

# **Umwelt und Sicherheit - ein Thema für die Umweltinformatik?**

Marcel Endejan<sup>1</sup> und Karl-Heinz Simon<sup>1</sup>

## **Abstract**

In den letzten Jahren sind verschiedene Stränge der Umweltforschung in einem neuen Themenbereich zusammengeführt worden, der als „Umwelt und Sicherheit“ bezeichnet wird. Es geht unter diesem Titel darum, zu untersuchen, ob und in welcher Weise (globale) Umweltveränderungen menschliche Lebensgrundlagen beeinflussen bzw. gefährden. Damit ergibt sich eine interessante Herausforderung auch unter methodischen Gesichtspunkten, weil verschiedene fachdisziplinär bearbeitete Fragestellungen zusammengeführt werden müssen. Methoden und Werkzeuge der Umweltinformatik können an verschiedenen Aspekten des Problemfeldes ansetzen und versprechen adäquate Antworten auf die Komplexität der Problemstellungen.

## **1. Das Problemfeld Umwelt und Sicherheit**

In einem Standardwerk zu „Umwelt und Sicherheit“ wird folgende Charakterisierung des Problemfeldes gegeben: „Globale, regionale und lokale Umweltveränderungen als Ursache gewaltförmiger Auseinandersetzungen haben sich ... zu einem bedeutenden Untersuchungsgegenstand der Sozial- und Politikwissenschaft entwickelt. Im Zentrum der Debatte steht die Frage, unter welchen Bedingungen Umweltveränderungen in unterschiedlichen Regionen der Welt zu gewaltsamen Auseinandersetzungen führen. Besteht ein Zusammenhang zwischen Umweltzerstörung, Ressourcenknappheit und gewaltsamen Konflikten? ...“ (Carius/Imbusch 1998, 7) Neben der Frage nach dem Auslöser für gewaltsame (inner- oder zwischenstaatliche) Konflikte wird aber auch generell die Gefährdung menschlicher Sicherheit z.B. durch Ausbreitung von Seuchengebieten oder das Wegbrechen der Ernährungsgrundlage aufgrund von Klimaänderung oder Klimavariabilität thematisiert.

In genaueren Analysen, z.B. auf der Basis von Fallstudien, konnte herausgearbeitet werden, dass i.d.R. kein direkter Zusammenhang zwischen Umweltveränderungen und Gefährdungen der menschlichen Sicherheit sichtbar ist, sondern dass eine derartige Beziehung von einer ganzen Reihe weiterer Faktoren oder Rahmenbedingungen

---

<sup>1</sup> Universität Gh Kassel, Wissenschaftliches Zentrum für Umweltsystemforschung, Kurt-Wolters-Str. 3, 34109 Kassel, simon@usf.uni-kassel.de

abhängt, und dass „Umweltveränderungen ... ein Element eines komplexen Netzes von Ursachen (sind), das eine Reihe sozio-ökonomischer Fehlentwicklungen wie Überbevölkerung, Armut, Migrationsbewegungen, Flüchtlingsströme, politische Instabilität und ethno-politische Spannungen auslösen kann.“ (Carius/Imbusch 1998, 18)

Die Wahrnehmung der Komplexität des Netzes an Ursachen und Folgen hat in letzter Zeit dazu geführt, dass das Problemfeld nicht länger nur als Aufgabe für die Sozial- und Politikwissenschaften begriffen wird, sondern versucht wird, interdisziplinäre Zugänge zu suchen, die der Vielschichtigkeit des Problembereichs gerecht werden.

