005).

Even so, the *Tourism Model* offers decision support to tourism policy makers for the appraisal of climate change consequences in an up to now unique degree of individualization. Via simulation, assistance is given for the long-term tourism orientation by exploring which infrastructure facilities will be operable under diverse scenarios in the future. The outcome of this may be adaptation strategies for the global and regional change, if for instance one recognizes that due to the climate situation better conditions for summer tourism will prevail in the future (Hall and Higham 2005).

Concerning the transferability of the approach, it has to be noted that DANUBIA was developed as an exemplary system, whose transmission to other similarly sized investigation areas is in principle possible (Barthel et al. 2008). GLOWA-Danube can be regarded as a proof of concept; the basic model structure can be transferred to other areas. However, an elsewhere application is associated with the implementation of an individually designed model adapted to the particular requirements. This necessitates a high volume of data and financial resources. Therefore, the continued use as an open source project after the end of the project is recommended. Furthermore, the project's results give rise to future research, which should focus on the learning effects of such integrated modeling. Affected stakeholders should be incorporated in the project from an early state so that integrated modeling is designed with a transdisciplinary purpose, which guarantees modeling related to reality. Besides, a demand-side approach should be examined, which broaches the issue of perception of changed land forms and modified destinations due to climate change by tourists. This changed cognition might cause alternative patterns of demand resulting in temporal and/or spatial shifts of travel flows. A better knowledge of this might in turn lead to an even more comprehensive picture for tourism planners and policy makers on the one side, and will generate further scientific knowledge on the other side.

Acknowledgements

The authors acknowledge the German Federal Ministry of Education and Research for funding support. We would like to thank the governmental organizations, private companies, and all the others who supported our work by providing data, advice or additional assistance. Furthermore, we are obliged to our GLOWA-Danube colleagues, especially Wolfram Mauser, for the good cooperation during the last years. Special thanks are due to Stefan Heumann, Gordon Winder, and several anonymous reviewers who provided valuable comments.

References

- Aderhold, Peter. 2008. *Die Urlaubsreisen der Deutschen. Kurzfassung der Reiseanalyse 2008. (The Germans' Vacation Trips. Digest of the Travel Analysis 2008)*. Kiel, F.U.R.
- Agrawala, Shardul, ed. 2007. *Climate change in the European Alps. Adapting winter tourism and natural hazards management*. Paris, OECD Publishing.
- Auyang, Sunny Y. 1998. *Foundations of Complex Systems Theories in Economics, Evolutionary Biology, and Statistical Physics*. New York, Cambridge University Press.
- Barthel, Roland. 2005. Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung, Wasserversorgung. (Groundwater Balance, Groundwater Management, and Water Supply). In *GLOWA-Danube. Integrative Techniken, Szenarien und Strategien zur Zukunft des Wassers im Einzugsgebiet der Oberen Donau (GLOWA-Danube. Integrative Techniques, Scenarios and Strategies Regarding Global Changes of the Water Cycle in the Upper Danube Catchment)*, ed. Wolfram Mauser, 129-158. Munich.
- Barthel, Roland, Stephan Janisch, Nina Schwarz, Aleksandar Trifkovic, Darla Nickel, Carsten Schulz, and Wolfram Mauser. 2008. An integrated modelling framework for simulating regional-scale actor responses to global change in the water domain. In *Environmental Modelling and Software* 23, 1095-1121.
- Becken, Susanne, and John E. Hay. 2007. *Tourism and Climate Change. Risks and opportunities*. Clevedon, Buffalo, Toronto, Channel View Publications.
- Booch, Grady, Jim Rumbaugh, and Ivar Jacobson. 1999. *The Unified Modeling Language User Guide*. Reading, Addison Wesley.
- Bundi, Ulrich. 2010. *Alpine waters. The handbook of environmental chemistry*. Berlin, Springer.
- CIPRA (International Commission for the Protection of the Alps), ed. 2004. *Bayerischer Landtag weicht Richtlinien für Schneekanonen auf (Bavarian Parliament softens Guidelines for Snow Canons)*. <http://www.cipra.org/de/alpmedia/news/1519/> (last accessed 16 April 2010).
- Cooper, Chris, John Fletcher, Alan Fyall, David Gilbert, and Stephen Wanhill. 2008. *Tourism. Principles and Practice*. Essex, Pearson Education Limited.
- Cornelissen, Scarlett. 2005. *The global tourism system. Governance, development and lessons from South Africa*. Hants, Burlington: Ashgate. de Vries, Joop, and Thomas Perry. 2007. *Der demografische Wandel und die Zukunft der Gesellschaft (Demogra-*

- phic change and the future of the society*). vhw 3/2007, 115-119.
- Dingeldey, Alexander. 2008. *Modellierung der touristischen Attraktivität zur Bestimmung der Übernachtungsnachfrage im Einzugsbereich der Oberen Donau unter Berücksichtigung von Umwelteinflüssen (Modeling tourism attractiveness to determine the tourism demand in the Upper Danube Catchment considering environmental influences)*. Munich, Dr. Hut.
- Freyer, Walter. 2006. *Tourismus. Einführung in die Fremdenverkehrsökonomie (Tourism. Introduction to Tourism Economy)*. Munich, Vienna, Oldenbourg.
- Fujita, Hamido, and Imran Zualkernan, ed. 2008. *New Trends in Software Methodologies, Tools and Techniques. Proceedings of the Seventh Somet_08*. Amsterdam, IOS Press.
- Gilbert, Nigel, and Klaus G. Troitzsch. 2005. *Simulation for the Social Scientist*. Maidenhead, New York, Open University Press.
- Goeldner, Charles R., and J. R. Brent Ritchie. 2008. *Tourism. Principles, Practices, Philosophies*. New York, John Wiley and Sons.
- Goetze, Uwe. 1991. *Szenario-Technik in der strategischen Unternehmensplanung (Scenario-Technique in Strategic Corporate Planning)*. Wiesbaden, Deutscher Universitätsverlag.
- Graf, Hans Georg. 2002. *Economic forecasting for management. Possibilities and limitations*. Westport, Quorum Books.
- Hahn, Felix. 2004. *Künstliche Beschneidung im Alpenraum. Ein Hintergrundbericht (Artificial Snowmaking in the Alps. A Background Report)*. http://www.cipra.org/pdfs/454_de/at_download/file (last accessed 26 April 2010).
- Hall, C. Michael, and James Higham. 2005. Introduction. *Tourism, Recreation and Climate Change*. In *Tourism, Recreation and Climate Change*, ed. C. Michael Hall, and James Higham, 3-28. Clevedon, Buffalo, Toronto, Channel View Publications.
- Hennicker, Rolf, and Matthias Ludwig. 2005. Property-Driven Development of a Coordination Model for Distributed Simulations. In *Formal Methods for Open Object-Based Distributed Systems*, eds. Martin Steffen, and Gianluigi Zavattaro, 290-305. Berlin: Springer.
- Hennicker, Rolf, and Matthias Ludwig. 2006. Design and Implementation of a Coordination Model for Distributed Simulations. In *Lecture Notes in Informatics – Proceedings. Series of the Gesellschaft für Informatik*, volume P-82, eds. Heinrich C. Mayr, and Ruth Breu, 83-97. Bonn, Köllen Druck+Verlag GmbH.
- Herrler, Rainer, and Franziska Klügl. 2006. Simulation. In *Multiagent engineering. Theory and applications in enterprises*, eds. Stefan Kirn, Otthein Herzog, Peter Lockemann, Otto Spaniol. 575-596. Berlin, Springer.
- Holding, Tim. 1989. *Water Restriction By-Law No. 189. Issued by the Minister for Water, as Minister administering the Water Act 1989*. http://www.barwonwater.vic.gov.au/image_get.cfm?id=A2078110 (last accessed 26 April 2010).

- IPCC (International Panel on Climate Change), ed. 2007. *Climate Change 2007. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Cambridge University Press.
- Jacob, Daniela, Bart van den Hurk, Ulf Andrae, Gunnar Elgered, Carl Fortelius, L. Phil Graham, S. D. Jackson, Ute Karstens, Christina Koepken, Ralf Lindau, Ralf Podzun, Burkhardt Rockel, Franz Rubel, Bent H. Sass, R. N. D. Smith, and Xiaohua Yang. 2001. A Comprehensive Model Intercomparison Study Investigating the Water Budget during the BALTEX-PIDCAP Period. In *Meteorology and Atmospheric Physics* 77/1-4, 19-43.
- Jacob, Daniela, Holger Göttel, Sven Kotlarski, Philip Lorenz, and Kevin Sieck. 2008. Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland. Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland (Climate Change Impact and Adaptation in Germany. Phase 1. Implementation of Regional Climate Models for Germany). In *Climate Change 11/08*, ed. Umweltbundesamt (German Federal Environmental Agency). <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3513.pdf> (last accessed 26 April 2010).
- Jakeman, Anthony J., Alexey A. Voinov, Andrea E. Rizzoli, and Serena H. Chen. 2008. *Environmental modelling, software and decision support. State of the art and new perspectives*. Amsterdam, Elsevier.
- Kuhn, Silke, and Andreas Ernst. 2009. Gesellschaftsszenarien in GLOWA-Danube (Social Scenarios in GLOWA-Danube). In *Global Change Atlas Einzugsgebiet Obere Donau (Global Change Atlas. Upper Danube Catchment)*, ed. GLOWA-Danube Project. S6. Munich.
- Kuhn, Silke, Andreas Ernst, and Wolfram Mauser. 2009. GLOWA-Danube-Szenarien (GLOWA-Danube-Scenarios). In *Global Change Atlas Einzugsgebiet Obere Donau (Global Change Atlas. Upper Danube Catchment)*, ed. GLOWA-Danube Project. S1. Munich.
- Ludwig, Ralf, Wolfram Mauser, Stefan Niemeyer, Anja Colgan, Roswitha Stolz, Heidi Escher-Vetter, Michael Kuhn, Markus Reichstein, John Tenhunen, Andreas Kraus, Matthias Ludwig, Michael Barth, and Rolf Hennicker. 2003. Web-based Modeling of Energy, Water and Matter Fluxes to support Decision Making of mesoscale Catchments. The Integrative Perspective of GLOWA-Danube. In *Physics and Chemistry of the Earth* 28, 621-634.
- Marke, Thomas. 2008. *Development and application of a model interface to couple regional climate models with land surface models for climate change risk assessment in the Upper Danube watershed*. Munich. <http://edoc.ub.uni-muenchen.de/9162/> (last accessed 26 April 2010).
- Mauser, Wolfram, Thomas Marke, Andrea Reiter, Daniela Jacob, and Svantje Preuschmann. 2009. Die GLOWA-Danube Klimatrends (GLOWA-Danube Climate Trends). In *Global Change Atlas Einzugsgebiet Obere Donau (Global Change Atlas. Upper Danube Catchment)*, ed. GLOWA-Danube Project. S2. Munich.

- Möller, Andrea. 2001. Umweltorientierung im Gastgewerbe. Umweltbezogene Auswirkungen, Innovationen und Entwicklungspfade einer tourismusorientierten Dienstleistungsbranche (Environmental Orientation in the Hotel and Restaurant Industry. Environmental Impact Innovations and Trajectories of a Tourism-based Service Trade). In *Schriftenreihe des Deutschen Wirtschaftswissenschaftlichen Instituts für Fremdenverkehr* 48. Munich, dwif.
- Müller, Hansruedi. 2009. 2030: Alps tourism in the face of climate change. In *Trends and issues in global tourism 2009*, eds. Roland Conrady, and Martin Buck, 57-64. Berlin, Springer.
- Parker, Dawn C., Steven M. Manson, Marco A. Janssen, Matthew J. Hoffmann, and Peter Deadman. 2003. Multi-Agent Systems for the Simulation of Land-Use and Land-Cover Change: A Review. In *Annals of the Association of American Geographers* 93(2), 314-337.
- Sax, Mario. 2008. Entwicklung eines Konzepts zur computergestützten Modellierung der touristischen Wassernutzung im Einzugsgebiet der Oberen Donau unter Berücksichtigung des Klimawandels (Concept development for computational modeling of tourism water consumption in the Upper Danube Catchment considering climate change). In *Beiträge zur Wirtschaftsgeographie Regensburg*, 11. Regensburg.
- Schenk, Tilman A., Günther Löffler, and Jürgen Rauh. 2007. Agent based simulation of consumer behaviour in grocery shopping on a regional level. In *Journal of Business Research* 60, 894-903.
- Schmude, Jürgen, and Mario Sax. 2004. Wasser als touristische Ressource. Ein Ansatz zur Modellierung des touristischen Wasserverbrauchs (Water as a tourism resource. An approach for tourism water consumption modeling). In *Tourismus Journal* 8/4: 557-573.
- Steiger, Robert, and Marius Mayer. 2008. Snowmaking and climate change. Future possibilities for snow production in Tyrolean ski resorts. In *Mountain Research and Development* 28/3, 292-298.
- Vanham, Davy, Ernst Fleischhacker, and Wolfgang Rauch. 2008. Technical Note: Seasonality in alpine water resources management. A regional assessment. In *Hydrology and Earth System Sciences* 12: 91-100.
- WTTC (World Travel and Tourism Council), ed. 2009. *Tourism Satellite Account 2009*. London, WTTC.

Integrated regional modelling and scenario development to evaluate future water demand under global change conditions

Authors:

Anja Soboll, Michael Elbers, Roland Barthel, Jürgen Schmude, Andreas Ernst, Ralf Ziller

Abstract

Within climate change impact research, the consideration of socioeconomic processes remains a challenge. Socioeconomic systems must be equipped to react and adapt to global change. However, any reasonable development or assessment of sustainable adaptation strategies requires a comprehensive consideration of human-environment interactions. This requirement can be met through multi-agent simulation, as demonstrated in the interdisciplinary project GLOWA-Danube (GLObal change of the WAter Cycle; <http://www.glowa-danube.de>). GLOWA-Danube has developed an integrated decision support tool for water and land use management in the Upper Danube catchment (parts of Germany and Austria, 77,000 km²). The scientific disciplines invoked in the project have implemented sixteen natural and social science models, which are embedded in the simulation framework DANUBIA. Within DANUBIA, a multi-agent simulation approach is used to represent relevant socioeconomic processes. The structure and results of three of these multi-agent models, WaterSupply, Household and Tourism, are presented in this paper. A main focus of the paper is on the development of global change scenarios (climate and society) and their application to the presented models. The results of different simulation runs demonstrate the potential of multi-agent models to represent feedbacks between different water users and the environment. Moreover, the interactive usage of the framework allows to define and vary scenario assumptions so as to assess the impact of potential interventions. It is shown that integrated modelling and scenario design not only provide valuable information, but also offer a platform for discussing complex human-environment-interactions with stakeholders.

Keywords: Multi-Agent Simulation, Global Change, Regional Modelling, Integrated Water Resources Management, Water Users, Domestic Water Demand, Tourism, Interdisciplinary Framework Approach

Introduction

Climate change, as part of more general global change, has thus far primarily been examined from the perspective of the natural sciences. However, the need to view this issue in a broader context has been recognized. Because environment and society are interacting parts of a complex system, feedbacks between these elements would be inadmissibly discounted if they were investigated in isolation from one another. Interdisciplinary research approaches which integrate both the natural and social sciences are therefore

crucial to the development of reasonable adaptation strategies (Jakeman and Letcher 2003; Giupponi et al. 2006). Moreover, a regional differentiated consideration of climate change is essential to an accurate perspective because effects will vary explicitly on the regional scale (Varis et al. 2004; Bates et al. 2008; STCRC 2009). Multi-agent simulation looks to be a promising tool for meeting these challenges as it allows for integrative, flexible modelling and can be used in conjunction with the examination of scenarios (Börjeson et al. 2006; Therond et al. 2009). A very comprehensive overview of approaches which use agent-based modelling in various fields of human-environment-system analysis and decision support is provided by Aulinas et al. (2009). Since the prediction of future water demand and the development of water resources has always been a central questions in water resources management, a large number of approaches exists in this field (Alvisi et al. 2003; Quinn et al. 2004; Athanasiadis et al. 2005; Yamout and El-Fadel 2005; Berger et al. 2007; Hajkovicz and Collins 2007). Still, a modelling framework that enables policy makers to assess the state of water resources against the backdrop of changing natural and societal conditions and increasing sustainability requirements is yet to be developed.

In response to this need, the GLOWA-Danube project (GLObal change of the WAter cycle; <http://www.glowa-danube.de>) aims at developing and assessing integrated, sustainable adaptation strategies for various sectors of human activity, such as water supply companies, households or tourism professionals. Because issues surrounding the availability of water are crucial in the consideration of climate change, the overarching theme of the project is the water resources development in the broader sense. The area which the project investigates is the Upper Danube catchment, one of the largest (77,000 km²) and most important river catchments in Europe draining parts of Southern Germany, Austria and Switzerland. Due to its strong relief gradient (altitudes in the catchment range from 280 to 3,600 meters above sea level), the area is particularly vulnerable to the effects of climate change and exemplifies conditions which might be expected in other mountainous areas. The rather populous (11.5 million inhabitants) Upper Danube watershed is currently an area with a net water surplus; any future water supply shortages are therefore likely to occur only locally and temporarily. However, potential water use conflicts may nonetheless arise because a variety of human activity sectors compete for water and land use in the region. For example, the household, industrial enterprise, farming and tourism sectors coexist in the region yet all have different water requirements, are unevenly distributed in the study area and share a high demand for water (Barthel et al. 2008).

The likelihood of eventual disagreements over water usage underlines the need for an instrument to support decision makers in resolving such conflicts and in finding the best possible strategic direction to follow under conditions imposed by climate change. As part of GLOWA-Danube, researchers from different scientific disciplines including meteorology, hydrology, environmental psychology, economics, tourism research and computer sciences, have collaborated across transdisciplinary networks to develop and implement DANUBIA, a decision-support system designed to assist stakeholders engaged in water- and land-use management. DANUBIA is intended to support policy makers in the initial estimation of the consequences of strategic (investment) decisions. Three central outcomes have arisen from these efforts:

Firstly, in response to the need for specialised natural and socioeconomic models which simulate both climatic trends and the behaviour and development of different relevant actors, each discipline has developed a specific model representing either a natural or a societal component of the human-environment-system. In total, sixteen simulation models, which represent for example water supply companies, households, tourism supply facilities and climate development, have been implemented, where the socioeconomic models follow a multi-actor approach. Note that the term 'actor' is used a synonym for 'agent' in terms of software agents in GLOWA-Danube. The multi-actor approach allows individual actors to be modeled with varying attributes so that spatial patterns are generated through the aggregation of singular results. An actor may represent any kind of social entity, such as a household or a ski area. Socioeconomic processes are described as the sum of individual behaviours. Thus, outcomes can be analysed at any required level of aggregation. Secondly, in response to the need for a framework which enables interaction between the models, the fully coupled simulation system DANUBIA has been developed. The system coordinates correct temporal data exchange between models via interfaces, thereby allowing the parallel interactive analysis of physical and socioeconomic processes (Ludwig et al. 2003; Barthel et al. 2010). Thirdly, in response to the need for a spatial resolution system differentiated enough to enable detailed analyses, a lattice was superimposed on the study area. The cells of this grid are called proxels (process pixels) and have an edge length of 1 km. A proxel is the common spatial unit of GLOWA-Danube and is fitted with general attributes like the altitude or the number of inhabitants. All simulated elements, such as settlements and rivers, are located on proxels and all simulation processes are carried out on the proxel level.

The general objectives, the methodological framework and results of DANUBIA have been published in previous papers (e.g. Hennicker and Ludwig 2006; Barthel et al. 2008). This paper focuses on the development, description and results of different scenarios. We demonstrate the potential of the methodology used in GLOWA-Danube to bring together coupled spatial simulations and a consistent scenario approach to support the truly integrated assessment of the impacts of global change. DANUBIA can serve as a decision support tool for policy makers by 'translating' climate change consequences into simulations and regionally sustainable adaptation strategies and thereby making the potential impacts of climate change more tangible.

Having introduced the motivation and framework of this paper, its objectives and scope can be summarised as follows:

1. Present the GLOWA-Danube multi-actor approach and its benefits for regional modelling using the example of three models for three diverse sectors.
2. Demonstrate an appropriate way to develop meaningful, integrated global change scenarios and their application to the three presented models.
3. Show the potential of DANUBIA and the multi-actor approach as a tool for decision making and a platform for stakeholder dialogs.

To meet these objectives, the paper is organised as follows: Section 2 describes three of the GLOWA-Danube actor models. In section 3, GLOWA-Danube scenarios are introduced and in section 4, selected results are described. Finally, the results are discussed and conclusions are drawn in section 5.

GLOWA-Danube Actor Models

In order to highlight the integrative nature of DANUBIA and the diversity of its component models, three very different but interrelated sector models are introduced and discussed here: (i) the water supply companies model, i.e., actors with objectives which are partly political/administrative and partly economic, (ii) a model of private households as water consumers, i.e., very idiosyncratic and heterogeneous actors and (iii) a model of tourism facilities, i.e., actors whose water use is economically-minded.

WaterSupply Model structure

WaterSupply focuses on the water resource utilisation and water distribution of individual water supply companies (WSC). Within DANUBIA, *WaterSupply* represents the link between water supply and demand, where the former is simulated by both a groundwater and a surface water model and the latter by water consumption models for four different sectors (domestic, industrial, agricultural and tourism water use). The *Water-Supply Model* determines the quantitative state of water resources for defined spatial and temporal units according to sustainability requirements and assesses this state in relation to present water supply schemes and the dynamics of demand. According to climatic and societal circumstances, the WSC considered in the model can execute any of four different courses of action: The first of these is the business as usual behaviour, i.e. not making any changes to the technical infrastructure. This is mentioned as one action here because it is the most abundant one. The second action expansion of existing sources, where the pumped capacity of operating sources is increased; the third, the tapping of new sources; and the fourth, emergency plans which are carried out if the state of the groundwater resources worsens to a degree where the WSC has no own means to solve the problem. *WaterSupply* seeks both to optimise the resource use of the WSC and to identify critical regions for which further adaptation of the water supply scheme is necessary. The model thus facilitates the identification of critical regions which could experience future water stress and the evaluation of the effectiveness of steps which might be taken to solve or prevent such problems.

An important tool within DANUBIA is the so called 'flag approach' used for the exchange of information between natural science models and *WaterSupply* and the other socioeconomic models. Flags (indices) ranging from 1 (very good) to 5 (very bad) are used for the quantitative assessment of resources in the catchment. For example, the so called 'groundwater quantity flag' expresses the state of any groundwater resource used for the extraction of drinking or process water. Other flags are also available to express the state of surface water, drinking water, water quality and flood risk. In DANUBIA, flags are used by six socioeconomic Actor Models (*Household*, *Tourism*, *Economy*, *WaterSupply*, *Farming* and *Demography*). The flags are interpreted and used by the individual actors according to the actors' attributes and the priorities the actors follow in simulating decisions, and in fact depend predominately on definitions made in the scenario description. For example in a scenario with an emphasis on the sustainable use of natural resources, a higher flag value would lead to a stronger reduction in demand than would be the case in a scenario merely oriented at maximising economic profit. The flag concept follows the idea of communicating warnings and restrictions

which is applied around the world in regions which experience water scarcity (VicWater 2009; San Antonio Water System 2009). In the past, situations requiring such warning systems were not common in the water-rich Upper Danube catchment. However, recent climatic events such as the dry summer of 2003 (BUWAL 2004) and additional anticipated climate change highlight the growing necessity for assessment and monitoring tools. A detailed description of *WaterSupply* is provided in Barthel et al. (2005) and Barthel et al. (2010).

Household Model structure

Household attempts to encapsulate the water usage behaviour of households as well as their perception of water-related risks under climate change conditions. This is achieved by considering domestic drinking water demand in terms of its constituent parts, namely individual types of water usage, installed technological devices and different categories of end user. These parts are subsequently related on the household level in a process model. Because of the spatial and temporal resolution supported by the DANUBIA framework and realised in the model, behaviour can be studied in much more detail than has previously been possible. In total, the model simulates the water usage decisions of 11.5 million people living in the Upper Danube river basin.

The *Household Model* is divided into three sub-models: *WaterUse*, *InnovationDiffusion* and *RiskPerception*. Here we focus on the first two sub-models (for details on the *RiskPerception* sub-model, refer to Seidl and Ernst 2008). Since the actors in the model are meant to represent distinctive water end users, each actor is comprised of all households within a certain lifestyle group located in the 9,210 inhabited proxels. Lifestyles are a sociological concept (Bourdieu 1984) whereby people or households are categorised according to typical behavioural patterns and socio-demographic data. We distinguish five lifestyle groups - Hedonistic Milieus, Mainstream, Traditional Milieus, Socially Leading Milieus and Post-Materialists - whose distribution across the area under investigation is known (Microm 2010; Sinus Sociovision 2010). In each simulated month, household actors receive and process relevant input from other models, including the monthly average temperature, the water price and the drinking water quantity flag as described in the previous section. These inputs serve as events which the actors perceive and which may trigger changes in their behaviour (Barthel et al. 2008).

The *WaterUse* model distinguishes ten types of domestic water usage, from taking a shower, taking a bath or doing the laundry to flushing the toilet. To estimate the water required by each of these usages, the efficiency values for different devices were obtained and lifestyle-specific data regarding the frequency and the duration of water usage were collected in own surveys (Ernst et al. 2008). Under normal circumstances, the actors behave according to their habits. They will reconsider their behaviour only if extraordinary events occur. Both habits and reactions to extraordinary events are lifestyle-specific. For instance, very high or very low temperatures cause many people to increase the frequency with which they shower or bath. Warnings about water shortages issued by WSC, the media or local officials may cause an enhanced conscientiousness to limit water usage. Finally, others adjust their water usage habits only if water prices increase considerably. The total domestic water demand is calculated on the proxel level and subsequently

transferred to the local WSC for further processing (Barthel et al. 2008; Ernst et al. 2008).

Domestic drinking water demand, however, is not only a function of the water usage behaviour of different actors, but also depends on the specific water delivery devices installed in the actors' homes and on the extent to which water saving appliances have become accepted and been used to replace older installations. Because of this, a separate sub-model, the *InnovationDiffusion* model, has been used to simulate the spread of technological innovations corresponding to three categories: water-saving shower heads, water-saving toilet flushes and rain-harvesting systems. Again, a survey (Schwarz and Ernst 2009) was carried out to determine which criteria the actors take into account when deciding whether or not to buy water-saving devices for their homes or whether or not to adopt a certain technology. First and foremost, the survey showed that there are significant differences in the amount of information that different lifestyle groups consider when making these decisions. Generally, the more modern and well-educated lifestyle groups (Post-Materialists and Socially Leading Milieus) base their decisions on a wider range of criteria than the more conservative lifestyle groups (Mainstream, Traditional Milieus and Hedonistic Milieus). Moreover, the former groups tend to take environmental aspects under greater consideration while the latter are more sensitive to prices and the choices made by their peers.

Tourism Model structure

Tourism investigates the correlation between tourism supply and demand and the regional impacts of climate change through simulation of tourism water consumption as related to the operating parameters of tourism facilities. The model is characterised by a tripartite structure and thus consists of three sub-models: the *Actors* model, the *Attractiveness* model and the *WaterConsumption* model. As *Tourism* considers water demand intensive tourism infrastructure and suprastructure facilities including ski areas, golf courses, public swimming pools, hotels and gastronomy, it can be considered predominantly supply side-oriented. The facilities are implemented as single actors within different actor classes, where the specific water requirement is quantified with regard to both climate and societal change including tourism demand side developments (Sax 2008).

The *Actors* model contains five tourism actor classes, each of them fitted with relative attributes such as the number of snow cannons for ski areas or the areal extent of golf courses, as well as various options for action, such as artificial snow-making for ski areas or watering of greens for golf courses. To accurately depict each type of facility as an actor within the model, extensive data, including spatial information and several other relevant parameters, have been collected via own surveys (Dingeldey 2008; Sax 2008) and assigned to the appropriate actor class. This structure allows for a highly detailed examination of tourism supply, including both development studies of units as small as a single ski area and the examination of much larger entities such as administrative districts or states.

The simulated tourism supply facilities represent the tourist attractions of a community.

If, for example, a ski area is forced to partially or fully close due to climatic conditions, this will have an adverse effect on the attractiveness of the area as a winter sports destination: Potential tourists might decide to visit other ski resorts where enough snow is more likely or decide on other holiday activities. Quantification of these demand side reactions is the object of the *Attractiveness* model. This sub-model reflects the attractiveness to tourists of each of the more than 2,100 communities under consideration by means of individual regression analyses, thereby allowing detailed analyses of the overall tourism demand.

Each operating tourism supply facility creates a specific water demand, e.g., a golf course's need to water greens or fairways. Tourists also consume water, for example when they stay in a hotel. To encapsulate the effects of tourism supply and demand side water requirements, the *Actors* model and the *Attractiveness* model deliver data to the third sub-model, the *WaterConsumption* model, which calculates the total tourism water demand. This information is then transferred to the *WaterSupply Model* for further processing. In the case of water shortages as indicated by high flag values (see section 2.1), tourism facilities must react by closing their facilities temporarily or permanently, thereby reducing their water consumption. The relationship between water availability and tourism demand has not been documented in the literature. Hence, for the development of the GLOWA-Danube *Tourism Model*, nine experts were questioned and came to agreement regarding a considerable linkage between the two parameters. Their decision has had the following effect on the structure of the model: A flag value of 4 or 5 in effect over a longer period causes a 10 percent to 33 percent decline in overnight stays in the affected communities. Flag values of 1 to 3 do not have a noticeable effect on tourism demand (Dingeldey 2008).

After having presented the three selected Actor Models, the next section focuses on the scenarios implemented in GLOWA-Danube.

GLOWA-Danube scenarios

In recent years, the need for the integrated study and assessment of socio-environmental systems has been recognised in the scientific community and beyond (Holman et al. 2005). This recognition, in turn, has given rise to an increasing demand for scientifically informed and integrated computational models and the development of scenarios. As Galán et al. (2009) point out, scenarios can act as a crucial bridge between environmental science and policy making. However, due to the inherent complexity and uncertainty of socio-environmental systems, they cannot provide short-term predictions but only long-term insights. To offer useful decision support tools to stakeholders, we have organised different scenarios by means of a modular principle which allows the user to compile the scenarios which are of interest. A GLOWA-Danube scenario is structured as the combination of a climate trend, a climate variant, a societal scenario and optional interventions (Figure 1).

The components of this scenario kit are described below.

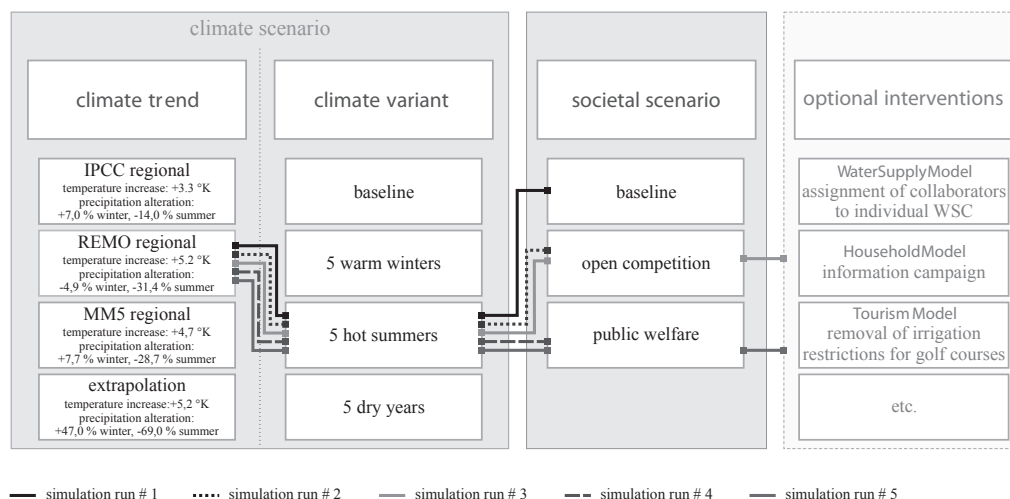


Figure 1: Structure of the GLOWA-Danube scenario kit with its four components climate trend, climate variant, societal scenario and optional interventions. Additionally, the five simulation runs selected for this paper are shown (run # 1: REMO regional - 5 hot summers - Baseline - no optional interventions; run # 2: REMO regional - 5 hot summers - Open Competition - no optional interventions; run # 3: REMO regional - 5 hot summers - Open Competition - with Actor Model specific optional interventions; run # 4: REMO regional - 5 hot summers - Public Welfare - no optional interventions; run # 5: REMO regional - 5 hot summers - Public Welfare - with Actor Model specific optional interventions).

Climate scenarios

A GLOWA-Danube climate scenario consists of a climate trend component and a climate variant component. The former establishes the main direction of physical climate development. The climate scenarios use the regional (European) trends of the A1B1 IPCC-scenarios, where the input values have been derived from a statistical analysis of 46 years of observed climate data. Details of the procedure are explained in Marke (2008) and Mauser and Bach (2009). To offer a broad spectrum of climate scenarios that reflect the current uncertainty in global climate models and regionalisation methods, four climate trends are available. They differ in the extent of temperature increase (between 3 percent and 5 percent) and the variability of precipitation (-5 percent to +47 percent in winter, -69 percent to -14 percent in summer).

Climate variants can be viewed as concrete realisations of the general climate trend. Each climate variant implies a specific climate phenomenon that recurs over five consecutive years. The rationale of this approach is that policy makers may be able to handle the effects of one or two years with unfavourable climate conditions but will probably face serious economic problems after five years of adverse conditions. For example, the variant *5 warm winters* produces relatively mild temperatures during winter months over five sequential years and results in a higher snow line which affects tourism in ski areas located in lower altitudes. Conversely, WSC or farmers may be interested in assessing the effects of the variant *5 dry years*.

Societal scenarios

Three available societal scenarios sketch out different paths along which society may be assumed to evolve. These scenarios are defined independently of the climate scenarios and no assumptions are made as to their respective probabilities of occurrence. The *Baseline* scenario describes a continuation of present societal conditions while the scenarios *Open Competition* and *Public Welfare* make opposing assumptions about the development of society towards a more free market, liberal orientation in the first case, or towards an orientation centered more around collective responsibility and sustainability in the second. Below we sketch out the application of these general trends to the three Actor Models discussed in this paper.

Societal scenario *Baseline*

The *Baseline* scenario assumes that currently prevailing values and attitudes in society will remain unchanged in the future. In this scenario, WSC are bound only to the water withdrawal permits they have already been assigned and aspire to guarantee supply without making full use of their technical and legal capacities, i.e., they try to ensure the supply of consumers while trying to minimise water resource consumption. Thus, resources may temporarily be overused but WSC will inform the public unconditionally and extensively about water usage risks and the state of water resources in order to try to influence their water usage behaviour. For households as water users, the characteristics that define the five lifestyle groups remain unchanged. That is, the water usage behaviour of the majority of households stays habitual and is otherwise influenced mostly by changes in water pricing and, to a lesser extent, by environmental concerns. The diffusion of innovative water-saving technologies continues at a steady rate. The tourism sector develops at a moderate rate so that the investment focus is on maintenance issues. As a result, the water demand and the infrastructure in place at tourism facilities basically remain consistent with what was present at the beginning of the twenty-first century.

Societal scenario *Open Competition*

The *Open Competition* scenario assumes that society will become more market-oriented and pragmatic in the future at the expense of social cohesion and collective responsibility. The overarching trend in the scenario is the consideration of water as a product and not so much as a natural resource worth preserving. The WSC tend more strongly towards maximising profits and meeting demands rather than considering environmental consequences or ensuring transparency. A deterioration of water resources is therefore ignored as long as technical facilities allow. The public will not be informed about water scarcity until levels have become critical. Households across all lifestyle groups are more price sensitive than in the *Baseline* scenario. Moreover, the environmental aspects of water usage are considered less important, making it more difficult for WSC to influence domestic water usage by informing or warning the public about water scarcities. In the tourism sector, all available technical options will be exploited in order to meet the expectations of the demand side, implying that there will be no restriction on the

amount of water used for purposes related to tourism. Only in the case of a severe water shortage, the use of water will be limited. The water demand of tourism supply facilities will also increase because of the higher quality of services provided and infrastructure in place.

Societal scenario *Public Welfare*

The *Public Welfare* scenario is based on the assumption that social cohesion and common responsibility will become stronger in the future and that non-economic factors will outweigh financial considerations. The prevailing zeitgeist in this scenario is that water must not be wasted, but rather used sustainably. The WSC decrease water withdrawals as soon as the state of the resource deteriorates and comprehensively inform the public of shortages at an early stage. The public is more environmentally conscious and thus more sensitive to official warnings concerning water shortages. Citizens are also more inclined to adopt water-saving behaviour and invest in water-saving technologies while increased social cohesion further enhances the diffusion of water-saving technologies. In the tourism sector, not all technical measures are taken because the prevalent view is that in perpetuity, climate change cannot be handled by technical adaptation measures. Together with an increasing environmental awareness, the water demand of tourism supply facilities as well as the extent of the infrastructure installed will develop at a contemporary level.

Having defined the societal scenarios under consideration, they now need to be translated into concrete parameter values which can be implemented in the Actor Models. Table 1 gives an overview of key attributes of the three Actor Models presented.

Optional interventions

Apart from the climate and societal scenarios presented here, various optional interventions are also available for consideration. These optional interventions describe directed, selective and time-limited interventions intended to counteract or assist the predefined development of the chosen societal scenario. Each Actor Model offers a number of optional interventions concerning only the actors specific to the given situation. In contrast to the climate scenarios and societal scenarios, which are merely a set of assumptions and rules, optional interventions can be directly defined by the users. The optional interventions defined in GLOWA-Danube have all been determined in discussions with stakeholders. The choice of interventions presented hereafter is therefore not to be taken as a complete list, but as a choice stakeholders were interested in. Because of the modular design of GLOWA-Danube scenarios, the extent of optional interventions can be easily expanded.

Parameter	Parameter value in <i>Baseline</i>	Parameter value in <i>Open Competition</i>	Parameter value in <i>Public Welfare</i>
WaterSupply Model			
Groundwater quantity flag considered as good	2	3	1
Reduction of withdrawal from sources with bad groundwater quantity flag	moderate	low reduction	great reduction
Safety factor ¹ for local WSC	0.90	0.95	0.80
Influence of secondary WSC on decision	WSC expand less if secondary WSC exists	WSC always try to expand	WSC expand less if secondary WSC exists
Household Model			
Lifestyle groups characteristics: price sensitivity	unmodified: Mainstream, Traditional, Hedonistic lifestyle groups very price sensitive; Post-Materialists, Socially Leading lifestyle groups considerably less sensitive	increases	unmodified
Lifestyle groups characteristics: environmental awareness	unmodified: Post-Materialists, Socially Leading, Traditional lifestyle groups moderately ecoconscious; Mainstream life-style group shows little, Hedonistic lifestyle group no environmental awareness	decreases	Increases slightly
Lifestyle groups characteristics: importance of peers	unmodified: Mainstream, Traditional lifestyle groups influenced by installation decisions in their social network; Post-Materialists, Socially Leading, Hedonistic life-styl groups unaffected	unmodified	increases: only Hedonistic lifestyle group remains unaffected by social comparison
Tourism Model			
Water demand in hotel and restaurant business	unmodified	increases	unmodified
Ski areas: expansion of snow making facilities	moderate expansion	strong expansion	no expansion
Golf courses: irrigation interval	unmodified	shortened	lengthened
Golf courses: irrigation of fairways	partial irrigation	extensive irrigation	no irrigation

¹ Safety factor: If the quotient of demand and current capacity falls below this factor, the WSC tries to expand as far as possible to handle possible further increases in demand

Table 1: Selected parameters and societal scenario specific parameter values of the three Actor Models *WaterSupply*, *Household* and *Tourism*.