## 2. Unterstützung durch Umweltinformatik

Aus der obigen Problembeschreibung ergeben sich bereits Hinweise darauf, in welcher Weise eine Unterstützung durch Methoden und Werkzeuge der Umweltinformatik bei der Problembearbeitung und Problemlösung gegeben werden kann. Hierzu finden wir Ansatzpunkte fast über das gesamte Spektrum der Umweltinformatik:

**Datenbeschaffung:** Die Analysen im Problemfeld „Umwelt und Sicherheit“ benötigen Daten und Informationen aus einer Vielzahl unterschiedlicher Bereiche. Zu nennen wären etwa Fernerkundung und satelliten-gestützte Monitoringsysteme, z.B. in Zusammenhang mit Landnutzungsänderungen, Landbedeckung, landwirtschaftlicher Produktion, Dynamik der Gewässersysteme, Temperaturveränderungen. Damit sind eher die Informationen über "naturwissenschaftliche" Sachverhalte angesprochen. Es besteht aber auch ein erheblicher Bedarf an sozio-ökonomischen Daten, z.B. zur Handlungsfähigkeit von Regierungen oder sozialer Systeme, wobei z.B. Wirtschaftskraft und Erreichbarkeit der Bevölkerung für Entscheidungen und Maßnahmen eine wichtige Rolle spielen.

**Datenauswertung und Speicherung:** Sowohl auf der Ebene der Primärdatenerhebung als auch im Hinblick auf eine Einbeziehung von Standarddaten aus internationalen Datenbanken besteht in der adäquaten Auswertung von Datenreihen und deren Aufbereitung, z.B. für Modellierungszwecke, eine besondere Herausforderung.

**Datenverknüpfung:** Angesichts der Komplexität des Problemfeldes bietet es sich an, Methoden der Modellbildung und Simulation für eine Verknüpfung von Daten und Hypothesen und die für Ausarbeitung der inhärenten Dynamiken zu nutzen. Da es um die Verknüpfung des Globalen Wandels mit menschlichen Lebensgrundlagen geht, muß an bereits bestehenden Projekten zur Modellierung der Veränderung von Umweltbedingungen angesichts des Klimawandels angesetzt werden. Einige der existierenden Projekte (IMAGE, TARGETS) sind hinsichtlich ihrer Beiträge zur Gesamthematik ausgewertet worden und werden derzeit insbesondere im Hinblick auf Integration bzw. Schnittstellen zu nicht-naturwissenschaftlich fassbaren Sachverhalten diskutiert.

**Ergebnispräsentationen:** Wie in vielen anderen umweltbezogenen Fragestellungen auch kommt der geo-referenzierten Darstellung der Ergebnisse eine besondere Bedeutung zu. Hierfür bietet sich der Einsatz von GIS an, sowohl in Form grid-basierter Systeme als auch über vektororientierte Ansätze (z.B. zur Abbildung geographischer Sachverhalte und Umwelteigenschaften wie Wanderungshemmnisse oder Wassereinzugsgebiete). Wie in anderen Teilbereichen der Umweltinformatik auch, stellt zudem der Verknüpfung dynamischer Prozesse mit flächenbezogenen Darstellungen eine besondere Herausforderung dar.

### **3. Beispiel: GLASS – Ein Modellierungsprojekt im Problemfeld Umwelt und Sicherheit**

Das GLASS-Modell stellt einen ersten Ansatz zur Quantifizierung der menschlichen Sicherheit dar. Das Modell verwendet Teilmodelle und Szenarien aus dem integrierten Modell<sup>2</sup> IMAGE (Alcamo 1994) und dem Modell WaterGAP (Alcamo et al. 1997) und verbindet diese mit weiteren Konzepten z.B. über die Anfälligkeit verschiedener gesellschaftlicher Schichten oder Altersgruppen gegenüber klimabedingten Stressfaktoren.

Als Eingangsgrößen gehen unter anderem länderbezogene Daten über die Ökonomie, die verfügbaren Technologien und die Demographie in das Modell ein. Hinzu kommen rasterbasierte Daten über klimatische Bedingungen. Diese Informationen beschreiben sowohl die historischen Gegebenheiten ab 1900 als auch Szenarien bis zum Jahr 2100.