In the *WaterSupply Model*, optional interventions are implemented by assigning collaborators to individual WSC. If one of the WSC cannot satisfy community demands, it will relay unmet demands to its collaborators, which in turn can relay these demands on to their own collaborators. Complexity can range from simple client-server connections to sophisticated networks of collaboration. It would also be possible to link local WSC with one another, but the collaboration of regional WSC with higher supply potential will

yield better results. This cross-linking of WSC is implemented for the duration of the simulation. Links between collaborators are only used to prevent emergency situations and have no impact on other operations. However, if a collaborator's supply is utilised by one of the WSC unable to meet its own demand, this may lead to an expansion of the collaborator's capacity. The implementation of a collaboration network therefore leads to both a reduction in the number of emergency situations and a slight overall increase in capacities.

The *Household Model* allows for the inclusion of two types of optional interventions - information campaign and subsidisation policy, both directed at promoting the installation of water-saving devices in households, namely the dual-flush toilet or the water-saving shower head. The optional interventions are defined in part by their scope, i.e., the parts of the investigation area in which they are effective, their duration and their intensity. The intensity of an intervention is defined as the percentage of households per month which decide to install a new shower head or toilet flush. The two types of optional interventions differ in the way they influence this decision. The information campaign raises the actors' environmental awareness, thus increasing the likelihood that they will opt for a more environmentally friendly, water-saving device. The indirect effect of this intervention implies that an information campaign may cause spillover effects to other technologies not directly promoted by the intervention. Moreover, we can assume that heightened environmental awareness persists after the end of the campaign. The subsidisation policy intervention causes a more direct effect in the sense that it provides a subsidy, and therefore a financial incentive for the purchase of a specific device.

In the *Tourism Model*, three optional interventions are offered for ski area actors and one for golf course actors. The former allow for an expansion of snow-making facilities and the latter for the complete irrigation of golf courses, even if the societal scenario settings prohibit this measure in general. The optional ski interventions differ in their target groups, accentuating either regional differences by promoting Northern Bavarian ski areas, or capability differences by catering to the thirty biggest or smallest ski areas in terms of lift carrying capacity [persons/hour] and size of slopes [hectares]. The ski areas affected by the intervention obtain permission to expand their snow-making facilities by up to 50 percent in the year 2025, even if this is generally inadmissible as in the case of the societal scenario *Public Welfare*. The golf course actors' optional intervention foresees that authorities tend to foster golf courses as golf tourism is considered a growth market. Therefore, golf courses are allowed to irrigate greens and fairways without restriction beginning in 2025 and despite constraints related to environmental protection (Table 1).

Selected results

In the following, we present selected results of five simulation runs, which are all based on the climate trend *REMO regional* and the climate variant *5 hot summers* and differ in terms of the societal scenario. Run # 1 contains the societal scenario *Baseline* without optional interventions, run # 2 *Open Competition* without optional interventions, run # 3 *Open Competition* with Actor Model specific optional interventions, run # 4 *Public Welfare* without optional interventions and run # 5 *Public Welfare* with optional interventions (Figure 1).

WaterSupply Model results

The *WaterSupply Model* provides an elaborate number of result data which help to identify local and regional problems in the Upper Danube catchment, but should not be used to suggest explicit measures for single WSC or communities. The presented results of the *WaterSupply Model* refer to the period 2013 to 2025 of simulation run # 4 and # 5.

In all scenarios, water scarcities can be drastically reduced by introducing collaboration between WSC as an optional intervention. This allows the water resource to be used much more efficiently and water scarcities can be mitigated. In the presented simulation runs, all WSC using the emergency plan more than 20 times during the simulation runs without optional intervention were connected to the nearest regional WSC. By building an efficient network between all WSC executing emergency plans, temporally and locally occurring water shortages can be compensated.

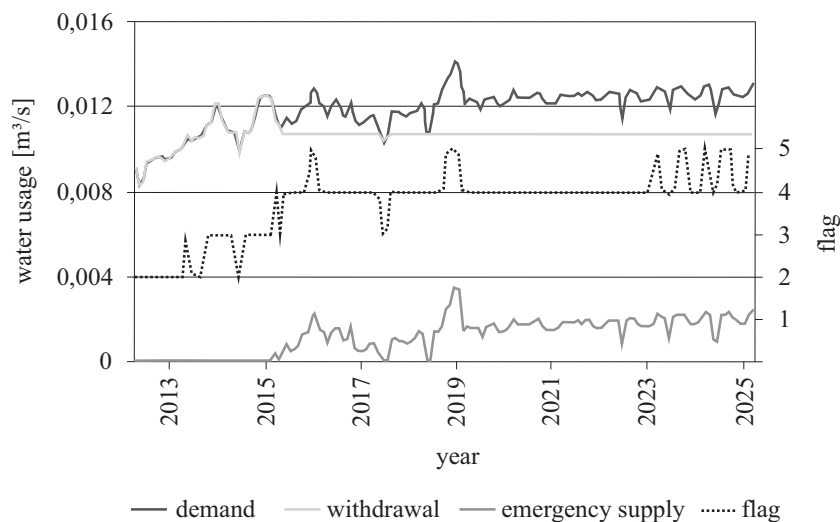


Figure 2: Water demand [m^3/second], water withdrawal [m^3/second], emergency supply [m^3/second] and resulting flag values of a local WSC over the period from 2013 to 2025 in simulation run # 4.

Figure 2 shows a local WSC that starts to face water scarcities as from 2015, when it is confronted with an increasing demand and at the same time a decreasing state of water resources. This leads to limitations in usable capacity. The excess demand has to be supplied by executing emergency plans.

If a WSC that has to carry out emergency plans (Figure 2) is connected to a collaborator with sufficient resources, the emergency supply can mostly be replaced by the collaborator's supply (Figure 3). Consequently, the drinking water flag is significantly rectified because of this improvement in drinking water availability.

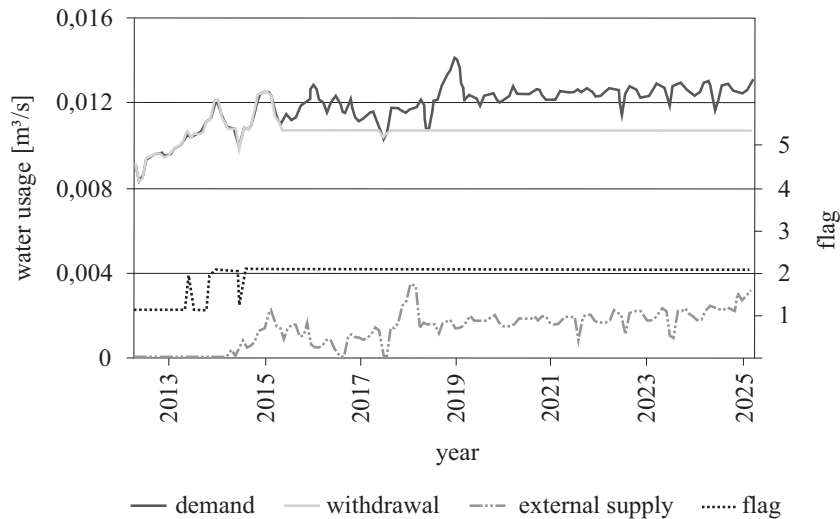


Figure 3: Water demand [m^3/second], water withdrawal [m^3/second], emergency supply [m^3/second] and resulting flag values of a local WSC over the period from 2013 to 2025 in simulation run # 5.

Household Model results

Domestic drinking water demand in the investigation area has been on the decrease for the past twenty years both in total and per capita (UGrdL 2009). For the most part, this has been the result of increasing water prices which have served as incentives to save water and the continuing spread of water-saving devices such as dual-flush toilets, flush/stop toilets and water-saving shower heads. Figure 4 shows that under the given climate trend *REMO regional*, our simulations suggest that this trend will continue in the future independent of how society evolves. However, both the extent of the decrease and the actual development of domestic drinking water demand over time differ significantly between societal scenarios. Most strikingly, domestic water demand in the scenario *Public Welfare* remains well below the demands simulated for *Baseline* and *Open Competition*. This is mainly due to the higher sensitivity of the household actors to environmental issues in the scenario *Public Welfare*: The likewise more sensitive WSC issue warnings and appeal to save water more often which causes households to react, mainly by decreasing the frequency of taking showers during the summer months. This effect is most pronounced from the year 2042 onward with the incessant presence of high drinking water quantity flags. The same holds true for the decreasing water demand in the scenario *Baseline*, although the effect is much less drastic since both households and WSC are assumed to be less concerned with environmental issues. By contrast, in the scenario *Open Competition*, the effect largely stems from the increased sensitivity of the population towards water prices, i.e. the actors reduce water consumption in order to reduce expenses. Price sensitivity has such a strong effect on the water demand as those lifestyle groups which are most sensitive to the water price, namely the Traditional, the Mainstream and the Hedonistic milieus, constitute combined almost 75 percent of the population. Environmental concerns only play a minor role in the scenario *Open Competition*, all the more since WSC - being equally insensitive to environmental concerns - only issue warnings sporadically.

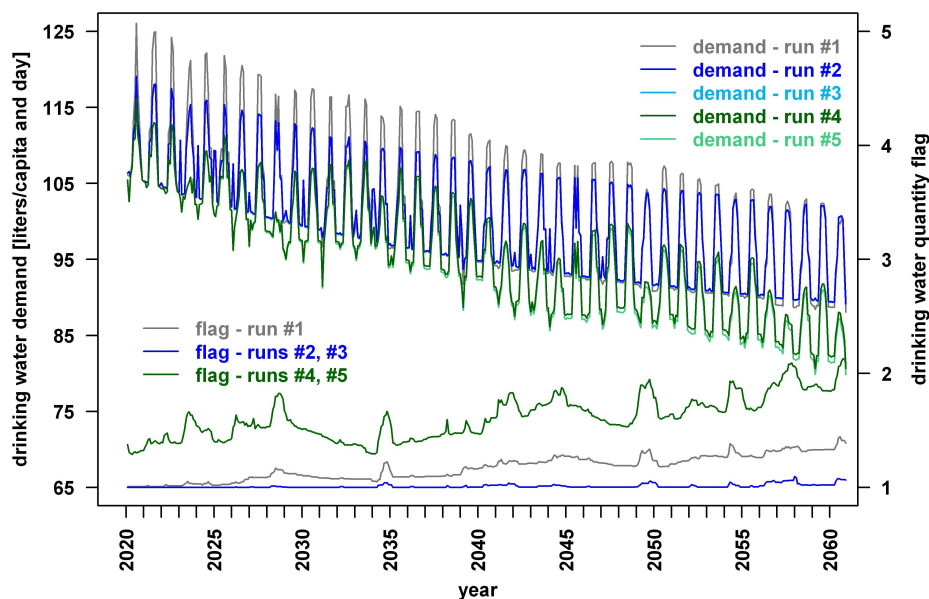


Figure 4: Simulated average domestic drinking water demand [liters/capita and day] (top) and corresponding average drinking water quantity flag values (bottom) across the whole investigation area over the period from 2020 to 2060 for the five scenario runs (run # 1 to # 5).

Even though the differences in terms of the magnitude of the decrease in water demand between the three societal scenarios can largely be attributed to the assumed reactions of households to the information policies of their WSC, the general trend continues to also be driven by the further diffusion of water saving devices. However, on the whole, the amount of water saved as a result of the proliferation of such devices is very similar in all three societal scenarios. In fact, the diffusion processes are identical for Baseline and Open Competition. In *Public Welfare*, the assumption that actors will attach more importance to the decisions of others has both a positive and a negative influence on the diffusion of water-saving technologies. Whereas this form of social comparison fosters the diffusion of the water-saving shower head, it inhibits the diffusion of the dual-flush toilet.

To understand this, it is necessary to understand the nature of the social component of the diffusion process. Actors from the Traditional and Mainstream milieus - which together constitute almost half of the population in the investigation area - have a general tendency to imitate the choice of technology of other actors. In fact, under *Public Welfare* assumptions, the Traditional and Mainstream milieus resort completely to imitation, i.e. they opt for the technology adopted by the majority of their significant others. Therefore, the degree to which a particular technology has already diffused in the population correlates positively with the rate at which the technology is subsequently adopted. Figures 5 and 6 show that in 2020, the water-saving shower head has already been adopted by a greater percentage of the population than the dual-flush toilet, particularly among the early adopters (Post-Materialist and Socially Leading milieus), which leads to a speedier diffusion of the former and an inhibition of the diffusion of

the latter. In Figure 5, solid lines refer to scenario runs # 2 and # 4, dashed lines refer to scenario runs # 3 and # 5 (information campaign March to June 2025). As indicated, the scenario runs only differ significantly with respect to the Traditional and Mainstream milieus. In Figure 6, solid lines refer to run # 3, dashed lines to run # 5 (information campaign March to June 2025).

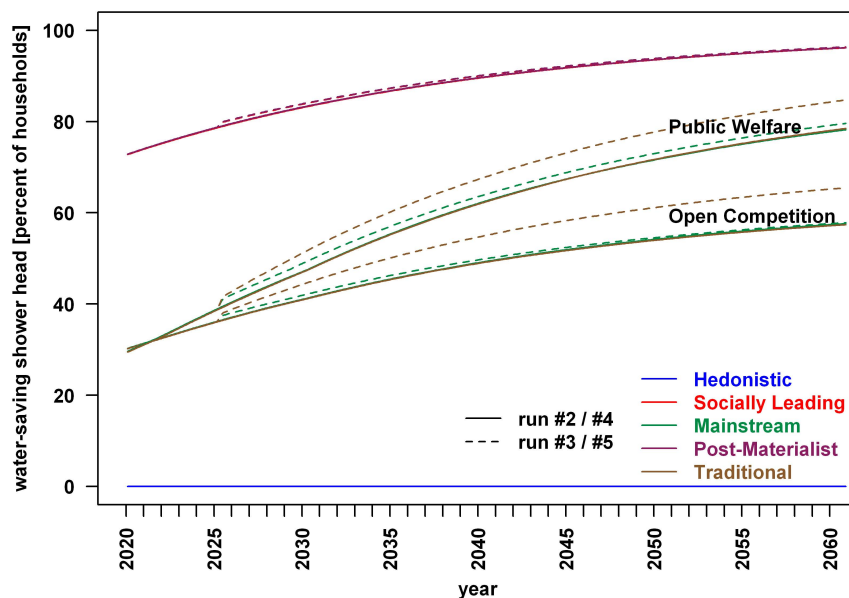


Figure 5: Simulated diffusion of the water-saving shower head technology among the five lifestyle groups over the period from 2020 to 2060 across the whole investigation area. Solid lines refer to the simulation runs # 2 and # 4. Dashed lines refer to the simulation runs # 3 and # 5 with an information campaign (March to June 2025) promoting water-saving shower heads. The figure shows the percentage of households of each lifestyle group in which the technology has been installed.

Judging the effectiveness of the information campaign to promote the installation of the water-saving shower head, Figure 4 offers a clear result. The information campaign was applied in run # 3 and # 5 from March to June 2025. Even though it was applied across the whole investigation area, it did not cause a significant reduction in domestic water demand in run # 5 and almost none in run # 3. This is despite the fact that it not only accelerated the diffusion of the water-saving shower head (Figure 5), but also the diffusion of the dual-flush toilet by way of the abovementioned spill-over effect (Figure 6).

The reasons for this are essentially threefold: First and foremost, the increased environmental awareness which the campaign induces causes only one type of actor - the one representing the Traditional milieu - to alter its adoption decision. The slightly increased adoption in the Post-Materialist, Socially Leading and Mainstream milieus is merely a result of their general and scenario specific - but rather limited - tendency to imitate, and, in the case of the water-saving shower head, the fact that for the duration of the campaign, more households consider the replacement of the shower head. Secondly, the water-saving shower head has already been installed in almost 80 percent of households

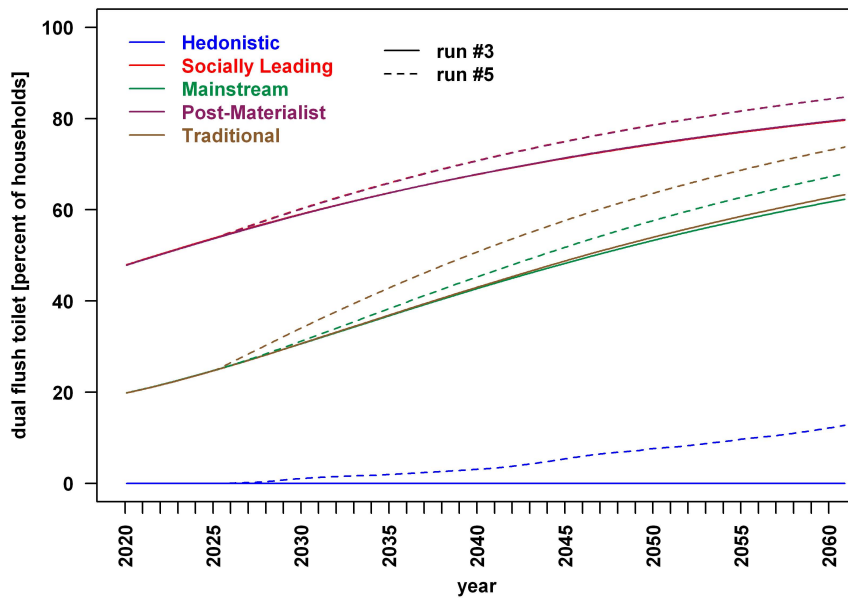


Figure 6: Simulated diffusion of dual-flush toilets among the five lifestyle groups over the period from 2020 to 2060 across the whole investigation area. Solid lines refer to simulation run # 3 with an information campaign (March to June 2025) promoting dual flush toilets. Dashed lines refer to the simulation run # 5 with an information campaign (March to June 2025) promoting dual-flush toilets. The figure shows the percentage of households of each lifestyle group in which the technology has been installed.

from the Post-Materialist and Socially Leading milieus at the time the campaign is launched, thus limiting the water-saving potential of these groups. Finally, the campaign essentially fails to mobilise the Hedonistic milieu, i.e. the lifestyle group with the greatest water-saving potential. Only in one extreme case, some actors of this milieu adopt the most environmentally friendly technology (the dual-flush toilet): When the combined effect of a *Public Welfare* scenario, an information campaign and critical warnings from their local WSC (run # 5) substantially raises these actors' environmental awareness.

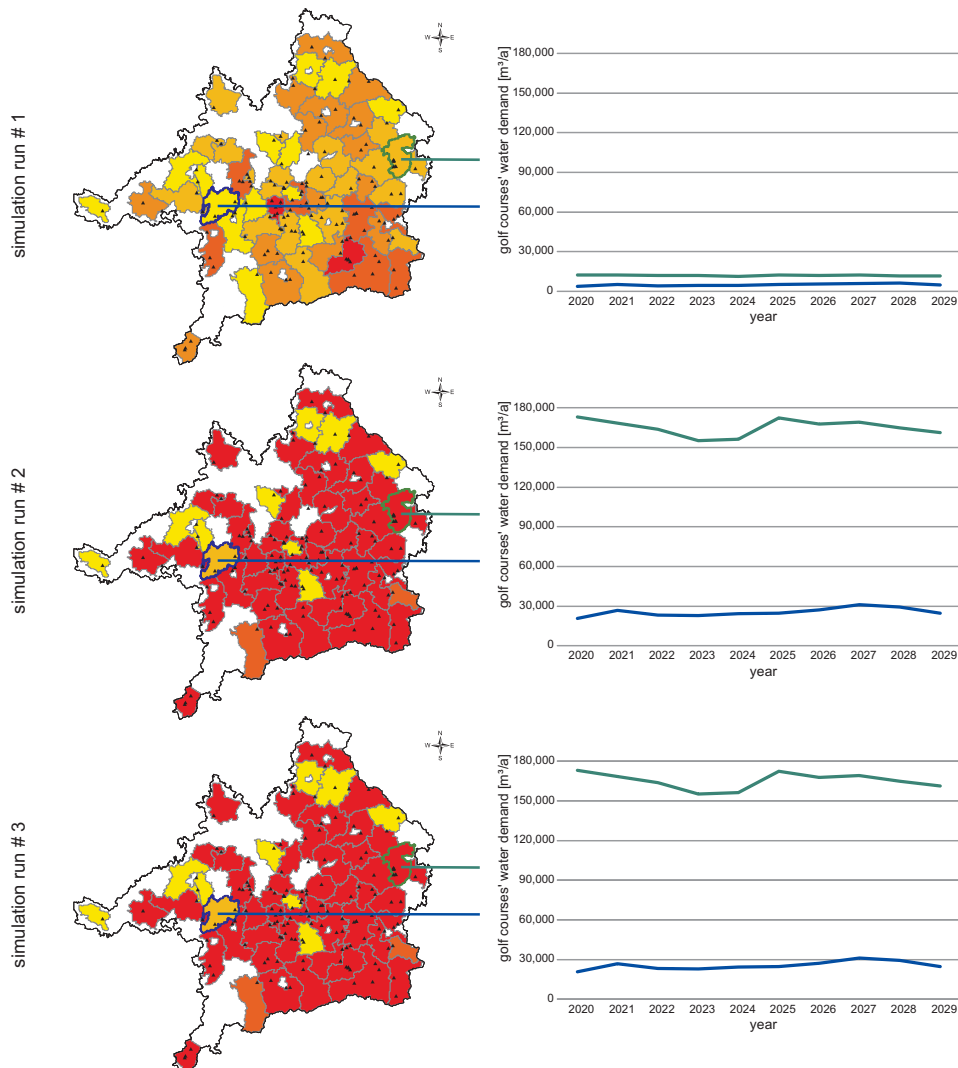
Tourism Model results

The *Tourism Model* also provides an extensive variety of result data aggregable on different spatial and temporal levels (Dingeldey and Soboll 2010; Soboll and Schmude in press). In the following, we present outcomes of the five selected simulation runs (Figure 1) for the water demand of golf courses per administrative district. Simulations start in 2011, but need several years to level out, so that results are shown for the period 2020 to 2029 in Figure 7. This also allows for evaluating the influence of the optional golf intervention (section 3.3), which starts in 2025.

The main decisive factors for the relative golf course's water demand are the sum and the distribution of precipitation, which may vary greatly according to location and microclimatic factors. Currently, about one third of the 150 investigated golf courses

additionally irrigates fairways, leading to an overall water demand of 1,296,000 m³/a. For watering, different sources are disposable, with the major part (about 88 percent) being provided by ground water, the rest by surface (7 percent) and drinking water (5 percent) (Sax 2008). As more than 80 percent of the investigation area’s golf courses have reservoirs, they are largely independent from WSC. Thus, GLOWA-Danube flags have only little effect on the operation ability of golf courses, as high flag values occur only locally and temporally limited. Therefore, the critical length of irrigation intervals, which would implicate a seasonal closure of a golf course, is not exceeded. This applies especially as the presented results are aggregated to years and administrative districts.

The left column of Figure 7 shows the average water demand of all golf courses per administrative district in the whole investigation area for each of the five conducted simulation runs. The resulting maps of simulation runs # 2 and # 3 are identical, as they are both based on the societal scenario Open Competition, in which an irrigation of fairways is allowed in general. Therefore, the application of the optional golf intervention in simulation run # 3 has no added effect. The water demand is mostly very high in both



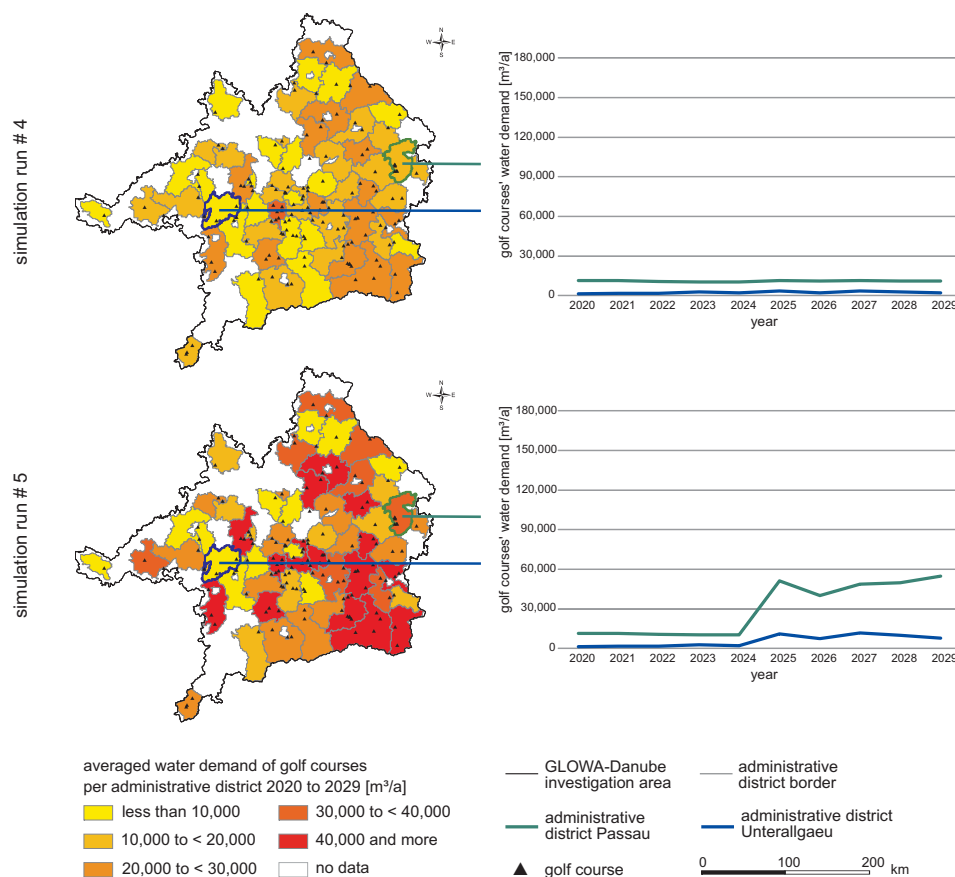


Figure 7: Average water demand of golf courses per administrative district [m³/a] over the period from 2020 to 2029 according to the selected simulation run (run # 1 to # 5) (left) and exemplary development of golf courses' water demand [m³/a] in the administrative districts Passau and Unterallgaeu (right).

runs as fairways account for about 40 percent of the total golf course area (Baartz 1994), leading to an enormous water demand for irrigation purposes. In all five simulation runs, but particularly in run # 1, # 4 and # 5, the golf courses' water demand per administrative district offers a diverse picture: Water demand tends to be higher in the eastern part of the investigation area, mainly due to a slightly higher absolute number of golf courses in these districts on the one hand and microclimatic differences, concerning above all the precipitation distribution on the other hand. The water requirement is lower in run # 4 than in run # 5, even if they share the underlying societal scenario (Public Welfare), due to the application of the optional golf intervention in run # 5 as from 2025.

This is made even clearer in the right column of Figure 7, which illustrates the golf courses' water demand in two selected administrative districts, Passau and Unterallgaeu. The district Passau (Bavaria, Germany), located in the eastern part of the investigation area, includes one of the largest golf resorts in Europe. Golf tourism is an important economic sector in this area owing to green fee earnings and a remarkable number of overnight stays induced by golf tourism. In contrast, golf tourism plays a marginal role in the administrative district Unterallgaeu (Bavaria, Germany) in the western part of the

study area. The lines of graphs of run # 1 to # 4 show similar sequences, which can be traced to the climatic preconditions of the conducted scenarios. The apparent substantial quantitative differences result from the societal parameters. The shape of the curves varies also in the graphs of run # 1 and # 4, which is less significant in these illustrations due to the chosen consistent scaling of the ordinate in the five graphs. The mentioned use of the optional golf intervention in run # 5 is particularly obvious for Passau. This might give rise to conflicts over use with other groups, such as households, farmers or industrial enterprises in this scenario run, but especially under *Open Competition* conditions. Altogether, Figure 7 illustrates that the climate scenario indeed constitutes the main driver determining golf courses' water demand. But as all selected scenario runs are based on the same climate scenario (*REMO regional and 5 hot summers*), the partly extremely divergent results have to be ascribed to the societal scenario or the optional golf intervention respectively.

Discussion

The results of the *WaterSupply Model* show that although the Upper Danube catchment is an area with a net water surplus today, there are potential risks that local WSC cannot satisfy the demands under changed climatic conditions. Even though the overall trend for the catchment shows a decrease in demand, local and temporal water shortages are likely to occur. The potential for local water crises is especially high in the midterm of the simulation period, as the state of the water resources starts to worsen and the decrease in water demand has not advanced that much. The implementation of a simple collaboration plan in which the most stressed WSC - determined as WSC executing emergency plans more than 20 times during a simulation run - are connected to the two nearest regional WSC with excess capacity proves to be a good solution to these local problems. WSC in the Upper Danube catchment need to build a collaboration network and to distribute the demand over more sources to ensure a stable uninterrupted and sustainable water supply under changing climatic and societal conditions.

The results of the *Household Model* suggest that the trend of decreasing domestic drinking water demands will continue in the future irrespective of the prevailing societal scenario. The presented simulation runs also shed some light on how socioeconomic, environmental and political factors might influence the magnitude of this decrease both in the medium and the long term. Moreover, we have demonstrated the *Household Model's* usefulness for assessing the potential effectiveness of interventions, such as information campaigns, as means of promoting technological innovations. More importantly, however, the simulation runs indicate its potential for enabling more in-depth analyses of the reasons for the failure or the success of such interventions under different scenario assumptions. Such analyses are further enhanced by the spatially explicit nature of the decision support system DANUBIA and its models making it possible to investigate spatial effects and local opportunities for effective interventions and thus help to inform and assess water-related policies of various political and economic decision makers.

The results of the *Tourism Model* elucidate the influence of society, policy and economy within the human-environment-system. Moreover, the results affirm both the effectiveness of interventions by territorial authorities and the necessity of a timely assessment of

potential adaptation strategies. Thus, need for action results for both territorial authorities and policy as well as for golf business managers, where the former might recognise the necessity of integrative concepts in terms of water use conflicts. The latter could further reduce their dependence on climate change consequences, for example by utilising more dry resistant grasses, which allow for an extension of the irrigation interval and by setting or expanding reservoirs. This may lead to a crucial competitive advantage in the future as policy makers and golf business managers have to be particularly interested in conserving water, not only from the ecological, but also from the economic point of view.

Conclusions

In summary, the approach presented in this paper enables a reasonable evaluation of global change impacts on the human-environment-system. This is of particular importance as it is becoming increasingly clear that the climate will change faster and the consequences may be more severe than has been assumed so far (Swart and Marinova 2010). The functional interaction of the presented Actor Models allows for detailed analyses of water resources development considering interactions between the supply and demand side. Due to the generic implementation in DANUBIA, spatially and temporally explicit, process-based modelling is feasible, whereby a tool for assessing regional sustainable adaptation strategies of various sectors is available. By plugin, the framework DANUBIA is easily extendable, so that further Actor Models might be integrated as desired.

As a high degree of uncertainty appertains to both natural and societal systems, the approach of providing different climate and societal scenarios enables adequate analyses of the heterogeneous environment in a river catchment and complex human behaviour. The additional implementation of optional interventions, which can be edited and extended with ease, renders the tool more user friendly and thus allows for even more meaningful decision support for policy makers. The main fields of application of DANUBIA are the assessment of worst case global change scenarios and the development of regional adaptation strategies for long-term strategic purposes. Nevertheless, DANUBIA should not be mistaken as a planning tool for designing or optimising water supply systems. It rather indicates where, how and to what extent adjustments and interventions may become necessary.

As can be inferred from the review presented by Aulinas et al. (2009), DANUBIA with its multi-actor approach is not the only agent-based system in the field of human-environmental research. Many authors (e.g. Jakeman and Letcher 2003) demonstrate that integrated systems in the field of environmental simulations and assessments can or should not strive to solve all problems simultaneously. They are always restricted to specific problems, scales, users and geographical regions.

Even if the object-oriented structure of the GLOWA-Danube models makes it relatively easy to transfer their concept and structure to other regions of the world, the DANUBIA system relies on data of high quality and the existence of a certain infrastructure, such as the presence of a well organised water supply and distribution network, definition of water rights and a large number of consumers being connected to the public system. In its present state, it can therefore not be transferred immediately to a region in rural

Africa, where this infrastructure does not exist or arid agricultural areas in Australia, where water for irrigation is pumped directly by the land owners. At present, DANUBIA is primarily adapted to the specific conditions of the Upper Danube catchment, and its feasibility was shown for this region as a case study. However, the object-oriented structure of the models and the framework technology used make it relatively easy to transfer the entire concept and the models to other regions and other problems, including energy supply and demand. The DANUBIA framework offers a platform which provides the control of model interaction (exchange of data), the control of spatial and temporal aspects of modelling and the configuration of input and output. Moreover, the main coupled processes that exist in large environmental-socioeconomic systems are already well defined (consumer-supply relations, response to changing climate etc.). However, it must be pointed out that any application should be officially supported and well-resourced, since the volume of data and financial means needed to parameterise the individual models are quite extensive. The main limitations of DANUBIA and many models involved is the availability of data for calibration and parameterisation. This is not a unique characteristic of DANUBIA: Most, if not all models will provide better results if fed with more and better data.

In any case, DANUBIA and all model components will be made available to the scientific community under an open source license for further development and application after the end of the project (December 2010).

Acknowledgements

The authors acknowledge the German Federal Ministry of Education and Research for financial support. We would like to thank the governmental organisations, private companies and others who supported our work by providing data, advice or additional assistance. Furthermore, we are much obliged to our GLOWA-Danube colleagues for their helpful cooperation over the last few years. Special thanks are due to the anonymous reviewers who provided valuable comments.

References

- Alvisi S, Franchini M, Marinelli A (2003) A stochastic model for representing drinking water demand at residential level. *Water Resour Manag* 17(3): 197-222
- Athanasiadis I, Montes A, Mitkas P, Mylopoulos Y (2005) A hybrid agent-based model for estimating residential water demand. *Simulation* 81(3): 175-187
- Aulinas M, Turon C, Sánchez-Marrè M (2009) Agents as a decision support tool in environmental processes. The state of the art. In: Cortés U, Poch M (eds) *Advanced agent-based environmental management systems*, Birkhaeuser, Basel, Boston, Berlin, pp5-35
- Baartz R (1994) *Der Konflikt zwischen Sport und Umwelt dargestellt am Beispiel der Entwicklung des Golfsports im Raum Brandenburg-Berlin*. Stuttgart
- Barthel R, Nickel D, Meleg A, Trifkovic A, Braun J (2005) Linking the physical and the socio-economic compartments of an integrated water and land use management model on a river basin scale using an object-oriented water supply model. In: *Phys Chem Earth* 30(6-7): 389-397
- Barthel R, Janisch S, Schwarz N, Trifkovic A, Nickel D, Schulz C, Mauser W (2008) An integrated modelling framework for simulating regional-scale actor responses to global change in the water domain. *Environ Modell Softw* 23: 1095-1121
- Barthel R, Janisch S, Nickel D, Trifkovic A, Hoerhan T (2010) Using the multiactor-approach in GLOWA-Danube to simulate decisions for the water supply sector under conditions of global climate change. *Water Resour Manag* 24: 239-275
- Bates BC, Kundzewicz ZW, Wu S, Palutikof JS (eds) (2008) *Climate Change and Water*. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Secretariat, Geneva
- Berger T, Birner R, Díaz J, McCarthy N, Wittmer H (2007) Capturing the complexity of water uses and water users within a multi-agent framework. *Water Resour Manag* 21(1): 129-148
- Börjeson L, Hojer M, Dreborg KH, Ekvall T, Finnveden G (2006) Scenario types and techniques. Towards a user's guide. *Futures* 38: 723-739
- Bourdieu P (1984) *Distinction. A social critique of the judgement of taste*. Routledge, New York
- BUWAL (Bundesamt fuer Umwelt, Wald und Landschaft) (ed) (2004) *Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Gewaesser*. Dokumentation. In: *Schriftenreihe Umwelt* 369, BUWAL, Bern
- Dingeldey A (2008) *Modellierung der touristischen Attraktivität zur Bestimmung der Übernachtungsnachfrage im Einzugsbereich der Oberen Donau unter Berücksichtigung von Umwelteinflüssen*. Dr. Hut, Munich
- Dingeldey A, Soboll A (2010) The impact of climate change on Alpine leisure tourism in Germany and Austria. In: Hergesell A, Liburd JJ (eds) *Proceedings of BEST EN Think Tank X. Networking for Sustainable Tourism*, Vienna/Austria. Sydney,

pp101-115

- Ernst A, Schulz C, Schwarz N, Janisch S (2008) Modelling of water use decisions in a large, spatially explicit, coupled simulation system. In: Edmonds B, Hernández C, Troitzsch KG (eds) *Social simulation. Technologies, advances and new discoveries*. Information Science Reference, Hershey, New York, pp138-149
- Galán JM, del Olmo R, López-Paredes A (2009) An agent based model for domestic water management in Valladolid metropolitan area. *Water Resources Research* 45: W05401
- Giupponi C, Jakeman AJ, Karssenberg G, Hare MP (eds) (2006) *Sustainable management of water resources. An integrated approach*. Edward Elgar Publishing, Cheltenham
- Hajkovicz S, Collins K (2007) A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management. *Water Resour Manag* 21(9): 1553-1566
- Hennicker R, Ludwig M (2006) Design and implementation of a coordination model for distributed simulations. In: Mayr HC, Breu R (eds) *Modellierung 2006, Lecture Notes in Informatics P-82*. Koellen Verlag, Bonn, pp83-97
- Holman IP, Rounsevell MDA, Shackley S, Harrison PA, Nicholls RJ, Berry PM, Audsley E (2005) A regional, multi-sectoral and integrated assessment of the impacts of climate and socio-economic change in the UK. *Climatic Change* 71: 9-41
- Jakeman AJ, Letcher RA (2003) Integrated assessment and modelling: Features, principles and examples for catchment management. *Environ Modell Softw* 18: 491-501
- 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 (2003) Web-based modelling of energy, water and matter fluxes to support decision making in mesoscale catchments. The integrative perspective of GLOWA-Danube. *Phys Chem Earth* 28: 621-634
- Marke, T (2008) Development and application of a model interface to couple land surface models with regional climate models for climate change risk assessment in the Upper Danube watershed. http://edoc.ub.uni-muenchen.de/9162/1/Marke_Thomas.pdf. Cited 01 Nov 2010
- Mauser W, Bach H (2009) PROMET. A physical hydrological model to study the impact of climate change on the water flows of medium sized mountain watersheds. *J Hydrol* 376/3-4: 362-377
- Microm (ed) (2010) microm consumer marketing. <http://www.microm-online.de/Deutsch/Microm/index.jsp>. Cited 19 Aug 2010
- Quinn PF, Hewett J, Doyle A (2004) Integrated water management. A multi-scale framework for decision support. *J Hydrol* 291: 197-217
- San Antonio Water System (ed) (2009) San Antonio water system. Stage 1 drought restrictions. <http://www.saws.org/conservation/aquifermgmt/stage1.shtml>. Cited 18 Aug 2010
- Sax M (2008) Entwicklung eines Konzepts zur computergestützten Modellierung der touristischen Wassernutzung im Einzugsgebiet der Oberen Donau unter Berücksich-

- tigung des Klimawandels. In: *Beitraege zur Wirtschaftsgeographie Regensburg* vol 11. Regensburg
- Schwarz N, Ernst A (2009) Agent-based modelling of the diffusion of environmental innovations. An empirical approach. *Technol Forecast Soc* 76(4): 497-511. DOI 10.1016/j.techfore.2008.03.024
- Seidl R, Ernst A (2008) Perception of climate change risks. A multi-agent simulation. In: Paul-B.-Baltes Lecture, Invited Address, IUPsyS Invited Symposium, Invited Symposium, Symposium, Paper Session, Poster Session', *Int J Psychol* 43(3): 168-347 Sinus Sociovision (ed) (2010) Sinus-Milieus. <http://www.sociovision.de/de/loesungen/sinus-milieus.html>. Cited 19 Aug 2010
- Soboll A, Schmude J (2011) Simulating tourism water consumption under climate change conditions using agent-based modeling. The example of ski areas. *Ann Assoc Am Geogr* (in press)
- STCRC (Sustainable Tourism Cooperative Research Centre) (ed) (2009) Australian tourism futures. Redefining the future. Communiqué. <http://www.tourismfutures.com.au/Publications/2009Communique.pdf>. Cited 19 Aug 2010
- Swart R, Marinova N (2010) Policy options in a worst case climate change world. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 15: 531-549
- Therond O, Belhouchette H, Janssen S, Louhichi K, Ewert F, Bergez JE, Wery J, Heckelei T, Olsson JA, Leenhardt D, van Ittersum M (2009) Methodology to translate policy assessment problems into scenarios. The example of the SEAMLESS integrated framework. *Environ Sci Policy* 12: 619-630
- UGrdL (Umweltoekonomische Gesamtrechnungen der Laender) (ed) (2009) Private Haushalte, Oekonomie, Oekologie. Analysen und Ergebnisse. http://www.ugrdl.de/ugrdl_analyse_2009.pdf. Cited 19 Aug 2010
- Varis O, Kajander T, Lemmela R, (2004) Climate and water. From climate models to water resources management and vice versa. *Climatic Change* 66: 321-344
- VicWater (Victorian Water Industry Association Inc.) (ed) (2009) Victorian uniform drought water restriction guidelines. <http://www.vicwater.org.au/uploads/Water%20Restrictions/Final%20Version%20Uniform%20Drought%20Water%20Restriction%20Guidelines.pdf>. Cited 19 Aug 2010
- Yamout G, El-Fadel M (2005) An optimization approach for multi-sectoral water supply management in the Greater Beirut area. *Water Resour Manag* 19: 791-812

The prospective impact of climate change on tourism and regional economic development. A simulation study for Bavaria

Authors:

Anja Soboll, Tobias Klier, Stefan Heumann

Abstract

In recent years, climate change and its economic effects are increasingly becoming the focus of public attention. Previous investigations, however, used to deal with bigger spatial units and are thus blurring small scale distinctions. Therefore, the aim of this paper is to analyse future economic impacts of climate change to the regional level so as to unveil the local positive and negative development trends. For this purpose, scenarios based on different climate, societal and economic trends are used to estimate prospective tourism demand and derived economic development on the district at an unprecedented small scale.