Das Modell berechnet die resultierenden globalen Umweltveränderungen und daraus den Grad der Gefährdung der Nahrungsmittel- und Wassersicherheit. Mit Hilfe eines Konzeptes zur Anfälligkeit verschiedener Bevölkerungsschichten wird die potentiell betroffene Bevölkerung ermittelt. Im nächsten Schritt der Modellentwicklung wird darüber hinaus ein Migrationsmodell erstellt, das die Berechnung von Wanderungsbewegungen (Migration) betroffener Bevölkerungsteile zum Ziel hat.

Neben der Berücksichtigung direkter Auswirkungen der Klimaänderung, z.B. auf die Produktion von Feldfrüchten oder die Wasserverfügbarkeit, spielen sozioökono-

---

<sup>2</sup> Unter integriert verstehen wir hier zuerst einmal, dass Modellhypothesen aus verschiedenen Disziplinen in einem gemeinsamen Rahmen zusammengebunden sind und ggf. auch unterschiedliche räumliche und zeitliche Skalen kombiniert werden können. Im Zusammenhang mit "integrated assessment" haben Rotmans/Dowlatabati ausgeführt: "Integrated assessment ... is an interdisciplinary process of combining, interpreting, and communicating knowledge from diverse scientific disciplines in such a way that the whole set of cause-effect interactions of a problem can be evaluated from a synoptic perspective with two characteristics (...): It should have added value compared to single disciplinary oriented assessment. It should provide useful information to decisionmakers. (1998)

mische Zusammenhänge bei der Entwicklung eines integrierten Modells wie GLASS eine wichtige Rolle, z.B. wenn es um die Entstehung von Umweltdegradationen, die bereits erwähnte Anfälligkeit einer Bevölkerungsschicht, die Migrationsbewegungen oder um Anpassungsstrategien Betroffener geht. Für die angeführten und weitere in diesem Zusammenhang auftretende Prozesse und Phänomene gibt es Erklärungsversuche der unterschiedlichen Fachdisziplinen (Agrarwissenschaft, Hydrologie, Ökonomie, Psychologie, Soziologie usw.).

### **3.1 Anforderungen**

Bei der Entwicklung eines integrierten Modells müssen die Erklärungsbeiträge der beteiligten Fachdisziplinen und bereits existierende Modelle, Modellteile oder Prozessabbildungen zu einem Gesamtmodell zusammengefasst werden. Anschließend müssen die Modellergebnisse dargestellt werden. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Darstellungsform der Ergebnisse den Anforderungen der unterschiedlichen Benutzer bzw. Zielgruppen entspricht – die Form der Modellausgabe zum Zwecke statistischer Auswertungen ist sicherlich eine andere als die, die zur Ergebnisrepräsentation vor politischen Entscheidungsträgern verwendet wird.

Neben diesen eher funktionalen Anforderungen werden an das Gesamtmodell auch nicht-funktionale Anforderungen gestellt. Hier ist neben der einfachen Integrierbarkeit vorhandener Teilmodelle vor allem die Erweiterbarkeit des Gesamtmodells und eine gute Wartbarkeit zu nennen. Darüber hinaus ist gerade im Hinblick auf die Interdisziplinarität eine gute Nachvollziehbarkeit der berücksichtigten Prozesse und Berechnungen zu gewährleisten.

### **3.2 Systemarchitektur**

Um die funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen an ein Modell zur Quantifizierung des Themenkomplexes ‘Mensch-Umwelt-Sicherheit’ erfüllen zu können ist die Struktur des Softwaresystems, also die Systemarchitektur, von großer Wichtigkeit. Bei der Entwicklung dieser Architektur spielen die Erkenntnisse der im folgenden kurz angesprochenen Bereiche der Informatik eine entscheidende Rolle.