Keywords: climate change, climate impact research, regional economic effects, statistical modelling, scenario analysis

Introduction

Tourism impacts regional economies and societies in manifold ways. Most visibly, tourists' expenditures in target regions can generate significant streams of earnings and employment opportunities ('tangible effects'). These are not only limited to the tourism industry in a narrowly defined sense, but trickle up and down the value chains and lead to a general increase of regional purchasing power (Schmude and Namberger, 2010). Throughout Bavaria, tourism expenditures amounted to more than € 24 billion in 2009 (StMWIVT, 2009). These may trigger multiplier effects even in sectors which are not directly linked to the tourism industry (Cooper *et al*, 2008). Thus, tourism serves as a driving force for income and economic growth, especially in regions lacking in manufacturing density (Eugenio-Martin *et al*, 2008). Moreover, the tourism-related development of regions may contribute to an improvement of a region's infrastructure, its cultural and educational amenities and, thus, to the business climate in general ('intangible effects') (Mayer *et al*, 2008).

Tourism demand is not uniformly distributed across space, but resembles an U-shaped relationship with employment density. On the one hand, highly urbanized centres like Berlin, Munich or Cologne receive substantial in-flows of overnight guests and same day visitors due to a rich pool of cultural amenities, shopping opportunities, business-related and political control functions. On the other hand, particularly sparsely populated rural areas in the German Alps or the Bavarian Forest as well as regions adjoining to the North Sea and the Baltic Sea seasonally absorb large numbers of tourists engaged in sea-sand-sun, hiking or skiing activities (Schmude and Heumann, 2010). Due to their

less differentiated industrial structure, the degree of economic dependency on tourism is very high in these latter regions. At the same time, the weight attached to natural rather than cultural parameters in the overall tourism-related supply structure makes these regions distinctly vulnerable to the expected impacts of climate change. That is because tourism is highly dependent on both manmade and especially natural attractions (Brau, 2008). In particular, prognosticated temperature increases (Solomon *et al*, 2007; Jacob *et al*, 2008; Mauser *et al*, 2010) will deeply influence the competitiveness of Southern and Eastern Bavarian destinations with respect to tourism demand. Due to the significance of tourism for the overall regional economies, understanding the local impact of these long-term changes is a vital challenge.

The primary objective of this study is therefore to simulate possible future developments of tourism demand and its contribution to regional economic prosperity. For this purpose, results of three human-environment-system scenario simulations are analysed, discussed and interrelated to the current situation. This allows us to draw appropriate conclusions regarding the future role of tourism on the regional level and to recognize prospective 'winner' and 'loser' regions on this matter.

Modelling of tourism development

Regarding the methodology applied in this study, we firstly have run three simulations in DANUBIA. The resulting data has subsequently been used to calculate possible developments of tourism demand and its economic relevance. Therefore, to begin with, we give an overview of the general GLOWA-Danube project conditions with a focus on the *Tourism Model* and the chosen scenario settings. After that, we present the concept of estimating future tourism demand and tourism induced economic value added on the administrative district level.

Related project background

The presented study has recourse to data generated within the interdisciplinary project GLOWA-Danube (GLOBal change of the WAter Cycle; www.glowa-danube.de), so that its investigation area choice is predefined by the study area of this related project. The GLOWA-Danube study area contains the whole Upper Danube catchment, including parts of Germany, Austria and Switzerland. To ensure data consistency, only the Bavarian part (Germany) is considered in the presented study (Figure 1). The investigation area of the latter covers accordingly about two thirds of Bavaria and accommodates 8.7 million inhabitants. Referred to its size of 51,000 km², the study area disproportionately contributes to the generation of German domestic and inbound tourism demand (20 per cent of all overnight stays; Beierkuhnlein and Foken, 2008). Besides, its tourism supply structure is highly diversified, so that tourism contributes various shares to economic prosperity within the study area.

As the study is based on results of GLOWA-Danube, we firstly outline some general

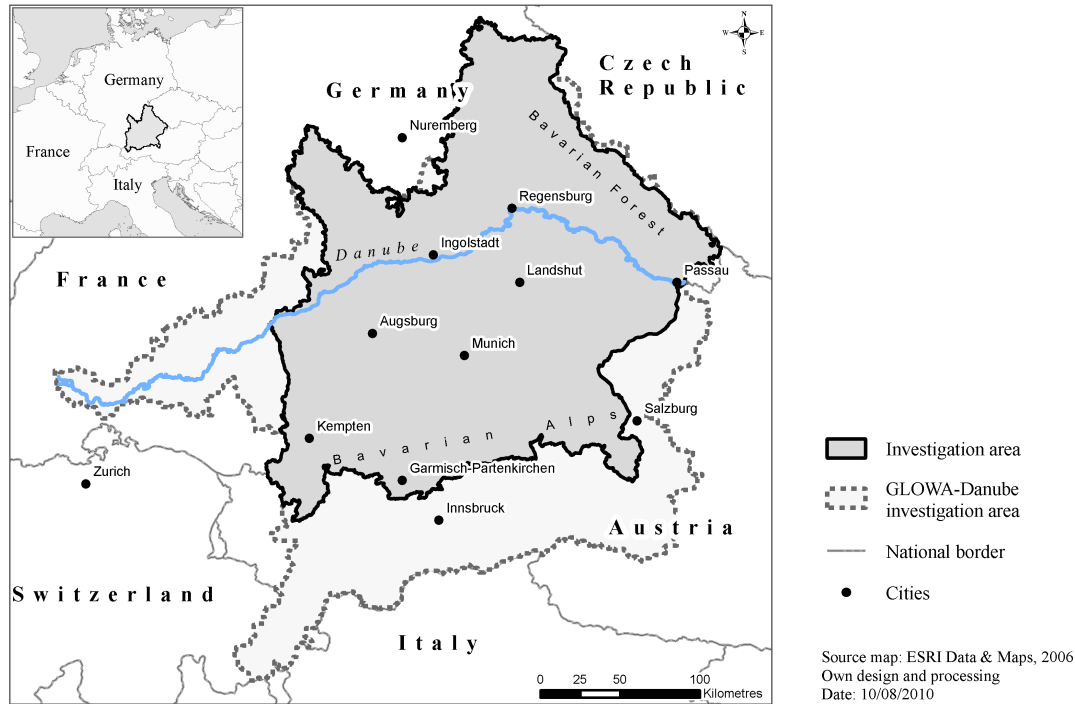


Figure 1: Geographic location of the investigation area

aspects of this project. GLOWA-Danube investigates the impact of climate and societal change on a broad range of sectors, including water supply, farming, tourism and economy on the local and regional scale within the next fifty years (2011 to 2060). The aim is to develop and evaluate sustainable adaptation strategies in terms of a decision support system for scientists and stakeholders. In order to undertake reasonable counter measures, decision makers need reliable instruments to assess the future development of framework conditions, demands and supplies in view of climate change. Any evaluation has to be spatially and temporally explicit to enable individual decisions, such as for investment or strategic planning. Thus far, mainly methods like regression analysis, time series analysis or trend extrapolation have been applied for predicting tourism demands. However, in case of coupled human-environment-systems, approaches neglecting existing feedbacks have to be rated unrealistic.

To adequately take interdependencies in the human-environment-system into account, GLOWA-Danube applies a generic framework approach to integrate different models representing each either a natural or a societal component. In a first step, the structure of the framework DANUBIA has been specified. In concrete terms, interfaces between the models, a mutual modelling language, UML, and a consistent size of cells on which computations are performed had to be defined (Hennicker *et al.*, 2010). This spatial resolution is 1 km², which allows for highly detailed analyses of the human-environment-system. Subsequently, the involved natural science disciplines developed for example climate models, a hydrology model or a glacial model, the social sciences designed models for industrial enterprises, households or the tourism sector. Thereby, the latter models are implemented following the multi-agent approach. Agents may represent any kind of social entity, so that for instance each real existing household or industrial enterprise is depicted by an agent in the models. Each agent has several characteristics and options

for action which it performs according to predefined decision rules. One advantage of this multi-agent approach is the bottom-up creation of spatial patterns, so that simulation results can be aggregated on each desired spatial level. Altogether, sixteen models have been implemented. After this, the single models were mounted on the framework DANUBIA, so that complex simulations which include all models and thus allow for data exchange between them can be run.

DANUBIA aims both at contributing to the enlargement of knowledge about the human-environment-interrelationship under climate change conditions and at providing an applicable decision support tool to stakeholders in economy and politics. DANUBIA does not have a forecast character, but sketches out possible future developments of climate and society. To emphasise this, various scenarios should be available. Thus, a user can decide for himself about the considered prospect and combine a scenario accordingly. Therefore, in the next step, we designed a scenario kit consisting of a *climate trend*, a *climate variant* and a *societal scenario* (Figure 2). The *climate trend* establishes the main direction of climate development. Four *climate trends* have been identified as relevant for the investigation area, each of them validated through hindcasting. They vary with regard to the degree of temperature increase and precipitation alteration patterns (Mauser *et al.*, 2010).

A *climate variant* can be viewed as specification of the chosen *climate trend*, as each implies a specifically climatic situation that recurs over five consecutive years and is thus critical to several economic sectors. The rationale of this is that policy makers may be able to handle one or two years with unfavourable climate conditions but will probably face serious economic problems because of five adverse years. For example, a ski resort operator might need scenario calculations to assess the risk of five sequential warm winters for his business situation.

Together, one *climate trend* and one *climate variant* constitute a *climate scenario*, which

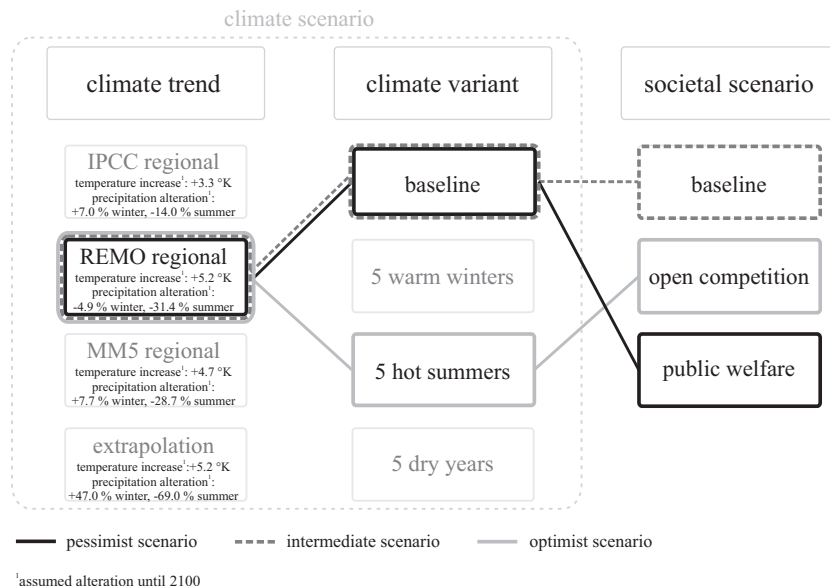


Figure 2: GLOWA-Danube scenario kit and three selected scenarios

represents a complete GLOWA-Danube scenario in combination with one out of three *societal scenarios*. The latter concern societal changes including demographic, political

and economic alterations, where the *baseline* scenario generally describes a continuance of the recent status quo. Meanwhile, the *open competition* scenario envisages a more market-oriented and materialist development. In contrast, the *public welfare* scenario foresees a concentration on societal responsibility and sustainability (Kuhn and Ernst, 2010). The explicit translation of these conceptual descriptions of societal developments is realised specifically within each single multi-agent model (*Tourism, Household, WaterSupply, IndustrialEnterprises, Farming*), where the relevant parameters are adjusted accordingly (Soboll *et al*, 2011).

Tourism Model structure and scenario settings

As the DANUBIA *Tourism Model* is of particular importance for the presented study, we introduce its structure, interfaces to other DANUBIA models and the specific implementation of scenarios below. The *Tourism Model* simulates the development of tourism supply and demand in the investigation area under climate and societal change conditions by means of three interacting submodels and depending on input data from other DANUBIA models (Figure 3).

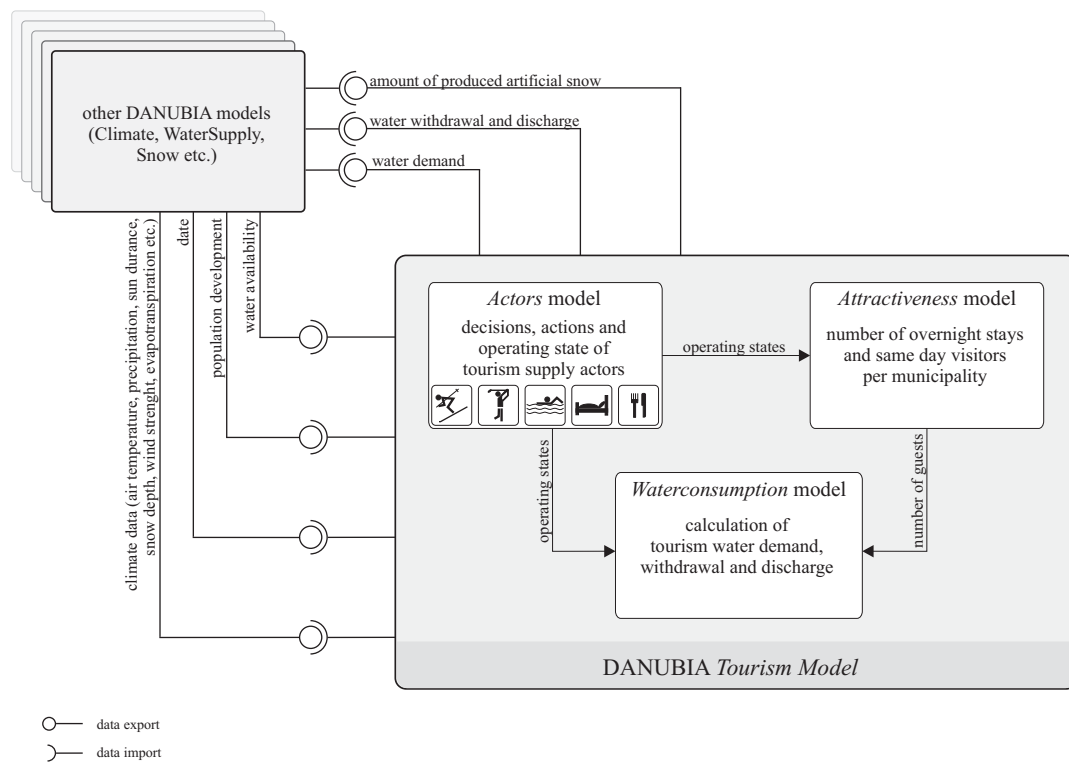


Figure 3: *Tourism Model* structure, interfaces and data exchange with other DANUBIA models

The first submodel, the *Actors* model, analyses the decisions, actions and operating states of individual, water use intensive tourism supply facilities, including ski areas with artificial snow making, golf courses, swimming pools, hotel businesses as well as restaurant and catering businesses as actor classes. The decisions and resulting operating states of the tourism supply facilities are reliant on data imported from other DANUBIA

models. Concerning for example the daily decisions to be taken by each ski area actor, various climate data, the date and the water availability are required to decide for either 'open', 'close' or 'artificial snow making'. The first step of the decision process pertains to open or close the ski area. In a sequence of two if/else-conditions, condition one, if the current date is in the ski season (1 December to 30 April), is checked. If it is true, condition two, concerning a sufficient snow depth, is checked. If it is also true, the ski area opens. The next sequence of if/else-conditions results in the decision to produce artificial snow, if (i) the current date is between 15 November and 15 April, where the ski area actor may prepare slopes for the season, (ii) it is cold enough (maximum of -3°K), (iii) the amount of artificial snow is not enough and (iv) a sufficient volume of water is in the reservoir. If at least one of these conditions fails to hold, no artificial snow is produced. With this, the decision process of the ski area actor is finished for this day and begins again the next day. Correspondingly, for each of the four other actor classes, a specific decision process is implemented.

The supply facilities serve as tourism attractions in a municipality or region, so that destinations are perceived as being varyingly attractive depending on the particular operating state of the modeled ski areas, golf courses, swimming pools, hotels and restaurants as well as general framework conditions like climate and societal trends. The more attractive a specific municipality appears to be, the more overnight stays and same day visits are generated. If, for example, a ski area has to close temporary or goes bankrupt due to climatic conditions, this has an adverse effect on the attractiveness of the surrounding municipalities. Potential tourists might switch to more snow-reliable ski resorts situated at higher altitudes. These demand side reactions, such as temporal or spatial shifts, are factored in the second submodel, the *Attractiveness* model, where possible developments of tourism demand (overnight stays and same day visits) are simulated at the municipality level (Dingeldey, 2008).

For the sake of completeness, the third submodel, the *Waterconsumption* model, is mentioned here, although it is rather secondary to the study presented in this paper. The *Waterconsumption* model calculates inter alia the daily amount of water required by tourism supply and demand (Schmude and Sax, 2004) and exports these data to other DANUBIA models for further processing.

To apply different societal scenarios, their conceptual description has to be explicitly translated within the *Tourism Model* by adjusting relevant parameter values. Table 1 gives an overview of the adjustment direction of selected parameters, such as 'parameter xx increases'. As the parameter values of each actor vary individually (ski area actor a : parameter xx increases by 3.5 percent, ski area actor b : parameter xx increases by 1.2 percent), no even more detailed specifications concerning the distinctive societal scenario settings of parameter values can be made here.

Parameter	Parameter values in <i>Baseline</i>	Parameter values in <i>Open Competition</i>	Parameter values in <i>Public Welfare</i>
Ski areas: expansion of snow making facilities	moderate expansion	strong expansion	no expansion
Ski areas: break even point (minimum opening days)	unmodified	increases because of capital expenditure	unmodified
Ski areas: snow making technology (permissible maximum air temperature)	unmodified (-3 °K)	increased (0 °K)	unmodified (-3 °K)
Golf courses: irrigation interval	unmodified	shortened	lengthened
Golf courses: irrigation of fairways	partial irrigation	extensive irrigation	no irrigation
Overnight tourism demand	unmodified	increases	slightly decreases
Travel intensity of day-trip tourism demand	unmodified	increases	slightly decreases
Water demand in hotel and restaurant business	unmodified	increases	unmodified

Table 1: *Societal scenario* specific settings of selected parameters in the *Tourism Model*

The *societal scenario baseline* can be regarded as an extrapolation of the societal status quo. Thus, most of the parameter values remain unmodified relating to the beginning of the simulation period in 2011. The *societal scenario open competition* is stamped by a neoliberal economic system. According to that, the tourism sector applies any kind of (new) technology to satisfy demand side claims, whilst they can be used and financed. Thus, ski areas for example strongly expand the number of snow making facilities. Moreover, snow making technology is assumed to improve, so that the permissible maximum air temperature for snow making increases and new facilities can produce artificial snow at up to 0°K. Due to the necessary capital expenditures, the breakeven point of opening days increases. Owing to globalisation processes, the overnight and same day tourism demand are likely to increase as the study area succeeds in recruiting new guests groups, especially from Eastern Europe and Asia (Petermann et al, 2006). Furthermore, on the local inhabitant part, an upward tendency in the number of holiday trips, also in forms of domestic tourism, is expected.

In contrast, in the *societal scenario public welfare*, ecological awareness plays a stronger role and an interventionist political style is to be observed. Accordingly, regional authorities prescribe for instance that ski areas must not expand the number of snow making facilities or that golf courses must no longer irrigate fairways as these measures are deemed to be incompatible with sustainability purposes. Moreover, overnight and day-trip tourism demand are assumed to decrease slightly as to consumptive restrictions. In spite of this, the tourism industry in the investigation area still finds advantageous conditions.

After having defined the *societal scenario* specific parameter settings, different simulations can be run. For this study, we selected three GLOWA-Danube scenarios to illustrate

a spectrum of potential regional tourism developments. It is to be noted that different *climate trends* lead to approximately comparable results of tourism demand in the study area, whereas *societal scenario* settings induce substantial shifts. Hence, as climate change will more probably influence than determine tourism demand in Bavaria (Abegg and Elsasser, 2007), rather social, economic and political developments will decide on future demand. Therefore, all three scenarios are based on the same *climate trend, REMO regional*. The first scenario furthermore includes the *climate variant baseline* and the *societal scenario public welfare*. As the expansion of tourism supply facilities is handled restrictively and the framework conditions are less advantageous in this scenario, it can be rated as the most pessimistic of the three ('pessimist' scenario). The second scenario combines the *climate variant baseline* and the *societal scenario baseline*. It describes an extrapolation of social and economic framework conditions to the future and is labelled the 'intermediate' scenario in the following. Lastly, for the third scenario, the *climate variant five hot summers* and the *societal scenario open competition* are chosen. From the regional tourism economic point of view, this scenario is the most favourable, as it is deemed to generate the greatest benefit. Thus, this scenario is referred to as 'optimist' below. By means of the three introduced scenarios (see also Figure 2), we can survey the prospective impacts of climate and societal change on the tourism sector and assume that the 'real' future will in all probability be situated between the optimist and the pessimist scenario. Each conducted simulation run outputs different numbers of overnight stays and same day visitors on the municipal level for the period from 2011 to 2059. These result data are the basis for the subsequent estimation of future tourism demand and its economic relevance.

Estimation of tourism demand and its economic relevance

As tourism has to be rated as a 'cross-sectional sector' also affecting upstream and downstream sectors in terms of multiplier effects, its impact on regional economies is difficult to quantify. Hence, its contribution to regional economic prosperity is not recorded in official statistics. To evaluate the economic relevance of tourism, a value chain study is applied which is based on tourists' average expenditures. These may vary considerably depending on the destination as well as on the duration and form of the trip. By taking specific value added tax rates and value added ratios into consideration, economic effects of tourism can reliably be calculated.

Therefore, a two-part calculation is needed. In a first step, tourism demand data are combined with tourists' expenditures to calculate the tourism induced net value added (NVA). In view of the fact that part of this NVA becomes additional earnings in sectors other than tourism, in a second step, direct (first stage) and indirect (second stage) earnings have to be added up for calculating total earnings through tourism. In the following, two related formulas are presented to estimate the economic relevance of tourism demand on the administrative district level.

To calculate the tourism induced NVA, a distinction has to be drawn between four types of visitors, as they show varying levels and categories of expenditures. These four types are: Overnight visitors in commercial accommodations with greater or equal nine beds ($i = 1$), overnight visitors in small businesses with less than nine beds ($i = 2$),

overnight visitors on camping sites ($i = 3$) and same day visitors ($i = 4$). Stays with friends and relatives are not considered for reasons of data availability. With respect to the categories of expenditure, we differentiate between expenditures on commercial accommodation ($j = 1$), accommodation in small businesses ($j = 2$), accommodation on camping sites ($j = 3$), restaurant and catering industry ($j = 4$), entertainment, sports and leisure ($j = 5$), grocery retail ($j = 6$), other retail ($j = 7$), local transport ($j = 8$), visitor's taxes and lump sum ($j = 9$) and other services ($j = 10$). For each visitor type, the number of visits is multiplied by the relevant categories of expenditure deducting the particular value added tax rate. The sum of all products gives the district specific NVA (Step 1).

Step 1: Calculation of district specific tourism induced net value added

$$NVA_d = \sum_{i=1}^4 \left(\sum_{j=1}^{10} (x_{id} \cdot e_{ijd}) \cdot (1 - VAT_j) \right)$$

where

- NVA_d = net value added in district d
- i = type of visitor
- j = category of expenditure
- d = district; $d \in 1, \dots, 439$
- x_{id} = number of tourism visits of visitor type i in district d
- e_{ijd} = average daily expenditures of visitor type i in category j and district d
- VAT_j = value added tax rate according to category j

Due to gaps in data availability, some parameters of the equation are not directly observable and have to be estimated from aggregated figures. Table 2 shows the aggregation level of original data and the method of spatial allocation for tourism demand and expenditures of each of the four visitor types.

As numerous industrial sectors benefit partly from tourism demand, direct and indirect effects have to be distinguished. The former include earnings resulting directly from tourists' expenditures (first stage earnings). For these, specific value added ratios between 14 and 60 percent (Fechner and Buer, 2008) are applied, depending on the category of expenditure. The latter result from concessions to be added for tourism supply, such as the furnishing of hotel rooms or the catering for hotels (second stage earnings) (Schmude and Heumann, 2010). For these indirect earnings, a general value added ratio of 30 percent is used (Maschke, 2005). The sum of first stage and second stage earnings gives the total tourism induced earnings in district d (Step 2). Dividing total tourism induced earnings by district d 's average income, the number of tourism induced workplaces can be indicated additionally.

Step 2: Calculation of district specific total tourism induced earnings

$$TE_d = \underbrace{\sum_{j=1}^{10} (NVA_d \cdot r_{1j})}_{\text{first stage earnings (direct)}} + \underbrace{\sum_{j=1}^{10} (NVA_d \cdot (1 - r_{1j}) \cdot r_{2j})}_{\text{second stage earnings (indirect)}}$$

where additionally

$$\begin{aligned} TE_d &= \text{tourism induced earnings (economic value added) in district } d \\ r_{1j} &= \text{first stage value added ratio in category } j \\ r_{2j} &= \text{second stage value added ratio in category } j \end{aligned}$$

According to the two equations, calculations are performed for the reference year 2008 and for the 2050s using simulation results of the three scenarios. This not only allows for quantifying the current economic significance of tourism in terms of earnings and job creation (Koch, 1989), but it also provides a tangible benchmark against which the prospective effects (positive or negative) of climate and societal change can be evaluated.

Type of visitor (i)		Aggregation level of original data	Spatial allocation
Commercial overnight stays (≥ 9 beds)	tourism demand	district	Not necessary
	tourism expenditures	region	Allocated according to region's share of district's estimated number of commercial overnight stays
Overnight stays in small businesses (< 9 beds)	tourism demand	state	Allocated according to district's share of commercial overnight stays
	tourism expenditures	state	Assumed constant in each district (48.80 €, Harrer and Scherr, 2002)
Overnight stays on camping sites	tourism demand	state	Allocated according to district's share of camping sites
	tourism expenditures	state	Assumed constant in each district (30.10 €, Harrer and Scherr, 2002)
Same day visitors	tourism demand	region	Allocated according to district's share of commercial overnight stays
	tourism expenditures	region	Allocated according to region's share of district's estimated number of same day visitors

Table 2: Principles of calculating tourism demand and expenditures - aggregation levels and method of spatial allocation

Results

Altogether, 75.8 million visitors at commercial accommodations, 3.2 million visitors at camping sites, 18.9 million visitors at small businesses, and 390 million same day visitors account for a total turnover of about € 19.5 billion and a total economic value added of

about € 9.9 billion in the study area in 2008. This value corresponds to average annual tourism-induced earnings of € 1,135 per capita.

All calculated figures reveal an uneven distribution of tourism among the districts. Mainly regions located at higher altitudes such as the Bavarian Forest or the Bavarian Alps (Figure 1) turn out to be popular destinations, especially for overnight visitors, emphasising the crucial role of snowbound winter tourism. Some administrative districts like Garmisch-Partenkirchen or Oberallgaeu (around Kempten; Figure 1) achieve peak earnings through tourism of more than € 350 or € 600 million in 2008, which is equivalent to earnings of more than € 4,000 per capita. Due to the rich availability of shopping and cultural facilities, urban areas such as Munich or Regensburg profit from both overnight stay visitors and in particular from day trippers. These destinations strongly benefit from tourism in terms of earnings (€ 1,900 per capita), workplaces and taxes. On the contrary, lowlands and forelands show comparatively low average earnings through tourism of some € 80 million or € 600 per capita and year, giving an average income of € 160 million for the region (see Figure 4).

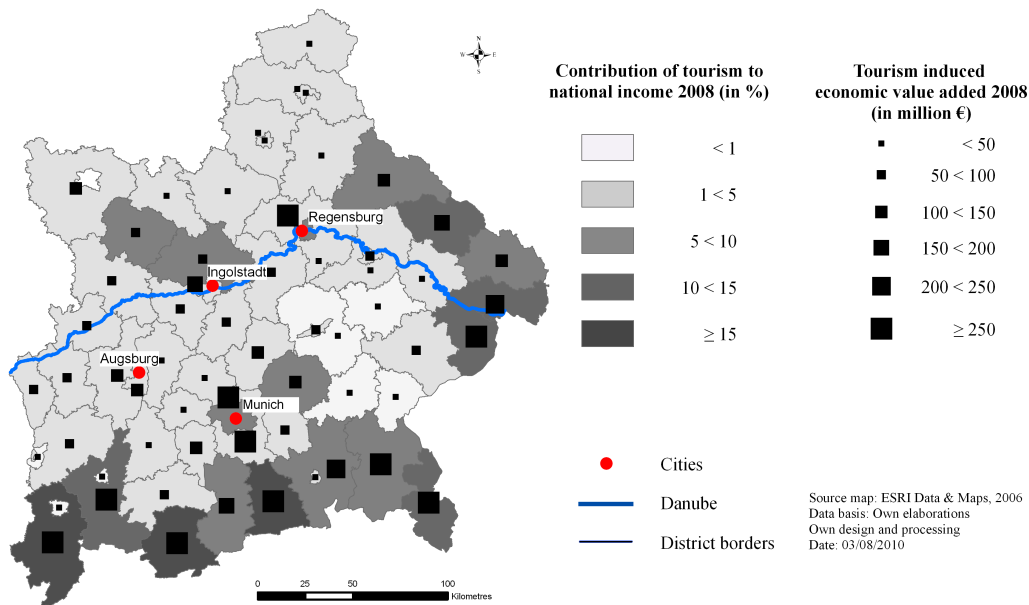


Figure 4: Tourism induced economic value added and contribution of tourism to national income in 2008

The tangible effects generated by tourism in 2008 serve as point of reference for any future alterations due to climate change, which are described in the following. By comparing key figures from 2008 with the 2050s, it is possible to assess the economic alterations which are likely to be caused by climate change. With the assistance of the three introduced scenarios 'pessimist', 'intermediate' and 'optimist', a funnel is defined which contains possible futures according to selected simulation settings. Note that macro-economic parameters such as inflation, wage levels or taxes are assumed constant until the 2050s.

For the entire study area, calculations reveal tourism-based turnover of € 16.1/26.0/38.0 billion - conditional on the selected scenario (pessimist/intermediate/optimist). Com-

pared to the figures of 2008, this corresponds to a growth rate of -17.2/+33.9/+95.5 percent. Economic value added (EVA) develops correspondingly to € 8.0/13.0/19.0 billion, which is equivalent to an alteration of -18.6/+31.9/+92.7 percent. However, these large-scale figures tend to blur various regional development trends (Figure 5). Hence, small-scale analysis is necessary to unveil regionally differentiated future economic consequences caused by climate and societal change. In the following, mountainous regions (German Alps, Bavarian Forest), north eastern districts, central and western lowlands as well as cities and urban regions (such as Munich, Regensburg or Augsburg) are investigated separately, as each of the four reveals comparable developments within, but significantly different trends between each other. These regions are subsequently compared in terms of possible future economic development as listed in Table 3.

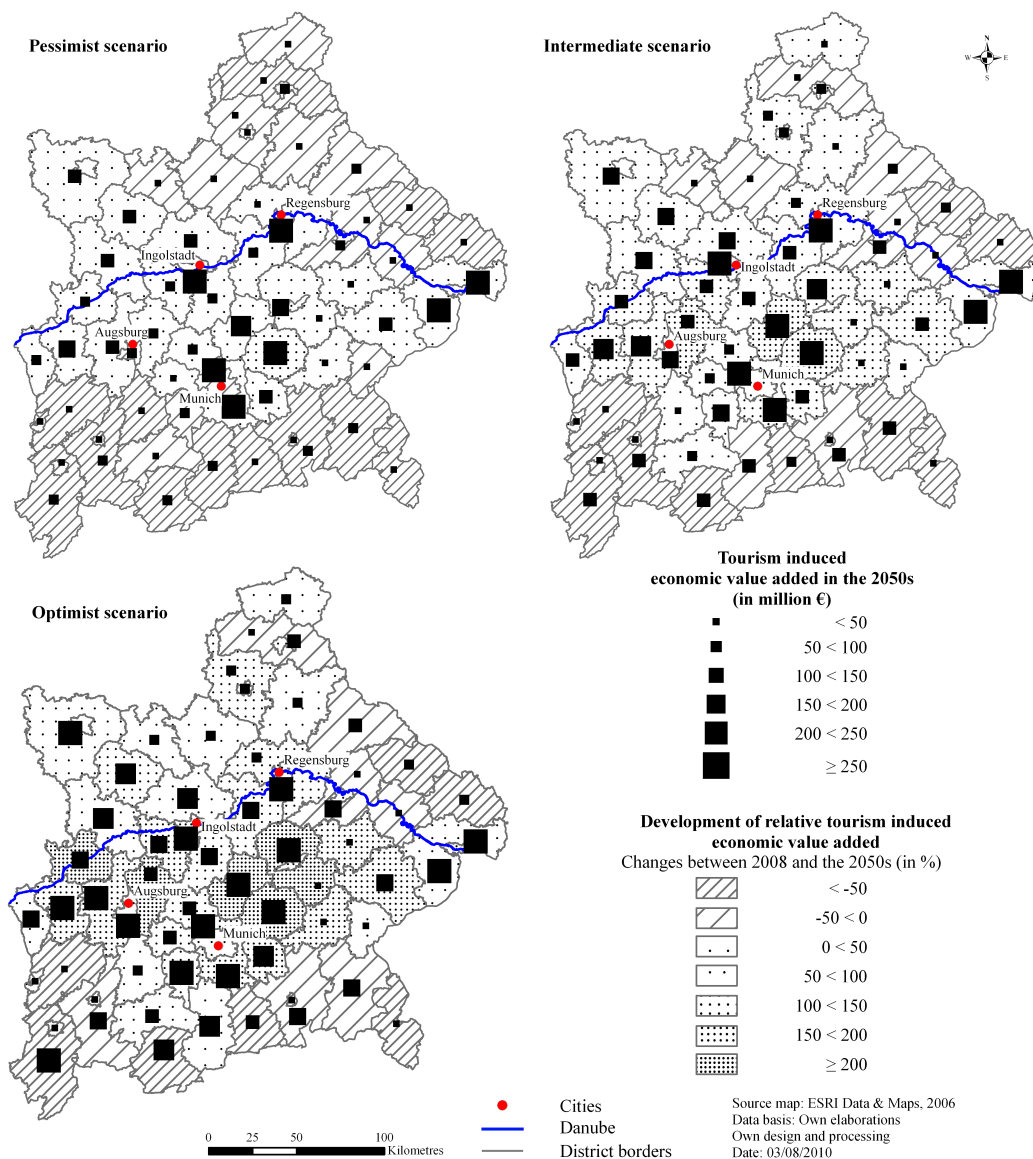


Figure 5: Simulated development of relative tourism induced economic value added (2050s compared to 2008) and economic value added (2050s)

According to that, **mountainous regions** mostly face crucial declines of tourism demand within the simulation period. In particular, this affects the uplands of the Bavarian Forest and the German Alps, where an ultimate drop in commercial overnight stays is expected to the extent of 60 percent and 90 percent compared to 2008. Even under optimistic scenario assumptions, a slight drop in demand is expected due to the deteriorating conditions for snowbound activities. Only areas at the highest altitudes, above 2,000 m, will be able to provide winter sports and activities and even profit from shifted tourism flows. Although all districts will profit from an expansion of the swimming and hiking season (Beierkuhnlein and Foken, 2008), losses during winter are not likely to be compensated. Hence, mountainous regions are affected by a significant drop of earnings through tourism compared to 2008, which will vary between 33 percent (optimist scenario) and 75 percent (pessimist scenario).

Similar trends are obtained in terms of tourism's contribution to GDP. It can be derived that tourism induced workplaces are likely to decrease from currently 114,000 to 28,300/44,700/76,500 until the 2050s. In particular, such declines are severe as these districts show a purchasing power of only 85 to 90 percent in comparison to the entire study area (own calculations based on GfK, 2008). The administrative district Garmisch-Partenkirchen, for instance, is ranked among the most frequented regions in the Alps with more than 4.2 million overnight stays in 2008 (BaylfStaD, 2009; own calculations). Simulation data reveal that climatic and societal changes may lead to heavy declines of tourism demand ranging from 850,000 to 2.7 million overnight stays, resultant inter alia in a loss of approximately 10,000 workplaces (intermediate scenario). Despite these declines, tourism still plays an essential role for the regional economics. For example, a continuous concentration process among ski areas will further widen the gap between well developed destinations and lagging ones, which will lose competitiveness. Increasing demand during the summer months will likewise not be able to compensate these losses, bringing with them serious problems for remote mountainous regions highly dependent on tourism (Eisenstein and Rosinski, 2003).