#### **3.2.1 Datenbanken**

Bei der Betrachtung der menschlichen Sicherheit im Zusammenhang mit globalen Umweltveränderungen sind Daten mit geographischem Bezug eine wesentliche Grundlage für die Modellierung. Viele der relevanten Geodaten sind auf der Ebene von Staaten zu verwalten, wie zum Beispiel Daten zum Bruttosozialprodukt oder zur Bevölkerung. Einige Daten sind aber auch auf einer geographisch feineren Auflösung zu berücksichtigen, so zum Beispiel Monatsmittelwerte von Temperatur und

Niederschlag, die global rasterbasiert mit einer Auflösung von  $0.5^\circ$  geographischer Länge und Breite zur Verfügung stehen. Andere Informationen stehen hingegen auf regionaler Basis zur Verfügung, wobei die Regionen sowohl aus mehreren Ländern als auch aus Untereinheiten von Ländern bestehen können. Die Beschreibung von Entwicklungen für zusammengefasste Staaten getrennt für 'entwickelte Länder' und 'Entwicklungsländer' oder die Wasserverfügbarkeit pro 'Wassereinzugsgebiet' seien hier als Beispiel angeführt.

Neben der Verwaltung der raumbezogenen Daten kommt bei der Modellierung das Problem der Aggregation dieser Daten hinzu; die gleichen Informationen werden von einigen Teilmodellen auf der Basis von Rasterzellen benötigt und von anderen auf Länderebene oder unter Berücksichtigung der Grenzen von Wassereinzugsgebieten.

Eine weitere Herausforderung bei der Datenverwaltung stellt die Verwendung von Zeitreihen dar. Die oben erwähnten Daten werden nicht nur für einen fixen Zeitpunkt benötigt sondern für unterschiedliche Intervalle, sowohl für die Vergangenheit als auch für die Zukunft. Einhergehend mit den Zeitreihen stellt sich die Frage des konsistenten Umgangs mit nicht vorhandenen Daten innerhalb des Datenbestandes.

Die Integrität des räumlich, zeitlich und fachlich sehr heterogenen Datenbestandes sicherzustellen ist eine weitere, nicht zu unterschätzende Aufgabe, die ebenfalls bei der Entwicklung der Systemarchitektur zu berücksichtigen ist. Da die Datenbestände teilweise sehr komplex sind, werden sie oft nicht nur von unterschiedlichen Teilen eines Modells gemeinsam genutzt, sondern darüber hinaus auch noch von anderen Projekten, was zusätzliche bei der Datenverwaltung in Betracht zu ziehen ist.

All diese Anforderungen an die Datenhaltung und -verwaltung erfordert die Berücksichtigung neuester Entwicklungen auf dem Gebiet der Datenbanken und Geodatenbanken.

### **3.2.2 Geo-Informationssysteme**

Da das Modell geographisch explizite Berechnungen macht ist die gezielte Verwendung von Geo-Informationssystemen (GIS) zur Datenvorverarbeitung sowie zur Analyse und Darstellung der Daten und Ergebnisse sinnvoll.

Zur Datenvorverarbeitung gehört in unserem Zusammenhang zum Beispiel die Erzeugung rasterbasierter Datensätze oder die Konvertierung von Informationen in eine geographisch einheitliche Projektion. Bei der Datenanalyse ist die Unterstützung der Modellierung durch typische GIS-Funktionen, wie zum Beispiel die Summenbildung von Werten auf Rasterbasis zu einem Wert für eine Region, denkbar. Die Analyse der Eingabe- und Ergebnisdaten wird durch Darstellungen im Kartenformat erheblich erleichtert und ist auch für die Ergebnispräsentation in den meisten Fällen die angemessene Präsentationsform. Aufgrund der weiten Verbreitung von GIS wird darüber hinaus auch der Datenaustausch mit etwaigen Projektpartnern oder Datenlieferanten durch die Verwendung solcher Systeme vereinfacht.

### 3.2.3 Wissensrepräsentation

Die Systemzusammenhänge im Umfeld 'Umwelt und Sicherheit' und die daraus resultierenden Teilmodelle stellen an die zu verwendenden Repräsentations- und Lösungsmethoden einen hohen Anspruch. Einige Zusammenhänge können in Form mathematischer Formeln ausgedrückt und über numerische oder analytische Verfahren berechnet werden, so zum Beispiel Teilprozesse des Bodenwasserhaushaltes. Andere Zusammenhänge, wie beispielsweise die Allokation von Flächen für die landwirtschaftliche Nutzung, werden besser durch Regeln beschrieben. Darüber hinaus bieten gerade im Bereich sozio-ökonomischer Zusammenhänge statistische Ansätze (wie probabilistische Netzwerke oder auch Fuzzy-Logik zur Abbildung unsicheren Wissens) die Möglichkeit einer angemessenen Repräsentation abzubildender Prozesse.