North eastern districts, covering both mountainous areas and lowlands, show variable results, comprising gains and losses due to the chosen scenario. Societal reactions and adaptations to climate change are of profound significance, since weak economic conditions with a purchasing power of merely € 16,500 per capita and year (GfK, 2008) and variable tourism developments spatially coincide. Depending on the scenario, a total number of about 1.8 million overnight stays in 2008 evolves to between 1.3 million (pessimist) and 3.3 million (optimist) in the 2050s, which leads to opposed developments. Thus, the district Tirschenreuth (in the very north eastern part of the investigation area), for instance, will experience varying earning changes comprising decreases of a third as well as gains of about two thirds. Likewise, an amount of 400 to 900 workplaces may either be gained or lost until the 2050s. To a certain extent, such districts have the opportunity to achieve positive future tourism development, if appropriate adaption measures like a diversification of the tourism offer are taken in due time.

In contrast, nearly all districts located in the **central and western lowlands** will experience positive developments. Some areas will profit from growth rates between 200 and even 300 percent compared to 2008. This is primarily owed to their minor reliance on snowbound tourism and their independence from specific climate conditions.

Key indicators	North eastern districts				Cities and urban regions				Central and western lowlands				Mountainous regions			
	reference	scenario settings			reference	scenario settings			reference	scenario settings			reference	scenario settings		
		2008	pessimist	inter-mediate		optimist	2008	pessimist		inter-mediate	optimist	2008		pessimist	inter-mediate	optimist
Overnight stays (in million)	1.9	1.3	2.2	3.3	13.8	31.4	21.6	12.2	26.9	66.3	46.6	31.7	36.6	9.2	14.2	24.0
Same day visitors (in million)	7.8	5.6	9.1	13.8	169.0	406.8	281.2	165.5	113.4	298.8	210.5	142.0	99.1	25.5	41.0	69.8
Net value added (in million €)	211.5	150.8	247.0	374.3	7,412.5	17,546.0	12,112.5	6,996.1	4,412.8	11,538.8	8,136.1	5,507.7	4,631.2	1,149.5	1,815.2	3,113.0
Earnings through tourism (in million €)	132.4	94.5	154.7	234.4	4,266.3	10,047.5	6,933.4	3,980.2	2,630.8	6,843.6	4,823.5	3,264.1	2,852.8	709.7	1,120.0	1,917.7
Contribution to national income (in percent)	1.97	1.41	2.30	3.49	5.09	11.99	8.27	4.75	2.69	7.01	4.94	3.56	10.27	2.55	4.03	6.90
Average income (in € per capita and year)	311	222	364	551	1,868	4,399	3,035	1,742	589	1,532	1,080	731	1,864	464	732	1,253
Number of workplaces	5,305	3,784	6,199	9,390	168,907	397,545	274,314	157,324	104,687	272,320	191,925	129,873	114,043	28,333	44,713	76,504
Contribution to GDP (in percent)	2.47	1.76	2.89	4.38	6.96	16.48	11.38	6.57	3.55	9.30	6.55	4.44	13.11	3.25	5.14	8.81
Tax revenue (in million €)	5.3	3.8	6.2	9.4	185.3	438.7	302.8	174.9	110.3	288.5	203.4	137.7	115.8	28.7	45.4	77.8

Table 3: Key development figures by scenario and type of region

Therefore, climate changes will barely have negative impacts on these districts, but will rather favour them in terms of increasing summer tourism. Harrer (1996) found that almost half of all winter tourists are likely to swap snowbound for summer activities in case of changing climate conditions. Furthermore, it is expected that Bavaria will receive an increasing number of summer tourists as a result of extreme temperatures and water shortages in the Mediterranean regions (Ehmer and Heymann, 2008). Depending on the chosen scenario, average gains of economic key indicators range between 24 and 160 percent compared to the reference data. Some districts such as Erding (near Munich) will benefit from even higher growth rates, at best experiencing a tripling of tourism based economic value added. These developments are accompanied by the creation of between 6,000 and 16,000 additional full-time workplaces and a rise of tourism based per capita earnings from € 1,070 to a range of € 2,350 to € 4,360 per year. Even under pessimist assumptions, the economic significance of tourism is likely to double and hence will improve regional purchasing power. Furthermore, a growth of tourism will likewise cause benefits in other economic sectors such as services, retail, local transport or leisure (Cooper et al, 2008). These spill over effects may additionally help to come to grips with structural changes and unemployment (Proença and Soukiazis, 2008).

Finally, future tourism development will mostly foster **cities and urban regions**. In particular, the expansion of the summer season, the shift of tourism flows from southern countries and the robustness of urban attractiveness towards climate change are responsible for maximum growth rates up to 135 percent. This comparably low rate of increase results from declines in higher located smaller cities, where snowbound tourism plays an important role. Therefore, intermediate economic losses of about 80 percent might cause a deviation from the positive overall trend for urban areas. This results in slight drops or strong increases of more than 200,000 workplaces considering pessimist or optimist scenario conditions. Especially Munich, but also Regensburg and Passau will greatly benefit from growing tourism demand. Not only will these three cities account for more than 40 percent of the overall value added of the investigation area, but also annual tax revenues between and € 175 million and € 440 million may lead to an array of positive effects such as cultural or educational offerings and the expansion of infrastructure, which will both serve the local population and increase the regions' attractiveness. However, a few tourism-related problems, such as increasing traffic and pollution, may be the other side of the coin (Tyrrell and Johnston, 2009).

The study presented here leads to the conclusion that the current prime tourism destinations are most negatively affected by climate change. Rising temperatures and alterations in precipitation patterns induce increasing displacements of snowbound activities in the Bavarian Alps and the Bavarian Forest and cause severe economic losses. Hence, it is assumed that a relocation of economic revenue from mountainous to lower regions and in particular to cities will take place.

Discussion and conclusions

This paper assesses the consequences of climate and societal change on regional economics. Societal behaviour plays a key role in terms of future tourism demand and supply, whereas climate alterations determine important framework conditions. Future tourism

demand is likely to drop considerably in most mountainous regions of the Alps and the Bavarian Forest. This is accompanied by losses of earnings, workplaces, purchasing power and tax revenues not only in tourism enterprises, but also in upstream and/or downstream industries. If countermeasures such as sustainable diversification of workplaces or the increase of climate independent offers are not taken at the right time, population will gradually face severe economic, infrastructural and social problems. Consequently, selective migration of working population is to be expected (Tschurtschenthaler, 2000). Especially those regions that are heavily dependent on tourism are, in fact, highly vulnerable to climate change.

In contrast, most of the lowlands and urban regions profit from climate change due to increasing tourism demand, especially during summer months. As a result, additional earnings, workplaces, purchasing power and taxes are generated, which in turn are beneficial to regional economics. Due to the shift of workplaces and the rise of purchasing power, cities and urban regions as well as lowlands attract people from higher located regions and will additionally be able to provide better infrastructural, educational and cultural equipment (Datzer, 1999). Therefore, tourism may act as a driving force for economic development not only in structurally weak areas (Eisenstein and Rosinski, 2003). As has been shown above, prospective tourism demand in the investigation area is likely to induce mostly positive development, but reveals profound regional differences. Therefore, high spatial resolution is indispensable in order to assess future economic development and to derive appropriate adjustment strategies. If these findings are considered and applied by stakeholders, future negative consequences can at least be mitigated if not prevented.

The project GLOWA-Danube has considerable methodological advantages. First, the agent-based simulation approach allows a more precise inspection of single behaviour of actors considering the overall development. Second, results are obtainable on a fine-grained spatial scale with a high temporal resolution. Third, the modular design principle of the scenarios enables the arrangement of different variations and modulations of climatic and societal conditions in order to assess sustainable adaptation strategies.

The approach, however, has a few shortcomings. Computations have to disregard any external shocks implicating economic alterations, and all simulated effects refer to the tax rates and value added ratios of 2008. Finally, since all resulting data are derived from simulations, probabilities of occurrence cannot be given. Therefore, data rather indicate a scope of results valid under the chosen simulation settings. From this, several implications for future research can be derived. At first, in order to generate even more application-oriented data for stakeholders and policy makers, seasonal shiftings of tourism demand would be rewarding. Furthermore, the perception of changed land forms and modified destinations due to climate change by tourists should be examined, as this might cause temporal and/or spatial shifts of tourism flows.

However, the most important issues are the awareness for climate change and the immediate adoption of measures designed either to mitigate severe economic consequences or to take advantage of increasing tourism demand. For these purposes, the present study offers substantial decision support.

References

- Abegg, B., and Elsasser, H. (2007), 'Wintertourismus im Klimastress', in Egger, R., and Herdin, T., ed, *Tourismus. Herausforderung Zukunft. Wissenschaftliche Schriftreihe des Zentrums für Tourismusforschung*, Vol 11, Salzburg, pp 219-230.
- BaylfStaD (Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung, Bavarian State Office for Statistics and Data Processing) (2009), 'Tourismus: Gemeinden, Betriebe, Betten, Auslastung, Übernachtungen, Ankünfte, Monate, Jahr (ab 2006). Monatserhebung im Tourismus'. GENESIS Table: 45511 001r, Munich, <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online/online?operation=ergebnistabelleAnzeigen&levelindex=0&levelid=1235311546503&index=2>.
- Beierkuhnlein, C., and Foken, T. (2008), 'Klimawandel in Bayern. Auswirkungen und Anpassungsmöglichkeiten', BayCEER, Bayreuth.
- Brau, R. (2008), 'Demand-driven sustainable tourism? A choice modeling analysis', *Tourism Economics*, 14/4, pp 691-708.
- Cooper, C., Fletcher, J., Fyall, A., Gilbert, D., and Wanhill, S. (2008), 'Tourism. Principles and Practice', Pearson Education Limited, Essex.
- Datzer, R. (1999), 'Ökonomische Bedeutung des Tourismus in NRW', in Schnell, P., Potthoff, K., ed, *Münstersche Geographische Arbeiten*, 42, pp 7-10.
- Dingeldey, A. (2008), 'Modellierung der touristischen Attraktivität zur Bestimmung der Übernachtungsnachfrage im Einzugsbereich der Oberen Donau unter Berücksichtigung von Umwelteinflüssen', Dr. Hut, Munich.
- Ehmer, P., and Heymann, E. (2008), 'Klimawandel und Tourismus. Wohin geht die Reise?', in Deutsche Bank Research, ed, *Aktuelle Themen Vol 416*, Frankfurt/Main.
- Eisenstein, B., and Rosinski, A. (2003), 'Ökonomische Effekte des Tourismus', in Becker, C., ed, *Geographie der Freizeit und des Tourismus. Bilanz und Ausblick*, Oldenbourg, Munich, pp 805-814.
- Eugenio-Martin, J., Martín-Morales, N., Sinclair, M. T. (2008), 'The role of economic development in tourism demand', *Tourism Economics*, 14/4, pp 673-690.
- Fechner, E., and Buer, C. (2008), 'Die touristische Wertschöpfung. Analyse des deutschen Reismarktes im Jahr 2006', in Bochert, R., ed, *Heilbronner Reihe Tourismuswirtschaft*, Uni-Edition, Heilbronn.
- GfK (Gesellschaft für Konsumforschung) (2008), 'GfK Kaufkraft 2008 in Deutschland', Nuremberg.
- Harrer, B. (1996), 'Wirtschaftsgeographische Auswirkungen einer veränderten ökologischen Situation. Konsequenzen für den Wintertourismus in Deutschland', in dwif (Deutsches Wirtschaftswissenschaftliches Institut für Fremdenverkehr), ed, *Schriftreihe des dwif*, Vol 47, Munich.
- Hennicker, R., Bauer, S. S., Janisch, S., and Ludwig, M. (2010). 'A Generic Framework for Multi-Disciplinary Environmental Modelling', Swayne, D, A, Yang, W., Voinov, A. A., Rizzoli, A., and Filatova, A., eds, *Proceedings of the iEMSs Fifth Biennial Meeting: International Congress on Environmental Modelling and Software (iEMSs*

- 2010), Ottawa.
- Jacob, D., Göttel, H., Kotlarski, S., Lorenz, P., and Sieck, K. (2008), 'Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland. Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland', *Climate Change* 11/08, <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3513.pdf>.
- Koch, A. (1989), 'Wirtschaftsfaktor Tourismus. Die binnen- und außenwirtschaftliche Bedeutung des Reiseverkehrs der Deutschen unter besonderer Berücksichtigung der Reiseveranstalter- und Reisemittlerbranche'. Frankfurt/Main. Kuhn, S., and Ernst, A. (2010), 'Gesellschaftsszenarien in GLOWA-Danube', in GLOWA-Danube Project, ed, *Global Change Atlas Einzugsgebiet Obere Donau*, Munich, S6.
- Maschke, J. (2005), 'Tagesreisen der Deutschen', in dwif, ed, *Schriftenreihe des dwif*, Vol 50, Munich. Maschke, J. (2007), 'Tagesreisen der Deutschen. Teil 3', in dwif, ed, *Schriftenreihe des dwif*, Vol 52, Munich. Mauser, W., Marke, T., Reiter, A., Jacob, D., and Preuschmann, S. (2010), 'Die GLOWA-Danube Klimatrends', GLOWA-Danube Project, ed, *Global Change Atlas Einzugsgebiet Obere Donau*, Munich, S2.
- Mayer, M., Woltering, M., and Job, H. (2008), 'Tourismus und Regionalentwicklung in den Bayerischen Alpen', *Geographische Rundschau*, 60/10, pp 40-46.
- Petermann, T., Revermann, C., and Scherz, C. (2006), 'Zukunftstrends im Tourismus'. Edition Sigma, Berlin. Proença, S., and Soukiazis, E. (2008), 'Tourism as an economic growth factor: a case study for Southern European countries', *Tourism Economics*, 14/4, pp 791-806.
- Sax, M. (2008), 'Entwicklung eines Konzepts zur computergestützten Modellierung der touristischen Wassernutzung im Einzugsgebiet der Oberen Donau unter Berücksichtigung des Klimawandels', *Beiträge zur Wirtschaftsgeographie Regensburg*, Vol 11, Regensburg.
- Schmude, J., and Heumann, S. (2010), 'Tourismuswirtschaft', Kulke, E., ed, *Wirtschaftsgeographie Deutschlands*, Spektrum Akademischer Verlag, Berlin, pp 323-344.
- Schmude, J., and Namberger, P. (2010), 'Tourismusgeographie', *Wissenschaftliche Buchgesellschaft*, Darmstadt.
- Schmude, J., and Sax, M. (2004), 'Wasser als touristische Ressource. Ein Ansatz zur Modellierung des touristischen Wasserverbrauchs', *Tourismus Journal* 8/4, pp 557-573.
- Soboll, A., Elbers, M., Barthel, R., Schmude, J., Ernst, A., Ziller, R. (2011), 'Integrated regional modelling and scenario development to evaluate future water demand under global change conditions', *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, *accepted*.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., and Miller, H.L. (eds.). (2007), 'Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change', Cambridge University Press, Cambridge, New York.

- StMWIVT (Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie, Bavarian State Office for Economics, Infrastructure, Transport and Technology), ed (2009), 'Tourismus in Bayern. Daten, Fakten, Zahlen', <http://www.verwaltung.bayern.de/Anlage3982692/TourismusinBayern,DatenFaktenZahlen.pdf>.
- Tschurtschenthaler, P. (2000), 'Tourismus und Wertschöpfung in einigen Alpenregionen. Die touristische Wertschöpfung als Indikator zur Beurteilung der ökonomischen Bedeutung des Tourismus', in CIRPA (International Commission for the Protection of Alpine Regions), ed, *Alpentourismus. Ökonomische Qualität, ökologische Qualität*, CIPRA International, Schaan.
- Tyrrell, T. J., Johnston, R. J. (2009), 'An econometric analysis of the effects of tourism growth on municipal revenues and expenditures', *Tourism Economics*, 15/4, pp 771-783.

Literaturverzeichnis

- Abegg, B. (1996): Klimaänderung und Tourismus. Klimafolgenforschung am Beispiel des Wintertourismus in den Schweizer Alpen. (= Schlussbericht NFP, 31). Zürich.
- Abegg, B., Elsasser, H. (2007): Wintertourismus im Klimastress. In: Egger, R., Herdin, T. (Hrsg.): *Tourismus. Herausforderung Zukunft*. Berlin, 219–230.
- Aderhold, P. (2009): Die Urlaubsreisen der Deutschen. Kurzfassung der Reiseanalyse 2009. Kiel.
- Albers, A. (2006): Sport ist in. Entwicklungen und Chancen des Sports in Tourismus und Freizeit. In: Reuber, P., Schnell, P. (Hrsg.): *Postmoderne Freizeitstile und Freizeiträume. Neue Angebote im Tourismus*. Berlin, 349–360.
- Balzert, H. (1996): *Lehrbuch der Software-Technik. Software-Entwicklung*. Heidelberg, Berlin, Oxford.
- Bark, R. H., Colby, B. G., Dominguez, F. (2010): Snow days? Snowmaking adaptation and the future of low latitude, high elevation skiing in Arizona, USA. In: *Climatic Change* 102, 467–491.
- Barthel, R., Janisch, S., Schwarz, N., Trifkovic, A., Nickel, D., Schulz, C., Mauser, W. (2008): An integrated modelling framework for simulating regional-scale actor responses to global change in the water domain. In: *Environmental Modelling and Software* 23, 1095–1121.
- BayStMWIVT (Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie) (Hrsg.) (2010): *Tourismus in Bayern. Daten, Fakten, Zahlen*. München. http://www.stmwivt.bayern.de/fileadmin/Web-Dateien/Dokumente/wirtschaft/Tourismus_in_Bayern_2010.pdf (Stand: 24.11.2010).
- Bödeker, B. (2003): *Städtetourismus in Regensburg. Images, Motive und Verhaltensweisen von Altstadttouristen*. Bayreuth.
- Bernedo Schneider, G. (2009): *Wenn Agenten sich streiten. Ein Agentenmodell zur Erforschung sozialer Konflikte*. Kassel.
- Berrittella, M., Bigano, A., Roson, R., Tol, R. (2006): A general equilibrium analysis of climate change impacts on tourism. In: *Tourism Management* 27, 913–924.
- Blank, O. (2004): *Entwicklung des Einzelhandels in Deutschland. Der Beitrag des Gebietsmarketings zur Verwirklichung einzelhandelsbezogener Ziele der Raumordnungspolitik*. Wiesbaden.
- Bloetzer, W., Egli, T., Petrascheck, A., Sauter, J., Stoffel, M. (1998): *Klimaänderungen und Naturgefahren in der Raumplanung*. (= Synthesebericht NFP, 31). Zürich.
- Bradshaw, J. M. (1997): An introduction to software agents. In: Bradshaw, J. M. (Hrsg.): *Software Agents*. Cambridge, 3–46.
- Büttner, H. (2010): Der Stakeholderdialog für GLOWA-Danube in der 3. Projektphase. In: *GLOWA-Danube Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas Einzugsgebiet Obere Donau*. München, E5. <http://www.glowa-danube.de/atlas/e5.php> (Stand: 24.11.2010).

- Cooper, C., Fletcher, J., Fyall, A., Gilbert, D., Wanhill, S. (2008): *Tourism. Principles and practice*. Essex.
- deFreitas, C. R. (2005): The climate-tourism relationship and its relevance to climate change impact assessment. In: Hall, C. M., Higham, J. (Hrsg.): *Tourism, recreation and climate change*. Clevedon, Buffalo, Toronto, 29–43.
- deVries, J., Perry, T. (2007): Der demografische Wandel und die Zukunft der Gesellschaft. Szenarien für den Umgang mit einer alternden und schrumpfenden Bevölkerung. In: vhw FW 3, 115–119, <http://www.vhw.de/publikationen/verbandszeitschrift/archiv/2007/heft-3/> (Stand: 24.11.2010).
- DGV (Deutscher Golf Verband e.V.) (Hrsg.) (2009): *Der deutsche Golfmarkt 2008*. http://www.golf.de/dgv/imagdata/marktbericht_golf_2008_v8.pdf (Stand: 24.11.2010).
- Dingeldey, A. (2008): *Modellierung der touristischen Attraktivität zur Bestimmung der Übernachtungsnachfrage im Einzugsbereich der Oberen Donau unter Berücksichtigung von Umwelteinflüssen*. München.
- DWD (Deutscher Wetterdienst) (Hrsg.) (2010): *Klimadaten Deutschland*. http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=dwdwww_klima_umwelt&_nfls=false (Stand: 30.11.2010).
- Econ-Consult, EHI (EuroHandelsinstitut GmbH), Universität Trier Fachbereich Geographie/Geowissenschaften, ISG (Institut für Sozialforschung Gesellschaftspolitik) (Hrsg.) (2005): *Shoppingtourismus im internationalen Vergleich. Wachstumsimpulse für Tourismus und Einzelhandel in Deutschland*. <http://www.isg-institut.de/download/Shoppingtourismus.pdf> (Stand: 24.11.2010).
- Egner, H., Ratter, B. M. W. (2008): Einleitung. Wozu Systemtheorien?. In: Egner, H., Ratter, B. M. W., Dikau, R. (Hrsg.): *Umwelt als System. System als Umwelt? Systemtheorien auf dem Prüfstand*. München, 9–19.
- Elverfeldt, K., Keiler, M. (2008): Offene Systeme und ihre Umwelt. Systemperspektiven in der Geomorphologie. In: Egner, H., Ratter, B. M. W., Dikau, R. (Hrsg.): *Umwelt als System. System als Umwelt? Systemtheorien auf dem Prüfstand*. München, 75–102.
- Engel, J. F., Blackwell, R. D., Miniard, P. W. (1995): *Consumer Behavior*. Fort Worth.
- Fechner, E., Buer, C. (2008): *Die touristische Wertschöpfung. Analyse des deutschen Reisemarktes im Jahr 2006*. Berlin.
- Feige, M., Seidel, A., Kirchoff, M., Smettan, C. (1999): *Forschungsvorhaben Küstentourismus und Klimawandel. Entwicklung des Tourismus im deutschen Küstenbereich unter besonderer Berücksichtigung der Wahrnehmung und Bewertung von Klimafolgen durch relevante Entscheidungsträger. Arbeitsteil Entwicklungspfade des Tourismus*. Berlin.
- Fischer, K., Schillo, M., Siekmann, J. (2003): Holonic multiagent systems. A foundation for the organisation of multiagent systems. In: Marik, V., McFarlane, D., Valckenaers, P. (Hrsg.): *Holonic and multi-agent systems for manufacturing. (= Lecture Notes in Artificial Intelligence, 2744)*. Berlin, Heidelberg, New York, 71–80.
- Frehn, M. (1995): *Erlebniseinkauf in Kunstwelten (Shopping-Malls) und in Realkulissen (City-Einkauf) vor dem Hintergrund einer ökologisch verträglichen Mobilität. Teil 1 Stand der Diskussion und Sekundäranalysen*. Wuppertal.

- Freyer, W. (2009): *Tourismus. Einführung in die Fremdenverkehrsökonomie*. München.
- Gerhard, U. (1998): *Erlebnis-Shopping oder Versorgungseinkauf? Eine Untersuchung über den Zusammenhang von Freizeit und Einzelhandel am Beispiel der Stadt Edmonton, Kanada*. (= Marburger Geographische Schriften, 133). Marburg.
- Gilbert, N. (2008): *Agent-based models*. (= *Quantitative applications in the social sciences*, 153). London, Thousand Oaks.
- Görg, C. (2003): *Regulation der Naturverhältnisse. Zu einer kritischen Theorie der ökologischen Krise*. Münster.
- Götze, U. (1993): *Szenario-Technik in der strategischen Unternehmensplanung*. Wiesbaden.
- Hall, C. M., Higham, J. (2005): *Introduction*. *Tourism, recreation and climate change*. In: Hall, C. M., Higham, J. (Hrsg.): *Tourism, recreation and climate change*. Clevedon, Buffalo, Toronto, 3–28.
- Hamilton, J., Maddison, D., Tol, R. (2005): *Effects of climate change on international tourism*. In: *Climate Research* 29, 245–254.
- Harrer, B. (1996): *Wirtschaftsgeographische Auswirkungen einer veränderten ökologischen Situation. Konsequenzen für den Wintertourismus in Deutschland*. (= *Schriftenreihe des dwif*, 47). München.
- Harrer, B. (2007): *Wirtschaftsfaktor Tourismus. Berechnungsmethodik und Bedeutung*. In: Becker, C., Hopfinger, H., Steinecke, A. (Hrsg.): *Geographie der Freizeit und des Tourismus. Bilanz und Ausblick*. München, 149–158.
- Harrer, B., Scherr, S. (2002): *Ausgaben der Übernachtungsgäste in Deutschland*. (= *Schriftenreihe des dwif*, 49). München.
- Heinrichs, H., Grunenberg, H. (2009): *Klimawandel und Gesellschaft. Perspektive Adaptionenkommunikation*. Wiesbaden.
- Hennicker, R., Ludwig, M. (2006): *Design and implementation of a coordination model for distributed simulations*. In: Mayr, H., Breu, R. (Hrsg.): *MOD'06, Lecture Notes Informatics P-82*, 83–97. <http://www.pst.ifi.lmu.de/veroeffentlichungen/hennicker-ludwig:modellierung:2006.pdf> (Stand: 24.11.2010).
- Hesse, R., Rauh, J. (2003): *Angebot und Nachfrage im Einzelhandel. Multiagentensysteme zur Simulation von Konsumentenverhalten und der Shopping-Center-Planungen*. In: Koch, A., Mandl, P. (Hrsg.): *Multi-Agenten-Systeme in der Geographie*. (= *Klagenfurter Geographische Schriften*, 23). Klagenfurt, 65–88.
- Hopfinger, H. (2007): *Die Geographie der Freizeit und des Tourismus. Versuch einer Standortbestimmung*. In: Becker, C., Hopfinger, H., Steinecke, A. (Hrsg.): *Geographie der Freizeit und des Tourismus. Bilanz und Ausblick*. München, 1–24.
- Jennings, N. R., Sycara, K., Wooldridge, M. (1998): *A roadmap of agent research and development*. In: *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems* 1/1, 7–38.
- Kaspar, C. (1996): *Die Tourismuslehre im Grundriss*. (= *St. Galler Beiträge zum Tourismus und zur Verkehrswirtschaft Reihe Tourismus*, 1). Bern, Stuttgart, Wien.
- Kazig, R. (2006): *Gastronomie in Regensburg. Spitze auch bei der Kneipendichte?*. In: Sedlmeier, A., Vossen, J. (Hrsg.): *Stadtatlas Regensburg*. Regensburg, 70–71.
- Klügl, F. (2000): *Aktivitätsbasierte Verhaltensmodellierung und ihre Unterstützung bei Multiagentensimulationen*. Dissertation Universität Würzburg. Würzburg.

- Klügl, F. (2001): Multiagentensimulation. Konzepte, Werkzeuge, Anwendung. München.
- Koch, A., Mandl, P. (2003): Einleitung zum Thema Multi-Agenten-Systeme in der Geographie. In: Koch, A., Mandl, P. (Hrsg.): Multi-Agenten-Systeme in der Geographie. (= Klagenfurter Geographische Schriften, 23). Klagenfurt, 1–4.
- Kuhn, S., Ernst, A. (2009): Gesellschaftsszenarien in GLOWA-Danube. In: GLOWA-Danube Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas Einzugsgebiet Obere Donau. München, S6. <http://www.glowa-danube.de/atlas/s6.php> (Stand: 24.11.2010).
- Kuhn, S., Ernst, A., Mauser, W. (2010): GLOWA-Danube-Szenarien. In: GLOWA-Danube Projekt (Hrsg.): GLOWA-Danube Projekt. München, S1. <http://www.glowa-danube.de/atlas/s1.php> (Stand: 24.11.2010).
- Leser, H. (2001): Wörterbuch Allgemeine Geographie. München.
- Ludwig, R., Mauser, W., Niemeyer, S., Colgan, A., Stolz, R., Escher-Vetter, H., Kuhn, M., Reichstein, M., Tenhunen, M., Kraus, A., Ludwig, M., Barth, M., Hennicker, R. (2003): Web-based modeling of energy, water and matter fluxes to support decision making in mesoscale catchments. The integrative perspective of GLOWA-Danube. In: Physics and Chemistry of the Earth 28, 621–634.
- Marke, T., Mauser, W., Pfeiffer, A., Zängl, G., Jacob, D., Preuschmann, S. (2009): Klimavarianten der regionalen Klimamodelle MM5 und REMO. In: GLOWA-Danube Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas Einzugsgebiet Obere Donau. München, S5. <http://www.glowa-danube.de/atlas/s5.php> (Stand: 24.11.2010).
- Maschke, J. (2005): Tagesreisen der Deutschen. Grundlagenuntersuchung. (= Schriftenreihe des dwif, 50). München.
- Matzarakis, A., Tinz, B. (2008): Tourismus an der Küste sowie im Mittel- und Hochgebirge. Gewinner und Verlierer. In: Lozàn, J. L., Grassl, H., Jendritzky, G., Karbe, L., Reise, K. (Hrsg.): Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken. Gefahren für Menschen, Tiere und Pflanzen. Hamburg, 247–252.
- Mauser, W. (2009): Die GLOWA-Danube Klimavarianten aus dem statistischen Klimaantriebs-Generator. In: GLOWA-Danube Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas Einzugsgebiet Obere Donau. München, S4. <http://www.glowa-danube.de/atlas/s4.php> (Stand: 24.11.2010).
- Mauser, W., Marke, T., Reiter, A., Jacob, D., Preuschmann, S. (2009): Die GLOWA-Danube Klimatrends. In: GLOWA-Danube Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas Einzugsgebiet Obere Donau. München, S2. <http://www.glowa-danube.de/atlas/s2.php> (Stand: 24.11.2010).
- Mauser, W., Weidinger, R., Stöber, S. (2008): Einleitung. In: GLOWA-Danube Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas Einzugsgebiet Obere Donau. München, E1. <http://www.glowa-danube.de/atlas/e1.php> (Stand: 24.11.2010).
- Müller, I. (2001): Der hybride Verbraucher. Ende der Segmentierungsmöglichkeiten im Konsumgütermarketing?. In: Diller, H. (Hrsg.): Der moderne Verbraucher. Neue Befunde zum Einkaufsverhalten. Nürnberg, 29–52.
- Monheim, R. (2002): Nutzung und Bewertung von Innenstädten. In: Apfel, D., Holzappel, H., Kiepe, F., Lehmbock, M., Müller, P. (Hrsg.): Handbuch der kommunalen Verkehrsplanung, 32. Ergänzungslieferung 08/2002. Bonn, 1–32.
- Monheim, R. (2007): Die Bedeutung von Freizeit und Tourismus für die Entwicklung

- von Innenstädten. In: Becker, C., Hopfinger, H., Steinecke, A. (Hrsg.): *Geographie der Freizeit und des Tourismus. Bilanz und Ausblick*. München, 815–826.
- Monheim, R., Heller, J., Sedlmeier, A. (1998): *Erlebniseinkauf in Regensburg. Nicht nur in der Altstadt*. In: *Informationen zur Stadtentwicklung* 2, 3–11.
- Openshaw, S., Openshaw, C. (1997): *Artificial intelligence in geography*. Chichester.
- Parker, D. C., Manson, S. M., Janssen, M. A., Hoffmann, M. J., Deadman, P. (2003): *Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change. A review*. In: *Annals of the Association of American Geographers* 93/2, 314–337.
- Ratter, B. M. W., Treiling, T. (2008): *Komplexität. Oder was bedeuten die Pfeile zwischen den Kästchen?*. In: Egner, H., Ratter, B. M. W., Dikau, R. (Hrsg.): *Umwelt als System. System als Umwelt? Systemtheorien auf dem Prüfstand*. München, 23–38.
- Reibnitz, v., U. (1987): *Szenarien. Optionen für die Zukunft*. Hamburg.
- Sax, M. (2008): *Entwicklung eines Konzepts zur computergestützten Modellierung der touristischen Wassernutzung im Einzugsgebiet der Oberen Donau unter Berücksichtigung des Klimawandels*. (= Beiträge zur Wirtschaftsgeographie Regensburg, 11). Regensburg.
- Schamp, E. W. (2007): *Denkstile in der deutschen Wirtschaftsgeographie. Aktuelle Umbrüche seit 1970*. In: *Zeitschrift für Wirtschaftsgeographie* 51/3/4, 238–252.
- Schenk, T. A. (2008): *Multiagentensysteme zur Simulation von Konsumentenentscheidungen*. (= Würzburger Geographische Arbeiten, 101). Würzburg.
- Schmude, J., Heumann, S. (2010): *Tourismuswirtschaft*. In: Kulke, E. (Hrsg.): *Wirtschaftsgeographie Deutschlands*. Berlin, 323–344.
- Schmude, J., Namberger, P. (2010): *Tourismusgeographie*. Darmstadt.
- Scott, D., deFreitas, C., Matzarakis, A. (2009): *Adaptation in the tourism and recreation sector*. In: Ebi, K. L., Burton, I., McGregor, G. R. (Hrsg.): *Biometeorology for adaptation to climate variability and change*. Berlin, 171–194.
- Scott, D., McBoyle, G., Minogue, A. (2007): *Climate change and Quebec's ski industry*. In: *Global Environmental Change* 17, 181–190.
- Sedlacek, K.-D. (2010): *Emergenz. Strukturen der Selbstorganisation in Natur und Technik*. Norderstedt.
- Sedlmeier, A. (2006): *Einkaufen als Erlebnis... im größten Einkaufszentrum Ostbayerns*. In: Sedlmeier, A., Vossen, J. (Hrsg.): *Stadtatlas Regensburg*. Regensburg, 68–69.
- Stadt Regensburg Amt für Stadtentwicklung (Hrsg.) (2007): *Fortlaufende Einzelhandelskartierung Altstadt Regensburg*. Unveröffentlichtes Dokument.
- Steinecke, A. (2006): *Tourismus. Eine geographische Einführung*. Braunschweig.
- Sun, R. (2006): *Cognition and multi-agent interaction. From cognitive modeling to social simulation*. New York.
- Vogelbacher, M. (1998): *Urban-Entertainment-Center. Ein innovatives Immobiliennutzungskonzept, dargestellt an US-amerikanischen Konzepten und Erfahrungen*. In: Falk, B. (Hrsg.): *Das große Handbuch Shopping-Center*. Landsberg/Lech, 317–327.
- Wagner, G., Giurca, A., Pehla, M., Werner, J. (2008): *Modellierung und Simulation von Multiagenten-Systemen*. In: *Forum der Forschung* 21, 47–52.

- Weber, M. (2008): Alltagsbilder des Klimawandels. Zum Klimabewusstsein der Deutschen. Wiesbaden.
- Weber, M., Prasch, M. (2010): Teilprojekt Glaziologie. Mittlere Schneedeckendauer von November bis Juni unter dem Klimatrend REMO regional und der Klimavariante Baseline. In: GLOWA-Danube Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas Einzugsgebiet Obere Donau. München, 3.1.5. http://www.glowa-danube.de/atlas/texte/t3_1_5.pdf (Stand: 24.11.2010).
- Weber, M., Prasch, M., Kuhn, M., Lambrecht, A. (2010): Teilprojekt Glaziologie. Veränderung der Eisreserve in der Zukunft. In: GLOWA-Danube Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas Einzugsgebiet Obere Donau. München, 2.4.2. http://www.glowa-danube.de/atlas/texte/t2_4_2.pdf (Stand: 24.11.2010).
- Weiermair, K. (2006): Von der Dienstleistung zum Erlebnis. In: Weiermair, K., Brunner-Sperdin, A. (Hrsg.): Erlebnisinszenierung im Tourismus. Erfolgreich mit emotionalen Produkten und Dienstleistungen. Berlin, 13–22.
- Witmer, U., Filliger, P., Künz, S., Kung, P. (1986): Erfassung, Bearbeitung und Kartierung von Schneedaten in der Schweiz. (= Geographica Bernensia, G25). Bern.
- Wooldridge, M., Jennings, N. R. (1995): Intelligent agents. Theory and practice. In: Knowledge Engineering Review 10/2, 115–152.
- WTTC (World Travel and Tourism Council) (Hrsg.) (2009): Tourism Satellite Account 2009. London.

Anhang

Weitere wissenschaftliche Aktivitäten

Publikationen

- Soboll, A., Dingeldey, A.: The Impact of Climate Change on Alpine Winter Tourism. A High Resolution Simulation System in the German and Austrian Alps. In: Journal of Sustainable Tourism, Special Issue. *Eingereicht*.
- Dingeldey, A., Soboll, A. (2010): The Impact of Climate Change on Alpine Leisure Tourism in Germany and Austria. In: Hergesell, A., Liburd, J. J. (Hrsg.): Proceedings of BEST EN Think Tank X. Networking for Sustainable Tourism. Wien, Sydney, 101-115.
- Soboll, A. (2010): Agent-based Modelling of Consumer Shopping Behaviour. Along the Paths of Added Benefit. In: Ernst, A., Kuhn, S. (Hrsg.): Proceedings of the 3rd World Congress on Social Simulation WCSS 2010 (CD-Rom). Kassel, 8 Seiten.
- Dingeldey, A., Soboll, A. (2009): Klimawandel und seine Bedeutung für die Destination Deutschland am Beispiel des Projekts GLOWA-Danube. In: Soboll, A. (Hrsg.): Deutschland als Incoming Destination. (= Studien zur Freizeit- und Tourismusforschung, 2). Mannheim, 123-136.
- Soboll, A. (Hrsg.) (2009): Deutschland als Incoming Destination. (= Studien zur Freizeit- und Tourismusforschung, 2). Mannheim.
- Soboll, A., Schmude, J., Dingeldey, A. (2009a): Teilprojekt Tourismusforschung. Auswirkungen unterschiedlicher Szenarien auf die Öffnungstage von Skigebieten. In: GLOWA-Danube-Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau. München, 3.2.1, http://www.glowa-danube.de/atlas/texte/t3_2_1.pdf (Stand: 11.12.2010).
- Soboll, A., Schmude, J., Dingeldey, A. (2009b): Teilprojekt Tourismusforschung. Auswirkungen unterschiedlicher Szenarien auf den Wasserbedarf von Golfplätzen. In: GLOWA-Danube-Projekt (Hrsg.): Global Change Atlas. Einzugsgebiet Obere Donau. München, 3.2.2, http://www.glowa-danube.de/atlas/texte/t3_2_2.pdf (Stand: 11.12.2010).

Internationale Tagungsbeiträge

Agent-based Modelling of Consumer Shopping Behaviour. Along the Paths of Added Benefit.

3rd World Congress on Social Simulation: Scientific Advances in Understanding Societal Processes and Dynamics, 06.-09.09.10, Kassel, Deutschland.

The Impact of Climate Change on Alpine Leisure Tourism in Germany and Austria.

BEST EN Think Tank X: Networking for Sustainable Tourism, 27.-30.06.10, Wien, Österreich.

The Impact of Climate Change on Alpine Winter Tourism: Decision support based on high resolution climate simulation.

International Conference Sustainable Tourism: Issues, Debates, Challenges, 22.-25.04.10, Kreta, Griechenland.

Klimawandel und seine Bedeutung für die Destination Deutschland am Beispiel des Projekts GLOWA-Danube.

Deutschland als Incoming-Destination, Jahrestagung 2008 Arbeitskreis Freizeit- und Tourismusgeographie der Deutschen Gesellschaft für Geographie, 13.-14.06.08, München, Deutschland.

Tagungsorganisation

Deutschland als Incoming-Destination, Jahrestagung 2008 Arbeitskreis Freizeit- und Tourismusgeographie der Deutschen Gesellschaft für Geographie, 13.-14.06.08, München, Deutschland.