Eine Modellarchitektur, die problemadäquate Repräsentations- und Lösungsmechanismen unterstützt, erlaubt eine bessere Abbildung des Wissens der unterschiedlichen Teilprozesse und eine bessere Nachvollziehbarkeit berücksichtigter Zusammenhänge sowie der daraus resultierenden Ergebnisse – Regeln und die daraus zur Laufzeit vom Regelinterpreter aufgezeichnete 'logische Herleitung' zu einem Prozess sind relativ einfach zu lesen und nachzuvollziehen.

### 3.2.4 Meta-Daten

Um den Überblick über die komplexen Modell- und Datenstrukturen zu behalten, ist die Integration von Meta-Daten in das Gesamtsystem erforderlich. Die Meta-Daten sollten sich dabei nicht nur auf die Ein- und Ausgabedaten beschränken, sondern auch Informationen über das Gesamtsystem, seine Modellteile und die Prozesse bereitstellen.

Gerade im Umfeld eines integrierten Modells ist die Beschreibung von Daten und die Angabe von Definitionen sehr wichtig für eine in sich konsistente Abbildung der Systemzusammenhänge. Als Beispiel sei hier der Begriff 'Drought' (Trockenheit, Dürre) angeführt, der bei der umweltbezogenen Betrachtung menschlicher Sicherheit eine zentrale Stellung einnimmt. Grob kann unterschieden werden zwischen Definitionen aus meteorologischer, landwirtschaftlicher, hydrologischer und sozio-ökonomischer Sicht. Die daraus folgenden Definitionen sind aber keineswegs einheitlich und können sogar in Abhängigkeit der betrachteten Jahreszeit oder dem betrachteten Ort unterschiedlich sein. Wilhite und Glantz (1985) identifizierten insgesamt über 150 veröffentlichte Definitionen dieses Begriffs. Bei der Erstellung einer Datengrundlage für in der Vergangenheit aufgetretene Dürren ist diesem Umstand zumindest dadurch Rechnung zu tragen, dass Informationen aus unterschiedlichen Quellen nicht ohne weitere Überprüfung 'in einen Topf geworfen' werden und der Datenbank (mindestens) eine, dem Modellzweck zugrunde liegende Definition mitgegeben wird. Dies ist um so wichtiger wenn Expertinnen/Experten unterschiedlicher Fachdisziplinen an einem gemeinsamen Modell arbeiten.

Bei einem Modell wie GLASS ist die Offenlegung implizierter Bedeutungen, also die Semantik der Daten und der Prozesse selbst, ein entscheidender Faktor zur Erfüllung des Modellziels. Die Meta-Beschreibung geht also über die reinen 'Daten über Daten' hinaus und muss sowohl die Prozesse als auch die Annahmen bei der Bildung von Szenarien mit berücksichtigen. Gleich mit der Ausführung von Modellen ist eine integrierte, weitgehend automatisierte Ableitung von Meta-Daten anzustreben, d.h. z.B. dass mit der Berechnung von Prozessausgaben beispielsweise automatisch die Meta-Informationen der verwendeten Eingabedaten und der aufgerufenen Unterprozesse als ergänzende Information in der Ausgabe erscheinen könnten. Auf diese Weise wird die Nachvollziehbarkeit von Modellergebnissen verbessert und die Weiterentwicklung des Modells unterstützt.

### **3.2.5 Architekturmuster**

Die Systemarchitektur muss offen und erweiterbar sein, um eine fortlaufende Entwicklungen und die Integration eigenständiger oder innerhalb anderer Projekte entwickelter Teilmodelle zu unterstützen.

Um auch von der softwaretechnischen Seite klar definierte und verständliche Strukturen zu fördern ist die Verwendung bekannter Architekturmuster sinnvoll (Buschmann et al. 1998). Die bereits erwähnte Anforderung an das Modell, die Ergebnisse je nach Anwendung in verschiedenartigen Darstellungsformen bereitzustellen, kann beispielsweise durch die Verwendung des Model-View-Controller-Musters unterstützt werden. Hierbei wird die Anwendung in drei Komponenten aufgeteilt: Die Modell-Komponente enthält die Kernfunktionalität und die Daten (also das eigentliche Simulationsmodell), die Ansichten-Komponente stellt die Funktionen zur Darstellung von Informationen bereit und die Kontroll-Komponente verarbeitet alle Benutzer-Eingaben. Wird eine andere Präsentationsform der Eingabedaten oder Ergebnissen gewünscht, so sind lediglich Erweiterungen in den Komponenten der Bedienschnittstelle notwendig, also der Ansichten- und der Kontroll-Komponente. Das Modell bleibt dabei unberührt von den Änderungen.

### **3.2.6 Standards**

Neben etablierten Verfahren und Methoden zum Aufbau der Systemarchitektur kann die Verwendung von Standards und Quasi-Standards auf der Entwurfsebene den modularen Aufbau und die Wartbarkeit und Erweiterbarkeit eines Modells unterstützen.

Das Spektrum möglicher Vereinheitlichungen von Modellen oder Modellteilen ist weitreichend, angefangen von Standards bei der Abfrage von Datenbanken, z.B. über OQL, über die Berücksichtigung von Empfehlungen des Open GIS-Consortiums bis hin zu Standards für modellinterne Datenformate, zum Beispiel das Hierarchical Data Format (HDF).

Eine Modellkomponente für die Meta-Daten-Integration könnte beispielsweise unter Verwendung der Extensible Markup Language (XML) und den Konventionen des Resource Description Framework (RDF) aufgebaut werden. Entwicklungen im Bereich der Environmental Markup Language werden hier sicherlich einen weiteren Fortschritt bringen.

Zur semantischen Beschreibung von Daten, Prozessen, Modellteilen und Modellen könnte die Unified Modeling Language (UML) verwendet werden.

Die aufgelisteten Themen stellen nur einen Ausschnitt der vielschichtigen Probleme, Anforderungen und Ziele dar, die bei der Entwicklung von integrierten Modellen wie GLASS beachtet werden müssen. Um diese Probleme lösen und den Anforderungen und Zielen gerecht werden zu können ist die Verwendung aktueller Erkenntnisse und Methoden der Umweltinformatik unabdingbar.

#### 4. Perspektiven

In dem Beitrag wird gezeigt, in welcher Weise eine Unterstützung durch Methoden und Werkzeuge der Umweltinformatik in einem komplexen, anwendungsorientierten Problemfeld geleistet werden kann. Abschließend soll noch einmal zusammengefasst werden, in welcher Weise eine zusätzliche Effizienzsteigerung (hinsichtlich Problemanalyse und Problemlösungskapazität) erreicht werden könnte. Vor allem die folgenden drei Stichwörter geben die Richtung an, in die die Entwicklungen unserer Meinung nach gehen sollten:

**Unterstützung integrierter Modellierung und Bewertung:** Trotz erheblicher Anstrengungen in einigen internationalen Projektteams in den letzten Jahren haben die vorliegenden Projekte eklatante Schwächen, die z.T. damit zu tun haben, dass die Projekte sukzessive aus früheren Modellen (weiter-) entwickelt wurden, die auf Ansätzen mit dem damals verfügbaren Instrumentarium beruhten. Damit soll der Wert der Ansätze für die (politische) Praxis nicht geschmälert werden, es ergeben sich aber erhebliche Schwierigkeiten wenn eine Erweiterung der Modelle vorgenommen werden soll, wenn Validierungsanstrengungen unternommen werden müssen oder generell eine Anpassung an neue Sachverhalte und Wissensbestände erforderlich ist. Es wurde gezeigt, dass neuere Entwicklungen in der Informatik hier Verbesserungen versprechen.

**Metainformationen:** Bei der Betrachtung und Integration der unterschiedlichen Beiträge aus den verschiedenen beteiligten Fachdisziplinen werden hohe Anforderungen an die zu verwendenden Daten gestellt – sowohl was deren Qualität, als auch was deren Quantität betrifft. Die notwendige Datengrundlage beinhaltet darüber hinaus Informationen unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Auflösungen.

Die Sammlung und Aufbereitung grundlegender Daten nimmt einen nicht unbedeutlichen Arbeits- und Zeitaufwand bei der Erstellung eines globalen integrierten Modells ein. Um den Überblick über die Daten zu behalten und diese auch anderen –

nicht nur am gleichen Projekt beteiligten – Personen verfügbar zu machen, ist eine effiziente und vereinheitlichte Erfassung und Verwaltung von Meta-Daten an dieser Stelle zwingend erforderlich. Die Verwendung von Standards ist dabei anzustreben; XML (Extensible Markup Language) , RDF (Resource Description Framework), OpenGIS Metadata und Standards vom U.S. Geological Survey seien hier nur als Beispiele angesprochen.

**Adäquate Methoden auch in nicht-quantifizierbaren Domänen:** Angesichts der Vielfalt an Beiträgen aus unterschiedlichen Fachdisziplinen sollte auch der Frage nach der Art des zu integrierenden Wissens besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Auch wenn derzeit die Hoffnungen in wissensbasierte Systeme als nicht zu hoch angesehen werden müssen, wäre dennoch zu fragen, inwieweit eine Erweiterung der Modelle unter Verwendung qualitativer Wissensbestände möglich ist. Qualitative Simulation und die konsequente Nutzung von Strukturierungsmöglichkeiten, wie wir sie aus wissensbasierten Ansätzen kennen, bieten erste Ansatzpunkte.

Wir sind davon überzeugt, dass das genannte Problemfeld eine echte Herausforderung für die Anwendung aber auch Weiterentwicklung des „Rüstzeuges“ der Umweltinformatik darstellt. Dabei dürfte es von erheblichem Vorteil sein, dass es sich um einen gesellschaftlich höchst relevanten Bereich handelt dem in Zukunft noch erheblich mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden wird, sowohl von Seiten der Wissenschaft als auch von Seiten der Politik.

## Literaturverzeichnis

- Alcamo, J. (Hrsg.) (1994): IMAGE 2.0 - Integrated modeling of global climate change, Dordrecht
- Alcamo, J., Döll, P., Kaspar, F., Siebert, S. (1997): Global change and global scenarios of water use and availability: an application of WaterGAP 1.0, report A9701, Wissenschaftliches Zentrum für Umweltsystemforschung Kassel
- Alcamo, J., Leemans, R., Kteileman, E. (Hrsg.) (1998): Global change scenarios of the 21<sup>st</sup> century - Results from the IMAGE 2.1 model, Kidlington/Oxford
- Buschmann, F. (1998): Pattern-orientierte Software-Architektur: Ein Pattern-System, Bonn, Paris
- Carius, A., Imbusch K. (1998): Umwelt und Sicherheit in der internationalen Politik - eine Einführung, in: Carius, A., Lietzmann, K.M. (Hrsg.): Umwelt und Sicherheit, Berlin
- Rotmans, J., de Vries, B. (Hrsg.) (1997): Perspectives of global change - the TARGETS approach, Cambridge
- Rotmans, J., Dowlatabadi, H. (1998): Intergrated assessment modeling, in: Rayner, S., Malone, E.L. (Hrsg.): Human choice and climate change, vol 3 (The tools for policy analysis), Columbus
- Wilhite, D.A., Glantz, M.H. (1985): Understanding the drought phenomenon: The role of definitions, in: Water International, 10, S. 111-120